

# Geo-Wissen für die Zukunft

Beiträge zur Geologie, Bodenkunde  
und Geochemie Bayerns



Festband zum Jubiläum  
150 Jahre staatlicher geologischer Dienst in Bayern



Herausgegeben vom Bayerischen Geologischen Landesamt

## Geo-Wissen für die Zukunft

Beiträge zur Geologie, Bodenkunde  
und Geochemie Bayerns

Festband zum Jubiläum

150 Jahre staatlicher geologischer  
Dienst in Bayern

Mit Beiträgen von

Rolf Apel, Kurt Bader, Helmut Brunold, Georg Büttner, Gerold W. Diepolder, Elke Dietz, Albert Dobner, Gerhard Doppler, Wolfgang Dorn, Otto Drexler, Roland Eichhorn, Helmwart Förster, Horst Frank, Walter Freudenberger, Thomas Fritzer, Dieter Gebauer, Albert Geiger, Erwin Geiß, Stefan Glaser, Walter Grotenthaler, Hans-Peter Gruber, Josef Hammerl, Uwe Hoffmann, Georg Holzner, Hermann Jerz, Michael Joneck, Michael Kling, Karl-Heinz Krause, Ulrich Lagally, Elmar Linhardt, Christof Mahler, Walter Martin, Karl Mayer, Mario Mehren, Rolf K. F. Meyer, Hubert Mielke, Hansjörg Oeltzschner, Manfred Piewak, Andreas v. Poschinger, Klaus Poschod, Raimund Prinz, Thomas Pürner, Arthur Reischl, Johann Rohrmüller, Bernd Schilling, Hubert Schmid, Franz Schmidt, Alfred Schneider, Thomas Schneider, Hans-Hubert Schraa, Achim Schubert, Klaus Schwerd, Markus Seidel, Thomas Sperling, Georg Stimmelmeier, Robert Traidl, Heinz J. Unger, Bernhard Wagner, Sebastian Wagner, Hermann Weinig, Michael Wittenbecher und Jan-Peter Wrobel

### Redaktion

Klaus Schwerd

### Herausgeber und Verlag

Bayerisches Geologisches Landesamt  
Heßstraße 128, D-80797 München

ISSN 0016 – 755 X

#### Umschlagbild:

Gefaltete Wechselfolge von gebankten Kalksteinen und Schluffsteinen, Oberer Muschelkalk („Hauptmuschelkalk“), Steinbruch Herlas, Große Kreisstadt Kulmbach/Oberfranken

# GEOLOGICA BAVARICA

**Geo-Wissen für die Zukunft**

**Beiträge zur Geologie, Bodenkunde  
und Geochemie Bayerns**

Festband zum Jubiläum  
150 Jahre staatlicher geologischer Dienst in Bayern



Herausgegeben vom Bayerischen Geologischen Landesamt

München 2000

**105**



# GEOLOGICA BAVARICA

---

105

## Geo-Wissen für die Zukunft

Beiträge zur Geologie, Bodenkunde  
und Geochemie Bayerns

Festband zum Jubiläum  
150 Jahre staatlicher geologischer Dienst in Bayern

Mit Beiträgen von

R. APEL, K. BADER, H. BRUNOLD, G. BÜTTNER, G. W. DIEPOLDER, E. DIETZ, A. DOBNER,  
G. DOPPLER, W. DORN, O. DREXLER, R. EICHHORN, H. FÖRSTER, H. FRANK, W. FREUDENBERGER,  
TH. FRITZER, D. GEBAUER, A. GEIGER, E. GEIß, S. GLASER, W. GROTTENTHALER, H.-P. GRUBER,  
J. HAMMERL, U. HOFFMANN, G. HOLZNER, H. JERZ, M. JONECK, M. KLING, K.-H. KRAUSE, U. LAGALLY,  
E. LINHARDT, CH. MAHLER, W. MARTIN, K. MAYER, M. MEHREN, R. K. F. MEYER, H. MIELKE,  
H. OELTZSCHNER, M. PIEWAK, A. v. POSCHINGER, K. POSCHLOD, R. PRINZ, TH. PÜRNER, A. REISCHL,  
J. ROHRMÜLLER, B. SCHILLING, H. SCHMID, F. SCHMIDT, A. SCHNEIDER, TH. SCHNEIDER, H.-H. SCHRAA,  
A. SCHUBERT, K. SCHWERD, M. SEIDEL, TH. SPERLING, G. STIMMELMEIER, R. TRAIIDL, H. J. UNGER,  
B. WAGNER, S. WAGNER, H. WEINIG, M. WITTENBECHER und J.-P. WROBEL

Redaktion

KLAUS SCHWERD

Herausgeber und Verlag:

Bayerisches Geologisches Landesamt Heßstraße 128, D-80797 München

Geologica Bavarica	105	456 S.	München 2000
--------------------	-----	--------	--------------

ISSN 0016 – 755 X

Alle Urheberrechte vorbehalten  
© Bayerisches Geologisches Landesamt 2000

Gesamtherstellung:  Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München

## Inhalt

SCHMID, H.: 150 Jahre staatlicher Geologischer Dienst in Bayern .....	5
DORN, W.: Sitzung der Bayerischen Kammer der Abgeordneten am 10. April 1850 – Weichenstellung zur amtlichen geowissenschaftlichen Landesaufnahme in Bayern .....	19
FRANK, H., DOPPLER, G. & SCHWERD, K.: Grundlagen für eine moderne geologische Landesaufnahme in Bayern – von der Geländeaufnahme zum Informationssystem .....	23
GEISS, E., FRANK, H., MEHREN, M. & SCHNEIDER, A.: Die Digitale Geologische Karte von Bayern – Grundsätze, Entwicklung und Stand der digitalen Kartographie .....	49
WROBEL, J.-P.: Geologischer und hydrogeologischer Infopool, Projekt Region 10 (Ingolstadt) – ganzheitliche geowissenschaftliche Landesaufnahme .....	63
ROHRMÜLLER, J., GEBAUER, D. & MIELKE, H.: Die Altersstellung des ostbayerischen Grundgebirges .....	73
MIELKE, H., KLING, M. & ROHRMÜLLER, J.: Rekonstruktion prägranitischer variszischer Tektonik im Fichtelgebirge anhand lithologischer Leithorizonte .....	85
FREUDENBERGER, W., LINHARDT, E. & WROBEL, J.-P.: Geologie, Hydrogeologie und Geochemie der Thermalwasserbohrung Treuchtlingen 2 (T 2) .....	97
HOFFMANN, U.: Die Forschungsbohrung Ebenhausen bei Bad Kissingen (Unterer Keuper/Oberer Muschelkalk/Mittlerer Muschelkalk) .....	123
FREUDENBERGER, W., FRITZER, Th. & GEIGER, A.: Der Keuper in Kernbohrungen bei Coburg .....	137
MEYER, R.K.F., WAGNER, S. & WEINIG, H.: Die Plattenkalke zwischen Solnhofen und Eichstätt: Fazieswechsel und Kalksteinabbau .....	201
DOPPLER, G., PÜRNER, Th. & SEIDEL, M.: Zur Gliederung und Kartierung der bayerischen Vorlandmolasse .....	217
BADER, K., MEYER, R.K.F. & BRUNOLD, H.: Graupensandrinne–Urnaabrinne, ihre Verbindung und tektonische Verstellung zwischen Donauwörth und Regensburg .....	243
JERZ, H., SCHNEIDER, Th. & KRAUSE, K.-H.: Zur Entwicklung der Schwemmfächer und Schwemmkegel in den Randbereichen des Murnauer Mooses – mit Ergebnissen der GLA-Forschungsbohrungen bei Grafenaschau und Eschenlohe .....	251
LAGALLY, U., GLASER, St. & EICHORN, R.: Der digitale Geotopkataster Bayern des Bayerischen Geologischen Landesamtes – fachliche Grundlage zur Erhaltung bedeutender Dokumente der Erdgeschichte .....	265
DOBNER, A., PIEWAK, M., POSCHLOD, K., PÜRNER, Th., SPERLING, Th., WAGNER, S. & WEINIG, H.: Erkundung und Sicherung von mineralischen Rohstoffen in Bayern .....	285
APEL, R., BÜTTNER, G., DIEPOLDER, G. W. & WAGNER, B.: Hydrogeologische Landesaufnahme – Grundwasseruntersuchungen in Bayern .....	311
FRITZER, Th., SCHUBERT, A., UNGER, H. J. & WROBEL, J.-P.: Die Forschungs- und Thermalwasserbohrung Geisenfeld .....	333
POSCHINGER, A. V. & MAYER, K.: Das GEORISK-Informationssystem im Spiegel der Starkregenereignisse an Pfingsten 1999 .....	343
OELTZSCHNER, H.: Abfalldeponie nach Technischer Anleitung Siedlungsabfall: die Stellung der Geologischen Barriere im Multibarrierenkonzept .....	353
DREXLER, O., GROTTENTHALER, W., GRUBER, H.-P., MARTIN, W. & SCHMIDT, F.: Die bodenkundliche Landesaufnahme – Grundlage für Bodenschutz und Daseinsvorsorge .....	363

TRIDL, R., STIMMELMEIER, G., DIETZ, E., FÖRSTER, H., SCHMIDT, F. & SCHILLING, B.: Böden in der Profilsammlung des Bayerischen Geologischen Landesamtes .....	379
SCHILLING, B. & HAMMERL, J.: Böden der fränkischen Keuper-Lias-Landschaft und ihre Abbildung im Bodeninformationssystem .....	387
SCHRAA, H.-H.: Recherchesystem bodenkundlicher Kennwerte (REBOK) .....	395
SCHILLING, B., HOLZNER, G. & MAHLER, Ch.: Boden-Dauerbeobachtung – ein wichtiger Teilaspekt für den Bodenschutz .....	403
LINHARDT, E.: Gehalte umweltrelevanter Spurenelemente in Gesteinen der Region 10 (Ingolstadt)	413
JONECK, M., PRINZ, R., REISCHL, A. & WITTENBECHER, M.: Untersuchung zur Ermittlung der ubiquitären Hintergrundbelastung von organischen Problemstoffen an ausgewählten Böden Bayerns – Ergebnisse eines Forschungsvorhabens .....	431

### Verzeichnis der Beilagen

- Beitrag HOFFMANN, U.:  
Bohrlochbild der Forschungsbohrung Ebenhausen bei Bad Kissingen (1998)
- Beitrag JERZ, H., SCHNEIDER, Th. & KRAUSE, K.-H.:  
Beilage 1: Forschungsbohrung M-F01 Grafenaschau  
Beilage 2: Forschungsbohrung M-F02 Eschenlohe



# 150 Jahre staatlicher Geologischer Dienst in Bayern

## Wissenschaft von der Erde zum Nutzen für alle

Von HUBERT SCHMID

Mit 5 Abbildungen

Schlüsselworte: Geologischer Dienst – Geschichte – Bayern – geologische Karten – nachhaltige Entwicklung

Kurzfassung: Im Jahr 1850 wurde mit der „Geognostischen Landesuntersuchung“ ein staatlicher Geologischer Dienst in Bayern eingerichtet, aus dem das heutige Bayerische Geologische Landesamt hervorgegangen ist. Mit einer 150jährigen Geschichte gehört es zu den ältesten Einrichtungen dieser Art auf der Welt. Es werden die Entwicklung und die verschiedenen Aufgaben im Lauf der Zeit beschrieben.

### 150 years Geological Survey in Bavaria

Keywords: Geological Survey – history – Bavaria – geological maps – sustainable development

Abstract: In 1850 a geological survey was established in Bavaria. With a 150-years history it is one of the oldest geological surveys of the world. Development and change of tasks are described.

### Inhalt

1. Vorbemerkung .....	6
2. Vorgeschichte: MATTHIAS VON FLURL und die erste geologische Karte Bayerns 1792 .....	6
3. Gründung der „Geognostischen Untersuchung des Königreichs Bayern“ im Jahr 1850 .....	7
4. CARL WILHELM VON GÜMBEL, der Altmeister der geologischen Landesaufnahme in Bayern .....	8
5. Ungünstige Bedingungen in der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts .....	11
6. 1948: Von der „Geologischen Landesuntersuchung“ zum „Bayerischen Geologischen Landesamt“ – ein Neubeginn .....	12
7. Der Weg zur modernen wissenschaftlichen Fachbehörde .....	13
8. Die Außenstelle des Bayerischen Geologischen Landesamtes .....	15
9. Künftige Aufgaben des Bayerischen Geologischen Landesamtes .....	16
10. Literatur .....	17

## 1. Vorbemerkung

Im Jahr 1850 ist mit der „geognostischen Untersuchung des Königreiches“ in Bayern ein staatlicher Geologischer Dienst eingerichtet worden. Bayern verfügt damit über einen der ältesten Geologischen Dienste der Welt und den ältesten in der Bundesrepublik Deutschland. Zwischen der Zeit der Gründung und der Gegenwart gibt es hinsichtlich der Anforderungen an die Geologie Parallelen. Damals hat die stürmische Entwicklung der Industrie, die „industrielle Revolution“, die Nachfrage nach detaillierten und verlässlichen Informationen über die Erde, auf der und von der wir leben, mit sich gebracht. Heute ist es die Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung in einer immer enger werdender Welt, die auch die Naturwissenschaften, einschließlich der Geowissenschaften, in besonderem Maße fordert.

Es folgt ein Rück- und Ausblick. Hierzu wird auf die Schriften zum 100jährigen und 125-jährigen Bestehen der Geologischen Landesaufnahme in Bayern von ARNDT (1951) und VIDAL (1975) hingewiesen. Eine ausführliche Darstellung aktueller Aufgaben der Geologischen Dienste ist bei SCHMID (1998 a) zusammengestellt.

## 2. Vorgeschichte: MATTHIAS VON FLURL und die erste geologische Karte Bayerns 1792

Noch 100 Jahre vor der Einrichtung der Geognostischen Landesuntersuchung hatte der biblische Schöpfungsbericht als erdgeschichtliche Grundlage dominiert – und auch genügt. Dann aber setzte eine rasante Entwicklung ein. Das Industriezeitalter brachte tiefgreifende Veränderungen mit sich. Die Auswirkungen auf die Naturwissenschaften, die technische Entwicklung und das soziale Gefüge waren von einem Ausmaß, wie es die Menschheit bislang noch nicht erlebt hatte. Nachbarwissenschaften sind entstanden, ohne die wiederum die Geologie nicht denkbar wäre, und zu erwähnen ist auch die Aufklärung mit ihrer Begeisterung für die Naturwissenschaften. Vor allem aber: Man brauchte jetzt dringend geowissenschaftliche Informationen. Die Dampfmaschine war erfunden worden. Sie hatte die Energieerzeugung und den Rohstoffbedarf auf eine völlig neue Ebene gehoben.

In Bayern war der kurfürstliche Berg- und Münzrat MATTHIAS VON FLURL im Auftrag des Kurfürsten KARL THEODOR der erste, der eine geologische Karte des Landes entworfen hatte (s. Abb. 1). Sie gehörte zu einem 1792 publizierten Werk über mineralische Rohstoffe in Bayern. Das Werk war also rein praktisch orientiert. Den damaligen Möglichkeiten entsprechend war die Karte noch sehr einfach und ungenau. Sie war aber die erste geologische Übersicht Bayerns und gehört zu den ersten geologischen Karten der Welt. MATTHIAS VON FLURL zählt zusammen mit ABRAHAM GOTTLÖB WERNER in Sachsen, ALEXANDER VON HUMBOLDT und LEOPOLD VON BUCH zu den Pionieren der geologischen Wissenschaft.

Nach der Zeit dieser Pioniere haben die modernen Naturwissenschaften und mit ihnen die Geologie einen raschen Aufschwung durchlaufen.

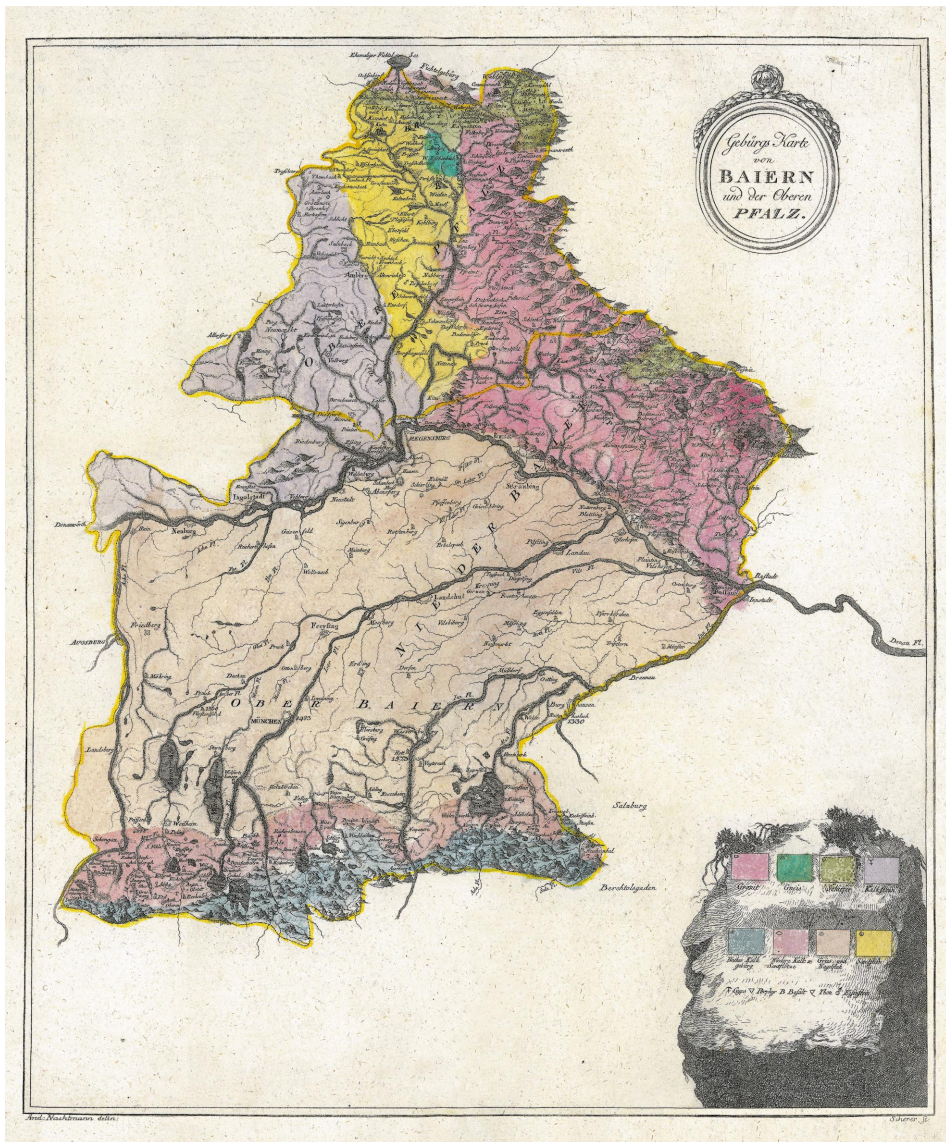


Abb. 1. „Gebirgs Karte von Baiern und der Oberen Pfalz“ von MATTIAS VON FLURL 1792.

### 3. Gründung der „Geognostischen Untersuchung des Königreichs Bayern“ im Jahr 1850

In der Mitte des vorigen Jahrhunderts erreichte die Industrialisierung in Deutschland einen Höhepunkt. Dies hatte auch erhebliche soziale und politische Auswirkungen. Vorausgegangen waren die Französische Revolution und die METTERNICHSche Restauration. Vor 1848 brodelte in Deutschland der „Vormärz“. Der absolutistisch orientierte bayerische König LUDWIG I.

mußte 1848 abdanken. Seine Verdienste für Bayern lagen auf den Gebieten der Kunst und der Architektur. An den Naturwissenschaften war er weniger interessiert. Sein Nachfolger MAXIMILIAN II. war der „Professor auf dem Königsthron“. Als nüchterner Denker erkannte er die Notwendigkeit der geologischen Erforschung des Landes. Man benötigte nun dringend exakte Kenntnisse über den geologischen Aufbau des Landes für die Versorgung der Industrie mit mineralischen Rohstoffen, für die Versorgung der entstehenden Ballungsräume mit Wasser und für die Beurteilung des Baugrunds nicht nur für Siedlung und Gewerbe, sondern insbesondere für die Anlage von Verkehrswegen. Die geologische Karte war und ist ein unabdingbares Mittel für diese Zwecke. Notwendig war also eine systematische geologische Landesaufnahme, oder, wie man damals sagte, die „geognostische Untersuchung des Königreiches“. Vor 150 Jahren hat die Kammer der Abgeordneten eine „geognostische“ Untersuchung beschlossen (s. DORN 2000). König MAXIMILIAN II. interessierte sich selbst für den Fortgang der Arbeiten und wollte persönlich unterrichtet werden. Abbildung 2 zeigt das Schreiben des Kgl. Ministeriums der Finanzen, mit dem die „geognostische“ Landesuntersuchung eingeleitet wurde.

Die Aufgaben der „geognostischen“ Untersuchung des Königreichs Bayern sind in einer „Instruction“ aus dem Jahr 1851 niedergelegt. Dort heißt es u. a.:

„Die geognostische Untersuchung des Königreiches hat zur Aufgabe die Erforschung des Baues und Inhaltes der Erdrinde im ganzen Umfange des Königreiches und zwar: Der Gebirgsmassen und der sie konstituierenden Gebirgsarten nach ihrer chemisch-mineralogischen Beschaffenheit, Struktur, Aufeinanderfolge und Erstreckung sowie der Reste organischer Körper, die sie enthalten, bis zur Gewinnung eines getreuen Bildes in Grund- und Aufrissen und Durchschnitten; des Vorkommens nutzbarer Mineralien für den Bergbau und Hüttenbetrieb, für die Feuerung, für die Gewerbe und namentlich für das Bauwesen. Die Aufgabe ist hienach eine wissenschaftlich praktische.“

Damals wie heute fokussieren sich die einschlägigen Anforderungen und Fragen der Gesellschaft auf die Tätigkeiten des staatlichen Geologischen Dienstes als der Schnittstelle zwischen dem Staat, der Wissenschaft und der Wirtschaft.

Das Problem war nicht nur auf Bayern beschränkt. In vielen europäischen Ländern wurden entsprechende Institutionen gegründet, wie folgende Aufstellung zeigt:

Großbritannien	1835	Bayern	1850	Preußen	1873
Irland	1845	Norwegen	1858	Finnland	1885
Portugal	1848	Schweden	1858	Dänemark	1888
Spanien	1849	Italien	1867	Baden-Württemberg	1888
Österreich	1849	Sachsen	1872	Belgien	1896

#### **4. CARL WILHELM VON GÜMBEL, der Altmeister der geologischen Landesaufnahme in Bayern**

Die geologische Landesaufnahme in Bayern im 19. Jahrhundert ist eng mit dem Namen der überragenden Forscherpersönlichkeit CARL WILHELM VON GÜMBEL (1823–1898) verbunden (s. Abb. 3; NATHAN 1951; SCHMID 1998 b). Er wurde damals mit der Leitung der geognostischen Untersuchung beauftragt und nahm sie bis zu seinem Tod als 75jähriger wahr. Er hatte bereits als junger Mann bewiesen, daß er sowohl über fundierte theoretische Grundlagen als „Geognost“ und als Markscheider verfügte als auch über praktisches Geschick. Er begann mit der Kartierung im „ostbayerischen Grenzgebirge“, widmete sich aber bald seiner Leidenschaft



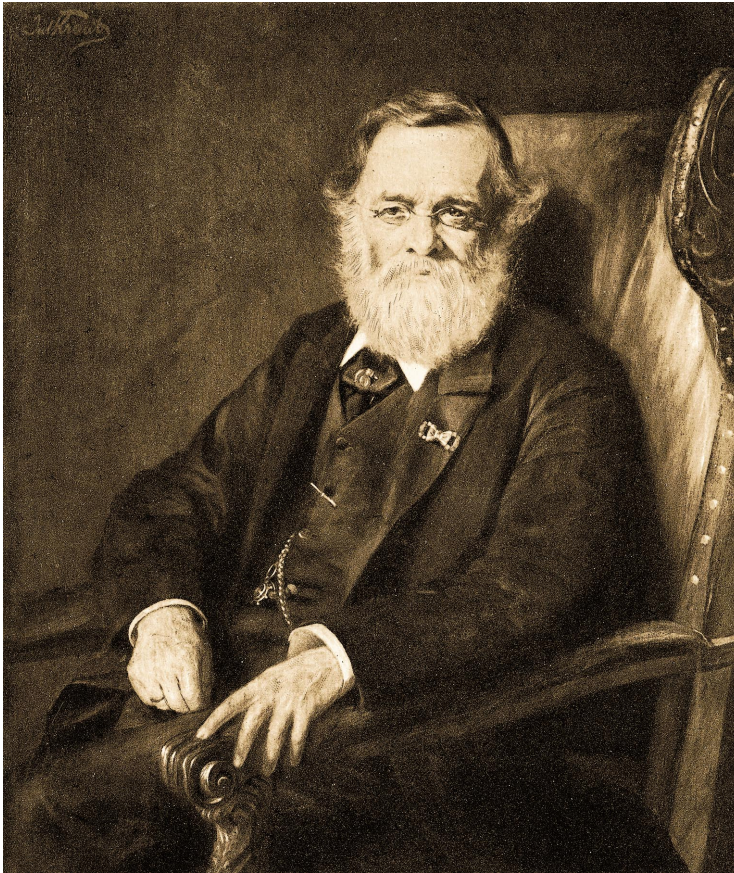


Abb. 3. CARL WILHELM VON GÜMBEL (1823–1898).

Seinen dienstlichen Auftrag der geologischen Landesaufnahme hat er mit umfangreichen Werken erfüllt. Zu seinen mehr als 200 wissenschaftlichen Publikationen gehören folgende detaillierte Bände: Die schon genannte Geologie der Alpen (950 Seiten, 5 Blätter der Geognostischen Karte 1:100 000 sowie zahlreiche Profiltafeln), ferner die „Geognostische Beschreibung des ostbayerischen Grenzgebirges oder des Bayerischen und Oberpfälzer Waldgebirges“ (986 Seiten, 5 Blätter der Geognostischen Karte 1:100 000), die „Geognostische Beschreibung des Fichtelgebirges mit dem Frankenwalde und dem westlichen Vorlande“ (698 Seiten, 2 Blätter der Geognostischen Karte 1:100 000) sowie die „Geognostische Beschreibung der fränkischen Alb (Frankenjura) mit dem anstoßenden fränkischen Keupergebiete“ (763 Seiten, 5 Blätter der Geognostischen Karte 1:100 000). Hinzu kommt ein umfassendes Werk zur Geologie von ganz Bayern mit einer Karte im Maßstab 1:1 000 000. Von den 31 Blättern im Maßstab 1:100 000 hat er 18 vollenden können (als Beispiel s. Kartenausschnitt Abb. 4).

CARL WILHELM VON GÜMBEL ist hoch geehrt worden, u. a. mit dem Verdienstorden der Bayerischen Krone, verbunden mit dem persönlichen Adel, einer Reihe weiterer hoher Orden, mit dem Titel eines kgl. Geheimen Rates sowie mit der Ehrenbürgerwürde der Stadt München für seine Verdienste um die Wasserversorgung. Sein Ehrengrab im Alten Nördlichen Friedhof

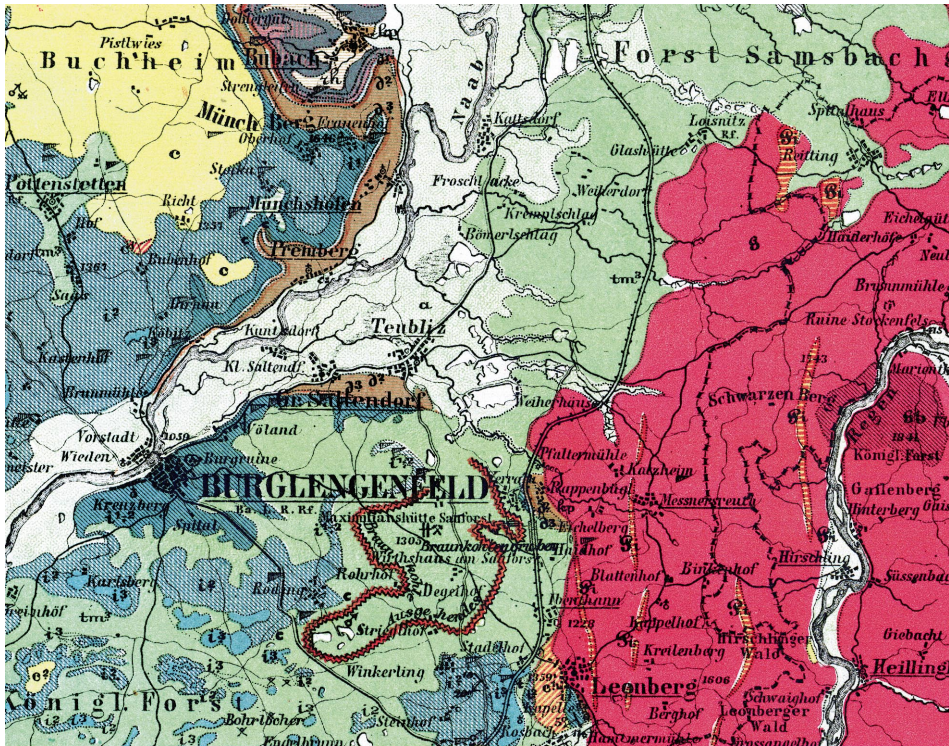


Abb. 4. Ausschnitt aus einer „Geognostischen Karte“ im Maßstab 1: 100 000 von GÜMBEL 1877.

ist noch erhalten und in München ist eine Straße nach ihm benannt worden. Seine Werke in der Bibliothek des Bayerischen Geologischen Landesamtes sind immer noch sehr gefragt und häufig genutzt. Zu seinem hundertsten Todestag im Jahr 1998 sind die genannten Werke von einem Verlag neu aufgelegt worden.

## 5. Ungünstige Bedingungen in der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts

Nach GÜMBELS Tod im Jahr 1898 haben seine tüchtigen Mitarbeiter, zuerst LUDWIG VON AMMON und dann ab 1912 OTTO MARIA REIS die Leitung der Geognostischen Abteilung übernommen. Zunächst wurde die Kartierung im Maßstab 1: 100 000 weitergeführt, allerdings mit Schwerpunkt in der (damals bayerischen) Rheinpfalz. Ein geschlossenes Kartenwerk in diesem Maßstab existiert bis heute nicht. Anfang des 20. Jahrhunderts wurde mit der Kartierung im Maßstab 1:25 000 begonnen, weil großmaßstäbige, detaillierte Karten für viele Zwecke unabdingbar wurden.

Im Jahr 1919 hat man die „Geognostische Abteilung“ umbenannt in „Geologische Landesuntersuchung am Bayerischen Oberbergamt“ und 1923 diese Abteilung schließlich in ein einfaches Referat umgewandelt. Als MATTHÄUS SCHUSTER im Jahr 1929 dessen Leitung übernahm, war die Ausgangssituation also nicht günstig. Im Jahr 1935 entstand eine „Bodenkundliche Untersuchungsstelle“. Das war der Vorläufer der heutigen Abteilung „Bodenkunde“

des Bayerischen Geologischen Landesamtes (GLA). Sie diente der bodenkundlichen, nicht-steuerlichen Auswertung der Reichsbodenschätzung. Diese Arbeiten sind heute noch für viele Gebiete als bodenkundliche Informationsgrundlage von besonderem Wert. Ansonsten wurde während der Zeit des „Dritten Reiches“ die wissenschaftliche Arbeit einschließlich der Landesaufnahme fast völlig zurückgefahren zugunsten gutachterlicher Tätigkeit für die Rohstoffbeschaffung im Rahmen der Autarkiebestrebungen, für den Stollenbau, die Planung für Verlagerungen oder für die Löschwasserversorgung, wie bei ARNDT (1951) nachzulesen ist. Das chemische Labor wurde aufgelöst.

Die damaligen Zentralisierungsbestrebungen führten schließlich zum 1. April 1939 alle Geologischen Dienste in Deutschland zu einer Reichsstelle (später Reichsamt) für Bodenforschung zusammen. Die Zweigstelle in München war der Zentrale in Berlin unterstellt. Bei Bombenangriffen in den letzten Kriegsjahren wurden Teile des Amtes zerstört. Besonders betroffen waren der Kartenverlag, die Bibliothek sowie wertvolle Gesteins- und Bodenprofil-sammlungen. MATTHÄUS SCHUSTER ging 1944 vorzeitig in den Ruhestand, und das Amt wurde bis 1945 kommissarisch von ALBERT HOCK, dem Leiter der Bodenkundlichen Untersuchungsstelle geleitet. Dann wurde HEINRICH ARNDT die Amtsleitung übertragen. Man begann nach dem Krieg in beengten und notdürftigen Räumlichkeiten wieder mit der Arbeit. Nach dem Einmarsch der Amerikaner und der Auflösung des Reichsamtes für Bodenforschung wurde die „Zweigstelle“ zunächst wieder dem Oberbergamt eingegliedert.

## **6. 1948: Von der „Geologischen Landesuntersuchung“ zum „Bayerischen Geologischen Landesamt“ – ein Neubeginn**

Zum 1. 12. 1948 verfügte das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft die Lösung vom Oberbergamt und die Einrichtung des Bayerischen Geologischen Landesamtes als selbständige Landeszentralbehörde. Unter der Leitung von ARNDT wurde das Amt neu aufgebaut und konsolidiert. Dazu gehörte die Einrichtung der nötigen Infrastruktur einschließlich des Publikationsorgans „Geologica Bavarica“. Die Amtsangehörigen haben nach dem Krieg Vorbildliches für den Wiederaufbau geleistet. ARNDTS Nachfolger HANS NATHAN (1955–1966) legte eine besondere Gewichtung auf die geologische Kartierung im Maßstab 1:25 000. Praktische Anforderungen ergaben sich in den 50er Jahren mit der Rohstoffsuche im Rahmen des GAB-Programmes (Gesellschaft zur Aufsuchung von Bodenschätzen in Bayern) und ab 1956 insbesondere mit der Beteiligung an der damaligen systematischen Uran-Prospektion. NATHAN hatte aber generell die praktische Tätigkeit zugunsten der Kartierung stark zurückgeführt, was sich schließlich, den steigenden Anforderungen entsprechend, nicht mehr aufrechterhalten ließ. Neben lagerstättenkundlichen Arbeiten kamen nun auch verstärkt ingenieurgeologische Aufgaben hinzu. Hierfür wurde im Jahr 1960 eine ingenieurgeologische Abteilung eingerichtet. Im Jahr 1966 trat NATHAN in den Ruhestand und HELMUT VIDAL wurde als sein Nachfolger bestellt.



## 7. Der Weg zur modernen wissenschaftlichen Fachbehörde

Im Jahr 1971 wechselte das GLA in den Geschäftsbereich des kurz zuvor gegründeten Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen. Die bisherige vorgesetzte oberste Dienststelle, das Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr, behielt aber die Fachaufsicht insoweit, als das Amt auf sein Ersuchen hin tätig wird. Dies betrifft im wesentlichen rohstoffgeologische Angelegenheiten. Mit der Umressortierung ergaben sich neue Aufgaben, zunächst hauptsächlich im Rahmen der Raumordnung und Landesplanung. Die alten Räumlichkeiten in der Prinzregentenstraße, in der Wagnmüllerstraße und in zusätzlich angemieteten Räumen in der benachbarten Sternstraße genügten den Anforderungen einer geowissenschaftlichen Fachbehörde, vor allem im Laborbereich, bei weitem nicht mehr. Gleichzeitig mit der Verabschiedung von VIDAL in den Ruhestand wurde im Jahr 1984 ein neues Dienstgebäude in der Heßstraße bezogen (s. Abb. 5). VIDAL hatte von Beginn seiner Amtszeit an die Planung für einen Neubau betrieben. Das neue Gebäude wurde speziell auf die Funktionen des GLA hin errichtet und enthält im notwendigen Umfang moderne Büro-, Labor- und Archivräume mit den entsprechenden Ausstattungen. Das war gerade für das nun erweiterte Aufgabenspektrum von Bedeutung. Anfang der 1980er Jahre kamen zu den bisherigen Aufgaben verstärkt umweltrelevante Fragestellungen hinzu. Insbesondere der Bodenschutz begann, neue Akzente zu setzen.

Der Nachfolger von VIDAL, JOSEPH ZIEGLER, achtete besonders darauf, daß das Amt von der Infrastruktur her den neuen Aufgaben gerecht werden konnte. Insbesondere der EDV-Ausbau und die Einrichtung von Dokumentations-Instrumenten wurden vorangetrieben. JOSEPH ZIEGLER verstarb im September 1988 überraschend während einer Dienstreise im Alter von sechzig Jahren.

Die Amtsleitung wurde OTTO WITTMANN übertragen, dem bisherigen Leiter der Abteilung Bodenkunde. Er legte besonderen Wert auf die Verbesserung der Informationsgrundlagen für den Bodenschutz. Aktuelle Fragestellungen betrafen außerdem in steigendem Maße die Beratung bei der Deponiestandort-Suche. Mittlerweile hat dieser Themenbereich an Aktualität wieder verloren. Ein anderes Thema, das seit Mitte der 1980er Jahre verstärkt wahrgenommen wurde, ist dagegen bis heute unverändert wichtig geblieben: die Beschreibung der Hanglabilität im Gebirge. Das diesbezügliche Forschungsvorhaben „Georisk“ im Auftrag des Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen war mit seinen Ergebnissen insbesondere im Hochwasser-Jahr 1999 aktuell.

Ein besonderes Ereignis bedeutete das Datum 1. 1. 1990 für das GLA: Das vormalige „Staatliche Forschungsinstitut für Geochemie in Bamberg“ wurde in das Amt eingegliedert. Die bisherigen Tätigkeiten des Instituts – Drittmittelforschung für verschiedene, überwiegend öffentliche Auftraggeber – wurden eingestellt und durch Aufgaben des Amtes ersetzt, mit besonderer Gewichtung der bodenchemischen Landesaufnahme. Schon vor der Eingliederung hatte das Institut in größerem Umfang Schwermetallanalytik für das GLA durchgeführt.

1993 hat der Verfasser, nachdem Otto WITTMANN in den Ruhestand trat, die Amtsleitung übernommen. Es waren nun wieder neue Entwicklungen zu beachten. Die herkömmliche Landesaufnahme, wenngleich unverzichtbare Grundlage, wird den heutigen Anforderungen nicht mehr gerecht. Außerdem stehen die Lücken in den Kartenwerken den gesteigerten Anforderungen gegenüber. Andererseits zeigt der rasante Fortschritt in der Datenverarbeitung neue Arbeitsmöglichkeiten auf. Daher ist im Rahmen eines Pilotprojektes mit einer neuen Form der Landesaufnahme in der Region Ingolstadt begonnen worden. Angestrebt wird eine



Abb. 5. Dienstgebäude des Bayerischen Geologischen Landesamtes in München, Heßstr. 128.

umfassende geowissenschaftliche Datenbasis, die in einem DV-Informationssystem gespeichert wird.

Wesentliche fachliche Anforderungen setzt weiterhin der Bodenschutz, insbesondere mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz und dem Bayerischen Bodenschutzgesetz, beide zum 1. 3. 1999 in Kraft getreten. Damit werden dem Amt neue Aufgaben zugewiesen: Dazu gehören die Einrichtung eines Bodeninformationssystems und die Verbesserung der Datenbasis für den vorsorgenden Bodenschutz.

Eine neue Aufgabe ist dem Amt mit der Erarbeitung von fachlichen Grundlagen für den geowissenschaftlichen Naturschutz – den Geotopschutz erwachsen. Ein landesweiter Geotopkataster wird kontinuierlich aufgebaut und in steigendem Maße in Anspruch genommen.

Zum Tagesgeschäft gehört heute auch die Bewältigung der systematischen Personaleinsparung im öffentlichen Dienst, von der auch das GLA trotz neuer Aufgaben betroffen ist.

Im November 1999 ist die Außenstelle des GLA von Bamberg nach Marktredwitz umgezogen.

Zur Zeit verfügt das GLA über 146 planmäßige Mitarbeiter, davon 56 des höheren Dienstes. Hinzu kommen ca. 20 Zeitangestellte im Rahmen von Projekten. Der Haushalt beläuft sich auf ca. 18 Mio DM pro Jahr. Organisatorisch ist das Amt in fünf Abteilungen und eine Außenstelle gegliedert. Rechtliche Grundlagen des Amtes sind das Gesetz über die Aufgaben des Bayerischen Geologischen Landesamtes vom 27. 7. 1970 i. d. F. vom 19. 2. 1971, das Gesetz über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (Lagerstättengesetz) vom 4. 12. 1934 i. d. F. des Art. 189 EGStGB vom 2. 3. 1974 sowie das Gesetz zur Umsetzung des Gesetzes zum Schutz des Bodens in Bayern vom 23. 2. 1999.

## 8. Die Außenstelle des Bayerischen Geologischen Landesamtes

Das „Staatliche Forschungsinstitut für Geochemie“, das dem GLA als Außenstelle angegliedert worden ist, hat folgende Geschichte: Es wurde Anfang der 50er Jahre gegründet und ist aus einem Ende des 2. Weltkrieges von Straßburg nach Bamberg verlagerten Forschungsinstitut hervorgegangen, dem die Aufgabe gestellt war, seltene Elemente zu untersuchen und zu prospektieren. Das Institut ist eng mit dem Namen des Forscherehepaares Professor Dr. WALTER und Dr. IDA NODDACK verbunden, den Entdeckern des chemischen Elementes Rhenium. In Erkenntnis seiner Bedeutung hatte die Stadt Bamberg dieser naturwissenschaftlichen Einrichtung das Concordia-Wasserschloß als Institutsgebäude überlassen. Ursprünglich war das Institut nur für wenige Mitarbeiter konzipiert.

Nach NODDACKS Tod im Jahre 1960 hat sein Schüler HANS MEIER das Institut mit großem Geschick weitergeführt. Es wurden nun hauptsächlich Forschungsarbeiten – sogenannte Drittmittelvorhaben – für den Bund durchgeführt, aber auch für private Auftraggeber. Diese Arbeiten betrafen hauptsächlich: Werkstoffprüfverfahren, Analysentechnik, Umweltforschung, angewandte physikalische Chemie und Geochemie.

Als wegen der sich verschlechternden Auftragslage die Finanzierung nicht mehr dauerhaft gesichert schien, wurde die Eingliederung in das GLA vorgesehen und im Jahre 1990 vollzogen. Die erheblichen Aufgabenmehrungen des Amtes, insbesondere im Bereich der geowissenschaftlichen Umweltforschung, wurden nun teilweise von der Außenstelle übernommen.

Dem GLA ist mit der Außenstelle eine fachlich sehr flexible Institution zugekommen, die sich rasch auf neue Aufgaben einstellen konnte. 1993 ging HANS MEIER in den Ruhestand, als sein Nachfolger in der Leitung der Außenstelle wurde ENVER MURAD bestellt.

Das Wasserschloß Concordia in Bamberg hatte dem Laborbetrieb schon längst nicht mehr genügt, zudem sollte das Schloß einer anderen Nutzung zugeführt werden. Ein von der Stadt Bamberg angebotenes, anderes Gebäude hätte in großem Umfang umgebaut werden müssen. Mittlerweile war mit der Sanierung der „Altlast Marktredwitz“, des mit Quecksilber und anderen Schadstoffen stark verunreinigten Areals der ehemaligen „Chemischen Fabrik Marktredwitz“ (CFM), mit Mitteln des Freistaats Bayern begonnen worden. Die bayerische Staatsregierung hat im Jahr 1992 die Ansiedlung der GLA-Außenstelle dorthin beschlossen. Eine Kostenkalkulation hatte den Vorzug für die Bauträgerlösung auf dem Gelände der ehemaligen CFM in Marktredwitz ergeben. Daß damit gleichzeitig auch ein positives Zeichen für die Zukunft des CFM-Geländes beabsichtigt war, ist klar. Auf der Grundlage eines städtebaulichen Wettbewerbs ist die Integration der GLA-Außenstelle in eine größere Gebäudeeinheit vorgesehen worden. Mit dem Neubau stehen der Außenstelle mit ihren ca. 30 Mitarbeitern moderne und funktionelle Räumlichkeiten zur Verfügung. Die Aufgaben ergeben sich hauptsächlich aus Anforderungen, die mit dem Bayerischen Bodenschutzgesetz auf das GLA zugekommen sind: Insbesondere eine systematische boden- und geochemische Landesaufnahme werden von der Außenstelle mit ihren Labors durchgeführt, aber auch Untersuchungen zum Verhalten von Stoffen in Böden. Hinzu kommen die geologische und bodenkundliche Landesaufnahme in Nordostbayern.

Auf dem Gelände der „Chemischen Fabrik Marktredwitz“ stand früher ein durch WOLFGANG CASPAR FICKENTSCHE im Jahr 1788 gegründetes Laboratorium, das schon der naturwissenschaftliche interessierte GOETHE besucht und auch gelobt hatte. Mit der Verlagerung der GLA-Außenstelle dorthin wird also an eine alte naturwissenschaftliche Tradition angeknüpft.

## 9. Künftige Aufgaben des Bayerischen Geologischen Landesamtes

Seit der Gründung der „Geognostischen Landesuntersuchung“ im Jahr 1850 hat sich die Weltbevölkerung etwa sechsfacht! Die notwendigen Bemühungen um eine „nachhaltige Entwicklung“ bringen auch besondere Anforderungen an die Geowissenschaften mit sich, denn logischerweise wird mit intensiverer Nutzung der natürlichen Ressourcen die Kenntnis über das (nicht zu vermehrende) Geo-Inventar immer wichtiger. Folgende Themenbereiche sind in besonderem Maße betroffen:

- künftige Flächennutzung, Urbanisierung
- Verbrauch an mineralischen Rohstoffen, Energierohstoffen und Wasser
- Bodenschutz und Schutz des Grundwassers
- Abfallentsorgung
- geologische Grundlagen zur Ökosystemforschung
- natürliche Gefahren wie Hangbewegungen (Muren, Steinschläge, Lawinen, Bergstürze) bei zunehmender Besiedlung von Risikobereichen
- Diskussion möglicher aktueller Klimaänderungen und ihren Auswirkungen anhand erdgeschichtlicher, insbesondere quartärer Klimaschwankungen

Grundsätzlich wird es wichtig sein, die dynamischen Prozesse in den Geosystemen, d. h. das Zusammenwirken von vielfältigen Prozessen in globaler Sicht besser kennenzulernen.

Zur Bewältigung der künftigen Anforderungen ist es nötig, die technischen Möglichkeiten, die uns heute zur Verfügung stehen, voll in Anspruch zu nehmen: zum Beispiel, um den geologischen Untergrund mit seinen Nutzungspotentialen besser zu erforschen. Dazu gehören nicht nur Wasser und mineralische Rohstoffe, sondern auch Erdwärme oder die Möglichkeiten der Tiefspeicherung von Stoffen, der Lagerung von Problemstoffen oder der Anlage von Verkehrswegen.

Zur besseren Kenntnis von Boden und Untergrund, des Ist-Zustandes, der Veränderungen und der Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen sind die Möglichkeiten moderner Labortechnik einzusetzen.

Ein wichtiges Thema für die Zukunft wird auch die Geologie urbaner Gebiete sein („urban geology“). Dort müssen viele Kriterien nicht einzeln, sondern die Systeme in ihrer Gesamtheit gesehen werden: Baugrund, Tiefbau, Kanalisation, Grundwasser, Abfallentsorgung, Schadstoffe, alte Hohlräume, Rutschungen und Sackungen, Rohstoffe, Überschwemmungsbereiche u.s.w. Daraus ergeben sich Bündel von Problembereichen und Fragestellungen, für deren Behandlung sowohl die Kenntnis der natürlichen Gegebenheiten als auch geeignete Untersuchungsmethoden nötig sind.

Für all diese Fragestellungen ist es notwendig, leistungsfähige DV-Informationssysteme aufzubauen, mit denen eine Vielzahl von Daten gespeichert und verarbeitet werden kann.

Bei den vielen unterschiedlichen Facetten darf nicht übersehen werden, daß dennoch die geologische Karte auch in Zukunft eine wesentliche Grundlage darstellen wird. Die flächendeckende Verfügbarkeit geologischer Karten ist nicht nur eine bedeutende Datenbasis für Umweltschutz und Daseinsvorsorge, sondern auch ein wichtiger Standortfaktor für die Wirtschaft. Der volkswirtschaftliche Wert eines Kartenblattes läßt sich schwer quantifizieren, er ist aber erheblich. Auf dem Gebiet eines Kartenblattes, das etwa 130 qkm umfaßt, befinden sich Naturgüter im Wert von vielen Milliarden DM: mineralische Rohstoffe, Grundwasser, Baugrund, land- und forstwirtschaftliche Flächen, Erholungspotential u.s.w. Nicht quantifiziert

werden kann der Wert von vermiedenen Schäden am Naturhaushalt wie an Bauwerken als Folge geeigneter Vorsorge- oder Sanierungsmaßnahmen. Es muß daher weiterhin oberstes Ziel sein, die Lücken in der großmaßstäbigen Landesaufnahme zu schließen sowie die Karten zu aktualisieren, zu verbessern und zu ergänzen. Der grundlegende Auftrag aus dem Jahr 1850 ist daher immer noch aktuell.

## 10. Literatur

- ARNDT, H. (1951): Festrede zur Geschichte des Bayerischen Geologischen Landesamtes. – *Geologica Bavarica*, **6**: 7–15, München.
- DORN, W. (2000): Sitzung der Bayerischen Kammer der Abgeordneten am 10. April 1850 – Weichenstellung zur amtlichen geowissenschaftlichen Landesaufnahme in Bayern. – *Geologica Bavarica*, **105**: 19–22, München. – [Dieser Bd.].
- NATHAN, H. (1951): Festrede über die Persönlichkeit CARL WILHELM VON GÜMBELS. – *Geologica Bavarica*, **6**: 16–25, München.
- SCHMID, H. (1998 a): Gegenwärtige Aufgaben der Geologischen Landesämter und Geologischen Dienststellen. – *Geol. Jb.*, **G 3**: 32–48, Hannover.
- SCHMID, H. (1998 b): CARL WILHELM VON GÜMBEL zum 100. Todestag. – *Geologica Bavarica*, **103**: 7–8, München.
- VIDAL, H. (1975): 125 Jahre Geologische Landesaufnahme in Bayern. – *Geologica Bavarica*, **74**: 7–32, München.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 1. 3. 2000.



## Sitzung der Bayerischen Kammer der Abgeordneten am 10. April 1850 – Weichenstellung zur amtlichen geowissenschaftlichen Landesaufnahme in Bayern

Von WOLFGANG U. DORN

Schlüsselworte: Bayern – Geschichte – Geologie – Geologisches Landesamt

Kurzfassung: In der Schlußabstimmung der 93. Sitzung der Bayerischen Kammer der Abgeordneten im Jahr 1850 stimmte deren Mehrheit dafür, 10 000 Gulden für die geognostische Untersuchung des Königreiches zur Verfügung zu stellen. Damit waren die Grundlagen geschaffen für die amtliche geowissenschaftliche Landesaufnahme und eine Entwicklung eingeleitet, aus der schließlich das heutige Bayerische Geologische Landesamt hervorgegangen ist.

Session of the Bavarian Chamber of Representatives on 10<sup>th</sup> of April 1850 –  
paving the way for the official geoscientific survey in Bavaria

Keywords: Bavaria – history – geology – Geological Survey

Abstract: In the closing vote of the 93<sup>rd</sup> session of the Bavarian Chamber of Representatives in 1850, the majority decided to spend 10 000 florins for geognostic investigations of the kingdom. Thus, the financial foundations were created for a statewide geoscientific survey within Bavaria and the decision marks the beginning of a development out of which finally today's Bavarian Geological Survey evolved.

Am 10. April 1850 wurden die finanziellen Voraussetzungen für den Beginn der systematischen amtlichen geowissenschaftlichen Landesaufnahme in Bayern geschaffen. An diesem Tag stimmte in München eine Mehrheit der Bayerischen Kammer der Abgeordneten in ihrer 93. öffentlichen Sitzung (BAYERISCHE KAMMER DER ABGEORDNETEN 1850) einem Antrag des Dr. F. B. W. v. HERMANN zu, der bereits zuvor von allen Abgeordneten des 2. Ausschusses dieser Kammer unterstützt worden war, nämlich: „Für die geognostische Untersuchung des Königreichs sey die Verwendung einer Summe von 10 000 Gulden des Jahres aus der Bergwerks- und Salinenkasse vom Jahre 1849/50 an festzustellen, und diese Untersuchung mit solchen Mitteln sofort angemessen in's Werk zu setzen.“ Diesem Beschluß entsprechend ordnete das zuständige Bayerische Staatsministerium der Finanzen am 26. November 1850 „auf Seiner Majestät des Königs allerhöchsten Befehl“ die geognostische Durchforschung des Landes an. Die damit verbundenen Geländearbeiten wurden dann im folgenden Jahr von C.W. GÜMBEL begonnen.

Der Abgeordnete FRIEDRICH BENEDIKT WILHELM VON HERMANN (1795–1868) war eine der bedeutendsten Persönlichkeiten seiner Zeit in Deutschland (WERNITZ 1968). Er schaffte in seinem Leben gleich mehrere recht steile Karrieren – als Wissenschaftler, als Politiker und als Beamter des höheren Staatsdienstes. Als Referent des für Steuern und Finanzen zuständigen 2. Ausschusses war er in einer Funktion als „Wirtschaftsprüfer“ oder auch „Consultant“ tätig. Nach dem Ausscheiden aus der aktiven Politik 1855 erhob ihn König MAXIMILIAN II. in den Rang eines Staatsrates im ordentlichen Dienst; gleichzeitig wurde ihm die bedeutsame Position

---

Anschrift des Verfassers: Dr. WOLFGANG U. DORN, Bayerisches Geologisches Landesamt, Außenstelle Marktrechwitz, Leopoldstraße 30, 95615 Marktrechwitz.

des Vorstandes der Generalbergwerks- und Salinenadministration übertragen, dem die geowissenschaftliche Landesaufnahme unterstand.

Der Antrag für eine geowissenschaftliche Landesaufnahme, der 1850 der Kammer zur Beratung und Schlußabstimmung vorlegt wurde, war Teil eines von Dr. v. HERMANN vorgelegten, aus neun Punkten bestehenden Sanierungskonzeptes, um einer finanziellen Schiefelage innerhalb der Generalbergwerks- und Salinenadministration zu begegnen. Dr. v. HERMANN war vom 2. Ausschuß beauftragt worden, der Kammer einen Bericht über die Abrechnungen und die Verwendung der Staatseinnahmen dieser Behörde in den Jahren 1845/46 und 1846/47 vorzulegen. Der Bericht zeigte auf, daß innerhalb der Generalbergwerks- und Salinenadministration die defizitär arbeitenden Berg- und Hüttenwerke nur über Zuschüsse aus der Salinenkasse bestehen konnten. Ebenso arbeiteten die Nymphenburger Porzellanmanufaktur und die Glasmalereianstalt mit hohen Verlusten und mußten ebenfalls jedes Jahr über Zuschüsse aus der Salinenkasse subventioniert werden.

Bevor das vorgeschlagene Sanierungskonzept zur Schlußabstimmung kam, wurden die einzelnen Punkte von verschiedenen Abgeordneten intensiv diskutiert, Änderungsvorschläge und Zusatzanträge eingebracht. Liest man das ausführliche stenographische Protokoll dieser Sitzung der Kammer, so kommen einem auch heute die von den Abgeordneten diskutierte Thematik und Problematik äußerst aktuell vor. Gebrauchten sie zwar teilweise andere Worte und Umschreibungen, so ging es gleichwohl schon damals um den „schlanken Staat“, um Subventionsabbau, um Privatisierung, um Bauluxus, um die Streichung von Beamtenstellen und um Probleme wie Arbeitslosigkeit, zu hohe Steuerlasten und sogar um „... die leidige Vielschreiberei, welche ganz Bayern in seiner Verwaltung durchdringt ...“ (Abgeordneter G. v. LERCHENFELD). Es wurde auch angedacht, sämtliche defizitären Einrichtungen zu veräußern, wie etwa vom Abgeordneten M. F. REINHARD vorgeschlagen: „Man könnte es Einem wahrlich nicht verdenken, wenn man der Regierung den Vorschlag machen würde, die ganze Geschichte wegzuschenken, wenn sie nur jemand nehmen möchte mit den Pensionen und Beamten; man hätte dann doch wenigstens kein Defizit mehr.“

Es kann und soll hier nicht auf alle Argumente und Einwendungen der Abgeordneten bei der Beratung der Maßnahmen eingegangen werden. Grundsätzlich war sich die Mehrheit der Abgeordneten einig, Organisationsstrukturen zu ändern, zu rationalisieren, weitere Etatüberschreitungen zu vermeiden und dem darniederliegenden Bergwesen u. a. durch geognostische Untersuchungen zu helfen. Es ist aber zu bemerken, daß die Geschichte der geowissenschaftlichen Landesaufnahme in Bayern beinahe einen völlig anderen Verlauf genommen hätte, wenn ein Zusatzantrag des Abgeordneten Dr. I. LANZER in der Schlußabstimmung eine Mehrheit gefunden hätte.

Von der Person des Dr. LANZERS ist leider wenig bekannt. Als Doktor der Medizin hatte er sicherlich überdurchschnittliche naturwissenschaftliche Kenntnisse und als langjähriger Besitzer des Schloßgutes Fockenfeld bei Konnersreuth in der Oberpfalz auch einschlägige landwirtschaftliche Erfahrungen (TREML 1996). Von den Vorschlägen Dr. v. HERMANNs hielt er den, sofort eine geognostische Untersuchung zu beginnen, als „für das Land bei weitem von größter Wichtigkeit“. Allerdings stellte er einen Zusatzantrag, nämlich bei den Untersuchungen zunächst mit den sekundären Gebirgsarten zu beginnen. Dazu lieferte er auch ausführliche Begründungen: „Wir lernen dadurch erkennen, welche Gebirgsarten vorliegen, und welche Bodenarten daraus gebildet worden sind. Mit einer geognostischen Untersuchung, wenn sie früher vollbracht worden wäre, würden wir in unsern Steuerkatastern eine viel größere Gleichförmigkeit und Sicherheit haben, als jetzt. Wenn bei Beendigung der geognostischen



Untersuchung die betreffenden Karten ausgegeben werden, so hat jede Gebirgsart eine bestimmte Färbung, und man sieht dann schon aus dieser, welche Beschaffenheit des Bodens der betreffende Flächenraum enthält. Für die Landwirthschaft ist dieser Umstand sehr wichtig; weil man dann auch den Grad der Ertragsfähigkeit des Bodens beurtheilen kann, indem die Geognosie sich nicht bloß mit der physischen Beschaffenheit des Bodens und der Steinarten, sondern auch mit deren chemischen Bestandtheilen befaßt ... Die Untersuchung der Urgebirge kann für uns vorläufig nicht von großem Interesse seyn. Übrigens haben wir Beispiele, daß auch diese edle Metalle enthalten, wie namentlich die berühmten sächsischen Silberbergwerke im Gneis betrieben werden. Allein uns liegt nicht daran, das Land auf diese Art bereichern zu wollen, ich glaube, wir könnten das auf anderem sicherem Wege, dadurch, daß wir uns Kenntnisse von dem Daseyn solcher Mineralien verschaffen, welche unmittelbar auf das Wohl und Wehe der Gewerbe des Landes Einfluß haben.“

Der Antrag Dr. LANZERS wird zunächst von der Mehrheit der Abgeordneten unterstützt und somit zur Schlußabstimmung zugelassen. Vor dieser Abstimmung erteilt der Präsident der Kammer Dr. v. HERMANN das Wort zu einer abschließenden Stellungnahme zu den diversen Einwendungen und Zusatzanträgen. Nur seiner massiven Einwirkung auf die Abgeordneten ist es zu verdanken, daß Dr. LANZERS Antrag in der Schlußabstimmung keine Mehrheit mehr findet: „Aber, meine Herren! Ein oder der andere Geognost möchte fragen, was Herr LANZER unter sekundären Gebirge versteht, und da würden wir uns auf einem Felde befinden, auf welches sich zu begeben ich der hohen Kammer nicht rathen möchte. Wir würden uns wahrscheinlich ziemlich umfassende Vorträge über die Gebirgsarten halten müssen. Ich weiß aber nicht, ob wir unter uns bereits die nöthigen Kräfte besäßen; wenn nicht, so müßten wir erst Sachverständige beiziehen und könnten uns so in einen weitläufigen geognostischen Prozeß verwickeln. Ich bitte Sie daher, bleiben Sie bei dem Ausschlußantrag; ich hoffe, die Staatsregierung wird selbst in geeigneter Weise diejenigen Punkte der Arbeit vorzugsweise ins Auge fassen, welche am wichtigsten sind.“

Wäre der Antrag Dr. LANZERS angenommen worden, wäre die nachfolgende Geschichte der geowissenschaftlichen Landesaufnahme in Bayern wahrscheinlich anders verlaufen. GÜMBEL hätte seine amtliche geologische Tätigkeit nicht mit der Aufnahme des ostbayerischen Grundgebirges auf der Suche nach „bisher unbenützten Mineralstoffen“ (GÜMBEL 1861) und der Erkundung der Ausdehnung bekannter Lagerstätten begonnen; die Schwerpunkte der Landesaufnahme wären vermutlich bodenkundlicher Art gewesen und hätten sich auf sedimentäre Gesteinseinheiten konzentriert. Ob dies GÜMBEL – dem ja eigentlich immer die Alpen Lieblingsgebiet blieben – gestört hätte? Vermutlich nicht, denn, wie er selber (GÜMBEL 1875) – ganz im Sinne Dr. LANZERS – notiert: „Es ist jene dem Unkundigen kaum beachtenswerth scheinende, unansehnliche, dünne Lage von Mineralstoffen an der Oberfläche unserer Erde, der sogenannte „Boden“, die Krume oder Vegetationserde, welche weitaus wichtigere Schätze in sich birgt als alle die Gold- und Silbergänge, als alle Lagen des „Schwarzen Diamants“... Aber geognostische Karten allein genügen noch nicht für das tiefere Eindringen in das Studium der Bodenverhältnisse. Dazu bedarf es eigener Bodenkarten auf geologischer Grundlage ...“

Die bayerische Staatsregierung konnte damals nicht ahnen, mit der Gewährung der finanziellen Mittel die Grundlage für eine bislang 150jährige Tradition der geowissenschaftlichen Landesaufnahme geschaffen zu haben. Die Investition von 10 000 Gulden in die Zukunft des Landes erschien ihr, trotz der unabwendbaren Notwendigkeit, als sehr hoch, die Beendigung der geognostischen Arbeiten jedoch in einem relativ kurzen Zeitraum möglich. Diese Meinung teilte auch Dr. v. HERMANN, der für den Antrag verantwortliche Referent: „Diese Summe ist

nun zu groß; wenn sie 6 Jahre hindurch gezahlt wird, kann das Geschäft wie mir scheint, vollendet seyn und eine vollständige geognostische Karte von Bayern vorliegen; so lange aber wird sie bezahlt werden müssen.“

Die Entscheidung der Abgeordneten im Jahr 1850 leitete jedoch eine Entwicklung ein, an deren Ende das heutige Bayerische Geologische Landesamt steht. Der Freistaat Bayern verfügt daher, zusammen mit der 1849 in Wien gegründeten k. und k. Geologischen Reichsanstalt, über einen der ältesten institutionalisierten staatlichen geologischen Dienste im deutschsprachigen Raum, den ältesten auf dem Gebiet der jetzigen Bundesrepublik Deutschland.

### Literatur

- BAYERISCHE KAMMER DER ABGEORDNETEN (1850): Stenographischer Bericht über die Verhandlungen der 93. Öffentlichen Sitzung vom 10. April 1850. – München.
- GÜMBEL, C. W. (1861): Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes. – Geognostische Beschreibung des Koenigreichs Bayern, 1. Abt.: XX+950 S., Gotha (Perthes).
- GÜMBEL, C. W. (1875): Bodenkunde und Geognosie. – Beil. z. Allgemeinen Zeitung v. 2.02.1875: 489–491, Augsburg.
- TREML, R. (1996): Aus der Geschichte des Gutes Fockenfeld. – In: Spätberufenschule St. Josef [Hrsg.]: 50 Jahre Spätberufenschule 1946–1996. – 46–54, Fockenfeld.
- WERNITZ, A. (1968): Friedrich Benedikt Wilhelm von Hermann (1795–1868). Eine biographische Skizze zum hundertsten Todestag eines bayerischen Wissenschaftlers, Politikers und Staatsbeamten. – Ostbayer. Arch., **90**: 26–35, München.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 9. 9. 1999.

# Grundlagen für eine moderne geologische Landesaufnahme in Bayern

## Von der Geländeaufnahme zum Informationssystem

Von HORST FRANK, GERHARD DOPPLER und KLAUS SCHWERD

Mit 6 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Geologische Landesaufnahme – geologische Karte – Geo-Informationssystem

**Kurzfassung:** Die geologische Landesaufnahme bedeutet eine flächendeckende Bestandsaufnahme der geologischen Verhältnisse eines größeren Gebietes. Ihre Ergebnisse sind Grundlage für alle anderen Sparten der Geowissenschaften und für die Belange von Umweltschutz und Landesplanung. Sie unterlag in ihrer 150jährigen Geschichte noch nie derartig einschneidenden Veränderungen wie am Ende des 20. Jahrhunderts. Methoden und Konzepte erweisen sich nicht allein abhängig von der Weiterentwicklung der geologischen Wissenschaft, sondern zunehmend auch von der rasanten Fortentwicklung der Informationstechnologie.

Die Weiterentwicklung der geologischen Landesaufnahme ist eng gekoppelt mit den Ansprüchen der Anwender im Informationszeitalter und daher in hohem Maße dynamisch. Die Qualitätssicherung ihrer klassischen Produkte Karte, Profil und textliche Erläuterungen erweist sich immer mehr als eine Herausforderung, die jeweils verfügbaren digitalen Methoden und Werkzeuge einzubinden. Während bislang feste konzeptionelle Vorgaben – wie Kartier- und Untersuchungsrichtlinien sowie kartographische und redaktionelle Vorgaben – als Rahmen für die Sicherung der Qualität genügten, ist dies heute allein nicht mehr ausreichend. Unter dem Motto „Vom Gelände zum Informationssystem“ werden Vorstellungen entwickelt, wie dieser Herausforderung begegnet werden kann. Dabei steht im Mittelpunkt die Einbindung, ja „Verinnerlichung“ aller Möglichkeiten, die die moderne Datenverarbeitung und Informationstechnik für die Erhebung, Bearbeitung, Auswertung und Darstellung der gewonnenen Daten und bis hin zur Vermittlung komplexer 3D-orientierter Informationen bieten. Die geologische Landesaufnahme wird als Basis und damit integraler Bestandteil einer umfassenden geowissenschaftlichen Landesaufnahme gesehen, die Effizienz und Synergien fördert und dadurch besser Antworten auf zahlreiche aktuelle Fragen von Umweltschutz und Landesplanung geben kann.

## Basics for a modern geological mapping survey in Bavaria – from fieldwork to informationsystem

**Keywords:** Geological survey – geological mapping – geological map – geo-informationsystem

**Abstract:** Geological mapping and field service stands for an exhaustive inventory of the geology of a greater area. Their findings and conclusions are basics for all geosciences and relevant matters of environmental affairs and land use planning. Today's changes are unique in the 150 years history of Bavarian geological mapping survey. Methods and concepts are not only influenced by the progress of geosciences, but increasingly by fast developing information technology. The further development of geological mapping service is closely linked to the users highly dynamic demands. In the information age quality management of the classical products, geological map, profiles and explanatory notes, are a challenge for the usage of operational digital methods and tools.

With the slogan „from field to information system“ concepts, methods and procedures to meet with this challenge are being presented. Most prominent item is the integration and application of modern data processing and information technology for the benefit of capture, manipulation, evaluation and presentation of data (up to 3D oriented transfer of knowledge) gained by geological mapping. Geological mapping is considered as a basic function in a comprehensive and integrating geoscientific survey. In this way it will be possible to come up to the future needs of environmental protection and regional planning.

## Inhalt

1. Einführung .....	24
2. Aufgaben, Bedeutung und Produkte der geologischen Landesaufnahme .....	25
3. Entwicklung und Status in Bayern .....	29
4. Konzeption für eine moderne Landesaufnahme .....	32
4.1. Grundsätze .....	32
4.2. Integrierte geowissenschaftliche Landesaufnahme .....	34
4.3. Aufnahme- und Kartierkonzepte .....	35
4.4. Digitale Datenverarbeitung und Informationssystem .....	41
4.5. Neue Produkte .....	45
5. Ausblick .....	46
6. Literatur .....	47

## 1. Einführung

Ausreichendes Wissen über den geologischen Untergrund ist eine notwendige Voraussetzung für den schonenden Umgang mit den natürlichen Ressourcen Boden, Wasser und mineralische Rohstoffe – d. h. allgemein mit dem vom Menschen genutzten Teil der Erdkruste. Es ist daher unverzichtbar für eine nachhaltige Entwicklung und Nutzung des gesamten Geopotentials. Wichtige Grundlagen hierfür schafft die geologische Landesaufnahme: die systematische, flächendeckende Erfassung des geologischen Aufbaus des Untergrunds, also der ihn zusammensetzenden Gesteine, ihrer Verbreitung und Lagerung.

Die geologische Landesaufnahme wird daher, gleichsam als strategische Aufgabe, teilweise schon seit mehr als 150 Jahren von allen Kulturnationen als staatliche Angelegenheit betrachtet. Sie wird in der Regel innerhalb eines staatlichen geologischen Dienstes als zentrale Tätigkeit betrieben und bis heute kontinuierlich weiterentwickelt. Die geologische Karte als Hauptprodukt ist neben der topographischen Karte für die physische Beschreibung der Erdoberfläche und der obersten Teile der Erdkruste unverzichtbar und als eine wesentliche kulturelle Leistung anerkannt sowie von erheblicher wirtschaftlicher und geopolitischer Bedeutung. Bei nahezu allen ökonomischen und ökologischen Entwicklungen hat die Kenntnis der geologischen Verhältnisse in Industrienationen wie Entwicklungsländern einen hohen Stellenwert. Geologische Karten sind eine kulturelle Grundleistung. Sie dienen der Daseinsvorsorge und vermitteln das erforderliche Wissen über die Erde, auf der wir leben und in die wir eingreifen.

Die kontinuierliche Weiterentwicklung der flächendeckenden Erfassung der geologischen Verhältnisse in mehr als 150 Jahren hatte – außer der beträchtlichen Fortentwicklung des Wissens über den Untergrund – eine Verfeinerung von Methoden, Modellvorstellungen und Darstellungsmöglichkeiten zur Folge. Immer komplexere Sachverhalte kamen zur Darstel-

lung. Sie führten zu geologischen Karten zunehmend größerer Informationsdichte, deren Inhalte jedoch für Nichtspezialisten nur zum Teil und oft nur unter erheblichem Einarbeitungsaufwand nutzbar sind. Es entstand zunehmend das Problem der Vermittlung der Erkenntnisse an die Öffentlichkeit, an fachfremde Nutzer und Entscheidungsträger von Staat und Wirtschaft.

Die geologische Spezialkarte im Maßstab 1 : 25 000 (GK 25) mit ausführlichen textlichen Erläuterungen entwickelte sich zu einem, im positiven Sinne, konservativen Standardprodukt mit hohem Akzeptanzwert, jedoch auch mit begrenztem Entwicklungspotential zur Vermittlung immer komplexerer Informationen und Daten. Die GK 25 orientierte sich bis in die 60er Jahre des 20. Jahrhunderts überwiegend an den Bedürfnissen der wirtschaftlichen Erkundung und Nutzung von Rohstoffen einschließlich des Grundwassers.

Seit Anfang der 70er Jahre ist das Bayerische Geologische Landesamt, damit auch die geologische Landesaufnahme, organisatorisch und in seinen Aufgaben eingebunden in den staatlichen Umweltschutz und in die Landesplanung. Es fand damit eine Aktualisierung der Ziele statt, an denen sich die Tätigkeiten und Aufgaben neu ausrichten hatten.

Zusätzlich haben die rasanten Fortschritte in der Informationstechnologie (IT) und die Einführung der neuen digitalen Möglichkeiten in den Geologischen Diensten auch der geologischen Landesaufnahme in Bayern seit Anfang der 90er Jahre neue Impulse gegeben. Zusammen mit dem aktuellen Stellenwert des Bodenschutzes, bei gleichzeitig knappen Kassen der öffentlichen Hand, hat eine grundlegende Neuorientierung aller mit dem Untergrund und Boden zusammenhängenden Leistungen begonnen: Die Aufgaben eines staatlichen geologischen Dienstes insgesamt werden zunehmend unter ökonomischem, stärker anwendungsbezogenem und vor allem integriertem, konzentriertem Einsatz der Kräfte und Mittel neu bestimmt (FRANK 1998; SCHMID 1998 a, b, 2000; WROBEL 2000).

Dem Ziel größeren Verständnisses für Aufgaben und Bedeutung, aber auch für die Probleme der geologischen Landesaufnahme in einer Phase pragmatischer Planungsvorgaben dienen die nachfolgenden Ausführungen.

## **2. Aufgaben, Bedeutung und Produkte der geologischen Landesaufnahme**

### **Aufgaben**

Über Aufgaben und Bedeutung der geologischen Landesaufnahme ist bereits mehrfach publiziert worden, so in neuerer Zeit vor allem durch VIDAL (1974, 1985), SCHMID (1995, 1998 a, b), BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1998), FRANK (1998), LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU BADEN-WÜRTTEMBERG (1999), AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE (1999) u. a. Dabei wird im wesentlichen folgende Definition zugrunde gelegt: Geologische Landesaufnahme ist die systematische und flächendeckende Erkundung und Beschreibung der geologischen Verhältnisse eines größeren Gebietes, in unserem Fall des Freistaates Bayern, durch Kartierung und spezielle geologische Geländeaufnahme, die Erhebung und Auswertung von Daten im Gelände wie Labor und die „Versorgung“ und Nutzung von vorhandenen Archiven, Probensammlungen und Bibliotheken. Mit der geologischen Landesaufnahme werden alle wesentlichen Informationen über Verbreitung, Eigenschaften und Lagerung der Gesteine des Untergrundes sowie deren erdgeschichtliche Entwicklung erfaßt und in thematischen Karten wie sonstigen synoptischen Visualisierungen, textlichen Erläuterungen und Datensammlungen dargestellt.

Im Zentrum der Tätigkeiten steht die geologische Geländeaufnahme, die geologische Kartierung. Wissenschaftliches Fachwissen und sorgfältige, ausdauernde Arbeitsweise stellen hierzu wesentliche Voraussetzungen dar. Mit der geologischen Geländeaufnahme werden (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE 1999) „... die an der Erdoberfläche anstehenden Gesteine hinsichtlich ihrer Verbreitung, Beschaffenheit, Genese, ihrer Altersbeziehungen und Lagerungsverhältnisse untersucht. Soweit möglich wird dabei auch ihre Fortsetzung in die Tiefe einbezogen. Teil dieser Untersuchungen ist die systematische Erhebung petrographischer und geochemischer Parameter der Gesteine an repräsentativen Proben, die im Gelände entnommen wurden, die Ausführung von Laboruntersuchungen und deren Auswertung. Die Ergebnisse werden traditionell in Karten, Profilschnitten sowie Erläuterungstexten dargestellt und veröffentlicht. In neuerer Zeit gewinnt zudem die Dokumentation geowissenschaftlicher Erkenntnisse in Form digitaler Daten bzw. Datenbanken zunehmend an Bedeutung.“

Diese Definition beschreibt zutreffend, aber auf einer eher formalen Ebene die Aufgaben und Tätigkeiten, so wie sie seit mehr als 150 Jahren Gültigkeit haben, unter vorsichtiger Einbeziehung neuer DV-gestützter Möglichkeiten. Wir werden im weiteren Verlauf dieser Ausführungen sehen, daß durch die Einbeziehung moderner digitaler Techniken in allen Stadien der geologischen Arbeit eine beträchtliche, vielfach grundsätzliche Erweiterung der Möglichkeiten gegeben ist.

Aufgabe der geologischen Landesaufnahme bzw. des Geologen ist es, aus meist relativ wenigen „Aufschlüssen“ – das sind Objekte wie Rohstoffabbaustellen, natürliche Anrisse etc. und Bohrungen, an denen Aufbau, Struktur und Beschaffenheit der Gesteine des Untergrundes beobachtet und analysiert werden können – ein dreidimensionales Bild des Untergrundes (gegebenfalls auch bis in größere Tiefen) zu erarbeiten und dieses in nur 2 Dimensionen auf der Kartenebene darzustellen. Weitere Aufgabe ist dann die Vermittlung dieser Modellvorstellungen unter Bezug auf die zugrundeliegenden Daten und Geländeinformationen. Letzteres ist, sehr vereinfacht, die zentrale Grundproblematik der Geologie allgemein. Zu ihrer Lösung ist ein beträchtlicher Anteil von Wissen erforderlich, das sich nicht, oder bislang noch nicht (man denke an die Vorstellung wissensbasierter Expertensysteme in der Informationstechnik) synoptisch darstellen läßt. Zusammenfassend ist die systematische geologische Erforschung der Länder nach AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE (1999) darauf ausgerichtet:

- der Öffentlichkeit die notwendigen Kenntnisse und Daten über den geologischen Aufbau des Landes zur Verfügung zu stellen
- Grundlagen (z. B. abgeleitete Karten) für die Bearbeitung praktischer Fragestellungen der angewandten Geologie für wirtschaftliche Nutzung und für Planungsverfahren zu liefern
- als Grundlagenforschung dem geowissenschaftlichen Fortschritt zu dienen

Die Funktion des Geologen in der Landesaufnahme geht aber über das bloße Kartieren weit hinaus. Ein beträchtlicher Teil des Wissens ist adäquat weder in Karten oder anderen graphischen Darstellungen noch in textlichen Erläuterungen zu vermitteln. Der Geologe hat daher auch die Rolle des geologischen Regionalexperten zu übernehmen. Dies insbesondere deswegen, weil die geologische Landesaufnahme, zumindest in Bayern, die einzige flächendeckende Kartiermaßnahme ist und die übrigen geowissenschaftlichen Sparten der Landesaufnahme auf diese Beobachtungen angewiesen sind. Es wird eine Aufgabe der Zukunft sein, dieses regional-geologische Wissen in das Informationssystem einzubringen (Stichwort Expertensystem, s. Kap. 4.3.).

## Bedeutung und Nutzen

1970 wurde der staatliche Auftrag an die geologische und geowissenschaftliche Landesaufnahme allgemein im Gesetz über die Aufgaben des Bayerischen Geologischen Landesamtes neu definiert. Damit wurde erstmals die geowissenschaftliche Landesaufnahme an konkreten, zeitgemäßen Zielvorgaben ausgerichtet und als nutzungsorientierte Aufgabe festgelegt: Die Landesaufnahme und die mit ihr gewonnenen Ergebnisse sind so auszuwerten, daß sie für Wirtschaft, Wissenschaft und Behörden nutzbringend werden.

Trotz der enorm diversifizierten Entwicklung des geologischen Dienstes allgemein, vor allem der außerordentlichen praktischen Bedeutung der bodenkundlichen Landesaufnahme und insbesondere der angewandten Sparten der Geowissenschaften wie Hydrogeologie, Rohstoffgeologie und Geotechnik, ist die geologische Landesaufnahme bis heute zentraler Auftrag des Amtes geblieben (Abb. 1). Sie ist Grundlage und Voraussetzung für die geowissenschaftliche Landesaufnahme insgesamt und die darauf aufbauenden, speziellen Auswertungen und Anwendungen im Zusammenhang mit Planungsvorhaben, der Nutzung und dem Schutz des Naturraumes, dem Schutz des Menschen vor natürlichen Risiken und der geowissenschaftlichen Forschung.

Dem dafür erforderlichen Aufwand an Mitteln und Personal läßt sich ein vielfacher volkswirtschaftlicher Nutzen gegenüberstellen. Mit den in modernen geologischen / geowissenschaftlichen Spezialkarten dokumentierten Informationen lassen sich viele Maßnahmen, die in den Untergrund eingreifen, zielgerechter und kostengünstiger planen und durchführen. Wertvolle Grundwasser- und Rohstoffvorkommen können besser geschützt bzw. genutzt werden (Nachhaltigkeit!). Planungsvorhaben, vor allem Standortfragen und Trassenplanungen, lassen sich besser konzipieren, nachfolgende Detailuntersuchungen effektiver gestalten und das Risiko von Massenbewegungen, wie Berg- und Felsstürzen, ermitteln. Für das Aufsuchen und den Schutz bzw. die Sicherung des Grundwassers und mineralischer Rohstoffe sowie für die Gründung von Bauwerken sind die in geologischen Karten enthaltenen Informationen unverzichtbare Grundlage. Wo sie fehlen, sind zeitaufwendige und teure Voruntersuchungen notwendig oder Fehlplanungen die Folge.

Eine wesentliche, grundlegende Bedeutung haben auch die im Aufgabengesetz definierte zentrale Erfassung und Archivierung aller für den Untergrund relevanter geowissenschaftlicher Daten, vor allem zu Bohrungen und Oberflächenaufschlüssen, haben die zugehörigen Belegsammlungen wie das Bohr- und Gesteinsproben-Archiv sowie die wissenschaftlichen Gesteinssammlungen mit Referenzproben zur Landesaufnahme und deren Verknüpfung mit Labor- und Meßwerten. Da in den Datenbankbereichen eines Informationssystems nur aufbereitete, normierte und interpretierte Daten enthalten sein können, sind die zunehmend mit modernen Medien (Mikrofilm- und digitale Bildarchive) speicherbaren Originaldaten gerade für externe Nutzer von hohem Wert.

## Produkte

Die Vermittlung der Ergebnisse der geologischen Landesaufnahme geschieht seit Anbeginn überwiegend durch die geologische Karte. Insbesondere die GK 25 stellt die Synthese der gegenwärtigen geologischen Kenntnis eines Gebietes dar und ist ein sehr effektiver Weg, raumbezogenes Wissen auf herkömmliche, analoge Weise zu vermitteln und zu transportieren. Indem sie in synoptischer Darstellung eine Verbindung mit der topographischen Karte eingegangen ist, lassen sich aus der geologischen Karte auch Angaben über die räumliche Lagerung der Gesteinseinheiten entnehmen. Obwohl die moderne Kartographie und Drucktechnik eine

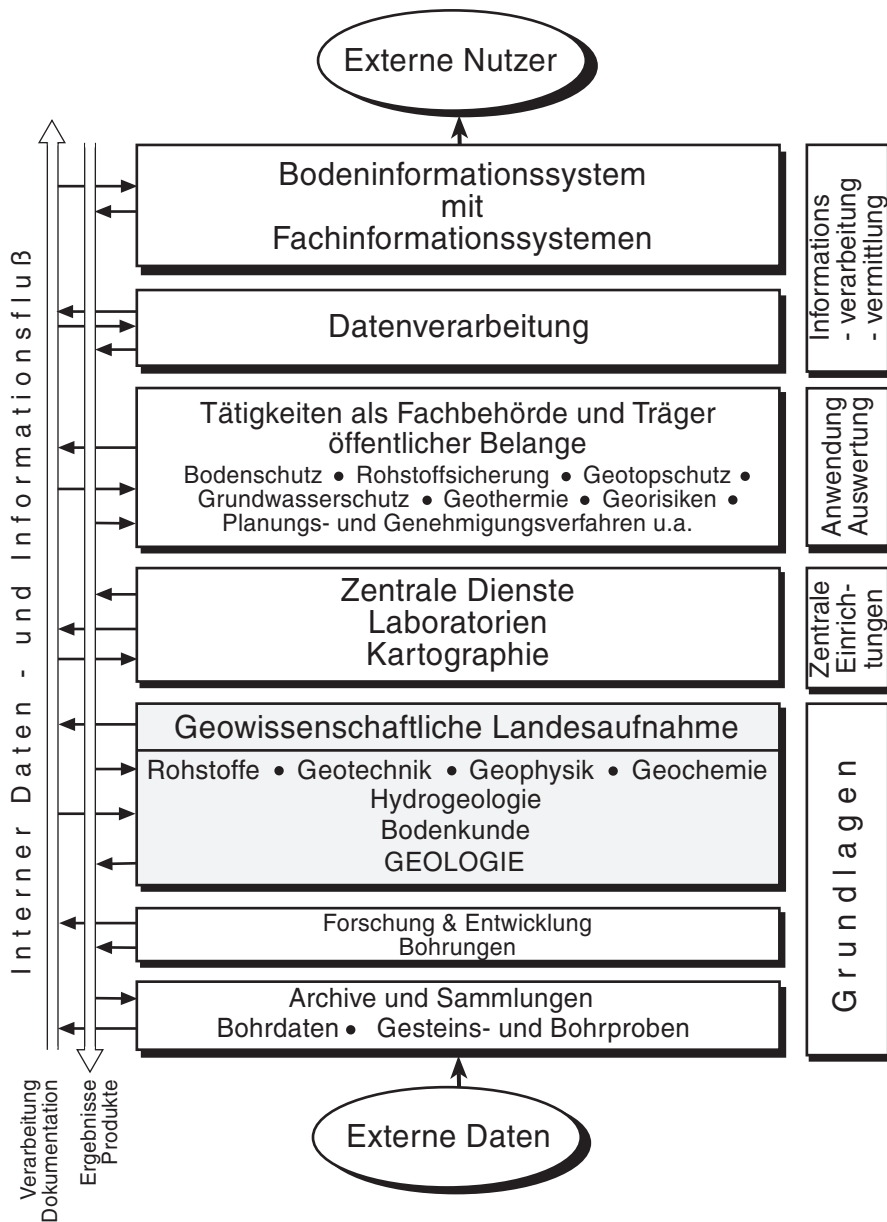


Abb. 1. Stellung der geologischen Landesaufnahme im Bayerischen Geologischen Landesamt; schematisches Strukturdiagramm wichtiger Funktionen.

sehr dichte und dabei doch gut lesbare Karteninformation ermöglicht (Abb. 2; GEISS et al. 2000) bleibt die Darstellung von dreidimensionalen Geo-Objekten auf einer zweidimensionalen Kartenoberfläche ein Behelf. Schon seit Anbeginn der Landesaufnahme sind daher weitere Darstellungen wie vertikale Profilschnitte und später auch perspektivische Blockbilddarstellungen und Tiefenlinienpläne zur Vermittlung eines räumlichen Eindruckes herangezogen



worden. Karten, auch abgedeckte Karten, Profilschnitte und Tiefenlinienpläne wichtiger Gesteinshorizonte sind verschiedene zweidimensionale Sichten auf den eigentlichen dreidimensionalen Gegenstand der Untersuchung: den geologischen Untergrund. Erst die rasante Entwicklung der Datenverarbeitung und der Geoinformationssysteme läßt für die Zukunft eine wesentlich erweiterte Möglichkeit zur adäquaten Vermittlung der räumlichen Beziehungen erwarten (Kap. 4).

Neben den genannten Produkten, mit der sog. Grundkarte als zentraler Aussage, gibt es eine Vielzahl von weiteren Darstellungsmöglichkeiten für geologische Sachverhalte und Informationen: Profilschnitte, Referenzprofile, Standardprofile, räumliche Modelle (Blockbilder, digitale 3D-Modelle), Lithofazieskarten, paläogeographische Karten, strukturgeologische/tektonische Karten, Isolinienkarten (Mächtigkeitskarten, Tiefenlinienpläne), Grundlagengarten (Aufschlüsse und Bohrungen) und sonstige thematische Auswertungskarten (räumliche Verteilung von Gesteinseigenschaften, geochemische Karten u. a.). Sie werden nach Bedarf der geologischen Karte zugeordnet bzw. bauen auf ihr auf.

Begleitend zur geologischen Karte sind textliche Erläuterungen erforderlich, um die komplexen Inhalte besser vermitteln und deuten zu können. Es hat sich bewährt, in diesen Erläuterungen die Beschreibung der Gesteinsfolgen und Tektonik des Blattgebietes durch Angabe wichtiger Aufschlüsse, Labordaten, Literatur und kurzgefaßte Ausführungen zu Böden, Grundwasser, Rohstoffen, Baugrund, Geophysik und gegebenenfalls weiteren einschlägigen Fachgebieten zu ergänzen.

Hauptzielgruppe des Gesamtwerkes GK 25 mit Erläuterungen ist bislang die geowissenschaftliche Fachwelt, insbesondere der angewandte Geologe, sowie geologisch vorgebildete Fachwissenschaftler und Ingenieure der Nachbardisziplinen. Mit einer Neukonzeption des Gesamtproduktes sind jedoch wesentlich stärker sowohl die neuen informationstechnischen Möglichkeiten zu nutzen als auch Gesichtspunkte des Marketings und der Öffentlichkeitsarbeit zu berücksichtigen. Stärker als bisher müssen auch Entscheidungsträger und interessierte Laien angesprochen – und informiert – werden.

## 2. Entwicklung und Status in Bayern

### Entwicklung

Eine Grundlage für die Leistungen und Erfolge der modernen geologischen Landesaufnahme ist ihre geschichtliche Entwicklung, die bereits an der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert begann und bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts durch zwei Persönlichkeiten geprägt war: MATHIAS VON FLURL (1756 bis 1823) und CARL WILHELM VON GÜMBEL (1823 bis 1898).

Es lassen sich, nach der Wirkungszeit von Persönlichkeiten bzw. Organisationen, mehrere Phasen unterscheiden: FLURL bis GÜMBEL – GÜMBEL – nach GÜMBEL bis zur Gründung des Bayerischen Geologischen Landesamtes (Zeitspanne 1898–1948) – Neubeginn der geologischen Landesaufnahme nach dem 2. Weltkrieg (ab 1948) und klassische Landesaufnahme – Übergang zur geologischen Landesaufnahme im Informationszeitalter (ab 1990).

Mit MATHIAS VON FLURL begann die systematische Befassung mit den geologischen Verhältnissen in Bayern auf der Grundlage von Geländebefahrungen, allerdings noch ohne ausreichende topographische Kartenunterlagen. Sein Werk „Beschreibung der Gebürge von Baiern und der Oberen Pfalz“ von 1792 war eine erste „Geologie von Bayern“, deren Beobachtungen und Faktensammlung vielfach noch heute verwertbare Informationen sind. Die

Orientierung am praktischen Nutzen, FLURL interessierte sich vor allem für die Vorkommen mineralischer Rohstoffe, sowie die systematische Aufsammlung von Proben und die Anlage wissenschaftlicher Beleg- und Lehksammlungen waren Vorbild für die weitere Entwicklung der Landesaufnahme. Dank FLURL wußte man bereits in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, wie eine sorgfältige und einheitliche Landesdurchforschung aussehen müßte.

Die Zeit bis zum Beginn der systematischen „geognostischen Landesdurchforschung“ unter der Leitung GÜMBELs vor 150 Jahren war geprägt von Einzelunternehmungen und dem Bestreben der General-Bergwerks- und Salinen-Administration, als der zuständigen Behörde, eine Mineralien- und Gesteinssammlung zur geognostischen Landesaufnahme aufzubauen (FRANK & GRUNDMANN 1993; STREIT im Druck; unveröff. Archivunterlagen des Bayerischen Geologischen Landesamtes).

Frischer Wind kam in die Angelegenheit, als der Oberberg- und Salinenrath KLEINSCHROD im Jahre 1829 ein „Promemoria über die geognostische Aufnahme und Beschreibung von Frankreich betreffend“ als Eindruck eines Aufenthaltes in Paris verfaßte. KLEINSCHROD setzte darin die vorbildlichen Fortschritte in Frankreich mit dem stagnierenden Zustand in Bayern seit dem Tode FLURLs in Beziehung. Die Reaktion der Königlichen General-Bergwerks- und Salinen-Administration auf diesen Bericht ist bezeichnend: „Was die Äußerungen des Oberberg- und Salinenrathes KLEINSCHROD betrifft, daß Bayern in Bezug auf die zusammenhängende Kenntnis seiner unorganischen Natur weit hinter mehreren Nachbarländern zurück, und auf dem Standpunkte stehen geblieben sey, welchen von FLURL demselben vor beynahe 40 Jahren angewiesen hat, so halten wir Bemerkungen darüber für überflüssig, indem jedem Literaten jene Schriften bekannt sind, die seit 40 Jahren die geognostischen Verhältnisse Bayerns mehr, oder weniger behandeln.“ Es folgen eine Aufzählung von Revierrisammlungen, die seit 1823 an 14 königlichen Bergämtern erstellt wurden, „interessanten Notizen in unseren Akten“ und der Hinweis, daß es nur eines Mannes (!) bedürfe, dem „Kenntnis und Zeit gegeben“, um aus dem Vorhandenen ein „vorläufiges Ganzes“ zu bilden.

Es dauerte dann bis zum Jahre 1850 (also fast 30 Jahre), als ein aufgeschlossener Landesherr, König MAXIMILIAN II., die systematischen Untersuchungen unter GÜMBEL, als geognostische Landesdurchforschung, in Auftrag gab. Nahezu 50 Jahre bis zu seinem Tode im Dienst, widmete sich GÜMBEL dieser Aufgabe. Sein geologisches Gesamtwerk, die „Geognostische Beschreibung des Königreichs Bayern“ in vier Abteilungen mit 17 geognostischen Karten im Maßstab 1:100 000, einer Sonderkarte und zahlreichen Profiltafeln erschien zwischen 1861 und 1891. Es ist bis heute ein Standardwerk zur regionalen Geologie Bayerns.

Das Werk führten GÜMBELs Nachfolger zunächst weiter, ein Abschluß war ihm jedoch nicht beschieden. Noch unvollendet wurde es im Jahre 1909 durch die erste geologische Karte des neuen, deutschlandweiten Kartenwerkes im Maßstab 1:25 000 abgelöst, das den Anforderungen des 20. Jahrhunderts besser gerecht werden konnte, aber ohne die Vorarbeit der GÜMBEL-Ära nicht denkbar gewesen wäre.

Werk und Leistung C. W. v. GÜMBELs darf man ohne Übertreibung als gigantisch bezeichnen. Wesentlich in unserem Zusammenhang ist jedoch die Tatsache, daß viele, wenn nicht sogar die meisten der Erfordernisse der modernen Zeit bereits damals definiert und auch mit den damaligen Möglichkeiten umgesetzt wurden. Es genügt eine knappe Aufzählung und der Hinweis, sich in den nachfolgenden Ausführungen an diese zu erinnern:

- systematisches Vorgehen, flächendeckend und einheitlich (heutige Generallegende!)
- Untersuchung von Aufbau und Struktur größerer geologischer Einheiten („Gebirgsmassen“) und der chemisch-mineralogischen Beschaffenheit der Gesteine („Gebirgsarten“)

- Versuch der quasi-räumlichen Darstellung der Untergrundsverhältnisse („getreues Bild in Grund- u. Aufrissen sowie Durchschnitten“)
- Ausrichtung der Untersuchungen an den Vorkommen „nutzbarer Mineralien für den Bergbau und Hüttenbetrieb, für die Feuerung, für die Gewerbe und namentlich für das Bauwesen“, definiert als „wissenschaftlich praktische“ Untersuchung (Dies haben noch die Väter des 1970 erlassenen Gesetzes über die Aufgaben des Bayerischen Geologischen Landesamtes als Quelle benutzt.)
- eine allgemein verbindliche Anleitung (Kartieranleitung)
- Vorgehen immer nur auf einen „Distrikt konzentriert und Koordinierung der Arbeiten durch einen leitenden Geognosten“ (seit 1997 „Geowissenschaftliche Landesaufnahme nach Planungsregionen“, s. WROBEL 2000)

Die Fortschritte in der Zeit zwischen GÜMBEL und der durch das 1948 gegründete Bayerische Geologische Landesamt begonnenen, modernen geologischen Landesaufnahme waren eher gering. Wissenschaftliche Fragestellungen scheinen die angewandte Orientierung der GÜMBEL-Zeit (und FLURL-Zeit) überlagert zu haben. Die geologische Landesuntersuchung im Bayerischen Oberbergamt hat in 31 Jahren nur insgesamt 42 Blätter (z. T. im Schnitt der Positionsblätter) im Maßstab 1 : 25 000 hervorgebracht. Es darf angenommen werden, daß die im Vergleich zur Vorgeschichte unselbständigere Position der geologischen Landesaufnahme hierzu ihren Teil beigetragen hat.

Die neue Selbständigkeit ab 1948 als Bayerisches Geologisches Landesamt war zu Anfang geprägt von dem Bestreben, mit kleinmaßstäbigen Karten den dringenden Nachholbedarf an flächendeckender Information über den geologischen Untergrund zu befriedigen. Hierfür steht zum einen, 1948, die sog. „Amerikanerkarte“, die im Auftrag der Militärregierung für ganz Bayern auf der Grundlage der bayerischen Blätter der Topographischen Karte des deutschen Reiches 1:100 000 erstellt wurde und auch die angewandte Geologie, insbesondere die Rohstoffgeologie berücksichtigt. Zum anderen war es die Molassekarte 1:300 000, die zwischen 1950 und 1955 in einer groß angelegten, systematischen Kartierkampagne erstellt wurde und die beginnende Exploration der Erdöl- und Erdgasvorkommen des Alpenvorlandes unterstützen sollte. Erstmals wurde dabei auch eng mit den beteiligten Firmen, also den Anwendern, zusammengearbeitet. Leitgedanken waren jeweils die rasche und flächendeckende Erfassung des gesamten Raumes für die praktische Anwendung. Überlegungen, die bereits den Arbeiten von FLURL und GÜMBEL zugrunde lagen.

Nach und z. T. bereits während dieser Übergangsphase begann die intensive Kartierung im Maßstab 1:25 000 für das neue Kartenwerk der GK 25. Bis 1970 waren bereits 115 Blätter publiziert, das ist ein Anteil von 37 % der Landesfläche, eine Quote, die danach nicht mehr zu erreichen war. Um etwa die gleiche Zeit begann am Bayerischen Geologischen Landesamt eine stärkere Berücksichtigung von angewandter Geologie und Umweltschutz (dokumentiert durch die Eingliederung des Amtes in den Geschäftsbereich des neu geschaffenen Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen), womit eine deutliche Neuorientierung in Richtung Anwendung und aktuellem Bedarf eingeleitet wurde.

## Status

Insgesamt sind (Stand Ende 1999) von 546 zu bearbeitenden bayerischen Blättern 326 fertig kartiert, davon 288 als GK 25 oder GK 50 publiziert sowie 33 in kartographischer Bearbeitung oder als druckfertiges Manuskriptblatt vorliegend (Abb. 3). Zusammen mit

älteren Positionsblättern und Gradabteilungsblättern sind für ca. 69 % der zu kartierenden Landesfläche geologische Spezialkarten verfügbar. Zusätzlich sind derzeit 52 Blattgebiete der GK 25 in geologischer Bearbeitung, davon 26 in externer Zuständigkeit. Hinzu kommen eine größere Anzahl älterer Manuskriptkarten, die wichtige, wenn auch nicht in jedem Fall modernen Anforderungen genügende Informationen bieten.

Für viele Zwecke in Planung und Umweltschutz ist auch die Geologische Übersichtskarte 1 : 200 000 (Bereich Bundesrepublik Deutschland) ausreichend, deren bayerische Anteile bearbeitet vorliegen. Die meistverbreitete und wohl meistgenutzte geologische Karte ist jedoch die Geologische Karte von Bayern 1 : 500 000 (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1996), die in 4 Auflagen seit 1954, ständig aktualisiert, inzwischen eine Auflagensumme von 60 000 erreicht hat.

## 4. Konzeption für eine moderne Landesaufnahme

### 4.1. Grundsätze

Die Anforderungen der Nutzer an die moderne geologische Landesaufnahme sind heute hoch. Entwicklungsvorstellungen und Ziele müssen sich in erster Linie an diesen hohen Anforderungen orientieren. Geologische Informationen sollen demnach flächendeckend, umfassend, aktuell, aussagekräftig, anwendungsorientiert, leicht zu interpretieren (d.h. verständlich), direkt verfügbar und selbstverständlich (auch) digital sein. Für Projekte in Praxis und Wissenschaft soll damit eine qualitativ hochwertige Informationsgrundlage verfügbar gemacht werden. Der Aufwand für eine hohe räumliche und sachliche Informationsdichte ist dabei beträchtlich. Kompromisse sind hier unabweislich, wobei die Forderung nach Qualität der Informationen letztlich alle eingangs dieses Absatzes aufgeführten Kriterien vereint. Dabei ist stets zu berücksichtigen, daß es nur selten, und dann auch nur bezogen auf einzelne Eigenschaften, möglich ist, den Gegenstand unserer Untersuchungen, den Untergrund und seine Gesteine, „in Zahlen zu fassen“. Vieles bleibt auf Dauer Interpretation und damit subjektiv. Das Grundproblem der geologischen Landesaufnahme läßt sich verkürzt mit BANDEMER (1993) als „... die Unkenntnis der eindeutig bestimmten Realität“ bezeichnen.

Zudem hat die schnelle Entwicklung der Datenverarbeitung nicht nur mehr und verbesserte Möglichkeiten für die Informations- und Wissensvermittlung zur Folge, sondern auch eine zunehmend höhere Erwartungshaltung der Nutzer. Der Fortschritt der DV-Technik – als Schlüsseltechnologie – wirkt positiv auf die Anforderungen. So müssen Konzepte, die langfristig tragfähig sein sollen und einer stabilen Weiterentwicklung zugrundeliegen, die Möglichkeiten zukünftiger Informationstechnik und Geoinformationssysteme einbeziehen. Grundvoraussetzung, um diesen Ansprüchen genügen zu können, ist in jedem Fall der ganzheitliche

---

Abb. 2. Beispiele geologischer Karten von Bayern. – Links: Geologische Karte von Bayern 1 : 500 000 (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1996), Ausschnitt Raum Weiden–Marktredwitz–Bad Berneck (Grundgebirge, Bruchschollenland, Frankenalb); hohe Informationsdichte und gute Lesbarkeit ermöglichen Anwendungen für Planungszwecke und zur geologischen Orientierung im Gelände. – Rechts: Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 8336/8436 Rottach-Egern (DOBEN 1995), Ausschnitt des Nordrandes der Nördlichen Kalkalpen südwestlich des Tegernsees/Oberbayern; detaillierte Geologie und genaue topographische Angaben mit Höhenlinien liefern wichtige Grundlagen für Wissenschaft, angewandte Geologie und Umweltschutz. ▷



Ansatz: Geoinformationen über Boden und Untergrund sind konsequent in einem integrierenden Informationssystem (Bodeninformationssystem) zu organisieren.

Inhalte, Methoden und Konzepte der geologischen Landesaufnahme und ihre Umsetzung in der praktischen Arbeit haben sich insgesamt deutlicher als bisher am Nutzer auszurichten. Nur was nützt wird verlangt und ist somit erfolgreich zu vermarkten. Eine Beschränkung auf die Erhebung nur aktuell geforderter Daten griffe allerdings zu kurz und würde die Reaktion auf neue Anforderungen erschweren. Zahlreiche Grunddaten müssen gesammelt werden, deren Nutzen einem Anwender mit projektbezogen stark eingeschränkten Ansprüchen nicht sofort erkennbar sein wird. Nur so ist aber die Kenntnis über Bau und Zusammensetzung des Untergrundes in erforderlichem Umfang zu erzielen.

Die Daten- und Informations-Lage zu verbessern, also schneller mehr Daten verfügbar zu machen, wäre allein allerdings nicht genug. Es sind vermehrt Interpretationshilfe und Vermittlung von „Modellvorstellungen“ für den Anwender vonnöten. Viele Nutzer sind keine geologischen Spezialisten. Ausführliche Erläuterungstexte, so wertvoll und notwendig sie weiterhin bleiben werden, lösen das Grundproblem des Verständnisses der geologischen Zusammenhänge nicht. Hier sind innovative Ansätze gefragt, auch im Routinebetrieb der geologischen Landesaufnahme. Auch muß geologische Landesaufnahme stärker als Fundament für das Gebäude einer ganzheitlichen geowissenschaftlichen Landesaufnahme verstanden werden. Und wie man weiß, läßt sich auf einer schwachen Gründung kein sicheres Gebäude errichten. Geologische Landesaufnahme muß daher innerhalb der staatlichen geologischen Dienste ein personeller und finanzieller Investitionsschwerpunkt sein bzw. werden. Konzeptionelle Schwerpunkte sind:

- Qualitätssicherung der Ergebnisse und Produkte der geologischen Landesaufnahme als Hauptaufgabe, an der sich alle weiteren konzeptionellen Maßnahmen orientieren
- Einbindung in eine ganzheitliche, integrierte geowissenschaftliche Landesaufnahme
- konsequente Nutzung und „Verinnerlichung“ der Datenverarbeitung und Informationstechnik
- Aufnahme- und Kartierkonzepte, die auch die gegebenen Bedingungen bei Personal und Mitteln berücksichtigen
- Neuorientierung der Produkte unter Gesichtspunkten auch des modernen Marketing und der zielgruppenorientierten Informations- und Wissensvermittlung

#### **4.2. Integrierte geowissenschaftliche Landesaufnahme**

Bislang waren einige Fachgebiete der geowissenschaftlichen Landesaufnahme, z. B. Rohstoffgeologie, Geotechnik oder Geophysik, ohne eigenständige, flächendeckende, systematische Kartierung und Geländeaufnahme mit daraus abgeleiteten Produkten im Sinne eines amtlichen Kartenwerkes. Ausnahmen sind die Bodenkunde, die wegen der aktuellen Anforderungen des Bodenschutzes die Standortkundliche Bodenkarte durch die Konzeptbodenkarte und andere Maßnahmen ersetzen mußte und die Hydrogeologie, die ein eigenständiges Kartenwerk aus personellen Gründen erst in neuerer Zeit wieder aktivieren konnte. Zu all diesen genannten Fachthemen wurden Informationen, die vielfach auf einer nur kursorischen Geländebefahrung oder auf den Kenntnissen externer Fachwissenschaftler beruhen, bislang in den Erläuterungen zur GK 25 als Kurzbeiträge publiziert.

Die Auswahl zu bearbeitender Gebiete erfolgte bisher unabhängig durch die geologische Landesaufnahme nach jeweils überwiegend geologischen Gesichtspunkten. Eine Intensivierung der geowissenschaftlichen Landesaufnahme, vor allem der angewandten Sparten, bei gleichzeitiger Konzentration der Kräfte auf ein Gebiet mit aktuellem Bedarf an geowissenschaftlicher Information und verbesserter, weil intensivierter Zusammenarbeit zwischen den Fachgebieten, war daher dringend geboten.

Im Jahre 1997 wurde am Bayerischen Geologischen Landesamt – im Sinne eines neuen Fachkonzeptes für das gesamte Tätigkeitsspektrum – ein Pilotprojekt für eine ganzheitliche geowissenschaftliche Landesaufnahme nach Planungsregionen unter der Bezeichnung „Geologischer und hydrogeologischer Infopool, Projekt Region 10 (Ingolstadt)“ gestartet (WROBEL 2000) und vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen mit beträchtlichen Finanzmitteln ausgestattet. Für die Planungsregion 10 Ingolstadt wird in einem Zeitraum von 4 bis 5 Jahren neben der geologischen Landesaufnahme auch die Landesaufnahme auf den Gebieten der Hydrogeologie, der Rohstoffgeologie, der Bodenkunde, der Geotechnik usw. durchgeführt.

Die Vorteile eines solchen Vorgehens liegen auf der Hand: Der potentielle Nutzer wird schneller, umfassender und aktueller bedient, die „Vermarktung“ der Produkte und Leistungen der geowissenschaftlichen Landesaufnahme, und damit die Öffentlichkeitswirksamkeit, ist stark verbessert. Wir sind buchstäblich näher am Kunden. Nicht gering einzuschätzen ist auch der Zügeffekt für die zukünftige Arbeit durch die Unterstützung durch zufriedene Nutzer.

Intern, aber mittelbar auch mit externer Wirkung, werden durch das Pilotprojekt das Arbeiten in fachübergreifenden Teams eingeübt, der Informationsfluß zwischen den Fachabteilungen verbessert und neue Verfahren, vor allem im Bereich der Informationssysteme, entwickelt. Synergieeffekte steigern die Effizienz und erhöhen die Qualität der Informationen.

Nach nunmehr etwa 3jähriger Erfahrung lassen sich auch die aus der Sicht der geologischen Landesaufnahme noch erforderlichen Verbesserungsmaßnahmen für das weitere Vorgehen berücksichtigen. Der Gefahr einer Vernachlässigung der bayernweiten Datenerhebung und Kartierung durch die Konzentration auf eine Region kann dabei nur durch einen ausreichenden Bestand an Stammpersonal begegnet werden.

### **4.3. Aufnahme- und Kartierkonzepte**

Grundsätzlich hat sich das bisherige Verfahren der Aufnahme und Darstellung im Kartenwerk der GK 25 mit Texterläuterungen bewährt. Anders wäre der Erfolg der klassischen geologischen Karte auch nicht zu erklären. Ein wesentlicher Nachteil der Kartierung im Maßstab 1 : 25 000 ist die Fertigstellungsdauer bis zur vollständigen Überdeckung des gesamten zu kartierenden Gebietes Bayerns (ca. 70 000 km<sup>2</sup>; s. Kap. 3). In einem Flächenstaat wie Bayern ist es auch, besonders in Anbetracht der Sparmaßnahmen der öffentlichen Hand, schwierig oder gar unmöglich, über die Erhöhung des Personalstandes allein die Fertigstellungsdauer so zu reduzieren, wie dies von der Öffentlichkeit und Politik gewünscht und auch benötigt wird. Die gesamtheitliche geowissenschaftliche Landesaufnahme nach Planungsregionen schafft eine Vielzahl von Synergieeffekten auch innerhalb der geologischen Landesaufnahme. Damit können vor allem die gestiegenen Anforderungen der Nutzer an Qualität, Vollständigkeit und adäquate Verfügbarkeit von Daten und Informationen kompensiert werden. Insgesamt sind heute große Datenmengen zu verarbeiten und rasch, umfassend und zuverlässig verfügbar zu machen.

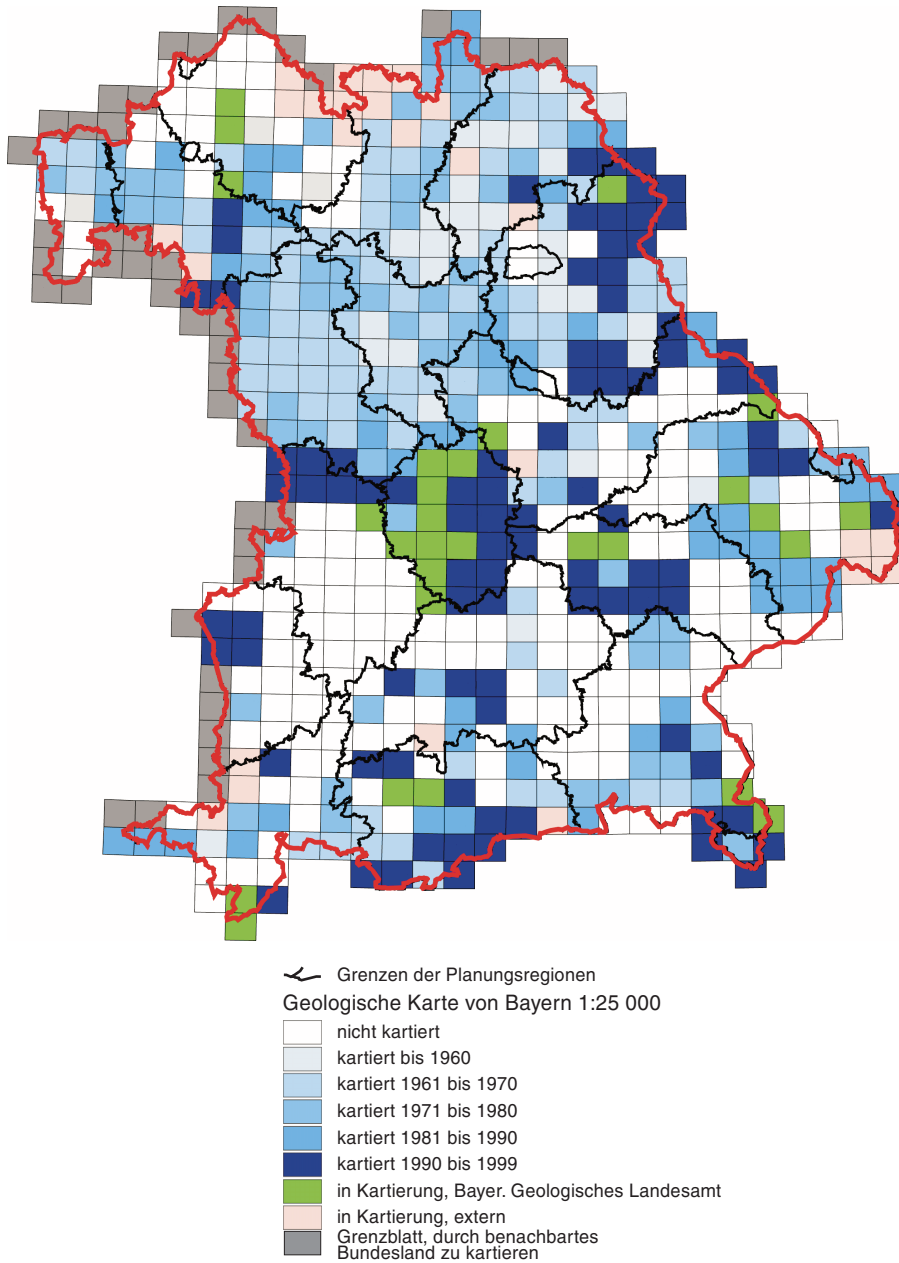


Abb. 3. Stand der geologischen Landesaufnahme in Bayern.



Um es mit Marketingbegriffen zu formulieren: Es ist zusätzlicher Aufwand erforderlich, um weiterhin die gute Positionierung der Produkte auf dem Informationsmarkt für geowissenschaftliche Untergrunddaten zu behaupten. Es müssen mittel- bis langfristig wirksame Maßnahmen ergriffen werden, die nicht nur die Produkte am jeweiligen Bedarf orientieren, also laufend verbessern, sondern auch eine Steigerung der Effizienz bei der Erstellung ermöglichen. Auch aus der „Monopolstellung“ der staatlichen geologischen Dienste bei Produktion geologischer Karten und zentral verwalteten Informationen über den Untergrund erwachsen zusätzliche Verpflichtungen zu besonderen Anstrengungen. Ausschlaggebend für die Bewertung der Daten und Informationen sind Zuverlässigkeit, Aussagewert, Aktualität und Verfügbarkeit. Zielvorgaben müssen sein:

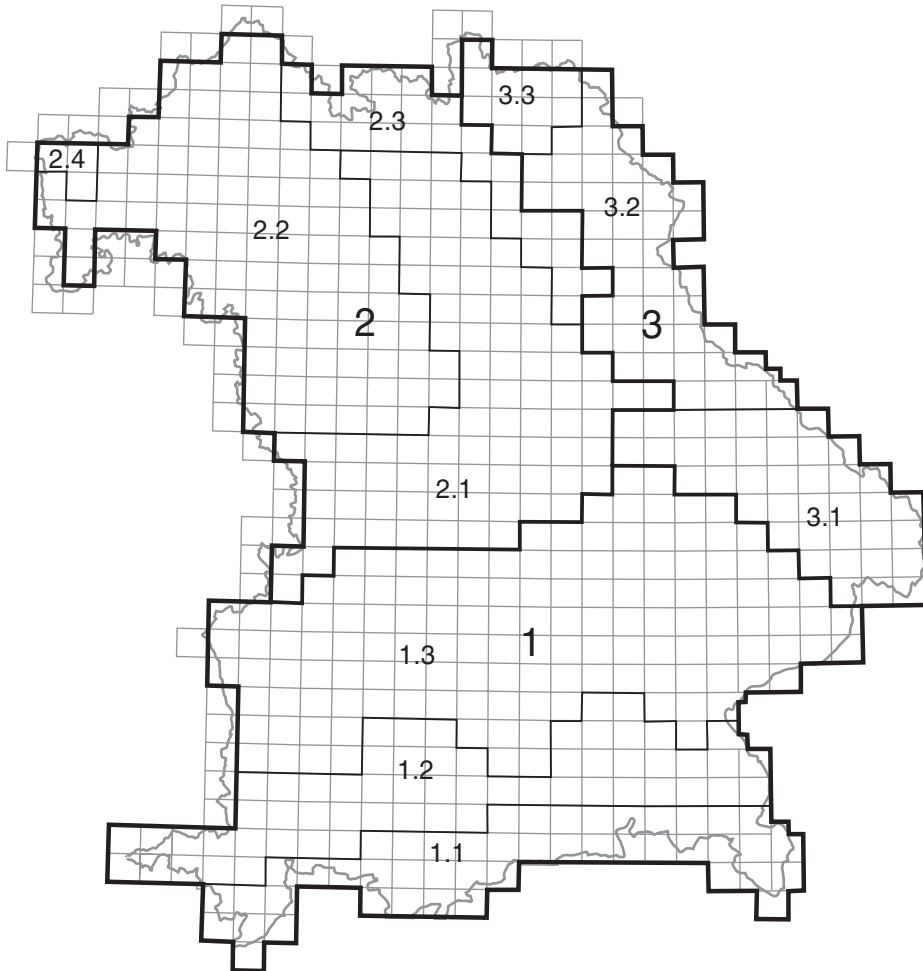
- Beschleunigung der flächendeckenden geologischen Landesaufnahme insgesamt mit dem Ziel des Abschlusses der geologischen Erstaufnahme und die Fertigstellung des Kartenwerkes GK 25
- frühzeitigere, vom Kartendruck unabhängige Bereitstellung von flächenbezogenen Daten und Informationen für die externe Nutzung
- Aktualisierung des Altbestandes des Kartenwerkes GK 25
- Verlangsamung des „informativen Alterungsprozesses“ der geologischen Karten
- vollständigere Erfassung wichtiger aktueller Aufschlüsse

Um die gesteckten Ziele zu erreichen – und zusätzlich Nachteile der integrierten geowissenschaftlichen Landesaufnahme nach Planungsregionen für das übrige Gebiet auszugleichen – sind Vorgehensweisen und Strategien erforderlich, die in ihren grundsätzlichen Teilen zwar für ganz Bayern Gültigkeit haben, jedoch für die einzelnen geologisch definierten Kartierdomänen (s. Abb. 4) angepaßt sind. Sie haben den jeweiligen Kartierungsstand, die geologische Problematik und nicht zuletzt den aktuellen Bedarf zu berücksichtigen.

Es ist zu unterscheiden zwischen räumlichen Schwerpunkten für die Neukartierung und sachlichen Schwerpunkten. Räumliche Schwerpunkte sind: das Molassebecken, d.h. der Raum zwischen Donau und Alpenrand, das Donautal und das nördlichste Bayern. Sachliche Schwerpunkte sind der tiefere Untergrund, die Quartärgeologie und die quantitative Analytik der Gesteine.

Der räumliche Schwerpunkt Molassebecken enthält ca. 50 % der bislang noch nicht kartierten Kartenblätter, das sind ca. 20 % der Landesfläche. Hauptprobleme in diesem Gebiet sind nicht allein die große noch zu kartierende Fläche, bei unzureichendem Personalstand, sondern auch die für ein homogenes Kartenwerk erforderliche, konsequent durchhaltbare lithostratigraphische Gliederung. Die zeitlich und räumlich wechselhaften Ablagerungsbedingungen im überwiegend limnisch-fluviatilen Milieu der heute oberflächennahen Molasseablagerungen erschweren die sichere Unterscheidung und deutliche Abgrenzung von kartierbaren Einheiten (vgl. DOPPLER et al. 2000). Die Erfahrungen im „Vorhaben Region Ingolstadt“ mit der Parallelkartierung eines größeren Raumes in einem Schlüsselgebiet zwischen Ost- und Westmolasse, die intensiven Kartierungen im südostbayerischen Raum und die neu angefachte wissenschaftliche Diskussion über die Bedeutung der lithologischen Gliederung im Molassebecken weisen jedoch den richtigen Weg.

Nicht zuletzt wegen der langen Dauer einer flächendeckenden Kartierung nach dem bisherigen Verfahren, sozusagen Blatt für Blatt, ist einem veränderten Verfahren in Zukunft der Vorzug zu geben: Es sind, ähnlich einem bereits in Ansätzen in der Frühzeit der modernen



### Kartierdomänen

- 1 Südbayern
  - 1.1 Bayerische Alpen und Alpenrand
  - 1.2 Jungmoränengebiet
  - 1.3 Vorlandmolasse und Altmoränengebiet
  - 2 Nordbayern
  - 2.1 Schichtstufenland Süd und Ries
  - 2.2 Schichtstufenland Nord
  - 2.3 Bruchschollenland und nördliches Albvorland
  - 2.4 Kristalliner Spessart
  - 3 Nordostbayern - Grundgebirge und Paläozoikum
  - 3.1 Bayerischer Wald
  - 3.2 Fichtelgebirge und Oberpfälzer Wald
  - 3.3 Frankenwald und Münchberger Gneissmasse
- } Außenstelle  
Marktreudwitz

Abb. 4. Gliederung Bayerns in Kartierdomänen der geologischen Landesaufnahme.

Landesaufnahme mit der sog. „Molassekartierung“ angewandten Verfahren, alle relevanten Aufschluß- und Flächeninformationen in einer gewichteten, synoptischen Darstellung in einem Übersichtsmaßstab 1: 100 000 zusammenzutragen und auf der Grundlage des Bodeninformationssystems (s. Kap. 4.4.) zu organisieren. Dabei sollten nur aussagekräftige, verlässliche Daten und Informationen ausgewählt werden, die als Referenzdaten und zur Abgrenzung und Korrelation der Kartiereinheiten über den gesamten Ablagerungsraum Bedeutung haben. Als Ergänzung zur Auswertung der bekannten Aufschlußdaten wären gezielt angesetzte Forschungsbohrungen abzuteufen und ausgewählte Schlüsselprofile aufzunehmen. Als weitere Maßnahme ist durch gezielte Flächenkartierungen (gegebenenfalls Referenzblätter der GK 25) an der Kartierpraxis ausgerichtet das bereits vorhandene lithostratigraphische Gliederungssystem zu vervollständigen. Alle diese Schritte könnten in wesentlichen Phasen in einer konzentrierten Aktion parallel durchgeführt werden. Die eigentliche Flächenkartierung würde dann anschließend im Rahmen der integrierten geowissenschaftlichen Landesaufnahme pro Region wesentlich effizienter erfolgen können. Ein im Pilotvorhaben „Region Ingolstadt“ noch nicht zu realisierender Vorlauf der, buchstäblich grundlegenden, geologischen Landesaufnahme wäre dann leichter zu erreichen. Durch Aufarbeitung und Einbindung vorhandener Kartierungsergebnisse aus dem Bereich der Hochschulen ließe sich vor allem im Bereich Südostoberbayern und Allgäu mit einem überschaubaren Mitteleinsatz und Zeitaufwand ein beträchtlicher Teil der noch unkartierten Flächen zumindest vorläufig bearbeiten.

Der Schwerpunkt „Raum nördliches Bayern“ wird vor allem durch die Einbindung von vorhandenen Fremdkartierungen bzw. deren Auswertung abgedeckt werden müssen. Auch hier wird einer verstärkten Aufnahme von Schlüssel- und Referenzprofilen, vor allem in Zusammenhang mit dem Verkehrswegebau (s. FREUDENBERGER et al. 2000), größere Bedeutung zukommen, die bisher unzureichende Flächendeckung durch die GK 25 zu überbrücken.

Der „Entwicklungsraum Donautal“ ist zusammen mit der Intensivierung der quartärgeologischen Aktivitäten, und teilweise durch die Landesaufnahme nach Planungsregionen, bereits als Aufgabe definiert. Auch hier ist, wie im Molassebecken, im Vorlauf bzw. parallel mit der flächendeckenden Kartierung durch eine synoptische Auswertung, Darstellung und Vermittlung der vorhandenen Daten dem besonderen Informationsbedürfnis in diesem Konfliktgebiet zwischen Ökonomie und Ökologie Rechnung zu tragen.

Auch der tiefere Untergrund (SCHMID 1998 b) rückt – nach einer zurückliegenden, intensiven Untersuchungsphase von mehreren Jahrzehnten durch die Erdöl- und Erdgas-Exploration und -Förderung – wiederum in den Vordergrund. Die zunehmende Inanspruchnahme des tieferen Untergrundes bis in mehrere Kilometer Teufe durch geothermische Nutzung, die Bewirtschaftung tiefer Grundwasservorkommen (Beispiel Malm unter dem Molassebecken) und die Speicherung oder Endlagerungen von Stoffen haben ein stark erhöhtes Informationsbedürfnis zur Folge. Für die konkurrierenden Ansprüche sind nachhaltige Lösungen erforderlich, die ökologische Gesichtspunkte stärker berücksichtigen. Hierzu ist die bloße Bereitstellung von Informationen über einzelne Tiefbohrungen nicht ausreichend. Es sind vielmehr gut belegte struktureologische Modelle des tieferen Untergrundes vonnöten, die ausreichend sichere Rahmenvorgaben z. B. für die erforderlichen hydraulischen Modelle oder Stoffverlagerungs-Modelle bieten.

Die Geologie der Quartärgebiete ist bereits seit einigen Jahrzehnten Schwerpunkt der geologischen Landesaufnahme. Nutzung und Bewirtschaftung der häufig an quartäre Lockersedimente gebundenen Grundwasservorkommen, die für die wirtschaftliche Entwicklung erforderlichen Massenrohstoffe Kies und Sand sowie die Abgleichung von konkurrierenden Interessen lassen den Quartärgebieten eine besondere Bedeutung zukommen. Kaum ein Ein-

griff in den Untergrund, der nicht auch das Quartär betrifft. Die Quartärgliederung ist in steter Entwicklung und ist bei allen Kartiervorhaben besonders zu berücksichtigen.

Die stoffliche Beschaffenheit der Gesteine ist ein weiterer übergreifender Schwerpunkt. Die Beurteilung von Problemstoffen bei allen Fragen des Bodenschutzes ist ohne die Kenntnis der natürlichen, lithogenen Grundgehalte nicht möglich. Die Anlage geeigneter Referenz- und Belegsammlungen, die Anwendung ständig verbesserter analytischer Verfahren und die Unterstützung der geochemischen Untersuchungen (Aufbau eines geochemischen Atlases für Bayern, s. LINHARDT 2000) sind wichtige Voraussetzungen, um den Ansprüchen des modernen Bodenschutzes gerecht zu werden.

Im Zentrum der Bemühungen hat letztlich die zügige Fertigstellung des Kartenwerkes der GK 25 von Bayern zu stehen. Zeitvorgaben, die sich aus der Hochrechnung der Kartierleistung der vergangenen 40 Jahre ergeben, werden von der Öffentlichkeit längst nicht mehr als ausreichend akzeptiert. Eine Aufstockung der personellen Kapazitäten erscheint derzeit illusorisch. Die Kartierung muß sich daher, sozusagen als erste Maßnahme, auf die vorgezogene Fertigstellung in Gebieten, in denen besonderer Informationsbedarf besteht, konzentrieren und dabei bereits vorhandene Informationen in digitaler Form unter Ausnutzung der Möglichkeiten moderner Informations- und Kommunikationstechnik (Bodeninformationssystem, Internet) bereitstellen.

In der verbesserten Zusammenarbeit mit den Hochschulen wird ein noch nicht vollständig genutztes Potential gesehen. Es sei an die hohe Beteiligung externer Geologen zu Beginn der Kartiertätigkeit am Bayerischen Geologischen Landesamt erinnert (Kap. 3, Abb. 5). Die Verhältnisse sind jedoch nicht mehr vergleichbar. Flächendeckende Kartierungen im heimatischen Umfeld stehen längst nicht mehr im Mittelpunkt von Forschung und Lehre an den Hochschulen. Hier kommt den staatlichen geologischen Diensten sicherlich eine fördernde Rolle zu, etwa direkt durch Vergabe von Kartieraufträgen mit wissenschaftlicher Zielsetzung oder mittelbar durch intensive und ausgedehnte Kartierpraktika in Zusammenhang mit laufenden Kartierarbeiten. Das Beispiel der geologischen Kartierung im Umfeld des Kontinentalen Tiefbohrprojektes in der Oberpfalz – es wurden mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Landesplanung und Umweltfragen ganze Blattgebiete der GK 25 in Auftrag gegeben – gibt einen gangbaren und erfolgreich getesteten Weg vor.

Bei den sachlichen Schwerpunkten haben zudem die Überarbeitung des GK-25-Altbestandes, seine Überführung in die digitale Form und damit Einbindung in das Bodeninformationssystem erhebliche Bedeutung. Diese Maßnahmen hängen in besonderer Weise mit Bestrebungen zusammen, den Kartenbestand weniger rasch altern zu lassen und dadurch nach Möglichkeit den Aufwand bei „verjüngenden“ Revisionskartierungen auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Die Aufgabe bedeutet nicht nur die Digitalisierung analoger Kartenvorlagen, sondern vor allem die Einarbeitung einer einheitlichen Generallegende und die Beseitigung von Inhomogenitäten im Sinne eines blattschnittfreien digitalen Kartenwerkes, einschließlich der Anpassung älterer geologischer Vorstellungen an die neuen Kenntnisse. Der Aufbau entsprechend aktualisierter Datenbestände im Informationssystem genügt allein nicht, um den in der GK 25 enthaltenen Informationsgehalt auf dem neuesten Stand zu halten. Aufwendige Nachbearbeitungen durch den Regionalgeologen werden auf absehbare Zeit erforderlich sein. Digitale Expertensysteme, die nach komplexen, wissensbasierten Regeln z. B. auch Unschärfebeziehungen berücksichtigen können, werden noch für längere Zeit unerfüllte Vision bleiben müssen.

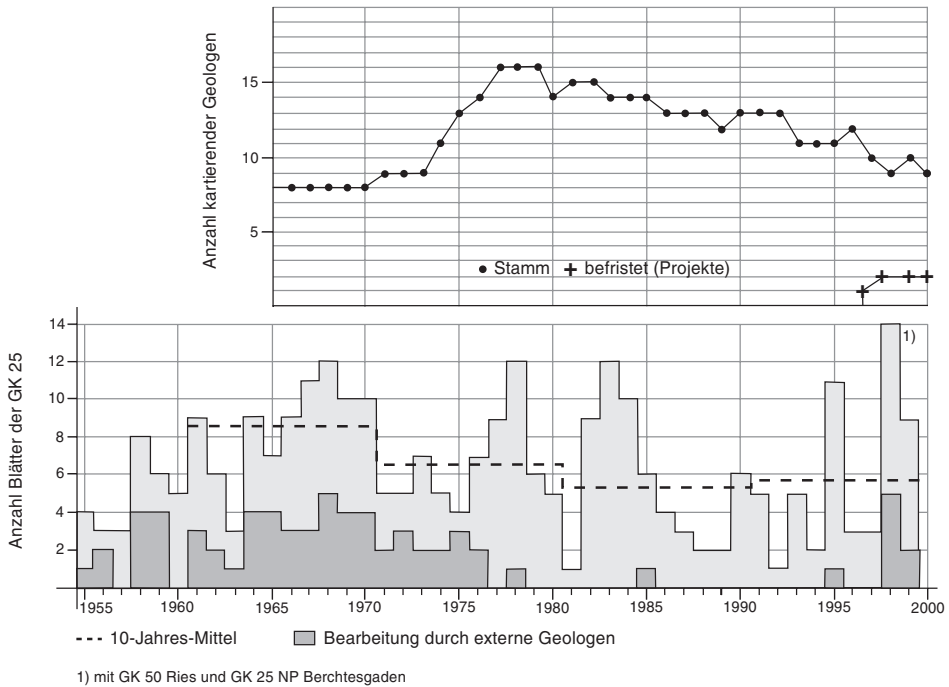


Abb. 5. Entwicklung der Kartiertätigkeit seit Beginn der modernen geologischen Landesaufnahme in Bayern.

#### 4.4. Digitale Datenverarbeitung und Informationssystem

Die Möglichkeiten der modernen Informations- und Kommunikations(IuK)-Technik zur Speicherung, Organisation, Bearbeitung, Auswertung und Visualisierung großer, komplexer Datenmengen mit Raumbezug in Geo-Informationssystemen sind seit geraumer Zeit Voraussetzung für zukunftsorientiertes Arbeiten in den Geowissenschaften. Auch für die geologische Landesaufnahme sind die Vorteile der digitalen Datenverarbeitung durchgreifend und unverzichtbar, um die erhobenen und erarbeiteten Daten zu verarbeiten und die gewonnenen Informationen zu vermitteln (LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU BADEN-WÜRTTEMBERG 1999; AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE 1999). Obschon die IuK-Technik in den staatlichen geologischen Diensten in rascher Fortentwicklung begriffen ist, bedarf es noch beträchtlicher Anstrengungen, um die vorhandenen informationstechnischen Möglichkeiten zu nutzen und effizient in die Arbeitsabläufe zu integrieren sowie den hohen Anforderungen der Geologie an die räumliche Organisation der Geodaten Rechnung tragen zu können.

Der seit mehr als einem Jahrzehnt erfolgende Aufbau des Bodeninformationssystems Bayern (BISBY) blieb nicht ohne Einfluß auf die Begriffswelt der Geologie. Die Anforderung der DV an den logischen Aufbau, die Konsistenz der Daten und die Notwendigkeit, hierarchische Ordnungsprinzipien konsequent durchzuhalten, haben zu einer Neuordnung dieser Begriffswelt geführt. Es sei hier nur auf die Einführung und laufende Ergänzung von stratigraphischen und petrographischen Schlüssellisten sowie auf die Generallegende für die im Kartenwerk der GK 25 zu erfassenden Kartiereinheiten verwiesen.

Wesentlich für die Zukunft der geologischen Landesaufnahme, wie der Geowissenschaften allgemein, ist jedoch die Notwendigkeit, in der DV nicht nur die technischen Möglichkeiten für Manipulation und Visualisierung von Daten zu sehen, sondern auch alle Arbeitsabläufe zu geologischen Fragestellungen an einer „digitalen Gesamtsicht“ zu orientieren. Dies bedeutet in der Praxis die Prüfung aller Arbeitsvorgänge auf die Anwendbarkeit digitaler Methoden und damit die Vermeidung häufiger, arbeitsaufwendiger und möglicherweise qualitätsmindernder Übergänge (Medienbrüche) von der analogen in die digitale Bearbeitungsebene und umgekehrt.

Das Bodeninformationssystem Bayern (BISBY) ist grundsätzlich nach den vereinheitlichten Vorgaben der staatlichen geologischen Dienste organisiert. Es besteht aus einem Kernsystem und Fachinformationssystemen (FIS) und ist, zumindest virtuell, Bestandteil eines umfassenden Umweltinformationssystems am Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. Die Fachinformationssysteme, so auch das FIS Geologie, gliedern sich in:

- Datenbasis (Primärdaten) mit den Aufschluß-(Punkt-)Daten und den Labor- und Meßdaten sowie den flächenbezogenen Sach- und Geometriedaten (Flächendaten)
- Bereich der Methoden zur fachlichen Interpretation und Auswertung
- Bereich der z. T. unter Anwendung von Verarbeitungsmethoden aus den Primärdaten abgeleiteten Ergebnisse und Produkte

FIS-übergreifend ist das Kernsystem mit den gemeinsam zu nutzenden Daten, den Begriffslisten etc. und den Systemwerkzeugen (genormte Methoden, GIS-Funktionen, Datenpflege, Recherche, Projektverwaltung, Statistik etc.). Eine Besonderheit der bayerischen Lösung ist die gemeinsame Datenbasis für alle FISe, organisiert in einer zentralen Datenbank (ZDB). Um den neuen Anforderungen des Bodenschutzgesetzes zu genügen, wird in den nächsten Jahren ein Systemumbau erfolgen, der unter Nutzung moderner Kommunikationsmöglichkeiten (Internet, digitale Datenträger) auch den aktiven Zugriff auf die Daten von außerhalb (etwa durch die Wasserwirtschaftsverwaltung) gestattet und den externen Zugang allgemein wesentlich verbessert.

Die gesamte Planung der geologischen Landesaufnahme für die Entwicklung und den Einsatz digitaler Verfahren, wie des Technikeinsatzes im allgemeinen, steht unter dem Motto „Vom Gelände zum Informationssystem“. Damit sollen sowohl die praktische Ausrichtung an den Arbeitsabläufen, beginnend bei der Geländeaufnahme, als auch die Ausrichtung am übergeordneten, fachübergreifenden und integrativen Informationssystem zum Ausdruck kommen. Dazwischen liegen Entwicklungs- und Anwendungsfelder, d. h. der Aufbau raumorientierter Auswertemethoden sowie die Schaffung der entsprechenden Datenstrukturen (Flächen- bzw. Ergebnis- und Produktdatenbanken) im Informationssystem. Alle auf diesem Wege liegenden Entwicklungsschritte sind, soweit sie die Umsetzung der analogen Arbeitsvorgänge betreffen, mit den derzeitigen digitalen Möglichkeiten ohne grundsätzliche Probleme auszuführen. Allerdings führen sowohl auf der fachlichen Seite als auch auf der Entwicklungsseite personelle Engpässe zu einer Realisierungsgeschwindigkeit, die oftmals vom technischen Fortschritt übertroffen wird.

Alle Entwicklungen haben vom datenschöpfenden Vorgang der Geländeaufnahme auszugehen. In diesem Tätigkeitsbereich liegen nicht nur der Beginn einer konsequenten und logisch aufgebauten „Digitalisierung“ aller nachfolgenden Arbeitsabläufe, sondern auch ein erhebliches Potential zur Steigerung von Effizienz und Datenqualität durch Verbesserung von Verfahren und Technik. Aus diesen Gründen sollen mit dem F&E-Vorhaben „Verfahrensentwicklung

für die digitale Erfassung und Verarbeitung geologischer Geländedaten – GeoKart“ in mehreren Phasen bereits die Ergebnisse der Feldtätigkeit des kartierenden Geologen unmittelbar in das Informationssystem eingebunden und die Datenerfassung und -interpretation wie auch die Orientierungs- und Dokumentationsaufgaben im Gelände unterstützt werden. Rahmenvorgaben sind neben der Ausrichtung des Datenmodells an der ZDB die Unterstützung aller geologischen Arbeitsvorgänge durch digitale Techniken und damit die Verbesserung der Arbeitsbedingungen im Gelände.

Die Erhebung und Bearbeitung im Gelände geschieht durch den Einsatz von Feldcomputern, die für die rauen Bedingungen der Kartiertätigkeit technisch ausgelegt sind, durch Einsatz des Globalen Positionierungssystems (GPS), durch digitale Bilddokumentation und nicht zuletzt durch die Vor-Ort-Verfügbarkeit vorhandener Daten aus den Archiven und deren Auswertungsmöglichkeit im Feldquartier (womit der oftmals schwierige Prozeß der Entscheidungsfindung erheblich unterstützt wird). Die räumliche Orientierung erfolgt im Display des Feldcomputers auf der originalen Grundlage der topographischen Karte, bedarfsweise gestützt durch das GPS. Die Sachdaten der zu erfassenden Geoobjekte werden in Eingabemasken, die inhaltlich mit denen der zentralen Datenbank des Informationssystems identisch sind, eingetragen (Abb. 6). Die Dateneingabe wird durch folgende Elemente des Aufnahmeverfahrens wesentlich unterstützt: Verfügbarkeit digitaler Schlüssellisten mit komfortablen Such- und Übernahmefunktionen, Möglichkeit zur Übernahme gleichbleibender Angaben als Vorgabewerte, verschiedene Plausibilitätskontrollen und Eingabeassistenten, objektbezogene Speicherung und Bearbeitungsmöglichkeit von Bilddokumenten sowie Ausführung eigener graphischer Darstellungen mit einem Skizzeneditor. Damit wird den Grundforderungen entsprochen, den Beobachtungsvorgang des Geologen im Gelände, also den wichtigsten datenschöpfenden Vorgang, nicht einzuschränken, sondern zu erleichtern sowie digitale Bearbeitungsschritte nicht unnötig ins Gelände zu verlagern.

Das Verfahren ist nach der ersten Entwicklungsphase für die Aufnahme der punktförmigen Geoobjekte einsatzbereit und in der praktischen Erprobung. Nach den Erfahrungen der an der Entwicklung beteiligten Regionalgeologen besteht kein Zweifel, daß damit der richtige Weg beschritten wurde. Die nächste Phase der Entwicklung wird die „Digitalisierung“ des eigentlichen Kartiervorgangs und die Ausweitung der sog. Feldbuchfunktionen sein.

Ein weiterer Eckstein für eine „digitale geologische Landesaufnahme“ ist die digitale Bearbeitung der im Gelände gewonnenen wie auch der im Informationssystem verfügbaren Daten und Informationen in Hinblick auf die Erstellung von Produkten. Die hierfür erforderlichen „GIS-orientierten“ Werkzeuge sollen vor allem aus der digitalen geologischen Karte zusammen mit den Daten der Aufschlußobjekte ableitbare Produkte wie geologische Profilschnitte, thematische Karten (lithologische Karte, geochemische Karte etc.), Tiefenlinienpläne für wichtige Gesteinshorizonte („Digitales Teufenmodell“) und nicht zuletzt auch die Erstellung von 3D-Untergrundmodellen ermöglichen.

Ziel aller Bemühungen ist letztlich die digitale GK 25 und ihre Begleitprodukte (s. Kap. 2). Bis zur Nutzung aller digitalen Potentiale zur Vermittlung raumbezogener Untergrunddaten ist noch ein weiter Weg. Ein erster wesentlicher Schritt ist bereits getan. Das Kartenwerk der GK 25 wird seit einigen Jahren ausschließlich mit digitalen kartographischen Methoden erstellt (GEISS et al. 2000). Damit ist eine wichtige Grundlage für den Aufbau des flächenbezogenen Datenbankbereichs im Bodeninformationssystem geschaffen. Die digitale Datenorganisation der GK 25 bedeutet einen beträchtlichen Fortschritt. Als Vorteile sind u. a. zu nennen: die bequeme inhaltliche (Recherche, Verschneidung) und formale (Maßstabsveränderung,

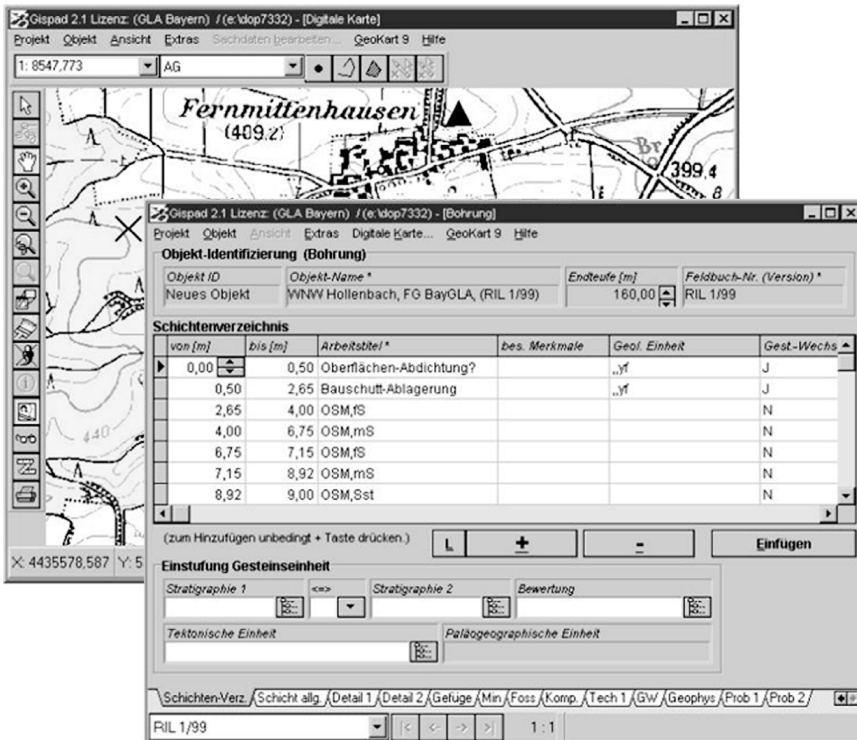


Abb. 6. Obere Abb.: Feldcomputer. – Untere Abb.: Beispiel einer Datenerfassungsmaske im F&E-Vorhaben „Digitale Erfassung und Verarbeitung geologischer Geländedaten – GeoKart“.



Ausschnitte, digitale Visualisierung) Manipulierbarkeit, die Handhabung großer Datenmengen, die (technisch) einfachere Aktualisierung von Karteninhalten und nicht zuletzt die stark verbesserte Informationsvermittlung mit den neuen digitalen Medien. (LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU BADEN-WÜRTTEMBERG 1999; AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE 1999).

Die digitale GK 25 bildet damit die Basis für die Entwicklung neuer Formen der raumbegrenzten (3D) Vermittlung von Informationen, nicht nur der geologischen Landesaufnahme. Es besteht erstmals die Aussicht, die bislang auf die zwei Dimensionen der Kartenebene plus die zusätzliche der Profilschnitte beschränkte Darstellung räumlicher Zusammenhänge und Eigenschaften zu durchbrechen und die vorhandenen Daten und Vorstellungen in dreidimensionalen Untergrundmodellen zu vermitteln (HINZE et al. 1999).

#### 4.5. Neue Produkte

Alle Ergebnisse, die von der geologischen Landesaufnahme erzielt werden, sind einem potentiellen Anwender (Käufer!) in geeigneter Weise zu vermitteln. Hierzu dienen (Informations-)Produkte in möglichst standardisierter, auch dem nichtgeologischen Fachmann verständlicher und damit nutzbarer Form. Die neuen digitalen Produkte unterscheiden sich in dieser Vorgabe nicht von den traditionellen. So sehr sich auch die Möglichkeiten durch Einsatz der digitalen Techniken bei Produktion, Darstellung und Vermittlung verbessert haben, so steigen auch auf der Seite der Konsumenten, ebenfalls gesteuert vom rasanten Fortschritt der Informations- und Kommunikationstechnik („von CeBIT zu CeBIT“), die Erwartungen an Form, Inhalt und Verwendbarkeit von Geodaten. Die Verbesserung der Quantität, der Qualität von Informationen über Geobjekte und ebenso die bessere Handhabbarkeit der Produkte wären allein nicht ausreichend, um den Ansprüchen auf Dauer zu genügen.

Neue Produkte müssen nicht nur die bisherigen Informationen besser, sondern zusätzlich auch bislang nicht darstellbare Wissensinhalte vermitteln. Hierzu gehören die Ablösung der 2D-Beschränkung (der Geologe denkt in 3 Dimensionen plus Zeit, muß sich aber in 2 Dimensionen artikulieren) durch die unmittelbare 3D-Darstellung (und -Datenorganisation) sowie die Vermittlung bislang nicht oder nur unzureichend (Erläuterungstexte) darstellbarer räumlicher Modellvorstellungen und allgemein des regionalgeologischen Expertenwissens. Zentrales Produkt bleibt auf absehbare Zeit die (digitale) GK 25, so wie wir sie heute kennen, allerdings mit beträchtlich erweiterter Datendokumentation und -präsentation sowie späterhin mit der Option der (Online-)Anbindung an die Datenbank.

Die GK 25 stellt sozusagen die Hauptsicht auf den eigentlichen Gegenstand der geologischen Landesaufnahme – den Untergrund als Körper – dar. Profilschnitte, abgeleitet wiederum aus Oberflächengeologie plus Informationen aus einzelnen Aufschlußobjekten wie Bohrungen, geophysikalische Sondierungen etc., Tiefenlinienpläne wichtiger Horizonte und abgedeckte Karten bilden weitere Sichten in verschiedener Raumorientierung. Die Einzelsichten sind topologisch und sachlich miteinander und mit dem Raummodell verbunden. In ihrer Gesamtheit verschaffen sie daher einen konsistenten räumlichen Eindruck des Untersuchungsgegenstandes. Durch weitere thematische Auswahl können die inhaltlichen Aussagen einzelner Sichten variiert, d. h. ausgewählte Parameter raumorientiert dargestellt werden. Die Vermittlung dieser Zusammenhänge erfolgt traditionsgemäß in einem Verbund verschiedener Karten- und Profildarstellungen zusammen mit der geologischen Grundkarte und ausführlichen Erläuterungen.

Ungünstig an den bisherigen Produkten ist die Vermischung von allgemeiner mit sehr fachspezifischer und angewandter mit wissenschaftlicher Information. Die unterschiedlichen Käuferkreise sind damit oft nicht gezielt genug anzusprechen. Nichtgeologische Fachleute, interessierte Laien wie auch politische Entscheidungsträger verirren sich zu rasch in fachspezifischen Details, Praktiker sind meist wenig interessiert an wissenschaftlich tiefschürfender Argumentation. Andererseits braucht die geologische Wissenschaft aber weiterhin fundierte Grundlagen für ihre Untersuchungen, deren Ergebnisse der geologischen Landesaufnahme und damit auch dem Nutzer wieder zugute kommen.

Am Bayerischen Geologischen Landesamt ist im Kartenwerk der GK 25 daher die Abtrennung von „Erläuterungen zur geologischen Karte“ von „Beiträgen zur Geologie“ vollzogen. Die Erläuterungen enthalten Hilfestellungen zur Deutung der Karteninhalte und eine kurzgefaßte Beschreibung der Kartiereinheiten und der Gesteinseigenschaften. Sie haben die Aufgabe, die GK 25 als Kulturprodukt allgemein verständlicher zu vermitteln. Die Beiträge zur Geologie enthalten ausführliche fachspezifische Angaben über die Geologie und Informationen der angewandten Fachsparten Hydrogeologie, Rohstoffgeologie, Geotechnik sowie der Bodenkunde und Geophysik. Mit solchen unterschiedlichen Darstellungsarten und gezielter Auflagenhöhe kann besser als bisher auf die Erfordernisse des Anwenders eingegangen werden.

Neben der analogen Version, gedruckte Karte und Erläuterungstext, werden digitale Datensätze auf CD-ROM und in naher Zukunft wohl auch direkt über das Internet angeboten. Die digitale Version kann zusätzlich wesentlich vollständigeres Belegmaterial, vor allem auch fotografische Bilddokumente (Aufschlüsse, Bohrkerne, Gesteinsproben), enthalten.

## 5. Ausblick

An der modernen Informationstechnik orientierte, konzeptionelle Vorstellungen sind allein nicht ausreichend, um die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts an die geologische Landesaufnahme bestehen zu können. Entscheidend sind die richtigen Umsetzungsstrategien, die einerseits eine ausreichende Wirkungskdauer besitzen, andererseits jedoch mit den derzeitigen, vielfach eingeschränkten Möglichkeiten pragmatisch zurechtkommen. Diese Herausforderungen verlangen eine verbesserte Personalstruktur und weitere Investitionen in die Entwicklung neuer, an die Bedürfnisse der geologischen Landesaufnahme angepaßter, digitaler Verfahren und Datenbankstrukturen.

Gleichzeitig muß die Landesaufnahme, konzeptionell und in der Ausführung, einen langen Atem behalten, sowohl was das Mengenziel – die flächendeckende Erfassung ganz Bayerns mit dem digitalen, blattschnittfreien Kartenwerk – als auch was die Qualitätssicherung der Verfahren und Produkte angeht. Letztere ist keineswegs allein eine Frage des Technikeinsatzes!

Entscheidend wird sein, ob es der geologischen Landesaufnahme gelingt, die ihr zukommende Bedeutung als eigenständige Aufgabe – aber als Basis einer ganzheitlich verstandenen geowissenschaftlichen Landesaufnahme – vor den Anwendern und den politischen Entscheidungsträgern zu behaupten und weiter auszubauen. Weiterhin verstärkte Publizität zur Vermittlung der Unverzichtbarkeit der geologischen Landesaufnahme für den Boden- und Umweltschutz tut not.

Hierzu ist sicherlich auch eine über die übliche, mittel- bis langfristige Fachplanung hinausgehende Vision als langfristige Zielvorgabe nützlich. Was würde sich da besser eignen als die Vorstellung, der Regionalgeologe könnte seine Kenntnis über den Gegenstand seiner Untersuchungen, den geologischen Untergrund (ein sehr komplexes räumliches Objekt mit zusätzlich zeitlicher Dimension), in wirklichen, aktiven, dreidimensionalen und detailreichen Modellen darstellen und damit auch räumliche Vorstellungen über Struktur und Eigenschaften des Untergrundes vermitteln, für die es bislang keine adäquaten visuellen oder verbalen Ausdrucksmittel gab. Die Aussichten, diese Vision auch Wirklichkeit werden zu lassen, waren nie besser als heute.

## 6. Literatur

- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE (1999): Geologische Kartieranleitung – Teil A: Textband. – Unveröff. Ms.: 118 S., Hannover.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996): Geologische Karte von Bayern 1: 500 000. – 4. Aufl., mit Erl., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1998): 50 Jahre im Dienst der Umwelt – Bayerisches Geologisches Landesamt 1948–1998. – 140 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BANDEMER, H. (1993): Unkenntnis und Wahrscheinlichkeit. – Beitr. Math. Geol. Geoinformatik, **5**: 1–5, Köln.
- DOBEN, K. (1995): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 8336/8436 Rottach-Egern. – München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DOPPLER, G., PÜRNER, Th. & SEIDEL, M. (2000): Zur Gliederung und Kartierung der bayerischen Vorlandmolasse. – *Geologica Bavarica*, **105**: 217–241, München. – [Dieser Bd.]
- FRANK, H. (1998): Methoden und Konzepte für eine moderne geologische Landesaufnahme in Bayern. – *Terra Nostra*, **98** (3): V 81–V 82, Köln (Alfred-Wegener-Stift.).
- FRANK, H. & GRUNDMANN, G. (1993): Die Sammlungen MATHIAS FLURLS – Geschichte, Bedeutung und Bestand. – In: LEHRBERGER, G. & PRAMMER, J. [Hrsg.]: MATHIAS VON FLURL (1756–1823) – Begründer der Mineralogie und Geologie in Bayern. – 302–316, Straubing (Gäubodenmus.).
- FREUDENBERGER, W., FRITZER, Th. & GEIGER, A. (2000): Der Keuper in Kernbohrungen bei Coburg. – *Geologica Bavarica*, **105**: 137–200, München. – [Dieser Bd.]
- GEISS, E., FRANK, H., MEHREN, M. & SCHNEIDER, A. (2000): Die Digitale Geologische Karte von Bayern – Grundsätze, Entwicklungen und Stand der digitalen Kartographie. – *Geologica Bavarica*, **105**: 49–61, München. – [Dieser Bd.]
- HINZE, C., SOBISCH, H.-G. & VOSS, H.-H. (1999): Spatial Modelling in Geology and its Practical Use. – *Math. Geol.*, **4**: 51–60, Dresden.
- LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU BADEN-WÜRTTEMBERG (1999): Anwendung geowissenschaftlicher Informationssysteme am Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg. – 83 S., Freiburg i. Breisgau (L.-Amt Geol. Rohst. Bergbau Baden-Württ.).
- LINHARDT, E. (2000): Gehalte umweltrelevanter Spurenelemente in Gesteinen der Region 10 (Ingolstadt). – *Geologica Bavarica*, **105**: 413–430, München. – [Dieser Bd.]
- SCHMID, H. (1995): Geologische Landesaufnahme – aktuelle Notwendigkeit und Möglichkeiten der Beschleunigung. – *Z. angew. Geol.*, **41**: 106–111, Hannover.

- SCHMID, H. (1998 a): Gegenwärtige Aufgaben der Geologischen Landesämter und geologischen Dienststellen. – In: HÄNEL, R. & HOMILIUS, J. [Koord.]: Rechtsgrundlagen und Aufgaben der Staatlichen Geologischen Dienste in der Bundesrepublik Deutschland. – Geol. Jb., **G 3**: 32–48, Hannover.
- SCHMID, H. (1998 b): Geologische Forschung für Ökonomie und Ökologie – Anforderungen an die Geowissenschaften im Lauf der Zeit aus der Sicht eines Geologischen Landesamtes. – Terra Nostra, **98** (3): V 305–V 306, Köln, (Alfred-Wegener-Stift.).
- SCHMID, H. (2000): 150 Jahre staatlicher Geologischer Dienst in Bayern – Wissenschaft von der Erde zum Nutzen für alle. – Geologica Bavarica, **105**: 5–17, München. – [Dieser Bd.]
- STREIT, R. (im Druck): Der Beginn der amtlichen geologischen Landesaufnahme in Bayern und die Veröffentlichung ihrer Ergebnisse. – München (PFEIL).
- VIDAL, H. (1974): 123 Jahre geologisch-bodenkundliche Landesuntersuchung in Bayern – 25 Jahre Bayerisches Geologisches Landesamt. – Geol. Jb., **A 15**: 101–114, Hannover.
- VIDAL, H. (1985): Die Geologischen Dienste der Bundesrepublik Deutschland – Mittler zwischen Staat, Forschung, Lehre und Wirtschaft. – Z. Dt. geol. Ges., **136**: 23–68, Hannover.
- WROBEL, J.-P. (2000): Geologischer und hydrogeologischer Infopool, Projekt Region 10 (Ingolstadt) – ganzheitliche geowissenschaftliche Landesaufnahme. – Geologica Bavarica, **105**: 63–71, München. – [Dieser Bd.]

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 13. 3. 2000.

# Die Digitale Geologische Karte von Bayern – Grundsätze, Entwicklung und Stand der digitalen Kartographie

Von ERWIN GEISS, HORST FRANK, MARIO MEHREN und ALFRED SCHNEIDER

Mit 3 Abbildungen

Schlüsselworte: Geowissenschaftliche Karte – digitale geologische Karte – Bodeninformationssystem

Kurzfassung: Die geologische Manuskriptkarte ist das Ergebnis eines vielschichtigen Aufnahme- und Interpretationsprozesses durch den Geländegeologen. Um den hohen Informationsgehalt dieser Karte verständlich an den Kartennutzer weiterzuvermitteln, ist ein erheblicher kartographischer Aufwand erforderlich. Der Arbeitsgang zur Erstellung moderner, digitaler geologischer Grundkarten wird geschildert. Das Ergebnis ist einerseits eine hochwertige gedruckte Karte, andererseits eine digitale Karte als Teil eines integrierten Bodeninformationssystems. Künftige Entwicklungen werden aufgezeigt.

## The Digital Geological Map of Bavaria – principles, development and present status of the digital cartography

Keywords: geoscientific map – digital geological map – soil information system

Abstract: The geological manuscript map is the result of a complex process of surveying and interpretation done by the field geologist. In order to transmit the high information content of this map to the map user a considerable cartographic expenditure has to be applied. The present working procedure for the construction of geological base maps is described. The result is a high-quality printed map as well as a digital map as part of an integrated soil information system. Future trends are presented.

### Inhalt

1. Einleitung .....	50
2. Geologische Karte und topographische Grundlage .....	50
3. Arbeitsmethoden und Produktionsverfahren zur Herstellung digitaler geologischer Karten – von der Manuskriptkarte zum Druck .....	51
4. Die digitale geologische Karte im Informationssystem .....	59
5. Ausblick .....	60
6. Literatur .....	60

---

Anschrift der Verfasser: Dr. HORST FRANK, Dr. ERWIN GEISS, MARIO MEHREN und ALFRED SCHNEIDER, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstr. 128, D-80797 München.

## 1. Einleitung

Die Geologische Karte von Bayern im Maßstab 1:25 000 (GK 25) ist das wichtigste Produkt zur Darstellung der Ergebnisse der geologischen Landesaufnahme. Sie ist die Projektion einer durch den Kartiervorgang gewonnenen, räumlichen Vorstellung über den geologischen Aufbau des Untergrundes in die Kartenebene – ein zweidimensionales Modell der räumlichen Wirklichkeit.

Die in der GK 25 niedergelegten Kartiererergebnisse stellen ein sehr dichtes Inventar geologischer Parameter dar, deren lesbare Darstellung in gedruckten Karten eine aufwendige Bearbeitung durch speziell geschulte Kartographen erfordert. Voraussetzungen, die am Bayerischen Geologischen Landesamt (GLA) seit Beginn der modernen geologischen Landesaufnahme und der Erstellung der GK 25 in idealer Weise gegeben sind und die auch entscheidend waren für eine rasche und erfolgreiche Entwicklung der digitalen geologischen Karte.

## 2. Geologische Karte und topographische Grundlage

Eine präzise topographische Kartengrundlage mit Darstellung des Höhenreliefs durch Höhenlinien ist die notwendige Voraussetzung für den kartierenden Geologen, sich im Gelände zu orientieren und die gewonnenen Erkenntnisse adäquat darzustellen. Entscheidend für die Entwicklung geologischer Karten seit 200 Jahren war daher die zunehmende Verbesserung der topographischen Kartengrundlagen. Erst die topographische Karte im Maßstab 1:25 000, die eine genauere Darstellung der Geländemorphologie beinhaltet, ermöglichte gegen Ende des vorigen Jahrhunderts auch eine ausreichend genaue räumliche Orientierung im Gelände und dadurch auch eine adäquate Modellierung der geologischen Erkenntnisse. Maßstab und Art der Geländedarstellung der topographischen Karte 1:25 000 sind bis heute Grundlage für die geowissenschaftliche Landesaufnahme nicht nur in Bayern. Durch die Verbindung des geowissenschaftlichen Inhalts mit der Morphologie des Geländes ist eine, wenn auch beschränkte, dreidimensionale Auswertung möglich. Über die stratigraphische Gliederung der Kartiereinheiten wird mittelbar auch die zeitliche Dimension berücksichtigt.

Andererseits stellt diese enge Verknüpfung der geowissenschaftlichen Fachkartierung mit dem Stand der topographischen Karte zum Aufnahmezeitpunkt für digitale Karten ein erhebliches Problem dar. Während bei der traditionellen Karte Topographie und Fachinhalt untrennbar miteinander verbunden waren, lassen sich in einem digitalen Informationssystem jederzeit „alte“ geologische Kartierungen mit neuen (ggf. inkompatiblen) Bearbeitungsständen der topographischen Situation verknüpfen. Um den Anwender auf diese Problematik hinzuweisen, ist die sorgfältige Dokumentation aller Erfassungsparameter erforderlich (Metadatenkatalog, s. Kap. 4).

Traditionell besteht ein geologisches Kartenwerk aus drei wesentlichen Teilen: den kartierten geologischen Objekten in Form von Flächen, Linien und Punkten, der zur Darstellung dieser Objekte verwendeten Abbildungsvorschrift (Legende) sowie den schriftlichen Erläuterungen. Während kartierter Inhalt und Legende eine Einheit – die Karte – bilden, sind die Erläuterungen ein für das geologische Gesamtverständnis eines Gebietes zwar unabdingbarer, aber dennoch getrennter Teil. Hier finden sich zum Verständnis der Karte und der Geologie des kartierten Bereiches wesentliche weitere Informationen: Beschreibungen von Lagerungsverhältnissen und Aufschlüssen, Skizzen, Fotos, Analysen, Statistiken, Interpretationen, Modelle. Letztlich sind es vorwiegend die Inhalte der Erläuterungen, die dem Anwender die Mehrdi-

mensionalität des Untersuchungsgebietes in stofflicher, zeitlicher und räumlicher Hinsicht weiter erschließen.

Bereits zu Beginn der systematischen Landesaufnahme in Bayern vor 150 Jahren wurde versucht, durch zusätzliche vertikale Schnitte eine räumliche Modellvorstellung über den Aufbau des Untergrundes zu vermitteln. In der Folgezeit wurden die Methoden verfeinert. Vor allem in Bergbau, Lagerstättenkunde und Geophysik, d. h. Arbeitsfeldern, die sich ausschließlich mit dem Untergrund befassen, wurden quasi 3D-Darstellungen unverzichtbar.

Erst mit den Fortschritten der digitalen Datenverarbeitung eröffnen sich neue Möglichkeiten der Darstellung der Geländebefunde und Bohrungsinformationen in einem räumlichen Gesamtmodell des Untergrundes. Die geologische Karte wird zum zentralen Produkt räumlicher geowissenschaftlicher Informationssysteme (Bodeninformationssystem Bayern; s. auch FRANK et al. 2000).

Eine geologische Karte ist im Gegensatz zur topographischen Karte immer Interpretation. Die topographische Karte beschreibt den Ist-Zustand und kommt auch ohne Erläuterungen aus. Veränderungen bei Neuauflagen in topographischen Karten basieren in der Regel auf realen Veränderungen in der stofflichen Welt. Änderungen in der geologischen Karte hingegen können zwar ebenfalls auf Veränderungen in der realen Welt zurückzuführen sein, wie beispielsweise die Neuanlage oder Verfüllung von Gewinnungsstellen von Rohstoffen, oft basieren sie aber auf Änderungen in der Kenntnis der „Außenwelt“ (neue Aufschlüsse, Bohrungen) oder aber auf grundlegenden Änderungen in der Interpretation der Befunde.

Alle Darstellungsprobleme der klassischen Kartographie (Signaturierung, Generalisierung) sind in der geologischen Karte ebenfalls präsent, hinzu kommen aber noch weitere Herausforderungen:

Eine kartierte, mit einer einheitlichen Signatur belegte geologische Fläche stellt in der Regel nur bezüglich eines Merkmals eine homogene Einheit dar (z. B. stratigraphisches Alter). Innerhalb dieser Fläche können bezüglich anderer Eigenschaften erhebliche Unterschiede bestehen (Fazies, Lithologie, Mächtigkeit ...). Auch die Eigenschaften der diese Fläche umgebenden Grenzlinien können äußerst unterschiedlich sein und sich sogar entlang des Linienverlaufs ändern (Kontakte, Übergänge, Genauigkeit der Kartierbarkeit ...). Während diese Tatsachen jedem Kartierer bewußt sind, haben sie doch unmittelbaren Einfluß auf die digitale Umsetzung der Ergebnisse, da sogenanntes „unscharfes Wissen“ DV-technisch immer noch sehr schwer adäquat abzubilden ist.

Geologische Karten sind damit äußerst komplexe Informationsobjekte. Sie stellen hohe Anforderungen an den aufnehmenden Geologen, den darstellenden Kartographen und den interpretierenden Nutzer.

### **3. Arbeitsmethoden und Produktionsverfahren zur Herstellung digitaler geologischer Karten – von der Manuskriptkarte zum Druck**

Der erste Schritt beim Übergang von der Manuskriptkarte des Geologen zur digitalen kartographischen Bearbeitung ist die Interpretation der komplexen und zum Teil mehrschichtigen Manuskriptblatt-Information durch den bearbeitenden Kartographen. Das Ziel eines graphischen Manuskriptes ist es, eine Situation oder einen Sachverhalt so darzustellen, daß alle qualitativen und quantitativen Aussagen ohne besondere Rücksichtnahme auf zeichentheore-

tische Ansätze (Semiotik) und auf Mittel graphischer Gestaltung eindeutig in einer zweidimensionalen Umgebung zu erkennen sind (Abb. 1 oben).

Erwartet werden darf neben der Richtigkeit der erfaßten Daten die geometrische Genauigkeit der Manuskripteinträge. Bedingt durch die Übereinstimmung von Manuskriptkartenmaßstab und Endmaßstab der gedruckten Karte ergeben sich hier erste Konflikte bei der zeichnerischen Wiedergabe der Geländedaten. Mit graphischem Geschick des Kartierers und frühzeitigem Erfahrungsaustausch mit dem bearbeitenden Kartographen können diese umgangen werden. Auch wenn in absehbarer Zukunft Geländedaten digital erfaßt und die Manuskriptkarten als graphische Rohdaten übermittelt werden, ist die Berücksichtigung der darstellerischen Möglichkeiten zum Zeitpunkt der Datenerhebung von großer Bedeutung.

Ist nach den ersten Stufen der Kommunikation zwischen Kartierer und Kartograph die Manuskriptkarte eindeutig interpretiert, kann der Prozeß der kartographischen Aufbereitung beginnen. Der Kartograph setzt die Informationen der Manuskriptkarte mittels der in der entsprechenden Legende festgelegten Symbolisierung und Kartographik so um, daß sich dem Kartenleser der Inhalt der geologischen Karte eindeutig erklärt.

In den Prozeß der Informationsaufbereitung fließen eine Reihe von Gesetzmäßigkeiten mit ein. Begriffe wie Verständlichkeit, Lesbarkeit, übersichtliche Gestaltung und Eindeutigkeit sind nur einige Grundsätze, die über den Erfolg der Informationsübertragung zum Nutzer der Karte entscheiden (HAKE 1975). Für den Ablauf der kartographischen Bearbeitung bedeutet dies, daß die Wahl geeigneter Darstellungsformen bereits vor Beginn der digitalen Geometrierfassung erfolgen muß, weil mit ihr eine Attributierung und damit eine Festlegung für die spätere Datenorganisation erfolgt.

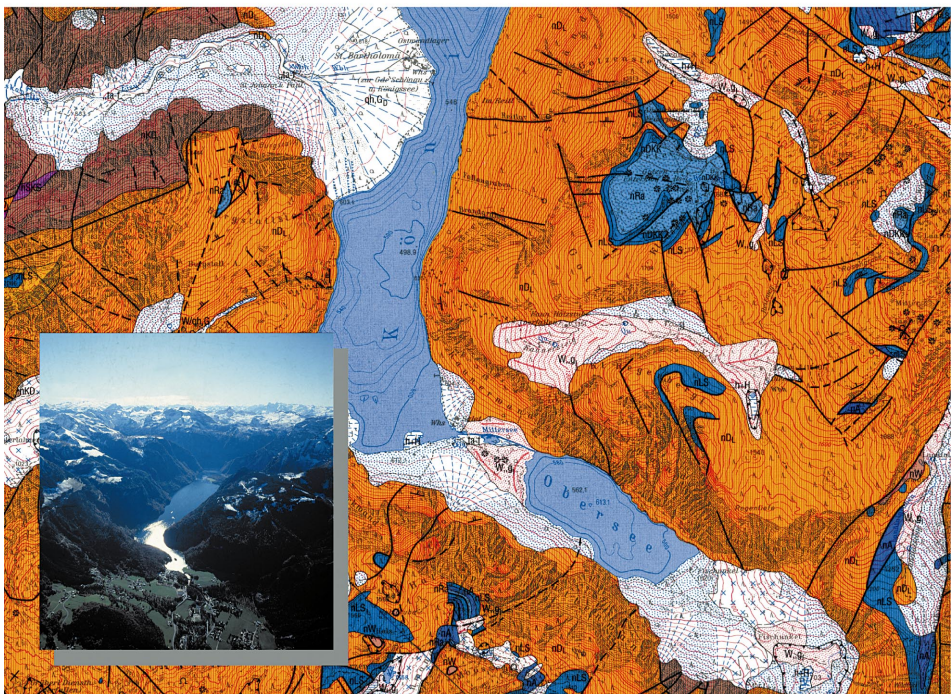
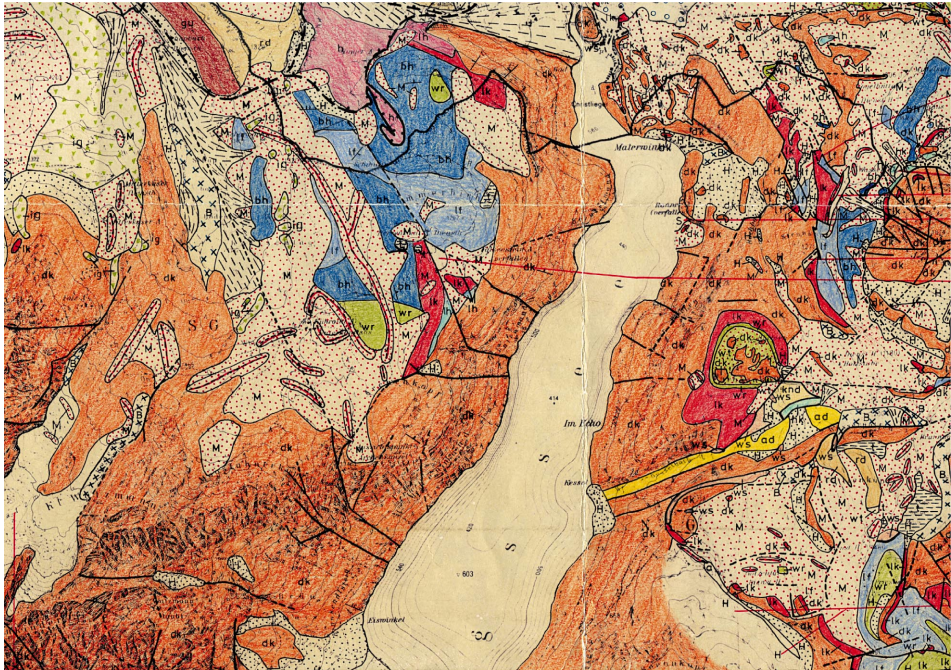
Die Daten aus der geologischen Kartierung sind vielfältig. Sie können punktförmig, linear oder flächenhaft sein und dienen alle der Beschreibung eines geologischen Raummodells. Dabei handelt es sich sowohl um qualitative Angaben (welche Schicht oder geologische Gesteinseinheit liegt wo?) als auch um quantitative Angaben. So bestimmt beispielsweise die in die Kartenebene projizierte Ausstrichbreite einer geologischen Schicht den Grad ihrer Erfäßbarkeit und Darstellbarkeit. Ab einem Mindestwert ist eine Einheit als Fläche darstellbar; sehr geringmächtige, aber wichtige Vorkommen wie Bänke oder Leithorizonte können jedoch nur noch als Linie erscheinen. Qualitative und quantitative Angaben müssen bereits vorab vom bearbeitenden Geologen einer thematischen Generalisierung unterzogen werden, denn nicht alle in der Natur vorgefundenen Informationen sind im Maßstab 1 : 25 000 darstellbar.

Neben den substantiellen Angaben Qualität und Quantität müssen auch statische und dynamische Einträge (z. B. Streich- u. Fallzeichen, Strömungs- oder Transportrichtungen) in geeigneter Weise in der Karte wiedergegeben werden.

Als Hilfsmittel zur Darstellung der bisher angesprochenen Karteninhalte stehen bestimmte Bausteine zur Verfügung. Die einfachsten davon sind Punkte, Linien und Flächen. Darüber hinaus kommen zusammengesetzte Zeichen oder Signaturen und Schrift zur Anwendung. Graphische Variablen sind hierbei Größe, Form, Farbe, Füllung, Tonwert oder Richtung. Alle diese Bausteine müssen unter Beachtung wesentlicher graphischer Gestaltungsgrundsätze auf ihre Eignung für die jeweilige thematische Darstellung geprüft werden und dies jeweils vor

Abb. 1. Die Digitale Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000. – Oben: Ausschnitt aus der Manuskriptkarte „Nationalpark Berchtesgaden“. – Unten: Benachbarter Ausschnitt aus der digital produzierten, gedruckten Karte. ▷





dem Hintergrund der Visualisierung über der topographischen Grundinformation, die für sich alleine genommen schon eine komplexe Karte darstellt (Abb. 1 unten).

Basierend auf dieser zum größten Teil bereits in den klassischen (früheren) kartographischen Produktionsverfahren berücksichtigten Produktionsweise begann im GLA zu Beginn der 90er Jahre das digitale Zeitalter der Kartenherstellung. Die Entwicklung graphischer Systeme war in dieser Zeit soweit vorangekommen, daß große Datensätze in echter Koordinatenumgebung erfaßt, verarbeitet und abgespeichert werden konnten. Ein weiterer Vorteil war die hybride Verarbeitung von Vektor- und Rasterdaten. Solche, als geographische Informationssysteme (GIS) bekannten Programme bieten in der Regel einen großen Funktionsumfang für wissenschaftliche Auswertungen, dienen aber erst in zweiter Linie der Herstellung anspruchsvoller graphischer Ausgaben. Das bedeutet, daß gute kartographische Lösungen nur mit erheblichem individuellem Engagement der Bearbeiter möglich sind, ohne das eine Detailtreue und ein Qualitätsstandard, der mit den bisher konventionell erstellten Karten vorgegeben war, nicht erreichbar sind.

So ist es der Kartographie im GLA nach relativ kurzer Zeit gelungen, ein erfolgreiches Verfahren zur digitalen Kartenherstellung zu entwickeln, ohne für bestimmte Arbeitsschritte auf andere Systeme ausweichen zu müssen. Die bisherigen hohen Qualitätsstandards konnten gehalten und im Einzelfall sogar übertroffen werden.

Der erste Versuch, eine geologische Karte in digitaler Form zu erstellen, fand im Laufe des Jahres 1993 mit der Software ArcInfo, einem GIS der Firma ESRI, statt, das 1991 im GLA eingeführt wurde. Die konventionell erstellten Originale der Grenzlinien der Geologischen Karte von Bayern 1:500 000 wurden zunächst extern gescannt und vektorisiert, die anschließende Weiterverarbeitung bis zur Plotausgabe der Gesamtkarte erfolgte in der Kartographie des GLA. Dabei wurden grundlegende Techniken entwickelt.

Mit dem Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben „Computergestützte Geologische Karte von Bayern im Maßstab 1:25 000“ wurde Ende 1993 die routinemäßige digitale Kartenproduktion vorbereitet. Die erste vollständig digital erstellte Karte des geologischen Grundkartenwerkes GK 25 war das Blatt Nr. 7234 Ingolstadt (JERZ & SCHMIDT-KALER 1995).

Um eine genaue Orientierung im Gauss-Krüger-Koordinatensystem zu erreichen, wurden zunächst die hochaufgelösten, farb- bzw. ebenengetrennten topographischen Rasterdaten des Bayerischen Landesvermessungsamtes eingelesen und auf die Sollwerte der Eck-Koordinaten des Blattes georeferenziert. Außerdem war eine Nachbearbeitung der Rasterdaten notwendig, um feinlinige Kartenblattbegrenzungen und optimale Passer (insbesondere zwischen Gewässerkonturen und -deckern) zu gewährleisten.

An den thematischen Daten der Geologie wurden verschiedene Verfahren der Datenerfassung getestet. Die Handdigitalisierung am Digitalisierertisch wurde als zu aufwendig erkannt und schon sehr bald durch ein automatisches Verfahren ersetzt. Die Hochzeichnung der einzelnen Informationsebenen der Manuskriptkarte mit anschließendem Einscannen auf einem großformatigen Scanner (Auflösung 800 dpi) und automatische Vektorisierung der Rasterdaten boten viele Vorteile.

Dieses Verfahren setzte aber voraus, daß qualitativ hochwertige Vorlagen existierten, wie sie nur mit Tuschezeichnungen auf Folie oder Schichtgravur erzielt werden konnten. Die Erstellung solcher Vorlagen war jedoch derart zeitintensiv, daß Alternativen gesucht und gefunden wurden.

Mittlerweile ist eine neue Datenerfassungsmethode etabliert worden, bei der die Manuskriptkarte farbig eingescannt wird und der kartographische Bearbeiter nach der Georeferenzierung am Bildschirm den komplexen Inhalt interpretiert, gliedert und schrittweise erfaßt. Diese Vorgehensweise ist wesentlich zeitsparender und damit wirtschaftlicher. Der Aufwand der Punkt-für-Punkt Erfassung erscheint auf den ersten Blick zwar relativ hoch, dafür entfällt aber der komplette Arbeitsschritt der Scanvorlagenherstellung sowie das nach der automatischen Vektorisierung unvermeidliche Überarbeiten der von der Software fehlerhaft interpretierten Bildpartien. Die Fehlinterpretationen steigen erfahrungsgemäß mit nachlassender Vorlagenqualität extrem an.

Nachdem die Topologien der erfaßten Punkt-, Linien- und Flächendaten aufgebaut sind, erfolgt die Attributierung. Dabei werden in der Datenbank an jedes Objekt vorher festgelegte Datenfelder angehängt, in die dann Sachdaten eingetragen werden. Dies können Namen und Beschreibungen, aber auch Identifikationsnummern oder geologische Kürzel sein, mit deren Hilfe die Grafikelemente anschließend signaturiert werden. Die Codes bei der Attributierung sind für alle Karten standardisiert, um die Einheitlichkeit bei einer künftigen blattschnittfreien Darstellung zu gewährleisten.

Ein weiterer wichtiger Beitrag zur Homogenität und Integrität der Daten ist die einheitliche Benennung graphischer Datenbestände bei der Kartenproduktion. Ergänzend dazu bietet die Mitführung von Metadaten allen Nutzern eine hohe Datentransparenz (s. Kap. 4).

Im Laufe der Zeit sind umfangreiche Symbolkataloge entstanden (Abb. 2, 3), aus denen die Grafikelemente der Karten (Punkte, Linien, Flächen und Texte) bemustert werden können. Die Kataloge sind erweiterbar und wachsen parallel zum Informationsschatz der geologischen Kartierung, also im Prinzip mit jeder Karte.

Einen besonders großen Umfang nehmen dabei die Tabellen der Flächenfarben und -muster ein. Sie werden parallel zur Generallegende der GK 25 und GK 50 entwickelt und beinhalten für jede auf digitalen Karten bisher veröffentlichte geologische Einheit eine individuelle und gut unterscheidbare Flächenfarbe, oft mit Flächenmustern (sogenannten Übersignaturen) ergänzt.

Abgespeichert werden Flächenfarben und -muster in ArcInfo-Shadesets, die softwarebedingt jedoch nur begrenzt aufnahmefähig sind. Aufgrund der großen Anzahl bisher bekannter und noch zu erwartender (weil bisher nicht erfaßter) geologischer Einheiten wurde daher die Generallegende der GK 25/50 von Bayern in 12 etwa gleich große Bereiche aufgeteilt. Analog dazu wurden 12 Shadesets angelegt, in denen sich die visuellen Umsetzungen der aktuell zur Bearbeitung kommenden Einheiten dieser Bereiche wiederfinden.

Einen vergleichsweise hohen Aufwand stellt die Generierung der Kartenlegende dar. Ihr Umfang hängt vom Informationsgehalt der Karte ab und ist sehr individuell. Daher hat sich hier auch noch kein brauchbares automatisches Verfahren etabliert.

Sind alle Ebenen der geologischen Information einschließlich aller Profildarstellungen bearbeitet, erfolgt die Signaturierung der Kartenobjekte über Referenztabellen. Dabei werden den Datenbank-Codes eindeutige graphische Elemente zugewiesen. Das geschieht in der Regel innerhalb eines selbsterstellten Programms, das die gesamte Erzeugung der Druckerdatei steuert, wobei jetzt auch den Themadaten die topographischen Grunddaten hinterlegt werden.

Das Ergebnis ist ein erster Korrekturplot für die fachliche und kartographische Überprüfung. Sind alle Korrekturen, Änderungen und Ergänzungen eingearbeitet, können aus den neu berechneten Gesamtdaten Farbauszüge gerechnet werden.

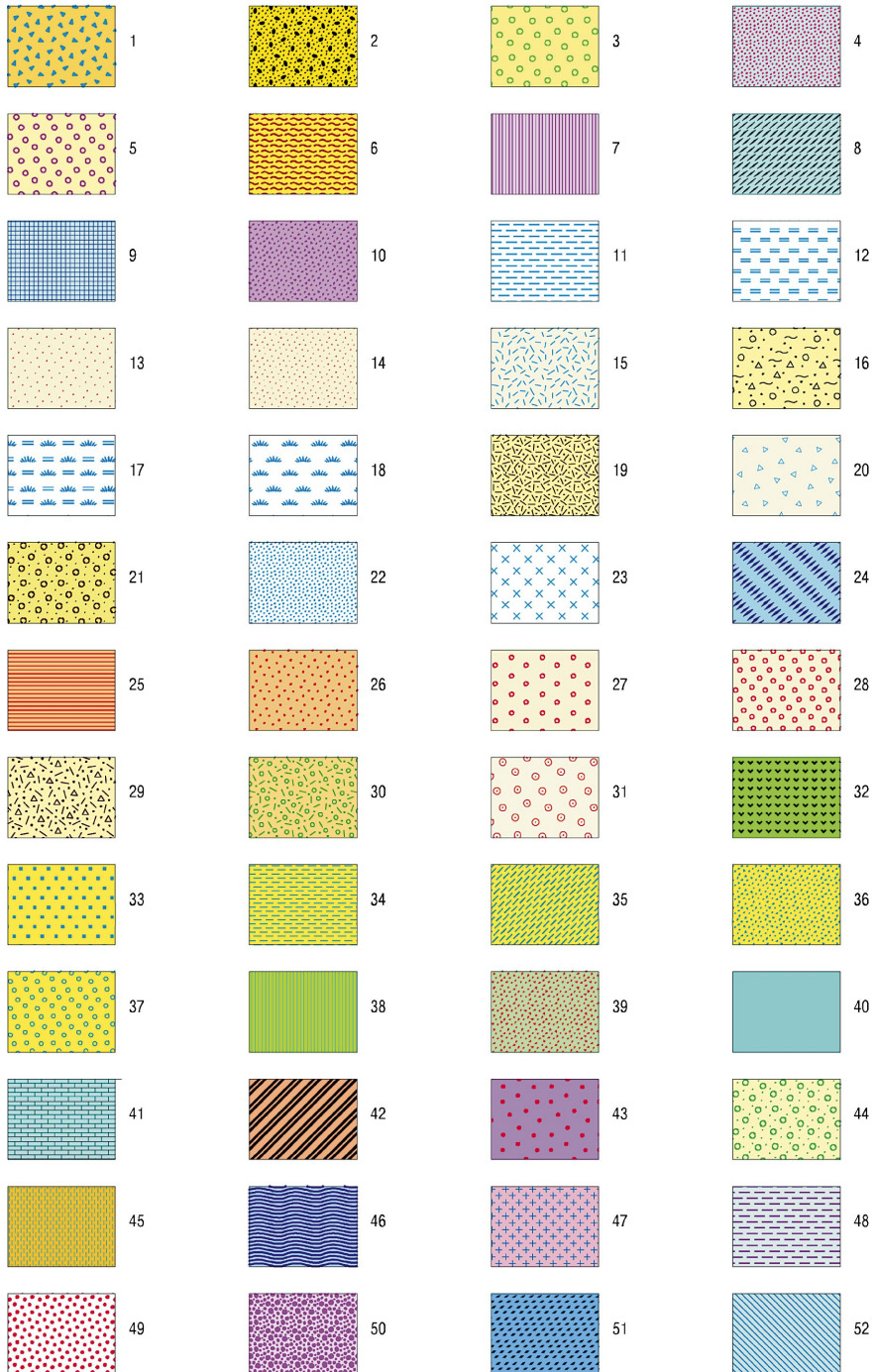


Abb. 2. Beispiele für Flächensignaturen aus dem Signaturkatalog der digitalen Karte.

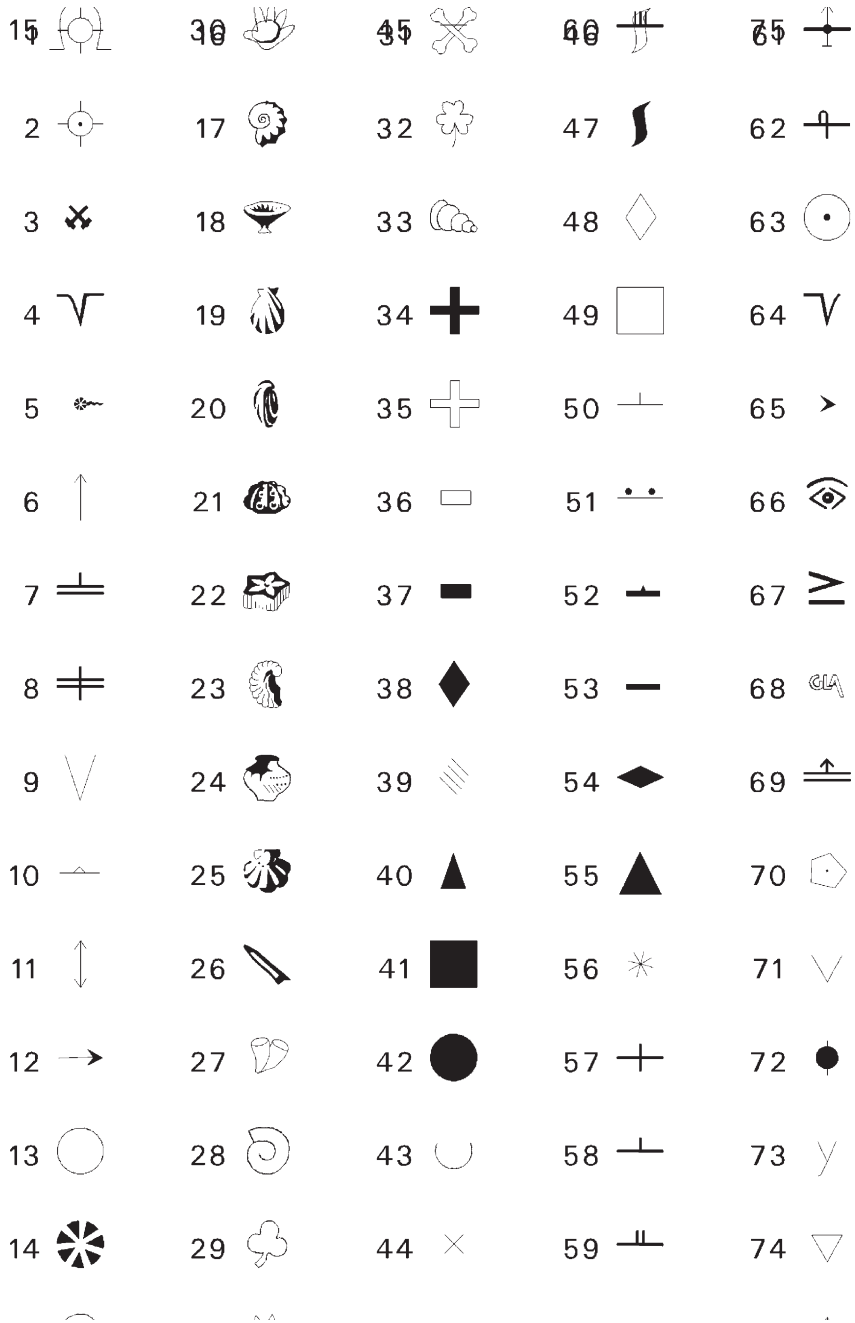


Abb. 3. Beispiele für Punktsignaturen aus dem Signaturkatalog der digitalen Karte.

Für die anspruchsvolle Visualisierung der komplexen Karteninhalte reichen normalerweise die 4 Standard-Druckfarben Cyan, Magenta, Yellow und Schwarz nicht aus, so daß auch für eine wechselnde Anzahl von Sonderfarben Auszüge erstellt werden müssen. Die Anzahl der Sonderfarben richtet sich nach dem Inhalt der jeweiligen Karte.

Die Filmauszugsdateien werden außer Haus auf Film belichtet. Nach dem Andruck – als Vorlage für letzte Korrekturen – erfolgt der Auflagedruck.

Die gedruckte Karte bietet in ihrer Handhabung in vielen Bereichen (vor allem im direkten Geländeeinsatz) noch immer entscheidende Vorteile und wird daher auch weiterhin mit hohem Qualitätsanspruch produziert.

Neben Karten des geologischen Grundkartenwerkes GK 25 (davon die Karte „Nationalpark Berchtesgaden“, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1998 a, als Sonderblattschnitt) sind noch die 4. Auflage der „Geologischen Karte von Bayern 1:500 000“ (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1996) und die 2. Auflage der „Geologischen Karte des Rieses 1:500 000“ (GALL et al. 1999) als digitale Ausgaben erschienen.

Einen Überblick über die bisher am Bayerischen Geologischen Landesamt erschienenen Blätter des geologischen Grundkartenwerkes GK 25/50 gibt Abbildung 1 in WROBEL (2000).

Ein weiteres, wesentliches Arbeitsgebiet der kartographischen Endfertigung wird künftig die Bereitstellung der Karten auf elektronischen Medien sein. Dabei ist grundsätzlich zwischen der Weitergabe reiner Grunddaten und einer die Möglichkeiten elektronischer Medien nutzenden, multimedialen Form der Veröffentlichung zu unterscheiden.

Sollen elementare Grunddaten ortsunabhängig verarbeitet werden, bedient man sich zu deren Übertragung geeigneter elektronischer Trägermedien. Die Auswahl dieser Medien wird durch die technische Ausstattung von Lieferant und Empfänger bestimmt und reicht im GLA von der Diskette über Bänder bis zur CD-ROM. Die so übertragenen Daten dienen in der Regel als Grundlagen für eine fachliche Weiterverarbeitung, die kartographische Ausgestaltung der Geometrie- und Sachdaten ist meist auf das Wesentliche beschränkt.

Die multimediale Form der Datenveröffentlichung erfüllt die Ansprüche der oben beschriebenen, elementaren Form und schafft darüber hinaus viele zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten. Hierzu laufen derzeit intensive Arbeiten in Kooperation zwischen Kartographie und Fachabteilung.

Die Recherche in Geometrien und Sachdaten sind Basisfunktionen. Darauf aufbauend können thematische Objekte mit Fotos, Skizzen, Tabellen oder Beschreibungen verbunden (verlinkt) und dadurch illustriert sowie dokumentiert werden. Mit neuen, bisher im GLA erst sporadisch eingesetzten Darstellungsformen wie 3-D-Ansichten oder Videosequenzen lassen sich dabei die Zusammenhänge zeitlicher Abläufe und Entwicklungen (etwa bei der Entstehung geologischer Formationen) wesentlich besser veranschaulichen.

Die CD-ROM ist eine kostengünstige Möglichkeit, solche multimedialen Daten einem breiten Publikum verfügbar zu machen und ermöglicht neben der Sichtung und Interpretation die interaktive Verknüpfung zwischen Karte und Erläuterung. Wenn auch derzeit noch die grundsätzliche Trennung zwischen Karte und Erläuterung beibehalten wird, so kann doch über diese Verbindungen eine engere und unmittelbarere Verzahnung zwischen den beiden Einheiten erzielt werden.

Bislang erfolgte die Publikation der Geologischen Karte von Bayern 1:500 000 (einschließlich Erläuterungen) sowie der Geologischen Karte des Rieses 1:50 000 (mit Erläuterungen und erweiterten Aufschlußbeschreibungen) auf CD-ROM (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1998 b, 1999).

Als weiterer künftiger Entwicklungsweg ist die Publikation der Karten im Internet zu sehen. Der Bereitstellung von Rasterkarten stehen dabei die – wegen der geringen Bandbreite des Internets – erheblichen Übertragungszeiten entgegen, welche lediglich die Verbreitung kleiner Kartenausschnitte sinnvoll erscheinen lassen. Für Vektorkarten hingegen kann die Präsentation über Internet Map Server einen effizienten Weg bieten. Derzeit sind allerdings der kartographischen Ausgestaltung solcher Karten noch enge Grenzen gesetzt.

#### **4. Die digitale geologische Karte im Informationssystem**

„Die geologische Landesaufnahme wird digital, nicht allein die Datenerfassung!“

Die Anforderungen an einen modernen geologischen Dienst gehen mittlerweile zunehmend in die Richtung, nicht nur Basisdaten vorzuhalten, sondern verstärkt aufbereitete Informationen für Entscheidungen abzuleiten. Für diesen Zweck wird auch in Bayern der Aufbau eines integrierten Bodeninformationssystems vorangetrieben.

Zur Bereitstellung sämtlicher punktbezogener, geowissenschaftlicher Informationen wurde hierzu eine zentrale Datenbank eingerichtet, die als einheitliche, umfassende Datengrundlage für die am GLA vorhandenen Fachinformationssysteme (Hydrogeologie, Rohstoffgeologie, Landesaufnahme usw.) dient. Damit verbunden ist auch die Labordatenbank für Analysen und Meßwerte. Der Anwender bekommt ein System zur Verfügung gestellt, das für einzelne Geobjekte alle Informationen, von Lagedaten über Profilbeschreibungen bis hin zu validierten Labormesswerten, aufnehmen und recherchierbar machen kann.

Besonderes Interesse gilt natürlich den geowissenschaftlichen Flächeninformationen. Da sie jedoch in der Regel aus punktuellen Informationen abgeleitet sind, wurde die Entwicklung einer Flächendatenbank zunächst hinter die Entwicklung der Punkt- und Labordatenbank zurückgestellt. Mittlerweile befindet sie sich aber ebenfalls in der Prototyp-Phase. Das Ziel ist, mit Hilfe dieser Flächendatenbank die Datenbasis der Geo-Daten zu organisieren, eine Attributdatenbank einzurichten und die Fach-Geometrien zu verwalten. Neben der Strukturierung der Daten stellt dabei die als notwendig erkannte Historien- und Synonymverwaltung eine erhebliche Herausforderung dar. Da, wie bereits erwähnt, geowissenschaftliche Informationen nach dem aktuellen Kenntnisstand und subjektiv interpretiert werden, ist die Möglichkeit, unterschiedliche Versionen und Interpretationen vorzuhalten, von entscheidender praktischer Bedeutung. Bei der Punktdatenbank konnte dies bereits erfolgreich realisiert werden.

Digitale Karten bieten sowohl für sich genommen als auch in Verbindung mit anderen Datensätzen eine Vielzahl neuer Möglichkeiten. Sie dienen beispielsweise als Grundlage zur Erstellung von spezifischen thematischen Karten, in denen nur die unmittelbar benötigte Information angezeigt wird. Dabei wird in zunehmendem Maße die Entwicklung von standardisierten Darstellungs- und Auswertemethoden von Bedeutung sein. Als Beispiel aus dem Arbeitsspektrum des GLA seien hierzu die „Karten der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung“ (DIEPOLDER 1995) und die Berechnung von Karten der Erosionsgefährdung genannt.

Aufgrund der Langlebigkeit der meisten Geoinformationen ist die Qualitätssicherung der Daten besonders wichtig. Hierzu ist ein Metadatenkatalog einzurichten, der über die wesentlichen Eigenschaften der einzelnen Informationsobjekte Auskunft gibt (z. B. räumliche Ausdehnung, Erfassungszeitpunkt und -qualität, Modifikationshistorie, Datenquelle ...). Speziell durch den Aufbau eines Informationssystems, das dem Anwender neben Basisdaten auch modellierte und gegebenenfalls interpretierte Daten anbietet, ist es von fundamentaler Bedeutung, durch geeignete Beschreibungen zu gewährleisten, daß jederzeit nachvollzogen werden kann, ob es sich um „harte Daten“ oder um Interpretation handelt.

## 5. Ausblick

Wesentliche Punkte künftiger Entwicklungen wurden bereits angesprochen: die Qualitätssicherung der Geo-Daten, die DV-gerechte Behandlung unscharfen Wissens und die Abhängigkeit der geologischen Darstellung von der topographischen Grundkarte zum Aufnahmezeitpunkt. Hierzu besteht teilweise noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Aber auch für die fachliche Kartographie ergeben sich vielfältige Herausforderungen. Letzten Endes wird das Produkt „Karte“ neu definiert. Die Karte ist künftig (vermutlich) nicht mehr ein über Jahrzehnte geführtes Kartenwerk, sondern entsteht bei Bedarf und nach dem Bedarf des Anwenders. Hinzu kommt die absehbare Aufhebung der Trennung zwischen Karte und Erläuterung. Die Karte wird multidimensional und multimedial (NUTZ 1997). Die geowissenschaftliche Karte wird auch kein statisches Produkt mehr sein, sondern dynamisch im Informationsgehalt (real time) und dynamisch in der Entstehung: Die Karte entsteht beim Nutzer. Die Karte ist ein Startpunkt, von dem aus der Nutzer seine Informationen sucht und sich die geologischen Inhalte erschließt (Statistiken, Teilaspekte, Modelle).

Dies wird den geschulten und mit fachlichen Inhalten vertrauten Kartographen nicht überflüssig machen, die Schwerpunkte werden sich jedoch verlagern: von der Kartenerstellung im klassischen Sinn hin zur einer Standardisierung der für den Anwender zukünftig verwendbaren Kartenelemente. Eine wesentliche Aufgabe der Kartographie wird somit darin bestehen, dem Anwender auch im Bereich der elektronischen Medien eine „Zeichen- und Signaturensprache“ anzubieten, die den darzustellenden Inhalt unterstützt, den Anwender führt, ihm die weitergehenden Informationsmöglichkeiten aufzeigt und ihm bei Feststellung der Informationsqualität eine Hilfestellung anbietet.

Der Kartograph bleibt der Gestalter der Schnittstelle zwischen dem Menschen und dem geowissenschaftlichen Karteninhalt – auch in einer digitalen, multidimensionalen und multimedialen Kartenwelt.

## 6. Literatur

- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1996): Geologische Karte von Bayern 1:500 000. – 4. Aufl., mit Erl., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1998 a): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Nationalpark Berchtesgaden. – München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1998 b): Geologie von Bayern. – CD-ROM, München (Bayer. Geol. L.-Amt).



- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1999): Geologie des Rieses. – CD-ROM, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DIEPOLDER, G. W. (1995): Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Grundlagen – Bewertung – Darstellung in Karten. – GLA-Fachber., **13**: 5–79, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- FRANK, H., DOPPLER, G. & SCHWERD, K. (2000): Grundlagen für eine moderne geologische Landesaufnahme in Bayern. – *Geologica Bavarica*, **105**: 23–48, München. – [Dieser Bd.]
- GALL, H., HÜTTNER, R., MÜLLER D. & SCHMIDT-KALER, H. (1999): Geologische Karte des Rieses 1 : 50 000. – 2., überarb. Aufl., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HAKE, G. (1975): Kartographie I. – 5. Aufl.: 288 S., Berlin (Gruyter).
- JERZ, H. & SCHMIDT-KALER, H. (1997): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 7234 Ingolstadt. – Mit Erl., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- NUTZ, M. (1997): Die Karte im Zeitalter von Multimedia und virtuellen Welten. – *Geospektrum*, **1997** (1): 16–20, Heidelberg.
- WROBEL, J.-P. (2000): Geologischer und hydrogeologischer Infopool, Projekt Region 10 (Ingolstadt) – ganzheitliche geowissenschaftliche Landesaufnahme. – *Geologica Bavarica*, **105**: 63–71, München. – [Dieser Bd.]

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 21. 2. 2000



## Geologischer und hydrogeologischer Infopool, Projekt Region 10 (Ingolstadt) – ganzheitliche geowissenschaftliche Landesaufnahme

Von JAN-PETER WROBEL

Mit 2 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Geowissenschaftliche Landesaufnahme – geologische Karte – Bodenkarte – hydrogeologische Karte – Rohstoffkarte – Informationssystem – Planungsregion

**Kurzfassung:** Der Informationsgehalt und die Anwendungsmöglichkeiten geowissenschaftlicher Karten sind vielfältig. Ihr Wert und ihre Bedeutung sind in der breiten Bevölkerung, aber auch in den Entscheidungsgremien viel zu wenig bekannt.

Erst für etwa die Hälfte Bayerns liegen moderne geologische Karten großen Maßstabs vor. Noch geringer ist der Bestand an Boden-, Rohstoff- und hydrogeologischen Karten. Dieser Zustand erschwert die Bearbeitung vieler Fragestellungen aus den Bereichen Boden, tieferer Untergrund und Grundwasser erheblich.

Das Bayerische Geologische Landesamt hat deshalb eine neue Konzeption entwickelt, nach der komplette Planungsregionen ganzheitlich geowissenschaftlich aufgenommen werden sollen. Nach dieser Konzeption wird die Planungsregion 10 (Ingolstadt) seit September 1997 modellhaft bearbeitet. Das auf fünf Jahre angelegte Vorhaben wird aus dem Allgemeinen Umweltfonds der Bayerischen Staatsregierung mit Sondermitteln gefördert.

Im Rahmen des Projekts sollen nicht nur die einschlägigen, großmaßstäblichen geowissenschaftlichen Karten unter Einsatz von Methoden der graphischen DV erstellt, sondern ihre Inhalte auch digital vorgehalten werden, ebenso wie umfangreiche Punktdatenbestände. Damit wird nach Abschluß des Vorhabens ein umfangreiches geowissenschaftliches Informationssystem für die gesamte Planungsregion Ingolstadt zur Verfügung stehen. Die bisherigen Erfahrungen bei der Durchführung des Projekts lassen bereits jetzt die Zweckmäßigkeit der eingeschlagenen Vorgehensweise erkennen.

### Geological and hydrogeological informationsystem, project Region 10 (Ingolstadt) – comprehensive geoscientific mapping

**Keywords:** Geoscientific mapping – geological map – soil map – hydrogeological map – map of mineral resources – informationsystem – planning region

**Abstract:** Geoscientific maps contain a high amount of information and have great range of applications. Still their value and their importance are far from well known in the public and also in the area of decision making.

Modern geological maps on a detailed scale are available for only about half of the surface of Bavaria. The available amount of maps on soil, mineral resources and hydrogeology is even less. Because of this situation, many projects dealing with soil, deeper underground and groundwater are seriously hampered.

Therefore the Bavarian Geological Survey developed a new concept for the integrated geoscientific mapping of complete planning regions. Following this concept, the planning region 10 (Ingolstadt) has been worked on as a model project since September 1997. The project is designed for a duration of five years and

is subsidized from the „Allgemeiner Umweltfonds“ (General Environmental Fund) of the State Government of Bavaria.

In the scope of the project, not only the usual geoscientific maps shall be produced on a detailed scale using methods of geographic information systems (GIS), but the content shall also be constantly stored and distributed on a digital basis, including a great amount of point data. Therefore at the end of the project a comprehensive geoscientific information system will be available for the whole planning region. At the present stage of the project the expediency of this new concept of geoscientific mapping can be seen already.

## Inhalt

1. Wert geowissenschaftlicher Karten und Informationen .....	64
2. Geowissenschaftliche Landesaufnahme in Bayern .....	65
2.1. Stand der großmaßstäblichen Bearbeitung .....	65
2.2. Bisherige Vorgehensweise und neue Konzeption .....	65
3. Bearbeitung der Region 10 (Ingolstadt) .....	67
3.1. Gründe für die Auswahl der Region 10 .....	67
3.2. Antrag, Finanzierung und Laufzeit des Vorhabens .....	67
3.3. Ziele des Vorhabens, Organisation und Arbeitsweise .....	67
4. Schlußfolgerungen anhand der bisherigen Erfahrungen bei der Abwicklung des Vorhabens .....	70

## 1. Wert geowissenschaftlicher Karten und Informationen

Das Interesse an den Ergebnissen geowissenschaftlicher Forschung und die Bedeutung geowissenschaftlicher Karten und Informationen haben seit einigen Jahrzehnten stetig zugenommen. Das dokumentiert sich auch darin, daß sich die Medien verstärkt Geo-Themen widmen und daß geowissenschaftliche Begriffe wie beispielsweise Verkarstung, Verwerfung oder Plattentektonik in den allgemeinen Sprachgebrauch übernommen worden sind.

Dennoch sind der Wert und die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten dieser Informationen, insbesondere der geowissenschaftlichen Karten, in der breiten Bevölkerung, aber auch in den Entscheidungsgremien viel zu wenig bekannt. Wer weiß schon, daß die umweltfreundliche Speicherung riesiger Erdgasmengen im tieferen Untergrund, die der kontinuierlichen Sicherung des winterlichen Verbrauchs dient, letztendlich auf den Ergebnissen geologischer Kartierungen und geophysikalischer Messungen basiert? Wer macht sich die Bedeutung geologischer und hydrogeologischer Karten für die Erschließung und den Schutz von Trinkwasser, für die Bewertung von Deponiestandorten, für große Tiefbaumaßnahmen oder die Beurteilung von Grundwasserschadensfällen klar? Wer kann den Wert von Rohstoffkarten abschätzen oder die Aussagen bodenkundlicher Karten zur Erosionsanfälligkeit der Böden oder zu deren Rückhaltevermögen für Schadstoffe?

In jedem Falle ist der Wert geowissenschaftlicher Karten um ein vielfaches höher zu veranschlagen als die relativ geringen Kosten ihrer Erstellung. Eine einzige tiefere Fehlbohrung wegen unzureichender geologischer Informationen kann mehr kosten als die Erstellung eines geologischen Kartenblattes im Maßstab 1 : 25 000.

## **2. Geowissenschaftliche Landesaufnahme in Bayern**

### **2.1. Stand der großmaßstäblichen Bearbeitung**

Die Erstellung großmaßstäblicher geowissenschaftlicher Karten ist eine personalintensive Aufgabe. Bayern verfügt mit rd. 70 000 km<sup>2</sup> Fläche über das größte Territorium aller deutschen Bundesländer und besitzt darüber hinaus einen ungemein vielfältigen geologischen Aufbau. Deshalb und wegen des knappen Personalstandes des Bayerischen Geologischen Landesamtes, des geringsten aller staatlichen geologischen Dienste in Deutschland hinsichtlich der zu bearbeitenden Fläche pro Mitarbeiter, liegen bisher erst für knapp 60 % des Gebietes von Bayern publizierte, moderne, großmaßstäbliche geologische Karten vor (Abb. 1). Veröffentlichte großmaßstäbliche Bodenkarten gibt es für knapp 20 % der Fläche Bayerns. Noch geringer ist der Bestand an hydrogeologischen und rohstoffgeologischen Karten. Eine Beschleunigung der geowissenschaftlichen Landesaufnahme Bayerns ist daher dringend erforderlich.

### **2.2. Bisherige Vorgehensweise und neue Konzeption**

Der Schwerpunkt der geowissenschaftlichen Landesaufnahme Bayerns durch das Geologische Landesamt lag stets bei der geologischen Landesaufnahme, da sie wesentliche Grundlage für die anderen geowissenschaftlichen Fachrichtungen wie Hydrogeologie, Bodenkunde oder Rohstoffgeologie ist. Bei der geologischen Spezialkartierung im Maßstab 1:25 000 (GK 25) orientierte man sich bisher bei der Auswahl der zu bearbeitenden Gebiete an geologischen Räumen wie dem Frankenwald oder dem Spessart sowie an Interessen der Wirtschaft wie z. B. der Erdölindustrie oder an wissenschaftlichen Großprojekten wie kürzlich bei dem Kontinentalen Tiefbohrprogramm (KTB).

Diese Vorgehensweise brachte es mit sich, daß benachbarte Kartenblätter teilweise in einem Abstand von Jahrzehnten kartiert wurden und dabei unterschiedlich alte Grundlagen – z. B. Bohrungen und Aufschlüsse – Verwendung fanden. Die Aufnahme isolierter Kartenblätter erschwert natürlich großräumige Bearbeitungen und Bewertungen bei praktischen Belangen und bei Planungsaufgaben. Sie wirkt sich auch nachteilig aus bei Trassenfestlegungen für Verkehrswege und Pipelines, bei der regionalen Trinkwassererschließung, bei der Ausweisung von Rohstoffsicherungsflächen und vielem anderen mehr.

Neue Arbeitsschwerpunkte und zusätzliche Aufgaben bei abnehmendem Personalstand veranlaßten das Amt, insbesondere die Vorgehensweise bei der geowissenschaftlichen Landesaufnahme den gestiegenen Anforderungen anzupassen und Synergieeffekte im Bereich des Personaleinsatzes zu nutzen. Aufbauend auf einer Standort- und Kursbestimmung zur Tätigkeit des Bayerischen Geologischen Landesamtes, die Präsident Prof. Dr. H. SCHMID 1995 vorgelegt hatte, wurde ein Konzept entwickelt, das eine projektorientierte Konzentrierung der Landesaufnahme im Maßstab 1:25 000 nach Planungsregionen vorsieht. Hierzu ist eine Bündelung der Aktivitäten der verschiedenen geowissenschaftlichen Einzeldisziplinen sowie die Bereitstellung der Ergebnisse mit Hilfe von DV-Systemen erforderlich.

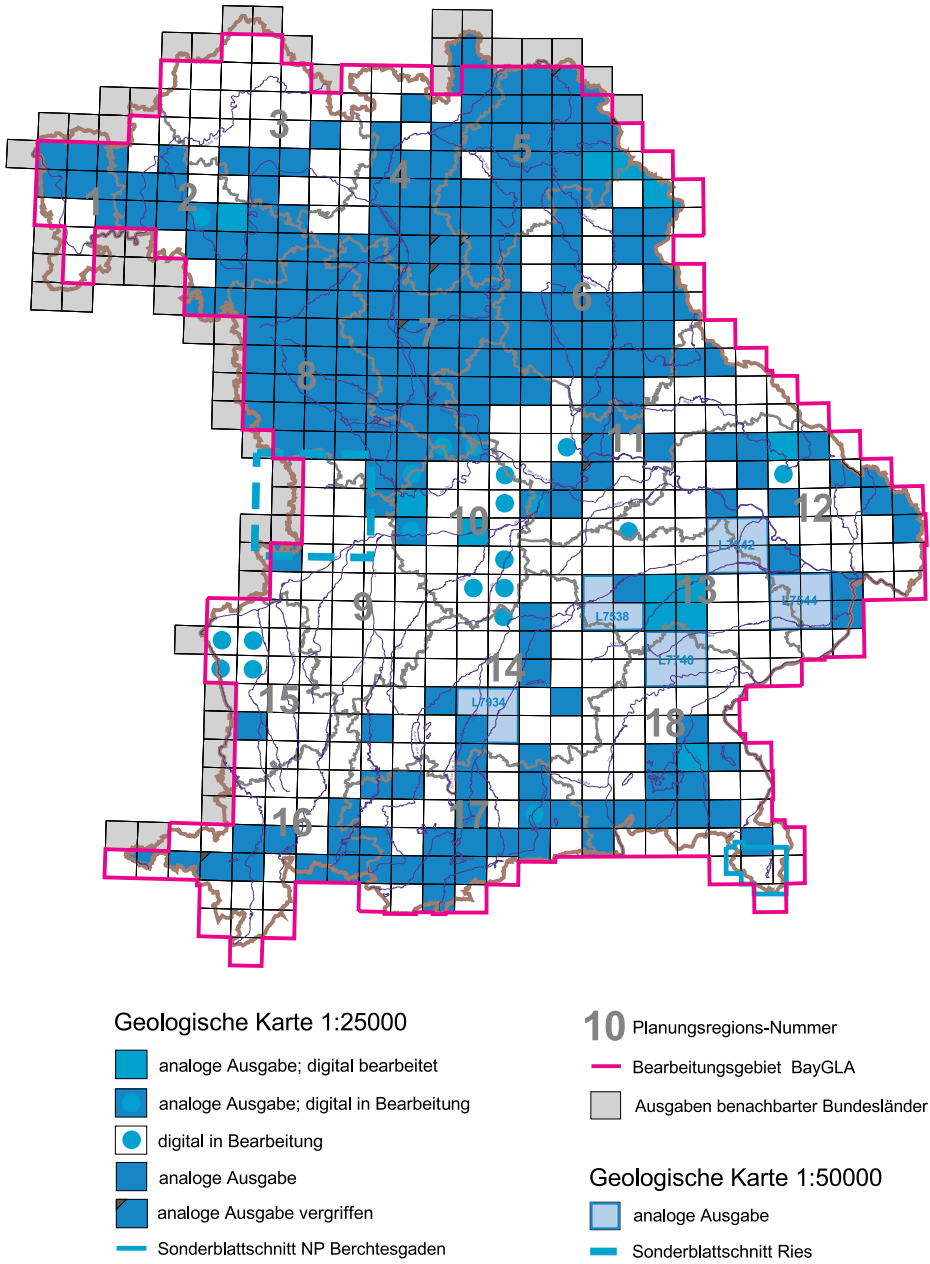


Abb. 1. Publierte, moderne Geologische Karten von Bayern 1:25 000 und 1:50 000, Stand Anfang 2000, sowie Einteilung Bayerns nach Planungsregionen.

### **3. Bearbeitung der Region 10 (Ingolstadt)**

#### **3.1. Gründe für die Auswahl der Region 10**

Bei den Überlegungen, die Planungsregion 10 (Ingolstadt) für eine erste, modellhafte, gesamt-geowissenschaftliche Bearbeitung auszuwählen, war ein Hauptbeweggrund, daß ein Gebiet bearbeitet werden sollte, für das bisher kaum großmaßstäbliche Karten vorlagen. Zudem ist die Region Ingolstadt geologisch nicht zu komplex aufgebaut und mit knapp 3000 km<sup>2</sup> für eine erste, modellhafte Bearbeitung von überschaubarer Größe. Trotz immer noch stark landwirtschaftlicher Prägung handelt es sich um einen zentral gelegenen, aufstrebenden Wirtschaftsraum mit großen Grundwasser- und Rohstoffvorkommen sowie wichtigen Verkehrsachsen.

Der Bedarf an geowissenschaftlichen Karten war u. a. von den Landratsämtern, vom Regionalen Planungsverband, von der Wasserwirtschaftsverwaltung, von der Wirtschaft, von Hochschulen und von Ingenieurbüros immer wieder betont worden.

#### **3.2. Antrag, Finanzierung und Laufzeit des Vorhabens**

Mitte 1997 stellte das Bayerische Geologische Landesamt einen Antrag auf Bewilligung von Sondermitteln für das geplante Modellvorhaben „Geologischer und hydrogeologischer Infopool, Projekt Region 10 (Ingolstadt)“ beim Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. Mittel wurden u. a. beantragt für eine Anzahl von Zeitangestellten, für die Erfassung und die Eingabe von Daten in Datenbanken, für Digitalisierungen von Karten, für DV-Ausstattung und Lizenzen, für die Durchführung von Aufschlußbohrungen und geophysikalischen Untersuchungen sowie für Reisekosten. Für die Durchführung des Vorhabens war ein Zeitraum von fünf Jahren veranschlagt worden.

Dem Antrag des Amtes wurde stattgegeben, und aus dem Allgemeinen Umweltfonds der Bayerischen Staatsregierung wurden zunächst für die ersten zwei Jahre DM 2,8 Mio. zugewiesen. Die Mittel konnten ab September 1997 verwendet werden. Vorbereitende Arbeiten hatten teilweise schon vorher begonnen.

#### **3.3. Ziele des Vorhabens, Organisation und Arbeitsweise**

Im Rahmen des Vorhabens sind umfangreiche Aufgaben zu erledigen, die nur im Zusammenwirken des Stammpersonals mit den verschiedenen Zeitangestellten abgewickelt werden können. Insgesamt werden 13 Zeitangestellte eingesetzt, davon sieben Wissenschaftler und sechs Laborkräfte, da eine Vielzahl von Proben zu nehmen und in den Labors des Amtes zu untersuchen ist.

Ziel des Vorhabens ist es, für die gesamte Region mit angrenzenden Randbereichen großmaßstäbliche geologische, hydrogeologische, bodenkundliche und rohstoffgeologische Karten zu erstellen. Die gesamte Region in der Übersicht darstellend, sollen auch entsprechende Karten im Maßstab 1 : 100 000 bzw. 1 : 200 000 erarbeitet werden. Die Karten werden mittels graphischer Datenverarbeitung erstellt. Ihre Inhalte liegen digital vor und können somit u. a. blattschnittfrei und als Einzelinformationsebenen ausgegeben werden oder mit anderen Informationen wie Trinkwasserschutzgebieten oder Natur- und Landschaftsschutzgebieten zusammengeführt und ausgewertet werden.

Zusätzlich zu den Flächeninformationen wird in der zentralen Datenbank (ZDB) des Geologischen Landesamtes eine Fülle von Punktinformationen gespeichert. Hierzu gehören physikalische und geochemische Untersuchungsergebnisse von Böden, Gesteinen und Grundwasser, Angaben zu Brunnen und Quellen sowie zu Geotopen und geologischen wie bodenkundlichen Aufschlüssen, geotechnische Daten und Schichtenverzeichnisse von tausenden von Bohrungen sowie zahlreichen Brunnen und Grundwassermeßstellen in der Region.

Diese Punkt- und Flächeninformationen bilden für die Region Ingolstadt den wesentlichen Teil des Bodeninformationssystems, das dem Bayerischen Geologischen Landesamt gemäß Gesetz zur Umsetzung des Gesetzes zum Schutz des Bodens in Bayern vom 1. März 1999 zu führen auferlegt ist.

Da die verschiedenen geowissenschaftlichen Fachrichtungen des Geologischen Landesamtes in dem Projekt mitwirken, war es notwendig, eine Organisationsstruktur zu entwickeln, in der sich diese Spezialdisziplinen als Arbeitsgruppen wiederfinden (Abb. 2).

Die Organisationsstruktur stützt sich auf zwei Haupteinheiten, nämlich die Komplexe „Geowissenschaftliche Landesaufnahme“ und „Bodeninformationssystem“. Die Verbindung zwischen beiden wird durch den Koordinationskreis der Fachinformationssysteme (KORBIS) sowie über die Redaktion und die Kartographie hergestellt.

Der Komplex „Geowissenschaftliche Landesaufnahme“ besteht aus mehreren Arbeitsgruppen (AG), von denen die AG Geologische Landesaufnahme von besonderer Bedeutung ist und sich in drei Unter-AGs für die drei geologisch unterschiedlichen Räume der Region – Frankenjura, Donau-Quartär, Molasse – aufspaltet. Die AG Bodenkundliche Landesaufnahme erarbeitet Konzeptbodenkarten im Maßstab 1:25 000 (KBK 25) und eine Bodenübersichtskarte 1:200 000, jeweils mit einem Flächendatensatz, und liefert hiermit wesentliche Grundlagen für die AG Bodenschutz/Geochemie, die sich insbesondere mit der stofflichen Zusammensetzung von Böden und Gesteinen befaßt, wobei besonderes Gewicht auf die Ermittlung geogener Hintergrundwerte anorganischer und organischer Problemstoffe im Hinblick auf den Bodenschutz gelegt wird. Bearbeitet werden aber auch Fragen z. B. des Nitratabbaus und des Schwermetallrückhaltevermögens der Böden oder ihrer Erosionsanfälligkeit.

Die AG Hydrogeologische Landesaufnahme wird mit ihren Karten u. a. Auskünfte liefern über die Verbreitung der Grundwasservorkommen, über den Grundwasserstockwerksbau und die Grundwasserfließrichtung, über die Schutzwirkung der grundwasserüberdeckenden Schichten sowie zur Durchlässigkeit der Gesteine und zur Ergiebigkeit der Grundwasserleiter. Diese Karten bilden damit eine wichtige Arbeitshilfe z. B. für die Erschließung von Grundwasser, für die Abgrenzung von Trinkwasserschutzgebieten oder Trinkwassereinzugsgebieten, für Fragen des vorsorgenden Grundwasserschutzes, für die Beurteilung von Grundwasserschadensfällen oder für die Beurteilung und Lösung von Konfliktfällen zwischen Rohstoffabbau und Trinkwassergewinnung.

Die AG Geophysik führt insbesondere mit geoelektrischen und seismischen Verfahren Voruntersuchungen über den tieferen Untergrund durch, deren Ergebnisse wichtige Grundlagen für die geologische, die hydrogeologische und die rohstoffgeologische Landesaufnahme darstellen. Schwerpunkt ist dabei die Gewinnung von Erkenntnissen zur Tiefenlage von Schichtgrenzen und zu strukturgeologischen Fragen. Geophysikalische Bohrlochmessungen erlauben die genauere Fixierung von Schichtgrenzen und die bessere Korrelierung benachbarter Bohrungen.



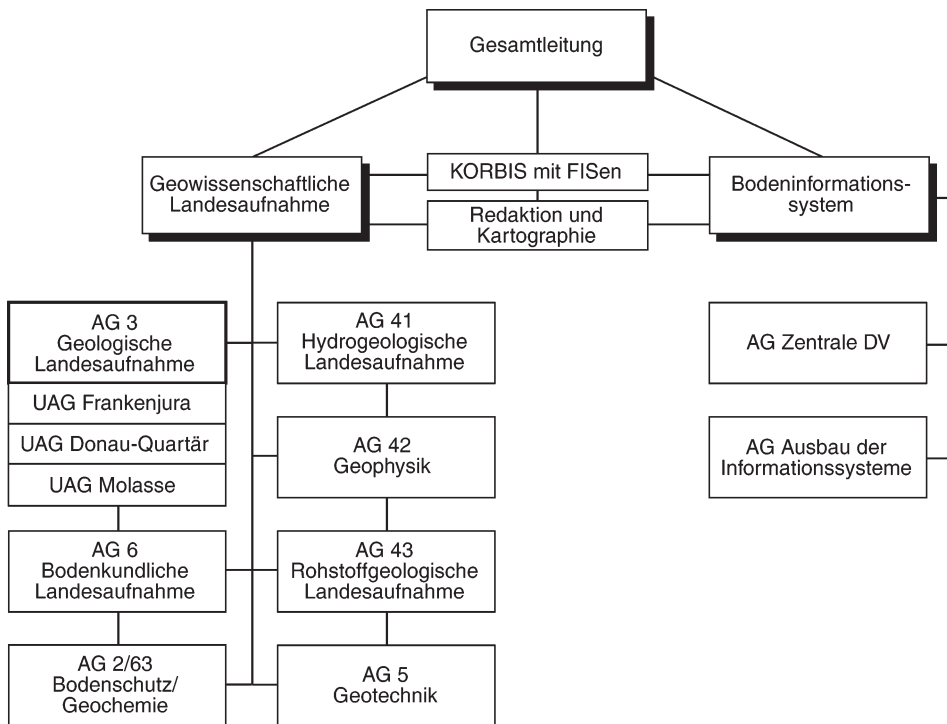


Abb. 2. Organisationsstruktur für das Vorhaben „Geologischer und hydrogeologischer Infopool, Projekt Region 10 (Ingolstadt)“. – Abkürzungen: AG = Arbeitsgruppe, DV = Datenverarbeitung, FIS = Fachinformationssystem, KORBIS = Koordination Bodeninformationssystem, UAG = Unterarbeitsgruppe.

Die AG Rohstoffgeologische Landesaufnahme führt – z. T. mit Sondermitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie – Erkundungen auf oberflächennahe mineralische Rohstoffe mit Bohrprogrammen durch, deren Ergebnisse in die rohstoffgeologischen Karten einfließen. Dargestellt werden u. a. die Verbreitung und die Nutzbarkeit der Rohstoffvorkommen sowie heutige und frühere Gewinnungsstellen. Untersucht werden auch die Eigenschaften der Rohstoffe und ihre Qualitätsmerkmale.

In der AG Geotechnik werden die geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes vor allem im Hinblick auf Baugrundfragen systematisch mit eigenen Untersuchungen, z. B. mit der Leichten und der Schweren Rammsonde, mit Standardpenetrationstests oder mit Korngrößenanalysen bearbeitet und die Ergebnisse digital gespeichert. Dabei schließt sich die AG auch an Untersuchungen anderer AGs und deren Bohrprogramme an.

Von besonderer Bedeutung für das Vorhaben sind die AG Zentrale Datenverarbeitung und AG Ausbau der Informationssysteme des Organisationsblocks Bodeninformationssystem. Denn das Vorhaben „Geologischer und hydrogeologischer Infopool, Projekt Region 10 (Ingolstadt)“ bietet die Gelegenheit, wesentliche Teile des Bodeninformationssystems modellhaft aufzubauen und zu nutzen. Während in der ZDB die Vorhaltung von Punktdaten schon weit fortgeschritten ist, sind im Bereich der Flächendatenbank, die gerade für die vielfältigen Flächeninformationen der geowissenschaftlichen Landesaufnahme, also der geowissenschaftlichen Karten benötigt wird, noch erhebliche Anstrengungen erforderlich.

In der ersten Phase des Vorhabens waren insbesondere die Beschaffung und Erfassung von Informationen und Daten eine vorrangige Aufgabe, die meistens mit der anfangs ebenfalls sehr intensiven Geländetätigkeit verbunden werden konnte. In diese Anfangsphase fielen auch Bohrprogramme zur Verbesserung der Kenntnisse über den Aufbau des Untergrundes, einschließlich drei tiefer Forschungsbohrungen. In der Organisationseinheit Bodeninformationssystem wurden insbesondere die konzeptionellen Arbeiten vorangetrieben, aber es waren auch Aufgaben zur Übernahme von umfangreichen Altdatenbeständen aus der Region zu erledigen.

#### **4. Schlußfolgerungen anhand der bisherigen Erfahrungen bei der Abwicklung des Vorhabens**

Die Erfahrungen im ersten Abschnitt des Vorhabens „Geologischer und hydrogeologischer Infopool, Region 10 (Ingolstadt)“ zeigen, daß die gesamtgeowissenschaftliche Landesaufnahme einer kompletten Planungsregion wesentliche Vorteile gegenüber einer blattweisen Aufnahme mit sich bringt. Bereits jetzt läßt sich erkennen, daß das Hauptziel des Vorhabens, die geowissenschaftliche Gesamtschau der Region, die Möglichkeit bietet, komplexe Zusammenhänge in einer Deutlichkeit zu erkennen, wie es bisher nicht denkbar war. Die heute mit Hilfe der graphischen Datenverarbeitung mögliche gemeinsame Darstellung von geowissenschaftlichen und anderen Flächeninformationen, z. B. aus dem Raumordnungskataster, wird u. a. eine wesentliche Entscheidungshilfe für Fragen der Raumordnung und der Regionalplanung darstellen.

Neben Synergieeffekten durch den konzentrierten Einsatz von Personal und Mitteln sowie die Intensivierung der Zusammenarbeit der verschiedenen Fachrichtungen des Geologischen Landesamtes bietet die Regionsbearbeitung weitere wesentliche Vorteile. So konnte bereits jetzt durch die systematische und konzentrierte Erfassung von Daten und Unterlagen in der Region Ingolstadt eine Informations- und Datendichte erzielt werden, wie sie derzeit nirgendwo sonst in Bayern erreicht wird. Während pro Gradabteilungsblatt dem Bayerischen Geologischen Landesamt allenfalls Schichtenverzeichnisse von wenigen hundert Bohrungen vorliegen, sind es allein für das Blatt Nr. 7234 Ingolstadt nahezu 3000, für die gesamte Region über 10 000. Insgesamt sind für die Region mehr als 15 000 Objekte und nahezu 25 000 Analyseergebnisse gespeichert (Stand Herbst 1999).

Durch Konzentration der Mittel konnte das Bayerische Geologische Landesamt in den letzten Jahren in der Region Ingolstadt mehr als 250 Bohrungen mit insgesamt über 6500 Bohrmetern niederbringen und damit wesentliche Lücken im geowissenschaftlichen Wissensstand dieses Gebietes schließen. Dabei war die jeweilige Auswertung der Bohrergebnisse durch mehrere Arbeitsgruppen mit der Nutzung zusätzlicher Sonderuntersuchungen besonders effektiv. Diese enge Zusammenarbeit der verschiedenen geowissenschaftlichen Spezialrichtungen des Bayerischen Geologischen Landesamtes führt nicht nur zu einer intensiveren Nutzung und Auswertung von Untersuchungsmaterial und Messungen, sondern auch zu einer Verbesserung der Qualität der Ergebnisse.

Die schwerpunktmäßige Bearbeitung der Region Ingolstadt bringt ferner eine Intensivierung der Kontakte zu den regionalen Behörden, zur Industrie, zu den in der Region tätigen Ingenieurbüros und anderen Stellen mit sich. Nicht zuletzt trägt das Projekt zu mehr Verständnis für andere Fachrichtungen und Institutionen bei und damit zu übergreifender Zusammenarbeit.

Gezeigt hat sich aber auch, daß es bei zukünftiger Bearbeitung weiterer Regionen vorteilhaft wäre, jeweils einige Arbeiten vorgezogen in Angriff zu nehmen. Dazu gehört insbesondere die Beschaffung von Daten und deren Erfassung in der zentralen Datenbank. Aber auch die geologische und bodenkundliche Landesaufnahme sollten einen entscheidenden Vorlauf erhalten, da sie wichtige Grundlagen für die anderen Fachrichtungen erarbeiten.

Bereits jetzt, gegen Mitte der Laufzeit des Vorhabens, zeichnet sich ab, daß die gesamtgeowissenschaftliche Aufnahme kompletter Planungsregionen die optimale Vorgehensweise für die geowissenschaftliche Landesaufnahme Bayerns ist. Um diese Aufgabe bayernweit in überschaubarer Zeit zum Abschluß bringen zu können, wäre allerdings ein erheblich größerer Einsatz an Personal und Mitteln erforderlich als bisher.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 2. 9. 1999.



# Die Altersstellung des ostbayerischen Grundgebirges

Von JOHANN ROHRMÜLLER, DIETER GEBAUER und HUBERT MIELKE

Mit 4 Abbildungen und 2 Tabellen

**Schlüsselworte:** Ostbayern – Saxothuringikum – Moldanubikum – variszische Orogenese – cadomische Orogenese – Böhmisches Massiv – Fossilien

**Kurzfassung:** Hinsichtlich der stratigraphischen Altersstellung und der paläogeographischen Entwicklungsgeschichte gibt es zwischen Saxothuringikum und Moldanubikum viele Parallelen, die eine Abgrenzung im traditionellen Sinne, als zwei absolut verschiedene geologische Großeinheiten, nicht mehr für sinnvoll erachten lassen. Beide Bereiche sind vom präkambrischen bis kambrischen Superkontinent Gondwana abzuleiten. Sowohl im Saxothuringikum als auch im Moldanubikum existieren ähnliche, postcadomische lithologische Abfolgen, in denen leukokrate Orthogneise (Metavulkanite) kambroordovizische Bildungsalter besitzen.

Funde von stratigraphisch verwendbaren Mikrofossilien haben in den vergangenen Jahren gesicherte Alterseinstufungen für einige Gesteinsserien im metamorphen Grundgebirge ermöglicht (z. B. REITZ 1992). Hinweise, daß auch Makrofossilien, in diesem Fall vermutlich Brachiopoden, in metamorphen Gesteinen noch reliktsch erhalten sein können, liefern Funde aus dem Raum Stadlern (Oberpfalz) und Grünberg (Fichtelgebirge).

## On the age of Bavarian part of the Bohemian massiv (E-Bavaria)

**Keywords:** E-Bavaria – Saxothuringian – Moldanubian – Variscan orogeny – Cadomian orogeny – Bohemian massif – fossils

**Abstract:** The stratigraphy and palaeogeographic history of the Saxothuringian and the Moldanubian zone are very similar. Both units originated from the periphery of the Precambrian-Cambrian supercontinent Gondwana. The post-Cadomian lithologic sequences in both the Saxothuringian and the Moldanubian units are similar. There are Cambrian and lower Ordovician acidic metavolcanics in both zones. Microfossils in metamorphic rocks give indications for their stratigraphical age. Furthermore there are relicts of brachiopod-like shells in high grade metamorphic rocks in the Moldanubian and Saxothuringian part of Oberpfalz.

### Inhalt

1. Einleitung .....	74
2. Geologische Übersicht .....	74
3. Abriß der geologischen Entwicklungsgeschichte .....	78
4. Stand der Alterseinstufung der geologischen Einheiten Ostbayerns .....	80
5. Literatur .....	83

---

Anschriften der Verfasser: Dr. HUBERT MIELKE, Hauptstr. 66, D-85737 Ismaning; Dr. JOHANN ROHRMÜLLER, Bayerisches Geologisches Landesamt, Außenstelle Marktredwitz, Leopoldstr. 30, D-95615 Marktredwitz; Prof. Dr. DIETER GEBAUER, Institut für Isotopengeologie und Mineralische Rohstoffe, Departement für Erdwissenschaften ETH-Zentrum, NO C 61, CH-8092 Zürich.

## 1. Einleitung

Ergebnisse radiometrischer Altersdatierungen an Metamagmatiten und Metasedimenten, hier insbesondere Einzelzirkondatierungen, haben in den vergangenen 20 Jahren wesentliche neue Erkenntnisse über die Altersstellung der metamorphen Gesteine des ostbayerischen Kristallins geliefert sind (z. B. GEBAUER et al. 1989; GEBAUER 1993). Darüber hinaus ergaben mikropaläontologische Untersuchungen an metamorphen Sedimentgesteinen erstmals stratigraphisch verwendbare Artenspektren von Acritarchen und Sporen (z. B. REITZ 1992). So ist davon auszugehen, daß die sedimentären und magmatischen Ausgangsgesteine der Metamorphite meist nicht älter als oberstes Jungpräkambrium sind (Zeitraum vor ca. 600–650 Millionen Jahren), der überwiegende Teil jedoch altpaläozoische Sedimentationsalter besitzt. Belege für ältere geologische Ereignisse aus dem ostbayerischen Raum existieren nur durch Einzelzirkondatierungen an zonar gebauten Zirkonmineralen, die in ihrer geologischen Entwicklungsgeschichte mehrfach recycelt wurden, d. h., die in der erdgeschichtlichen Entwicklung mehrmals einen Zyklus mit Erosion, Sedimentation, Versenkung mit Metamorphose oder einem erneuten magmatischen Stadium durchliefen. Flächenhafte Gesteinsareale mit einem präkambrischen Sedimentationsalter oder einem magmatischen Bildungsalter älter als ca. 650 Millionen Jahre konnten bisher in Ostbayern nicht geochronologisch nachgewiesen werden. Hinweise auf eine cadomische Metamorphose bzw. einen cadomischen Sockel der altpaläozoischen Sedimentabfolgen existieren bisher im bayerischen Bereich der Böhmisches Masse nicht. Im Westteil des Tepla-Barrandiums in Westböhmen konnten kambrische, granitoide Intrusiva in cadomisch metamorphen Metasedimenten nachgewiesen werden (ZULAUF et al. 1997; DÖRR et al. 1998). Daraus kann für die metamorphen Rahmgesteine der teilweise deformierten Gabbros und Diorite der Gabbroamphibolitmasse von Neukirchen b. Hl. Blut, die den Südwestteil des Tepla-Barrandiums bildet, ebenfalls ein präcadomisches Eduktalter gefolgert werden.

## 2. Geologische Übersicht

Das ostbayerische Grundgebirge vom Frankenwald im N bis zum Passauer Wald im S bildet den Westteil der Böhmisches Masse (Abb. 1). Dieser Oberflächenanschnitt von paläozoischen und präkambrischen Gesteinseinheiten in Mitteleuropa stellt den östlichen Abschnitt des europäischen variszischen Orogens dar.

Das ostbayerische Grundgebirge umfaßt Bereiche mit hauptsächlich paläozoischen und untergeordnet vermutlich älteren, jungpräkambriischen Gesteinen. Die Einheiten liegen zum einen noch als Sedimentgesteine vor oder wurden zum anderen unterschiedlich stark metamorph überprägt. Das ostbayerische Grundgebirge beinhaltet ferner meist nicht mehr verformte („deformierte“) variszische Intrusivgesteine. Vor allem im Oberkarbon sind diese Intrusiva, überwiegend Granite, meist nach Abschluß der jungvariszischen Metamorphose in die älteren Gesteinskomplexe eingedrungen und auskristallisiert (ROHRMÜLLER et al. 1996).

Die grundlegenden, anfangs des 20sten Jahrhunderts erstellten Gliederungen des mitteleuropäischen Grundgebirges (KOSSMAT 1927 u. a.) in Moldanubische Region (Moldanubikum), Saxothuringische Zone (Saxothuringikum) und Rhenohercynische Zone haben dahingehend noch Bestand, daß damit Einheiten abgegrenzt werden, die zum Teil unterschiedliche tektonometamorphe Entwicklungen aufweisen. Hinsichtlich der stratigraphischen Altersstellung und der paläogeographischen Entwicklungsgeschichte gibt es jedoch vielfach Konvergenzen, die

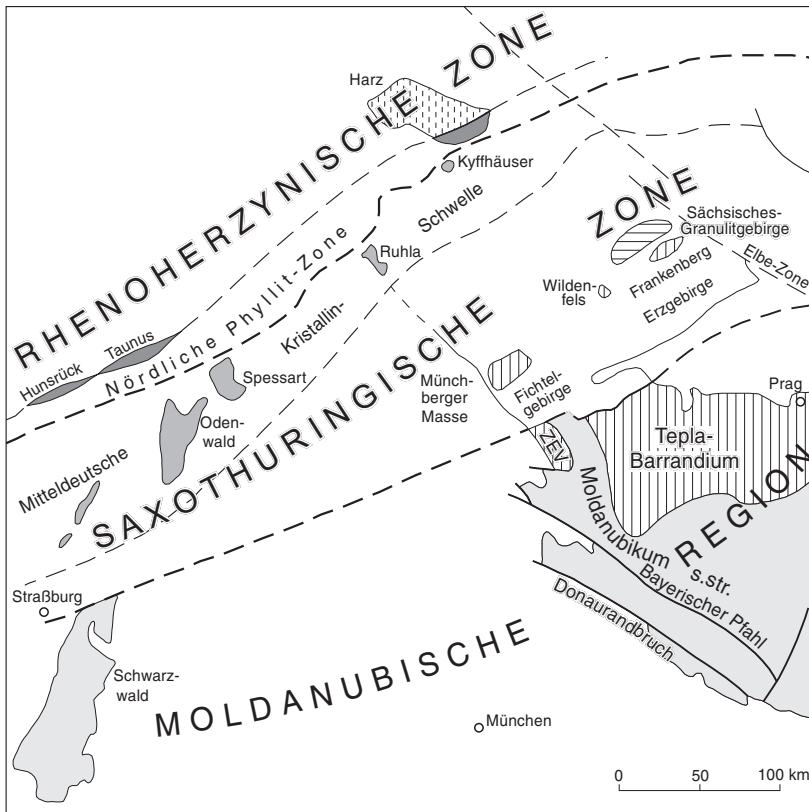


Abb. 1. Gliederung des mitteleuropäischen Variszikums (ZEV: Zone von Erbendorf-Vohenstrauss).

eine Abgrenzung von Moldanubikum und Saxothuringikum im traditionellen Sinne nicht mehr erlauben. Sowohl Moldanubikum als auch Saxothuringikum sind vom Superkontinent Gondwana abzuleiten. In beiden Regionen dominieren paläozoische Sedimentationsalter. Nach GEBAUER (1993) können in detritischen Zirkonen der metamorphen Grundgebirgseinheiten Ostbayerns folgende präkambrische „geologische Zeitereignisse“ in den jeweiligen, der Erosion unterliegenden Herkunftsgebieten der Zirkone nachgewiesen werden: 3,8 Milliarden Jahre, 2,6–2,5 Milliarden Jahre, 2,1–2,0 Milliarden Jahre, um 1 Milliarde Jahre und 600 Millionen Jahre. Diese Abfolge von Altersbereichen, die auch in vielen anderen Gebieten der europäischen Varisziden typisch ist, belegt die Zugehörigkeit zum präkambrischen Superkontinent Gondwana. Die Ähnlichkeit zwischen Saxothuringikum und Moldanubikum wird auch durch Altersdatierungen von sauren Metamagmatiten aus den beiden Regionen belegt. Sowohl moldanubische als auch saxothuringische Proben lieferten kambroordovizische magmatische Bildungsalter (Tab. 1). Gesteine des Superkontinents Laurasia (Laurentia-Baltica-Russia) ließen sich aufgrund charakteristischer Altersabfolgen in der Böhmisches Masse bisher nur untergeordnet am südöstlichen Rand, im Grenzbereich Moldanubikum/Moravikum, nachweisen.

*Tabelle 1:* Zusammenfassende, schematische Übersicht über die geologische Entwicklungsgeschichte des ostbayerischen Grundgebirges und angrenzender geologischer Einheiten aufgrund geochronologischer Daten (nach GEBAUER, in Vorb.: Beitrag zu Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 6944 Bodenmais)

Alter in Mio. J.	Geologische Ereignisse
– ca. 3800	magmatische Bildung von Zirkon im ältesten zum Sedimentinhalt der moldanubischen Paragneise beitragenden Liefergebiet
– ca. 2700–2500	bedeutende gebirgsbildende Vorgänge in einem Teil der das sedimentäre Ausgangsmaterial der moldanubischen Paragneise liefernden Hochgebiete
– ca. 2000	wie im Zeitabschnitt 2500–2700 Mio. J.; Intrusion granitoider Plutone in Südböhmen
– 1380	Platznahme des granitischen Magmas des Dobra-Gneises im südlichen Böhmisches Massiv
– ca. 1200–1000	mögliche Bildung mafischer Schmelzen aus einem suboceanischen Mantel; Bildung zahlreicher granitischer und metamorpher Gesteine während einer mittelproterozoischen (riphäischen) Orogenese; felsische, riphäische Gesteine sind in der kontinentalen Kruste im heutigen Erosionsniveau nicht angeschnitten bzw. noch nicht nachgewiesen; jedoch Nachweis entsprechender detritischer Zirkone aus diesen Gesteinen
– ca. 600–510	panafrikanische (assyntische = cadomische) Orogenese(n) im das Material der hauptsächlich post-panafrikanischen (Meta)-Sedimente des Moldanubikums und Saxothuringikums liefernden Hochgebiet; im bayerischen Teil des Moldanubikums im heutigen Erosionsniveau radiometrisch nicht eindeutig und im österreichischen Teil lediglich im Dobra-Gneis (Amphibolitfazies-Metamorphose ca. 600 Mio. J.) nachgewiesen; am Westrand des Tepla-Barrandiums Intrusion granitoider Magmen (ca. 520 Mio. J.) in Metasedimente; Intrusion und/oder Extrusion magmatischer Edukte von leukokraten Orthogneisen auf Blatt Nr. 7345 Vilshofen vor 538 Mio. J. und auf Blatt Nr. 7446 Passau vor ca. 580 Mio. J.
– ca. 510–450	sukzessives Rifting und Abdriften von Mikrokontinenten von Gondwana; Bildung von intrakontinentalen und ozeanischen Becken und möglicherweise von Inselbögen verschiedener Größe inklusive Bildung der entsprechenden mafisch-ultramafischen Gesteine, z. B. der Protolithe der Gabbroamphibolite des Hohen Bogens (Neukirchen-Kdyne), der Amphibolite Niederösterreichs, der Eklogite, Amphibolite und Metagabbros der Zone von Erbdorf-Vohenstrauß (ZEV), der Münchberger Masse (MM) und des Erzgebirges; Extrusion und Intrusion möglicherweise riftbedingter Vulkanite und Granitoide (Moldanubikum der Oberpfalz u. des Bayerischen Waldes, ZEV u. MM); Sedimentation des Ausgangsmaterials der meisten heutigen Metasedimente des Moldanubikums und des Saxothuringikums
– ca. 480–460	regionale Metamorphose und Anatexis in Verbindung mit intensiver Durchbewegung und Deformation, v. a. in Einheiten des Moldanubikums, aber auch der ZEV und der MM; Deckenbildung? In- und Extrusionen granitischer Magmen; Palitbildung?
– ca. 430	Metamorphose, Eklogitbildung, Granulitbildung in flächenmäßig untergeordneten, tektonischen Bereichen der MM und des Moldanubikums; Subduktion, Entstehung von „Back-arc“-Becken, Deckenbildung?
– ca. 390–380	Metamorphose und Deformation in Teilbereichen der MM, ZEV und anderen Teilen des Grundgebirges; Intrusionen granitischer Schmelzen in der ZEV; Hochdruckmetamorphosen in Teilbereichen der MM, ZEV und im sächsischen Granulitgebirge; Subduktion, Entstehung von „Back-arc“-Becken, Deckenbildung?



– ca. 350–340	Hoch- und Mitteldruckmetamorphose mit Eklogit- und Granulitbildung in Teilbereichen des Moldanubikums und Saxothuringikums (Sächsisches Granulitgebirge, Erzgebirge), Subduktion, Entstehung von „Back-arc“-Becken?
– 340–320	Niederdruckmetamorphose in Moldanubikum und Saxothuringikum; auf Blatt Nr. 6944 Bodenmais Anatexis vor ca. 330 Mio. J.; Intrusion gabbroider, dioritischer und granitischer Gesteine; wahrscheinlich Deckenbildung während Kollisionstektonik
– 320–280	Intrusionsbereich der Hauptmasse der moldanubischen Granite Ostbayerns
– ab ca. 320	Blastomylonitbildung, Mylonitisierung, Diaphthorese, Bruchtektonik, Beginn der differentiellen Heraushebung
– ca. 250	„Rift“- und „Wrench“-Tektonik, Bildung von Mineralgängen (z. B. Bayerischer Pfahl)
– 280–215	differentielle Heraushebung des Grundgebirges entlang Störungszonen; Abkühlung unter ca. 270 °C zuerst in der MM vor ca. 280 Mio. J. und zuletzt im Passauer Wald und im Hohen-Bogen-Gebiet vor ca. 215 Mio. J.
– nach ca. 200	Abkühlung der meisten Bereiche des Grundgebirges auf unter 120 °C wahrscheinlich um ca. 200 Mio. J.; durch mögliche mesozoische Sedimentüberdeckung und damit verbundener, teilweiser Subsidenz sowie durch erhöhte, tertiäre geothermische Gradienten infolge Riftbildung und Vulkanismus (z.B. Egergraben) erneute leichte Aufheizung einzelner Grundgebirgsbereiche

Aufgrund der stratigraphischen Entwicklung beginnend mit mittelkambrischen bis unterordovizischen Sedimenten und Vulkaniten müssen sich in diesem Zeitraum bereits im Randbereich von Gondwana Randbecken und kontinental beeinflusste Riftbecken gebildet haben. Das Ende der cadomischen Orogenese ist je nach Vorkommensbereich in den Zeitraum von ca. 600 bis 510 Millionen Jahren zu stellen. Zeitlich nicht exakt zu fassen ist in diesem Zusammenhang der Beginn der paläozoischen Beckenentwicklung in postcadomischer Zeit. Paläomagnetische und paläogeographische Rekonstruktionen von TAIT et al. (1996, 1997, 1999) zeigen eine Abtrennung Armoricas bzw. der armoricanischen Terraneansammlung, zu der die ostbayerischen Saxothuringikum- und Moldanubikum-Einheiten aus paläogeographischer Sicht gehören, von Gondwana ab dem Zeitraum des mittleren bis oberen Ordoviziums (Llanvirn bis Caradoc) durch Rifting (Abb. 2 u. Tab. 2).

*Tabelle 2:* Entwicklung des saxothuringischen Terranes nach LINNEMANN et al. (1999)

Alter in Mio J.	Geologische Ereignisse
– 575–540	Akkretions- und Subduktionsvorgänge eines Inselbogen- und Randbeckensystems im Randbereich von Gondwana
– 545–540	cadomische Orogenese im ältesten Kambrium, Intrusion postkinematischer Plutonite
– 540–505	Entstehung von lokalen „Pull-apart“-Becken im Randbereich von Gondwana
– 505–495	Heraushebung und Entstehung einer chemisch verwitterten Kruste unter humiden bis subtropischen Bedingungen (Oberkambrium)
– 495–445	Metastabiler Schelf und Riftstadium im Ordovizium mit starker Absenkung und hohen Sedimentationsraten
– Ca. 445	Trennung des Saxothuringischen Terranes von Gondwana, Beginn seiner Nordwärtsdrift ab Ende Ashgill (Oberordovizium)

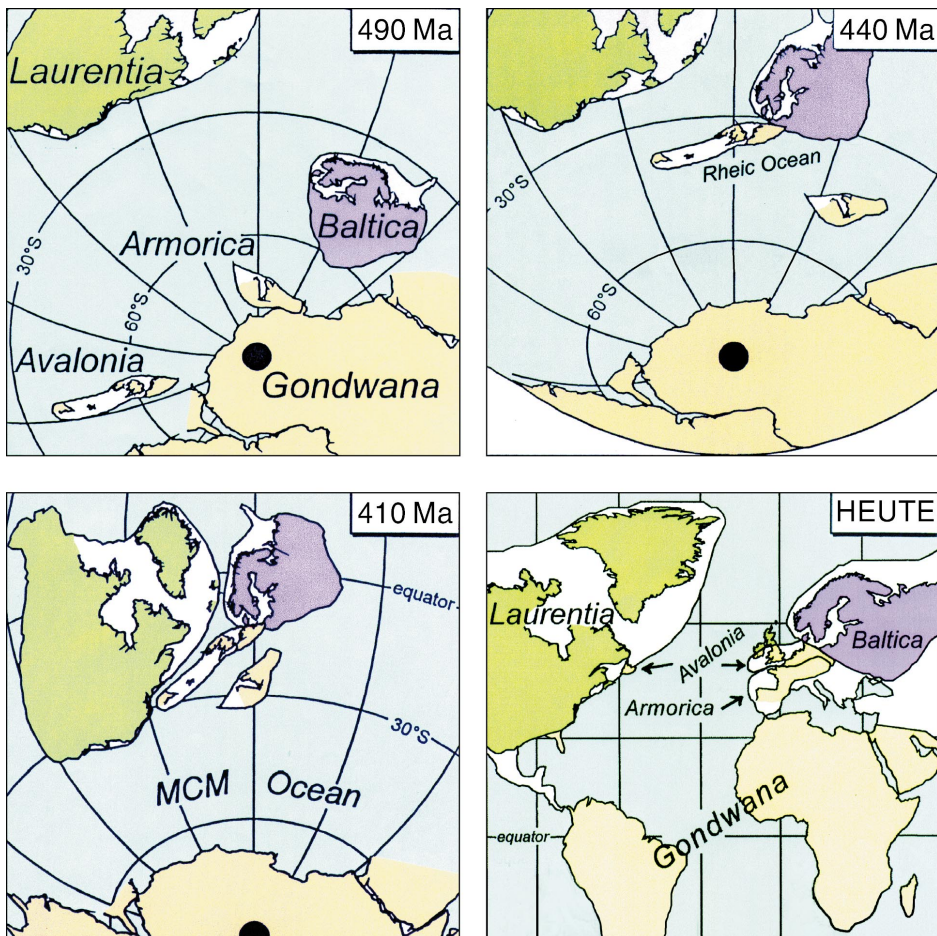


Abb. 2. Paläogeographische Rekonstruktionen von Plattenbewegungen vom unteren Ordovizium bis zum Devon nach TAIT et al. (1996, 1997).

### 3. Abriß der geologischen Entwicklungsgeschichte

Der ostbayerische Grundgebirgsanschnitt ist das Produkt einer mehrphasigen orogenen („gebirgsbildenden“) Entwicklung, die mit der variszischen Gebirgsbildung im Karbon ihren Abschluß fand, d. h., in dem variszischen Gebirge finden sich auch Belege für vorvariszische metamorphe Prägnungen und Verformungen.

Die Entstehung der jetzt vorliegenden Grundgebirgseinheiten ist im Zusammenhang mit plattentektonischen Vorgängen im frühen und mittleren Paläozoikum zu sehen. Durch sich voneinander weg bewegende Krustenplatten entstanden ab dem mittleren Kambrium und besonders durch das Abdriften von Armoricā ab dem mittleren bis höheren Ordovizium Becken am Nordrand von Gondwana. In diesen „Riftbecken“ und Ozeanen bildete sich an mittelozeanischen Rückensystemen neue basaltische Kruste. Flußsysteme verfrachteten von den damaligen Festlandbereichen Abtragungsprodukte der Verwitterung in diese Ozeane. Die

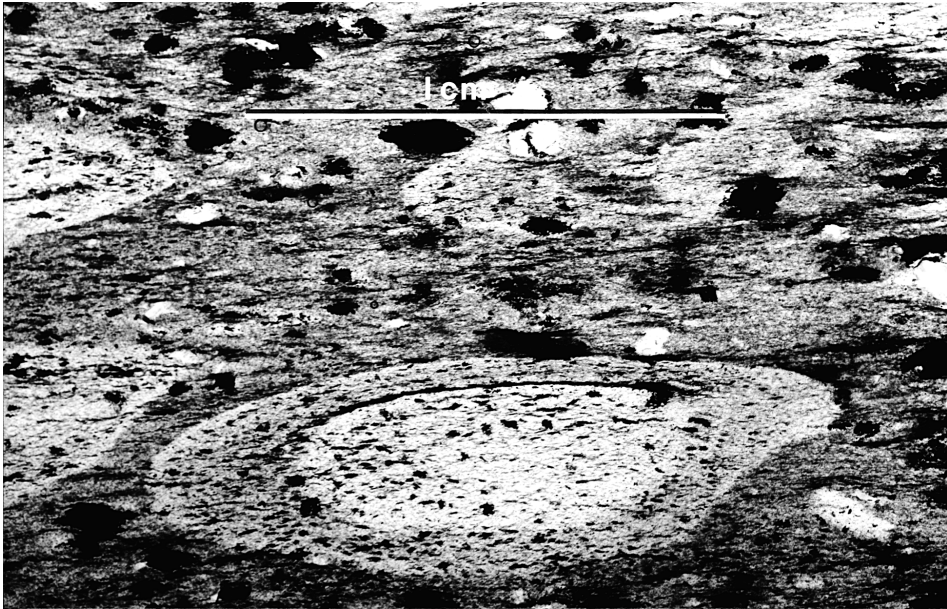


Abb. 3 a. Dünnschliffaufnahme linsenförmiger Formrelikte vermutlich ehemaliger Brachiopodenschalen aus Metasedimenten des Fichtelgebirges (Lokation: Graben der Ferngasleitung zwischen Grünberg und Brand).



Abb. 3 b. Brachiopodenreste im Kalifeldspat-Cordierit-Gneiss, Stadlern/Oberpfalz; Exemplar mit zwei divergierenden Rippen, die keinen Bezug zu tektonischen Vorgängen erkennen lassen.

Sedimente (je nach Transportweite und Material aus dem Liefergebiet z. B. Sande, Tone etc.) wurden entweder im Küstenbereich, im Schelfbereich oder im tieferen Ozeanbeckenbereich abgelagert.

Im Paläozoikum entwickelten sich sowohl die Pflanzenwelt als auch die Tierwelt mit den wirbellosen Tieren und den Wirbeltieren sprunghaft. Am Sedimentaufbau war erstmals mit Schalen- und Skelettresten auch eine Vielzahl von Relikten der Lebewelt beteiligt. Bei Subduktionsprozessen wurden Teile der an der Erdoberfläche gebildeten Sedimente und Vulkanite in tiefere Krustenbereiche versenkt und dort metamorph umgewandelt. Hauptsächlich im Karbon kam es zum Teil zur Aufschmelzung dieses subduzierten Krustenmaterials, es bildeten sich Schmelzen, die entlang von Bruchstrukturen oder Schwächezonen wiederum in ein höheres Krustenstockwerk abwandern konnten und dort je nach Zusammensetzung als Granit oder Granodiorit etc. auskristallisierten. Durch die Subduktions- und Exhumationsvorgänge wurden Krustenbereiche zusammengebracht, die vorher an ganz verschiedenen, zum Teil weit voneinander entfernten Stellen der Erdoberfläche entstanden sind. Die Kollision zwischen dem präkambrischen bis altpaläozoischen Südkontinent Gondwana und den präkambrischen bis altpaläozoischen Kontinentblöcken Laurentia, Baltica und Russia führte im Devon und Karbon zur Bildung des variszischen Orogens. Bei dieser Kollision wurde auch eine Anzahl kleinerer, teils bereits vorher im Ordovizium und Silur miteinander kollidierter Kontinentblöcke („Mikrokontinente“), die zwischen den vorher genannten großen Kontinentmassen lagen, mit erfaßt und teils subduziert, teils deformiert oder an die großen Kontinentblöcke „angeschweißt“. Benennungen für solche paläozoischen Mikrokontinente mit jeweils eigener altpaläozoischer Entwicklungsgeschichte sind zum Beispiel „Avalonia“ oder „Armorica“ (Abb. 2). Der Nordteil des variszischen Gebirges in Mitteleuropa, das Rhenohercynikum, wird zu Avalonia gezählt. Zu Armorica gehören das Saxothuringikum, das Tepla-Barrandium sowie die Moldanubische Region.

#### **4. Stand der Alterseinstufung der geologischen Einheiten Ostbayerns**

Die stratigraphische Einordnung der Gesteinsserien ist nicht in allen Fällen zweifelsfrei möglich. In den nichtmetamorphen paläozoischen Sedimenteinheiten des Frankenwaldes und Fichtelgebirges liefern Fossilien meist eindeutige Belege für das stratigraphische Alter. Schwieriger wird dies bei metamorphen Gesteinen. Dabei entfällt in der Regel die stratigraphische Einordnung mittels Fossilien. Verformung und Metamorphose ließen Fossilien, falls etwa vorhanden, meist unkenntlich werden.

Neben Mikrofossilien wurden in den letzten Jahren in den metamorphen Einheiten des Saxothuringikums und des Moldanubikums nun auch Formrelikte gefunden, die dem Aussehen nach am ehesten Brachiopoden zugeordnet werden können. MIELKE (1985) beschrieb solche im Querschnitt linsenförmige Strukturen aus Metasedimenten des Saxothuringikums im Fichtelgebirge (Abb. 3 a). Dabei handelt es sich vermutlich um Querschnitte ehemals hornschaliger Brachiopoden, die heute umkristallisiert mit einem apatitreichen Rand und einem apatitarmen Kern vorliegen. U-Pb-Zirkondatierungen von sauren Metavulkaniten im Bereich dieser formrelikteführenden Metasedimente lieferten ein ordovizisches Alter ( $480 \pm 8$  Ma) für die magmatische Bildung der vulkanischen Eduktgesteine (Datierung mittels Ionensonde SHRIMP durch GEBAUER in MIELKE et al. 1996).

In moldanubischen Kalifeldspat-Cordierit-Gneisen wurde bei Stadlern SE Schönsee/Opf. eine Gesteinsplatte mit Formrelikten angetroffen, die ebenfalls als Brachiopodenreste angese-

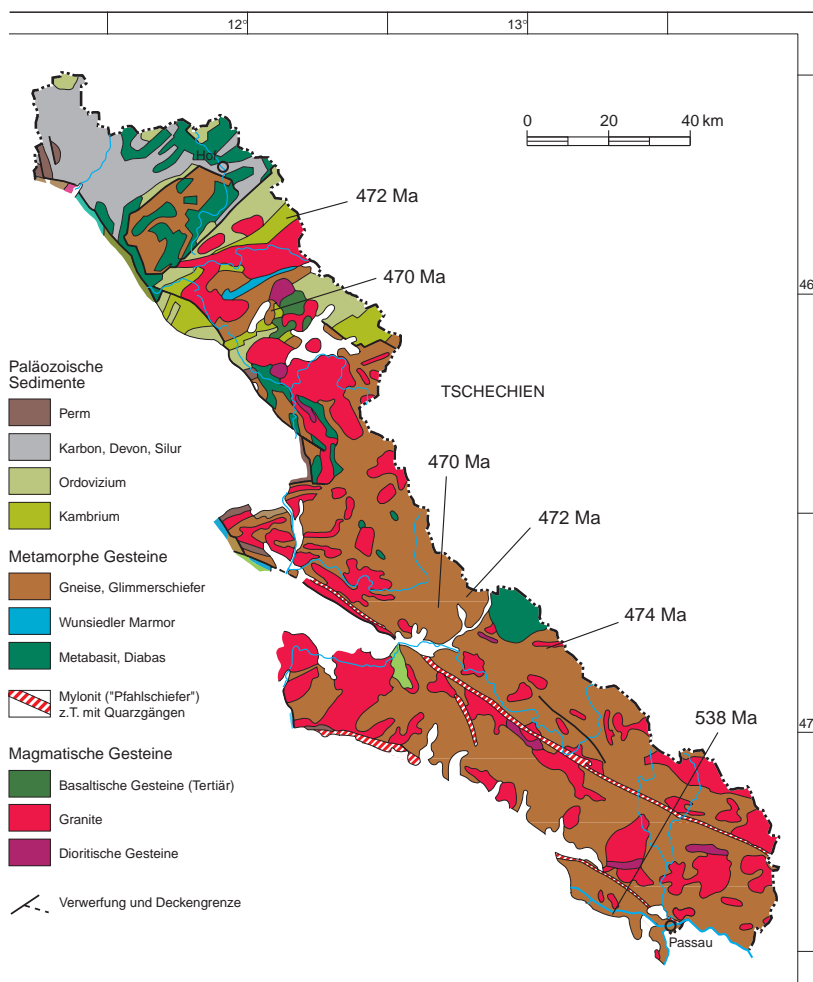


Abb. 4. Geologische Übersichtskarte des ostbayerischen Grundgebirges mit Bildungsaltern von leukokraten Orthogneisen (saure Metavulkanite und Granitoide) im Saxothuringikum und Moldanubikum.

hen werden können. Das Innere dieser im Querschnitt ca. 1 bis 1,5 cm langen, sphärischen, kalksilikatischen Gebilden ist mit einem Gemenge aus feinkörnigem Biotit, Graphit und  $\pm$  Granat erfüllt. Die Körper haben divergierende Rippen (Abb. 3 b) sowie einem Stielloch ähnelnde Texturen. Manche Oberflächen zeigen eine reliktsche, engständige Rasterung. Nach J. GANDL (mündliche Mitteilung) sind diese Formen in den Zeitraum Oberes Silur bis Devon einzuordnen, vorausgesetzt, es handelt sich nicht um ein „Spiel der Natur“. Bei der Vielzahl der noch erkennbaren Formrelikte ist letzteres aber eher unwahrscheinlich. Aus dem Ostteil der Böhmisches Masse sind von SUK (1984) ebenfalls Brachiopodenrelikte aus Granat-führenden Metamorphiten beschrieben.

Vielfach wurden in den metamorphen Sedimentgesteinen lithostratigraphische Gliederungen aufgestellt, die meist auf nicht sicheren Altersbelegen basierten. Bei einer rein lithologischen Gliederung muß aber beachtet werden, daß „chemisch und lithologisch gleich“ nicht

immer auch „altersgleich“ bedeutet. In verschiedenen erdgeschichtlichen Zeitabschnitten können sich die gleichen Sedimentationsvorgänge, die zur gleichen Gesteinsausbildung und zum gleichen Chemismus führen, ja durchaus wiederholen.

Die zeitliche Einordnung der geologischen Vorgänge mittels radiometrischer Datierungen wird durch die polymetamorphe Überprägung der meisten Gesteine des Grundgebirges erschwert. Das letzte thermische Ereignis kann bei durchgreifender Prägung die Spuren des vorausgegangenen teilweise oder völlig auslöschen und „verjüngt“ so das in Wirklichkeit ältere Gestein.

In den saxothuringischen Einheiten des Frankenwaldes und des Fichtelgebirges liegen Abfolgen von Sedimenten und Vulkaniten vom mittleren Kambrium bis zum Unterkarbon vor (GANDL 1998). Während im Bereich der Bayerischen Fazies das Mittelkambrium eindeutig fossilbelegt ist, gibt es für die kambrische Einstufung der Warmensteinacher Serie der Thüringischen Fazies im Fichtelgebirge bisher keine Fossilbelege oder radiometrischen Hinweise. Die lithologische Ausbildung und die Wechsellagerung mit sauren Metavulkaniten, sogenannten Epigneisen, können bei letztgenannter Serie für eine unterordovizische bzw. oberkambrische bis unterordovizische Einstufung sprechen.

Die metamorphen Serien des zentralen Fichtelgebirges zeigen hinsichtlich ihrer Alterseinstufung bisher auch kein konsistentes Bild. Die leukokraten Gneise liefern ordovizische magmatische Bildungsalter (MIELKE et al. 1996; SIEBEL et al. 1997). Aus den charakteristischen Metasedimenten fehlen bisher eindeutige Fossilbelege. Die Abfolgen mit Marmor und Graphitschiefern können aufgrund von lithologischen Vergleichen mit datierten Serien im sächsischen Teil des Saxothuringikums ältestenfalls ins Kambrium eingestuft werden. Eine präkambrische Einordnung ist nicht möglich.

Aus dem Bereich der Münchberger Masse existieren kambroordovizische Bildungsalter (Intrusionsalter) für die Edukte der Metamagmatite (MÜLLER-SOHNUS et al. 1987; GEBAUER 1993). In Phylliten der Prasinit-Phyllit-Serie bei Schwarzenbach/Saale und bei Sparneck konnte REITZ (in HEUSE et al. 1994) jungpräkambrische Acritarchen nachweisen (Vendium). Diese Gesteine sind demnach die ältesten fossildatierten Gesteine Bayerns.

In der Zone von Erbdorf-Vohenstrauß (ZEV) sind die Metasedimente und die Metavulkanite bisher nicht datiert. Die Metagabbros liefern kambroordovizische Intrusionsalter, Metapegmatite ordovizische Bildungsalter (QUADT 1990, 1994; ARENDT et al. 1997).

Im Bereich des ostbayerischen Moldanubikums existieren bisher nur wenige „harte“ Daten für eine Alterseinstufung der Gesteinsserien (MIELKE et al. 1996). Leukokrate Gneise (saure Metavulkanite) aus den Gebieten um Waldmünchen, Rötze, Lam und von Vilshofen (Sandbach) liefern ordovizische und kambrische Alter für Extrusion dieser Vulkanite durch Zirkoneinzelnkornuntersuchung mittels U-Pb-Datierung an der Ionensonde SHRIMP (Abb. 4). Diese Alterswerte geben damit auch den Zeitraum für die Ablagerung der Sedimente an, die jetzt metamorph als Gneise vorliegen und in die die Metavulkanite eingelagert sind. In Glimmerschiefern des nördlichen Bayerischen Waldes bei Rittsteig konnte REITZ (1992) silurische Sporen nachweisen.

Leider existieren aus sonstigen Bereichen des Bayerischen und Oberpfälzer Waldes sowie des Regensburger Waldes bis jetzt überhaupt keine Datierungen, so daß hier noch ein großer Handlungsbedarf besteht, damit die stratigraphische Einordnung dieser Gesteine auf eine sichere Datenbasis gestellt werden kann.

## 5. Literatur

- AHRENDT, H., GLODNY, J., HENJES-KUNST, F., HÖHNDORF, A., KREUZER, H., KÜSTNER, W., MÜLLER-SIGMUND, H., SCHÜSSLER, U., SEIDEL, E. & WEMMER, K. (1997): Rb-Sr and K-Ar mineral data of the KTB and the surrounding area and their bearing on the tectonothermal evolution of the metamorphic basement rocks. – *Geol. Rdsch.*, **86**: 251–257, Berlin.
- DÖRR, W., FIALA, J., VEINAR, Z. & ZULAUF, G. (1998): U-Pb zircon ages and structural development of metagranitoids of the Tepla crystalline complex: evidence for pervasive Cambrian plutonism within the Bohemian massif (Czech Republic). – *Geol. Rdsch.*, **87**: 135–149, Berlin.
- GANDL, J. (1998): Neue Daten zum jüngeren Paläozoikum NE-Bayerns und angrenzender Gebiete – Faziesentwicklung und geotektonische Konsequenzen. – *Geologica Bavarica*, **103**: 19–273, München.
- GEBAUER, D. (1993): Geochronologische Übersicht. – In: BAUBERGER, W.: *Geologische Karte von Bayern 1: 25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6439 Tannesberg*. – 104 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- GEBAUER, D., WILLIAMS, I. S., COMPSTON, W. & GRÜNENFELDER, M. (1989): The development of the Central European continental crust since the Early Archean based on conventional and ion-micro-probe dating of up to 3.84 b. y. old detrital zircons. – *Tectonophysics*, **157**: 81–96, Amsterdam.
- HEUSE, T., KURZE, M. & REITZ, E. (1994): Paläontologischer Nachweis von Oberproterozoikum (Vendium) in der Zone Münchberg-Frankenber. – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1994** (2): 95–107, Stuttgart.
- KOSSMAT, F. (1927): Gliederung des variszischen Gebirgsbaues. – *Abh. Sächs. Geol. L.-Amt*, **1**: 39 S., Leipzig.
- LINNEMANN, U., GEHMLICH, M., TICHOMIROWA, M., BUSCHMANN, B. & BOMBACH, K. (1999): The reflection of orogenic processes within the neoproterozoic to lower carboniferous sedimentary record of the Saxothuringian terrane ( part I: cadominan basement to silurian). – *Terra Nostra*, **99**(1): 138, Köln.
- MIELKE, H. (1985): Erste Lebensspuren aus Metasedimenten der Bunten Gruppe Ostbayerns (Fichtelgebirge und Oberpfälzer Wald) – Ein weiterer Hinweis auf deren Zuordnung in den Zeitabschnitt Oberes Proterozoikum – Unterstes Kambrium. – *Geol. Bl. NO-Bayern*, **34/35**: 189–210, Erlangen.
- MIELKE, H., ROHRMÜLLER, J. & GEBAUER, D. (1996): Ein metalateritisches Denudations-Niveau als lithologisch und zeitlich korrelierbarer Bezugshorizont in Phylliten, Glimmerschiefern und Gneisen des ostbayerischen Grundgebirges. – *Geologica Bavarica*, **101**: 139–166, München.
- MÜLLER-SOHNUS, D., DRACH, V. VON, HORN, P. & KÖHLER, H. (1987): Altersbestimmungen an der Münchberger Gneismasse, Nordost-Bayern. – *N. Jb. Mineral. Abh.*, **156**: 175–206, Stuttgart.
- QUADT, A. VON (1990): U-Pb zircon and Sm-Nd analyses on metabasites from the KTB pilote bore hole. – *KTB-Report*, **90** (4): 545, Hannover.
- QUADT, A. VON (1994): U-Pb zircon data and Pb-Sr-Nd isotope geochemistry from meta-gabbros from the KTB bore hole. – *Jour. Czech. Geol. Soc.*, **39**(1): 87–88, Prag.
- ROHRMÜLLER, J., MIELKE, H. & GEBAUER, D. (1996): Gesteinsfolge des Grundgebirges nördlich der Donau und im Molasseuntergrund. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 500 000*. – 4. Aufl.: 16–54, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- REITZ, E. (1992): Silurische Sporen aus einem Biotit-Glimmerschiefer bei Rittsteig, Nördlicher Bayerischer Wald. – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1992** (6): 351–358, Stuttgart.
- SIEBEL, W., RASCHKA, H., IRBER, W., KREUZER, H., LENZ, K.-L., HÖHNDORF, A. & WENDT, I. (1997): Early Paleozoic Acid Magmatism in the Saxothuringian Belt: New Insights from a Geochemical and Isotopic Study of Orthogneisses and Metavolcanic Rocks from the Fichtelgebirge, SE Germany. – *Journ. Petrol.*, **38**: 203–230, Oxford.

- SUK, M. [Hrsg.] (1984): Geological history of the territory of the Czech Socialist Republic. – 400 S., Prag (Geol. Surv.).
- TAIT, J. A., BACHTADSE, V., SOFFEL, H. C. & FRANKE, W. (1996): Palaeomagnetic constraints on the evolution of the European Variscan Foldbelt. – *Geologica Bavarica*, **101**: 221–232, München.
- TAIT, J. A., BACHTADSE, V., FRANKE, W. & SOFFEL, H. C. (1997). Geodynamic evolution of the European Variscan fold belt: palaeomagnetic and geological constraints. – *Geol. Rdsch.*, **86**: 585–598, Berlin.
- TAIT, J. A., SCHAETZ, M., ZWING, A., BACHTADSE, V. & SOFFEL, H. C. (1999): Palaeogeography and geodynamic evolution of palaeozoic terranes in the variscan and alpine foldbelts. – *Terra Nostra*, **99**(1): 195–196, Köln.
- ZULAUF, G., DÖRR, W., FIALA, J. & VEJNAR, Z. (1997): Late Cadomian crustal tilting and Cambrian transtension in the Tepla-Barrandian unit (Bohemian Massif, Central European Variscides). – *Geol. Rdsch.*, **86**: 571–584, Berlin.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 15. 9. 1999.



## Rekonstruktion prägranitischer variszischer Tektonik im Fichtelgebirge anhand lithologischer Leithorizonte

Von HUBERT MIELKE, MICHAEL KLING und JOHANN ROHRMÜLLER

Mit 3 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Variszische Orogenese – Fichtelgebirge – Saxothuringikum – Tektonik – bruchhafte und duktile Verformung – Schollentektonik – Granitintrusion

**Kurzfassung:** Nach der geologischen Neuaufnahme des zentralen Fichtelgebirges lassen sich tektonische Bewegungen quer und parallel zum Faltenbau an lithologischen Leithorizontbündeln sehr gut ablesen. Danach führten Schollenverschiebungen zur tektonischen Isolierung des Ebner Sattels südwestlich der Kösseine. Die festgestellten N–S-Transportweiten liegen bei 5 km. Die Verschiebungen erfolgten in zwei Phasen:

1. Phase: Sie lief unter Raumeinengung in NE–SW-Richtung mit Transportweiten um 2 km kurz nach der Auffaltung bei beginnender Metamorphose ab. Bewegungen in E–W-Richtung überwiegen zu dieser Zeit noch gegenüber N–S-gerichteten Verschiebungen. Als Folge werden einzelne Schichtpakete in die N–S-Richtung hineinrotiert.

2. Phase: Jetzt überwiegen NW–SE-gerichtete Bewegungen. Während oder kurz nach dem Höhepunkt der prograden Regionalmetamorphose – die Schichtausbisse verlaufen nur in den Störungszonen etwa senkrecht zu den tektonischen s-Flächen – erfolgt nun die großräumige Verschiebung nach S, noch vor der Platznahme der Fichtelgebirgsgranite.

Aus der Rekonstruktion des ursprünglichen Faltenbaus folgt, daß die durch das Streichen des nördlichen und südlichen Marmorzuges im zentralen Fichtelgebirge vorgegebene Symmetrie nur scheinbar ist. Sie spiegelt keine einheitliche Großfalte wieder. Vielmehr ist der zentrale Teil des Fichtelgebirges ein tektonisch inhomogenes und verschupptes Faltengebilde aus Aufsattelungen und Einnuldungen, das nicht mehr als homogene Antiklinale aufgefaßt werden kann. Erkennbar ist dagegen eine nördliche Antiklinale (Wunsiedler Sattel), die teilweise auf eine südlich folgende Großfalte aufgeschoben wurde. Der Wunsiedler Gneis, als stratigraphisch höherer Teil einer bunten lithologischen Abfolge, bildet in seinem jetzigen Geländeanschnitt den Kernbereich der nördlichen Antiklinale und ist umlaufend von Kalksilikatgesteinen umgeben. Zur Sattelachse und deren Abtauchen nach W besteht zusätzlich umlaufendes Streichen der Schichtausbisse aller lithologischen Bezugsniveaus. Nach E erfolgte die Platznahme des Weißenstadt-Marktleuthener Porphyrgranits im unmittelbaren Sattelkern. Der Bereich der Hauptüberschiebung ist Verbreitungsgebiet der jüngeren Granitgruppe.

### Reconstruction of pregranitic Variscan tectonics in the Fichtelgebirge (NE-Bavaria) on the basis of characteristic lithological markers

**Keywords:** Variscan orogeny – Saxothuringian – Fichtelgebirge – brittle and ductile strike-slip faulting – blok tectonics – granite intrusion

**Abstract:** As a result of recent geological mapping of the central Fichtelgebirge tectonic movements across and parallel to the fold structure were readily recognized based on groups of lithological marker beds.

---

Anschriften der Verfasser: Dr. HUBERT MIELKE, Hauptstr. 66, D-85737 Ismaning; Dipl.-Geol. MICHAEL KLING, Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität München, Luisenstr. 37, D-80333 München; Dr. JOHANN ROHRMÜLLER, Bayerisches Geologisches Landesamt, Außenstelle Marktredwitz, Leopoldstr. 30, D-95615 Marktredwitz.

Displacement of blocks led to tectonic isolation of the Ebnath upfold southwest of Mt. Kösseine. The N–S transport distances of this displacement thus approach 5 km. The displacement took place in two phases:

(1) The first phase was accompanied by spatial shortening in a NE–SW direction showing transport distances around 2 km shortly after upfolding and beginning of metamorphism. Movements in a E–W direction at this time prevail over N–S directed displacement. As result individual piles of rocks were twisted into a N–S direction.

(2) In the second phase NW–SE directed movements predominate. At the climax or shortly later than the prograde regional metamorphism – lines of bed outcrops only in zones of displacement run approximately at right angles to the structural s-planes – the large scale displacement now takes place to the S, still prior to the emplacement of the granites in the Fichtelgebirge.

The reconstruction of primary fold structure shows the symmetry generated by the strike of the northern and southern marble ranges of the central Fichtelgebirge to be only an apparent one. It does not mirror a homogeneous large scale fold. The central part of the Fichtelgebirge is thus a tectonically inhomogeneous and upsliced fold structure consisting of upfolds and downfolds. This bundle of structures can not longer be interpreted to be a homogeneous anticline. Recognizable, however, is a northern central anticline which was thrust on a southern large scale fold element. The large scale fold anticline thus reconstructed forms a fold element in whose core region the Wunsiedel gneiss is surrounded by calc-silicate rocks. Outcrop lines of beds of lithologically relevant reference levels additionally strike peripherally in relation to the anticlinal axis and its plunge to the west. To the east the emplacement of the Weissenstadt-Marktleuthen porphyry granite took place in the immediately adjacent core of the anticline. The region of the main thrusting is the place of occurrence of the younger granite group.

## Inhalt

1. Geologische Übersicht .....	86
2. Rekonstruktion der prägranitischen Lagerungsverhältnisse .....	87
3. Zeitliche und strukturelle Einordnung der Verformung .....	90
4. Diskussion der Lagerungsverhältnisse im zentralen Fichtelgebirge .....	92
5. Literatur .....	94

## 1. Geologische Übersicht

Im zentralen und südwestlichen Fichtelgebirge existieren Abfolgen mit Marmor, Kalksilikatfels, Metabasiten, Metarhyolithen und Quarziten sowie tuffitischen Grauwacken, Metalaterit und Arkosen, die sich als lithologische Leithorizonte für tektonische Untersuchungen verwenden lassen (Abb. 1). Im Gebiet um Ebnath und Mehlmeisel (Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6037 Ebnath) ist seit den Kartierungen von LUDWIG (1965) und RASCHKA (1967) eine Folge lithologischer Horizonte bekannt, deren Streichrichtung deutlich abweicht von der entsprechender lithologischer Horizonte in den benachbarten Gebieten (GK 25, Blatt Nr. 5937 Fichtelberg im N, 5938 Marktredwitz im NE, 6038 Waldershof im E und 6036 Weidenberg im W).

Die Gesteine im hier behandelten Teil des zentralen Fichtelgebirges sind regionalmetamorph geprägt und besitzen für den Metamorphosegrad charakteristische Mineralparagenesen mit Muskovit,  $\pm$  Chlorit, Biotit, Granat, Staurolith, Andalusit bzw. Sillimanit (Paragenese D nach MIELKE et al. 1979) und Muskovit, Chlorit, Chloritoid bzw. Muskovit, Chlorit, Biotit (Paragenese C nach MIELKE et al. 1979).

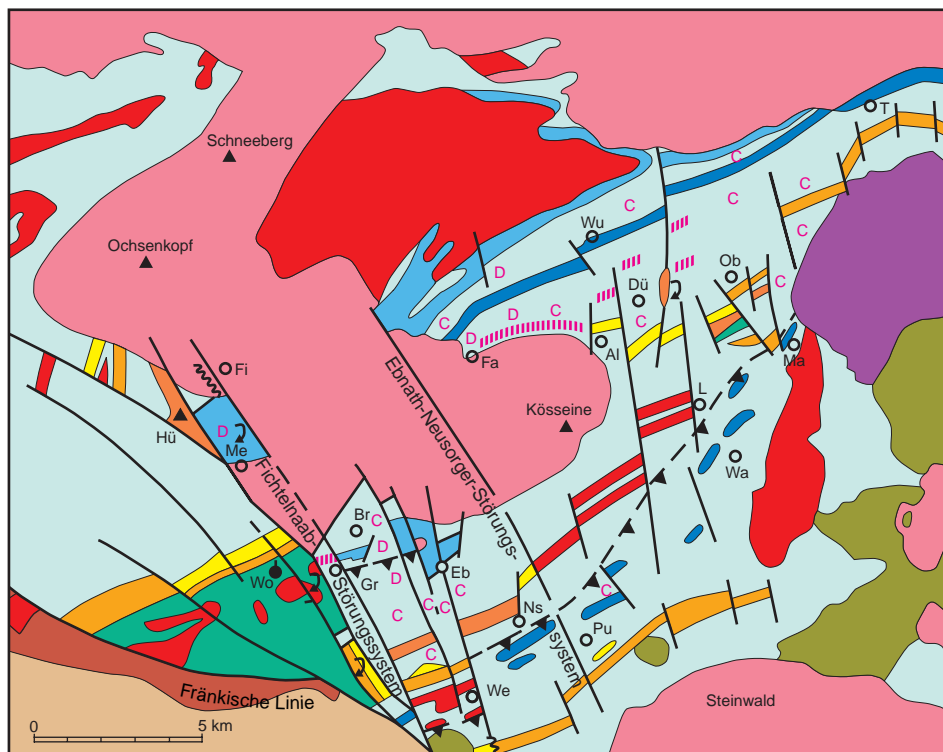
RASCHKA (1967) faßte die Gesteinseinheiten um Ebnath als Ausbiß des ältesten Sattelkerns einer Fichtelgebirgsantiklinale mit präkambrischem Alter auf. Neueste Datierungen (GEBAUER in MIELKE et al. 1996) konnten indessen diese zeitliche Zuordnung nicht bestätigen. Sie ergaben mit  $480 \pm 8$  Mio. Jahre vielmehr ein ordovizisches Alter für die Sedimentation bzw. für die Extrusion der Metavulkanite. Auf Blatt 5938 Marktrechwitz wurden bei der Neukartierung die gleichen lithologischen Einheiten wie auf Blatt Ebnath angetroffen. Die Streichrichtung dieser lithologischen Einheiten stimmt, wie im 1. Absatz dieses Kapitels bereits genannt, nicht mit den entsprechenden Einheiten auf Blatt Nr. 6037 Ebnath überein.

## 2. Rekonstruktion der prägranitischen Lagerungsverhältnisse

Ausgehend von der jetzt vorliegenden Verteilung und Lagerung der lithologischen Einheiten wird bei der Rekonstruktion der prägranitischen Lagerungsverhältnisse versucht, die Gesteinseinheiten von Blatt Nr. 6037 Ebnath so in den umgebenden geologischen Bau einzufügen, daß zu den außerhalb des Blattes Ebnath bekannten Gesteinshorizonten eine optimale Übereinstimmung in der Streichrichtung dieser Horizonte erreicht wird. Dabei werden charakteristische lithologische Abfolgen als Marker verwendet. Mit Hilfe von Verschiebungen und Rotationen werden diese Segmente so in Beziehung gebracht, daß diese Marker eine einheitliche Streichrichtung zeigen und geschlossene Gesteinszüge ergeben. Ein Problem dieser Rekonstruktionen besteht darin, daß bei früheren Bearbeitungen Einheiten, die eine gleiche lithologische Zusammensetzung zeigen, aufgrund des räumlich getrennten Auftretens unterschiedlich benannt wurden. Darüber hinaus erhielten lithologisch gleiche Einheiten durch die verschiedenen Bearbeiter z. T. unterschiedliche Alter zugeschrieben, eine Folge bisher fehlender, echter Zeitmarken. Verschiedentlich wurden bei älteren geologischen Aufnahmen ehemals grobklastische, feldspatreiche Metasedimente unter dem Sammelbegriff „Epigneise“ zusammengefaßt. Dies beeinträchtigt die vollständige Rekonstruktion des ehemaligen Großfaltenbaus etwa im W des Steinach-Sattels und südlich des Neusorg-Waldershof-Marktrechwitzer Marmorzuges.

Bei dieser Verfahrensweise wird der Kalksilikat-Zug von Ebnath (s. Abb. 1) als lithologischer Marker verwendet. Dieser Zug wird zusammen mit den begleitenden Metasedimenten der Alexandersbad-Formation längs der Naabtalstörung um 5,5 Kilometer nach NW verschoben und gleichzeitig um ca. 10 Grad gegen den Uhrzeigersinn gedreht. Es liegen dann folgende gut erkennbare Gesteinshorizonte im Streichen gleicher Einheiten im Bereich der Blätter Nr. 5937 Fichtelberg, 5938 Marktrechwitz, 6036 Weidenberg und 6038 Waldershof (die nachfolgend verwendete Numerierung entspricht der in Abb. 2):

1. Der Kalksilikatfels-Zug von Ebnath befindet sich dann in streichender Fortsetzung zu dem Kalksilikatfels-Zug von Wunsiedel und Mehlmeisel.
2. Die innerhalb der ungegliederten Metapelite und -psammite auftretenden Gesteine der sogenannten Alexandersbad-Formation S Ebnath kommen in streichende Fortsetzung entsprechender Gesteinseinheiten bei Wunsiedel und Mehlmeisel zu liegen.
3. Die tuffitischen Grauwacken von Grünberg/Brand befinden sich im Streichen mit den tuffitischen Grauwacken von Fahrenbach.
4. Der Metalaterit von Neusorg kann, unter Berücksichtigung weiterer Verfaltung im zentralen Fichtelgebirge, in streichender Fortsetzung zu den Metalateritvorkommen von Dünkel-



- |                             |   |                     |
|-----------------------------|---|---------------------|
| Basalt                      | Frauenbachquarzit   | Al    Alexandersbad |
| Trias, ungegliedert         | Metalaterit   | Br    Brand         |
| Rotliegend                  | Phycodenschichten   | Dü    Dünkelhammer  |
| Quarzgang                   | Saurer Metavulkanit (Wunsiedler Gneis, Waldershofer Gneis), saure tuffitische Arkosen | Eb    Ebnath        |
| Granit, ungegliedert        | Tuffitische Grauwacke   | Fa    Fahrenbach    |
| Redwitzit                   | Metapelite und untergeordnet Metapsammit, ungegliedert                                | Fi    Fichtelberg   |
| Kalksilikatfels             | C, D    Metamorphose-Mineralparagenesen nach MIELKE et al. (1979)                     | Gr    Grünberg      |
| Marmor                      | Hü    Hüttenberg  | Le    Leutendorf    |
| Geröllarkose, Geröllquarzit | Ma    Marktredwitz  | Me    Mehmeisel     |
|                             | Ns    Neusorg   | Ob    Oberthörlau   |
|                             | Pu    Pullenreuth   | T    Thiersheim     |
|                             | Wa    Waldershof  | Wn    Wernersreuth  |
|                             | Wo    Wolfssäule  | Wu    Wunsiedel     |
|                             | OT    Thiersheim  |                     |
|                             | Ma    Marktredwitz  |                     |
|                             | Me    Mehmeisel   |                     |
|                             | Ob    Oberthörlau   |                     |
|                             | Pu    Pullenreuth   |                     |
|                             | T    Thiersheim   |                     |
|                             | Wa    Waldershof  |                     |
|                             | Wn    Wernersreuth  |                     |
|                             | Wo    Wolfssäule  |                     |
|                             | Wu    Wunsiedel   |                     |
|                             | Fi    Fichtelberg   |                     |
|                             | Me    Mehmeisel   |                     |
|                             | Hü    Hüttenberg  |                     |
|                             | Br    Brand   |                     |
|                             | Dü    Dünkelhammer  |                     |
|                             | Eb    Ebnath  |                     |
|                             | Fa    Fahrenbach  |                     |
|                             | Gr    Grünberg  |                     |
|                             | Ma    Marktredwitz  |                     |
|                             | Ob    Oberthörlau   |                     |
|                             | Pu    Pullenreuth   |                     |
|                             | T    Thiersheim   |                     |
|                             | Wa    Waldershof  |                     |
|                             | Wn    Wernersreuth  |                     |
|                             | Wo    Wolfssäule  |                     |
|                             | Wu    Wunsiedel   |                     |
|                             | Al    Alexandersbad   |                     |
|                             | Br    Brand   |                     |
|                             | Dü    Dünkelhammer  |                     |
|                             | Eb    Ebnath  |                     |
|                             | Fa    Fahrenbach  |                     |
|                             | Fi    Fichtelberg   |                     |
|                             | Gr    Grünberg  |                     |
|                             | Ma    Marktredwitz  |                     |
|                             | Ob    Oberthörlau   |                     |
|                             | Pu    Pullenreuth   |                     |
|                             | T    Thiersheim   |                     |
|                             | Wa    Waldershof  |                     |
|                             | Wn    Wernersreuth  |                     |
|                             | Wo    Wolfssäule  |                     |
|                             | Wu    Wunsiedel   |                     |
|                             | Al    Alexandersbad   |                     |
|                             | Br    Brand   |                     |
|                             | Dü    Dünkelhammer  |                     |
|                             | Eb    Ebnath  |                     |
|                             | Fa    Fahrenbach  |                     |
|                             | Fi    Fichtelberg   |                     |
|                             | Gr    Grünberg  |                     |
|                             | Ma    Marktredwitz  |                     |
|                             | Ob    Oberthörlau   |                     |
|                             | Pu    Pullenreuth   |                     |
|                             | T    Thiersheim   |                     |
|                             | Wa    Waldershof  |                     |
|                             | Wn    Wernersreuth  |                     |
|                             | Wo    Wolfssäule  |                     |
|                             | Wu    Wunsiedel   |                     |
|                             | Al    Alexandersbad   |                     |
|                             | Br    Brand   |                     |
|                             | Dü    Dünkelhammer  |                     |
|                             | Eb    Ebnath  |                     |
|                             | Fa    Fahrenbach  |                     |
|                             | Fi    Fichtelberg   |                     |
|                             | Gr    Grünberg  |                     |
|                             | Ma    Marktredwitz  |                     |
|                             | Ob    Oberthörlau   |                     |
|                             | Pu    Pullenreuth   |                     |
|                             | T    Thiersheim   |                     |
|                             | Wa    Waldershof  |                     |
|                             | Wn    Wernersreuth  |                     |
|                             | Wo    Wolfssäule  |                     |
|                             | Wu    Wunsiedel   |                     |
|                             | Al    Alexandersbad   |                     |
|                             | Br    Brand   |                     |
|                             | Dü    Dünkelhammer  |                     |
|                             | Eb    Ebnath  |                     |
|                             | Fa    Fahrenbach  |                     |
|                             | Fi    Fichtelberg   |                     |
|                             | Gr    Grünberg  |                     |
|                             | Ma    Marktredwitz  |                     |
|                             | Ob    Oberthörlau   |                     |
|                             | Pu    Pullenreuth   |                     |
|                             | T    Thiersheim   |                     |
|                             | Wa    Waldershof  |                     |
|                             | Wn    Wernersreuth  |                     |
|                             | Wo    Wolfssäule  |                     |
|                             | Wu    Wunsiedel   |                     |
|                             | Al    Alexandersbad   |                     |
|                             | Br    Brand   |                     |
|                             | Dü    Dünkelhammer  |                     |
|                             | Eb    Ebnath  |                     |
|                             | Fa    Fahrenbach  |                     |
|                             | Fi    Fichtelberg   |                     |
|                             | Gr    Grünberg  |                     |
|                             | Ma    Marktredwitz  |                     |
|                             | Ob    Oberthörlau   |                     |
|                             | Pu    Pullenreuth   |                     |
|                             | T    Thiersheim   |                     |
|                             | Wa    Waldershof  |                     |
|                             | Wn    Wernersreuth  |                     |
|                             | Wo    Wolfssäule  |                     |
|                             | Wu    Wunsiedel   |                     |
|                             | Al    Alexandersbad   |                     |
|                             | Br    Brand   |                     |
|                             | Dü    Dünkelhammer  |                     |
|                             | Eb    Ebnath  |                     |
|                             | Fa    Fahrenbach  |                     |
|                             | Fi    Fichtelberg   |                     |
|                             | Gr    Grünberg  |                     |
|                             | Ma    Marktredwitz  |                     |
|                             | Ob    Oberthörlau   |                     |
|                             | Pu    Pullenreuth   |                     |
|                             | T    Thiersheim   |                     |
|                             | Wa    Waldershof  |                     |
|                             | Wn    Wernersreuth  |                     |
|                             | Wo    Wolfssäule  |                     |
|                             | Wu    Wunsiedel   |                     |
|                             | Al    Alexandersbad   |                     |
|                             | Br    Brand   |                     |
|                             | Dü    Dünkelhammer  |                     |
|                             | Eb    Ebnath  |                     |
|                             | Fa    Fahrenbach  |                     |
|                             | Fi    Fichtelberg   |                     |
|                             | Gr    Grünberg  |                     |
|                             | Ma    Marktredwitz  |                     |
|                             | Ob    Oberthörlau   |                     |
|                             | Pu    Pullenreuth   |                     |
|                             | T    Thiersheim   |                     |
|                             | Wa    Waldershof  |                     |
|                             | Wn    Wernersreuth  |                     |
|                             | Wo    Wolfssäule  |                     |
|                             | Wu    Wunsiedel   |                     |

Abb. 1. Schematische geologische Übersichtskarte des zentralen und südwestlichen Fichtelgebirges mit lithologischen Leithorizonten, die zur Rekonstruktion der prägranitischen Tektonik herangezogen werden können.

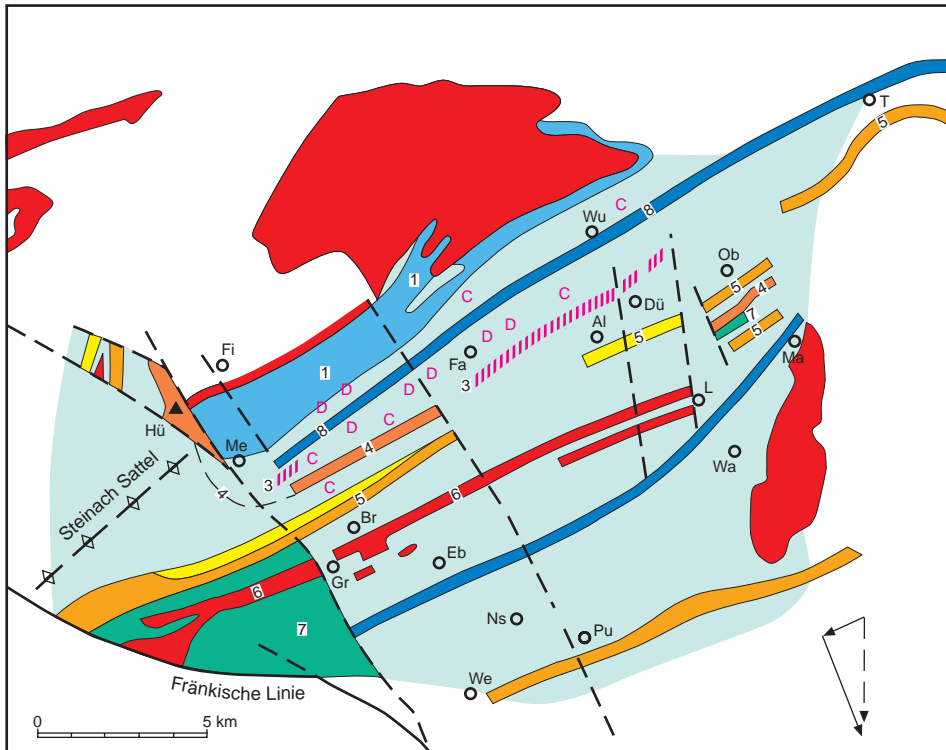


Abb. 2. Verteilung der lithologischen Leithorizonte nach Rückführung der Versetzungsbeträge im Bereich des Kalksilikatfels-Zuges von Ebnath; das prägranitische Störungssystem ist hervorgehoben. Die nach der Rekonstruktion sich entsprechenden Schichtausbisse sind mit Ziffern gekennzeichnet (die Numerierung entspricht der in Kap. 2, Legende s. Abb. 1).

hammer und Oberthörlau sowie, unter Berücksichtigung hier vorliegender gekrümmter Schichtausbisse, zu dem Metalateritvorkommen vom Hüttenberg gesehen werden.

5. Der Quarzit vom Frauenwald NW Wernersreuth und der Quarzit E Alexandersbad sowie der Frauenbachquarzit bei der Wolfssäule befinden sich im Streichen. Der Quarzit vom Bärenrangen N Neusorg liegt in streichender Fortsetzung des Quarzits NW Alexandersbad.
6. Die mylonitischen Arkosen von Wernersreuth auf Blatt Nr. 6037 Ebnath können mit unterschiedlich verbleibendem Versatz und unter Berücksichtigung weiterer Verfaltungen im inneren Fichtelgebirge mit den tuffitischen Arkosen von Leutendorf, vom Bärenrangen sowie von Haid und Höll N Neusorg in Verbindung gebracht werden. Ferner liegt die mylonitische Arkose von Wernersreuth im Streichen der tuffitischen Arkose des Saugrabens direkt W Grünberg.
7. Bei den Phycodenschichten können die Verbindungen nicht problemlos erkannt werden, da diese Schichten durch die Umkristallisation bei der Metamorphose meist nicht mehr zweifelsfrei zugeordnet werden können. So bildet das kleine Vorkommen der Phycodenschichten von Oberthörlau eine isolierte Insel in den umgebenden Metasedimenten, während die Phycodenschichten im westlichen Fichtelgebirge weiträumig verbreitet sind.

8. Der Wunsiedler Marmor käme bei gleicher Streichrichtung in Verlängerung des ebenfalls „rückgeschobenen“, einzigen E–W-verlaufenden Teilstückes des Naabtales zu liegen.

Nach der Rückführung der ursprünglichen Verschiebungsbeträge kommen auch die metamorphen Isograden der Paragenesen D und C (nach MIELKE et al. 1979) wieder in Übereinstimmung. Die oben genannten Quarzite sind teilweise geröllführend mit identischem Geröllinhalt. Sie entsprechen den Geröllquarziten des Höllfelsens aus dem Steinach-Sattel.

Der Wunsiedler Marmor wurde in der tektonisch isolierten Schuppe von Ebnath bis jetzt nicht angetroffen. Seine sich aus der Verschiebung ergebende Lage fällt indessen mit dem nur hier E–W streichenden Tal der Fichtelnaab zusammen. Die tuffitischen Grauwacken liegen im Bereich dieses Talabschnittes der Fichtelnaab im rekonstruierten Teil geringfügig nördlich der angenommenen Lage des Wunsiedler Marmors, während sie sonst südlich davon austreichen. Mögliche Ursachen hierfür sind, daß mit der Rekonstruktion nicht alle tektonischen Bewegungen erfaßt wurden. So kann z. B. überkippte Lagerung von Teilbereichen nach erfolgter Verschiebung der Hauptscholle mangels Aufschlüssen kaum erkannt werden.

### 3. Zeitliche und strukturelle Einordnung der Verformung

Die Verstellung der metamorphen Isograden und das Fehlen der beschriebenen Schollenverschiebungen in den Granitmassiven zeigen, daß diese Verschiebungen postmetamorph, aber prägranitisch erfolgten. Es muß aber in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, daß diese NNW- bis NW-streichenden Störungen in spät- und postvariszischer Zeit mehrfach aktiviert wurden. Der während der Metamorphose angelegte Hauptfaltenbau dieser Fichtelgebirgseinheiten wurde nach Ablauf der Regionalmetamorphose entlang von räumlich eng begrenzten Störungszonen zerschert. Im Bereich des ca. 160° streichenden Störungssystem der Fichtelnaabstörung wurden die Schichtglieder des Gebietes um Ebnath aus ihrer einstigen Lage um 5,5 km nach SSE verschoben. Im E teilen sich die Bewegungen auf das Ebnath-Neusorger Störungssystem auf.

Das westliche Störungssystem, das Fichtelnaabstörungssystem, wird in seinem südlichen Verlauf Bestandteil der Fränkischen Linie. Durch den dextralen, in diesem Fall SSE-gerichteten Versatz an den steilstehenden, NNW-streichenden Störungen, verbunden mit einer NE–SW gerichteten Einengung und einer Teilrotation von Schollen im Uhrzeigersinn, werden hier in einer ersten Phase der Frauenbachquarzit und die sauren Tuffite des Schwarzberges (Blatt Nr. 6037 Ebnath) sowie die Kalksilikatfelse von Mehlmeisel (Blatt Nr. 6037 Ebnath) in Richtung des Störungssystems hineingedreht. Als Folge dieser Rotation streichen ihre Schichtausbisse hier NW–SE und folgen nicht dem NE–SW-Generalstreichen des zentralen Fichtelgebirges. Wie Abbildung 1 zeigt, bleiben einzelne Schollenbereiche in dieser Zone von einer Verstellung verschont. Zu erklären ist dies mit einer rechtsdrehenden Rotation, wobei die südlichen Teile einer Scholle stärker nach SW abdrehen als die nördlichen. Im nördlichen Schollenteil war der Eineinigungsbetrag geringer, die Schichtausbisse streichen normal und sind nicht in die NW–SE-Richtung abgknickt. Das tektonische Scherflächengefüge (s) und die Runzelung wurden mit rotiert. Dies gilt auch für die im Bereich des Blattes Marktredwitz festgestellten Verdrehungen der Schichtausbisse. Bei gleichbleibendem tektonischem Spannungsfeld wurde das rotierte, ältere s-Flächengefüge überprägt, es wurden neue Scherflächen angelegt, an denen Translationen erfolgten. Die Richtung dieser jüngeren Teilbewegung war entgegengesetzt zu der Spur der älteren Bewegung. Dadurch entstand eine mehr oder weniger deutliche Vergitterung der beiden Teilgefüge, die in Phylliten zu griffelschieferähnlichen Ablösungsstrukturen führte.

Diese Verformung erfolgte noch im duktilen Milieu nach der Auffaltung und kurz vor oder nach dem Höhepunkt der prograden Metamorphose bei noch fortdauernder Einengung mit noch „aktiven“ s-Flächen. Nur so kann die Übereinstimmung der Isograden der Metamorphose nach der quasi „Rückverschiebung“ durch die jüngere Phase erklärt werden. Hinweise hierfür gibt auch das Interngefüge der prograden Minerale Albit, Chloritoid, Granat und Staurolith, die nachweislich bereits nach der ersten Anlage von Falten und Fältelungen sproßten und die dann, bei weitergehender Faltung, zum bereits gefalteten Ausgangsgefüge gedreht erscheinen.

Die Abbildung 2 zeigt ferner zusätzliche tektonische Verstellungen weiter im E. Sie bleiben auch nach der rekonstruierten Rückverschiebung des Ebnather Sattels im W mit ihren unterschiedlichen Versetzungsbeträgen im E klar zu erkennen. Da die Distanz lithologisch entsprechender Schichtausbisse zueinander in E–W-Richtung variiert, handelt es sich hier nicht allein um Schollenverschiebungen. Vielmehr sind auch vertikale Bewegungen innerhalb des Faltenbaues beteiligt, die durch den heutigen Geländeanschnitt zu unterschiedlichen Distanzen der Schichtausbisse führten.

Die Ausbißbreite der verschobenen Ebnather Scholle beträgt in E–W-Richtung etwa 6 km und die Transportweite in N–S-Richtung ca. 5 km. Die durch die Raumeinengung in NE–SW-Richtung bewirkte, durch das Abknicken von Schichtgliedern in die NW–SE-Richtung hervorgerufene Verkürzung beträgt bis 2 km. Die westliche Grenze der Ebnather Scholle bildet die Fichtelnaabstörung, die östliche das Ebnath-Neusorger Störungssystem. Nach S läßt sich das verschobene Teilstück bis in die Gegend E Waldeck erkennen. Die Transportweite selbst resultiert aus verschiedenen Teilbewegungen an NNE-, NE bis ENE- und SSE-streichenden, nahezu saiger stehenden Teilstörungen des Naabstörungssystems. Die Bewegungsvektoren hierzu sind in Abbildung 2 zusammengestellt. Die sehr oft vorkommende N–S-Richtung von tektonischen Störungen folgt der Resultierenden der beiden Teilbewegungen. Aus dem komplex zusammengesetzten Bewegungsvorgang ergibt sich die Schollenverschiebung von Ebnath.

Flächenmäßig wird das einstige Ursprungsgebiet dieser Gesteine des Gebietes um Ebnath heute überwiegend vom älteren porphyrischen Randgranit G2 eingenommen. Die Verschiebungen und Rotationen erfolgten weitgehend vor der Platznahme der jungvariszischen Granite. Der jüngere, grobkörnige Kerngranit G3 ist auf die Randpartie zum heute vorliegenden Schichtenverband beschränkt. In einigen Bereichen können in Fortsetzung der Störungen in den Granit hinein durch ehemals verstärkten Durchsatz von Fluidmaterial Alterationen beobachtet werden. Diese führten z. B. im G2 und G3 zu gelegentlichem Riesenwuchs von Kalifeldspäten im Dezimeter- bis Meterbereich. Zudem finden sich entlang solch ehemaliger Störungszonen vermehrt Xenolithe.

Über den Tiefgang der Scholle von Ebnath könnten nur Bohrungen Aufschluß geben. Südlich der Überschiebung von Wernersreuth ist der weitere Verlauf der großen Störungszone durch fehlende kartierte Einzelhorizonte nur noch schwer auszumachen. Die östliche Begrenzung wird SE Wunschenberg durch Quarzgänge dokumentiert. Auch springen hier die Metasedimente gegenüber dem Steinwaldgranit nach S vor. Andererseits liegen die Gräfenenthaler Schichten des sogenannten Erbdorfer Paläozoikums ohne Versatz genau im Streichen von denen der Hatzenreuther Mulde, was zumindest ab hier das Ende der Störungszone andeutet.

Sicherlich kam es innerhalb der verschobenen Ebnather Scholle zu Teilablösungen mit Überschiebungscharakter. Hierfür spricht die sich in E–W-Richtung erstreckende Mylonitierung der sauren Metatuffite von Wernersreuth. Nach der Kartierung von RASCHKA (1967) zeigen sie in diesem Raum stirnwellenartig verbogene Ausbisse. Der Neusorger Marmor ist

genau hier auf einer Länge von 5 Kilometern unterdrückt (Abb. 1). Andererseits zeigt der Frauenbachquarzit südlich von Wernersreuth keinerlei tektonischen Versatz. Er folgt dem Streichen des Frauenbachquarzits der Hatzenreuther Mulde. Die Überschiebungszone dürfte damit unmittelbar südlich der mylonitischen Metatuffite von Wernersreuth enden.

Das Fehlen des Wunsiedler Marmors bei Ebnath kann auf eine weitere Überschiebung im Bereich des nur hier E–W-streichenden Naabtales NW Ebnath zurückgehen. Weitere Überschiebungen lassen sich im Bereich von Neusorg ableiten. Schichtglieder, die bei ungestörter Lagerung weiter nördlich ausstreichen müßten, sind hier nach S verfrachtet, während der Neusorg-Waldershof-Marktredwitzer Marmor selbst keinerlei nennenswerte Verstellungen erkennen läßt. Die wahrscheinliche Überschiebungsfläche war als flach nach N einfallende Mylonitzone beim Bau der Bahnüberführung in Neusorg aufgeschlossen.

#### 4. Diskussion der Lagerungsverhältnisse im zentralen Fichtelgebirge

Mit der Teilrekonstruktion des ursprünglichen Großfaltenbaus des zentralen Fichtelgebirges wird klar, daß die durch die Ausbisse des nördlichen und des südlichen Marmorzuges vorgezeichnete Symmetrie keineswegs ein einheitliches Antiklinorium nachzeichnet. Der heute erkennbare Bau ist vielmehr tektonisch inhomogen und beinhaltet Schollenpakete mit Gesteinen unterschiedlichen Alters. Dabei besteht der Trend zu jüngeren Einheiten im Mittelbereich zwischen den beiden Marmorzügen. Eine Symmetrie umlaufender Schichtausbisse, wie sie ein homogenes Faltengebilde zeigen würde, ist im Kernbereich nach der Neuaufnahme zusätzlicher Schichtglieder nicht erkennbar. Deren Abfolge erzeugt vielmehr das Schema „alt–jung – alt–jung“. Die alleine auf die beiden Marmorzüge gestützte Annahme einer Großfalte erweist sich als falsch. Ihre Deutung als Antiklinale wäre sicherlich unterblieben, wären bereits früher mehr lithostratigraphische Niveaus bekannt und kartiert gewesen.

Die Lagerungsverhältnisse des zentralen Fichtelgebirges sind bestimmt durch eine nördliche Sattelstruktur im Bereich von Wunsiedel–Thiersheim (Wunsiedler Sattel) und eine südliche Sattelstruktur im Gebiet von Neusorg–Marktredwitz–Arzberg. Die dazwischen liegenden Gesteinsserien bilden isoklinale, z. T. verschuppte Auf- und Einwölbungen in Muldenstellung. Dies hatte v. GAERTNER (1951) bereits vorweggenommen.

Der Wunsiedler Sattel wird aus dem nördlichen Marmorzug aus Wunsiedler Marmor und Kalksilikatfels aufgebaut. Dieser Zug bildet zusammen mit seinen Begleitgesteinen in ehemaliger Konturifazies (Ablagerung durch küstenparallele Strömungen) und mit dem Ebnather Sattel (RASCHKA 1967) eine in E–W-Richtung länger durchhaltende Sattelaufwölbung (v. GAERTNER 1942, 1951; STETTNER 1958). Sie geht nach W in den Steinach-Sattel (MIELKE 1967) mit jüngeren Schichtgliedern über. Dieser Übergang zu jüngeren Einheiten geschieht, tektonisch bedingt, unstetig (Abb. 1 u. 2). Die Schichtglieder drehen auf den Blättern Nr. 6036 Weidenberg und 5936 Bad Berneck von der NE–SW-Richtung in die N–S-Richtung hinein, um dann im N des Blattes Bad Berneck über die Blätter Nr. 5837 Weißenstadt und 5838/39 Selb-Schönberg wieder in die NE–SW-Richtung zurückzuschwenken. Sie zeichnen damit einen Sattel nach (Abb. 3), in dessen Kern der Wunsiedler Gneis umlaufend von Kalksilikatfels umgeben wird und in dem im E die Platznahme des Weißenstädter-Marktleuthener Granits erfolgte. Von diesem Zentrum aus kommt man jeweils nach S und N in jüngere, zueinander symmetrisch liegende Schichtglieder, von denen der Frauenbachquarzit, die Keratophyrtuffe und die Metalaterite datierbar waren. Der als ordovizisch datierte Wunsiedler Gneis dürfte den Anschnitt eines hangenden Stockwerks innerhalb dieses Großsattels bilden. Die Abbildung 3



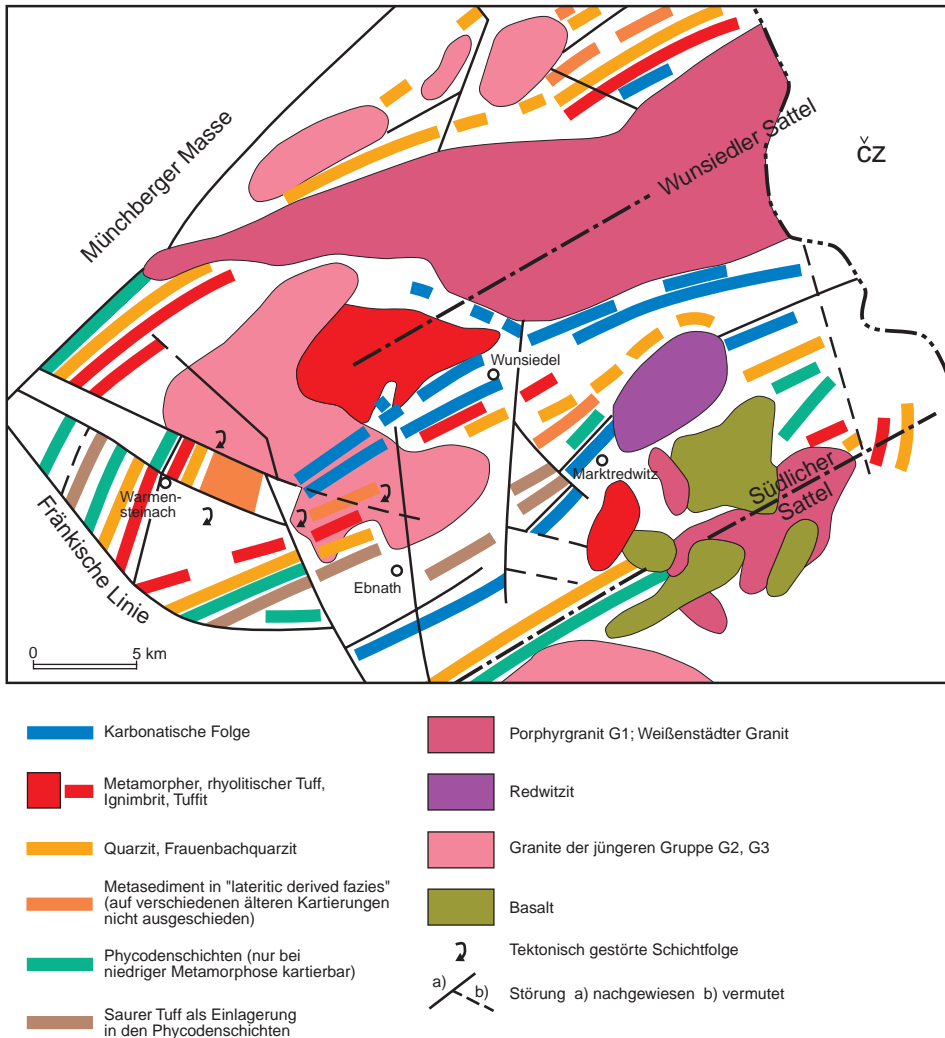


Abb. 3. Schematische Karte der tektonischen Strukturen des zentralen Fichtelgebirges mit den Ausbissen von lithologischen Leithorizonten. – Die Lagerungsverhältnisse des zentralen Fichtelgebirges sind bestimmt durch eine nördliche Sattelstruktur im Bereich von Wunsiedel–Thiersheim (Wunsiedler Sattel) und eine südliche Sattelstruktur im Gebiet von Neusorg–Marktredwitz–Arzberg. Die dazwischen liegenden Gesteinsserien bilden isoklinale, z. T. verschuppte Auf- und Einwölbungen in Muldenstellung. Die sogenannte Warmensteinacher Serie des westlichen Fichtelgebirges kann mit der Frauenbach Gruppe parallelisiert werden (STEIN 1988) und ist lediglich an einer NW-streichenden Störungszone nach SE versetzt.

zeigt weiter, daß die Quarzite der Warmensteinacher Serie (MIELKE 1967; STETTNER 1980) dem nach SE versetzten Frauenbachquarzit entsprechen.

Auf den von Graphitschiefern begleiteten nördlichen Marmorzug folgen nach S im inneren Teil des Fichtelgebirges aufgrund physikalischer Datierung und nach dem Alter von Geröllen in klastischen Metasedimenten jüngere Schichten. Die jüngsten identifizierbaren Schichtglie-

der sind der Frauenbachquarzit (z. T. konturitisch) und die Phycodenschichten. Sie wiederholen sich südlich des südlichen Marmorzuges in der vom Wunsiedler Sattel räumlich unabhängigen, südlichen Sattelstruktur (s. Abb. 3).

Das Gebiet zwischen dem Wunsiedler Sattel im N und der südlichen Sattelstruktur ist tektonisch sehr inhomogen aufgebaut (v. GAERTNER 1951; STETTNER 1958; RASCHKA 1967). Interne Verschuppung, tertiäre Sedimentauflagen, die Möglichkeit streichender Störungen und Metasedimente mit wenig typischer Lithologie erschweren eine eindeutige Beurteilung des Bauplanes dieser Zwischenzone. LANDSAT-Aufnahmen (PIEWACK 1996) bestätigen das. Dieser Bereich ist sowohl durch streichende Störungen als auch durch Querstörungen stark zergliedert. Anders als beim Wunsiedler Sattel überwiegen hier im Südteil dieser Zwischenzone Metasedimente in ehemals neritischer Normalfazies. Nach S folgen auch hier wieder Frauenbachquarzit und Phycodenschichten.

Versätze an streichenden Störungen sind auch bei gut zu erkennenden Lithologien schlecht auszumachen. Daher sind sie sicherlich häufiger als das Kartenbild vermuten läßt. Die Transportweiten in Richtung des Faltenbaus lassen sich an Hand der verstellten Schichtausbisse ableiten. Es sind 2 km Versatz nachweisbar.

Lithologisch unterschiedliche Faziesentwicklungen wie neritisch und konturitisch lassen zeitgleiche Ablagerungen dem Auge völlig anders erscheinen. Besonders betroffen ist der Frauenbachquarzit, der in beiden Faziesentwicklungen vorliegt und in seiner konturitischen Form (Plattenquarzite, Seifenquarzite) von früheren Bearbeitern meist nicht als solcher erkannt wurde.

Die Deutung des Fichtelgebirges als einheitliche Antiklinale (MIELKE 1967, 1982) oder gar als assyntisch konsolidierter Block mit diskordant auflagerndem Kambrium (STETTNER 1972) läßt sich mit diesen Ergebnissen zwar nicht mehr aufrecht erhalten, doch erscheinen diese Auffassungen, rückblickend betrachtet, dem damaligen Kenntnisstand durchaus angemessen.

## 5. Literatur

- GAERTNER, H. R. VON (1942): Die Schichtgliederung der Phyllitgebiete in Thüringen und Nordbayern und ihre Einordnung in das stratigraphische Schema. – Jb. Reichsanst. Bodenforsch., **62**: 54–80, Berlin.
- GAERTNER, H. R. VON (1951): Probleme des Saxothuringikums. – Geol. Jb., **65**: 409–450, Hannover.
- LUDWIG, V. (1965): Stratigraphische und tektonische Untersuchungen in einem Teilgebiet des westlichen Fichtelgebirges. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **123**: 25–40, Stuttgart.
- MIELKE, H. (1967): Lithostratigraphische Gliederung der Arzberger Serie im westlichen Fichtelgebirge. – Diss. Univ. Würzburg: 123 S., Würzburg.
- MIELKE, H. (1982): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6037 Ebnath. – 115 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- MIELKE, H., BÜMEL, P. & LANGER, K. (1979): Regional low-pressure metamorphism of low and medium grade in metapelites and psammites of the Fichtelgebirge area, NE-Bavaria. – N. Jb. Mineral. Abh., **137**(1): 83–112, Stuttgart.
- MIELKE, H., ROHRMÜLLER, J. & GEBAUER, D. (1996): Ein metalateritisches Denudations-Niveau als lithologisch und zeitlich korrelierbarer Bezugshorizont in Phylliten, Glimmerschiefern und Gneisen des ostbayerischen Grundgebirges. – Geologica Bavarica, **101**: 139–166, München.

- PIEWACK, M. (1996): Beweissicherung zur Erhöhung der Wasserentnahme aus dem Bereich des Marktredwitzer Marmorzuges mit Auswertung neuer Bohrpunkte – Hydrologische, hydrogeologische, meteorologische und hydrochemische Untersuchungen 1993–1995. – Ber., Bayreuth. – [Unveröff.]
- RASCHKA, H. (1967): Lithostratigraphische Gliederung der präordovizischen Arzberger Serie und die tektonische Entwicklung im südlichen Fichtelgebirge. – Diss. Univ. Würzburg: 187 S., Würzburg.
- STEIN, E. (1988): Die strukturgeologische Entwicklung im Übergangsbereich Saxothuringikum/Moldanubikum in NE-Bayern. – *Geologica Bavarica*, **92**: 5–131, München.
- STETTNER, G. (1958): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 5937 Fichtelgebirge. – 116 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- STETTNER, G. (1972): Zur geotektonischen Entwicklung der Böhmisches Masse bei Berücksichtigung des Deformationsstils im orogenen Bewegungssystem. – *Z. dt. Geol. Ges.*, **123**: 291–326, Hannover.
- STETTNER, G. (1980): Zum geologischen Aufbau des Fichtelgebirges. – *Der Aufschluß*, **31**: 391–403, Heidelberg.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 2. 8. 1999.



## Geologie, Hydrogeologie und Geochemie der Thermalwasserbohrung Treuchtlingen 2 (T 2)

Von WALTER FREUDENBERGER, ELMAR LINHARDT und JAN-PETER WRABEL

Mit 9 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Bayern – Frankenalb – Treuchtlingen – Thermalwasserbohrung – Perm – Trias – Jura – Lithostratigraphie – Hydrogeologie – Geochemie – Gamma-Ray-Log – Vulkanite – Haupt- und Spurenelemente

**Kurzfassung:** Auf Blatt 7031 Treuchtlingen wurden in einer 812 m tiefen, erfolgreich niedergebrachten Thermalwasserbohrung Jura, Trias und Perm erbohrt. Die Konzeption der Bohrung sowie hydrogeologische Besonderheiten werden dargestellt. Die Schichtenfolge der Trias und des Rotliegend wurde detailliert untersucht, die stratigraphischen Ergebnisse im Säulenprofil dem Gamma-Ray-Log gegenübergestellt. An Spülproben der triadischen und permischen Gesteinsabfolge wurden geochemische Untersuchungen durchgeführt. Mit Hilfe typischer Gehalte der Haupt- bis Spurenelemente sollten sowohl eine Gesteinsklassifikation als auch die Bestätigung für die vorab durchgeführte lithostratigraphische Unterteilung des Profils erzielt werden. Die Sedimente der Trias zeichnen sich insgesamt durch eine starke terrigene Prägung in beckenrandnaher Position aus. Die fraglichen Schichtglieder des Unteren Keupers bis Oberen Hauptmuschelkalkes sind dagegen geochemisch nicht nachzuweisen. Die untersuchten Vulkanite zwischen 770 m und 812 m weisen eine rhyodazitische Zusammensetzung auf und zeigen ein peraluminines, kalkalkalisches Verhalten mit einem typischen S-Typ-Charakter.

### Geology, hydrogeology and geochemistry of the thermal water well Treuchtlingen 2 (T 2)

**Keywords:** Bavaria – Frankenalb – Treuchtlingen – thermal water well – Permian – Triassic – Jurassic – lithostratigraphy – hydrogeology – geochemistry – gamma-ray log – volcanic rocks – major and trace elements

**Abstract:** A drilling project on thermal water located at the town of Treuchtlingen (approx. 100 km NW Munich, Bavaria) was carried out successfully and reached a depth of 812,0 m. Jurassic to Permian rocks were drilled. The project as well as hydrogeological particularities are highlighted. A comparison of stratigraphic results along the sequence with gamma-ray log follows. The analyzed material represents drill cuttings of the lower three-quarters of the well. The examination of major to trace elements revealed specific geochemical fingerprints, thus allowing a more precise lithological subdivision of Triassic and Rotliegend sediments and volcanic rocks. This work aimed at specifying foregoing lithostratigraphic subdivisions. The Triassic sedimentary pile represents a section through a near-shore environment strongly influenced by terrigenous detritus. The lithologies of the Upper Keuper series correspond in their compositions and stratigraphic positions with those of the basin. Geochemical results don't evidence the presence of Upper Muschelkalk to Lower Keuper series. The examined volcanic rocks of the depth interval from 770 m to 812 m are of rhyodacitic composition and show peraluminous, calc-alkaline behavior with a strong s-type character.

---

Anschriften der Verfasser: Dr. WALTER FREUDENBERGER und Dr. JAN-PETER WRABEL, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstraße 128, D-80797 München; Dr. ELMAR LINHARDT, Bayerisches Geologisches Landesamt, Außenstelle Marktredwitz, Leopoldstr. 30, D-95615 Marktredwitz.

## Inhalt

1. Vorbemerkung .....		98
2. Konzeption, Hydrogeologie und Durchführung der Bohrung (J.-P. WROBEL) .....		98
3. Geologie (Trias bis Perm) (W. FREUDENBERGER) .....		100
3.1. Bohrgutbeschreibung .....		100
3.2. Schichtenfolge .....		102
3.3. Paläogeographische Aspekte .....		105
4. Geochemie (E. LINHARDT) .....		106
4.1. Charakterisierung des Bohrgutes nach der Feldaufnahme .....		106
4.2. Geochemische Klassifikation .....		107
4.2.1. Trias- und Rotliegend-Sedimente .....		107
4.2.2. Rotliegend-Vulkanite und Rotliegend-Wechselfolge .....		110
4.3. Folgerungen für die stratigraphische Einstufung .....		115
5. Literatur .....		120

### 1. Vorbemerkung

Nach erfolgreicher Thermalwassererschließung der Brauerei Schäff in Treuchtlingen (Brg. T 1, SALGER & SCHMIDT-KALER 1978) wurde im Auftrag der Stadtwerke Treuchtlingen die Thermalwasser-Erschließungsbohrung Treuchtlingen 2 (T 2) 1991 ebenfalls mit gutem Erfolg niedergebracht. Planung und hydrogeologische Betreuung erfolgte durch Dr. J.-P. WROBEL vom Bayerischen Geologischen Landesamt. In seinem Abschlußbericht wurden die Ergebnisse mitgeteilt (WROBEL 1992). Eine vorläufige stratigraphische Gliederung, die nach Gamma-Ray-Log erfolgte, publizierte HAUNSCHILD (1992). Ziel der vorliegenden Arbeit ist nun eine detaillierte Beschreibung der Trias und des Rotliegend. Durch gezielte geochemische Untersuchungen wird versucht, die stratigraphische Einstufung zu untermauern.

Die Bohrung wurde von der Firma Anger's Söhne bis 55,5 m im Schlagbohr-, bis 164,0 m im Lufthebe- und bis zur Endteufe von 812,0 m im Rotaryverfahren ausgeführt. Dem Bayerischen Geologischen Landesamt wurde das Bohrgut von den Stadtwerken Treuchtlingen zur weiteren Bearbeitung überlassen, wofür insbesondere Herrn Werkleiter Dipl.-Ing. KLEIN zu danken ist.

### 2. Konzeption, Hydrogeologie und Durchführung der Bohrung

(JAN-PETER WROBEL)

Die Stadtwerke Treuchtlingen verfügen über eine 812 m tiefe Thermalwasserbohrung (Teuchtlingen T 2), aus der das städtische Thermal-Hallen- und Freibad „Altmühltherme“ seit 1995 mit knapp +30 °C warmem Wasser beschickt wird. Bis Mitte der 90er Jahre bezog das Bad während der Nachtstunden Thermalwasser aus einer 615,8 m tiefen Bohrung der Firma Schöffbräu, nahe am alten Stadtschloß von Treuchtlingen. Da der Eigenbedarf der Brauerei ständig stieg und man beim Betreiben des Bades unabhängig von betrieblichen Abläufen in der Firma Schöffbräu werden wollte, waren schon 1980 bei der Stadt Treuchtlingen, unter ihrem 1. Bürgermeister H. DÖBLER, Bestrebungen im Gange, eine eigene Bohrung niederzubringen.

Verbunden damit war die Hoffnung auf eine größere verfügbare Wassermenge und womöglich eine höhere Temperatur.

Schließlich wurde 1987 unter dem 1. Bürgermeister W. HERRMANN die Bitte an das Bayerische Geologische Landesamt (GLA) herangetragen, ein hydrogeologisches Gutachten für eine entsprechende Thermalwasserbohrung zu erstellen.

Das von Dr. H. J. EXLER verfaßte Gutachten des GLA vom 10. 07. 1987 stützte sich u. a. auf geologische Arbeiten über den Raum Treuchtlingen mit Umgebung (SCHMIDT-KALER 1976, 1978; SALGER 1982; RIETZLER 1984), auf regionalgeologische und hydrogeologische Kenntnisse, auf Bohrungsdaten und natürlich insbesondere auf die Ergebnisse der Thermalwasserbohrung (T 1) der Firma Schöffbräu in Treuchtlingen.

Diese 615,8 m tiefe Bohrung fördert aus Sandsteinen des untersten Keupers und sandig ausgebildetem Muschelkalk, während ebenfalls noch erbohrte Schichten des Rotliegend wohl kaum zur Förderung beitragen. Bei einer Entnahmemenge von 10 l/s stellte sich eine Absenkung von rd. 55 m ab Ruhewasserspiegel (-34,84 m) ein. Die Auslauftemperatur erreichte +27,4 °C.

Das Gutachten des GLA vom Juli 1987 kam zu dem Schluß, daß für die zweite Thermalwasserbohrung in Treuchtlingen wiederum die selben Horizonte für eine Erschließung in Frage kämen wie in der Schöffbräu-Bohrung, da unterhalb von 500 m Teufe keine wasserführenden Horizonte mehr zu erwarten seien. Daher seien auch vergleichbare hydrogeologische Verhältnisse – Ergiebigkeit, Chemismus und Temperatur – zu erwarten. Als für eine Bohrung geeignet wurde ein Ansatzpunkt neben dem bestehenden Hallenbad, ca. 330 m von der Bohrung T 1 entfernt, vorgeschlagen.

Mitte des Jahres 1990 trat das Projekt in seine konkrete Phase. Vom umsichtigen und engagierten Werkleiter R. KLEIN der Stadtwerke Treuchtlingen erhielt das GLA den Auftrag für die geologische und hydrogeologische Betreuung der Thermalwasserbohrung Treuchtlingen T 2.

Die Festlegung des Bohrplatzes bereitete zunächst erhebliche Schwierigkeiten, da eine ganze Reihe von Gesichtspunkten zu berücksichtigen waren wie gegenseitige Beeinflussung der Bohrungen T 1 und T 2, Überschwemmungsgebiete, Lärmschutz, Leitungslängen u. a. m. Schließlich wurde ein Ansatzpunkt südöstlich des Stadtzentrums am Burgstall – R 442074, H 542437, Ansatzhöhe: 425,21 m ü. NN – fixiert.

Aufgrund des Herausrückens des Bohransatzpunktes aus dem tektonisch wohl stärker beanspruchten und damit grundwasserhöfzigeren Talraum und des Abrückens von der tektonischen Fränkischen Linie plazierte man die Bohrung zwar auf einer leichten Anhöhe, aber im Hinblick auf die Ergiebigkeit nahe einer von der Fränkischen Linie abzweigenden Störung (SCHMIDT-KALER 1976: Abb. 33). Die Bohrung wurde vom 6. Juni bis zum 25. November 1990 unter geologischer und hydrogeologischer Überwachung und Betreuung durch das GLA (Dr. J.-P. WROBEL) von der Firma Anger's Söhne, Hessisch-Lichtenau (techn. Bauüberwachung Dipl.-Ing. VOGES, Dipl.-Ing. FISCHER; Bohrmeister: BURMANN, REESER, SCHROCK), niedergebracht. Sie wurde bis 55,5 m im Schlagbohr-, bis 164,0 m im Lufthebe- und bis zur Endteufe von 812,0 m im Spülbohrverfahren abgeteuft.

Die Bohrung ist folgendermaßen verrohrt und ausgebaut:

- 3,10 m            44"-Standrohr
- 55,25 m        20"-Rohre, zementiert bis zutage

–260,0 m	13 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> "-Rohre, zementiert bis zutage
–456,0 m	9 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "-Rohre, zementiert bis zutage
441,0–641,0 m	V4A-Filterliner
darunter:	Bohrloch mit Quarzfilterkies 5–8 mm bis Endteufe verfüllt

Vor der Durchführung von zwei Pumpversuchen im Dezember 1990 und im Januar 1991 lag der Ruhewasserspiegel in der Bohrung T 2, bedingt durch wechselnde Betriebswasserspiegel in der Bohrung T 1, etwas schwankend bei etwa 95 m unter Gelände. Während der beiden Pumpversuche wurde durch Einschränkung der Nutzung der Bohrung T 1 bzw. Abschaltung der Pumpe (im Januar 1991) versucht, die Beeinflussung der Pumpversuchsergebnisse möglichst gering zu halten. Letztendlich zeigte sich eine gegenseitige Beeinflussung der Wasserspiegel beider Bohrungen von wenigen Metern.

Bei den Pumpversuchen wurden zwischen 3,5 l/s und 7,3 l/s gefördert, wobei sich bei der höchsten Entnahmestufe eine Absenkung von ca. 120 m ab Ruhewasserspiegel einstellte. Die Auswertung der Pumpversuchsergebnisse zeigte, daß die Thermalwasserbohrung T 2 bei einer Absenkung von ca. 100 m ab Ruhewasserspiegel eine Dauerförderrate von 6,8 l/s zuläßt. Die Auslauftemperatur des Wassers lag knapp unter +30 °C, während bei Bohrlochmessungen des GLA in 660 m Tiefe +33,5 °C registriert wurden.

Das geförderte Wasser ist mit einem Gesamtlösungsinhalt von etwa 700 mg/l relativ gering mineralisiert. Es handelt sich um ein einige tausend Jahre altes, mäßig alkalisches Ionenaustauschwasser mit Natriumhydrogenkarbonat-Charakter. Erwähnenswert sind die über den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung (TVO) liegenden Konzentrationen für Arsen mit 60 µg/l (TVO: 10 µg/l) und Fluorid mit ca. 4 mg/l (TVO: 1,5 mg/l).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die Bohrung aus einem hydraulisch zusammenhängenden Aquifer aus Sandsteinen des untersten Keupers, sandig ausgebildetem Muschelkalk und in geringem Maß aus dem Rotliegend gering mineralisiertes Thermalwasser in einer Menge erschlossen hat, die deutlich über dem prognostizierten Bedarf liegt und eine geringfügig höhere Temperatur als die Bohrung Treuchtlingen T 1 aufweist. Die Thermalwasserbohrung Treuchtlingen T 2 ist somit erfolgreich niedergebracht worden und im Sinne der Zielsetzung als fündig zu bezeichnen.

### 3. Geologie (Trias bis Perm)

(WALTER FREUDENBERGER)

#### 3.1. Bohrgutbeschreibung

Die stratigraphische Deutung und die Schichtmächtigkeiten (s. Abb. 1) der Thermalwasserbohrung Treuchtlingen 2 (T 2) ergibt folgende Übersicht (in Anlehnung an: SALGER & SCHMIDT-KALER 1978, HAUNSCHILD 1992, WROBEL 1992):

Stratigraphie		Mächtigkeit
–230 m	Jura	>230 m
– ca. 71 m	Malm	> 71 m
– ca. 205 m	Dogger	134 m
– 230 m	Lias	25 m



-512 m	Trias	282 m
- 458 m	Keuper	228 m
- 512 m	Unterer Keuper (?) + Muschelkalk	54 m
-812 m	Perm (Rotliegend)	300 m

Die Durchmusterung des Bohrgutes (Meißelbohrung) erbrachte im Detail für Trias und Perm folgendes Ergebnis:

**Thermalwasserbohrung Treuchtlingen 2 (T 2), 1991**

Lage: TK 25 Nr. 7031 Treuchtlingen, R 4420740, H 5424370

Ansatzhöhe: 425,21 m ü. NN

Endteufe: 812,0 m

Geologisches Profil:

- 230 m    **J u r a**  
(Malm + Dogger + Lias)
- T r i a s**
- Mittlerer Keuper**
- Feuerletten (20 m)**
- 250 m    Tonstein, braunrot bis graugrün, teils schwach sandig
- Oberer Burgsandstein (29 m)**
- 256 m    Tonstein, rotbraun; mit Sandstein, fein- bis grobkörnig; mit Feinkies (Quarzkies)
- 272 m    Tonstein, rotbraun bis graugrün, teils schwach sandig
- 279 m    Tonstein, rotbraun; mit Sandstein, fein- bis mittelkörnig
- Mittlerer Burgsandstein (31 m)**
- 310 m    Sandstein, rotbraun, teils grau, mittel- bis grobkörnig, untergeordnet feinkörnig; basal Tonsteinlage, dünn
- Unterer Burgsandstein (25 m)**
- 335 m    Sandstein, rotbraun, teils grau, mittel- bis grobkörnig, untergeordnet feinkörnig; mit Tonsteinlagen, geringmächtig, besonders bei 309–310 m, 313–314 m, 321–322 m; vereinzelt Gipskristalle bei 309–310 m, 316–318 m
- Blasensandstein i. w. S. (27 m)**
- 362 m    Sandstein, grau, grobkörnig, feinkiesig, untergeordnet fein- bis mittelkörnig; mit Tonsteinlagen, geringmächtig
- Lehrbergschichten (16 m)**
- 372 m    Sandstein, rotbraun, grau, mittel- bis grobkörnig, untergeordnet feinkörnig, schlecht sortiert; mit Tonsteinlagen, geringmächtig, rotbraun
- 375 m    Tonstein, rotbraun; mit Sandsteinlagen, fein- bis mittelkörnig, rotbraun
- 378 m    Sandstein, rotbraun, grau, fein- bis grobkörnig; mit Tonsteinlagen, rotbraun, graugrün
- Estheriensschichten (13 m)**
- 384 m    Tonstein, rotbraun; mit wenigen Sandsteinlagen, geringmächtig, rotbraun, fein- bis grobkörnig
- 386 m    Sandstein, rotbraun, grobkörnig, feinkiesig, mit wenigen Tonsteinlagen, geringmächtig; Gipskristalle bei 383–386 m
- 391 m    Sandstein, rotbraun, grau, mittel- bis grobkörnig; im Wechsel mit Tonstein, rotbraun
- Myophorienschichten / Benker Sandstein (67 m)**
- 404 m    Sandstein, rotbraun, grobkörnig, feinkiesig, untergeordnet fein- bis mittelkörnig; mit Tonsteinlagen, rotbraun
- 405 m    Sandstein, grau, grob- bis mittelkörnig
- 410 m    Sandstein, rotbraun, grobkörnig, feinkiesig, untergeordnet fein- bis mittelkörnig; mit Tonsteinlagen, rotbraun

- 429 m Sandstein, grau, teils rötlich, mittelkörnig, untergeordnet feinkörnig und grobkörnig; mit wenig Tonsteinlagen, rotbraun
- 442 m Sandstein, rotbraun, grob-, untergeordnet mittelkörnig; mit Tonsteinlagen rotbraun
- 445 m Sandstein, grau, fein- bis mittel-, untergeordnet grobkörnig
- 449 m Sandstein, grau, grob-, untergeordnet mittelkörnig; mit wenigen Tonsteinlagen, rotbraun
- 458 m Sandstein, grau, fein- bis mittel-, untergeordnet grobkörnig  
**Unterer Keuper? bis Muschelkalk? (54m)**
- 499 m Sandstein, grau, fein- bis mittelkörnig, gut sortiert
- 502 m Sandstein, grau, mittel-, untergeordnet fein- und grobkörnig
- 503 m Sandstein, grau, feinkörnig
- 506 m Sandstein, grau, mittel- bis grobkörnig
- 512 m Sandstein, grau, grobkörnig; mit Feinkies aus schlecht gerundeten, z. T. scharfkantigen Quarzen  
**P e r m (Rotliegend)**  
**Rotliegend, epiklastisch (45 m)**
- 514 m Sandstein, grau, feinkörnig
- 526 m Tonstein, rotbraun, fein- bis grobkörnig; Bitumengehalt
- 537 m Tonstein, rotbraun; mit Sandsteinlagen, fein- bis grobkörnig, feinkiesig (Quarzgerölle, Kalksteinsplitter)
- 546 m Ton- und Siltstein, rotbraun; Kalksteinsplitter
- 552 m Tonstein, rotbraun; mit Sandsteinlagen, fein- bis grobkörnig; Kalksteinsplitter, hellgrau
- 557 m Ton- und Siltstein, rotbraun, teils sandig  
**Rotliegend, epiklastisch, lagenweise pyroklastisch (97 m)**
- 654 m Ton- und Siltstein, rotbraun; Sandstein, rotbraun, fein- bis grobkörnig, teils feinkiesig, teils karbonatisch; vereinzelt Feldspäte, Biotit, pyroklastische Bestandteile, tuffitische Arkose-Fragmente, grüngrau (bei 573–575 m); Kalksteinsplitter (bei 598–600 m, 648–652 m); Bitumengehalt (607–608 m)  
**Rotliegend, pyroklastisch, tuffitisch, von epiklastischem Sediment durchsetzt (158 m)**
- 670 m Vulkanit, dunkelbraun, hellgrau gepunktet (Feldspäte); wenig Siltsteineinschlüsse
- 678 m Vulkanit, dunkelbraun, Tuffite
- 695 m Vulkanit, dunkelbraun, hellgrau gepunktet
- 714 m Vulkanit, dunkelbraun, auch dunkelgrün (ab 712 m), Tuffite, mit Ton- und Siltsteinlagen
- 786 m Vulkanit, dunkelbraun bis grün; wenig Ton- und Siltsteinlagen, rotbraun; von Schwespat- und Pyritgängen durchsetzt (mündl. Mitt. Dr. W. BAUBERGER)
- 812 m Vulkanit, dunkelbraun; mit Ton- und Siltsteinlagen, rotbraun bis grau

### 3.2. Schichtenfolge

Das Bohrprofil ist besonders für die Kenntnis des präjurassischen Deckgebirges unter der Südlichen Frankenalb von großer Bedeutung. Um die in ihrer Mächtigkeit stark dezimierte Trias in Randfazies besser an die übliche Beckengliederung anschließen zu können, wurden geochemische Untersuchungen von E. LINHARDT durchgeführt (Kap. 4.). Die Schichtenfolge des Jura ist in der benachbarten Bohrung Treuchtlingen I (T 1) von SALGER & SCHMIDT-KALER (1978) beschrieben und wurde daher in der T 2 nicht weiter untersucht.

Die Gliederung und stratigraphische Zuordnung des Bohrprofils kann makroskopisch nur in 282 m mächtige Trias in Randfazies und >300 m mächtiges Rotliegend (Perm) geschehen, wobei im Rotliegend drei Bereiche augenfällig sind: ein epiklastischer Bereich, ein epiklastischer, aber mit pyroklastischen Lagen durchsetzter Bereich und ein pyroklastischer, tuffitischer Bereich. Die Untergliederung der Trias kann nur in folgenden Arbeitsschritten geschehen:

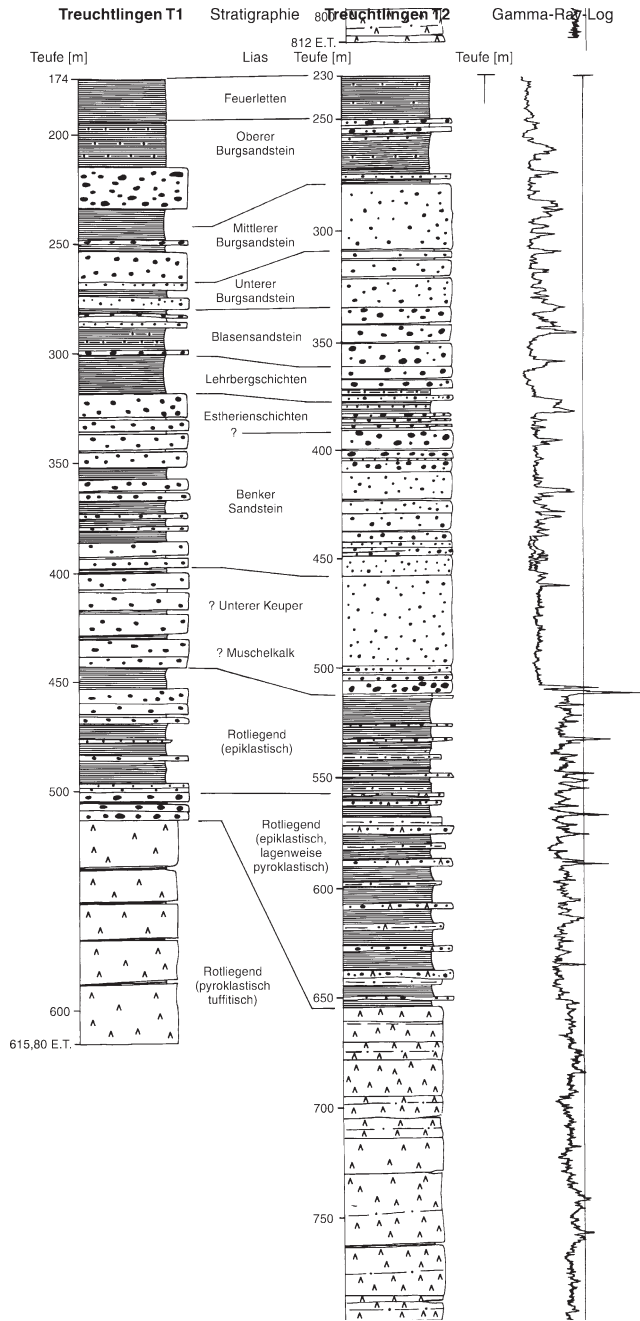


Abb. 1. Profilvergleich der Bohrungen Treuchtlingen 1 und 2; T 1 umgezeichnet nach SALGER & SCHMIDT-KALER (1978). – Die Bohrlochmessungen wurden von Dr. G. BÜTTNER und K. ESTERMEIER ausgeführt.

- Durchmusterung und detaillierte Beschreibung des Bohrgutes
- Auswertung bisheriger paläogeographischer Erkenntnisse (vgl. HAUNSCHILD 1986; KRISL & WALETZKY 1999)
- Berücksichtigung der detaillierten schwer- und tonmineralogischen Untersuchungen von M. SALGER (in SALGER & SCHMIDT-KALER 1978)
- Berücksichtigung der geochemischen Untersuchungen von Dr. E. LINHARDT (Kap. 4.)
- Auswertung geophysikalischer Messungen (vgl. HAUNSCHILD 1992)
- Vergleich mit benachbarten Bohrungen, v. a. mit T 1 (SALGER & SCHMIDT-KALER 1978; SCHMID 1981; KÄMPFE 1984; KURSZLAUKIS 1990; GUDDEN 1993; GUDDEN et al. 1993; HAUNSCHILD 1993 a, b).

Die Abgrenzung der rotbraunen Tonsteine des Feuerletten (Teufe: 230–250 m) vom hangenden Lias und dem sandigen, z. T. kiesigen Burgsandstein im Liegenden erfolgt relativ sicher und ist sowohl im Gamma-Ray-Log nachvollziehbar (s. Abb. 1) als auch durch das für den Feuerletten typische Aluminiumchlorit Sudoit in T 1 charakterisiert.

Stärker tonige Abschnitte (Basisletten), die im Gamma-Ray-Log markant hervortreten, lassen die übliche Dreiteilung des Burgsandsteins (Teufe: 250–335 m) vermuten. Die rotbraunen Tonsteinlagen sind im Unteren und Mittleren Burgsandstein sehr geringmächtig, nehmen im Oberen Burgsandstein aber immerhin zwei Drittel des Profils ein. Mineralogisch ist der Mittlere Burgsandstein in T 1 durch die Vorherrschaft von Zirkon und Turmalin gekennzeichnet. Im Unteren Burgsandstein nehmen Granat- und Kaolinitgehalt in der Tonfraktion deutlich zu.

Der Blasensandstein i. w. S. (Teufe: 335–362 m) besteht aus grobkörnigem, feinkiesigem Sandstein, in den geringmächtige Tonsteinlagen eingeschaltet sind. In T 1 ist das Sand-/Tonsteinverhältnis umgekehrt. Dort zeichnet hoher Apatitgehalt die Abfolge aus. Eine Unterteilung in Blasensandstein i. e. S. und Coburger Sandstein ist in den Bohrungen nicht möglich.

Auch in die rotbraunen Tonsteine der Lehrbergschichten (Teufe: 362–378 m) schalten sich überwiegend mittel- bis grobkörnige Sandsteine ein. Die Abgrenzung erfolgt mittels Gamma-Ray-Log.

Eine wichtige Orientierungshilfe bei der Ansprache randnaher Trias-Profile leisten die in den Gamma-Ray-Logs meist sicher ansprechbaren Estheriensichten (Teufe: 378–391 m) (HAUNSCHILD 1992, 1993 a, b). In deren rotbraune Tonsteine schalten sich im unteren Teil grobkörnige Sandsteinlagen ein. Bei 384–386 m wurden Gipskristalle beobachtet.

Der Benker Sandstein (Randfazies der Myophorienschichten) (Teufe: 391–458 m) besteht aus grauem bis rotbraunem, grobkörnigem Sandstein mit nach oben zunehmendem Feinkiesgehalt. In T 1 zeichnet er sich durch hohen Kaolinitgehalt aus.

Den Unteren Keuper? + Muschelkalk? (Teufe: 458–512 m) vertreten graue bis graugelbe, fein- bis mittelkörnige Sandsteine, die nur basal grobkörnig sind und dort auch Feinkies aus schlecht gerundeten Quarzen enthalten. In T 1 war diese Abfolge im Gegensatz zum Benker Sandstein durchweg karbonatisch, was auf stärkeren marinen Einfluß hinweist. Die von SCHMID (1990) beschriebenen Blei-Mineralisationen, die am äußeren Saum der terrestrisch-fluviatilen Litoralzone des Muschelkalkbeckens auftreten und als „geochemische Achse der Erzführung“ den Verlauf des ehemaligen Beckenrandes nachzeichnen, lassen sich in T 2 nicht nachweisen (vgl. Kap. 4.). Daraus kann gefolgert werden, daß der Muschelkalk in seiner

randfaziellen Ausbildung in T 2 möglicherweise nicht vorhanden ist und bereits nördlich der Bohrung T 2 auskeilt.

Buntsandstein ist in den Bohrungen T 1 und T 2 nicht nachzuweisen, er keilt demnach N Treuchtlingen aus. Unter Ausfall von Buntsandstein und Zechstein überlagert im Raum Treuchtlingen mittlere Trias diskordant Rotliegend.

Das durchteufte Rotliegend (Teufe: 512–812 m) kann in drei Bereiche unterteilt werden:

- Rotliegend, epiklastisch
- Rotliegend, epiklastisch, lagenweise pyroklastisch
- Rotliegend, pyroklastisch, tuffitisch

Rotliegend, epiklastisch (Teufe: 512–557 m), setzt sich aus rotbraunem, teils siltigem Tonstein, in den dünne, graue, fein- bis grobkörnige, teils feinkiesige Sandsteinlagen eingeschaltet sind, zusammen. Es wurden Kalksteinsplitter beobachtet und im oberen Bereich ein gewisser Bitumengehalt festgestellt.

Rotliegend, epiklastisch, lagenweise pyroklastisch (Teufe: 557–654 m), entspricht im Aufbau weitgehend der hangenden Serie, ist aber vulkanisch beeinflusst. Es schalten sich pyroklastische Bestandteile und tuffitische Arkosefragmente ein. Kalksplitter und Bitumengehalt wurden ebenfalls registriert. Die vulkanische Tätigkeit nimmt nach oben ab und endet bei 557 m Teufe.

Rotliegend, pyroklastisch, tuffitisch, von epiklastischem Sediment durchsetzt (Teufe: 654–812 m), besteht überwiegend aus dunkelbraunen, teils dunkelgrünen Pyroklastika und Tuffiten rhyodazitischer Zusammensetzung (s. Kap. 4.). Nur wenige, sehr dünne, rotbraune Silt- und Tonsteinlagen unterbrechen die Abfolge. Schwerspat- und Pyritgängchen durchsetzen den basalen Bereich (mündl. Mitt. Dr. W. BAUBERGER) und lassen nach HAUNSCHILD (1992) tiefstes Rotliegend vermuten.

In der etwa 35 km nördlich gelegenen, sehr detailliert untersuchten Kernbohrung Abenberg 1001 beschreiben KURSZLAUKIS & LORENZ (1993) im Rotliegend ebenfalls vulkanogene Gesteine, die aus rhyolithischen Gesteinen aufgebaut sind: mächtige Ignimbrite, Laven, Tuffe und geringmächtige Lagen umgelagerten pyroklastischen Materials. Als Sediment wurde bei Abenberg ein permokarboner „Alluvial Fan“-Komplex erbohrt. Hingegen wurde in der etwa 20 km nordwestlich gelegenen Bohrung Gunzenhausen ein Granitporphyrstock (Mikrogranit) in einer relativ zu den Bohrungen Abenberg und Treuchtlingen gesehenen Hochlage erbohrt (BAUBERGER 1990; HAUNSCHILD 1990).

### 3.3. Paläogeographische Aspekte

Durch refraktionsseismische Messungen im Raum Treuchtlingen wies BADER (1991) ein zunächst flacheres, dann aber nach SE steiler werdendes Einfallen der Grundgebirgsoberfläche nach (vgl. HEIM 1992; BUNNES 1995; BADER im Druck). Hierdurch erklärt sich die Mächtigkeitszunahme des Rotliegend. Auch ist mit zum Teil treppenartigem tektonischem Versatz zu rechnen, wonach die NE-Ausbuchtung des Schramberger Trogs als Grabenfüllung aufzufassen ist (HAUNSCHILD 1992). Die Bohrung T 2 wird durch eine Störung W Treuchtlingen (vgl. SCHMIDT-KALER 1976) von etwa 40 m Sprunghöhe gegenüber der Bohrung T 1 versetzt (HAUNSCHILD 1992: Taf. 15). Der Förderschlot, der die über 250 m mächtigen vulkanischen Gesteine im unteren Teil des Rotliegend lieferte, wird von WIRTH (1970) 20 km südlich

(Bohrung Daiting 1) vermutet. HAUNSCHILD (1990) hält den bei Gunzenhausen erbohrten Mikrogranit für das Zentrum des Vulkanismus, von dem aus Ignimbrite, Pyroklastika und Tuffe in die Umgebung verfrachtet wurden.

Fehlende Zechstein- und Buntsandsteinablagerungen bezeugen für den Raum Treuchtlingen zu dieser Zeit Hochgebetslage und damit Abtragungsgebiet. Ob das Muschelkalkmeer soweit nach S vorstieß oder ob erst im Unteren Keuper der Treuchtlinger Raum in das Sedimentationsgeschehen des Germanischen Triasbeckens einbezogen wurde, kann bisher nicht zweifelsfrei bewiesen werden. Im Mittleren Keuper erweiterte sich der Sedimentationsraum in südöstlicher Richtung beträchtlich. 160 m mächtige Ablagerungen in den Treuchtlinger Bohrungen bezeugen dies. Im Oberen Keuper (Rhät) und im untersten Lias war dieses Gebiet wieder Abtragungsraum, bis es beginnend mit dem Lias Beta in den Sedimentationsraum des Jurameeres einbezogen wurde (SALGER & SCHMIDT-KALER 1978).

## 4. Geochemie

(ELMAR LINHARDT)

Zur Erschließung eines Thermalwasservorkommens wurden auf Blatt Treuchtlingen zwei Bohrungen, T 1 und T 2, niedergebracht und durch das Bayerische Geologische Landesamt aufgenommen und bearbeitet. Von der hier behandelten, ungekernten Bohrung T 2 liegen zwischen 230,5 m und 812,0 m Teufe insgesamt 446 Spülproben vor, die in der Trias in einem durchschnittlichen Abstand von 1,0 m, im Rotliegend alle 2,0 m gezogen wurden. An allen Proben wurden Analysen mittels wellenlängen-dispersiver Röntgenfluoreszenzspektrometrie (WD-RFA) am GLA durchgeführt.

Die vorliegende Arbeit stellt die chemischen Analysen dieser Proben sowie die geochemische Auswertung vor und versucht, sowohl eine Korrelation zwischen der Petrographie und Stratigraphie als auch zu den entsprechenden Ergebnissen aus weiteren Bohrungen herzustellen.

### 4.1. Charakterisierung des Bohrgutes nach der Feldaufnahme

Wegen der Art der Bohrung (Meißelbohrung) konnten die lithologische Aufnahme und die abgeleiteten stratigraphischen Einstufungen nur anhand von Bohrklein (Korngrößen  $\leq 2$  mm) erfolgen. Trotz der engständigen Beprobung sind daher lithologische Grenzen nur relativ grob festzulegen bzw. sind horizontübergreifende Mischproben sowie Verschleppungen oder Kontaminationen zwischen den Proben nicht auszuschließen (s. Kap. 4.3.).

Nach HAUNSCHILD (1992) und W. FREUDENBERGER (Kap. 3) folgt im Profil auf eine mächtige Trias-Abfolge mit Sandsteinen und eingeschalteten Tonsteinen des Mittleren Keupers eine (fragliche) geringmächtige Einheit des Unteren Keupers bis Muschelkalkes mit Sand-, Ton- und Siltsteinen. Im Liegenden dieser Einheit (ab Teufe 512 m) werden unterschiedlich stark vulkanisch beeinflusste Sedimentabfolgen (Klastite, teilweise karbonatisch bis bituminös, sowie Tuffite) angetroffen, die dem Rotliegend zugeordnet werden. Für detaillierte Angaben zur sedimentpetrographischen Entwicklung entlang des Profils siehe W. FREUDENBERGER (Kap. 3). Ab ca. 654 m Teufe (bis Endteufe 812 m) tritt ein relativ massiger Rotliegend-

Pyroklastit auf, welcher nur in den oberen Abschnitten von mächtigeren Tuffit-, Ton- und Siltlagen unterbrochen wird.

## 4.2. Geochemische Klassifikation

Trotz der Einschränkungen durch den Probenzustand (Bohrklein aus Meißelbohrung) und den daraus resultierenden Unsicherheiten sowohl bei der petrographischen und stratigraphischen Einstufung als auch bei der Angabe von chemischen Absolutgehalten wird hier versucht, über geochemische Trends und mittels typischer Elementgehalte bzw. -verhältnisse der Haupt- bis Spurenelemente die getroffenen petrographischen bzw. stratifaziellen Einstufungen zu überprüfen.

### 4.2.1. Trias- und Rotliegend-Sedimente

#### Ternäre Diagramme

Die Klassifizierung der Trias- und Rotliegend-Sedimente basiert auf der Darstellung ausgewählter Haupt- und Spurenelemente in ternären Diagrammen.

$\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ : In der Rotliegend-Einheit zeigt sich eine kontinuierliche Entwicklung von den Pyroklastiten und Tuffiten hin zu psammitischen Folgen. Triadische Gesteinabfolgen sind dagegen deutlich in ihrer Ausbildungen zweigeteilt, als reine psammitische und als reine pelitische Serien (Abb. 2 a).

$\text{Na}_2\text{O-MgO-K}_2\text{O}$ : Das Rotliegend liegt vor mit den geringsten MgO-Relativgehalten bei kleiner Streuung, jedoch mit den höchsten  $\text{Na}_2\text{O}$ -Relativgehalten; die Trias weist die geringsten  $\text{Na}_2\text{O}$ -, dafür die höchsten MgO-Relativgehalte bei großer Streuung (Abb. 2 b) auf.

$\text{Na}_2\text{O-CaO-K}_2\text{O}$ : Die geringsten CaO-Relativgehalte bei kleiner Streuung, jedoch die höchsten  $\text{Na}_2\text{O}$ -Relativgehalte treten im Rotliegend auf; die geringsten  $\text{Na}_2\text{O}$ -, dafür die höchsten CaO- Relativgehalte, bei großer Streuung, finden sich in der Trias (Abb. 2 c).

Ba-Rb-Sr: Das Rotliegend zeichnet sich durch einen relativ konstanten Strontium-Gehalt aus, wobei Barium (zwischen 50 und 75 Relativ-%) und Rubidium (zwischen 20 und 45 Relativ-%) deutlich negativ korreliert sind; die Trias-Einheit weist eine hohe Streuung von Strontium mit den höchsten Relativgehalten im Profil auf (Abb. 2 d).

#### Geochemische Profile ausgewählter Spurenelemente

Die Trias-Abfolge – in überwiegend psammitischer Ausbildung – zeigt ab dem Übergangsbereich zur Vulkanit-Einheit mit den für Schwerminerale typischen Indikatorelementen Titan, Yttrium und Zirkon, den „Feldspat“-Elementen Barium und Rubidium sowie bei Blei und Niob zum Hangenden hin deutlich geringere oder kontinuierlich sinkende Gehalte (Abb. 3 a–f). Dies wird offensichtlich durch den geringer werdenden Einfluß vulkanogener Detritus-Komponenten im Profil bedingt. Das in den Feldspäten der vulkanogenen Strata gebundene Strontium (Abb. 3 e) nimmt zum Hangenden hin in die Trias leicht, aber stetig ab, um von 280 m bis 235 m Teufe auf die höchsten Werte anzusteigen – Indiz für die positive Korrelation mit dem Pelit- und Karbonatanteil der Tonsteine des Feuerlettnens. Markante Horizonte in der Triasabfolge mit psephitischem Charakter (überwiegend auf Peliten auflagernd) zeichnen sich

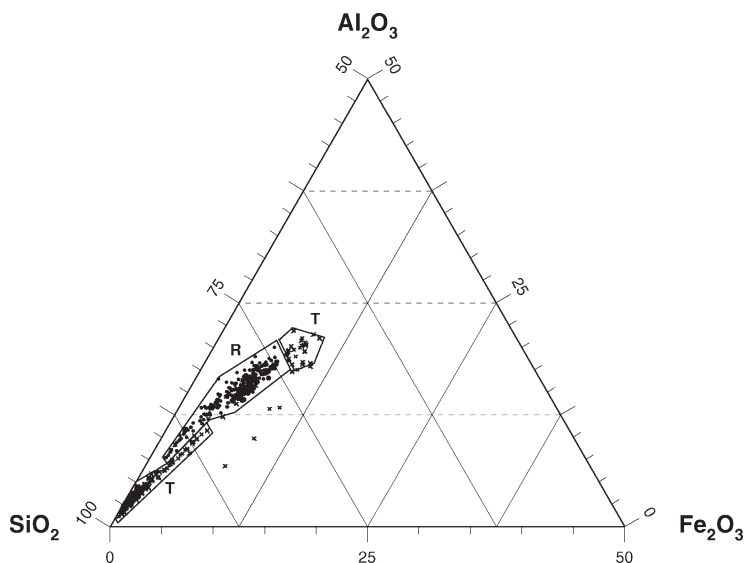


Abb. 2 a. Klassifizierung aller Sediment-Proben mittels  $\text{SiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (T: Trias , R: Rotliegend).

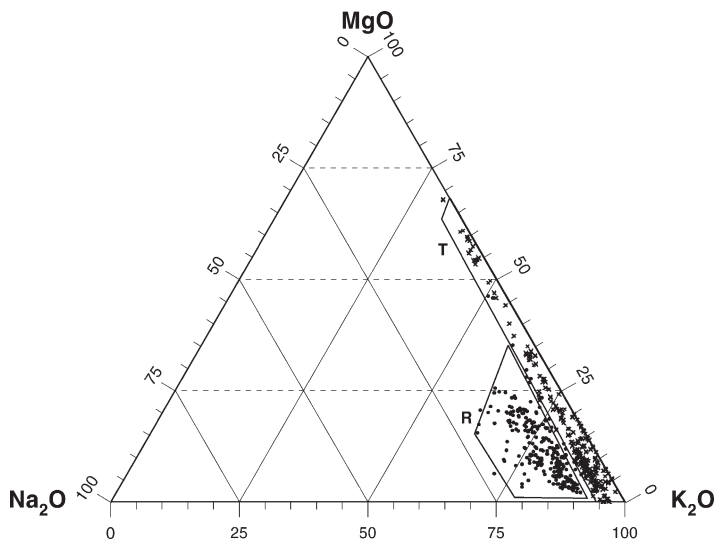


Abb. 2 b. Klassifizierung aller Sediment-Proben mittels  $\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{MgO}$ - $\text{K}_2\text{O}$  (T: Trias , R: Rotliegend).

durch hohe Yttrium- und Zirkonium-Gehalte (detritische Schwerminerale, wie z. B. Zirkon) aus und geben damit vielleicht auch Hinweis auf (zyklisch ?) geänderte Sedimentationsbedingungen: u. a. bei Teufe 430 m (Myophorienschichten), 400 m (Estherienschichten bis Myophorienschichten), 370 m (Estherienschichten bis Lehrbergschichten) und 250 m (Oberer Bursandstein bis Feuerletten). Zink und Rubidium, mit den geringsten Gehalten in Psam-



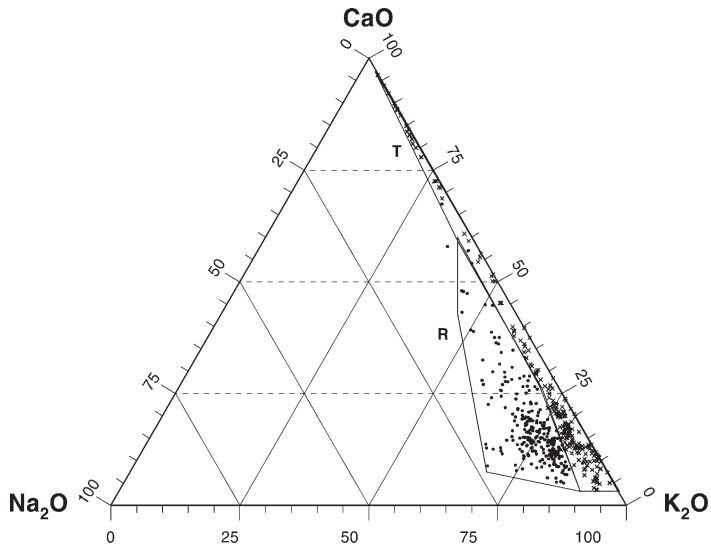


Abb. 2 c. Klassifizierung aller Sediment-Proben mittels Na<sub>2</sub>O-CaO-K<sub>2</sub>O (T: Trias , R: Rotliegend).

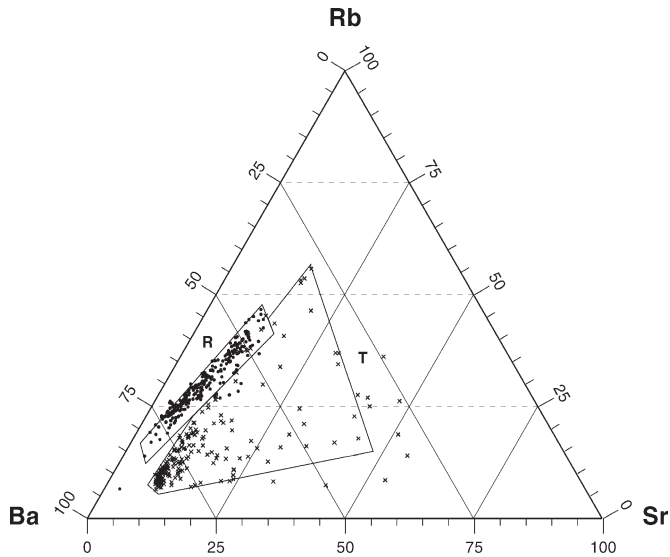


Abb. 2 d. Klassifizierung aller Sediment-Proben mittels Ba-Rb-Sr (T: Trias , R: Rotliegend).

miten, nehmen in den pelitisch geprägten Horizonten der Trias kontinuierlich steigende oder signifikant hohe Gehalte an (Abb. 3 g). Barium, dessen Entwicklung ins Hangende der Trias zu stetig kleineren Gehalten verläuft, steigt an der Basis des Feuerletten auf die höchsten Gehalte im Profil (syngenetisch-synsedimentär als Sulfat konzentriert?).

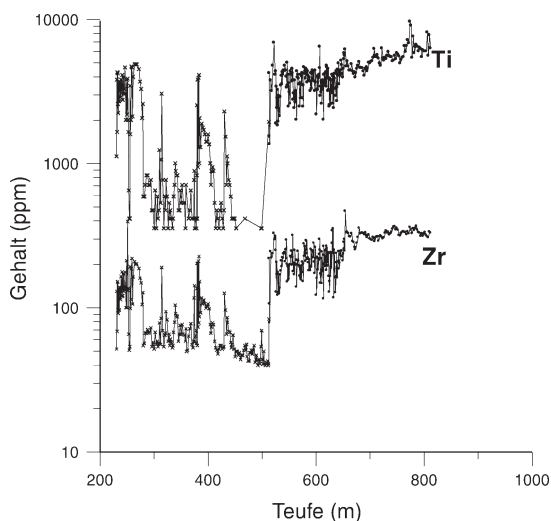


Abb. 3 a. Geochemische Profile von Ti und Zr, stellvertretend für immobile, verwitterungsresistente Elemente entlang der Bohrung T 2; Trias: 230–512 m, Rotliegend: 512–812 m (Endteufe).

#### Elementauswertung (Haupt- bis Spurenelemente) nach Quartilmaßen

Der Vergleich der Tonsteine aus Rotliegend bis Trias (Feuerletten, Oberer Burgsandstein, Lehrbergschichten, Estheriensichten und Rotliegend) anhand der Quartilmaße ergibt für  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Chrom und Rubidium signifikante Gehaltsunterschiede aller Tonsteine zueinander.  $\text{CaO}$  und Strontium bleiben in den Tonsteinen von Oberem Burgsandstein, Lehrbergschichten, Estheriensichten und Rotliegend auf vergleichbar niedrigem Niveau. Erst der Tonstein des Feuerletten bringt signifikant höhere Strontium- und  $\text{CaO}$ -Gehalte (Karbonatführung!).

Die Grundtendenz in der generellen Konzentrationsabnahme von Blei entlang des Profiles vom Liegenden ins Hangende findet sich tendenziell auch in den Tonsteinen wieder. Dagegen entwickeln sich die Bariumgehalte der Tonsteine, entgegen dem allgemeinen Trend im Profil, kontinuierlich zu den hohen Gehalten des Feuerletten.

#### 4.2.2. Rotliegend-Vulkanite und Rotliegend-Wechselfolge

Proben mit den augenfälligsten petrographischen Vulkanitmerkmalen ab Teufe 770 m wurden zur Darstellung der originären Vulkanitzusammensetzung ausgewählt und graphisch anhand von Elementbeziehungen ausgewertet. Nach dem gängigen Klassifikationsschema von COX, BELL & PANKHURST (1979),  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  vs.  $\text{SiO}_2$ , sind rhyodazitische bis trachyandeditische Zusammensetzungen ableitbar. Die Klassifizierungen mittels  $\log(\text{Zr}/\text{TiO}_2)$  vs.  $\text{SiO}_2$  sowie  $\log(\text{Nb}/\text{Y})$  vs.  $\log(\text{Zr}/\text{TiO}_2)$  nach WINCHESTER & FLOYD (1977) sind mit der oben genannten weitgehend deckungsgleich (Abb. 4 a–c). Anhand ihrer hohen  $\text{K}_2\text{O}$ -Gehalte lassen sich die Vulkanitproben nach ROLLINSON (1993) tendenziell den Hoch-K-Dazit bis Hoch-K-Rhyolithen zuordnen. Ihre normativen Quarz-, Orthoklas- und Korund-Gehalte ( $\text{Qz}$  30 %, Or 40 % bzw. C 3 %, jeweils gemittelt), der Differentiationsindex (D.I., gemittelt ca. 85) sowie die Entwicklungstrends der Hauptelemente (bezogen auf  $\text{SiO}_2$ ) zeigen zudem für peralumine,

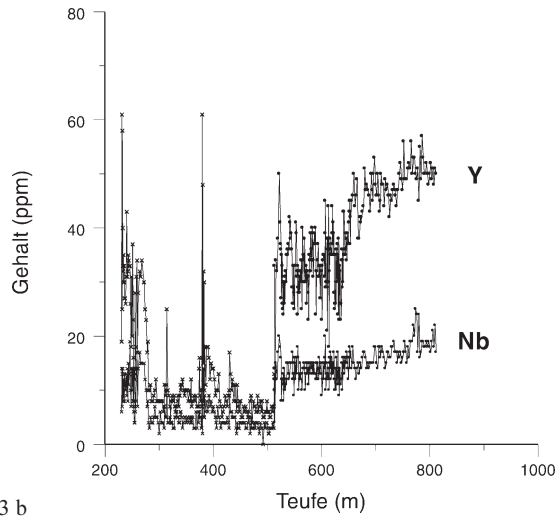


Abb. 3 b

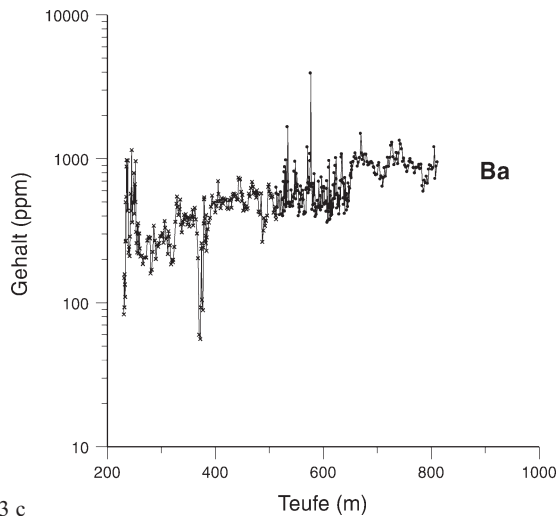


Abb. 3 c

Abb. 3 b–c. Geochemische Profile von Y und Nb (Abb. 3 b) sowie Ba (Abb. 3 c) in Trias und Rotliegend der Bohrung T 2.

kalkalkalische Gesteinsserien typische Verhältnisse. So sind  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ges.,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  und (bedingt)  $\text{TiO}_2$  negativ mit steigendem  $\text{SiO}_2$ , dagegen  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  und  $\text{P}_2\text{O}_5$  schwach positiv mit steigendem  $\text{SiO}_2$  korreliert (MCBIRNEY 1984).

Die bivariaten Verhältnisse Nb (ppm) vs. Y (ppm) als auch Rb (ppm) vs. Y+Nb (ppm) weisen die hier betrachteten Vulkanite als Kollisionsprodukte (S-Typ) eines noch aktiven Kontinentalrandes aus (MIDDLEMOST 1986; PEARCE et al. 1984; ROLLINSON 1993). Aus der Datenkompilation sowie dem Elementvergleich von Kollisions- oder Intraplattenvulkaniten weltweit hinsichtlich mittlerer Gehalte inkompatibler (LIL-) Elemente wie Rb, Sr, K, Ba sowie Nb und Zr durch ROGERS & GREENBERG (1990) kann schließlich auf die Verwandtschaft der Vulkanite mit postorogenen Schmelzen geschlossen werden.

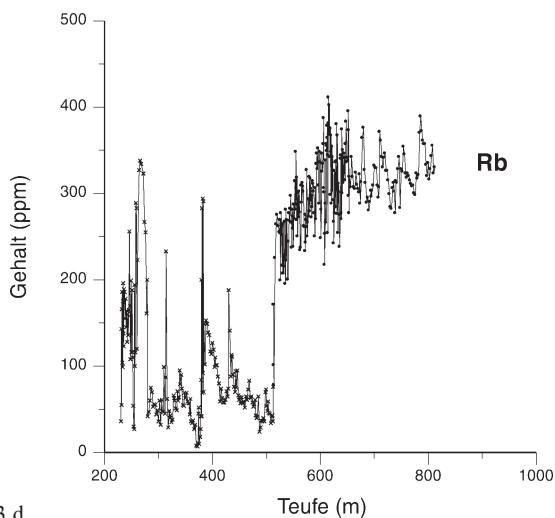


Abb. 3 d

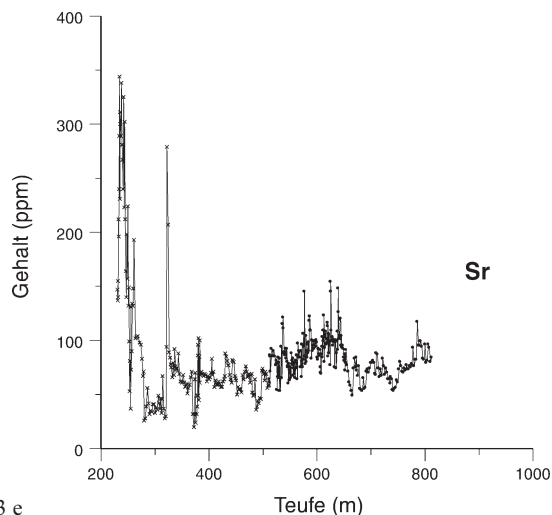


Abb. 3 e

Abb. 3 d–e. Geochemische Profile von Rb (Abb. 3 d) und Sr (Abb. 3 e) in Trias und Rotliegend der Bohrung T 2.

Die geochemische Entwicklung aus der Vulkaniteinheit über die hangende Wechselfolge in die Trias ist durch typische, sich klar unterscheidende Spurenelementsignaturen dokumentiert. So folgen, trotz der lithologischen Vielfalt der Wechselfolge (Tuffite, Sandsteine, Arkosen, Ton- und Siltsteine) ab ca. 654 m Tiefe aufwärts, die Elemente Y, Zr, Nb und Ti weiterhin dem Vulkanittrend bis zur Trias-Grenze bei ca. 512 m. Als immobile Elemente der verwitterungs-resistenten (Schwer-)Mineralfraktion aus den Vulkaniten sind sie eng korreliert (Abb. 5) und prägen zum anderen dieser Einheit deutlich vulkanogen ererbte Verhältnisse auf (Abb. 3 a–g). Erst mit dem Einsetzen der (epiklastischen) Trias-Abfolge entsteht ein markanter Hiatus zu den vulkanogen geprägten Einheiten (pyroklastisch, Tiefe 812 m – 654 m und pyroklastisch-epiklastische Wechselfolge, Tiefe 654 m – 512 m).

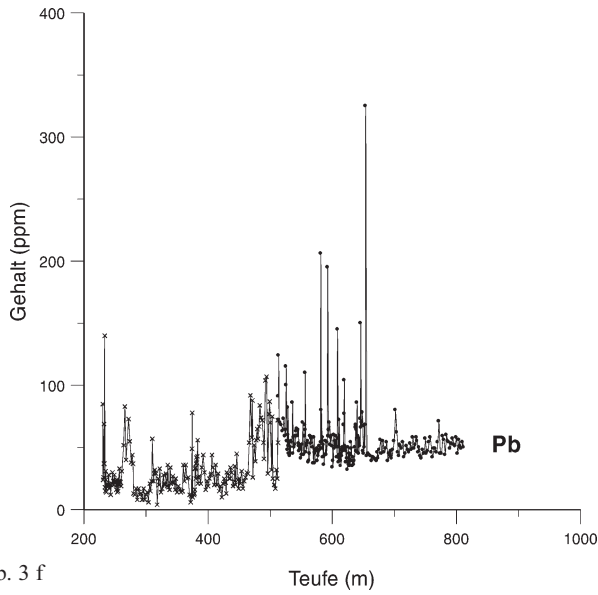


Abb. 3 f

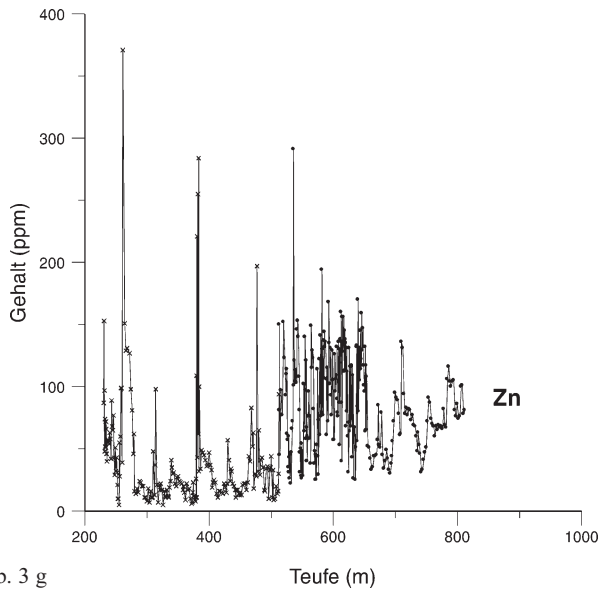


Abb. 3 g

Abb. 3 f–g. Geochemische Profile von Pb (Abb. 3 f) und Zn (Abb. 3 g) in Trias und Rotliegend der Bohrung T 2.

Aufgrund der relativ kleinen Variabilitäten bei den leicht mobilisierbaren Spurenelementen (u. a. Ba, Pb, Rb und Sr) sowie bei den Hauptelementen ( $\text{SiO}_2$ , CaO und bedingt  $\text{Na}_2\text{O}$ ) zwischen 654 m und Endteufe werden bedeutende, spät- bis postmagmatische Alterationen in diesem Profilabschnitt ausgeschlossen (Abb. 3 c–f, 6 a–d). Die tendenzielle Zunahme von Kalium (von 812 m bis 770 m) und, analog, die leichte Abnahme von Titan können deswegen

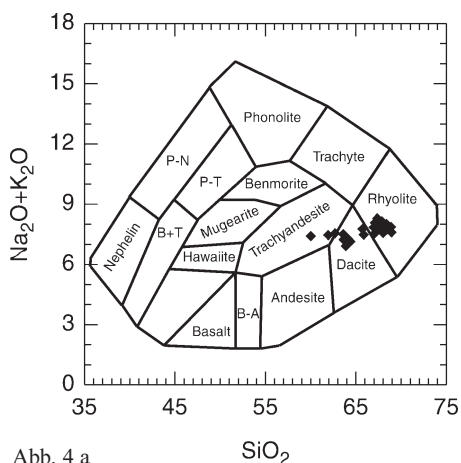


Abb. 4 a

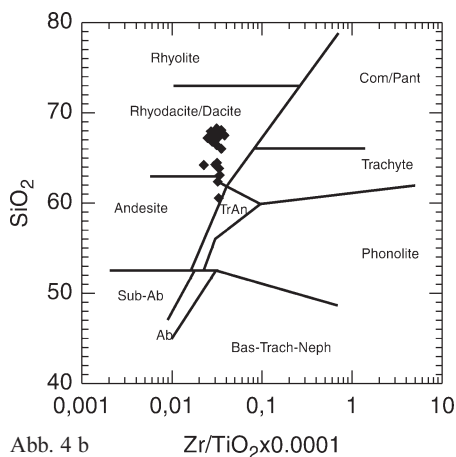


Abb. 4 b

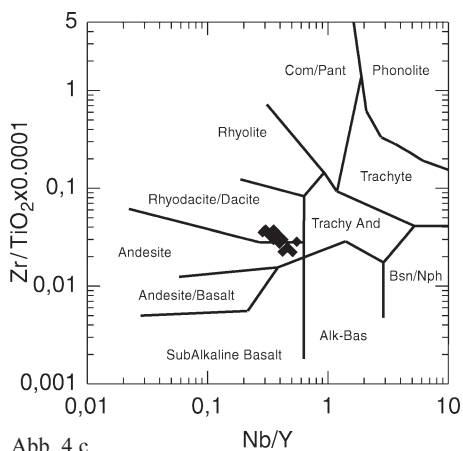


Abb. 4 c

Abb. 4 a–c. Klassifikation der Rotliegend-Vulkanite nach COX, BELL & PANKHURST (1979) mittels  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  vs.  $\text{SiO}_2$  (Abb. 4 a) sowie nach WINCHESTER & FLOYD (1977) mittels  $\log(\text{Zr}/\text{TiO}_2)$  vs.  $\text{SiO}_2$  (Abb. 4 b) und  $\log(\text{Nb}/\text{Y})$  vs.  $\log(\text{Zr}/\text{TiO}_2)$  (Abb. 4 c).

als primärer Differentiationstrend betrachtet werden, der auch im Plot Alkalien vs.  $\text{SiO}_2$  noch zum Ausdruck kommt (Abb. 4 a). Die Wechselfolge zwischen 654 m und 512 m Teufe zeichnet sich dagegen bei den Elementen Pb, Ba sowie Zn (Abb. 3 c–g) durch stark schwankende Konzentrationen mit den z. T. höchsten Gehalten im Profil aus. Dies sowie die fallenden  $\text{Na}_2\text{O}$ - und Rb-Gehalte zum Hangenden hin werden mit einer fortschreitenden Alteration (hydrothermal bis sedimentär-diagenetisch?) von klastischen Feldspäten mit einhergehender Mobilisierung bzw. Umsetzung und Konzentrierung von primär vulkanogenem Ba, Pb und Zn entlang von Baryt und Sulfide führenden Gängchen erklärt.

Zur Darstellung genetisch verwandter Lithologien anhand chemischer Hauptbestandteile dienen die folgenden NIGGLI-Werte. Als rechnerisch-normative Sammelkomponenten fassen sie chemische Stoffbestände zusammen und lassen daher Gesteinsbeziehungen (Edukte, Verwandtschaften, Assoziationen sowie Entwicklungsprozesse magmatischer Gesteinsserien, z. B.

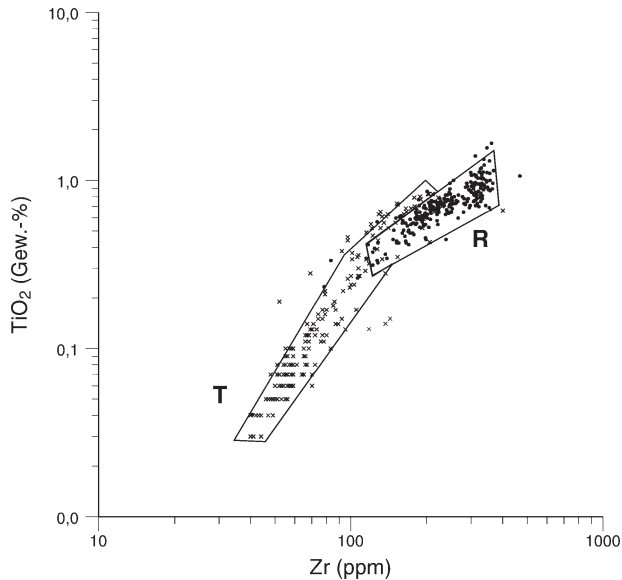


Abb. 5. Korrelation immobilisierter Elemente am Beispiel  $\text{TiO}_2$  vs. Zr (alle untersuchte Proben; T: Trias, R: Rotliegend).

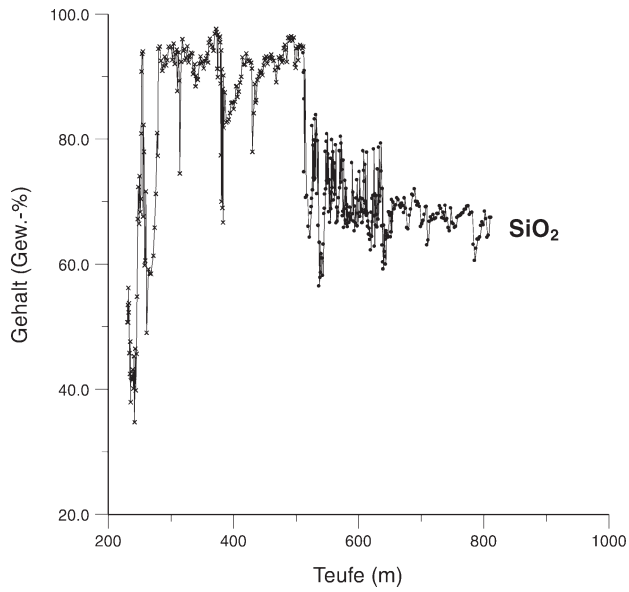
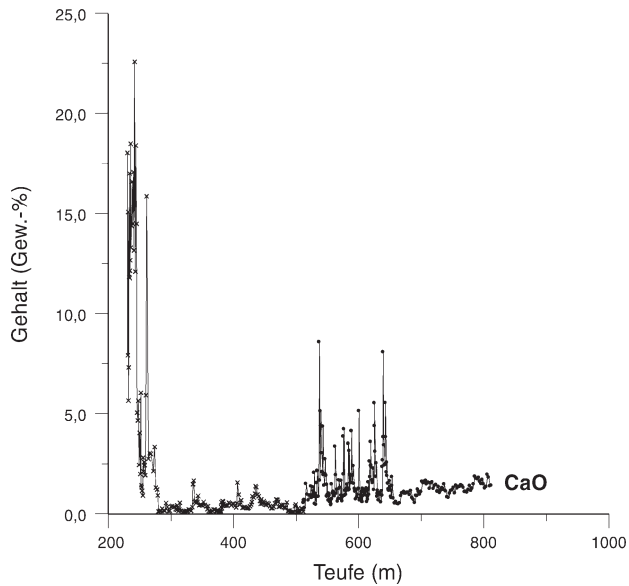
Differentiation) einfacher erkennen. Unter anderem beschreibt die NIGGLI-Komponente „si“ den Grad der  $\text{SiO}_2$ -Sättigung in Gesteinsserien, die Komponente „mg“ den Grad der Eisenanreicherung gegenüber MgO (WIMMENAUER 1985).

Im Diagramm „NIGGLI-si“ vs. Teufe (Abb. 7) zeigt sich die oben beschriebene Dreiteilung des Profils. Eine vulkanogen dominierte, relativ uniforme Abfolge im Liegenden, darauf, ab ca. 654 m Teufe, eine tuffitisch-sedimentäre Wechselfolge (epiklastisch bis pyroklastisch) mit noch klar erkennbarem vulkanogenem Trend und schließlich, bei Teufe 512 m, der scharfe Übergang zu den Trias-Sedimenten.

Der Plot „NIGGLI-si“ vs. „NIGGLI-mg“ (Abb. 8) enthält berechnete normative Werte mittlerer Vulkanit- und Sedimentzusammensetzungen (Originalwerte aus: WIMMENAUER 1985 und FÜCHTBAUER 1988). Demnach zeichnen sich magmatische Entwicklungstrends, bei si-Werten kleiner 500, durch kontinuierlich kleinere mg-Werte als ca. 0,6 aus. Sedimentäre Trends dagegen entwickeln sich bei mittleren „mg“ zu den höchsten si-Werten. Tatsächlich wird im Profil unterhalb 654 m der magmatische Trend deutlich sichtbar, der sich darauf mit einer breiten, verwaschenen Übergangszone von mittleren si-Werten der Rotliegend-Wechselfolge hin zu den höchsten der Trias-Gesteine erstreckt (Abb. 9).

### 4.3. Folgerungen für die stratigraphische Einstufung

Die Untergliederung Trias und Rotliegend sowie die weiter getroffenen lithologischen Unterteilungen im Rotliegend sind nach den bisherigen Befunden in guter Übereinstimmung mit der Geochemie und weitgehend nachvollziehbar. Anhand geochemischer Trends lassen sich jedoch nicht alle der sedimentpetrographisch ermittelten (auf Gamma-Ray-Log basierenden), feinstratigraphischen Grenzen in der Trias verifizieren. Es finden sich darüber hinaus

Abb. 6 a. Geochemisches Profil des Hauptelements  $\text{SiO}_2$  in Trias und Rotliegend der Bohrung T 2.Abb. 6 b. Geochemisches Profil des Hauptelements  $\text{CaO}$  in Trias und Rotliegend der Bohrung T 2.



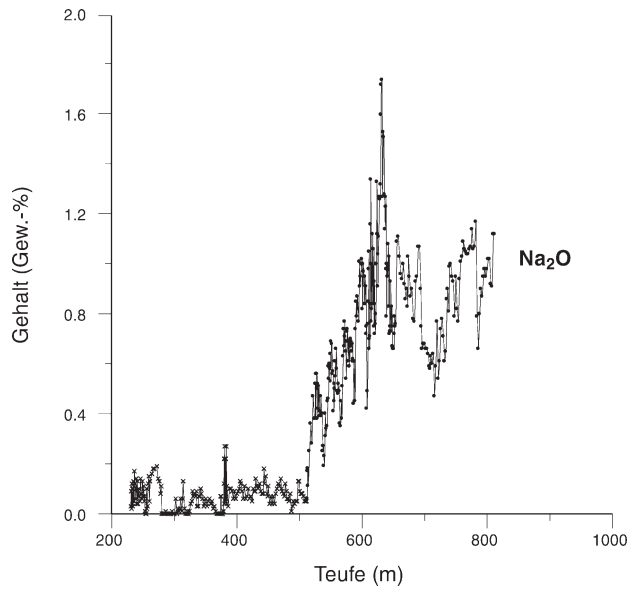


Abb. 6 c. Geochemisches Profil des Hauptelements Na<sub>2</sub>O in Trias und Rotliegend der Bohrung T 2.

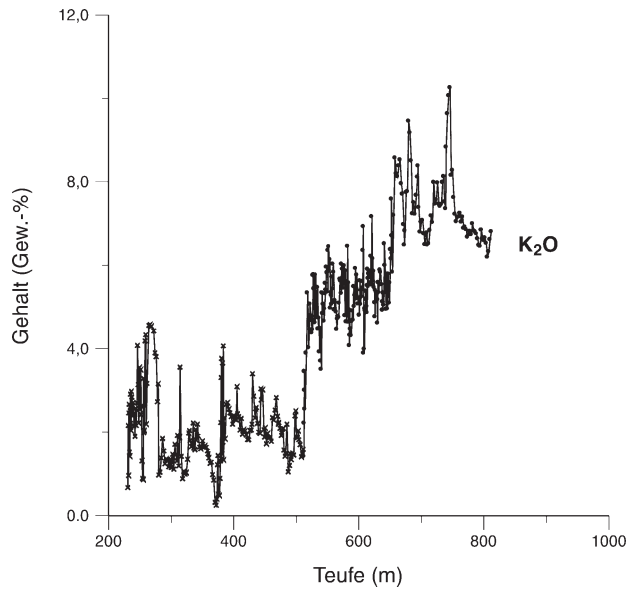


Abb. 6 d. Geochemisches Profil des Hauptelements K<sub>2</sub>O in Trias und Rotliegend der Bohrung T 2.

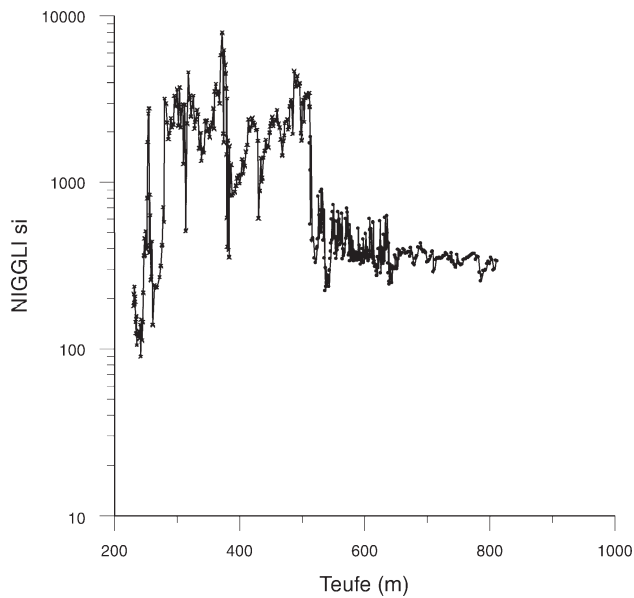


Abb. 7. Darstellung der normativen Niggli-Komponente „si“ in Trias und Rotliegend der Bohrung T 2 im Diagramm „Niggli-si“ vs. Teufe.

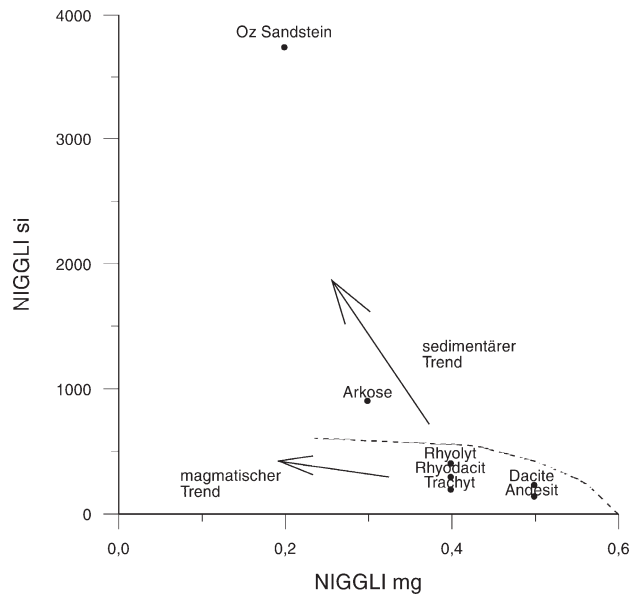


Abb. 8. Normative Niggli-Komponenten im Diagramm „si“ vs. „mg“ an typischen Vulkaniten und Sedimenten.

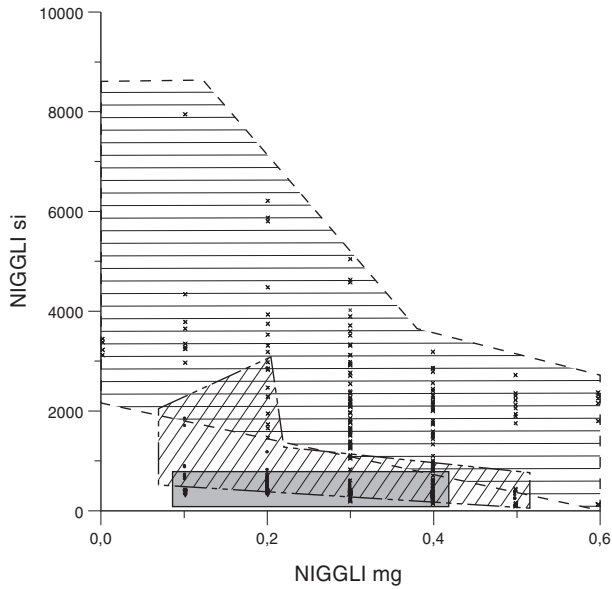


Abb. 9. Normative Niggli-Komponenten im Diagramm „si“ vs. „mg“ an allen untersuchten Proben der Bohrung T 2 (enggerastert: Rotliegend-Vulkanite; schräg schraffiert: Rotliegend-Wechselfolge; waagrecht schraffiert: Trias-Sedimente).

auch keine Indizien für eine Einheit „Unterer Keuper bis Muschelkalk“ in Randfazies, zumal signifikante Pb-Gehalte oder Hinweise auf das Vorhandensein des Grenzdolomites in Form eines auffälligen Karbonatgehaltes fehlen. Die Frage, ob eine Schichtlücke vorliegt oder ob im unteren Abschnitt der durchteuften Trias aufgrund fehlender oder unkenntlich gewordener Leithorizonte keine einwandfreie Gliederungsmöglichkeit mehr besteht, kann mit den vorliegenden Befunden nicht beantwortet werden. Aus dem oben diskutierten geochemischen Profilverlauf des Elementes Zirkonium könnte jedoch eine Schichtlücke gefolgert werden (Fehlen einer grobklastischen Basislage mit signifikanten Zirkonium-Gehalten im Hangenden der Rotliegend-Einheit).

Der Vergleich mit der benachbarten Bohrung Dinkelsbühl 1001 zeigt hier eine um ca. 34 m größere Gesamtmächtigkeit der mittleren Trias. Dabei weichen Mächtigkeiten einzelner korrelierbarer stratigraphischer Einheiten deutlich voneinander ab. Die von der Bohrung Dinkelsbühl 1001 beschriebenen und auch hier zu erwartenden Schichtglieder des Oberen Muschelkalkes bis Unteren Keupers (tonig-dolomitische Fazies bis Kalksandsteinfazies bzw. karbonatischer Sandstein mit Grenzdolomit) sind dagegen geochemisch nicht nachzuweisen. Offensichtlich wurden bestehende Sedimente in randnaher Fazies ausgeräumt und durch Sandschüttungen (terrestrische Beeinflussung) ersetzt.

Anhand der Auswertung kann ferner gezeigt werden, daß trotz sicher vorhandener Verschleppungen und Kontaminationen im analysierten Probenmaterial geochemische Auswertemethoden die konventionellen petrographischen und bohrloch-physikalischen Methoden zur Interpretation von Bohrprofilen stützen können. Selbst wenn, wie im vorliegenden Fall, nur Informationen aus Bohrklein zur Verfügung stehen, lassen sich mittels Geochemie magmatische sowie sedimentäre Trends erkennen und mit den vorhandenen Daten korrelieren. Zur

Beschreibung von Absolutgehalten, bei einer gleichzeitigen Eingrenzung des Probenahmefehlers, wären jedoch Messungen von Blindproben (Spülflüssigkeiten) in Abhängigkeit vom durchteuften Gestein notwendig gewesen. Mit diesem Anspruch sollten künftige Bohrungen beprobt werden, um die Aussagefähigkeit der Analytik zu erhöhen.

Danksagung: Die intensive Beprobungsarbeit an dieser Bohrung wurde von Herrn Dr. W.-D. OTT (†) durchgeführt. Herrn ANDRES, Bayerisches Geologisches Landesamt, sei für die analytischen Arbeiten herzlich gedankt. Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. HORN für die anregenden Diskussionen sowie für die konstruktiven Beiträge zum Manuskript.

## 5. Literatur

- BADER, K. (1991): Bericht über die refraktionsseismische Messung zur Erkundung der Grundgebirgsoberfläche und eventuell vorhandenem Rotliegendem im Altmühltal 2–6 km NW Treuchtlingen. – Ber. GLA, München (Bayer. Geol. L.-Amt). – [Unveröff.]
- BADER, K. (im Druck): Der Grundgebirgsrücken von Dinkelsbühl–Berching (südlich von Nürnberg) nach refraktionsseismischen Messungen. – Geol. Jb., E, Hannover.
- BAUBERGER, W. (1990): Rotliegendes. – In: HAUNSCHILD, H.: Die Thermal- und Mineralwasser-Versuchsbohrung Gunzenhausen/Mittelfranken. – Geol. Bl. NO-Bayern, **40**: 75–78, Erlangen.
- BUNNESS, H. (1995): Seismische Untersuchungen zur Erkundung des Grundgebirgshochs in Mittelfranken und angrenzenden Gebieten 1982–1988. – BGR/NLfB-Ber., Arch.-Nr. 113202, Hannover.
- COX, K. G., BELL, J. D. & PANKHURST, R. J. (1979): The interpretation of igneous rocks. – 588 S., London (Allen & Unwin).
- EXLER, H. J. (1987): Hydrogeologisches Gutachten des Bayerischen Geologischen Landesamtes zur Erschließung von zusätzlichem Thermalwasser für die Stadt Treuchtlingen. – München (Bayer. Geol. L.-Amt). – [Unveröff.]
- FÜCHTBAUER, H. (1988): Sedimente und Sedimentgesteine, Teil II: Sediment-Petrologie. – 1140 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- GUDDEN, H. (1993): Buntsandstein. – In: GUDDEN, H. & HAUNSCHILD, H.: Die Trias in der Forschungsbohrung Abenberg 1001. – Geologica Bavarica, **97**: 47–66, München.
- GUDDEN, H., HAUNSCHILD, H., KURSZLAUKIS, S. & LORENZ, V. (1993): Bohrgutbeschreibung der Forschungsbohrung Abenberg 1001. – Geologica Bavarica, **97**: 11–24, München.
- HAUNSCHILD, H. (1986): Faziesentwicklung und Mächtigkeit des Unteren Gipskeupers im mittelfränkischen Keuperbecken, dargestellt an ausgewählten Profilen. – Geol. Bl. NO-Bayern, **36**: 39–56, Erlangen.
- HAUNSCHILD, H. (1990): Die Thermal- und Mineralwasser-Versuchsbohrung Gunzenhausen/Mittelfranken. – Mit einem Beitrag über den Granitporphyr von W. BAUBERGER. – Geol. Bl. NO-Bayern, **40**: 73–104, Erlangen.
- HAUNSCHILD, H. (1992): Die Thermalwasser-Erschließungsbohrung Treuchtlingen 2 (T 2) – Kurzmitteilung. – Geol. Bl. NO-Bayern, **42**: 269–276, Erlangen.
- HAUNSCHILD, H. (1993 a): Muschelkalk. – In: GUDDEN, H. & HAUNSCHILD, H.: Die Trias in der Forschungsbohrung Abenberg 1001. – Geologica Bavarica, **97**: 50–54, München.
- HAUNSCHILD, H. (1993 b): Keuper. – In: GUDDEN, H. & HAUNSCHILD, H.: Die Trias in der Forschungsbohrung Abenberg 1001. – Geologica Bavarica, **97**: 54–66, München.
- HEIM, J. (1992): Durchführung und Auswertung refraktions- und reflexionsseismischer Messungen zur Bestimmung der sedimentären Bedeckung (Meßgebiete Treuchtlingen und Reichertshofen). – Dipl.-Arb. L.-M.-Univ.: 113 S., München.

- KÄMPFE, C. (1984): Tiefbohrungen in Baden-Württemberg und umgebenden Ländern. – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, N. F. **80**: 1–313, Stuttgart.
- KRISL, P. & WALETZKY, J. (1999): Neue Profile durch den Sandsteinkeuper im nordwestlichen Oberfranken. – Geol. Bl. NO-Bayern, **49**: 71–92, Erlangen.
- KURSZAUKIS, S. (1990): Petrologische und geochemische Untersuchungen am Rotliegend der Forschungsbohrung Abenberg 1001. – Dipl.-Arb. Univ. Würzburg: 125 S., Würzburg.
- KURSZAUKIS, S. & LORENZ, V. (1993): Petrologische und geochemische Untersuchungen am Rotliegenden der Forschungsbohrung Abenberg 1001. – *Geologica Bavarica*, **97**: 25–46, München.
- MCBIRNEY, A. (1984): *Igneous petrology*. – 504 S., San Francisco (Freeman, Cooper & Comp.).
- PEARCE, J. A., HARRIS, N. B. W. & TINDLE, A. G. (1984): Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. – *J. Petrol.*, **25**: 956–983, Oxford.
- RIETZLER, J. (1984): Unterirdische Erdgasspeicherung in der Aquifer-Struktur „Alte Bürg“. – Erdöl u. Kohle, **37**: 357–363, Hamburg.
- ROGERS, J. & GREENBERG, J. (1990): Late-orogenic, post-orogenic and anorogenic granites: Distinction by major-element and trace-element chemistry and possible origins. – *J. Geol.*, **98**: 291–309, Chicago.
- ROLLINSON, H. (1993): *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. – 352 S., Singapore (Longman).
- SALGER, M. (1982): Zur Mineralogie der Forschungsbohrung Berching 1977. – *Geologica Bavarica*, **83**: 117–121, München.
- SALGER, M. & SCHMIDT-KALER, H. (1978): Trias und Rotliegendes in der Tiefbohrung Treuchtlingen. – Geol. Bl. NO-Bayern, **28**: 28–37, Erlangen.
- SCHMID, H. (1981): Zur Bleiführung in der Mittleren Trias der Oberpfalz – Ergebnisse neuerer Bohrungen. – *Erzmetall*, **34**: 652–658, Weinheim.
- SCHMID, H. (1990): Blei in triadischen Sandsteinen der Oberpfalz. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: *Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern*. – 19–24, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHMIDT-KALER, H. (1976): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7031 Treuchtlingen. – 145 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHMIDT-KALER, H. (1978): Trias und Rotliegendes in der Tiefbohrung Treuchtlingen. – Geol. Bl. NO-Bayern, **28**: 28–37, Erlangen.
- WINCHESTER, J. A. & FLOYD, P. A. (1977): Geochemical discrimination of different magma series and their different products using immobile elements. – *Chem. Geol.*, **20**: 325–343, Amsterdam.
- WIMMENAUER, W. (1985): *Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine*. – 382 S., Stuttgart (Enke).
- WIRTH, E. (1970): Die Schichtenfolge der Erdölaufschlußbohrungen Eichstätt 1 und Daiting 1, Fränkische Alb. – *Geologica Bavarica*, **63**: 39–85, München.
- WROBEL, J.-P. (1992): Geologisch-hydrogeologischer Abschlußbericht zur Thermalwasserbohrung Treuchtlingen T 2 der Stadtwerke Treuchtlingen. – Ber. GLA, Nr. 408.5-4, München (Bayer. Geol. L.-Amt). – [Unveröff.]



# Die Forschungsbohrung Ebenhausen bei Bad Kissingen (Unterer Keuper/Oberer Muschelkalk/Mittlerer Muschelkalk)

Von Uwe HOFFMANN

Mit 1 Abbildung und 1 Beilage

**Schlüsselworte:** Kernbohrung – Ebenhausen – Nordbayern – Unterer Keuper/Oberer Muschelkalk/Mittlerer Muschelkalk

**Kurzfassung:** Zur Unterstützung der geologischen Aufnahme der Kartenblätter der TK 25 Nr. 5726 Bad Kissingen Nord und Nr. 5826 Bad Kissingen Süd wurde 1998 bei Ebenhausen eine 115 m tiefe Kernbohrung abgeteuft. Sie durchörterte, wie geplant, die im genannten Raum flächenhaft ausstreichende, aber nirgends durch Aufschlüsse einsehbare Schichtfolge des unteren Teils des Unteren Keupers, des Oberen Muschelkalks und des obersten Mittleren Muschelkalks. Die angetroffenen stratigraphischen Verhältnisse werden mit der seinerzeit vom Verfasser erarbeiteten Schichtfolge im Raum Würzburg verglichen. Die Bohrung kann auch als Bindeglied für stratigraphische Korrelationen der entsprechenden Schichten in den benachbarten Bundesländern Baden-Württemberg, Hessen und Thüringen dienen.

**The drill hole Ebenhausen near Bad Kissingen (Northern Bavaria)**  
(Intersected stratigraphic units: Lower Keuper/Upper Muschelkalk/Middle Muschelkalk)

**Keywords:** Drill hole – Ebenhausen – Northern Bavaria – Lower Keuper/Upper Muschelkalk/Middle Muschelkalk

**Abstract:** A 115 m deep drill hole was completed in 1998 near the village of Ebenhausen (Northern Bavaria). In order to aid the geologic mapping of the region the hole was to provide a detailed stratigraphic column of the intersected strata of Middle Triassic age widely underlying the area but rarely if ever seen in exposures on surface. The stratigraphy developed in the drill hole is compared with the corresponding stratigraphic section of the Würzburg area farther to the south as established by the author in the past. The drill hole can also be used for correlation purposes with the equivalent successions in the neighbouring Federal states of Baden-Württemberg, Hesse and Thuringia.

## Inhalt

1. Vorbemerkung .....	124
2. Bohrziel und Wahl der Bohrstelle .....	125
3. Detailaufnahme des Bohrkerns der Bohrung .....	125
3.1. Angaben zur Bohrung .....	125
3.2. Anmerkungen zur Bohrung .....	125
3.3. Im Bohrloch angetroffene Mächtigkeiten (Kurzprofil) .....	126
3.4. Das Bohrprofil .....	126
4. Anmerkungen zur durchbohrten Schichtfolge .....	132
5. Interpretation der Bohrergebnisse .....	134
6. Literatur .....	135

Anschrift des Verfassers: Dr. Uwe HOFFMANN, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstraße 128, D-80797 München.

## 1. Vorbemerkung

Im Rahmen der geowissenschaftlichen Aufnahme der Blätter Nr. 5726 und 5826 Bad Kissingen Nord und Süd durch das Bayerische Geologische Landesamt wurde bei Ebenhausen eine 115 m tiefe Forschungskernbohrung niedergebracht (Abb. 1), die den unteren Teil des Unteren Keupers, den Oberen Muschelkalk und den obersten Teil des Mittleren Muschelkalks durchteufte. Die Bohrung wurde als notwendig angesehen, da bei der weiten Verbreitung der genannten geologischen Einheiten, insbesondere auf Blatt Bad Kissingen Süd, keine natürlichen Aufschlüsse und nur noch ein winzig kleiner künstlicher Aufschluß existieren. Über die lokale Bedeutung dieser Bohrung als Grundlage für die flächenhafte Kartierung der durchörterten Schichten im Bad Kissinger Raum hinaus kann die Bohrung als Bindeglied für die stratigraphische Korrelation der durchfahrenen Schichten mit entsprechenden Gesteinsfolgen im restlichen Nordbayern als auch in den Nachbarländern Baden-Württemberg, Hessen und Thüringen dienen.

Mit Bezug auf den unterfränkischen Bereich kann festgestellt werden, daß das seinerzeit vom Verfasser schwerpunktmäßig im südlichen Unterfranken erarbeitete und seither sowohl bei der geologischen Landesaufnahme des Bayerischen Geologischen Landesamtes als auch im Rahmen von Diplom-Kartierungen durch die Universität Würzburg angewandte, detaillierte Normalprofil (HOFFMANN 1967 a, b), im folgenden kurz als „Profil Würzburg“ bezeichnet, sieht man von bestimmten, durch die paläogeographische Entwicklung vorgegebenen Fazies- und Mächtigkeitsänderungen innerhalb einiger Profilschnitte ab, uneingeschränkt auch für die Bohrung Ebenhausen gilt.



Abb. 1. Lageskizze der Bohrung Ebenhausen



## 2. Bohrziel und Wahl der Bohrstelle

Folgende Anforderungskriterien an die Bohrung sollten durch die geeignete Wahl des Bohrplatzes erfüllt werden:

- Bohrziel war die Gewinnung eines durchgehenden Bohrkerns bei der Durchbohrung des Oberen Muschelkalks einschließlich einiger Meter Unteren Keupers und Mittleren Muschelkalks.
- Die Bohrung sollte repräsentativ für das Verbreitungsgebiet der zu durchbohrenden Schichten auf Blatt Bad Kissingen Süd sein, also in der Nähe des Verbreitungsschwerpunktes dieser Schichten liegen.
- Um bei der Bohrung Gebiete mit eventueller Verkarstung im Oberen und Mittleren Muschelkalk zu meiden, sollte ein möglichst großer Anfangsabschnitt der Bohrung im weitgehend gering wasserdurchlässigen Unteren Keuper 1 liegen, der i. d. R. die darunterliegenden Schichten des Oberen Muschelkalks und obersten Mittleren Muschelkalks vor einer Verkarstung von oben her schützt.
- Die Bohrung sollte außerhalb von Bruchstörungenzonen und in einem Gebiet geringer Schichtneigung abgeteuft werden.
- Die Bohrung sollte außerhalb von Trinkwasserschutzgebieten liegen.
- Der Bohrplatz sollte an einem befestigten Weg liegen und leicht erreichbar sein.
- Im unverrohrten Bohrloch sollte eine bohrlochgeophysikalische Vermessung (Gamma-Ray-Log und Widerstandslog) stattfinden, die zum einen als Vergleichsmöglichkeit mit der erbohrten Gesteinsfolge, zum anderen als Korrelierhilfe für andere, nicht gekernete Bohrungen derselben Schichtfolgen, in denen ebenfalls Bohrlochgeophysik gefahren wurde, dienen sollte.

Der tatsächlich gewählte Bohrpunkt und die abgeteufte Bohrung entsprachen allen gestellten Anforderungen. Das Bohrziel wurde erreicht.

## 3. Detailaufnahme des Bohrkerns der Bohrung

### 3.1. Angaben zur Bohrung

Detailaufnahme: 9.–11. Juli 1998  
Lage: R 3580602, H 5554533 (500 m SW Ebenhausen)  
TK-Blatt Nr. 5826 Bad Kissingen Süd  
Ansatzhöhe: 314,0 m ü. NN  
Bohrkerndurchmesser: 101 mm

### 3.2. Anmerkungen zur Bohrung

- In der gesamten Bohrung gibt es keine echten Kernverluste. Geringerer als 100 % Kerngewinn kommt lediglich in gewissen Schluffsteinpartien hauptsächlich im oberen Teil der Bohrung vor.

- Tonmergelsteine sind ganz überwiegend Schluffsteine.
- Die Schichtflächen sind im gesamten Bohrkern nahezu senkrecht durchbohrt worden. Kleine Abweichungen (bis 10° von der Horizontalen) sind auf wellige und z. T. unregelmäßige, schwach geneigte Schichtflächen, gelegentlich höhere Winkel (bis 20°) z. B. auf Schrägschichtung bzw. Rinnenfüllung von Feinsandsteinlagen im Unteren Keuper und Schillkalksteinlagen im Oberen Muschelkalk zurückzuführen.
- Es gibt im Bohrkern der Bohrung im gesamten Oberen Muschelkalk keine Anzeichen für Verkarstung. Auch im Mittleren Muschelkalk ist nur an zwei Stellen der Beginn einer Zellenkalkbildung zu konstatieren.
- An zahlreichen Stellen des Bohrkernprofils kommt es zu mm- bis maximal 5 cm-mächtigem Zerreibsel von Schluffstein (streng schichtparallel), einer Art „Mylonit“, z. T. mit Bruchstückchen von nicht zerschertem Schluffstein (durch schichtparallele tektonische bzw. postdiagenetische Horizontalbewegung entstanden?), z. B. bei 74,0 m, 74,70 m, 75,63 m, 61,10 m. Diese „Mylonite“ liegen als fester Bohrkern vor, können also nicht durch das Bohrverfahren verursacht worden sein.
- Die durchlaufende Numerierung der Schichten entspricht der im Bohrlochbild (s. Beil.).

### 3.3. Im Bohrloch angetroffene Mächtigkeiten (Kurzprofil)

Unterer Keuper (ku):	0,00–22,02 m = 22,02 m (Teilmächtigkeit)
Oberer Muschelkalk 3 (mo3):	22,02–51,40 m = 29,38 m
Oberer Muschelkalk 2 (mo2):	51,40–75,22 m = 23,82 m
Oberer Muschelkalk 1 (mo1):	75,22–106,50 m = 31,28 m
Oberer Muschelkalk (mo) (gesamt):	22,02–106,50 m = 84,48 m
Mittlerer Muschelkalk (mm):	106,50–115,00 m = 8,50 m (Teilmächtigkeit)

### 3.4. Das Bohrprofil

Benutzte Abkürzungen: S für Schluffstein, K für Kalkstein

- (1)– 2,60 m (2,60 m) **Obere Estherienschiefer des Unteren Keupers**  
Rammkern: Tonmergel, z. T. feinsandig, feingeschichtet bis feinbröckelig, weich, gelblich-grau-grünlich, mit Oxidations- und Reduktionsflecken (Staubnässe)
- (2)– 2,95 m (0,35 m) **Obere Estherienschiefer**  
Ab 2,60 m Rotationskern: Tonmergelstein, feingeschichtet, feinsandig, fein-glimmerig, Ablösungsflächen gelbbraun, sonst hell- bis dunkelgrau, Pflanzenhäcksel auf Schichtflächen, auch Manganflecken auf Schichtflächen und Kluftflächen, feinklüftig
- (3)– 3,40 m (0,45 m) **Zelliger Mergelkalkstein mit basalem Braunkalkbänkchen**  
Braunkalkstein, feingeschichtet, mit zahlreichen weißen Calcitlagen (wellig) parallel zur Schichtung, z. T. kleine Hohlräume und Drusen auskleidend; an der Basis der Schicht markantes 10-cm-Braunkalkstein-Bänkchen
- (4)– 3,80 m (0,40 m) **Mittlere Estherienschiefer**  
Tonmergelstein, feingeschichtet, oliv- bzw. khakifarben, Schicht- und Ablösungsflächen gelb, braun und manganfleckig schwarz
- (5)– 4,05 m (0,25 m) **Hauptquarzitschiefer**  
Tonmergelstein, feingeschichtet, feinsandig, z. T. wellig, khakifarben bis weißgrau, in größeren Kernstücken brechend, Ablösungs- und Schichtflächen gelbbraun und schwarz gefleckt, relativ hart

- (6)– 5,60 m (1,55 m) **Untere Estherienschiefer, oberer Teil**  
Tonmergelstein, feingeschichtet, feinsandig, khakigrau–dunkelgrau, fließender Übergang von den hangenden Hauptquarzitschieferplatten, gelb-braun-schwarzfleckig auf Schicht- und Ablösungsflächen, weicher als Hauptquarzitschieferplatten und in kleineren Stücken brechend, durchgehend feingeklüftet (Ablösungsflächen)
- (7)– 5,90 m (0,30 m) **Unterer Sandstein**  
Tonmergelstein mit Feinsandstein, graugrünlich bis gelblich, oberster Teil, insbesondere 5,65–5,70 m, mit welliger Feinschichtung, heller Glimmer auf Schichtflächen, kohliges Pigment auf Schichtflächen, gelbe, braune und schwarze Schicht- und Kluffflächen
- (8)– 12,00 m (6,10 m) **Untere Estherienschiefer, unterer Teil**  
Schluffstein–Tonmergelstein–Feinsandstein; Übergangsbereich von der noch stellenweise durch Oberflächeneinflüsse bedingten Verwitterungszone zum frischen Gestein (Grenze etwa bei 7,00 m, aber auf Kluffflächen bis 18,00 m reichend); z. T. extrem feingeschichtete, z. T. flaserig-nodulare Wechsellagerung von Feinsandsteinlagen und -schmitzen im mm- bis 2-cm-Bereich (hellgrau, deutlich feinkörnig, z. T. Rinnenfüllung von 2–3 cm Tiefe) mit dunkelgrauem, feingeschichtetem Schluff- und Tonmergelstein; Feinsandsteinentwicklung (meist kalkig) besonders ausgeprägt zwischen 7,0 und 9,30 m; bei letzterer Teufe eine Rinnenbildung, in der Rinne „Graded bedding“-Feinstschichtung („Fining upward“: Kriterium für Hangendes und Liegendes); unter 9,30 m deutlich weniger Feinsandsteinschmitzen, Tonmergelstein (Schluffstein) hier schwarz-grau, deutlich „schiefrig“ aufspaltend und auch bituminöser; Einschaltung dünner, gelblichgrauer, cm-starker, dolomitischer Mergelkalksteinlagen bei 10,30 m, 10,40 m, 10,90 m
- (9)– 12,05 m (0,05 m) **Untere Dolomite**  
Dolomitische Kalksteinbank, mikritisch-feinkörnig, feingeschichtet, hart, dunkelgrau
- (10)– 13,10 m (1,05 m) **Dolomitische Mergelschiefer**  
Tonstein–Schluffstein als feinstkörniger, dunkelgrau-bituminöser bis fast schwarzer, feinschichtiger, weicher „Schiefer-ton“
- (11)– 14,20 m (1,10 m) **Blaubank**  
Dolomitische Kalksteinbank, feinkörnig, feingeschichtet, dunkelgrau, mit etwas helleren, dünnen Lagen; leichter Brauntön, die bei der Verwitterung an der Erdoberfläche daraus entstehenden Braun- und Gelbkalke auch schon im frischen Gestein andeutend; hart; markante Klufffläche (rauh, uneben, 30° zur Bohrlochachse geneigt) zwischen 13,40 m und 13,65 m
- (12)– 22,02 m (7,82 m) **Vitriolschiefer**  
Tonmergelstein–Schluffstein–Feinsandstein; den „Estherienschiefern“ sehr ähnliche Abfolge von hell- bis dunkelgrauen bis fast schwarzen „Schiefer-tonen“, feingeschichtet („Laminit“), mit hellgrauen, wellig-knotigen, z. T. flach schräggeschichteten Schluffstein- bis Feinsandsteinlagen und -schmitzen, Anzeichen von Durchbewegung („Slump structures“, „Sandstone mirco dykes“, „Convolute bedding“) im mm- bis cm-Bereich zeigend; besonders starke Feinsandsteinlagen (mit Hellglimmer auf z. T. Schrägschichtung) 14,25–14,30 m, 16,70–16,90 m, 17,00–17,95 m (WAGNERSche Platten); dolomitische Kalksteinbänken 18,95–18,99 m, 19,30–19,40 m (feinkörnig, feingeschichtet, bräunlich)
- (13)– 24,40 m (2,38 m) **Glaukonitkalkstein**  
Kalkstein-dolomitische Mergelkalkstein-Schluffstein-Folge; Kalkstein (schwarzgrau, feinkörnig) 22,02–22,06 m (Grenzglaukonitkalk) mit zwei Bonebed-Lagen (Knochenfragmente) und 22,20–22,35 m (dunkelgrau); Wechsel von Schluffstein und dolomitischem Kalkstein (bräunlich) 22,06–22,20 m und 22,35–23,00 m; Schluffstein 23,00–23,70 m (mit einer dünnen Kalksteinbank 23,30–23,35 m); dolomitischer Mergelkalk- bis Kalkmergelstein 23,70–24,00 m; Schluffstein 24,00–24,20 m und hellgrauer Kalkstein (Gekrösealkstein) 24,20–24,40 m; alle Gesteine feinkörnig und feingeschichtet, Schluffsteine lagenweise feinsandig und dann grau, sonst schwarzgrau; festere Bänke von einzelnen bankinternen Klüften (10°–30° geneigt zur Bohrlochachse) durchzogen, besonders die Gekrösealkbank und dolomitische Mergelkalkbank; Gekrösealkbank mit einzelnen Drusen (Calcit) durchsetzt sowie Pyrit und Kupferkiesknötchen führend; Kalksteinbänke hart, dolomitischen Kalksteinbänke mittelhart, Schluffsteine weich

- (14)– 28,00 m (3,60 m) **Ostracodenton**  
Schluffstein, feinkörnig, blättrig zerfallend, feingeschichtet, dunkelgrau bis schwarzgrau, gelegentlich Feinsandsteinschmitzen in mm-Mächtigkeit enthaltend
- (15)– 29,35 m (1,35 m) **Obere Terebratelbank**  
Kalkstein-Schluffstein (ca. 8 Lagen)-Wechselagerung bis 28,80 m (60 % K, 40 % S); Kalkstein meist mikritisch, nur dünne Feinschillagen; wellig-wulstige Schichtflächen; einzelne calciterfüllte Terebratel-Schalendurchschnitte im gesägten Kern sichtbar; 28,80–29,15 m Schluffstein mittelgrau, feinkörnig, mit dünnen Plattenkalksteinlagen (mikritisch); 29,15–29,35 m Kalksteinkomplex, Schillkalksteinbank (Fein- bis Grobschill in mehreren „gradierten“ Lagen mit Terebratelschalen, Öffnung nach unten; hellgrau bis weißgrau)
- (16)– 29,80 m (0,46 m) **Gelber Kipper**  
Wechsel von Schillkalkstein (mit Kalkschlamm-Intraklasten bis 1 cm Ø) und Mikritkalksteinlagen, dazwischen dolomitischer Kalkmergelstein, bräunlich-grau
- (17)– 30,60 m (0,80 m) **Knauerige Bank**  
Wechsel von extrem knollig-knauerig-wulstigem Mikritkalkstein (mit z. T. Kalkschlammgeröllen) mit Tonstein in Zwickeln und Zwischenlagen
- (18)– 31,70 m (1,10 m) **Kiesbank**  
Schluffstein-Tonmergelstein, feinkörnig, feingeschichtet, mittel- bis dunkelgrau; an der Basis 20 cm festerer dolomitischer Kalkmergelstein, hellgrau, ebenfalls feinkörnig und feingeschichtet; Kluft (40°, scharf, eben) bei 31,55 m
- (19)– 31,95 m (0,25 m) **Hauptterebratelbank**  
Kalksteinbank, wellig-wulstig (im cm-Bereich), mit einer reinen Grobschill- und einer Feinbruchschillage (5 cm) am Top, mit großer, weißer *Terebratula vulgaris*-Schale auf der Bankoberfläche; Kalkschlammfladen (bis 3–5 cm lang) in Schillkalkstein; Schalenrümmer weiß, Grundmasse dunkelgrau
- (20)– 32,30 m (0,35 m) **SCHUSTERS Mergelleitschicht**  
Tonmergelstein/Schluffstein, feinkörnig, dunkelgrau, oben dünnblättrig zerfallend, unten mit dünnen Plattenkalksteinlagen (mikritisch)
- (21)– 38,75 m (6,45 m) **Plattenkalksteinsfolge 6 mit zwei Tonsteinlagen und Bank der kleinen Terebrateln**  
Wechselfolge von Kalksteinbänken (mikritisch und sparitisch) mit Schluffsteinschichten; sparitische Schillkalkbänke 32,30–32,40 m, 33,25–33,30 m, 33,38–33,52 m, 34,0–34,35 m (ziemlich zerbohrt) und 38,25–38,80 m (sehr markanter Schillkalkstein/Mikritkalkstein-Komplex, 5-lagig, mit nur mm-dicken Tonstein-Zwischenlagen: Bank der kleinen Terebrateln); mikritische Platten- und Linsenkalksteinbänke (im Wechsel mit Schluffsteinschichten) 32,40–33,25 m, 33,52–34,0 m, 34,85–36,80 m, 37,80–38,25 m; „reine“ Tonmergelstein/Schluffstein-Horizonte 34,35–34,85 m, 36,80–37,80 m
- (22)– 39,95 m (1,20 m) **Tonsteinhorizont 5**  
Tonmergel-/Schluffstein, dunkelgrau, feinkörnig, feingeschichtet, mit einer Mergelkalksteinlage (bräunlich) zwischen 39,20 m und 39,30 m
- (23)– 47,95 m (8,00 m) **Dickbankzone**  
Wechselfolge von Kalksteinbänken (mikritisch und sparitisch) mit Schluffsteinschichten (ähnlich Schichtabschnitt 21); sparitische Schillkalksteinbänke 39,95–40,22 m (meist Feinschill mit zahlreichen, 1–5 cm langen Kalkschlammeinschaltungen, hellgrau bis bräunlichgrau, hart), 40,84–40,90 m, 41,80–42,00 m, 42,45–42,62 m, 43,43–43,63 m (Wechsel Schillkalk/Mikrit), 47,70–47,90 m; mikritische Platten- und Linsenkalksteinlagen (im Wechsel mit Schluffsteinschichten) 40,90–41,80 m, 42,00–42,45 m, 42,62–43,43 m, 43,63–47,70 m (Verhältnis Kalkstein/Schluffstein ca. 1:1); graubräunliche Kalkmergel-/Mergelkalksteine 40,22–40,48 m (feinkörnig, abwechselnd hell-dunkel feingeschichtet, besonders 40,43–40,48 m) und 46,00–46,20 m; „reiner“ Tonmergelstein- bis Schluffsteinhorizont 40,48–40,84 m
- (24)– 51,40 m (3,45 m) **Tonsteinhorizont 4 mit zwei Kalksteinbänken**  
Schluffsteinschichten mit einzelnen Linsen- und Plattenkalksteinlagen und Schillkalk-



Schalen mit Öffnung nach unten; Schichtflächen im Zwischenschluffstein als flache Stylolithenzüge ausgebildet), 73,25–73,40 m (Feinschill), 73,60–73,95 m (wellig-wulstig-kleinknauerig mit lagenweise Schill-/Mikritkalkstein, „Blaukalk“); Zwischenraum mit Plattenkalkstein- und Linsenkalkstein-Lagen mit Schluffsteineinschaltungen (Kalkstein/Schluffstein-Verhältnis ca. 2:1 bis 3:1) entwickelt

- (33)– 75,63 m (0,41 m) **Spiriferinabank**  
Kalksteinkomplex; 75,22–75,32 m Fein- bis Grobschillkalkbank, an der Basis mit Kalkschlammfladen bis 2 cm Länge, gradierte Schillfolge (oben fein, unten grob); 75,32–75,47 m Feinschillkalkbank, 75,47–75,48 m Schluffsteinlage (dunkelgrauschwarz), 75,48–75,63 m Schillkalkbank mit 1–3 cm mächtigem Grobschill an der Basis; Rest als Feinschillkalkstein bis Mikritkalkstein; Basis der Spiriferinabank wellig-wulstig, nur oberste Teilbank einzelne, verstreute Trochiten führend
- (34)– 79,25 m (3,62 m) **Tonschiefer-Plattenkalksteinfole**  
Wechselfolge von einer Schillkalksteinbank und Platten-/Linsenkalksteinlagen mit Schluffstein-Einschaltungen; Schillkalksteinbank 76,58–76,76 m (Fein- bis Grobschill, Schalenreste calcitisiert); Rest als Platten-/Linsen-kalksteinschichten mit eher untergeordnet Schluffsteinlagen ausgebildet; letztere hauptsächlich die Zwickel und andere Zwischenräume zwischen den z. T. extrem welligen und wulstigen Kalksteinlagen ausfüllend
- (35)– 79,43 m (0,18 m) **Dicke Bank Äquivalent (mit Franconicus-Platte)**  
Oben 0,15 m Schillkalksteinbank, Fein- bis Grobschill, calciterfüllte Schalenanschnitte; Schill zapfen- und trichterförmige Vertiefungen (im cm-Bereich) in der Liegendschicht füllend, dazu zahlreiche dunkelgraue Tonsteinfragmente bis 1 cm Größe im Schill verteilt; Liegendschicht als bis 3 cm mächtige Mikritkalksteinlage entwickelt
- (36)– 91,00 m (11,57 m) **Plattenkalksteinfole 2 mit Schillbänken (u.a. „Ebenhausener Bohrlochbänke“)**  
Wechselagerung von Schillkalksteinbänken, mikritischen Platten- und Linsenkalksteinlagen sowie (untergeordnet) Schluffstein; Schillkalksteinbänke: 81,28–82,00 m (Kalksteinkomplex, bestehend aus 0,15 m Schillkalkstein am Top, 0,30 m Wechsel von dünnen Feinschillagen, Mikritkalkstein und Tonstein als Ausfüllung stark wulstiger Schichtflächen und 0,27 m Mikritkalkstein mit dünnen Feinschillagen an der Basis; steile bankinterne, calcitgefüllte Fiederkluft; Kalkstein hart, hellgrau [„Ebenhausener Bohrlochbank 3“]), 83,50–84,00 m (Fein- bis Grobschill, durch 5 mm mächtige Schluffsteinhäute unterteilt, mit Kalkschlammfladen bis 5 cm Länge [„Ebenhausener Bohrlochbank 2“]), 84,47–84,80 m (Fein- bis Grobschill, von unten grob nach oben fein gradiert, Schillmatrix hellgrau, z. T. Mikritkalk-Intraklasten [„Ebenhausener Bohrlochbank 1“]), 89,60–89,70 m; Rest der Folge als Platten- und Linsenkalkstein mit nur dünnen Feinschillagen entwickelt, mit einzelnen Schluffsteineinschaltungen (hauptsächlich als Zwickel- und „Rinnen“-Füllung der Linsen- und Plattenkalksteinlagen), 5–10 cm Mächtigkeit nicht übersteigend; K/S-Verhältnis etwa 3:1 bis 5:1; Mikritkalksteinlagen z. T. 20–35 cm mächtig (z. B. 88,00–88,35 m); schichtparallele „Mylonit“-Lagen bei 84,20 m, 88,35 m (bis 3 cm dick)
- (37)– 91,95 m (0,95 m) **Obere Hauptencrinitenbank**  
Kalksteinkomplex, bestehend aus den Schillkalksteinbänken 91,00–91,25 m (Schalenschill dunkelgrau, Matrix hellgrau, verstreut feine Poren und Hohlräume; Schalenschill mittelgrob; extrem hart, beim Anschlag klingend; bohrlochachsenparallele, unebene Klufffläche mit Calcitkristallen übersät [Obere Hauptencrinitenbank-Oberbank]) und 91,74–91,95 m (Fein- bis Grobschill, in cm-dünne Mikritkalksteinlagen eingefaßt, Kontaktgrenzen als schwache Stylolithenzüge ausgebildet; größere Schalendurchschnitte weißer Calcit, Grundmasse hellgrau; extrem hart, beim Anschlag klingend; keine Trochiten sichtbar; ± bohrlochachsenparallele Kluff [Obere Hauptencrinitenbank-Unterbank]); dazwischen stark wellig-wulstige Mikrit- und Sparitkalkstein-Schichten (letztere Feinschill) mit dünnen Schluffsteinzwischenausfüllungen
- (38)– 94,70 m (2,75 m) **Plattenkalksteinfole 1**  
Wechselagerung von wellig-wulstigen Platten- u. Linsenkalksteinlagen mit wenig Schluffstein; 4 cm mächtige „Mylonit“-Lage (Gesteinszerreibsel) bei 92,40 m; nur verein-

zelt dünne Feinschillagen; wellig-wulstige Schichten unmittelbar über dem Liegenden besonders ausgeprägt; K/S-Verhältnis etwa 3:1 bis 5:1, ca. 25 Kalksteinlagen

- (39)–95,65 m (0,95 m) **Terebrateldickbank**  
Kompakter Kalksteinkomplex, nur eine 0,5 cm mächtige Tonsteinlage bei 95,0 m, gelegentlich Schichtflächen als Stylolithenflächen ausgebildet; durchwegs Fein- bis Grobschill, keine mikritischen Lagen am Top oder an der Basis, lagenweise lückig-porös, weißgrau, extrem hart und beim Anschlag klingend; größere, bankgebundene, stark unebene Kluftfläche,  $\pm 30\text{--}0^\circ$  zur Bohrlochachse geneigt, gelb- und braunfleckig (Hinweis auf Grundwasserbewegung)
- (40)–100,60 m (4,95 m) **Zeller Tonsteinhorizont, oberer Teil**  
Wechselfolge von zum Liegenden zunehmend Schluffsteinen (dunkelgrau bis schwarzgrau, feinkörnig, feingeschichtet, blätterig zerfallend) mit einzelnen Schillkalksteinlagen und mikritischen Platten- und Linsenkalksteinlagen; Schillkalksteinlagen: 95,80–96,00 m (Grob- bis Feinschill, vereinzelt Kalkschlammfetzen; bankrechte Kluft), 96,25–96,45 m, 98,55–98,75 m (Fein- bis Grobschill, vereinzelt Kalkschlammfetzen, Schalendurchschnitte als weißer Kalzit), 99,0–99,20 m (leicht wellig-wulstig), 99,80–99,90 m; mikritische Platten- und Linsenkalksteinlagen (vielfach wellig-wulstige Schichtober- und -unterflächen) verstreut über das Profil; Schluffsteinbereiche hauptsächlich 95,65–95,80 m (reiner schwarzer Schluffstein), 96,0–96,25 m (mit nur 3 dünnen Mikritkalksteinlagen), 99,20–99,80 m (nur eine wulstige Mikritkalksteinlage) und 99,90–100,60 m (nur 2–3 dünne Linsenkalksteinlagen)
- (41)–101,40 m (0,80 m) **Untere Hauptencrinitenbank**  
Geschlossener Kalksteinkomplex; obere Hälfte Schillkalkstein (Fein- bis Grobschill) mit zahlreichen Trochiten (spätig, leicht rosafarben), weißgraue Matrix; untere Hälfte wulstig-wellig, mit viel Kalkschlamm (mikritisch) eingelagert und Trochiten etwas weniger häufig; Kalkstein sehr hart, der wulstige Basisteil stückig-knauerig zerbrechend
- (42)–102,65 m (1,25 m) **Zeller Tonsteinhorizont, unterer Teil**  
Wechselagerung aus dünnen Feinschillkalksteinlagen, mikritischen Kalksteinlagen und Schluffstein; Schluffstein vorherrschend bei 101,40–102,20 m
- (43)–106,50 m (3,85 m) **Wulstkalkstein**  
[Anmerkung: Basale, 10 cm langes Kernstück wahrscheinlich in der Kernkiste falsch plaziert (gehört in ein höheres Wulstkalkniveau)].  
Kalksteinkomplex, bestehend aus (am Top) einer sparitischen Schalenschillkalksteinbank von 102,65–103,27 m (extrem hart, meist Feinschill, vorherrschend Schilldetritus an der Basis, Mittel- bis Grobschill in den oberen 2/3, fast alle welligen Schichtflächen als Mikrostylolithen entwickelt; die untere Bankhälfte mit bankinterner, steiler bis bohrlochachsenparalleler, rostfleckiger, gelbbrauner Kluftfläche; weißgraue Matrix, dunkelgraue Schalendurchschnitte), gefolgt von wulstig-welligen Mikritkalksteinlagen mit darin eingestreuten Feinschillagen an folgenden Stellen: 103,55–103,67 m (mit Kalkschlamm-“Geröllen“ bis 1 cm  $\varnothing$ ), 104,75–105,0 m (Fein- bis Grobschill), 105,05–105,35 m (mit einer Lage völlig unversehrter Schalendurchschnitte von Terebrateln von 105,10–105,15 m sowie Terebrateln auch verstreut über den gesamten Kalksteinkomplex); mit deutlich gelblichgrauen Mergelsteinschmitzen, die z. T. extrem wellig-wulstigen Schichtflächen der Wulstkalke begleitend; gesamter Kalksteinkomplex auffällig kompakt; verstreut kleine bis mittelgroße Trochiten; schichtparalleles Gesteinszerreibsel („Mylonit“) 105,78–105,80 m; kompetenteste Abschnitte bankintern steil bis bohrlochachsenparallel geklüftet, z. T. rostfleckig; angedeutete Sigmoidalklüftung 105,0–105,10 m
- (44)–109,86 m (3,36 m) **Dolomitische Mergelschiefer (oberer Teil)**  
Folge von dolomitischem Mergelstein mit darin eingeschalteten Mergelkalksteinbänken; sehr feinkörnig, feingeschichtet; auffällig der deutlich bräunliche Farbton; mm- bis maximal 1 cm-mächtige Feinsandsteinschmitzen zwischen 108,00–108,50 m; eine kompakte Mergelkalksteinlage (106,85–107,25 m) sowie dichte, dolomitische Mergelsteinabschnitte geklüftet (eine Kluft bei 107,60–107,85 m  $15^\circ$  gegenüber Bohrlochachse geneigt, bretteben und calcitbelegt); Schichtung des dolomitischen Mergelsteins z. T. unregelmä-

- big flaserig, mit Übergang zu Kalkfladen und Kalkschlammgeröllen; schmieriges Gesteinszerreibsel („Mylonit“) 1 cm mächtig bei 109,35 m
- (45)–111,06 m (1,20 m) **Hornsteinkalkbank**  
Kalksteinbank, extrem hart, hellgrau, mit drei Hornsteinlinsen-Lagen zwischen 109,90 m und 110,30 m; Hornsteinfladen maximal 5 cm dick und > 10 cm lang, schwärzlich-bräunlich, bestehend aus silifiziertem Schalengrus; auch außerhalb der Hornsteinfladen silifizierter Halo des Kalksteins („Cherty limestone“); Hornsteinbank auch außerhalb der Hornsteine, z. B. 110,55–110,80 m, aus kleinlückig-porösem Schalenschillkalkstein bestehend
- (46)–112,60 m (1,54 m) **Dolomitische Mergelschiefer (unterer Teil)**  
Dolomitischer Mergelstein, feinkörnig; neben völlig ebener Feinschichtung („Laminit“) auch schlierig-flaserige Schichtung mit Kalkmergel-“Geröllen“ (bis 2 cm lang); deutlich bräunlichgrau und relativ weich bis mäßig hart; 111,60–111,75 m hellgraue bis mittelgraue Schillkalksteinbank mit deutlichen calcitisierten Schalendurchschnitten
- (47)–115,0 m (Endteufe des Bohrlochs) **Stylolithenkalkstein**  
Folge von (zwischen 112,60 m und 112,85 m) konglomeratisch-brekziösem, ursprünglich blaugrauem, dann hellgelbem, dolomitischem Kalkstein (beginnende Zellenkalksteinbildung) mit rostrotbraunen Flecken in den entstandenen Löchern und auf Klüften (mit Pyritknöllchen bis 0,5 cm Ø), dolomitischem Mergelstein (wie 46) (zwischen 112,85 m und 114,00 m), aber mit zunehmenden Kalksteineinschaltungen und Stylolithenzügen bei 113 m, 113,13 m und 113,33 m und, ab 114,00 m, dichtem, hartem, mittelgrauem Mikritkalkstein mit ausgeprägtem Stylolithenzug bei 114,62 m (bis 2 cm hohe Vertikal-Stylolithen, streng zylindrisch-säulenförmig), dann wieder Stylolithenzug bei 114,90 m; festere Partien steil bis bohrlochachsenparallel von Klüften durchtrennt (z. B. zwischen 113,60 m und 114,00 m)

#### 4. Anmerkungen zur durchbohrten Schichtfolge

##### Unterer Keuper

Der Bohransatzpunkt wurde in die Oberen Estherienschiefer des Unteren Keupers gelegt. Damit war sichergestellt, daß die Bohrung gleich am Anfang einen sicher erkennbaren und stratigraphisch einordenbaren Leithorizont, die Hauptquarzitschieferplatten, antreffen würde. Die nach obigem Konzept stratigraphisch richtige Wahl des Bohransatzpunktes war durch die vorausgegangene Detailkartierung des gesamten Umfeldes im Maßstab 1:10 000 für das Bohrgebiet möglich geworden. Diese Detailkartierung war auch notwendig, um Bruchstörungen für das Bohrgebiet ausschließen zu können und ein nur geringes Einfallen der Schichten zu gewährleisten.

Die Hauptquarzitschieferplatten wurden zwischen 3,80 m und 4,05 m in ihrer typischen Ausbildung und Mächtigkeit angetroffen. Die Unteren Estherienschiefer erreichen mit 7,95 m eine besonders hohe Mächtigkeit im Vergleich zum südlichen Unterfranken (2,00–4,10 m). Die Unteren Dolomite wurden in der Bohrung nur 0,05 m mächtig angetroffen, die Blaubank dagegen wieder „normal“ mächtig (1,10 m). Auch die Vitriolschiefer erreichen mit 7,82 m eine große Mächtigkeit verglichen mit den unterfränkischen Gebieten weiter südlich (3,00–4,50 m).

Weiterhin ist anzumerken, daß sowohl die Estherienschiefer als auch die Vitriolschiefer zusätzlich zu den bekannten sandsteinhaltigen Einschaltungen (Hauptquarzitschieferplatten, Unterer Sandstein, WAGNERS Plattenhorizont) feinsandsteinhaltige Abschnitte enthalten, die in dieser Form im weiter südlich liegenden Teil Unterfrankens nicht vorkommen.



## Oberer Muschelkalk

Der Obere Muschelkalk ist mit 84,50 m geringfügig mächtiger als in der Normalfazies des südlichen Unterfrankens (ca. 80 m). Der Grenzglaukonitkalk enthält keinen Glaukonit und besteht aus einer Tonmergelsteinfolge mit zwischengeschalteten Kalksteinbänken. Die schwarzgraue Farbe der Grenzglaukonitbank, das, wenn auch nur mm-dünne Grenzbonebed als auch die Gekrösebank an der Basis des Kalksteinkomplexes charakterisieren diesen jedoch hinreichend als das stratigraphische Äquivalent des „Glaukonitkalksteins“. Der Ostracodent ist ein abschnittsweise feinsandiger Schluffstein ohne Kalksteineinschlaltungen und schließt damit auch mächtigkeitsmäßig (3,60 m) an die Verhältnisse westlich Würzburg an.

Bemerkenswert ist der hohe Anteil an Schluffsteineinschlaltungen mehrerer Abschnitte des Profils verglichen mit der Schichtfolge des südlichen Maindreieckes und weiter südlich. Das führt in einzelnen Fällen dazu, daß die Schluffsteinhorizonte mit noch reichlich Kalksteinbänken des südlichen Unterfrankens zu mächtiger anschwellenden, „reinen“ Schluffsteinlagen im vorliegenden Bohrloch werden (z. B. untere Tonsteinlage der Plattenkalksteinfolge 6, basale Partien der Plattenkalksteinfolge 4, besonders die Liegendschichten der „Drusenbank“). Andererseits führen einige der traditionellen, durchnummerierten Tonsteinhorizonte auch im Bohrloch Ebenhausen wie im südlichen Unterfranken Kalksteineinschlaltungen, z. T. sogar reichlich, so daß bei einem isolierten (künstlichen) Aufschluß im Gelände mit einem größeren Schluffsteinpaket im Profil nicht automatisch auf einen der 5 etablierten Tonsteinhorizonte geschlossen werden kann.

Obere Terebratelbank, Gelber Kipper, Knauerige Bank, Kiesbank, Hauptterebratelbank und Mergelleitschicht sind, wie in HOFFMANN (1967 a, b) beschrieben, entwickelt.

In der Plattenkalksteinfolge 6 ist das Äquivalent der Bank der kleinen Terebrateln WAGNERS als markanter Schillkalk/Mikritkalkstein-Komplex zwischen dem Tonsteinhorizont 5 und der Unteren Tonsteinlage entwickelt. Die Dickbankzone besteht im Bohrloch Ebenhausen aus einer Wechselfolge von mikritischen Plattenkalksteinen und sparitischen Schillkalksteinbänken, die jedoch nicht die Mächtigkeit „dicker Bänke“ (wie im Würzburger Raum) aufweisen.

Tonsteinhorizont 4, Cycloidesbank, Tonsteinhorizont 3, Plattenkalksteinfolge 5, Gänheimer Bank und Tonsteinhorizont 2 sind ohne wesentliche Abweichungen vom Würzburger Profil ausgebildet. Die Plattenkalksteinfolge 4 mit Schillkalksteinbänken, ein auch künstlich sehr selten aufgeschlossener Abschnitt des mo-Profiles, ist mit 14,20 m ungefähr 6 m mächtiger als das Profil Würzburg angibt. Ein Teil dieses Mächtigkeitsunterschiedes liegt in der generellen Mächtigkeitszunahme des mo in Richtung NW, ein anderer Teil kann ein kleiner Fehler bei der Schichtkorrelation innerhalb dieser eintönigen Schichtfolge im Profil Würzburg sein.

Zwischen den Bohrlochteufen 66,02 m und 66,50 m wurde in der Plattenkalksteinfolge 4 ein Kalksteinkomplex erbohrt, in dessen oberer biosparitischer Lage (zwischen 66,02 m und 66,12 m) Drusen bis 3 cm Ø auftreten. Da solche Drusen auch in der entsprechenden Kalksteinbank in Aufschlüssen im Wertal vorkommen, scheint die Drusenführung dieser Bank zumindest regional verbreitet zu sein. Wegen sonst in der Plattenkalksteinfolge 4 fehlender Orientierungsmöglichkeiten sei diese Bank daher als Drusenbank in der Stratigraphie dieser Region verankert.

Tonsteinhorizont 1 und Plattenkalksteinfolge 3 sind ohne nennenswerte Unterschiede zum Profil Würzburg ausgebildet.

Die Spiriferinabank wurde in der Bohrung als 0,41 m mächtiger Kalksteinkomplex mit Kalkschlammfladen an der Basis und einzelnen, aber großen (bis 0,8 cm Ø), schwach rosafar-

benen Trochiten im obersten Bankteil angetroffen. Die Tatsache, daß von allen Kalksteinbänken des „Trochitenkalks“ nur die Spiriferinabank und die Untere Hauptencrinitenbank in dieser Region im Bohrkern (aber auch bei der Geländekartierung der Blätter Bad Kissingen festgestellt) große Trochiten führen, macht die Spiriferinabank auch ohne *Spiriferina (Punctospirella) fragilis* zu einem Leithorizont. (Die Untere Hauptencrinitenbank ist durch ihre Nähe zum Wulstkalkstein, und im günstigen Falle durch das Vorkommen von *Tetractinella trigonella*, als solche leicht im Gelände zu erkennen und von der Spiriferinabank zu unterscheiden).

Die Tonschiefer-Plattenkalksteinfohle wurde ohne die Grobspätige Bank vorgefunden.

Die Dicke Bank mit Franconicusplatte wurde als nur 15 cm mächtiger Biosparit, allerdings mit mustergültig entwickelter Franconicusplatte, erbohrt.

Die Plattenkalksteinfohle 2 mit Schillkalkbänken wurde in fast genau der Mächtigkeit des Profils Würzburg (nämlich 11,57 m) durchteuft. Diese dritte mächtige, eintönige Plattenkalksteinfohle des mo (neben der Plattenkalksteinfohle 4 und der Plattenkalksteinfohle 6 plus Dickbankzone) schließt zwischen Bohrlochteufe 81,28 m und 84,80 m drei Grobschillbänke ein, die „Ebenhausener Bohrlochbänke“ genannt seien. Da diesen Bänken die oberen Trochitenbänke (ungefähr Trochitenbänke 7–9) in Baden-Württemberg entsprechen, ist anzunehmen, daß die Ebenhausener Bohrlochbänke durchhalten.

Die Obere Hauptencrinitenbank ist zwischen 91,00 m und 91,95 m als zweigeteilte Schillkalksteinbank 2,75 m über der Terebrateldickbank entwickelt, aber ohne Trochiten.

Mit dem Erreichen der Terebrateldickbank, die zwischen 94,70 m und 95,65 m als geschlossener Schillkalksteinkomplex durchörtert wurde, ist die Monotonie der Plattenkalksteinfohlen des mo beendet und beginnt die gut gliederbare Schichtfolge des tiefsten mo und des mm.

Zeller Tonsteinhorizont (oberer Teil), Untere Hauptencrinitenbank (Tetractinellabank), Zeller Tonsteinhorizont (unterer Teil) sowie der Wulstkalkstein sind wie im Profil Würzburg entwickelt. Der Wulstkalkstein ist mit 3,85 m etwas mächtiger als im Würzburger Raum.

#### Mittlerer Muschelkalk

Auch die obersten Schichten des mm (Dolomitische Mergelschiefer, Hornsteinkalkbank, Stylolithenkalkstein) sind dem Profil Würzburg gleichartig und gleich mächtig entwickelt. Erwähnenswert ist das Vorkommen einer Schillkalkbank (unter der Hornsteinbank) zwischen 111,60 m und 111,75 m.

## 5. Interpretation der Bohrergebnisse

Die Bohrung befindet sich entsprechend den Bohrbefunden im küstenfernen Beckeninneren auf der „tiefen Karbonatrampe“ (subtidal) des Muschelkalkmeeres, wo relativ ruhige Sedimentation stattfand und die biosparitischen Bänke der „Trochitenschichten“ trochitenarm sind (Ausnahme: Untere Hauptencrinitenbank, Spiriferinabank).

Auch der untere Teil des Unteren Keupers macht nicht den Eindruck, als ob er in einem verflachenden oder gar trockenfallenden Meere entstanden wäre, sondern zeugt eher von einer weiteren Vertiefung des Meeres: „Mächtige“ Tonstein-Schluffstein-Lagen gelten als Indikatoren für tiefes Wasser (8 m Vitriolschiefer, 8 m Estherienschiefer, 3,80 m Ostracodenton sowie

der hohe Tonstein-Schluffstein-Gehalt der gesamten übrigen Muschelkalkabfolge). Auch die Palynologie erkennt keine Unterschiede zwischen Ostracodenton/Glaukonitkalk und tiefstem Unteren Keuper (HEUNISCH 1984).

Die Bohrung befindet sich in bezug auf den durchbohrten Schichtstapel Unterer Keuper/Oberer Muschelkalk in einer nach NW vorgeschobenen Position nahe der nordwestlichen Verbreitungsgrenze dieser Schichten. Nach den Untersuchungen im hessischen Oberen Muschelkalk (HAGDORN et al. 1987) sind „Hinweise auf die Existenz einer Spessart-Rhön-Schwelle während des Muschelkalks in fazieller Hinsicht nicht zu erkennen“, d. h. das Beckeninnere setzt sich nach NW fort.

## 6. Literatur

- HAGDORN, H., HICKETHIER, H., HORN, M. & SIMON, T. (1987): Profile durch den hessischen, unterfränkischen und baden-württembergischen Muschelkalk. – Geol. Jb Hessen, **115**: 131–160, Wiesbaden.
- HEUNISCH, C. (1984): Zur Palynologie des Unteren Keupers in Franken, Süddeutschland. – Diss. Univ. Würzburg: 162 S., Würzburg.
- HOFFMANN, U. (1967 a): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Bl. Nr. 6225 Würzburg Süd. – 134 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HOFFMANN, U. (1967 b): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Bl. Nr. 6125 Würzburg Nord. – 94 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 6. 12. 1999.



# Der Keuper in Kernbohrungen bei Coburg

Von WALTER FREUDENBERGER, THOMAS FRITZER und ALBERT GEIGER

Mit 13 Abbildungen und 5 Tabellen

**Schlüsselworte:** N-Bayern – Coburger Land – Eisenbahn-Neubaustrecke – Keuper – Stratigraphie – Bohrkernkorrelation

**Kurzfassung:** Auf den Bättern 5831 Seßlach, 5832 Lichtenfels, 5731 Coburg, 5732 Sonnefeld, 5631 Meeder und 5632 Neustadt b. Coburg wurde Unterer, Mittlerer und Oberer Keuper in 81 Kernbohrungen erschlossen. Die Schichtenverzeichnisse repräsentativer Kernbohrungen werden wiedergegeben. In 8 meist mehrteiligen Abbildungen (Säulenprofile) sind die stratigraphischen Ergebnisse dargestellt. Schwerpunkt bildet der Mittlere Keuper, insbesondere Schilfsandstein, Lehrbergsschichten, Blasensandstein, Coburger Sandstein und Burgsandstein. Insgesamt gelingt nun eine bessere Anbindung des Keupers Frankens an den Südthüringens.

## The Keuper Group in core drill holes near Coburg/Bavaria

**Keywords:** N-Bavaria – Coburg region – new railway line – Keuper – stratigraphy – core correlation

**Abstract:** On topographic map sheets to a scale of 1:25 000, 5831 Seßlach, 5832 Lichtenfels, 5731 Coburg, 5732 Sonnefeld, 5631 Meeder, and 5632 Neustadt b. Coburg, 81 diamond drill holes intersected Lower, Middle and Upper Keuper from the Erfurt-Formation to the Exter-Formation. Geological drill core logs of the more important holes are presented. 8 figures mainly in the form of stratigraphic columns show the stratigraphic section. Particular attention was paid to the stratigraphic delineation of the Middle Keuper, mainly Schilfsandstein (Stuttgart-Fm.), Lehrbergsschichten (Steigerwald-Fm.), Blasensandstein sensu strictu, Coburger Sandstein (Hassberge-Fm.), and Burgsandstein (Mainhardt-Fm. and Löwenstein-Fm.). On the whole a better correlation of the Keuper stratigraphy between Franconia and southern Thuringia is accomplished.

## Inhalt

1. Vorbemerkung .....	138
2. Erforschungsgeschichte des Keupers im Coburger Land .....	138
3. Kernbohrungen bei Coburg .....	140
4. Schichtenfolge .....	143
4.1. Oberer Keuper (Rhät) .....	149
4.2. Mittlerer Keuper .....	150
4.2.1. Feuerletten .....	150
4.2.2. Burgsandstein .....	154
4.2.3. Blasensandstein i. w. S. ....	163
4.2.4. Lehrbergsschichten .....	170
4.2.5. Schilfsandstein .....	170
4.2.6. Estheriensschichten .....	173

---

Anschriften der Verfasser: Dr. WALTER FREUDENBERGER und Dr. THOMAS FRITZER, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstr. 128, D-80797 München; Dr. ALBERT GEIGER, TÜV Ecoplan Umwelt GmbH, Westendstr. 199, D-80686 München.

4.2.7. Myophorienschichten .....	173
4.3. Unterer Keuper .....	177
4.3.1. Grenzdolomit .....	179
4.3.2. Obere Tonstein-Gelbkalkschichten .....	179
4.3.3. Werksandstein-Bereich .....	179
4.3.4. Untere Tonstein-Gelbkalkschichten .....	179
5. Gamma-Ray-Logs .....	179
6. Faziesentwicklung und Sedimentationsbedingungen im Keuper des Coburger Landes .....	181
7. Literatur .....	183
8. Anhang .....	186
8.1. Kernprofilbeschreibungen .....	186
8.2. Kurzprofile weiterer Kernbohrungen .....	194

## 1. Vorbemerkung

Die geplante Neubaustrecke (NBS) Ebensfeld–Erfurt der Deutschen Bahn AG quert NE Coburg das südliche Vorland des Thüringer Waldes, wo von S nach N Keuper, Muschelkalk und Buntsandstein austreichen (Abb. 1; vgl. FREUDENBERGER 1994). Für dieses Bauvorhaben wurden in den Jahren 1992 und 1993 im Coburger Land zahlreiche Erkundungsbohrungen niedergebracht (Abb. 2 a–d), wobei auch Schichten des Unteren, Mittleren bzw. Oberen Keupers angetroffen wurden. Von diesen Kernbohrungen wurden 79 mit insgesamt 2831 Bohrmeter von den Verfassern stratigraphisch bearbeitet. Ergänzend werden zwei Bohrungen von Krappenroth und eine von Wiesenfeld beschrieben. Die Auswertung dieser Bohrungen betrifft die Kartenblätter 5831 Seßlach, 5832 Lichtenfels, 5731 Coburg, 5732 Sonnefeld, 5631 Meeder und 5632 Neustadt b. Coburg. Die Ergebnisse sind für die geologische Landesaufnahme von unschätzbarem Wert, zumal von dieser Region teilweise keine modernen Geologischen Karten vorliegen. Die Kenntnis der regionalen Geologie sowie der Paläogeographie des gesamten Keupers in Nordostbayern konnten erheblich erweitert werden. Dadurch gelingt nun auch eine bessere Korrelation des Keupers Frankens mit dem Südthüringens.

Der Buntsandstein im Coburger Land wurde bei dieser Bohrkampagne ebenfalls bestens erschlossen. Die stratigraphische Auswertung dieser Kernbohrungen im Mittleren und Oberen Buntsandstein wurde bereits publiziert (FREUDENBERGER, FRITZER & GEIGER 1998).

Die Verfasser danken der Planungsgesellschaft Bahnbau Deutsche Einheit mbH (PBDE), dem Straßenbauamt Bamberg (Bohrung Krappenroth) und den Milchwerken Oberfranken West e. G. (Bohrung Wiesenfeld) für die Erlaubnis zur Publikation dieser neuen geologischen Erkenntnisse. Besonderer Dank gilt auch Frau A. KLEIBER und Herrn H. HOFFMANN für die hervorragenden Zeichenarbeiten.

## 2. Erforschungsgeschichte des Keupers im Coburger Land

Die wissenschaftliche Untersuchung der Erdgeschichte des Coburger Landes begann mit den Fossil-, Mineral- und Gesteinsbeschreibungen von JOHANN SEBASTIAN ALBRECHT (1695–1774) (BRANIEK 1995; schriftl. Mitt. Dr. U. EMMERT 1999). Zusammenfassende Beschreibungen dieser Keuperregion erfolgten u. a. durch THÜRACH (1888/1889, 1901), SCHUSTER (1928), EMMERT (1964), RUTTE (1981) und FREUDENBERGER (1996). Den Werdegang der Terminologie des Keupers Norbayerns schildert v. FREYBERG (1965). Auch sei auf den Geologischen Führer

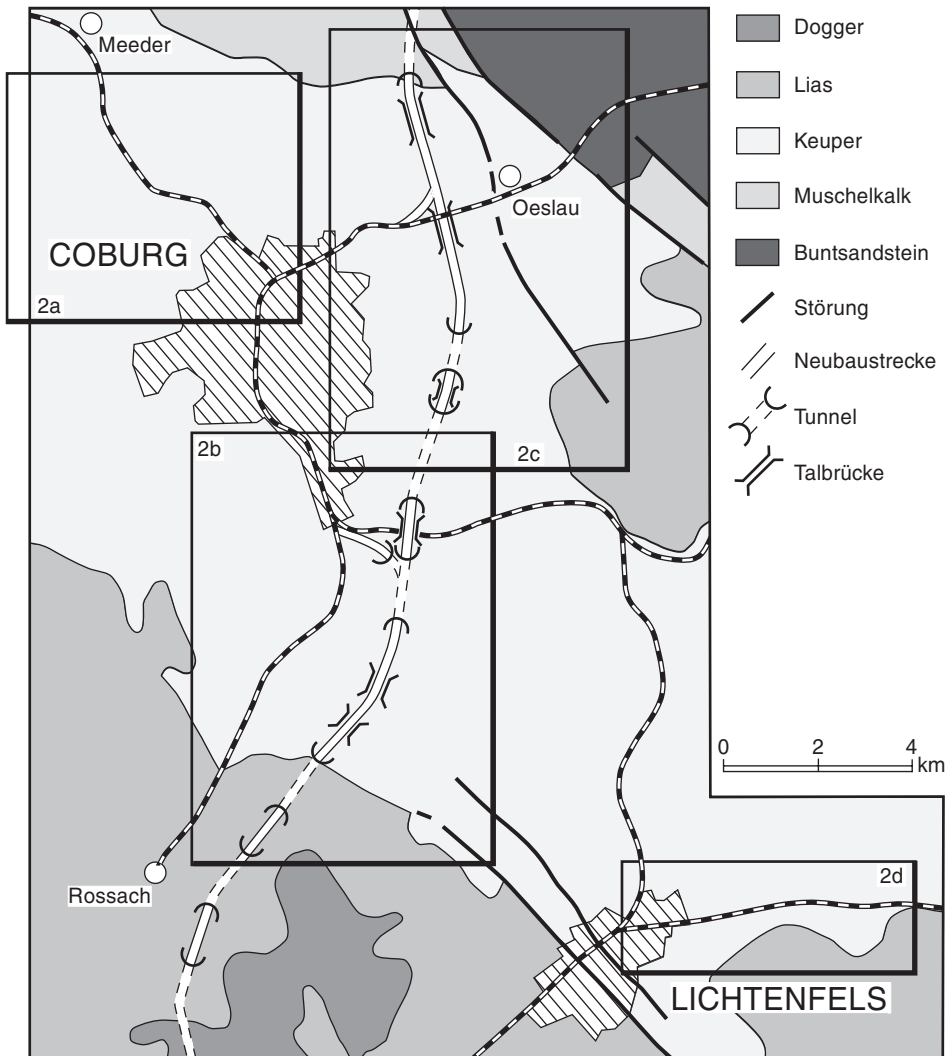


Abb. 1. Geologische Übersichtsskizze, mit Lage der Abb. 2 a–d.

von SCHRÖDER (1978) und die ausgewählte Bibliographie von MADER (1992) verwiesen. Über den Stand der geologischen Arbeiten informieren MENZEL & SCHRÖDER (1994). Diesen Arbeiten sind Literaturhinweise zu weiteren Spezialuntersuchungen zu entnehmen.

### 3. Kernbohrungen bei Coburg

Im Bohrprobenarchiv des Bayerischen Geologischen Landesamtes werden die Kernbohrungen BK 1046.09, BK 1054.09, BK 1060.00, BK 1064.02, BK 1067.00, BK 1078.00, BK 1079.00, BK 1083.00, BK 1090.00, BK 1099.00, BK 1100.00 und BK 1512.09 aufbewahrt. Die detaillierten Kernbeschreibungen aller 82 Bohrungen werden in der zentralen Datenbank (ZDB) des Amtes gespeichert und verfügbar gemacht. Farbfotos sämtlicher Kernstrecken sind ebenfalls im Archiv des Amtes hinterlegt. Kapitel 8.1. gibt die Schichtenverzeichnisse repräsentativer Kernbohrungen wieder. Lage und stratigraphische Deutung der übrigen Kernbohrungen werden in Form von Kurzprofilen in Kapitel 8.2. aufgelistet. Anlässlich einer Sitzung der Arbeitsgruppe Keuper der DUGW-Subkommission Perm/Trias in München 1999 wurden die oben genannten Keuper-Kernbohrungen besichtigt und die stratigraphischen Deutungen diskutiert.

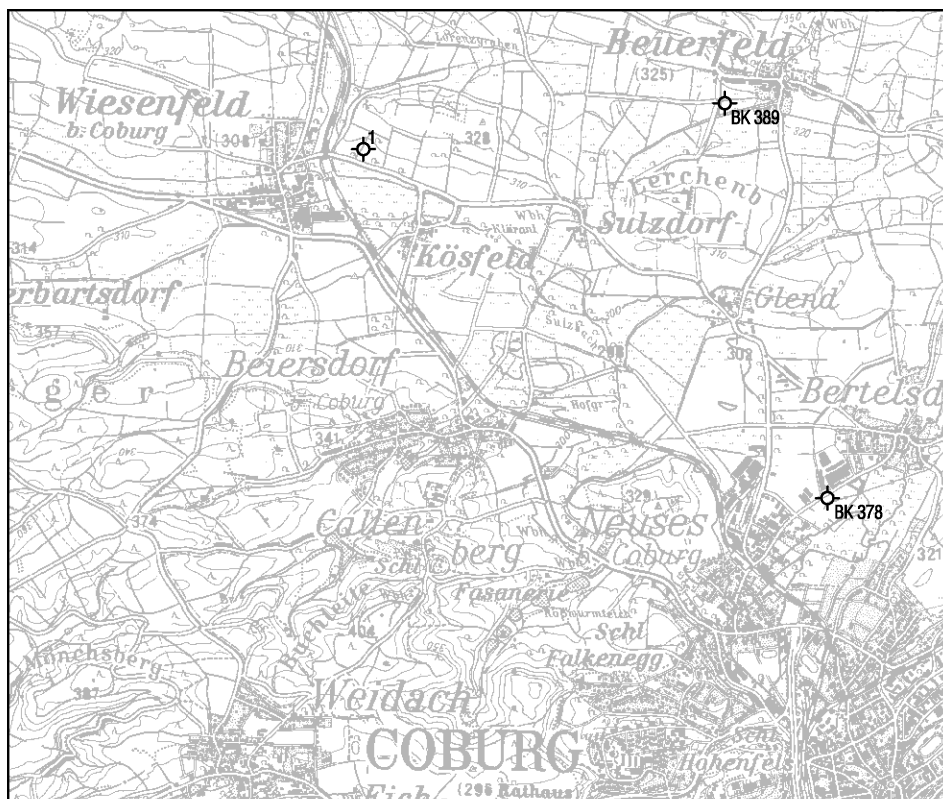


Abb. 2 a. Lage von Erkundungsbohrungen (Fortsetzung s. Abb. 2b-d).



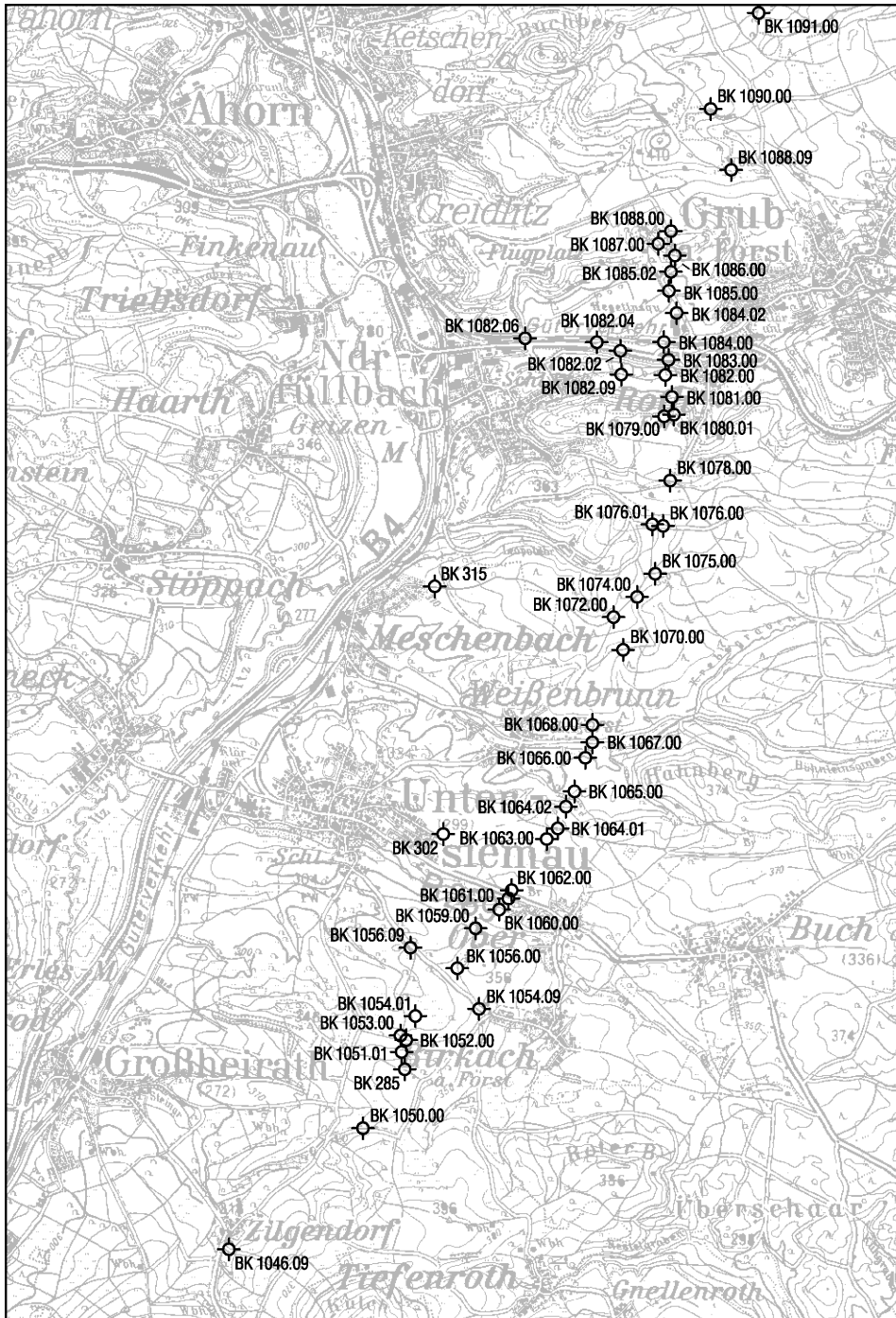


Abb. 2 b.

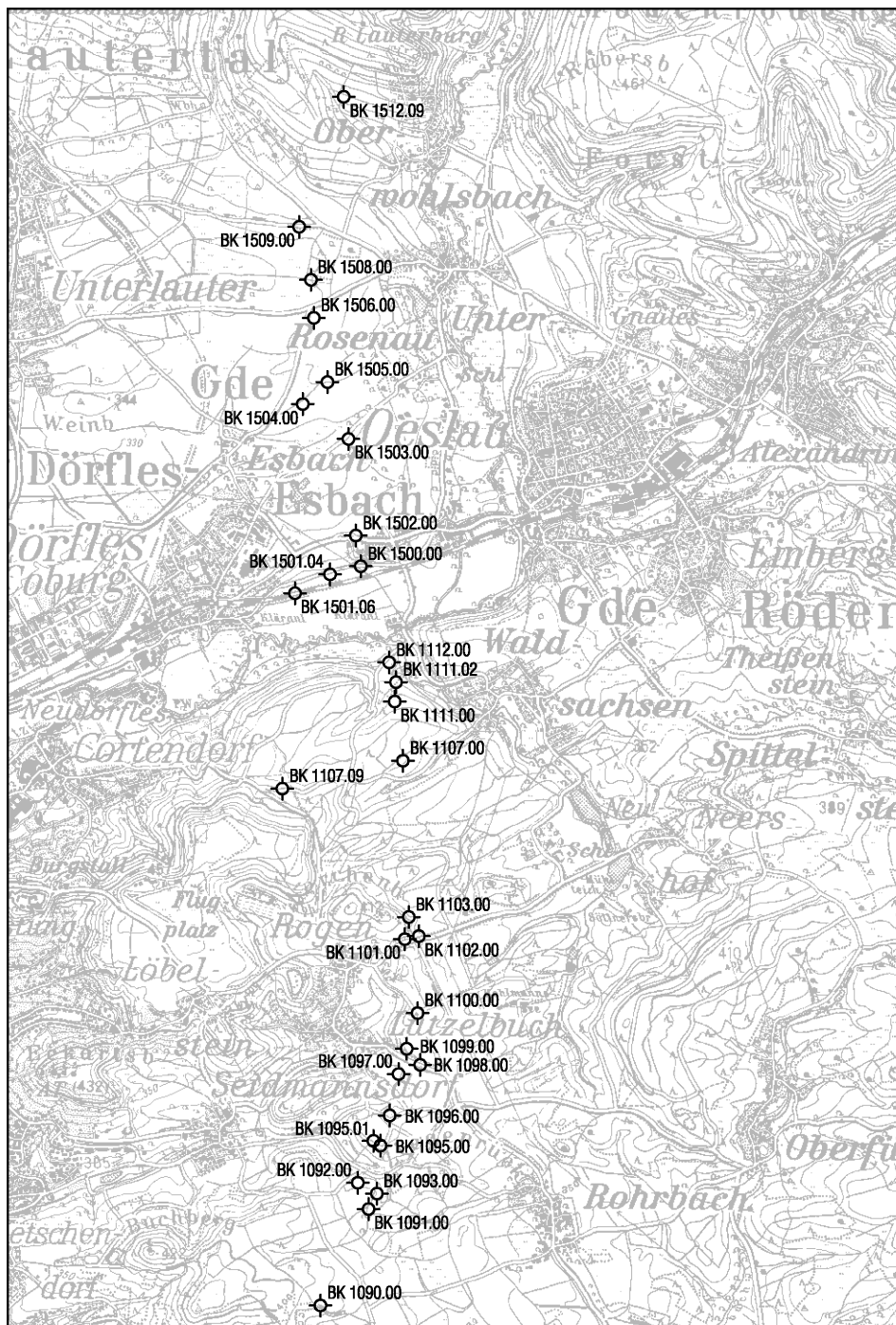


Abb. 2 c.

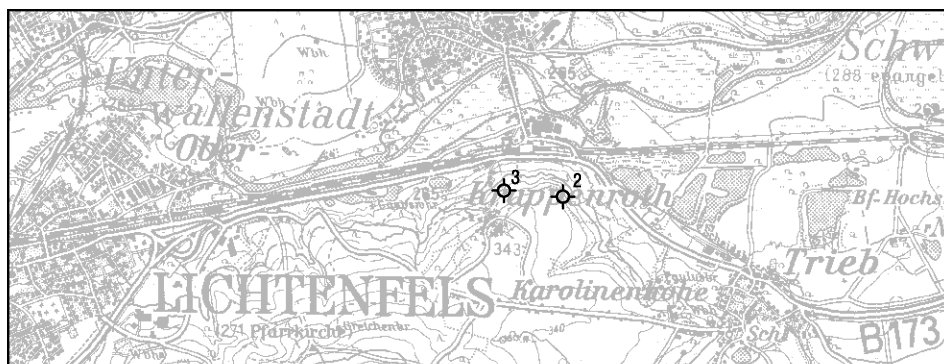


Abb. 2 d.

### 4. Schichtenfolge

Die im Coburger Land etwa 530 m mächtige Schichtenfolge des Keupers (Abb. 3, 4 a–d) wird mittels weit durchhaltender lithostratigraphischer Leithorizonte (Dolomitstein- und Steinmergellagen sowie Tonsteinhorizonte) unterteilt. Eine biostratigraphische Feingliederung existiert bisher nicht. Überregional wird von GWINNER (1980) in Folgen und dem Beschluß der

Tabelle 1: Gliederung des Keupers mit Angaben zur Mächtigkeit im Coburger Land

Untergruppe	Formation*)		Bayern / Coburger Land				Mächtigkeit bei Coburg	
	Becken	Beckenrand (S)						
Oberer Keuper ko	Exter-Fm. (Rätkeuper)		Oberer Keuper ko	Oberer Rhättonstein koTO		23–38 m	ca. 520–540 m	
				Oberer Rhätsandstein koSO				
				Mittlerer Rhättonstein koTM				
				Unterer Rhätsandstein koSU				
				Unterer Rhättonstein koTU				
Mittlerer Keuper km	Armstadt-Fm. (Steinmergel- keuper)	Trossingen-Fm.	Sandstein- keuper kms	Feuerletten kmF		250–265 m		
		Löwenstein-Fm.		Burgsandstein KmB	Oberer Burgsandstein Mittlerer Burgsandstein Unterer Burgsandstein			
	Weser-Fm. (Oberer Gipskeuper)	Mainhardt-Fm.		Blasensandstein i. w. S. kmBL+kmC	Coburger Sandstein Blasensandstein i. e. S.			
		Hassberge-Fm.		Lehrbergschichten kmL	Lehrbergbänke Ansbacher Sandstein			
	Stuttgart-Fm.			Gipskeuper kmg	Schilfsandstein kmS	190–200 m		
	Grabfeld-Fm. (Unterer Gipskeuper)	Benk-Fm.		Estherienschichten kmE	Anatinabank Acrodus-/Corbulabank			
				Myophorienschichten kmM	Bleiglanzbank			
	Unterer Keuper ku	Erfurt-Fm. (Letten- keuper)		Grafenwöhr- Fm.	Unterer Keuper ku	Grenzdolomit kuD		ca. 45 m
Obere Tonstein-Gelbkalkschichten ku2								
Werksandstein-Bereich kuW								
Untere Tonstein-Gelbkalkschichten ku1								

\*) Diese Neugliederung in Formationen wurde vom Arbeitskreis Keuper der Stratigraphischen Subkommission Perm/Trias erarbeitet und von BEUTLER (1998) veröffentlicht. Angemerkt sei, daß die Mainhardt-Fm. nur den untersten Teil des Unteren Burgsandsteins, die sogenannten Unteren Heldburgschichten, umfaßt.

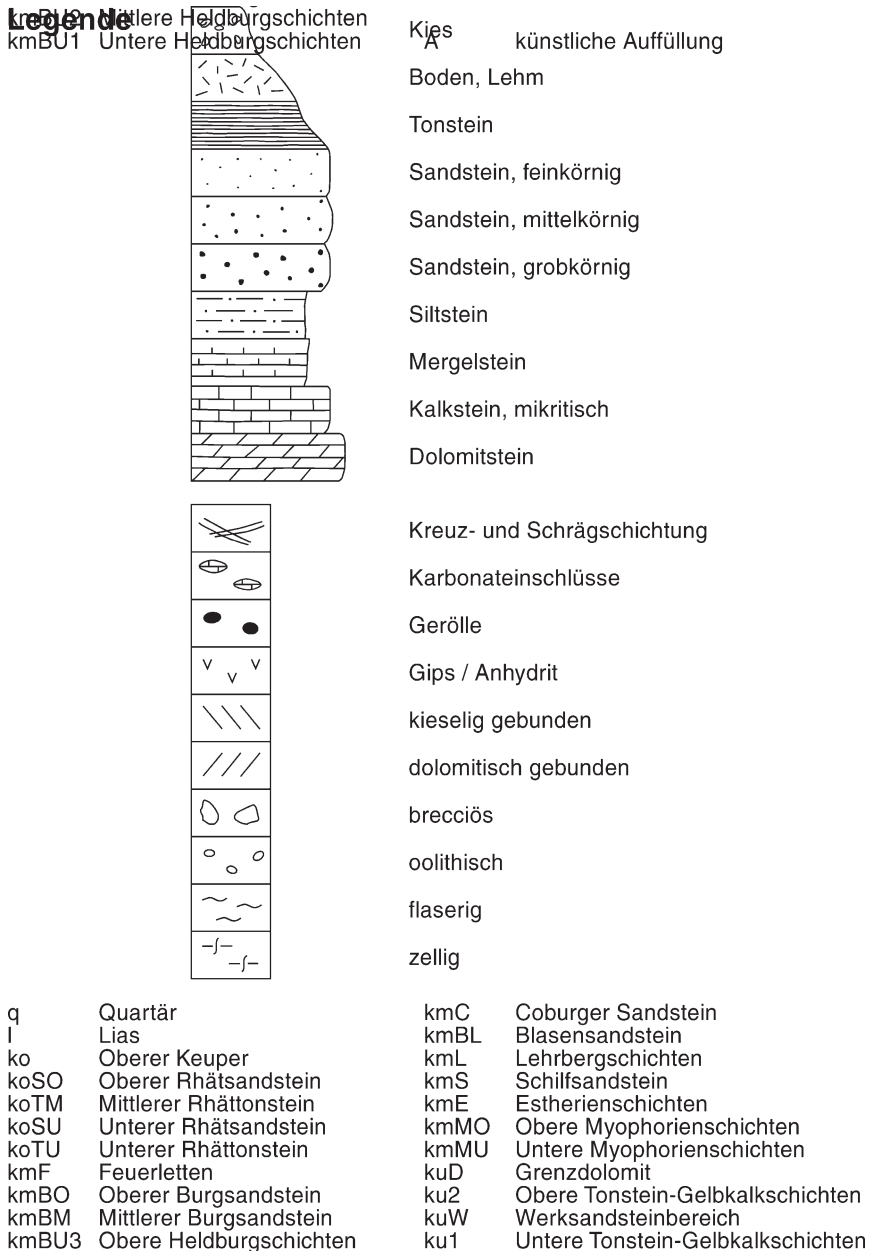


Abb. 3. Legende zu Abbildungen 4–11.

Subkommission Perm/Trias folgend neuerdings in Formationen gegliedert (Tab. 1). Auch mit Hilfe der Sequenzstratigraphie gelangen überregionale Korrelationen (zuletzt AIGNER & BACHMANN 1998).

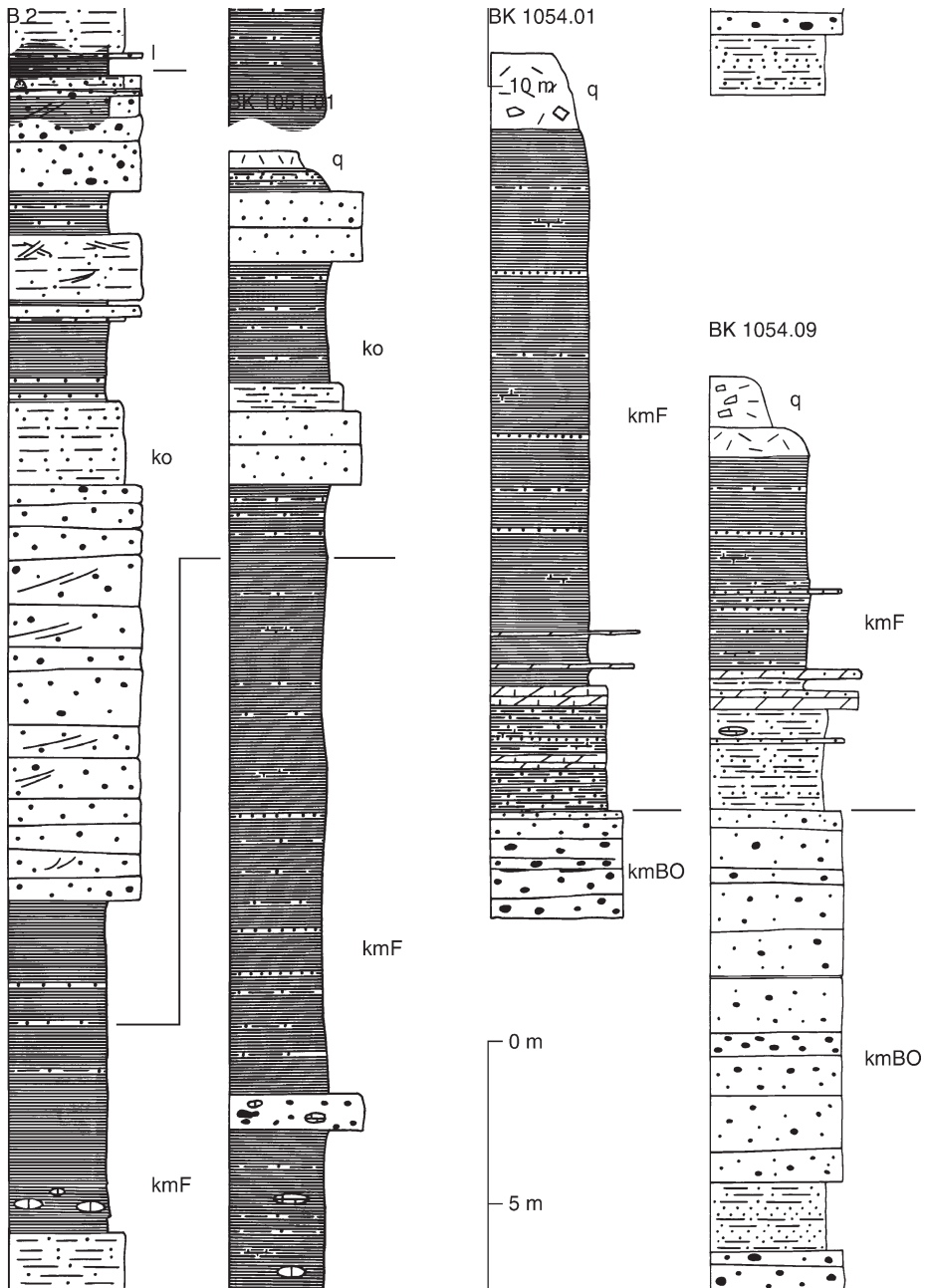


Abb. 4 a-d. Übersicht über die durch Bohrungen erschlossene Schichtenfolge des Oberen bis Unteren Keupers. – Legende s. Abb. 3.

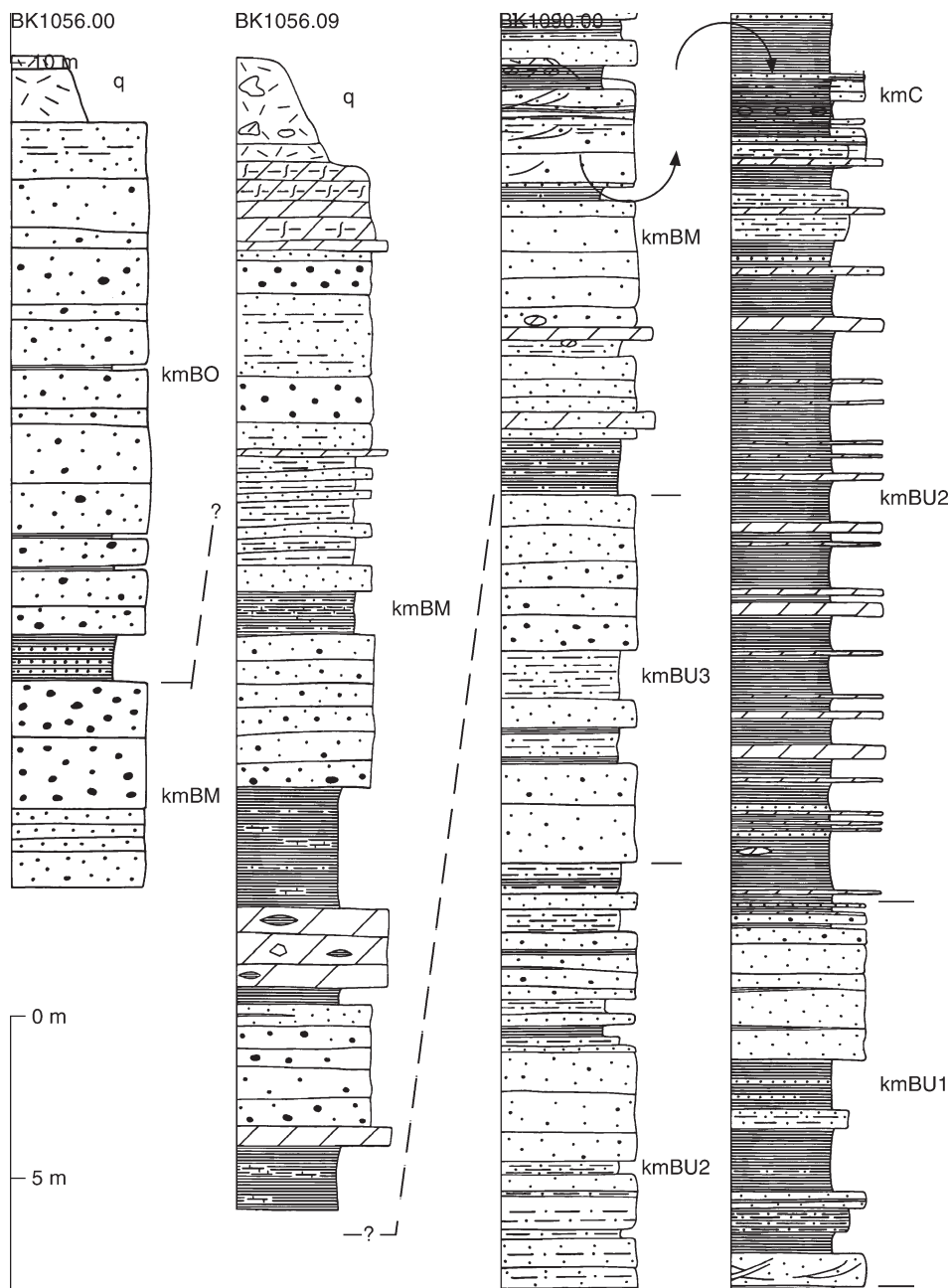


Abb. 4 b.

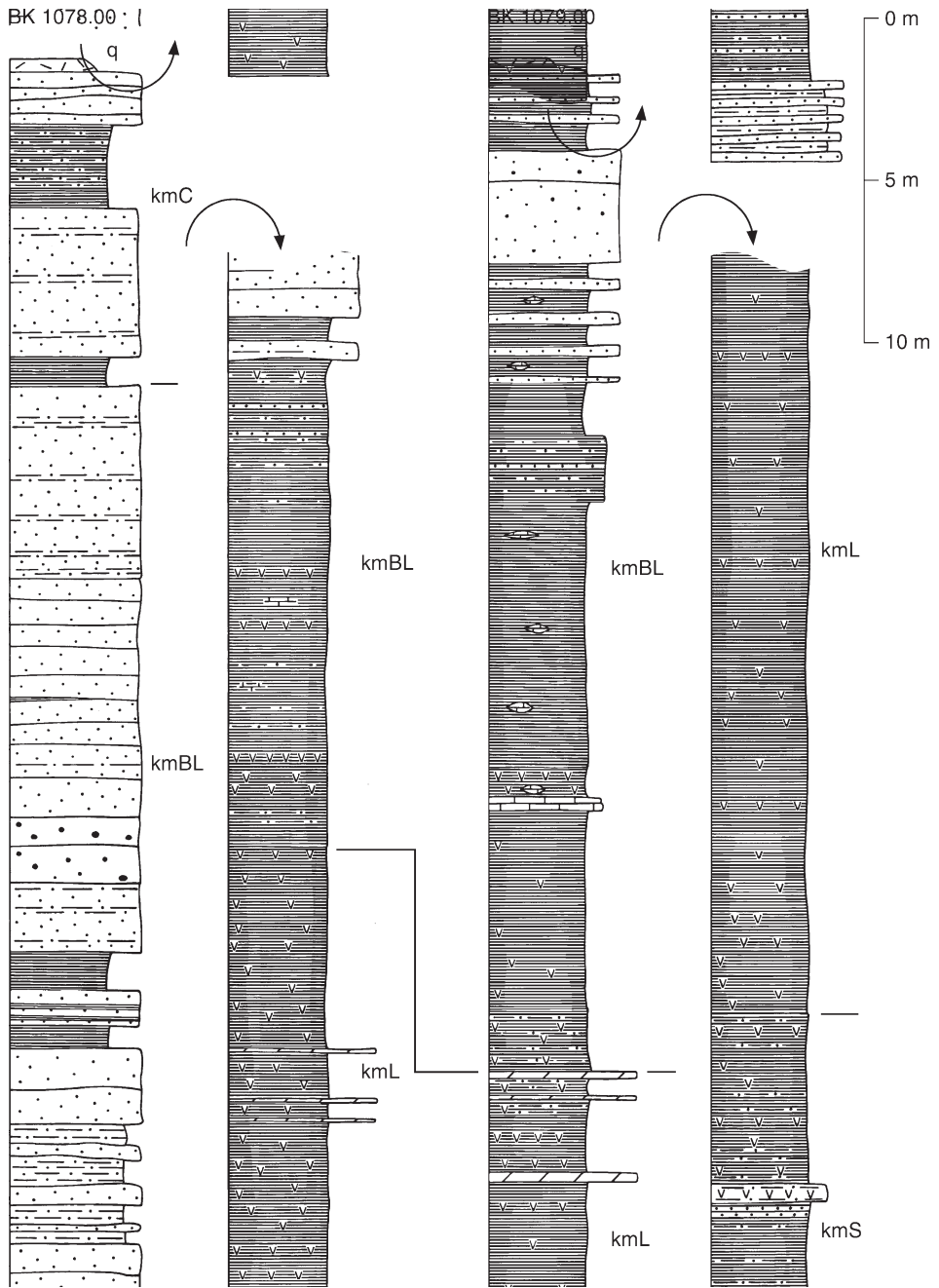


Abb. 4 c.

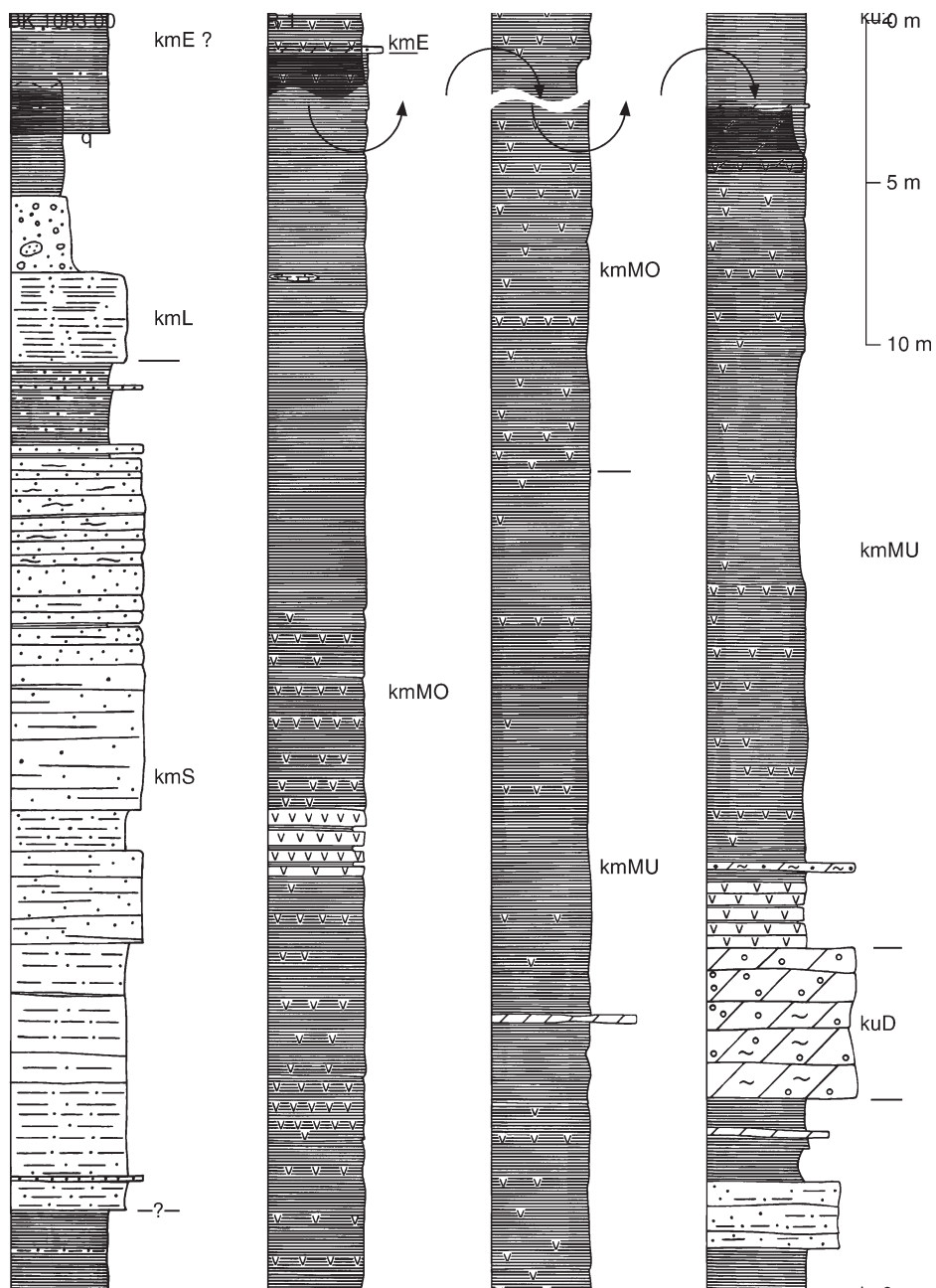


Abb. 4 d.



#### 4.1. Oberer Keuper (Rhät) (Abb. 5 a–c)

Mächtigkeit: 23,1 m (BK 1046.09); >10,5 m (BK 1050.00); ca. 37,5 m (BK 285); >12,2 m (BK 1051.01); 28,05 m (B 2); >23,85 m (B 3).

Gliederung: Die Abgrenzung des Oberen Keupers zum Lias im Hangenden ist durch die Lias-Sohlbank eindeutig. Zum liegenden Feuerletten wird er mit dem deutlichen Farbumschwung zu roten, karbonatischen Tonsteinen begrenzt. Tonmineralogisch bestätigen sich diese Grenzen als Übergang von kaolinitischen Rhät-Tonen zu illitischen Tonen des Lias und Mittleren Keupers. Die Interngliederung ist jedoch aufgrund der stark schwankenden Mächtigkeiten und der wechselhaften Lithologie nicht immer zweifelsfrei. In den Bohrungen lassen sich aber – auch unter Einbeziehung weiterer, hier nicht dargestellter Bohrungen (Lagerstätten-Erkundungsbohrungen der Fa. A. Gottfried Tonwerke GmbH, Großheirath bzw. des Bayer. Geol. L.-Amtes sowie Baugrundbohrungen zur ehemals geplanten B 289 neu) – lithostratigraphisch die in Tabelle 2 dargestellten Bereiche aushalten.

Tabelle 2: Gliederung des Oberen Keupers mit Angaben zur Mächtigkeit

Aktueller Begriff	Alter Begriff	Mächtigkeit [m]	BLOOS (1981, 1998)	KRUMBECK (1939) SCHIRMER (1981)
Oberer Rhättonstein koTO			Triletes-Schichten	Oberes Rhät
Oberer Rhätsandstein koSO	Oberer Sandstein	1,50–3,00		
Mittlerer Rhättonstein koTM	Hauptton (+Sandsteineinschaltungen)	6,30–26,00	Contorta-Schichten	Mittleres Rhät
Unterer Rhätsandstein koSU	Hauptsandstein Liegendton Unterer Sandstein	5,20–21,30	Postera-Schichten	
Unterer Rhättonstein koTU	Basiston	2,10–4,00		

Über eine zeitliche Einstufung im Sinne von BLOOS (1979, 1981, 1998) oder KRUMBECK (1939) kann anhand der vorliegenden Bohrprofile ohne Spezialuntersuchungen derzeit nicht entschieden werden. An weiterführender Literatur ist zu nennen: HAHN (1967, 1974), D. HOFFMANN (1967), KLAUA (1969), KOSCHEL (1970), KESSLER (1973), SCHIRMER (1967, 1978, 1981), DOBNER (1984), WEINIG (1984), FLACHE (1987), PIEWAK (1991), DOCKTER (1995), KELBER & v. KONIJNENBURG-VAN CITTERT (1997).

##### Oberer Rhättonstein (koTO)

Der Obere Rhättonstein ist in den hier zu beschreibenden Bohrungen nicht ausgebildet.

##### Oberer Rhätsandstein (koSO)

Gesteinsausbildung: Bereich Zilgendorf–Großheirath: Sandstein, fein- bis mittelkörnig, tonig, feinschichtig, schräg- oder kreuzgeschichtet, grau bis gelbbraun; Bereich Krappenroth: reiner Quarzsandstein, grobkörnig bis feinkiesig.

In B 5 folgt über dem Mittleren Rhättonstein direkt die Lias-Sohlbank.

##### Mittlerer Rhättonstein (koTM)

Der Mittlere Rhättonstein (Hauptton) erreicht im Umkreis der Tongrube Großheirath (s. Abb. 2 b) seine größte Mächtigkeit. Den Tonmineralanalysen in BK 285 und BK 1050.00

nach zu schließen ist der Hauptton kaolinitisch, wogegen die Liegend- und Basistone bereits illitbetont sind. Im Hauptton sind Sandsteine unterschiedlicher Mächtigkeit eingeschaltet. Eine dieser Sandsteineinschaltungen dürfte der Grünen Bank entsprechen (BK 1050.00). Nach B. SCHRÖDER (schriftl. Mitt. 1999) sind allerdings in anderen Profilen bis zu 3 Niveaus mit „Grüner Bank“ belegt, am häufigsten ist sie regional etwa 15 m über der Basis entwickelt.

Gesteinsausbildung: Tonstein, siltig, schwarzgrau, graubraun, teils oliv, teils violettstichig; im E (Bereich Krappenroth) stärker siltig und teils feinsandig; vereinzelt auch mit Sandsteineinschaltungen.

Gesteinsausbildung der Grünen Bank: Sandstein, feinkörnig, tonig gebunden, chloritisch, grün.

#### Unterer Rhätsandstein (koSU)

Der Bereich des Unteren Rhätsandsteins umfaßt den Hauptsandstein, den Liegendton und den Unteren Sandstein. Eine Differenzierung ist nicht zweifelsfrei möglich und wird daher unterlassen.

Gesteinsausbildung des Hauptsandsteins und des Unteren Sandsteins: Sandstein, grobkörnig, teils feinkiesig, lagenweise fein- bis mittelkörnig, grau bis gelbbraun, teils mit Tonsteineinschaltung (Liegendton?), mehrere Meter mächtig.

#### Unterer Rhättonstein (koTU)

Der Untere Rhättonstein (Basiston) scheint nach den Tonmineralanalysen bereits illitbetont zu sein und leitet somit zu den Feuerletten des Mittleren Keuper über.

Gesteinsausbildung: Tonstein, siltig, fett, graugrün, teils gelbbraun.

## 4.2. Mittlerer Keuper

Diese um 450 m mächtige Gesteinsfolge wird in den überwiegend tonigen Gipskeuper (um 200 m) und den mehr sandigen Sandsteinkeuper (um 260 m) unterteilt (Tab. 1).

### 4.2.1. Feuerletten (kmF) (Abb. 5 a–c)

Mächtigkeit: >14,6 m (B 2); >27,4 m (B 3); >24,4 m (BK 285); >29,3 m (BK 1051.01); >23,7 m (BK 1054.01); >10,6 m (BK 1054.09). In Bohrungen bei Oeslau und Spittelstein ermittelte RIECH (1974) Mächtigkeiten von 54,5 bzw. 49,5 m.

Gesteinsausbildung: Tonstein, siltig, teils karbonatisch, rot- bis violettbraun, teils graugrün; mit Siltsteineinschaltungen, feinsandig, besonders im obersten und untersten Bereich.

In B 3 wurden vereinzelt Kieselknollen (1–2 m unter Top) und in B 2 bzw. BK 285 Karbonatknollen (5–6 m unter Top) beobachtet. 3–4 m über der Basis in BK 1054.09 und BK 1054.01 befinden sich 2 sehr harte, hellgraue Dolomitsteinbänke, die 0,2–0,4 m mächtig sind. Zwei 0,1 bzw. 0,2 m mächtige, grobkörnige, graue Sandsteinbänkchen schalten sich in B 2 (etwa 9–11 m unter Top) ein. In BK 1051.01 wurde (16–17 m unter Top) eine 1,1 m mächtige, grobkörnige, teils konglomeratische, karbonatische Sandsteinbank beobachtet, die Karbonat- und Tonsteingerölle enthält.

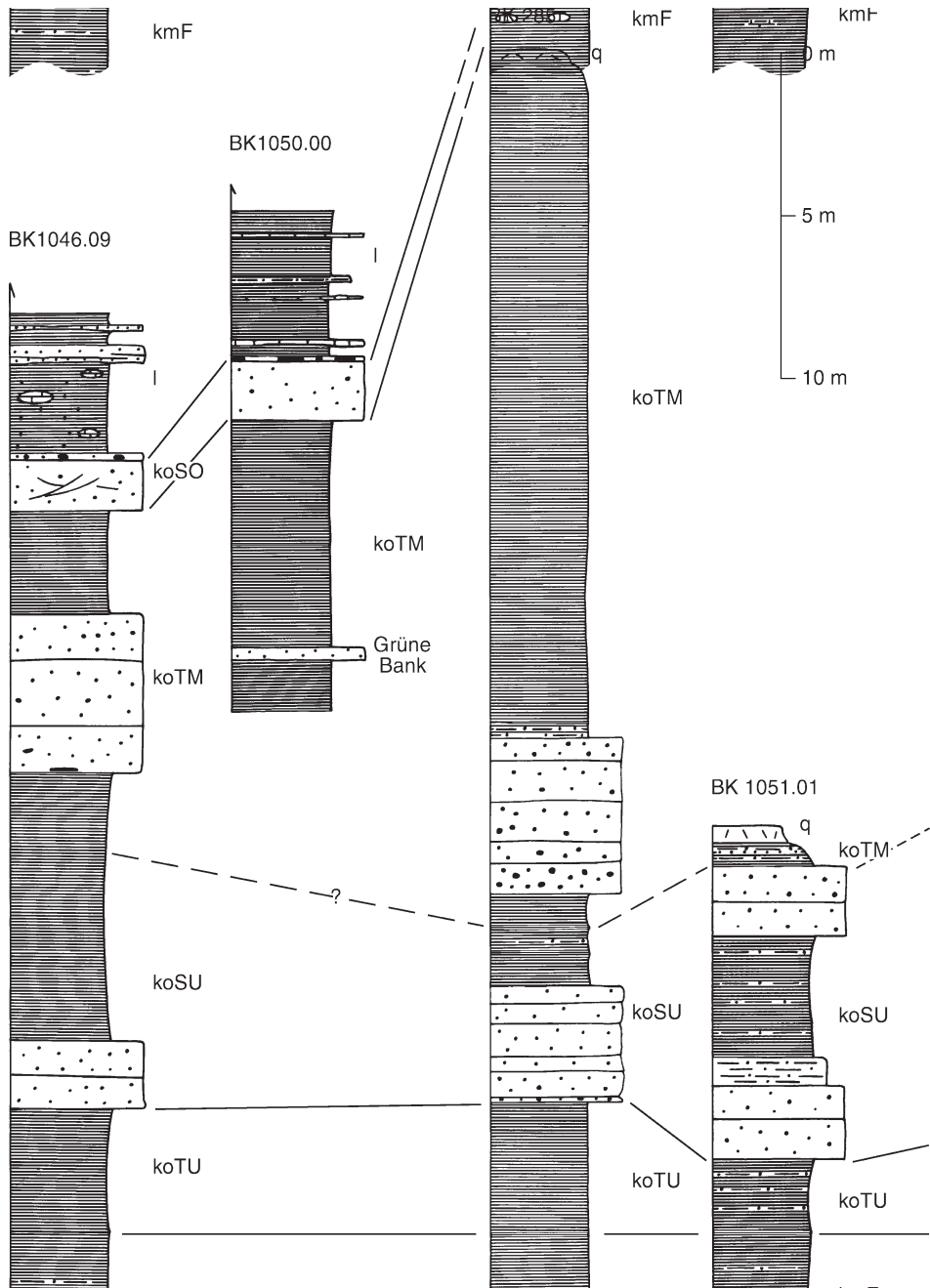


Abb. 5 a-c. Profilkorrelation des Oberen Keupers und des Feuerleiten. – Legende s. Abb. 3.

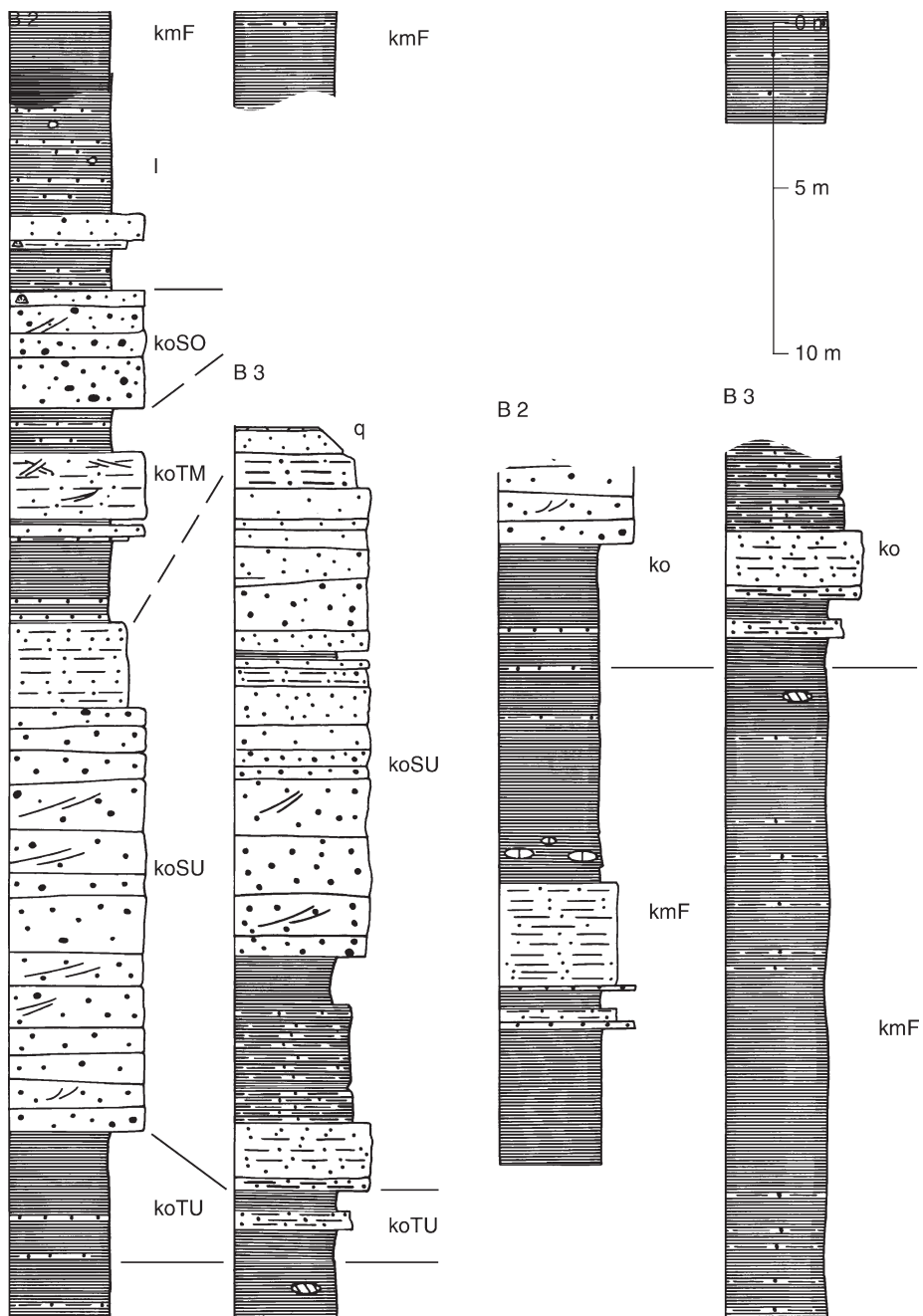


Abb. 5 b.

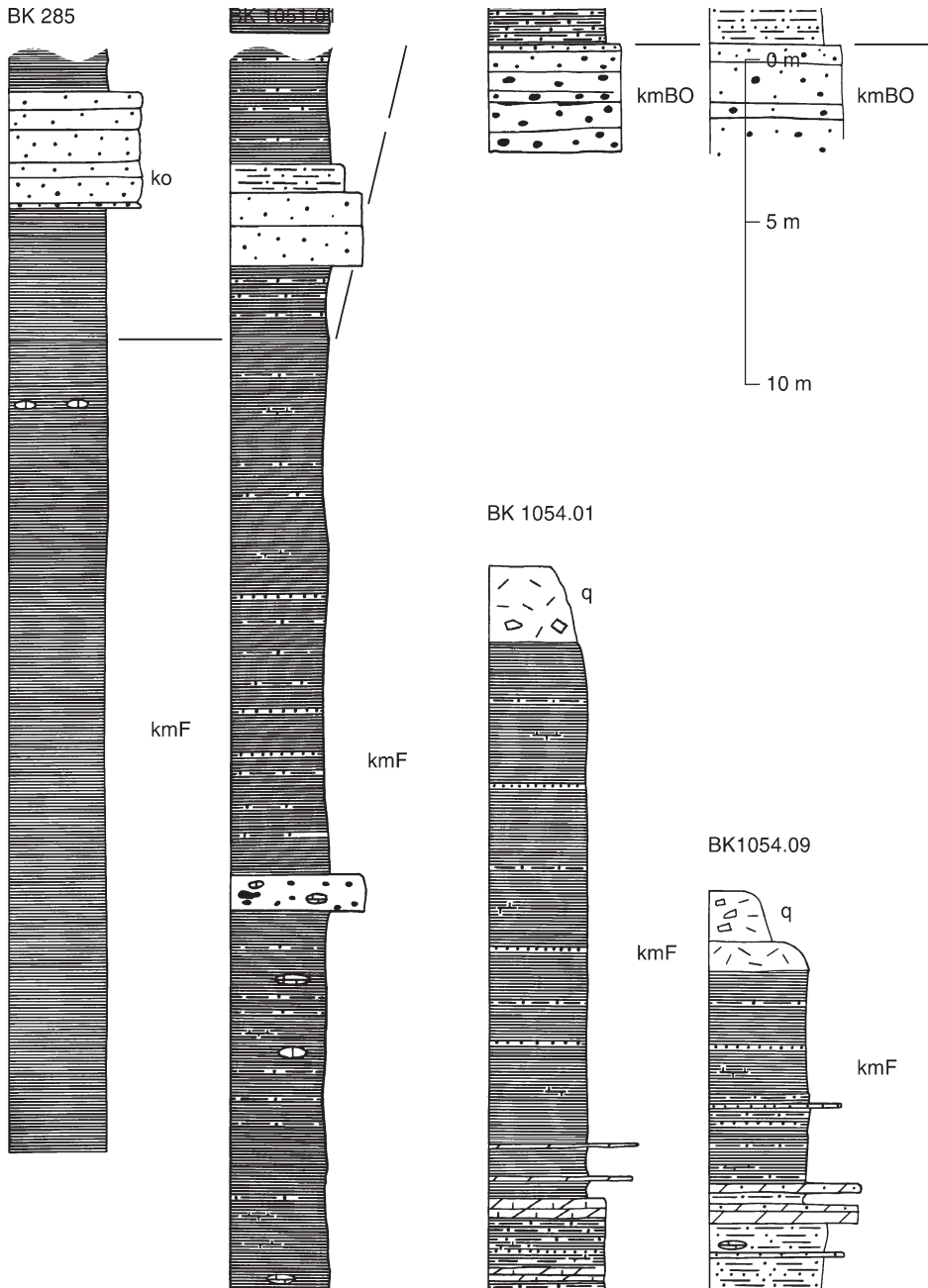


Abb. 5 c.

#### 4.2.2. Burgsandstein (kmB) (Abb. 6 a–g)

Mächtigkeit: ca. 150 m (MOSES 1986).

Gliederung: Sie ist an der faziellen Ausbildung und an mehr oder weniger horizontbeständigen, nicht immer zweifelsfrei zu korrelierenden Tonsteinlagen orientiert. Die am Bayerischen Geologischen Landesamt übliche Gliederung des Burgsandsteins fußt u. a. auf HAARLÄNDER (1962), v. FREYBERG (1965) sowie HAUNSCHILD (1985) und ist in Tabelle 3 ersichtlich. Andere Gliederungsmöglichkeiten favorisieren B. SCHRÖDER (schriftl. Mitt. 1999) und OPITZ (1965).

##### Oberer Burgsandstein (kmBO)

Mächtigkeit: >16,8 m (BK 1056.00); >17 m (BK 1054.09). Als Gesamtmächtigkeit für Oberen und Mittleren Burgsandstein ermittelte RIECH (1974) auf Blatt Sonnefeld 88 m. Für den Nordteil des Blattes Seßlach gibt HOFFMANN (1970) nur für den Oberen Burgsandstein eine Mächtigkeit von ca. 25–30 m an (vgl. von FREYBERG 1965).

Gliederung: Der Obere Burgsandstein ist nur im oberen Bereich, Bank F und Oberer Zwischenletten, und im untere Bereich, Basisletten und Bank D, in den Bohrungen erschlossen. Über die Unteren Zwischenletten sowie Bank E kann keine Aussage gemacht werden.

Gesteinsausbildung der Bank F und D: Sandstein, fein- bis grobkörnig, rötlich oder hellgrau, teils feinschichtig, teils dünn- bis mittelbankig, mäßig hart.

Gesteinsausbildung der Zwischenletten und Basisletten: Tonstein, siltig, lagenweise sandig, teils karbonatisch, rotbraun, teils graugrün.

Nach RIECH (1974) ist der 7,5 m messende Basisletten der bedeutendste im oberen Burgsandsteinkomplex. In BK 1059.00 folgt direkt über dem Basisletten eine 0,8 m mächtige Dolomitsteinbank.

Tabelle 3: Gliederung des Burgsandsteins mit Angaben zur Mächtigkeit

		Gliederung mit Leithorizonten		Mächtigkeit
		Aktueller Begriff	Alter Begriff	
Oberer Burgsandstein	kmBO	Bank F Obere Zwischenletten Bank E Untere Zwischenletten Bank D Basisletten	Grenzarkose Hauptletten; Obere Trennletten Liegendarkose, oberer Teil Hauptletten Liegendarkose, unterer Teil	> 17 m
Mittlerer Burgsandstein	kmBM	Bank C Obere Zwischenletten Bank B Untere Zwischenletten Bank A Basisletten	Dachbank Untere Trennletten Coburger Festungssandstein – Coburger Festungssandstein Untere Letten	> 29 m
Unterer Burgsandstein	KmBU	Obere Heldburgschichten (KmBU3) Mittlere Heldburgschichten (kmBU2) Untere Heldburgschichten (kmBU1)	Heldburger Gipsmergel	53 m

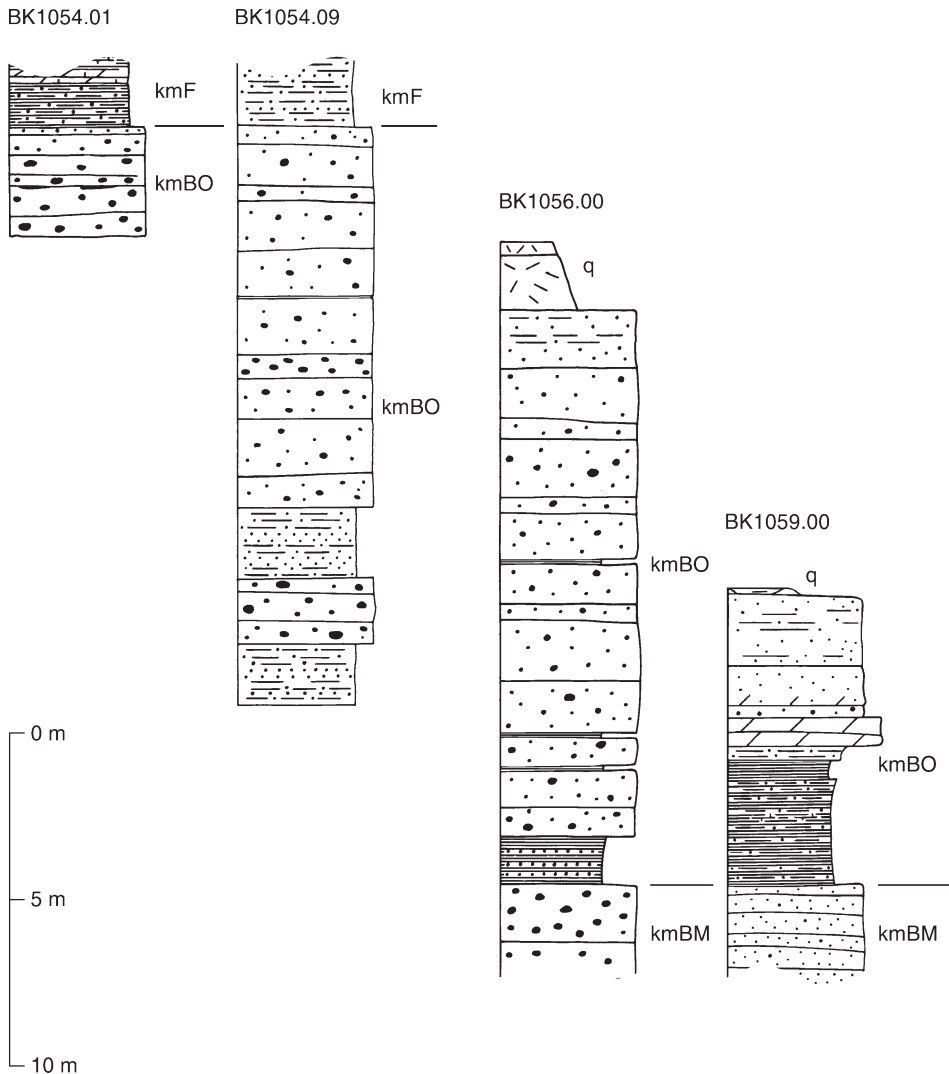


Abb. 6 a–g. Profilkorrelation des Burgsandsteins. – Legende s. Abb. 3.

### Mittlerer Burgsandstein (kmBM)

Mächtigkeit: >12,6 m (BK 1090.00); >10,5 m (BK 1091.00); >21,4 m (BK 1100.00); >19,3 m (BK 1099.00); >27,2 m (BK 1062.00); >22,8 m (BK 1061.00); >28,2 m (BK 1060.00); >29,7 m (BK 302); >31,7 m (BK 1056.09).

Gliederung: Die Gliederung des Mittleren Burgsandsteins ist sehr schwierig und nicht zweifelsfrei. Sie kann nur anhand einzelner Tonsteineinschaltungen geschehen. Der Obere Zwischenletten trennt Bank C von Bank B, der Untere Zwischenletten trennt Bank B von Bank A. Unter dem Basisletten erfolgt die Abgrenzung zum liegenden Unteren Burgsandstein (vgl. EMMERT 1964). Bank A und B wurden früher als Coburger Festungssandstein bezeichnet.

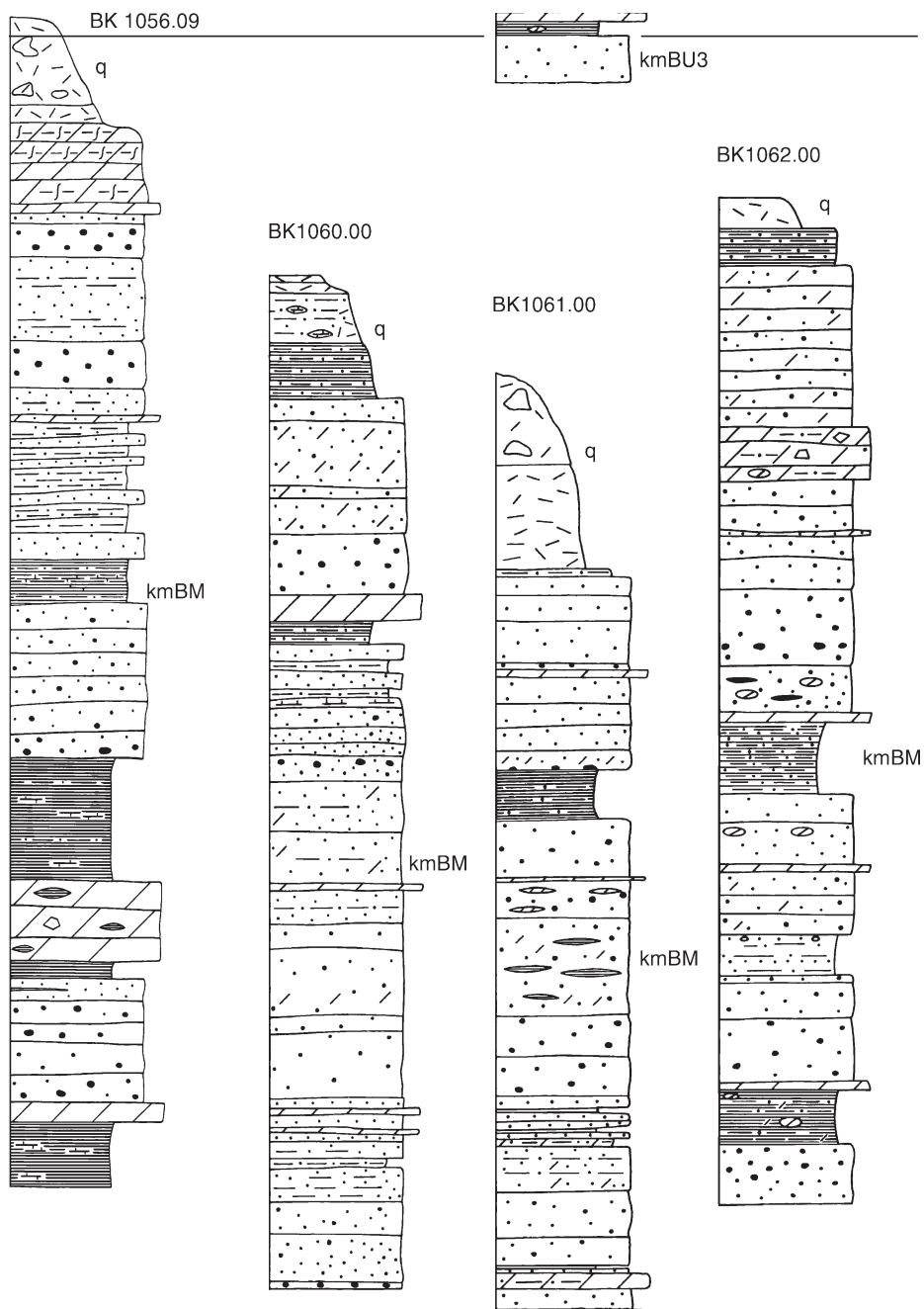


Abb. 6 b.



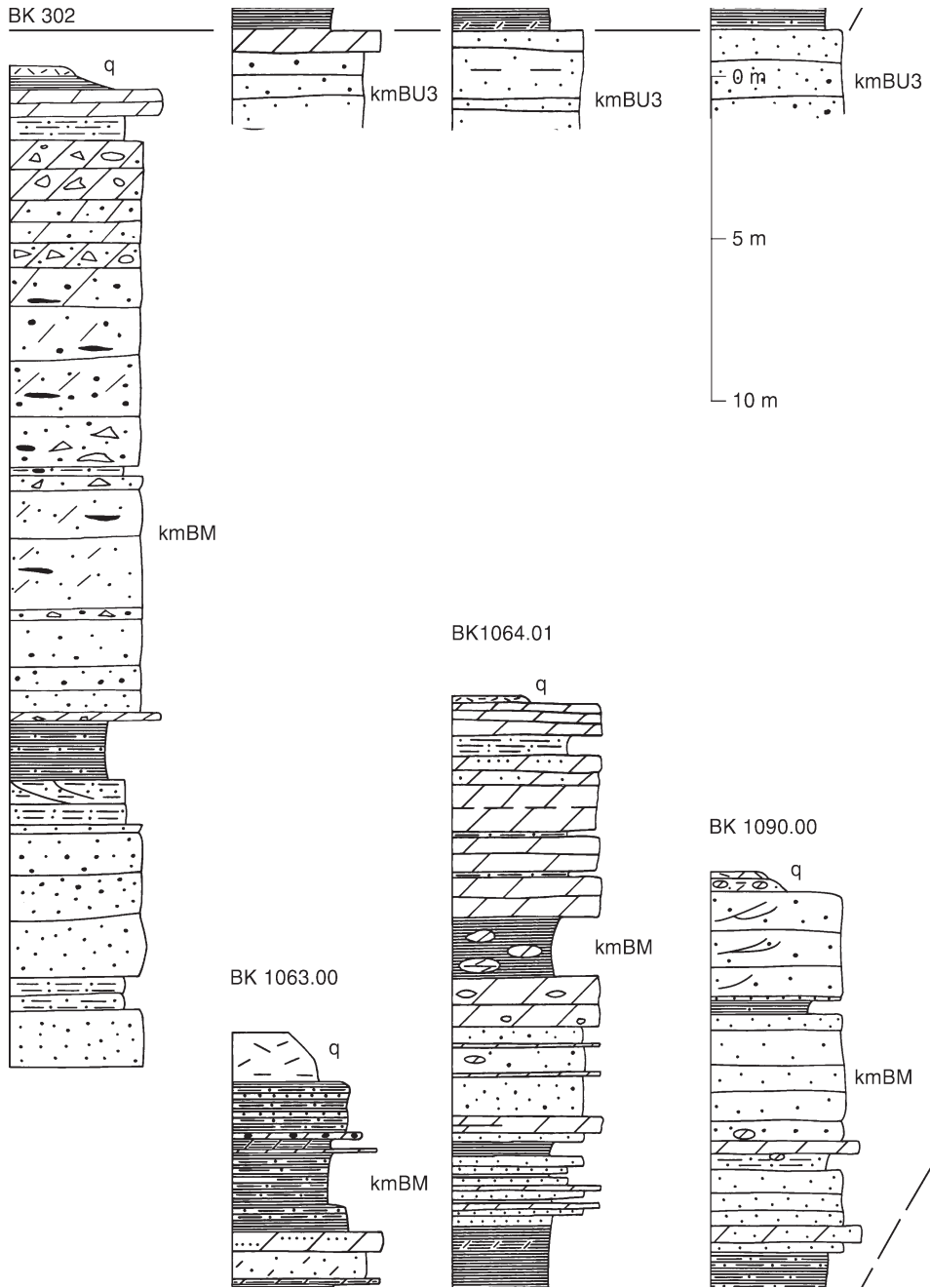


Abb. 6 c.

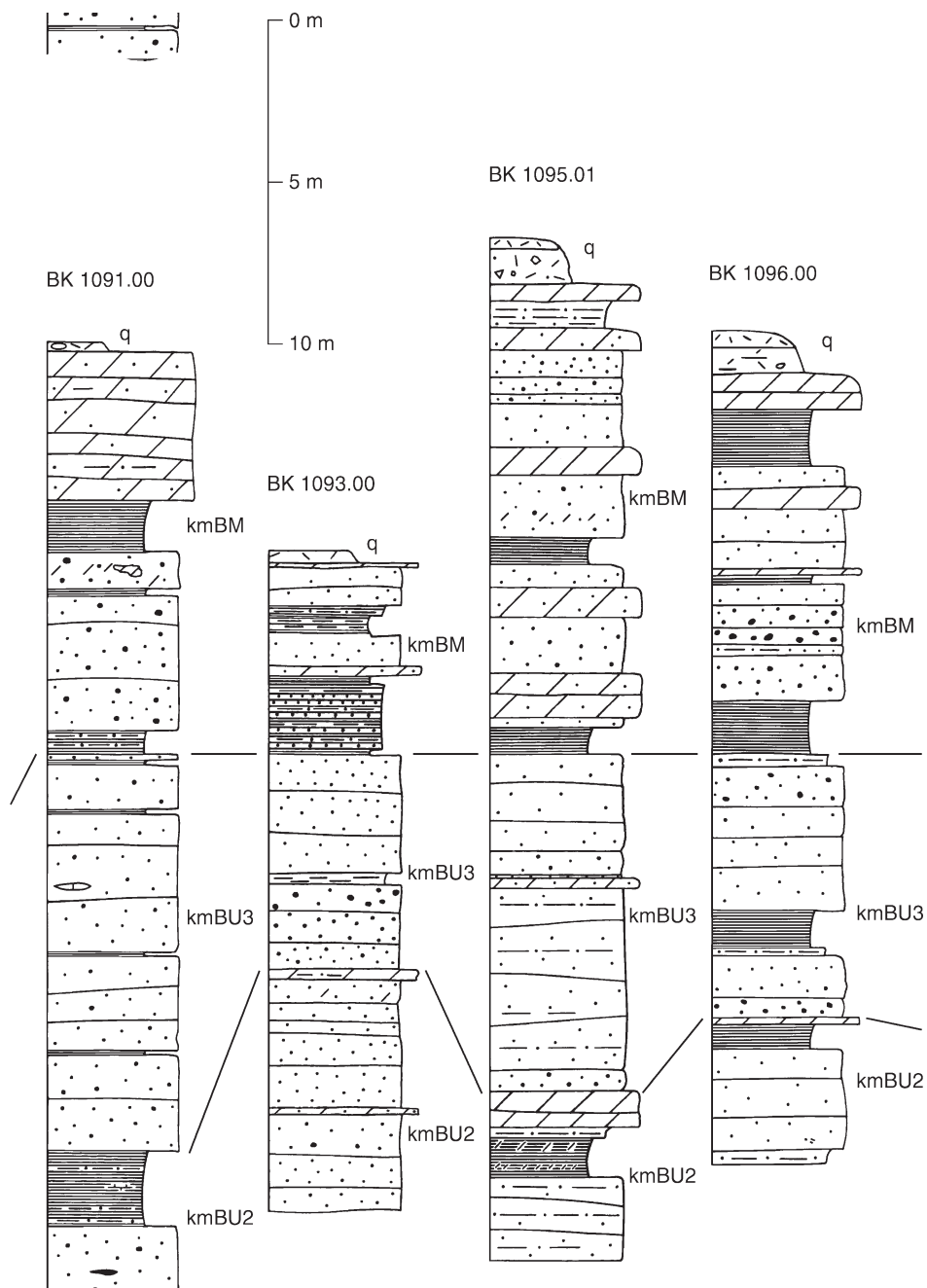


Abb. 6 d.

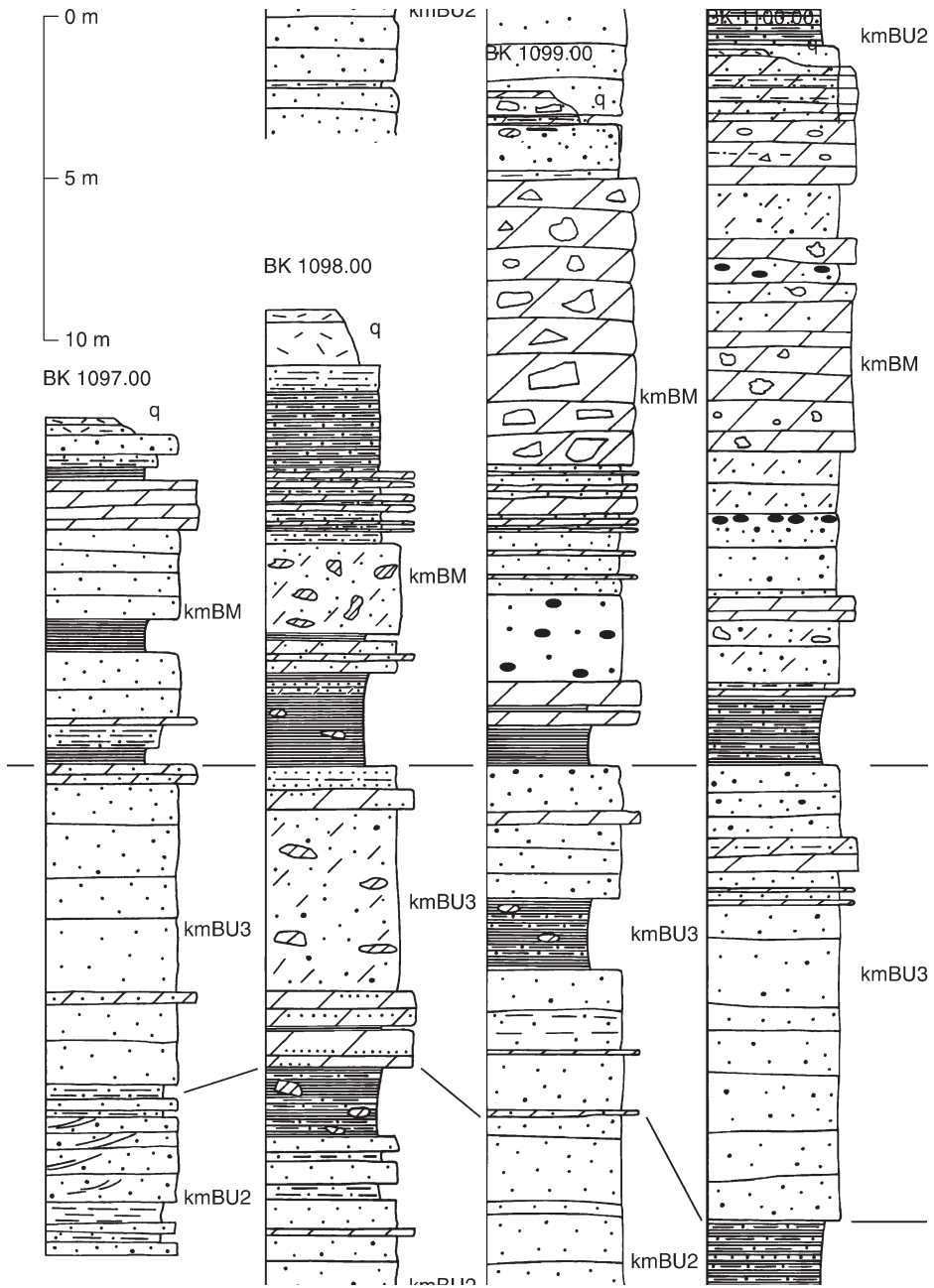


Abb. 6 e.

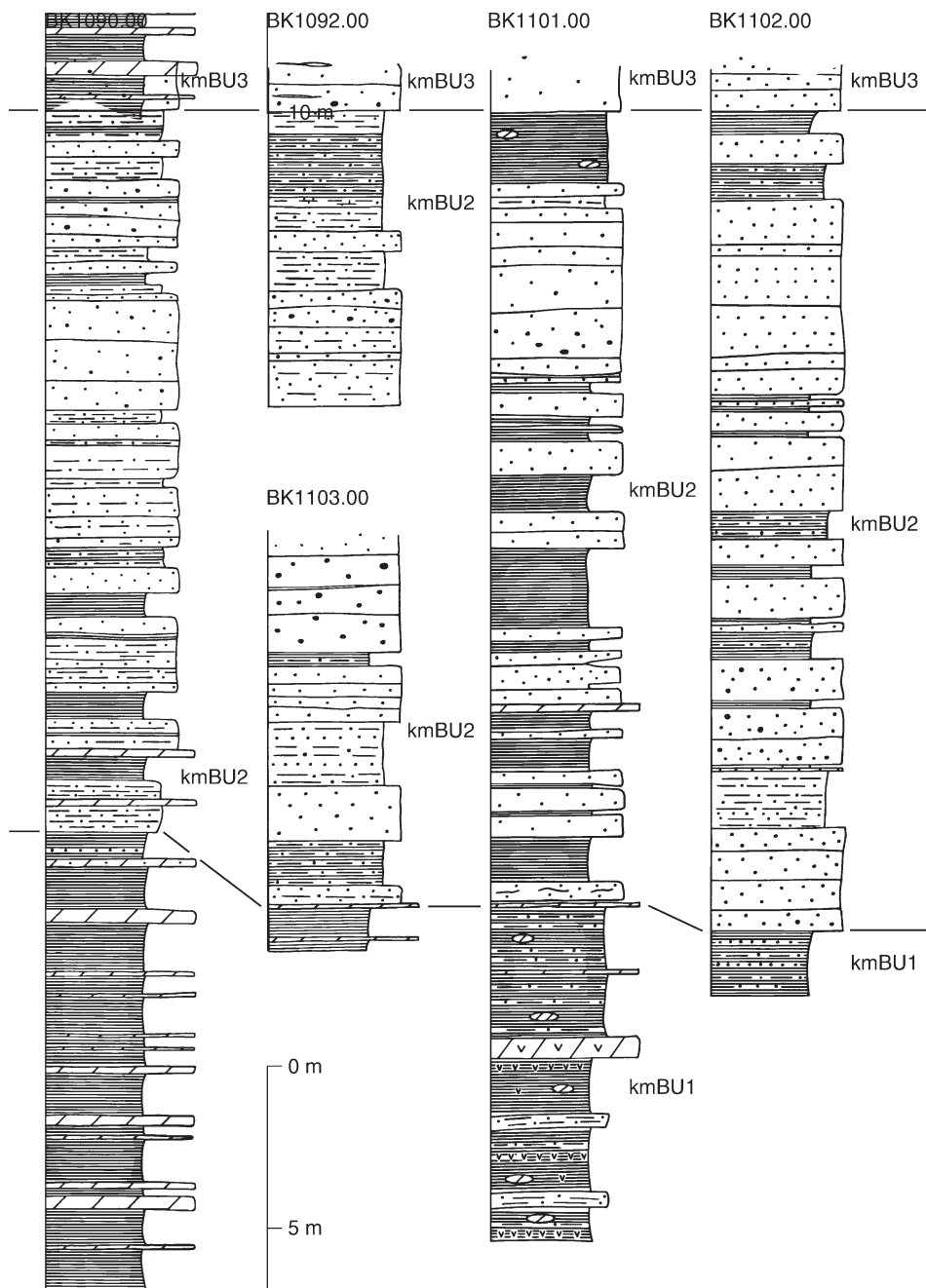


Abb. 6 f.

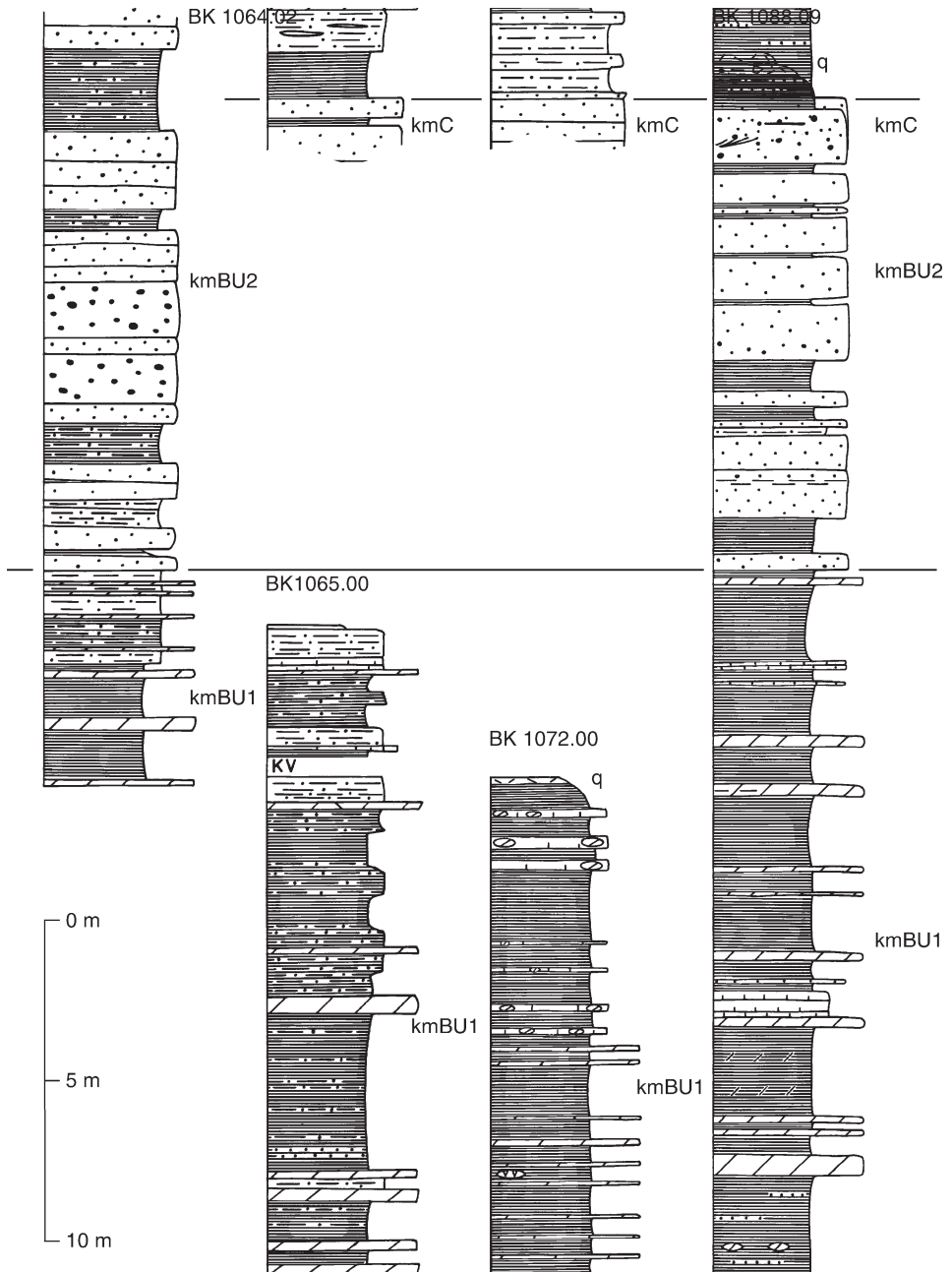


Abb. 6 g.

Gesteinsausbildung der Bänke A, B und C: Sandstein, grobkörnig, feinkiesig, lagenweise fein- bis mittelkörnig, tonig gebunden, teilweise dolomitisch gebunden, teilweise brecciös. Der Mittlere Burgsandstein wurde früher auch als Dolomitische Arkose bezeichnet.

Brecciöse Arkosen enthalten Feldspäte (cm-groß), Dolomitsteinbruchstücke und seltener Quarzgerölle. Eingeschaltet sind sehr harte, teilweise brecciöse, teils kavernöse, sandige Dolomitsteinlagen von rotbrauner, grauer oder graugrüner Farbe. Diese Dolomikritlagen bildeten sich unter ariden bis semiariden Klimabedingungen in einem Playa-Milieu (MOSES 1986).

Gesteinsausbildung der Zwischen- und Basisletten: Tonstein, siltig, teils feinsandig, teils karbonatisch, rot- bis violettbraun oder graugrün; mit Silt- und Feinsandsteinlagen sowie einzelnen, dünnen Dolomitsteinlagen.

#### Unterer Burgsandstein (kmBU)

Mächtigkeit: 52,8 m (BK 1090.00).

Gliederung: Der Untere Burgsandstein liegt in der tonige Beckenfazies vor, der sogenannten Heldburgfazies (im Gegensatz zur randnahen Ausbildung der Nürnberger Fazies), und wurde komplett in BK 1090.00 erbohrt. Die Abgrenzung der Unteren (kmBU1) von den Mittleren Heldburgschichten (kmBU2) erfolgte beim eindeutigen Wechsel von schwarzgrauen Tonsteinen mit eingeschalteten Dolomitsteinlagen der kmBU1 zu den rotbraunen Tonsteinen mit Sandsteinlagen (meist ohne Dolomitsteinlagen!) der Mittleren Heldburgschichten (kmBU2). In den Oberen Heldburgschichten (kmBU3) setzen erneut Dolomitsteinlagen ein. Zudem bestehen die kmBU3 überwiegend aus Sandstein mit wenig Tonsteinlagen. Der hangende Mittlere Burgsandstein (kmBM) beginnt mit einem meist 2 m mächtigen Basisletten (vgl. RIECH 1974).

Mächtigkeit der kmBU3: 11,1 m (BK 1090.00); 12,0 m (BK 1091.00); 13,7 m (BK 1100.00); 8,7 m (BK 1101.00); 10,4 m (BK 1099.00); 6,5 m (BK 1093.00); 8,0 m (BK 1096.00); 9,1 m (BK 1098.00); 8,9 m (BK 1095.00); 9,7 m (BK 1097.00); 10,1 m (BK 1095.01).

Gesteinsausbildung der kmBU3: Sandstein, lagenweise fein-, mittel- und grobkörnig; mit Siltsteinlagen, feinsandig, rotbraun, grau, häufig dolomitisch gebunden; teils mit Dolomitsteinlagen, sehr hart, grau.

Mächtigkeit der kmBU2: 17,9 m (BK 1064.02); >15,1 m (BK 1088.09); 21,7 m (BK 1090.00); 23,7 m (BK 1101.00); >21,4 m (BK 1103.00).

Gesteinsausbildung der kmBU2: Ton- und Siltstein mit Sandsteinlagen, fein- bis mittelkörnig, selten grobkörnig (BK 1064.02) und feinkiesig (BK 1091.00), mäßig hart, teils absandend, rotbraun, teils grüngrau, teils violettstichig, nur vereinzelte, 1–2 dm mächtige Dolomitsteinlagen, sehr hart, grau.

Mächtigkeit der kmBU1: 24,1 m (BK 1088.09); 20,0 m (BK 1090.00); >22,3 m (BK 1065.00).

Gesteinsausbildung der kmBU1: Tonstein, schwarz, (dunkel)grau, mit zahlreichen Dolomitsteinlagen, 1–4 dm mächtig; basal teilweise mit Siltsteinlagen, feinsandig; Gipseinschlüsse gelegentlich, cm dicke Gipsschnüre in BK 1101.00.

### 4.2.3. Blasensandstein i. w. S.

Gliederung: Der Blasensandstein i. w. S. umfaßt den Coburger Sandstein und den Blasensandstein i. e. S. Tabelle 4 zeigt die aktuelle Gliederung und die Zuordnung älterer Begriffe.

Coburger Sandstein (kmC) (Abb. 7 a–b)

Gliederung: Der Zwischenletten, ein in der Mächtigkeit stark schwankender Tonstein, trennt die Sandsteine der Oberbank von der Unterbank (vgl. LORETZ 1895). Die basalen Basisletten werden konventionell nach HAUNSCHILD & OTT (1982) und HAUNSCHILD (1985, 1993) zum Coburger Sandstein gerechnet, nicht zum Blasensandstein, wie dies LORETZ (1895), HAHN (1974) und RIECH (1974) u. a. taten. Die Abgrenzung zum hangenden Burgsandstein geschah in den Bohrungen mühelos mit dem Einsetzen der dunklen Tonsteine der Unteren Heldburgschichten.

Mächtigkeit: 17,1 m (BK 1075.00); >21,4 m (BK 1074.00); 22,1 m (BK 1072.00); 10,7 m (BK 1076.01); >9,9 m (BK 1078.00); 12,1 m (BK 1088.09); 15,4 m (BK 1090.00). Eine starke Mächtigkeitsabnahme des Coburger Sandsteins, besonders auf Kosten der Oberbank, von S nach N zwischen Weißenbrunn über Rögen nach Bausenberg dokumentiert RIECH (1974) in einer Fazieskizze. Einen Überblick über die Faziesräume des Coburger Sandsteins geben KRISL & WALETZKY (1999).

Gesteinsausbildung des Basisletten: Tonstein, siltig, graugrün, basal teils violett- und rotbraun. Der von RIECH (1974) als charakteristisch beschriebene, hellgraue bis violette, 15–20 cm mächtige Steinmergel innerhalb der Grenzletten konnte nur in BK 1072.00 nachgewiesen werden. Dolomitische und karbonatische Sandsteinbänke im Basisletten des Coburger Sandsteins beobachteten auch HAUNSCHILD & OTT (1982).

Gesteinsausbildung der Ober- und Unterbank: Sandstein, feinkörnig, teils fein- bis mittelkörnig, siltig, tonig gebunden, mäßig hart bis hart, gut sortiert, teils dünn- bis mittelbankig, teils dickbankig (BK 1075.00), teils mit Schräg- und Kreuzschichtung, grau(grün), hellgrau; mit vereinzelt Tonsteinlagen, siltig, grau(grün); mit Tonsteinlage, schwarz, 2,7 m mächtig (BK 1072.00).

THÜRACH (1901) erwähnt Funde von Fischresten („*Semionotus bergeri*“) nahe der Sohle der Oberbank in einem Steinbruch auf der Höhe S Grub a. Forst. Ferner berichtet er SW Haarth von einer großen „Steinplatte, welche von wohl mehr als einem halben Hundert kleiner, nur 4–8 cm langer Fische bedeckt war“. Der Coburger Sandstein wurde früher in zahlreichen

Tabelle 4: Gliederung des Blasensandsteins i. w. S. mit Angaben zur Mächtigkeit

Gliederung mit Leithorizonten					Mächtigkeit [m]
		Symbol	Aktueller Begriff	Alter Begriff	
Blasensandstein i. w. S.	Coburger Sandstein	KmC	Oberbank Zwischenletten Unterbank Basisletten	Oberer Blasensandstein bzw. Unterer Semionotensandstein	10–22
	Blasensandstein i. e. S.	KmBL	Werksandstein Sandstein-Letten-Wechself. Basisletten	Unterer Blasensandstein bzw. Plattensandstein	46–50

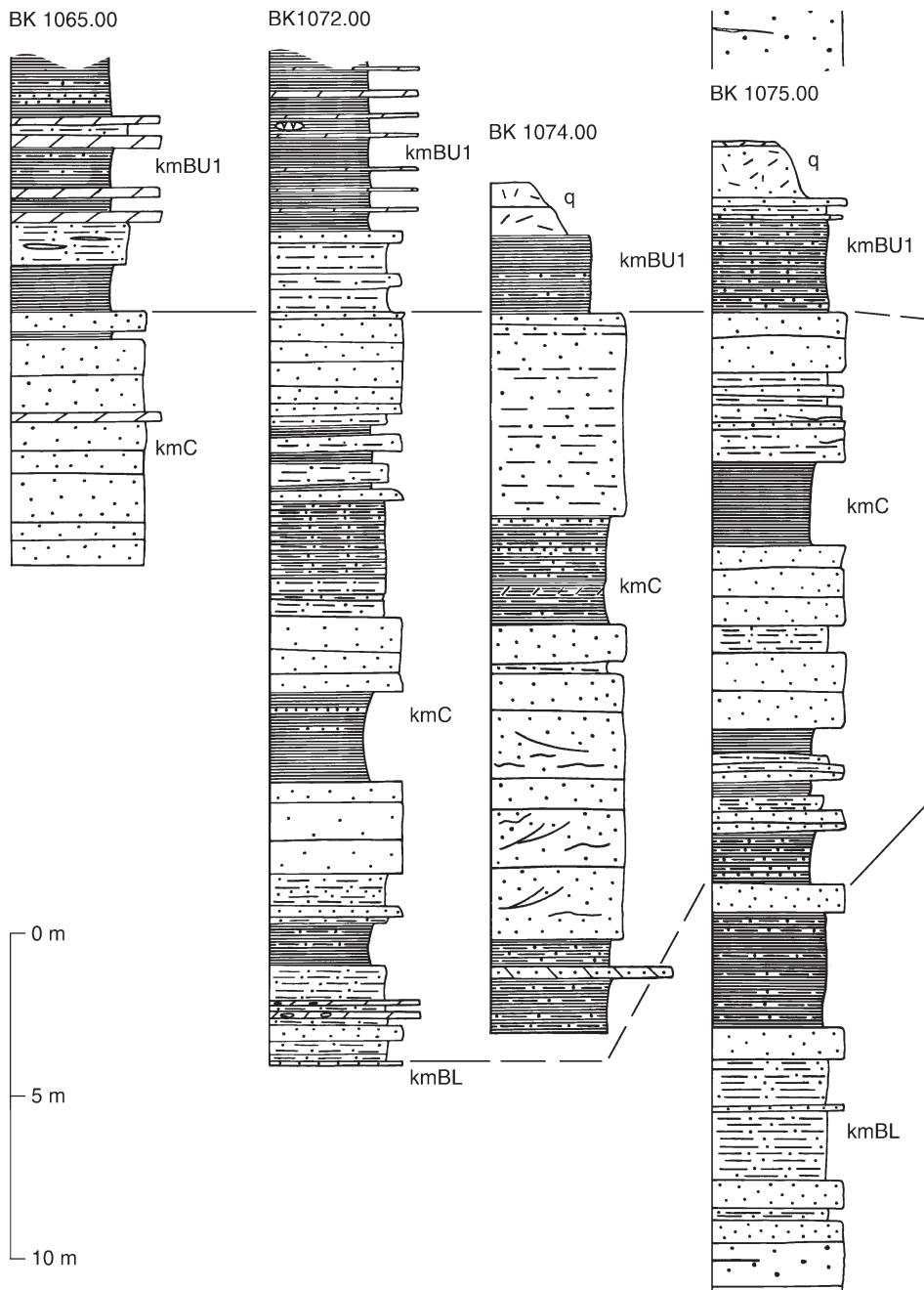


Abb. 7 a-b. Profilkorrelation des Coburger Sandsteins. – Legende s. Abb. 3.



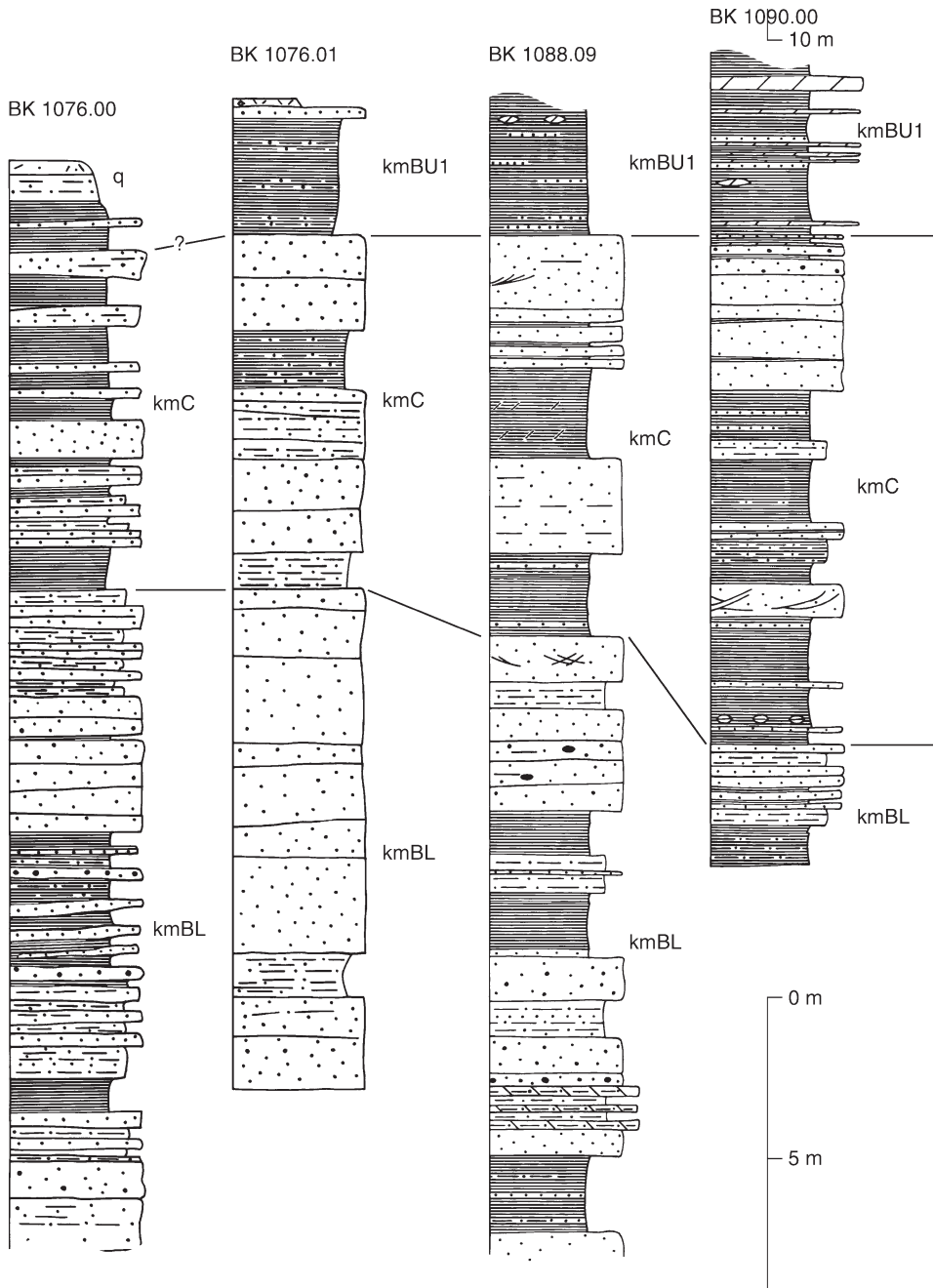


Abb. 7 b.

Brüchen abgebaut (BAYERISCHES OBERBERGAMT 1936). Seine feinkörnigen Sandsteine wurden u. a. S Coburg z. B. bei Weißenbrunn (Unterbank 4–7 m, Oberbank 3,5 m) gebrochen und als besonders gute Bausteine geschätzt. Viele Bauten in und um Coburg zeugen davon (WEINIG 1984).

Gesteinsausbildung des Zwischenletten: Tonstein, siltig, rotbraun, grau(grün), teils violettbraun, lagenweise feinsandig; mit Sandsteinlagen, feinkörnig, siltig; mit Siltsteinlagen, feinsandig, tonig, teils dolomitisch (BK 1074.00). Dezimeterstarke Steinmergelbänkchen, die von RIECH (1974) beobachtet wurden, fehlen in den hier beschriebenen Bohrungen.

Blasensandstein i. e. S. (kmBL) (Abb. 8 a–c)

Gliederung: Graugrüne Tonsteine (kmC-Basisletten) trennen den Blasensandstein i. e. S. vom Coburger Sandstein (HAUNSCHILD 1985). Basal sind die violettbraunen Basisletten des Blasensandsteins deutlich von den rotbraunen, liegenden Lehrbergschichten zu trennen. Die Abgrenzung des Werksandsteins von der Sandstein-Letten-Wechselfolge ist nicht zweifelsfrei und nicht in jeder Bohrung möglich.

Mächtigkeit: 46,4 m (BK 1107.09); 44,8 m (BK 1078.00); >29,1 m (BK 1088.00); >37,3 m (BK 315); >28,5 m (BK 1079.00); >28,5 m (BK 1080.01); >37,0 m (BK 1076.00).

Gesteinsausbildung des Werksandsteins: Sandstein, feinkörnig, selten lagenweise mittel- bis grobkörnig, tonig, siltig, mäßig hart bis hart, rotbraun, graugrün; mit Siltsteinlagen, feinsandig, tonig, selten kieselig gebunden; mit Tonsteinlagen, siltig, teils feinsandig; feldspat- und glaukonithaltig (BK 315, Teufe 2,7–3,5 m). RIECH (1974) beobachtete in einer Bohrung bei Rögen (Bl. Sonnefeld), daß der als Baustein örtlich abgebaute Werksandstein dort fast vollständig durch tonige Fazies vertreten wird.

Gesteinsausbildung der Sandstein-Letten-Wechselfolge: Sandstein, feinkörnig, selten lagenweise mittel- bis grobkörnig, teils feinkiesig (BK 1067.00), tonig, siltig, hart, rotbraun, graugrün; im Wechsel mit Siltsteinlagen, feinsandig, tonig und Tonsteinlagen, siltig, teils feinsandig; mit 1 cm mächtiger Gipslage im Basalbereich. Am Bahnhof Grub a. Forst berichtet SCHREIBER (1956: 66) von einer 0,5 m mächtigen, breccienähnlichen Karbonatbank, die Quarzkörner und dunkelrote Tonbutzen aufweist.

Gesteinsausbildung der Basisletten: Tonstein, siltig, zuoberst graugrün und lagenweise feinsandig, darunter violettbraun, rotbraun (aber dunkler wie die Lehrbergschichten); mit zahlreichen Gipsknauern und einzelnen 1 cm mächtigen Gipslagen (bis 10 % des Profilabschnittes im Basalbereich des Basisletten von BK 1067.00); mit einzelnen Karbonatknauern, mit 0,4 m mächtigem Steinmergelbänkchen etwa 8 m über der Basis.

Beckenwärts nimmt die Gipsführung in diesem Niveau zu. So wurde bei Tappstadt ein bis zu 4 m mächtiges Gipslager, das etwa 3 m über der oberen Lehrbergbank liegt, früher abgebaut (EMMERT 1964).

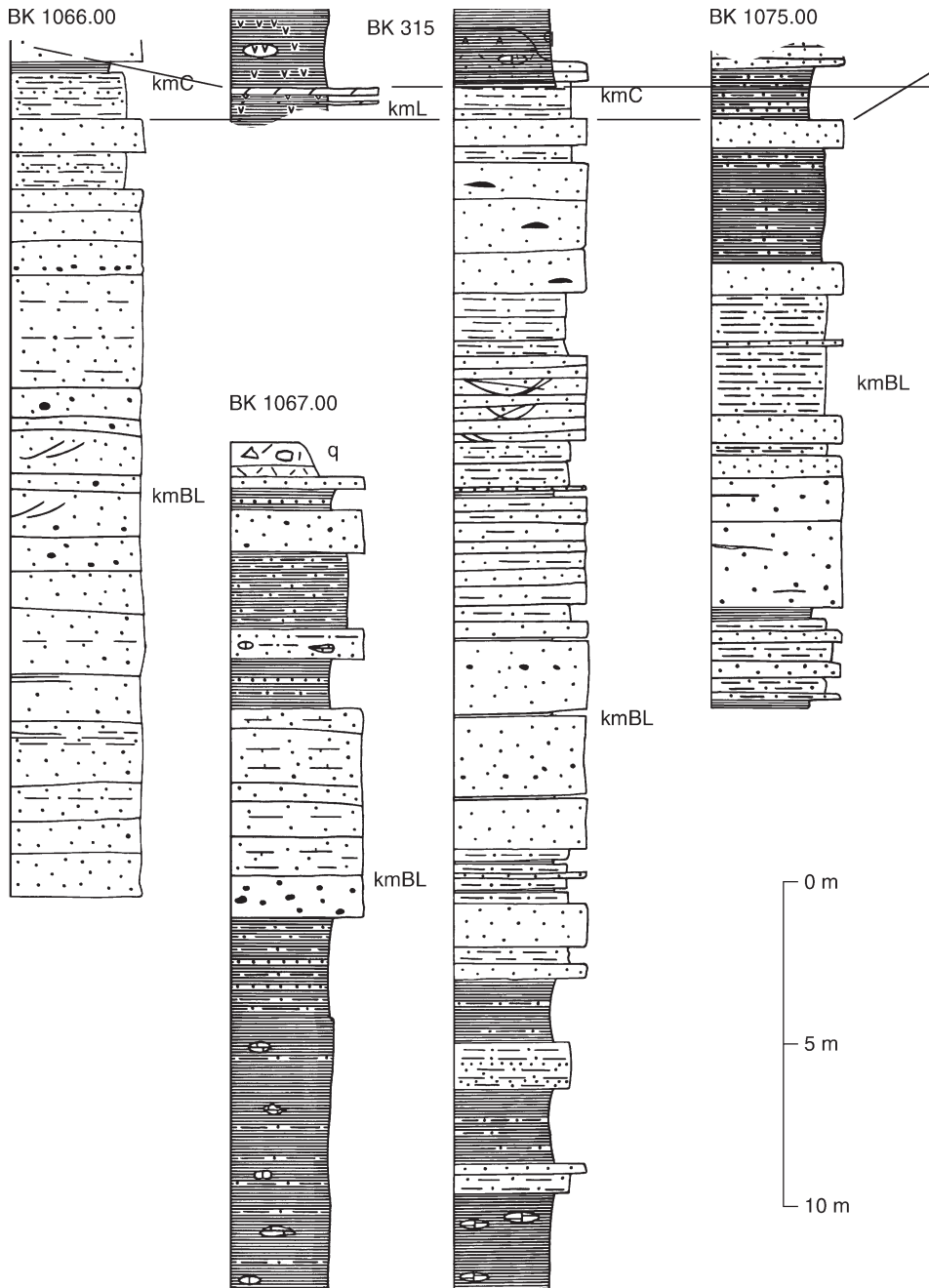


Abb. 8 a-c. Profilkorrelation des Blasensandsteins. – Legende s. Abb. 3.

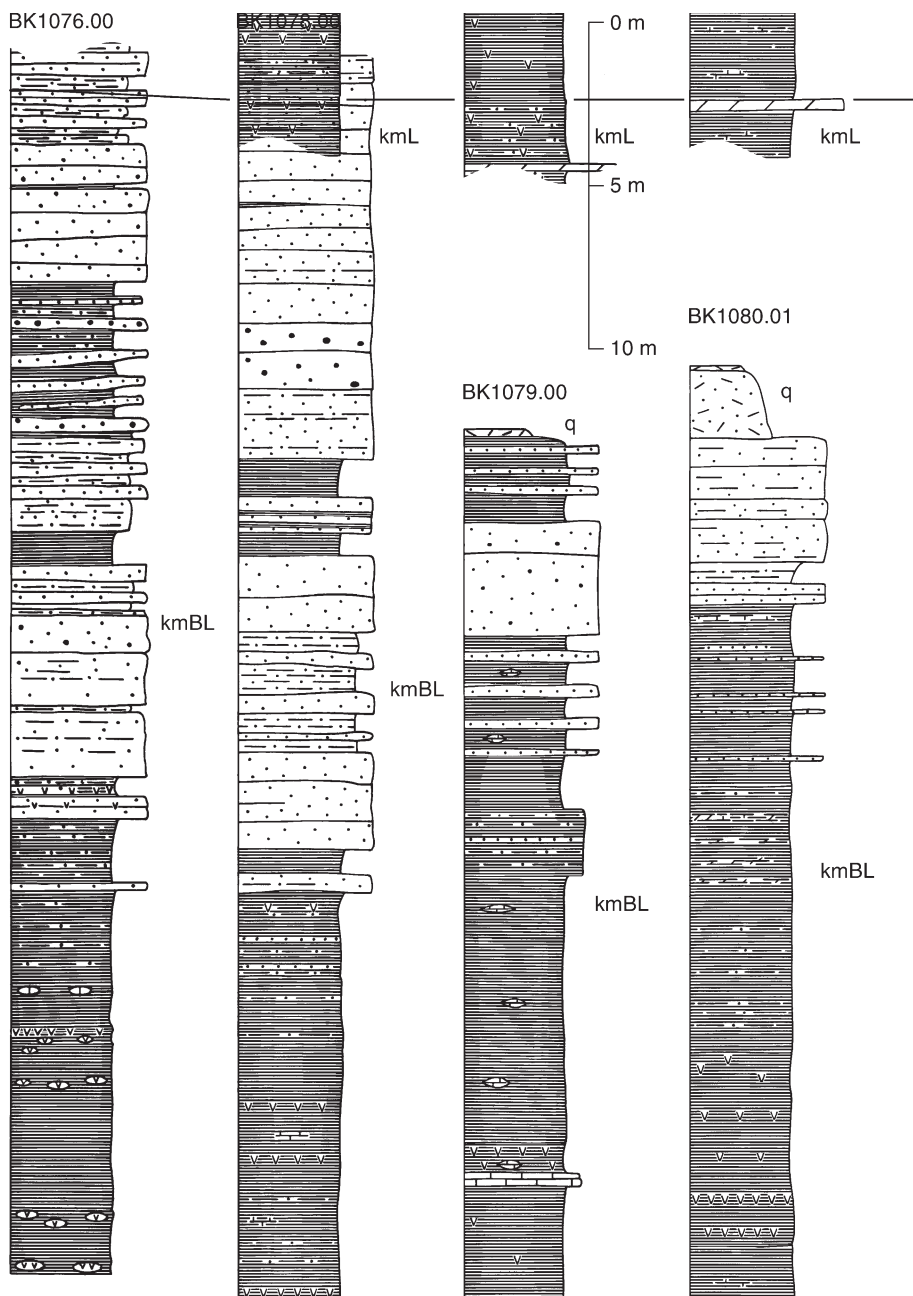


Abb. 8 b.

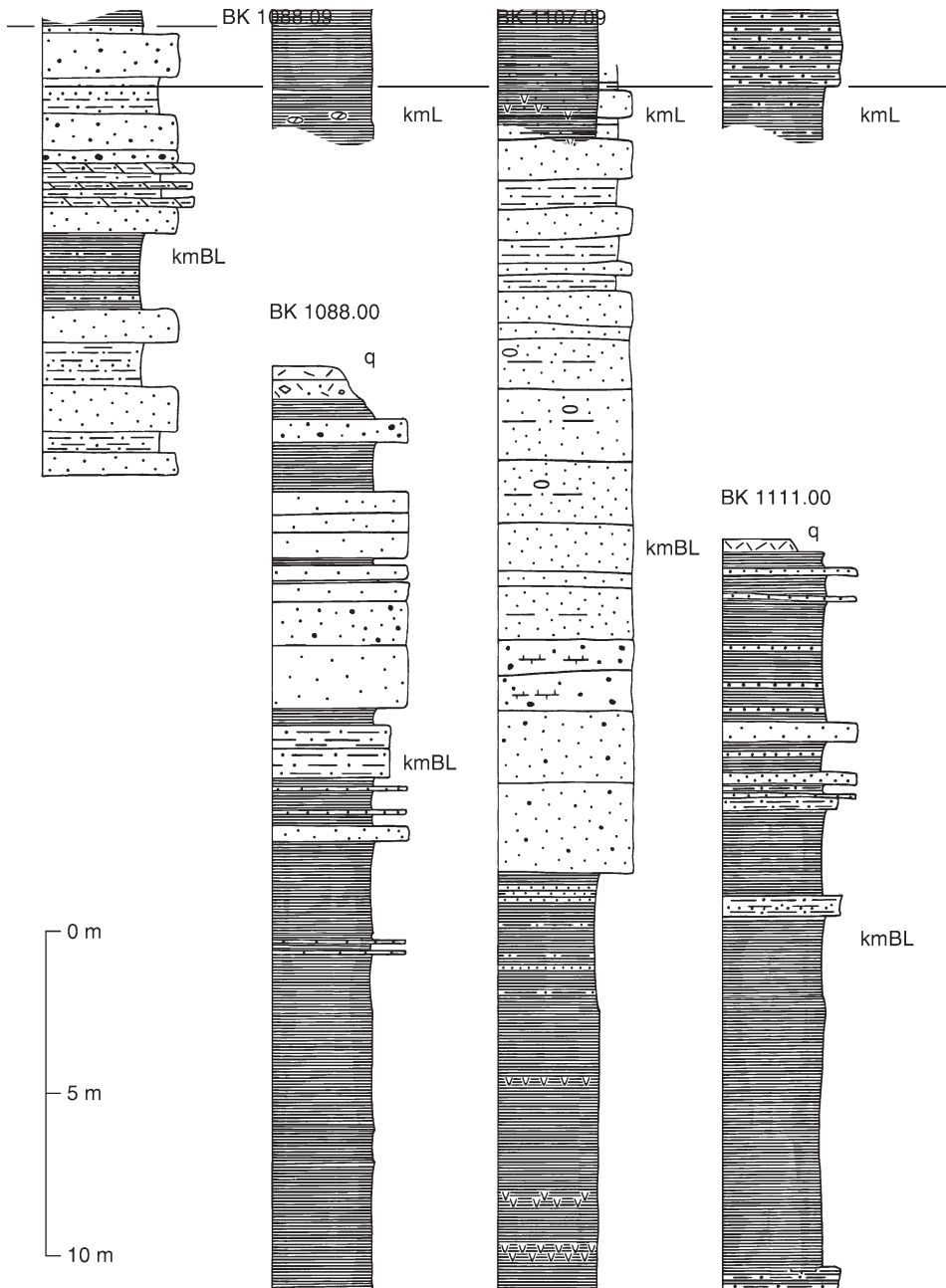


Abb. 8 c.

#### 4.2.4. Lehrbergschichten (kmL) (Abb. 9 a–b)

Gliederung: Die Lehrbergschichten sind in den hier zu beschreibenden Bohrungen feldmethodisch nicht gliederbar. Selbst die sehr charakteristischen Lehrbergbänke 1–3 sind nicht in jeder Bohrung nachweisbar. Die Abgrenzung zum Blasensandstein erfolgte konventionell im Top der höchsten Lehrbergbank (vgl. HAUNSCHILD 1976). Allerdings können über den Lehrbergbänken noch einige Meter „Letten in den leuchtenden Farben der Lehrbergletten“ folgen, bevor die „stumpferen Farben des Blasensandsteins“ beginnen, schreibt v. FREYBERG (1965). Unmittelbar unter und über den Lehrbergbänken sind die Tonsteine häufig auch graugrün gefärbt (grüne Grenzletten) (vgl. HAUNSCHILD 1976). Bei fehlender Lehrbergbank konnte aufgrund des eindeutigen Farbumschlags von hellem Rotbraun der Lehrbergschichten zum dunklen Violettbraun der Basisletten des Blasensandsteins eindeutig abgegrenzt werden. Zum liegenden Schilfsandstein ändert sich ebenfalls die Farbe (s. u.).

Mächtigkeit: 33,5 m (BK 1079.00); 30,1 m (BK 1080.01); >22,6 m (BK 1112.00).

Gesteinsausbildung: Tonstein, siltig, selten feinsandig, (hell)rotbraun, selten lagenweise graugrün; im ständigen Wechsel mit Gipslagen, -adern und -knauern, mm- bis cm-mächtig, in BK 1080.01 drei 10–30 cm mächtige Gipslagen, Gips etwa 10 % der gesamten Profilstrecke; zuoberst 1–3 Lehrbergbänke: Dolomitstein, sehr hart, grau, 0–0,3 m mächtig.

In BK 1078.00 folgen über drei 5–10 cm mächtigen Dolomitsteinbänkchen, die auch den Lehrbergbänken entsprechen könnten, noch 5–8 m Tonstein in der typischen Fazies der Lehrbergschichten. Daher wurde die Grenze dort beim typischen Farbumschlag gezogen. LORETZ (1895) berichtet von einem Profil gegenüber Roth a. Forst (Bl. Sonnefeld) von 4 Steinmergelbänken, die 5–10 cm mächtig sind und den Lehrbergbänken entsprechen. In BK 1081.00 schalten sich in die basalen Lehrbergschichten (0–4 m über Basis) zwei 10 cm mächtige Dolomitsteinbänkchen ein (vgl. THÜRACH 1901; OPITZ 1965). Ob diese dem Hauptsteinmergel zuzuordnen sind, ist fraglich. Dieser Bereich ist auch sehr siltig und lagenweise feinsandig ausgebildet. Ob die in der gleichen Bohrung angetroffene Wechselfolge aus Feinsand-, Silt- und Tonstein (etwa 4–7 m über der Basis) dem Ansbacher Sandstein, den HAUNSCHILD (1976) auch in Bohrungen bei Creussen nachwies, entspricht, kann nur vermutet werden. Bezeichnend für die Beckenfazies der Lehrbergschichten ist der beachtliche Gipsgehalt.

#### 4.2.5. Schilfsandstein (kmS) (Abb. 10 a–c)

Gliederung: Der Schilfsandstein ist in den hier zu beschreibenden Bohrungen nicht weiter zu gliedern (vgl. EMMERT 1965). Hangend schließen ihn meist graugrüne Tonsteine ab, die sich farblich sehr gut von den hellrotbraunen Lehrbergschichten unterscheiden (vgl. RIECH 1974). Die Liegendgrenze wurde mit dem Einsetzen der sandigen Fazies über den dunkelgrauen Tonsteinen der Estheriensichten gezogen, obwohl in diesen siltigen Tonsteinen noch Pflanzenreste beobachtet wurden. Inwieweit dieser Bereich noch dem Schilfsandstein zuzuordnen ist, kann möglicherweise durch palynologische Untersuchungen geklärt werden (WILLE in Vorb.).

Mächtigkeit: 25,5 m (BK 1083.00); >21,1 m (BK 1085.02); 13,2 m (BK 378); >20,2 m (BK 1082.04); >27,0 m (BK 1082.09); >21,6 m (BK 1082.00); >23,0 m (BK 1084.00); >26,4 m (BK 1085.00); >12,8 m (BK 1079.00).

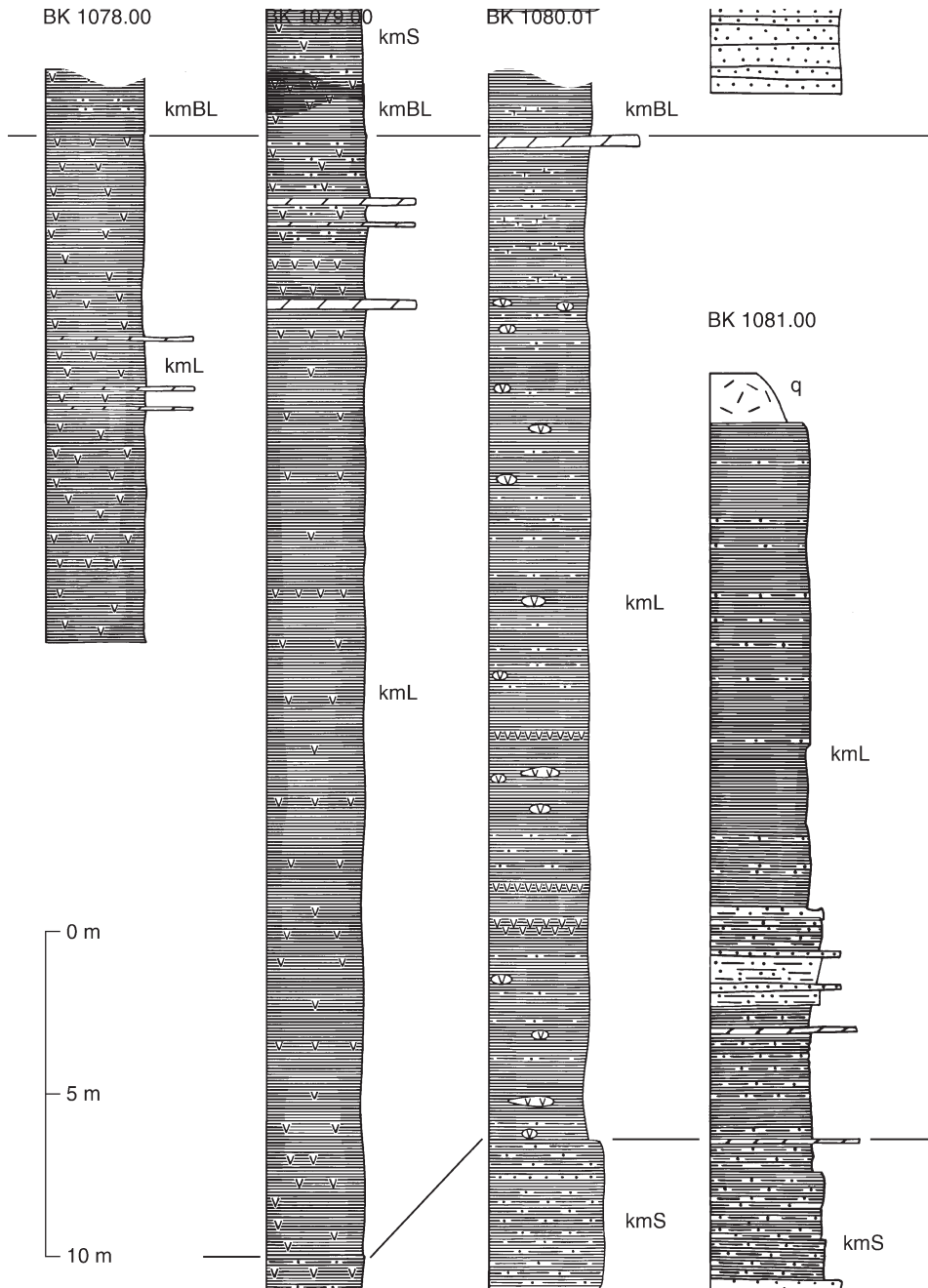


Abb. 9 a-b. Profilkorrelation der Lehrbergschichten. – Legende s. Abb. 3.

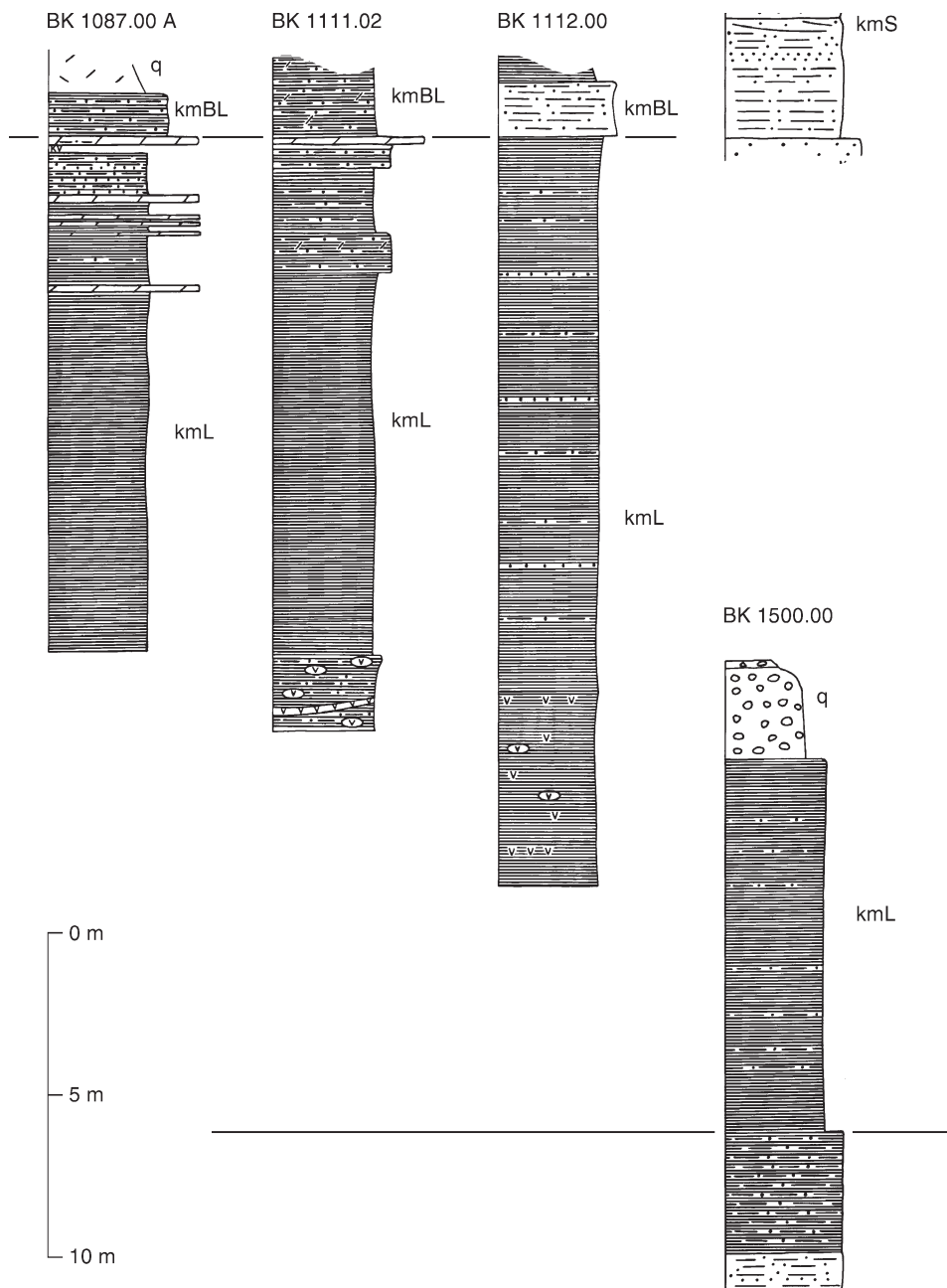


Abb. 9 b.



Der Schilfsandstein wurde teils in Stillwasser- (Flächenbildung) und teils in der mächtigeren Flutfazies (Rinnenbildung) angetroffen. Von Flutfazies spricht man z. B. nach WEINIG (1984), wenn der Sandstein Mächtigkeiten über 20 m aufweist und mehr bankig als schiefrig-plattig ausgebildet ist (vgl. WURSTER 1964; EMMERT 1965). Hypothesen zur Entstehung des Schilfsandsteins werden immer noch diskutiert (vgl. GEYER 1990; HAUNSCHILD 1994; AIGNER & BACHMANN 1992; BACHMANN & BEUTLER 1996; KELBER, OKRUSCH & NICKEL 1997).

Gesteinsausbildung: Sandstein, feinkörnig, siltig, tonig gebunden, mäßig hart bis hart, teils feinschichtig laminiert, teils flaserig, teils horizontal-, teils schräggeschichtet, graugrün, rotbraun; im Wechsel mit Siltstein, meist feinsandig; zuoberst Ton- bzw. Siltstein, graugrün; teils mit Pflanzenresten. Im basalen Bereich von BK 1082.00 schaltet sich ein 1,9 m mächtiger, dunkelgrauer bis schwarzer Tonstein ein.

#### 4.2.6. Estheriensichten (kmE)

Gliederung: Die Schichtenfolge wird in Obere, Mittlere und Untere Estheriensichten gegliedert (HAUNSCHILD 1981). Die Bohrungen erschlossen lediglich den obersten Teil der Oberen Estheriensichten und die basale Corbulabank der Unteren Estheriensichten. Mit dem Einsetzen der sandigen Fazies des Schilfsandstein wurde die Hangendgrenze gezogen.

Mächtigkeit: >40 m (RIECH 1974).

Gesteinsausbildung: Tonstein, schwach siltig, dunkelgrau, teils graugrün; in BK 378 mit zwei Dolomitsteinbänkchen, sehr hart, grau, 10–20 cm mächtig und Gipseinschlüssen.

Gesteinsausbildung der Corbulabank: Dolomitstein, siltig, grau, 0,2 m mächtig.

#### 4.2.7. Myophorienschichten (kmM) (Abb. 11)

Gliederung: Die Schichtenfolge wird gewöhnlich durch die Bleiglanzbank in Obere und Untere Myophorienschichten (kmMO bzw. kmMU) geteilt. In der Meißelbohrung Wiesenfeld war die Bleiglanzbank nicht nachweisbar. Aufgrund der stratigraphischen Entfernung und des Farbumschlags von graugrün nach rotbraun kann die Grenze kmMO/kmMU nur vermutet werden.

Mächtigkeit: 103 m (Brg. Wiesenfeld).

##### Obere Myophorienschichten (kmMO)

Mächtigkeit: ca. 51 m.

Gesteinsausbildung: Tonstein, teils siltig, graugrün, dunkel, rotbraun; mit zahlreichen Gipseinschlüssen; mit zwei etwa 2 m mächtigen Anhydritlagen mit Tonsteineinschaltungen etwa in der Mitte der Oberen Myophorienschichten.

„Die Gypse des unteren Gypskeupers sind ursprünglich, wie deutliche Aufschlüsse zeigen, den Mergeln regelmässig zwischengeschichtet, als Platten oder mehr noch als Lagen von Knollen und flachen Sphäroiden; vielfach hat sich jedoch in bekannter Weise sekundärer Fasergyps auf Klüften und Rissen ausgebildet, oder der Gypsgehalt erscheint in Form kleiner krystallinischer Einsprengungen in zelligen, kalkigen oder dolomitischen Lagen“ beobachtete bereits LORETZ (1885 a) auf Blatt Meeder (vgl. auch LORETZ 1885 b).

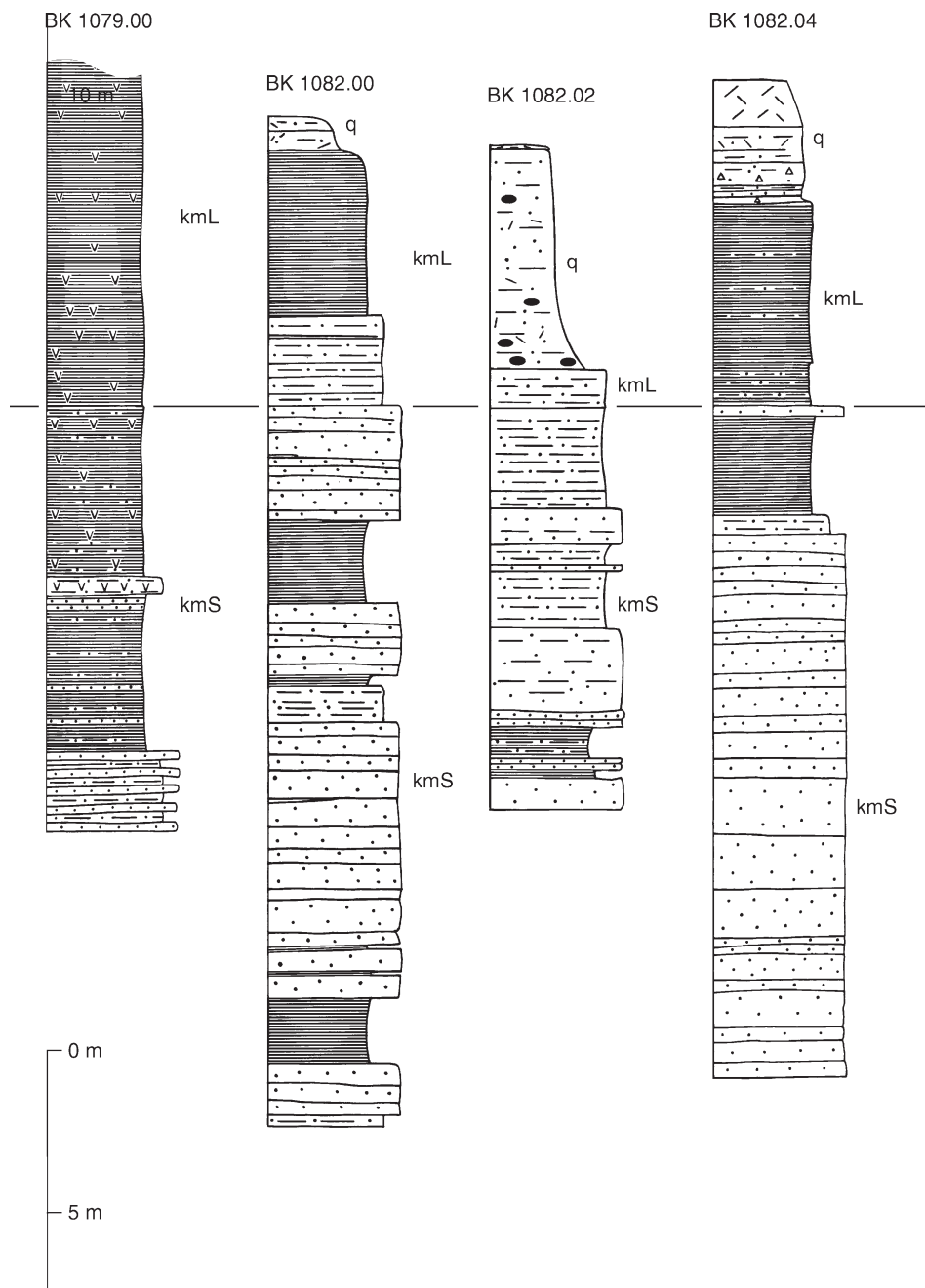


Abb. 10 a–c. Profilkorrelation des Schilfsandsteins. – Legende s. Abb. 3.

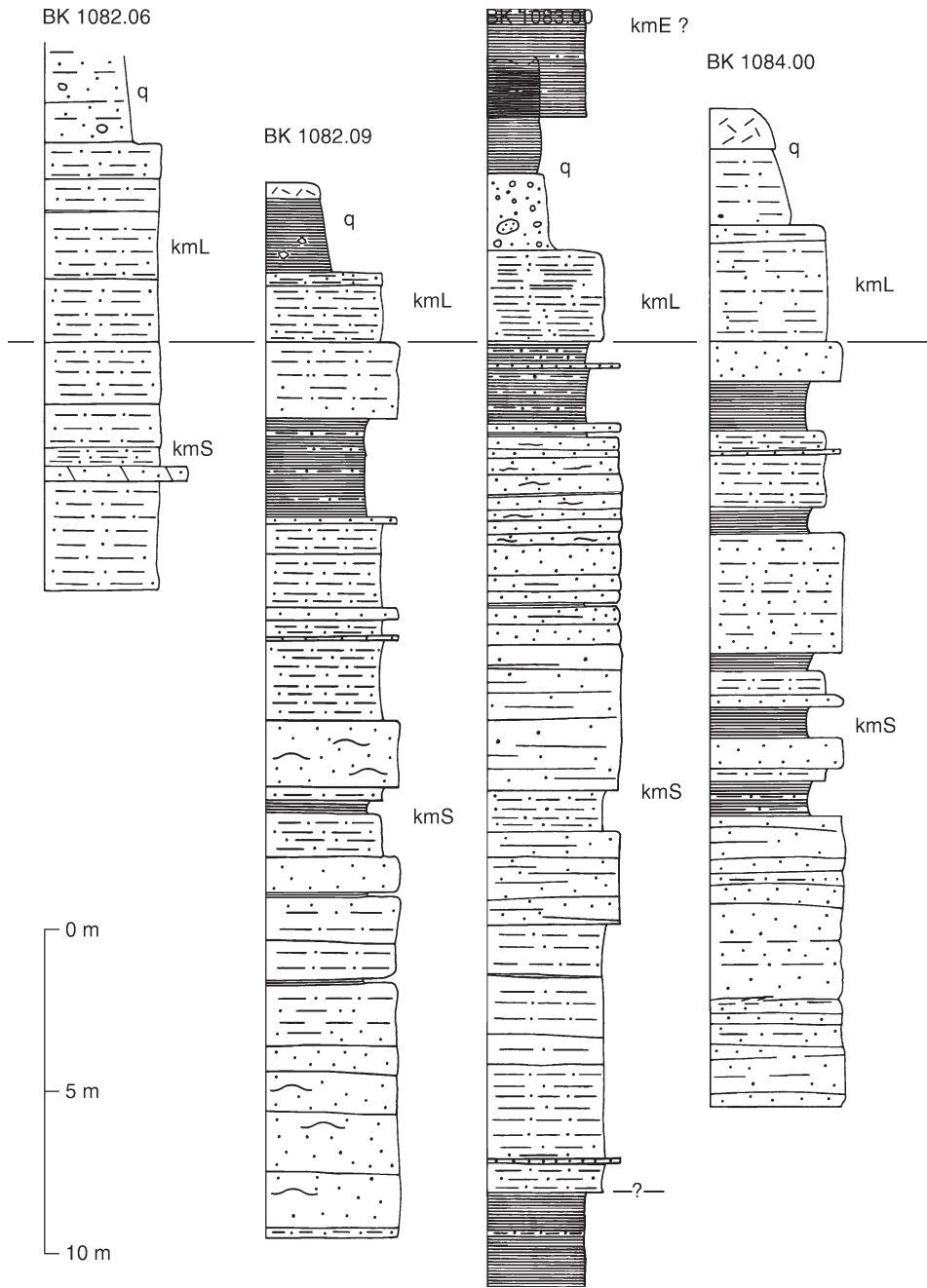


Abb. 10 b.

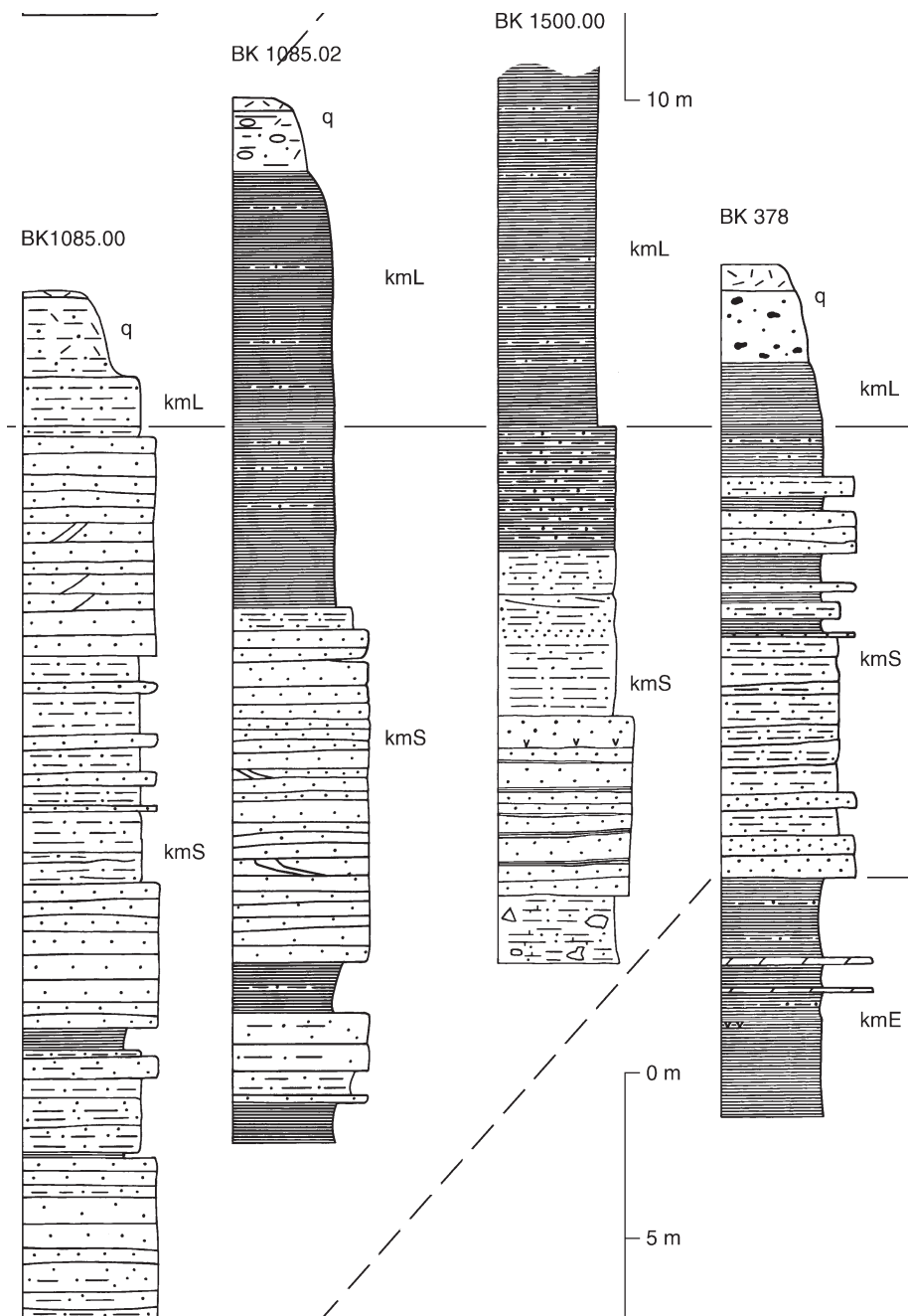


Abb. 10 c.

## Untere Myophorienschichten (kmMU)

Mächtigkeit: ca. 52 m.

Gesteinsausbildung: Tonstein, teils siltig, graugrün, dunkel, rotbraun; mit zahlreichen Gipseinschlüssen und Gips- bzw. Anhydritlagen.

Etwa 35,5 m über der Basis befindet sich ein Dolomitstein („Steinmergellage“), der aufgrund seiner Entfernung vom Grenzdolomit als Vertreter der Hellmitzheimer Bank (Bochinger Bank) angesehen werden kann. B. SCHRÖDER (schriftl. Mitt. 1999) weist darauf hin, daß von Coburg aus nach SE die gewohnten Leitbänke der Myophorienschichten untypisch werden: „Dies gilt besonders im unteren Teil, in dem W Coburg die Bleiglanzbank und die Hellmitzheimer Bank (Bochinger Bank) in Lithologie und Reliefwirksamkeit an Kennlichkeit verlieren“. Nach seinen Angaben entspricht die hier als Hellmitzheimer Bank beschriebene Dolomitsteinlage der Bleiglanzbank.

Eine weitere Dolomitsteinlage („Grundlage“) befindet sich etwa 2,5 m über dem Grenzdolomit (vgl. HAUNSCHILD 1985). NITSCH (1996) vermutet als Ablagerungsraum für die feingeschichteten Tonsteine einen „perennierenden Salzsee“, dessen Salzgehalt deutlichen Schwankungen von brackisch bis salinar unterlag. Dagegen gehen entschichtete Tonsteine mit Sulfatknollen eher auf „ephemer-lakustrine Milieus zurück, in welchen die Sedimente der Überflutungszeiten während der anschließenden Trockenphasen zu vertikalen Paläoböden überprägt wurden“.

#### 4.3. Unterer Keuper (ku) (Abb. 11)

Gliederung: Der Untere Keuper in Mainfranken wird konventionell (Kartierpraxis) in vier Abschnitte unterteilt (z. B. U. HOFFMANN 1967; zuletzt FREUDENBERGER 1999) (Tab. 5):

- Grenzdolomit (kuD)
- Obere Tonstein-Gelbkalkschichten (ku2; Albertibank bis einschließlich Obere Drusengelbkalksteine)
- Werksandstein-Bereich (kuW; Cardiniensandstein bis Basis Albertibank)
- Untere Tonstein-Gelbkalkschichten (ku1; Untere Vitriolschiefer bis einschließlich
- Obere Estherienschiefer)

In den hier beschriebenen Bohrungen wurden der Untere Keuper vom Grenzdolomit bis zu den Unteren Tonstein-Gelbkalkschichten erschlossen, wobei von letzteren nur die obersten Meter durchteuft wurden.

Mächtigkeit (Coburger Raum): ca. 45 m (RIECH 1972, 1974); vgl. GUDDEN (1981), WROBEL (1992).

Tabelle 5: Gliederung des Unteren Keupers mit Angaben zur Lithologie und Mächtigkeit

Gliederung mit Leithorizonten		Lithologie / Fazies	Mächtigkeit [m]		
ku	kuD	Grenzdolomit	Dolomitstein, kalkig	4-7	ca. 45
	ku2	Obere Tonstein-Gelbkalkschichten	Tonstein mit Silt-, Sand- u. Dolomitsteinlagen	12	
	kuW	Werksandstein-Bereich	Sandstein mit Ton- u. Siltsteinlagen	8-9	
	ku1	Untere Tonstein-Gelbkalkschichten	Tonstein mit Silt-, Sand- u. Dolomitsteinlagen	ca. 17	

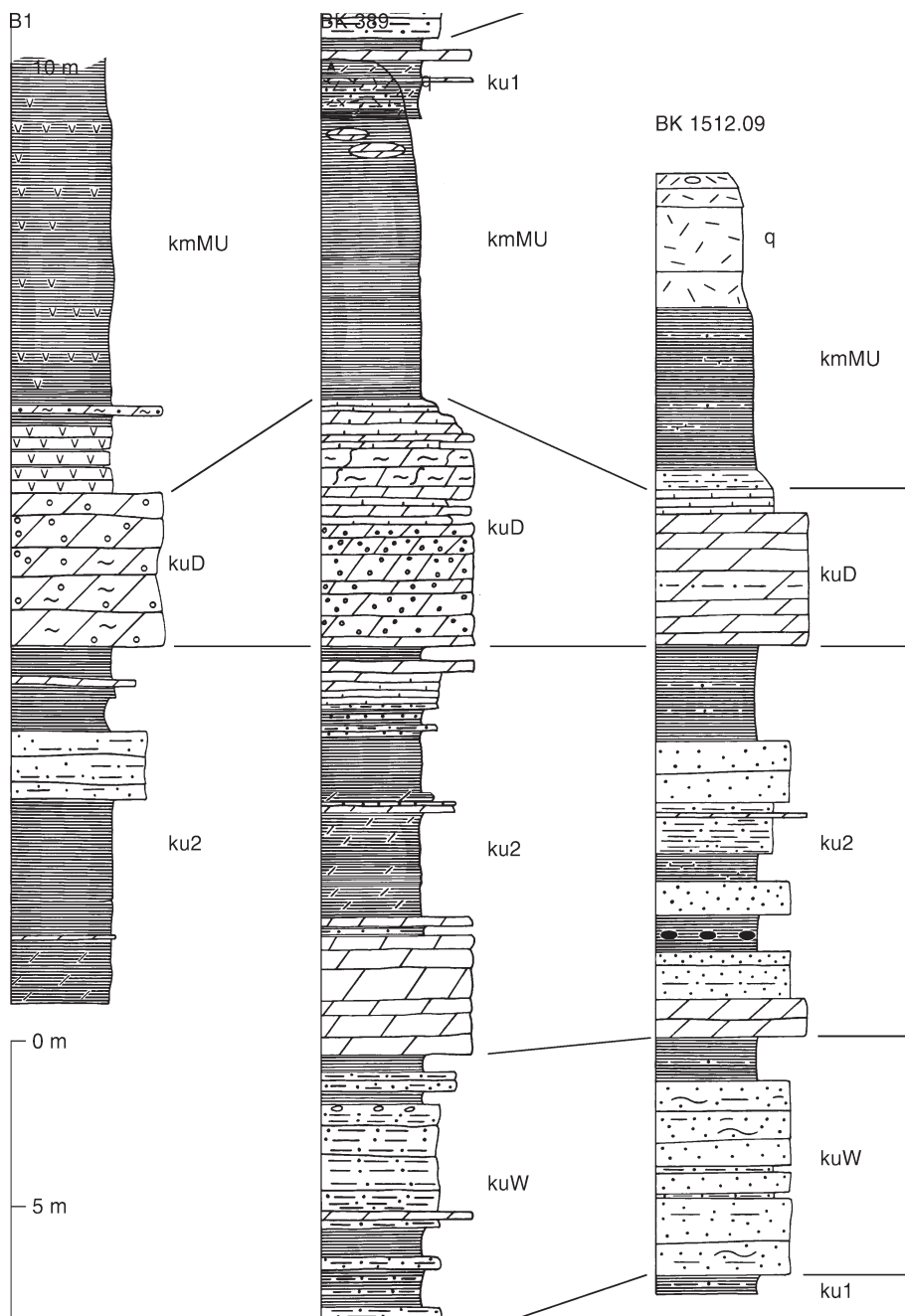


Abb. 11. Profilkorrelation der Unteren Myophorienschichten und des Unteren Keupers. – Legende s. Abb. 3.

#### 4.3.1. Grenzdolomit (kuD)

Mächtigkeit: 7,2 m (BK 389); 4,5 m (Brg. Wiesenfeld); 4,6 m (BK 1512.09, bei Schicht-einfallen von ca. 50°).

Gesteinsausbildung: Dolomitstein, sehr hart, teils oolithisch, teils zellig porös, grau; zuoberst Mergelstein, tonig, grün- bis gelbgrau.

#### 4.3.2. Obere Tonstein-Gelbkalkschichten (ku2)

Mächtigkeit: 12,0 m (BK 389); 11,5 m (BK 1512.09, bei Schichteinfallen von ca. 50°).

Gesteinsausbildung: Tonstein, (dunkel)grau, teils siltig, lagenweise mergelig; mit Siltsteinlagen, tonig, feinsandig, grau; mit Sandsteinlagen, feinkörnig, siltig, tonig; mit Dolomitsteinlagen, sehr hart, grau.

Die einzelnen Horizonte innerhalb der Tonstein-Gelbkalkschichten sind nicht eindeutig mit denen im mainfränkischen Raum zu korrelieren. Der Obere Sandstein tritt im Coburger Raum auch in Flutfazies auf und kann dann die Mächtigkeit des Werksandsteins erreichen, schreibt RIECH (1972). Im Unteren Keuper E Coburg in der Eisfeld/Kulmbacher Störungszone und SE Kronach bis nach Kulmbach hin dominiert tonige Fazies ohne kartierbare Sandsteine den Unteren Keuper berichtet B. SCHRÖDER (schriftl. Mitt. 1999).

#### 4.3.3. Werksandstein-Bereich (kuW)

Mächtigkeit: 8,4 m (BK 389); 7,0 m (BK 1512.09, bei Schichteinfallen von ca. 50°).

Gesteinsausbildung (BK 389): Siltstein, tonig, feinsandig, graugrün; mit Sandsteinlagen, feinkörnig, tonig; mit Tonsteinlagen, siltig, lagenweise feinsandig, rotbraun, graugrün; mit zwei Roteisensteinknollen; lagenweise Pflanzenhäcksel; mit Conchostraken; mit Bonebed (Fischschuppen).

#### 4.3.4. Untere Tonstein-Gelbkalkschichten (ku1)

Mächtigkeit: ca. 17 m im Raum Coburg (RIECH 1972).

Gesteinsausbildung (BK 389): Tonstein, graugrün, siltig, lagenweise dolomitisch; mit Dolomitsteinlage, sehr hart, grau; mit Roteisensteinknolle.

### 5. Gamma-Ray-Logs

An drei Kernbohrungen im Mittleren Keuper wurden Gamma-Ray-Logs (GRL) gemessen (Abb. 12). Ein Vergleich mit entsprechenden Logs benachbarter Tiefbohrungen (Obersees und Staffelstein I bzw. II) ist durch die unterschiedliche Auflösung infolge unterschiedlicher Loggeschwindigkeiten sowie durch die unterschiedliche Spreizung und die unterschiedlichen Maßeinheiten (API bzw. cps) der Kurven erschwert. Zudem beruhen die angegebenen stratigraphischen Grenzen bei den Kernbohrungen sowie der Bohrung Obersees auf der Kernansprache, bei der Bohrung Staffelstein II hingegen auf einer Kombination aus Bohrgutansprache und Interpretation der Bohrlochmessungen.

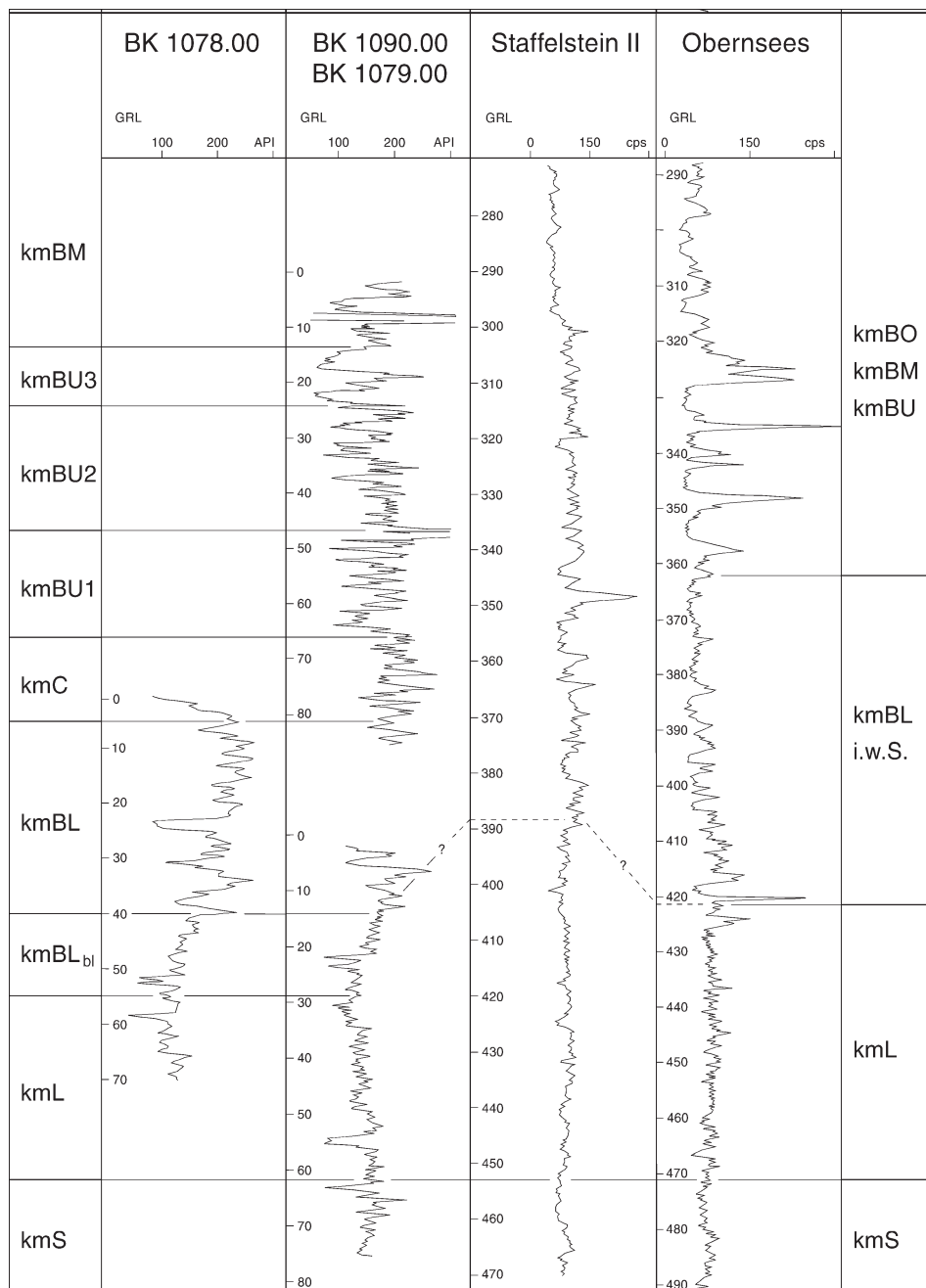


Abb. 12. Gamma-Ray-Logs.



Dennoch lassen sich die Lehrbergschichten sowie die Basisletten des Blasensandsteins durch ihr ruhiges Kurvenmuster mit relativ niedriger Intensität in allen Bohrungen eindeutig abgrenzen. Die unruhigen Kurvenmuster mit großen Amplituden weisen in den Kernbohrungen sowie in der Bohrung Obernsees auf einen höheren Sandsteinanteil hin, wobei die hohen Amplituden in BK 1090.00 möglicherweise durch Uran- und Thoriumanreicherungen im Burgsandstein bedingt sind.

In der Bohrung Staffelstein II zeigt das GRL des Sandsteinkeupers – ebenso wie in der hier nicht dargestellten Bohrung Staffelstein I – jedoch ein wesentlich ruhigeres Muster mit deutlich geringeren Amplituden, was vermutlich auf die einheitlichere (tonige) Ausbildung des Sandsteinkeupers in dieser Bohrung zurückzuführen ist.

Die Bohrungen Staffelstein I und II repräsentieren somit die Beckenfazies, wogegen die Kernbohrungen und die Bohrung Obernsees bereits der Randfazies des Keuperbeckens zuzuordnen sind (vgl. FREUDENBERGER 1996: Abb. 3.2-3, 3.2-4).

## **6. Faziesentwicklung und Sedimentationsbedingungen im Keuper des Coburger Landes**

(nach FREUDENBERGER 1996, dort ausführliche Literaturhinweise)

Der Untere Keuper (Keuperprofil s. Abb. 13) wurde in teils flachmarinem, teils lagunärem und teils brackischem Milieu abgelagert. Untermeerische Schwellen und Barrieren ermöglichen je nach Süßwasserzufluß und Klimabedingungen kleinräumige Bereiche, in denen das Meerwasser ausgesüßt oder übersalzen war. Dem ständigen Wechsel im Ablagerungsmilieu entspricht die bunte Vielfalt der Gesteine: Graue und gelbe Kalk- und Dolomitsteinbänke gelten als Ablagerungen von Meeresvorstößen, die schwarzgrünen Ton- und Mergelsteine sowie die feinkörnigen, graugrünen Sandsteine als brackische und limnische Absätze eines riesigen Stromdeltas.

Zu Beginn des Mittleren Keupers fand weitgehend Eindampfung des Meerwassers statt (Evaporit-Playa-Milieu). Die Myophorien- und Estherienschichten geben Hinweise auf wechselnden, teils aber auch stark eingeschränkten Wasseraustausch (Gipslagen) mit der offenen See. Vereinzelt marine Ingressionen setzten geringmächtige, aber charakteristische Dolomitsteinbänkchen („Steinmergelbänke“) ab, wie z. B. die Bleiglanzbank innerhalb der Myophorienschichten oder den *Acrodus*-*Corbula*-Horizont, mit dem die Estherienschichten beginnen. Auf diese mächtige, bunte Tonsteinserie folgt der Schilfsandstein, eine Sandschüttung, die als Flächen- oder Rinnenbildung (Stillwasser- oder Flutfazies) vorliegt und in limnischem und zumindest zeitweise brackisch-lagunärem Bereich abgelagert wurde. Darüber folgen die Lehrbergschichten, eine Ton- und Tonmergelstein-Serie mit Steinmergelbänken und Einlagerungen von Gips. Die Ablagerung vollzog sich in übersalzenem aquatischem Milieu bei hohem Oxidationszustand (Playasee). Im folgenden Sandsteinkeuper schoben sich Sandschüttungen (Blasensandstein und Coburger Sandstein) in den zunächst noch im mehr tonigem Beckenfaziesbereich gelegenen Ablagerungsraum. Auf den gipsführenden Unteren Burgsandstein (Heldburg-Fazies) folgt die sandig-dolomitische Fazies des Mittleren Burgsandsteins, die „Dolomitischen Arkosen“, und des Oberen Burgsandsteins. Im Übergangsbereich zwischen sandiger Randfazies und tonig-evaporitischer Beckenfazies entwickelten sich mächtige Krustenkarbonate (laminierte und brecciierte Dolomikritlagen) im Wechsel mit Chalcedonlagen und -knollen, die sich unter ariden bis semiariden Klimabedingungen in einem Playa-Milieu (Karbonatmarschen) bildeten. Gegen Ende des Mittleren Keupers änderte sich das Bildungs-

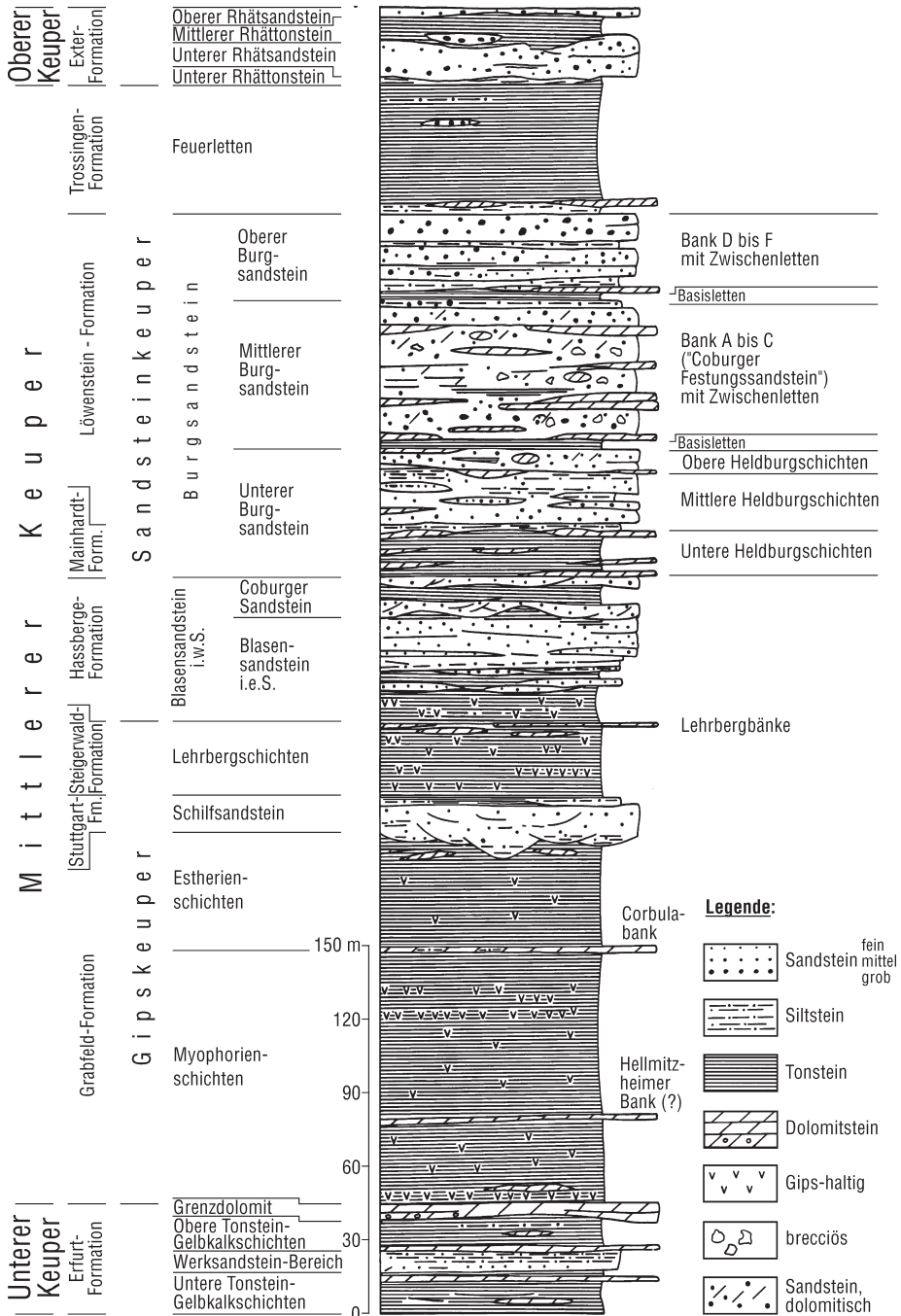


Abb. 13. Schichtenfolge des Keupers im Coburger Land.

milieu, und unter brackisch-limnischen Bedingungen wurden rotviolette Ton- und Tonmergelsteine, der Feuerletten, abgelagert.

Mit dem Oberen Keuper kehrten marine Verhältnisse zurück – ein unruhiger Zeitabschnitt mit wechselnden Vorstößen (Rhättransgression) und Rückzügen des Meeres. Auf trockenengefallenen Schwellen erfolgte Abtragung, in Mulden Sand- und Tonsedimentation. So findet man neben horizontalgeschichteten Lagen Rinnenbildungen, z. T. mit Schrägschichtung und Umlagerung. Einzelne Gesteinslagen (Grünsandstein), Muschelabdrücke und Bonebeds mit Fischresten bezeugen marinen Einfluß.

## 7. Literatur

- AIGNER, T. & BACHMANN, G. H. (1992): Sequence stratigraphic framework of the German Triassic. – *Sediment. Geol.*, **80**: 1–121, Amsterdam.
- AIGNER, T. & BACHMANN, G. H. (1998): Sequence stratigraphy of the German Triassic: A short overview. – *Hallesches Jb. Geowiss., B*, **6**: 23–26, Halle.
- BACHMANN, G. H. & BEUTLER, G. (1996): Fluviale Zyklen im Schilfsandstein (Obere Trias) von Neinstedt am Harz. – *Hallesches Jb. Geowiss., B*, **18**: 131–140, Halle.
- BAYERISCHES OBERBERGAMT (1936): Die nutzbaren Mineralien, Gesteine und Erden Bayerns, II. Bd.: Franken, Oberpfalz und Schwaben nördlich der Donau. – 512 S., München.
- BEUTLER, G. (1998): Keuper. – *Hallesches Jb. Geowiss., B*, **6**: 45–58, Halle.
- BLOOS, G. (1979): Über den Jura am Großen Haßberg (Unterfranken, N-Bayern) mit Bemerkungen zum Rät. – *Stuttgarter Beitr. Naturkde.*, **44**(1): 53 S., Stuttgart.
- BLOOS, G. (1981): Faziesentwicklung im tieferen Lias zwischen Coburg und Bayreuth (marin-litoral-terrestrisch) (Exkursion J am 25. April 1981). – *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver.*, N. F. **63**: 139–150, Stuttgart.
- BLOOS, G. (1998): Triassic/Liassic boundary at Ebersdorf bei Coburg. – In: BACHMANN, G. & BEUTLER, G.: Excursion G. The Classic Germanic Triassic in the Southern part of the German Basin: Stratigraphy, Sedimentary Environment, Cyclic and Sequence Stratigraphy. – *Hallesches Jb. Geowiss., B*, **6**: 153–194, Halle.
- BRANIEK, G. (1995): JOHANN SEBASTIAN ALBRECHT. – *Mitteilungsbl. Thüring. Geol. Ver.*, **5**(1): 41–42, Weimar.
- DOBNER, A. (1984): Tone und Mergel des Mesozoikums. – In: WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W.: *Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern.* – *Geologica Bavarica*, **86**: 447–462, München.
- DOCKTER, J. (1995): Keuper. – In: SEIDEL, G. [Hrsg.]: *Geologie von Thüringen.* – 332–362, Stuttgart (Schweizerbart).
- EMMERT, U. (1964): Keuper. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 500 000.* – 2. Aufl.: 91–120, München.
- EMMERT, U. (1965): Ist der Schilfsandstein des Mittleren Keupers eine Flußablagerung? – *Geologica Bavarica*, **55**: 141–168, München.
- FLACHE, D. (1987): Sandsteinkeuper, Feuerletten, Oberkeuper und Lias des Main-, Lauter- und Baunachtal-Gebietes nordwestlich Bamberg/Südliche Haßberge. – *Dipl.-Arb. Univ. Bochum*: 287 S., Bochum.
- FREUDENBERGER, W. (1994): *Geologische Übersichtskarte 1:200 000, CC 6326 Bamberg.* – Hannover (B.-Anst. Geowiss. Rohst.).
- FREUDENBERGER, W. (1996): Trias. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 500 000.* – 4. Aufl.: 64–89, München.

- FREUDENBERGER, W. (1999): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6126 Dettelbach. – München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- FREUDENBERGER, W., FRITZER, T. & GEIGER, A. (1998): Der Mittlere und Obere Buntsandstein in Kernbohrungen bei Coburg. – *Geologica Bavarica*, **103**: 29–320, München.
- FREYBERG, B. VON (1965): Cyclen und stratigraphische Einheiten im Mittleren Keuper Nordbayerns. – *Geologica Bavarica*, **55**: 130–145, München.
- GEYER, G. (1990): Quo vadis, Schilfsandstein? – *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver.*, **72**: 319–322, Stuttgart.
- GUDDEN, H. (1981): Der Untere Keuper in Bohrungen zwischen Eltmann und Rodach. – *Geol. Bl. NO-Bayern*, **31**: 448–462, Erlangen.
- GWINNER, M. P. (1980): Eine einheitliche Gliederung des Keupers (Germanische Trias) in Süddeutschland. – *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.* **1980**: 229–234, Stuttgart.
- HAARLÄNDER, W. (1962): Der Burgsandstein des Burgberg-Gebietes in Erlangen. – *Geol. Bl. NO-Bayern*, **12**: 16–56, Erlangen.
- HAHN, L. (1967): Rhät-Lias-Profile östlich Coburg. – *Geol. Bl. NO-Bayern*, **17**(4): 203–213, Erlangen.
- HAHN, L. (1974): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5732 Sonnefeld. – 141 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HAUNSCHILD, H. (1976): Neue Gipskeuper-Profile aus Tiefbohrungen südlich Bayreuth. – *Geol. Bl. NO-Bayern*, **26**: 245–262, Erlangen.
- HAUNSCHILD, H. (1981): Ein Beitrag zur Lithologie und zur Stratigraphie des Unteren Gipskeupers im südlichen Franken sowie zur Mächtigkeitentwicklung des gesamten Gipskeupers. – *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver.*, N. F. **63**: 293–313, Stuttgart.
- HAUNSCHILD, H. (1985): Der Keuper in der Forschungsbohrung Obernsees. – *Geologica Bavarica*, **88**: 103–130, München.
- HAUNSCHILD, H. (1993): Keuper. – In: GUDDEN, H. & HAUNSCHILD, H.: Die Trias in der Forschungsbohrung Abenberg 1001. – *Geologica Bavarica*, **97**: 54–66, München.
- HAUNSCHILD, H. (1994): Neue Daten zum Schilfsandstein-Vorkommen in und um Lichtenau bei Ansbach (Mittlerer Keuper, Trias). – *Geol. Bl. NO-Bayern*, **44**(3–4): 133–172, Erlangen.
- HAUNSCHILD, H. & OTT, W.-D. (1982): Profilbeschreibung, Stratigraphie und Paläogeographie der Forschungsbohrung Dinkelsbühl 1001. – *Geologica Bavarica*, **83**: 5–55, München.
- HOFFMANN, D. (1967): Rhät und Lias nordwestlich der Frankenalb auf Blatt Seßlach. – *Erlanger geol. Abh.*, **68**: 34 S., Erlangen.
- HOFFMANN, D. (1970): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 5831 Seßlach. – 106 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HOFFMANN, U. (1967): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6225 Würzburg Süd. – 134 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- KELBER, K.-P. & KONJENBURG-VAN CITTERT, J. H. A. VAN (1997): A new Rhaetian flora from the neighbourhood of Coburg (Germany) – preliminary results. – *Proceedings 4th. Europ. Palaeobot. Palynol. Conf. Heerlen 1994 (EPPC)*. – *Meded. Ned. Inst. Toegepaste Geowetenschappen TNO*, **58**: 105–113, Haarlem.
- KELBER, K.-P., OKRUSCH, M. & NIKEL, S. (1997): Exotische Kristallingerölle aus dem süddeutschen Schilfsandstein (mittlerer Keuper; Trias). – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **206**(1): 93–131, Stuttgart.
- KESSLER, G. (1973): Sedimentologische Untersuchungen im oberfränkischen Rhätolias. – *Erl. geol. Abh.*, **93**: 60 S., Erlangen.
- KLAUA, D. (1969): Sedimentpetrographische Untersuchungen der Rhätsandsteine Thüringens. – *Geologie*, 18. Jg., Beih., **64**: 1–82, Berlin.

- KOSCHEL, R. (1970): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6031 Bamberg Nord. – 167 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- KRISL, P. & WALETZKY, J. (1999): Neue Profile durch den Sandsteinkeuper im nordwestlichen Oberfranken. – Geol. Bl. NO-Bayern, **49**(1–2): 71–92, Erlangen.
- KRUMBECK, L. (1939): Beiträge zur Geologie von Nordbayern XIII. Das Rhät in Nordwest-Franken. – Sitzungsber. phys.- med. Soz. Erlangen, **71**: 1–130, Erlangen.
- LORETZ, H. (1885 a): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten. Gradabteilungsblatt 70, No. 40, Blatt Meeder. – 35 S., Berlin.
- LORETZ, H. (1885 b): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten. Gradabteilung 70, No. 41, Blatt Neustadt a. d. Heide. – 36 S., Berlin.
- LORETZ, H. (1895): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten. Gradabteilung 70, No. 46, Blatt Coburg. – 50 S., Berlin.
- MADER, D. (1992): Beiträge zu Paläoökologie und Paläoenvironment des Buntsandsteins sowie ausgewählte Bibliographie von Buntsandstein und Keuper in Thüringen, Franken und Umgebung. – 628 S., Stuttgart (Fischer).
- MENZEL, D. & SCHRÖDER, B. (1994): Stand geologischer Arbeiten im Keuper der Grabfeldmulde (Südthüringen). – Beitr. Geol. Thür., N. F. **1**: 13–25, Jena.
- MOSES, H.-J. (1986): Karbonat- und Kieselkrusten im Burgsandstein und Feuerletten N-Bayerns. – Diss. Univ. Bochum: 95 S., Bochum.
- NITSCH, E. (1996): Fazies, Diagenese und Stratigraphie der Grabfeld-Gruppe Süddeutschlands (Keuper, Trias). – Diss. Univ. Köln: 304 S., Köln.
- OPITZ, W. (1965): Geologische Untersuchungen im Keuper bei Coburg. – Dipl.-Arb. Erlangen: o. S., Erlangen.
- PIEWAK, M. (1991): Die Rhät-Lias-Übergangsschichten im Raum Bayreuth. – Mitt. Naturwiss. Ver. Schweinfurt, **10**(2): 37–41, Schweinfurt.
- RIECH, V. (1972): Neue Ergebnisse geologischer Untersuchungen im Muschelkalk und Unterkeuper bei Coburg. – Z. Dt. Geol. Ges., **123**: 191–203, Hannover.
- RIECH, V. (1974): Keuper. – In: HAHN, L.: Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 5732 Sonnefeld. – 19–46, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- RUTTE, E. (1981): Bayerns Erdgeschichte. – 266 S., München (Ehrenwirth).
- SCHIRMER, W. (1967): Stratigraphie, Tektonik und Quartärgeschichte des Gebietes um Lichtenfels/Ofr. – Geol. Bl. NO-Bayern, **17**: 57–69, Erlangen.
- SCHIRMER, W. (1978): Exkursion durch die Jura-Ablagerungen am Obermain. – Sonderdr. Ber. Naturwiss. Ges. Bayreuth, **XVI**: 263–287, Bayreuth.
- SCHIRMER, W. (1981): Jura der Obermainalb (Exkursion D am 23. April 1981). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **63**: 51–69, Stuttgart.
- SCHREIBER, S. (1956): Faziesverhältnisse des Buntsandsteins und Keupers bei Kronach. – Erlanger geol. Abh., **22**: 72 S., Erlangen.
- SCHRÖDER, B. (1978): Fränkische Schweiz und Vorland. – Slg. geol. Führer, **50**: 94 S., Berlin (Borntträger).
- SCHUSTER, M. (1928): Abriß der Geologie von Bayern r. d. Rh. – VI. Abt.: 119 S., München (Oldenbourg u. Piloty & Loehle).
- THÜRACH, H. (1888/1889): Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken im Vergleiche zu den benachbarten Gegenden. – Geogn. Jh., **I**: 75–162, **II**: 1–90, Cassel.
- THÜRACH, H. (1901): Beiträge zur Kenntnis des Keupers in Süddeutschland. – Geogn. Jh., **13**: 7–53, München.

- WEINIG, H. (1984): Sandsteine des Keupers. – In: WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W.: Oberflächennahe Mineralische Rohstoffe von Bayern. – *Geologica Bavarica*, **86**: 249–266, München.
- WROBEL, J.-P. (1992): Die Thermalwassererschließungsbohrung Rodach 2/1988. – *Geol. Jb.*, **C 60**: 3–35, Hannover.
- WURSTER, P. (1964): Geologie des Schilfsandsteins. – *Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg*, **33**: 140 S., Hamburg.

## 8. Anhang

### 8.1. Kernprofilbeschreibungen

**Bohrprofil BK 285** (1992): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4427343, H 5560736 (E Großheirath)

Ansatzhöhe: 367 m ü. NN

Geologisches Profil:

- Quartär**
- 0,40 m Lehm, braun (Bodenbildung)
- Oberer Keuper (Rhät)**
- Mittlerer Rhättonstein
- 1,30 m Tonstein, gelbbraun, verwittert
- 20,20 m Tonstein, rotbraun (oben) bis schwarzgrau
- 20,70 m Tonstein, siltig bis feinsandig, graubraun
- 25,35 m Sandstein, oben mittel-, nach unten hin zunehmend grobkörnig, ab 24,60 m Feinkies, graubraun
- 26,40 m Tonstein, fett, graugrün
- Unterer Rhätsandstein
- 27,20 m Tonstein, teils siltig, rotbraun; Harnischflächen
- 28,10 m Tonstein, graugrün
- 30,70 m Sandstein, feinkörnig, grau bis grüngrau
- 31,50 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, grau; Pyrit auf Kluftfläche
- 31,60 m Sandstein, mittel- bis grobkörnig, grau; kohlig (?) belegte Harnischfläche
- Unterer Rhättonstein
- 35,60 m Tonstein, graugrün; Harnische
- Mittlerer Keuper**
- Feuerletten
- 60,00 m Tonstein, rotbraun; Karbonatknollen bei 37,50 m

Anmerkung: Nach der Aufschlußbeschreibung von Dr. FRITZER folgt die Lias-Sohlbank unmittelbar im Hangenden dieses Bohrprofils.

**Bohrprofil BK 1054.09** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4427862, H 5561158 (SW Obersiemau)

Ansatzhöhe: 341 m ü. NN

Geologisches Profil:

- Quartär**
- 0,10 m Boden, braun
- 1,50 m Aufschüttung
- 2,40 m Lehm

**Feuerletten**

- 6,10 m Tonstein, siltig, teils feinsandig, teils karbonatisch, rotbraun, gelbbraun
- 7,30 m Tonstein; im Wechsel mit Sandstein, feinkörnig, graubraun
- 8,80 m Tonstein, siltig, teils karbonatisch, rotbraun
- 9,60 m Dolomitstein, feinsandig; im Wechsel mit Silt- und Tonstein, rotbraun, grau
- 10,00 m Dolomitstein, sehr hart, hellgrau
- 13,00 m Siltstein, tonig, lagenweise feinsandig; mit Karbonateinschlüssen; Feinsandstein bei 10,8–11,0 m

**Oberer Burgsandstein**

- 18,10 m Sandstein, fein- bis grobkörnig, mäßig hart, kaolinitisiert, dünn- bis mittelbankig, grau
- 24,20 m Sandstein, fein- bis grobkörnig, grobkörnig bei 19,7–20,4 m, feinschichtig gebändert, grau
- 26,30 m Siltstein, tonig; im Wechsel mit Sandstein, feinkörnig, rotbraun, graugrün gefleckt
- 28,20 m Sandstein, mittel- bis grobkörnig, teils feinkiesig (Quarzkies), kaolinitisiert, mürbe, absandend, dünnbankig, grau
- 30,00 m Siltstein, tonig; im Wechsel mit Sandstein, fein- bis mittelkörnig, rotbraun, grau

**Bohrprofil BK 1059.00 (1993): Bl. 5831 Seßlach**

Lage: R 4427838, H 5561721 (SE Untersiemau)

Ansatzhöhe: 326 m ü. NN

Geologisches Profil:

**Quartär**

- 0,10 m Bodenbildung

**Oberer Burgsandstein**

- 2,20 m Sandstein, feinkörnig; im Wechsel mit Siltstein (verwittert)
- 3,40 m Sandstein, feinkörnig, grau; dolomitisch bei 3,2–3,4 m
- 3,80 m Sandstein, grob- bis mittelkörnig, grau
- 4,60 m Dolomitstein, grau
- 5,00 m Siltstein, teils karbonatisch
- 5,60 m Tonstein, rotbraun
- 8,70 m Siltstein, tonig, teils karbonatisch, rotbraun, wenig graugrün

**Mittlerer Burgsandstein**

Bank C

- 11,70 m Sandstein, feinkörnig, teils mittelkörnig, tonig, mäßig hart, dünnbankig, rotbraun
- 12,20 m Sandstein, mittelkörnig, mürbe, grau
- 13,50 m Sandstein, grobkörnig bis feinkiesig, mürbe; mit Tonstein-Einschlüssen
- 14,40 m Sandstein, feinkörnig, rotbraun, graugrün
- 15,00 m Siltstein, sandig, rotbraun

**Bohrprofil BK 1062.00 (1993): Bl. 5831 Seßlach**

Lage: R 4428090, H 5561987 (E Untersiemau)

Ansatzhöhe: 312 m ü. NN

Geologisches Profil:

**Quartär**

- 0,10 m Bodenbildung, braun
- 1,00 m Lehm, sandig, braun (Bodenbildung)

**Mittlerer Burgsandstein**

Bank A + B

- 2,10 m Siltstein, sandig (verwittert)
- 6,90 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, dolomitisch, hart, dünnbankig, feldspathaltig (kaolinitisiert)
- 8,50 m Dolomitstein, teils siltig und sandig, brecciös, violettbraun, graugrün
- 10,00 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, dünnbankig, grau
- 10,10 m Dolomitstein, stark sandig, grau

- 11,70 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, hart, dünnbankig, grau
  - 14,00 m Sandstein, mittel- bis grobkörnig, teils feinkiesig bei 13,3–13,6 m, grau
  - 15,40 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig; mit Dolomit- und Tonstein-Einschlüssen
  - 15,70 m Dolomitstein, grau(grün)  
Basisletten
  - 17,80 m Siltstein, tonig, rotbraun
  - 19,90 m Sandstein, feinkörnig, tonig, hart, dünn- bis mittelbankig, klüftig; Dolomitstein-Einschlüsse bei 18,9–19,0 m
  - 20,10 m Dolomitstein, sandig, grau
  - 22,00 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, tonig, teils dolomitisch, hart, dünnbankig, grau
  - 23,20 m Siltstein; im Wechsel mit Feinsandstein, rotbraun, grüngrau; Aufarbeitungshorizont bei 22,0–22,1 m
  - 23,40 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, mäßig hart, teils absandend, dünn- bis mittelbankig, grau
  - 24,50 m Sandstein, mittelkörnig, mäßig hart, teils absandend, dünn- bis mittelbankig, grau
  - 26,40 m Sandstein, grob- bis mittelkörnig, mäßig hart, teils absandend, dünn- bis mittelbankig, grau
  - 26,60 m Dolomitstein, sehr hart, grau
  - 28,20 m Siltstein, tonig, teils dolomitisch, oben rotbraun, unten graugrün; mit Dolomitstein-Einschlüssen
- Unterer Burgsandstein**  
Obere Heldburgschichten
- 30,00 m Sandstein, zuunterst fein- bis mittelkörnig, dann mittel- bis grobkörnig, mäßig hart, teils absandend, mittelbankig, grau

**Bohrprofil BK 1090.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429481, H 5567447 (NW Grub a. Forst)

Ansatzhöhe: 386 m ü. NN

Geologisches Profil:

**Quartär**

- 0,20 m Sand, lehmig, braun (Bodenbildung)
- 0,60 m Sand, lehmig; mit Dolomitsteinbrocken

**Mittlerer Burgsandstein**

Basisletten

- 3,80 m Sandstein, mittelkörnig, tonig, feldspathaltig, mittelbankig, schräggeschichtet, hellgrau
- 3,90 m Sandstein, feinkörnig, mäßig hart, teils mürbe, grau
- 4,30 m Tonstein, teils siltig, rotbraun
- 4,80 m Sandstein, feinkörnig, hellgrau
- 7,50 m Sandstein, mittelkörnig, mittelbankig, grau
- 8,10 m Sandstein, mittelkörnig, hellgrau, mit Dolomitknauern
- 8,50 m Dolomitstein, sehr hart, grau
- 9,00 m Siltstein, rotbraun; oben mit Dolomitsteinknuern
- 10,70 m Sandstein, feinkörnig, grau
- 11,20 m Dolomitstein, sandig, grau
- 11,50 m Sandstein, feinkörnig, grau
- 13,20 m Siltstein, mit Sandsteinlagen, feinkörnig

**Unterer Burgsandstein**

Obere Heldburgschichten

- 17,90 m Sandstein, oben fein-, dann mittel- und unten grobkörnig, feldspathaltig, mittelbankig, hellgrau
- 19,30 m Siltstein, rotbraun, graugrün; in feinschichtigem Wechsel mit Sandstein, feinkörnig, tonig
- 20,20 m Sandstein, feinkörnig, hart, dickbankig, grüngrau, rotbraun gefleckt
- 21,30 m Siltstein; in feinschichtigem Wechsel mit Ton- und Sandstein, feinkörnig
- 24,30 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, mittel- bis dickbankig, hellgrau



**Mittlere Heldburgschichten**

- 25,20 m Sandstein, grüngrau; mit Silt- und Tonstein in feinschichtigem Wechsel
- 25,70 m Sandstein, feinkörnig, grüngrau
- 26,40 m Siltstein, tonig, rotbraun, unten gesprenkelt
- 28,40 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, dünnbankig, hell- bis grüngrau; mit einzelnen mm-dicken Tonsteinlagen, graugrün
- 30,00 m Sandstein, grau; in feinschichtigem Wechsel mit Silt- und Tonstein, graugrün
- 33,30 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, mittelbankig, graugrün, rotbraun
- 33,70 m Siltstein, tonig, rotbraun
- 36,50 m Sandstein, grüngrau; im Wechsel mit Silt- und Tonstein, rotbraun; Siltstein, rotbraun bei 35,40–35,70 m
- 37,40 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, tonig, grüngrau; mit Tonsteinschmitzen und mm-dicken Tonsteinlagen
- 38,00 m Siltstein, tonig, rotbraun
- 38,80 m Sandstein, feinkörnig, tonig, grau, grüngrau gestreift
- 39,50 m Tonstein, siltig, rotbraun
- 41,80 m Sandstein, rotbraun, graugrün gestreift; im Wechsel mit Silt- und Tonstein
- 42,60 m Tonstein, siltig, rotbraun
- 43,50 m Sandstein, grüngrau; im Wechsel mit Silt- und Tonstein
- 43,70 m Dolomitstein, hart, grau
- 44,40 m Tonstein, siltig, dunkelviolet
- 45,00 m Siltstein, graugrün
- 45,20 m Dolomitstein, sehr hart, grau
- 46,00 m Siltstein, rotbraun, violettstichig

**Untere Heldburgschichten**

- 46,80 m Tonstein, schwarzgrau; mit wenigen mm-dicken Sandsteinlagen, hellgrau
- 47,00 m Dolomitstein, sandig, grau
- 48,30 m Tonstein, schwarzgrau
- 48,70 m Dolomitstein, grau
- 50,20 m Tonstein, schwarz
- 50,30 m Dolomitstein, grau
- 53,00 m Tonstein, schwarz; mit Dolomitstein bei: 50,80–50,83 m, 52,10–52,20 m, 52,40–52,50 m
- 53,20 m Dolomitstein, grau
- 54,50 m Tonstein, schwarz
- 54,80 m Dolomitstein, grau
- 66,00 m Tonstein, schwarz; mit Dolomitstein bei: 55,1–55,2 m, 56,5–56,7 m, 56,9–57,3 m, 58,4–58,5 m, 59,7–59,8 m, 60,2–60,4 m, 61,2–61,6 m, 62,2–62,3 m, 63,2–63,3 m, 63,5–63,6 m, 63,7–63,8 m, 65,6–65,7 m; mit Dolomitsteineinschlüssen bei: 64,7–64,9 m; mit Feinsandsteinlagen bei: 63,25 m; 63,6 m; 63,9 m;

**Coburger Sandstein****Oberbank**

- 66,30 m Tonstein, grün; im Wechsel mit Sandstein, feinkörnig, grau
- 67,20 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig; mit vereinzelt Tonsteinlagen
- 68,10 m Sandstein, feinkörnig, mittelbankig, grau(grün)
- 70,70 m Sandstein, feinkörnig; mit vereinzelt Tonsteinlagen

**Zwischenletten**

- 72,20 m Tonstein, rotbraun, graugrün; wenig Feinsandlagen

- 72,80 m Siltstein, graugrün; mit 2 dünnen Feinsandlagen

- 74,70 m Tonstein, rotbraun, graugrün; mit Siltsteinlage bei 74,0–74,2 m

- 75,20 m Sandstein, feinkörnig; in feinschichtigem Wechsel mit Tonsteinlagen

- 75,90 m Siltstein, graugrün, rotbraun

- 76,40 m Tonstein, rotbraun

**Unterbank**

- 76,50 m Siltstein, graugrün

- 77,50 m Sandstein, feinkörnig, mit Schräg- und Kreuzschichtung, hellgrau; mit Tonsteinlagen, grau-grün  
Grenzletten
- 78,00 m Tonstein, graugrün; mit vereinzelt Feinsandlagen
- 79,00 m Tonstein, rotbraun
- 81,40 m Tonstein, graugrün; im Wechsel mit Sandstein, feinkörnig; Aufarbeitungshorizont (Tonstein) bei 80,5–80,7 m  
**Blasensandstein**  
Werksandstein
- 81,60 m Sandstein, feinkörnig, grau
- 82,00 m Siltstein, graugrün
- 82,20 m Sandstein, feinkörnig, braun, rötlich; Klüfte karbonatisch verheilt
- 83,30 m Sandstein, feinkörnig; im Wechsel mit Tonstein, graugrün
- 83,80 m Siltstein, graugrün; mit vereinzelt Feinsandlagen
- 84,00 m Tonstein, graugrün
- 85,00 m Tonstein, siltig, rotbraun

**Bohrprofil BK 1107.09** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429216, H 5571045 (NNW Rögen)

Ansatzhöhe: 372 m ü. NN

Geologisches Profil:

- Quartär**
- 1,00 m Hanglehm
- 2,90 m Hangschutt, Dolomitsteinbrocken, rotbraun  
**Coburger Sandstein**  
Unterbank
- 3,50 m Sandstein, feinkörnig, graugrün (verwittert)
- 4,50 m Siltstein, tonig, graugrün
- 7,60 m Sandstein, feinkörnig, hellgrau  
Grenzletten
- 9,50 m Tonstein, siltig, graugrün
- 10,20 m Tonstein, siltig, rotbraun
- 10,60 m Tonstein, grün  
**Blasensandstein**  
Werksandstein + Sandstein-Letten-Wechselfolge
- 13,10 m Sandstein, feinkörnig, tonig, feinschichtig; im Wechsel mit Tonstein, grau(grün)
- 15,40 m Siltstein, tonig, rotbraun, graugrün
- 24,60 m Siltstein, rotbraun, graugrün; im Wechsel mit Sandstein, feinkörnig
- 35,10 m Sandstein, feinkörnig, teils siltig, tonig, hart, teils löcherig, mittel- bis dünnbankig, rotbraun, graugrün gefleckt
- 37,20 m Sandstein, mittel- bis feinkörnig, tonig, teils karbonatisch; mit Tonsteinschmitzen, graugrün
- 42,10 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, tonig, hart, mittel- bis dickbankig, rotbraun, hellgrau, teils gefleckt  
Basisletten
- 46,20 m Tonstein, siltig, lagenweise feinsandig, rotbraun, graugrün; Sandstein bei: 42,5–42,8 m, 44,9–45,0 m
- 57,00 m Tonstein, violettbraun (50–57 m), rotbraun, graugrün; mit Gipsknauern bei: 47,40–47,41 m, 51,8–52,2 m, 53,4–53,8 m  
**Lehrbergsschichten**
- 60,00 m Tonstein, rotbraun, graugrün, violettbraun; mit sehr viel Gipsknauern
- 70,00 m Tonstein, bis 66,0 m rotbraun, bis 70,0 m graugrün, rotbraun; mit Gipslagen, -schnüren und -knauern (5–10 % des Profilabschnitts); Dolomitstein bei 68,7–68,9 m, sehr hart, grau

**Bohrprofil BK 1079.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429155, H 5565299 (SW Roth)

Ansatzhöhe: 352 m ü. NN

Geologisches Profil:

- 0,20 m **Quartär**  
Aufschüttung
- **Blasensandstein**  
Sandstein-Letten-Wechselfolge
- 2,80 m Tonstein; im Wechsel mit Sandstein, feinkörnig, rotbraun
- 6,20 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, dünn- bis mittelbankig, grau; Tonsteinschmitzen, grün
- 9,80 m Tonstein; im Wechsel mit Sandstein, feinkörnig; mit Karbonateinschlüssen
- 11,40 m Tonstein, siltig, rotbraun
- 13,40 m Siltstein, teils feinsandig, rotbraun, graugrün  
Basisletten
- 21,40 m Tonstein, siltig, violettbraun; mit Karbonateinschlüssen
- 28,70 m Tonstein, hellbraun, rotbraun; mit sehr viel Gips besonders bei 21,4–21,6 m; mit Karbonateinschlüssen; Steinmergel bei 22,3–22,7 m
- **Lehrbergsschichten**
- 30,60 m Siltstein, tonig, violettbraun, hellbraun, graugrün; mit cm-dicken Gipslagen
- 30,80 m Dolomitstein
- 31,90 m Siltstein, tonig, graugrün; mit cm-dicken Gipslagen; mit Dolomitstein bei 31,3–31,4 m
- 33,60 m Tonstein, rotbraun; mit cm-dicken Gipslagen
- 33,90 m Dolomitstein, tonig, graugrün (Steinmergel)
- 62,20 m Tonstein, rotbraun, teils graugrün; im ständigen Wechsel mit cm-dicken Gipslagen, auch auf Klüften (10 % des Profilabschnitts Gips) Tonstein, siltig, karbonatisch, rotbraun, graugrün; mit cm-dicken Gipslagen
- **Schilfsandstein**
- 67,90 m Siltstein, hart, graugrün; mit 5 cm mächtiger Gipslage
- 72,60 m Tonstein, siltig, lagenweise feinsandig, rotbraun
- 75,00 m Sandstein, feinkörnig; in feinschichtigem Wechsel mit Siltstein, dunkelbraun

**Bohrprofil BK 1083.00** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429186, H 5565694 (W Roth a. Forst)

Ansatzhöhe: 289 m ü. NN

Geologisches Profil:

- **Quartär**
- 0,30 m Auffüllung, künstlich
- 1,90 m Ton, stark siltig, rotbraun
- 3,50 m Ton, siltig, schwarzgrau
- 5,80 m Kies, sandig, siltig, tonig; mit Sandsteingeröllen
- **Lehrbergsschichten**
- 8,50 m Siltstein stark tonig, rotbraun
- **Schilfsandstein (Flutfazies)**
- 9,20 m Tonstein, siltig, dunkelgrau, grünlich
- 9,30 m Sandstein, feinkörnig, grau, grünlich
- 11,00 m Tonstein, stark siltig, dunkelgrau, grünlich
- 14,60 m Sandstein, mäßig hart, flaserig, zuoberst graubraun, sonst graugrün; im Wechsel mit siltigem Tonstein, feinschichtig
- 15,50 m Sandstein, feinkörnig, mäßig hart, flaserig, graugrün
- 17,00 m Sandstein, rotbraun, graugrün gefleckt; mit Tonsteinlagen, siltig
- 17,60 m Sandstein, feinkörnig, hart, flaserig
- 18,80 m Siltstein, tonig, dunkelgrau, teils rotbraun, graugrün gefleckt (? Aufarbeitungshorizont)

- 22,00 m Sandstein, feinkörnig, siltig, tonig, mäßig hart, graugrün; mit geringmächtigen Tonsteinzwischenlagen
- 23,20 m Siltstein, feinsandig, tonig, dunkelgrau; Pflanzenreste
- 26,00 m Sandstein, feinkörnig, siltig, tonig, mäßig hart, dunkelgrau, teils feinschichtig, teils flaserig; mit zahlreichen Tonsteinzwischenlagen, siltig, feinsandig
- 34,00 m Siltstein, dunkelgrau, graugrün, laminiert; mit wenigen Tonsteinlagen, siltig; Feinsandstein bei 33,00–33,10 m; Pyrit auf Klufffläche
- Estherienschiechten (?)**
- 40,00 m Tonstein, schwach siltig, dunkelgrau

**Bohrprofil 1 (1992):** Bl. 5631 Meeder

Lage: R 4422800, H 5574600 (NE Wiesenfeld)

Ansatzhöhe: 308 m ü. NN (aus TK 25 entnommen)

Profilaufnahme: Dr. W. FREUDENBERGER unter Mitwirkung von Dr. F. LEITZ

Geologisches Profil (Aufschlußprofil: 0,0–4,5 m; Bohrprofil

(Meißelbohrung): 4,5–118,0 m):

**Mittlerer Keuper**

Estherienschiechten

- 0,2 m Dolomitstein, siltig, grau (Corbulabank)
- Obere Myophorienschiechten
- 1,0 m Tonstein, teils siltig, graugrün
- 1,9 m Tonstein, rotbraun
- 2,3 m Tonstein, graugrün
- 3,2 m Tonstein, rotbraun
- 4,5 m Tonstein, graugrün, rotbraun im Wechsel
- 5 m Tonstein, rotbraun
- 6 m Tonstein, graugrün
- 8 m Tonstein, rotbraun; Karbonateinschlüsse
- 17 m Tonstein, graugrün, dunkel
- 19 m Tonstein, graugrün, dunkel; mit Gips, grau, hell
- 23 m Tonstein, graugrün, dunkel; mit Anhydrit
- 25 m Anhydrit, grau; mit Tonsteinlagen
- 31 m Tonstein, graugrün, dunkel; mit Gipslagen
- 33 m Anhydrit; mit Tonsteinlagen
- 37 m Tonstein, rotbraun; mit Gipslagen
- 44 m Tonstein, graugrün, dunkel; mit Gipslagen
- 51 m Tonstein, rotbraun; mit wenig Gipslagen
- Untere Myophorienschiechten
- 66 m Tonstein, graugrün, dunkel; mit sehr wenig Gips
- 67 m Tonstein, rotbraun
- 68 m Dolomitstein, teils Tonstein, dolomitisch, sehr hart, splittrig, graugrün (Bochinger Bank?)
- 70 m Tonstein, rotbraun
- 75 m Tonstein, rotbraun, teils graugrün; mit Gipslagen, hellgrau
- 77 m Tonstein, graugrün; mit Gipslagen
- 79 m Tonstein, rotbraun, graugrün, fett (Residualton)
- 81 m Tonstein, graugrün, dunkel; mit Gipslagen
- 85 m Tonstein, rotbraun; mit wenig Gipslagen
- 92 m Tonstein, graugrün, dunkel, fett (Residualton); mit wenig Gipslagen
- 100 m Tonstein, graugrün, dunkel; mit Gips- und Anhydritlagen
- 101 m Tonstein, graugrün, porös, dünn; mit Dolomitsteinlage („Grundlage“)
- 103 m Anhydrit, wenig Tonstein

**Unterer Keuper**

## Grenzdolomit

- 107,5 m Dolomitstein, grau, porös, teils oolithisch  
Obere Tonstein–Gelbkalkschichten
- 108 m Tonstein, schwarzgrau, fett (Residualton)
- 109 m Tonstein, graugrün, teils dolomitisch, splittrig
- 110 m Tonstein, teils siltig, schwarzgrau, fett (Residualton)
- 112 m Sandstein, feinkörnig, siltig, graugrün, Glimmergehalt; Pflanzenabdruck (Oberer Sandstein)
- 114 m Tonstein, dunkelgrau
- 115 m Tonstein, dunkelgrau, teils rotbraun
- 118 m Tonstein, teils etwas dolomitisch, dunkelgrau

**Bohrprofil BK 389** (1992): Bl. 5631 Meeder

Lage: R 4425191, H 5574904 (SW Beuerfeld)

Ansatzhöhe: 314 m ü. NN

Geologisches Profil:

**Quartär**

- 0,40 m Aufschüttung, künstlich
- 1,00 m Lehm, braun (Bodenbildung)
- 1,50 m Lehm, rötlichbraun (Auelehm)

**Mittlerer Keuper**

## Untere Myophorienschichten

- 5,80 m Tonstein, graugrün, mergelig, bröckelig; Dolomitsteinbruchstücke bei 2,50–2,60 m
- 6,00 m Tonstein, blaugrau, violettstichig
- 7,00 m Tonstein, graugrün
- 8,50 m Tonstein, dunkelgrau
- 9,00 m Tonstein, graugrün, mergelig
- 9,40 m Tonstein, dunkelgrau
- 10,00 m Tonstein, graugrün, mergelig

**Unterer Keuper**

## Grenzdolomit

- 10,30 m Mergelstein, grün- bis gelbgrau, mergelig, tonig, brecciös
- 11,00 m Mergelstein, gelbgrau, dolomitisch, bröckelig
- 11,15 m Dolomitstein, grau
- 11,35 m Mergelstein, grau, dolomitisch
- 12,50 m Dolomitstein, grau, zellig, porös
- 14,00 m Mergel- und Dolomitstein im Wechsel, gelbgrau, zuunterst oolithisch
- 16,90 m Dolomitstein, grau, oolithisch (Oolithstein)
- 17,20 m Dolomitstein, gelblichgrau  
Obere Tonstein–Gelbkalkschichten
- 17,60 m Tonstein, dunkelgrau, schwarz
- 17,95 m Dolomitstein, grau, sehr hart
- 18,50 m Mergelstein, grau, dolomitisch
- 18,90 m Mergelstein, grau, tonig
- 19,00 m Siltstein, feinsandig, grau (Oberer Sandstein)
- 19,50 m Tonstein, siltig, grau
- 19,70 m Siltstein, feinsandig, grau, bräunlich (Oberer Sandstein)
- 19,95 m Tonstein, rotbraun, lagenweise siltig
- 21,50 m Tonstein, rotbraun, siltig
- 21,80 m Tonstein, grau, dolomitisch
- 21,85 m Sandstein, fein- bis mittelkörnig, flaserig, grau
- 22,10 m Dolomitstein, grau

- 22,30 m Tonstein, grau, dolomitisch
- 23,60 m Tonstein, grau
- 24,00 m Tonstein, grau, dolomitisch
- 24,25 m Tonstein, rotbraun, siltig
- 25,20 m Tonstein, grau, dolomitisch
- 25,45 m Dolomitstein, grau
- 25,70 m Tonstein, dunkelgrau, schwach siltig
- 29,20 m Dolomitstein, grau, zuunterst grünlich (Albertibank)  
Werksandstein-Bereich
- 29,70 m Tonstein, rotbraun
- 29,95 m Siltstein, graugrün
- 30,30 m Sandstein, feinkörnig, siltig, rotbraun, zuoberst grünlich
- 30,65 m Tonstein, grüngrau
- 33,20 m Siltstein, grau, tonig; Roteisensteinknolle bei 30,80 m; Conchostraken bei 33,20 m
- 33,80 m Siltstein, feinsandig, graugrün
- 34,05 m Dolomitstein, grau
- 34,30 m Siltstein, graugrün
- 35,15 m Tonstein, rotbraun, zuunterst grüngrau
- 35,50 m Siltstein, feinsandig; Roteisensteinknöllchen bei 35,05–36,00 m
- 36,55 m Tonstein, grau, siltig; lagenweise Pflanzenhäcksel
- 37,65 m Siltstein, grau; Bonebed (Fischschuppen) bei 37,05 m  
Untere Tonstein-Gelbkalkschichten
- 38,00 m Tonstein, graugrün, siltig
- 38,30 m Dolomitstein
- 38,80 m Tonstein, grau, lagenweise dolomitisch
- 38,90 m Dolomitstein, grau
- 40,00 m Tonstein, grau, teils dolomitisch, teils siltig; Roteisensteinknolle bei 39,70 m

## 8.2. Kurzprofile weiterer Kernbohrungen

Erklärung der Abkürzungen: Quartär (q), Lias (l), Oberer Rhättonstein (koTO), Oberer Rhätsandstein (koSO), Mittlerer Rhättonstein (koTM), Unterer Rhätsandstein (koSU), Unterer Rhättonstein (koTU), Feuerletten (kmF), Oberer Burgsandstein (kmBO), Mittlerer Burgsandstein (kmBM), Unterer Burgsandstein (kmBU), Coburger Sandstein (kmC), Blasensandstein i. e. S. (kmBL), Lehrbergsschichten (kmL), Schilfsandstein (kmS), Estheriensschichten (kmE), Untere Estheriensschichten (kmEU), Myophorienschichten (kmM), Obere Myophorienschichten (kmMO), Untere Myophorienschichten (kmMU), Grenzdolomit (kuD), Obere Tonstein-Gelbkalkschichten (ku2), Werksandstein-Bereich (kuW), Untere Tonstein-Gelbkalkschichten (ku1).

### **Bohrprofil 2** (B 5, 1993): Bl. 5832 Lichtenfels

Lage: R 4437190, H 5557730 (NW Michelau-Krappenroth); Ansatzhöhe: 331 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: –1,30 m q, –10,15 m l, –13,20 m koSO, –19,50 m koTM, –34,50 m koSU, –38,20 m koTU, – 52,80 m kmF

### **Bohrprofil 3** (B 10, 1993): Bl. 5832 Lichtenfels

Lage: R 4436800, H 5557770 (N Michelau-Krappenroth); Ansatzhöhe: 314 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: –0,75 m q, –22,50 m koSU, –24,60 m koTU, –52,00 m kmF

**Bohrprofil BK 302** (1992): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4427612, H 5562380 (E Untersiemau); Ansatzhöhe: 336 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,30 m q, -30,00 m kmBM

**Bohrprofil BK 315** (1992): Bl. 5731 Coburg

Lage: R 4427560, H 5564100 (NW Meschenbach); Ansatzhöhe: 312 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -1,00 m q, -2,70 m kmC, -28,40 m kmBL

**Bohrprofil BK 378** (1992): Bl. 5731 Coburg

Lage: R 4425870, H 5572294 (SW Bertelsdorf); Ansatzhöhe: 305 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -2,90 m q, -4,80 m kmL, -18,00 m kmS, -25,00 m kmE

**Bohrprofil BK 1046.09** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4426114, H 5559478 (SE Zilgendorf); Ansatzhöhe: 325 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,30 m q, -69,40 m l, -70,90 m koSO, -74,00 m koTM, -88,90 m koSU, -92,50 m koTU, -100,00 m kmF

**Bohrprofil BK 1050.00** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4427051, H 5560324 (ESE Großheirath); Ansatzhöhe: 354 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,80 m q, -39,50 m l, -41,30 m koSO, -48,10 m koTM, -50,00 m koSU

**Bohrprofil BK 1051.01** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4427321, H 5560857 (SSE Untersiemau); Ansatzhöhe: 353 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,50 m q, -1,20 m koTM, -10,00 m koSU, -12,20 m koTU, -41,50 m kmF

**Bohrprofil BK 1052.00** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4427353, H 5560940 (SSE Untersiemau); Ansatzhöhe: 339 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,70 m q, -25,30 m kmF

**Bohrprofil BK 1053.00** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4427313, H 5560972 (SSE Untersiemau); Ansatzhöhe: 336 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,80 m q, -20,00 m kmF

**Bohrprofil BK 1054.01** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4427417, H 5561108 (SSE Untersiemau); Ansatzhöhe: 327 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -2,30 m q, -22,80 m kmF, -26,00 m kmBO

**Bohrprofil BK 1056.00** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4427710, H 5561442 (WSW Obersiemau); Ansatzhöhe: 340 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -2,00 m q, -18,80 m kmBO, -25,00 m kmBM

**Bohrprofil BK 1056.09** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4427383, H 5561586 (SE Untersiemau); Ansatzhöhe: 319 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -3,10 m q, -34,70 m kmBM

**Bohrprofil BK 1060.00** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4428003, H 5561852 (SE Untersiemau); Ansatzhöhe: 312 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -2,00 m q, -30,20 m kmBM

**Bohrprofil BK 1061.00** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4428068, H 5561929 (SSE Untersiemau); Ansatzhöhe: 307 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -5,80 m q, -28,60 m kmBM, -30,00 m kmBU3

**Bohrprofil BK 1063.00** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4428335, H 5562345 (SE Untersiemau); Ansatzhöhe: 334 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -1,50 m q, -8,30 m kmBM, -15,00 m kmBU3

**Bohrprofil BK 1064.01** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4428412, H 5562419 (E Untersiemau); Ansatzhöhe: 340 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,20 m q, -18,50 m kmBM, -26,00 m kmBU3

**Bohrprofil BK 1064.02** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4428469, H 5562571 (SE Weißenbrunn); Ansatzhöhe: 318 m. ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,30 m q, -1,00 m kmBU3, -18,90 m kmBU2, -25,40 m kmBU1

**Bohrprofil BK 1065.00** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4428529, H 5562678 (ENE Untersiemau); Ansatzhöhe: 310 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,10 m q, -22,40 m kmBU1, -30,00 m kmC

**Bohrprofil BK 1066.00** (1993): Bl. 5831 Seßlach

Lage: R 4428605, H 5562913 (E Weißenbrunn); Ansatzhöhe: 304 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,20 m q, -6,90 m kmC, -30,30 m kmBL

**Bohrprofil BK 1067.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4428654, H 5563021 (SSW Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 298 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -1,00 m q, -28,90 m kmBL, -30,00 m kmL

**Bohrprofil BK 1068.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4428655, H 5563143 (S Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 313 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,60 m q, -30,00 m kmBL

**Bohrprofil BK 1070.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4428869, H 5563667 (W Grub a. Forst); Ansatzhöhe: 336 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -2,20 m q, -5,30 m kmBU1, -16,00 m kmC

**Bohrprofil BK 1072.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4428802, H 5563896 (SSW Grub a. Forst); Ansatzhöhe: 358 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,50 m q, -17,80 m kmBU1, -39,90 m kmC, -40,00 m kmBL

**Bohrprofil BK 1074.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4428967, H 5564037 (SSW Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 350 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -1,60 m q, -3,90 m kmBU1, -25,30 m kmC



**Bohrprofil BK 1075.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429093, H 5564199; Ansatzhöhe: 354 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -1,70 m q, -5,10 m kmBU1, -22,20 m kmC, -39,90 m kmBL

**Bohrprofil BK 1076.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429148, H 5564533 (SSW Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 354 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -1,20 m q, -13,00 m kmC, -50,00 m kmBL

**Bohrprofil BK 1076.01** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429073, H 5564544 (SSW Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 355 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,20 m q, -4,10 m kmBU1, -14,80 m kmC, -29,90 m kmBL

**Bohrprofil BK 1078.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429198, H 5564850 (SW Roth); Ansatzhöhe: 370 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,40 m q, -9,90 m kmC, -54,70 m kmBL, -70,00 m kmL

**Bohrprofil BK 1080.01** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429224, H 5565311 (SW Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 350 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -2,20 m q, -30,60 m kmBL, -60,70 m kmL, -65,20 m kmS

**Bohrprofil BK 1081.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429210, H 5565434 (SW Grub); Ansatzhöhe: 304 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -1,50 m q, -23,10 m kmL, -30,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1082.00** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429164, H 5565588 (W Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 291 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -1,00 m q, -8,70 m kmL, -30,30 m kmS

**Bohrprofil BK 1082.02** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4428850, H 5565757 (W Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 288 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -6,70 m q, -7,90 m kmL, -20,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1082.04** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4428685, H 5565817 (W Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 289 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -3,70 m q, -9,80 kmL, -30,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1082.06** (1992): Bl. 5731 Coburg

Lage: R 4428184, H 5565844 (W Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 289 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -6,50 m q, -12,50 m kmL, -20,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1082.09** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4428856, H 5565591 (W Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 290 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -2,70 m q, -4,80 m kmL, -31,80 m kmS

**Bohrprofil BK 1084.00** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429154, H 5565818 (NW Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 293 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -3,50 m q, -7,00 m kmL, -30,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1084.02** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429243, H 5566021 (W Grub a. Forst); Ansatzhöhe: 297 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,50 m q, -25,20 kmS

**Bohrprofil BK 1085.00** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429189, H 5566176 (W Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 296 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -2,60 m q, -4,00 m kmL, -30,40 m kmS

**Bohrprofil BK 1085.02** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429203, H 5566309 (NW Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 305 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -2,20 m q, -9,70 m kmL, -30,80 m kmS

**Bohrprofil BK 1086.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429231, H 5566423 (W Grub a. Forst); Ansatzhöhe: 323 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,50 m q, -15,00 m kmBL

**Bohrprofil BK 1087.00 A** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429115, H 5566505 (W Grub a. Forst); Ansatzhöhe: 322 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -3,20 m q, -4,50 m kmBL, -20,00 m kmL

**Bohrprofil BK 1088.00** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429203, H 5566593 (NW Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 351 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -1,00 m q, -30,20 m kmBL, -35,00 m kmL

**Bohrprofil BK 1088.09** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429624, H 5567021 (NW Roth a. Forst); Ansatzhöhe: 374 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,70 m q, -15,80 m kmBU2, -39,90 m kmBU1, -52,00 m kmC,  
-75,00 m kmBL

**Bohrprofil BK 1091.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429816, H 5568118 (SSE Seidmansdorf); Ansatzhöhe: 363 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,30 m q, -12,50 m kmBM, -24,50 m kmBU3, -35,00 m kmBU2

**Bohrprofil BK 1092.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429741, H 5568301 (E Lützelbuch); Ansatzhöhe: 357 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -11,50 m q, -16,40 m kmBU3, -25,30 m kmBU2

**Bohrprofil BK 1093.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429874, H 5568226 (E Lützelbuch); Ansatzhöhe: 357 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,30 m q, -6,20 m kmBM, -12,70 m kmBU3, -20,00 m kmBU2

**Bohrprofil BK 1095.00** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429899, H 5568560 (S Lützelbuch); Ansatzhöhe: 363 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -1,20 m q, -16,60 m kmBM, -25,50 m kmBU3, -30,00 m kmBU2

**Bohrprofil BK 1095.01** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429850, H 5568593 (S Lützelbuch); Ansatzhöhe: 363 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,40 m q, -15,50 m kmBM, -25,60 m kmBU3, -30,70 m kmBU2

**Bohrprofil BK 1096.00** (1992): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429963, H 5568770 (SSE Lützelbuch); Ansatzhöhe: 358 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -1,30 m q, -12,80 m kmBM, -20,80 m kmBU3, -25,20 m kmBU2

**Bohrprofil BK 1097.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4430025, H 5569058 (SE Lützelbuch); Ansatzhöhe: 357 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,50 m q, -10,50 m kmBM, -20,20 m kmBU3, -25,40 m kmBU2

**Bohrprofil BK 1098.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4430175, H 5569122 (E Lützelbuch); Ansatzhöhe: 370 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -1,70 m q, -13,80 m kmBM, -22,90 m kmBU3, -35,33 kmBU2

**Bohrprofil BK 1099.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4430081, H 5569234 (E Lützelbuch); Ansatzhöhe: 375 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -1,00 m q, -20,30 m kmBM, -30,70 m kmBU3, -45,00 m kmBU2

**Bohrprofil BK 1100.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4430157, H 5569482 (SE Rögen); Ansatzhöhe: 381 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,20 m q, -21,60 m kmBM, -35,30 m kmBU3, -50,00 m kmBU2

**Bohrprofil BK 1101.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4430068, H 5569997 (NE Lützelbuch); Ansatzhöhe: 373 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,50 m q, -3,30 m kmBM, -12,00 m kmBU3, -35,70 m kmBU2, -45,90 m kmBU1

**Bohrprofil BK 1102.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4430166, H 5570018 (NE Rögen); Ansatzhöhe: 368 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,90 m q, -8,50 m kmBU3, -33,10 m kmBU2, -35,00 m kmBU1

**Bohrprofil BK 1103.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4430096, H 5570151 (NE Rögen); Ansatzhöhe: 364 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -2,30 m q, -23,70 m kmBU2, -25,10 m kmBU1

**Bohrprofil BK 1107.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4430055, H 5571239 (W Waldsachsen); Ansatzhöhe: 350 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,90 m q, -2,40 m kmC, -15,00 m kmBL

**Bohrprofil BK 1111.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429998, H 5571651 (W Waldsachsen); Ansatzhöhe: 333 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -0,40 m q, -24,90 m kmBL, -30,00 m kmL

**Bohrprofil BK 1111.02** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4430007, H 5571786 (WNW Waldsachsen); Ansatzhöhe: 313 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -3,20 m q, -12,80 m kmBL, -30,70 m kmL

**Bohrprofil BK 1112.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429959, H 5571924 (WNW Waldsachsen); Ansatzhöhe: 307 m ü. NN

Stratigraphische Deutung: -5,80 m q, -7,40 m kmBL, -30,00 m kmL

**Bohrprofil BK 1500.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429762, H 5572593 (NW Waldsachsen); Ansatzhöhe: 310 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -3,00 m q, -14,20 m kmL, -30,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1501.04** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429548, H 5572537 (WSW Oeslau); Ansatzhöhe: 305 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -5,10 m q, -11,60 m kmL, -20,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1501.06** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429304, H 5572405 (WSW Oeslau); Ansatzhöhe: 302 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -3,00 m q, -6,50 m kmL, -20,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1502.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429727, H 5572807 (W Oeslau); Ansatzhöhe: 328 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -6,40 m q, -25,00 m kmL

**Bohrprofil BK 1503.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429676, H 5573479 (W Oeslau); Ansatzhöhe: 329 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -2,30 m q, -3,70 m kmL, -20,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1504.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429358, H 5573722 (NW Oeslau); Ansatzhöhe: 335 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -4,30 m q, -15,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1505.00** (1993): Bl. 5732 Sonnefeld

Lage: R 4429530, H 5573875 (NW Oeslau); Ansatzhöhe: 339 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -3,70 m q, -20,00 m kmS

**Bohrprofil BK 1506.00** (1993): Bl. 5632 Neustadt b. Coburg

Lage: R 4429435, H 5574322 (W Unterwohlsbach); Ansatzhöhe: 340 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -3,70 m q, -5,40 m kmEU, -10,70 m kmMO

**Bohrprofil BK 1508.00** (1993): Bl. 5632 Neustadt b. Coburg

Lage: R 4429415, H 5574587 (W Unterwohlsbach); Ansatzhöhe: 337 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -0,90 m q, -15,00 m kmM

**Bohrprofil BK 1509.00** (1993): Bl. 5632 Neustadt b. Coburg

Lage: R 4429333, H 5574956 (WNW Unterwohlsbach); Ansatzhöhe: 348 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -1,60 m q, -10,00 m ku2

**Bohrprofil BK 1512.09** (1993): Bl. 5632 Neustadt bei Coburg

Lage: R 4429643, H 5575861 (NNW Oberwohlsbach); Ansatzhöhe: 355 m ü. NN  
Stratigraphische Deutung: -4,00 m q, -9,30 m kmMU, -13,90 m kuD, -25,40 m ku2,  
-32,40 m kuW, -33,00 m kul

## Die Plattenkalke zwischen Solnhofen und Eichstätt: Fazieswechsel und Kalksteinabbau

Von ROLF K. F. MEYER, SEBASTIAN WAGNER und HERMANN WEINIG

Mit 7 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Jura – Malm – Solnhofener Plattenkalke – Ablagerungsbedingungen – Rohstoff – Ressourcen

**Kurzfassung:** Der Vergleich von Bohrkernen aus verschiedenen Plattenkalkwannen im Umfeld der klassischen Abbaugebiete läßt sich in deren Zentren in den meisten Fällen gut durchführen. Außerhalb dieses Bereichs schlägt sich der stark zergliederte Sedimentationsraum in einer sehr variablen lithologischen Ausbildung der Gesteine nieder, die stark vom Idealprofil abweicht und somit eine Korrelation erschwert. Diese abweichende lithofazielle Ausbildung führt in der rohstoffgeologischen Beurteilung zu der Einschätzung, daß sich nutzbare Plattenkalke nur in den Faziesräumen der klassischen Abbaugebiete befinden und dies die Bedeutung von Erkundung und Sicherung dieser potentiellen Ressourcen nur unterstreicht.

### Lithographic limestone between Solnhofen and Eichstätt: changes in facies and exploitation of limestone

**Keywords:** Jurassic – Malm – Solnhofen Lithographic Limestone – palaeoenvironment – raw material – resources

**Abstract:** The comparison of several drill cores placed in different sediment basins of Solnhofen lithographic limestone leads to the conclusion, that only the well logs situated in the central quarry area are easy to correlate. The well logs in the other basins show a variable lithologic facies due to the very inhomogeneous sedimentation conditions. It makes a correlation with the well known standard geologic sections quite difficult. This enlargens under the economic point of view the importance of prospecting resources and granting their future exploitation.

### Inhalt

1. Einführung .....	202
2. Die Entstehung der Plattenkalke .....	202
3. Eigenschaften und Gliederung der Plattenkalke .....	203
4. Der Rohstoff Plattenkalk .....	205
5. Die Bohrprofile der einzelnen Wannn .....	206
5.1. Solnhofener Wanne .....	206
5.2. Haunsfelder Wanne .....	206
5.3. Eberswanger Wanne .....	209
5.4. Obereichstätter Wanne .....	209
5.5. Eichstätter Wanne .....	211
5.6. Pfalzpainter Wanne .....	212

6. Schlußfolgerungen .....	213
7. Literatur .....	215

## 1. Einführung

Die weltberühmten Plattenkalke des Obermalm der Südlichen Frankenalb sind seit Jahrhunderten und auch heute noch ein begehrter Werkstein. Ihre Hauptverwendung liegt heute in der Herstellung von Wand- und Bodenplatten, die weiteren spielen nur noch eine Nebenrolle. Qualitativ hochwertige Plattenkalke werden seit jeher nur in wenigen kleineren Gebieten vor allem um Solnhofen und Eichstätt abgebaut. Das verwundert zunächst, da zur Ablagerung der Plattenkalke zwar spezielle Bildungsbedingungen im Obermalm der Region notwendig waren, diese jedoch nicht so eng begrenzt sein konnten, daß nicht auch in der näheren Umgebung vergleichbare Gesteine hätten entstehen können.

Dies war der Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit. Ein weiterer war der Umstand, daß durch die jahrhundertelange, rege Abbautätigkeit in Kombination mit der heutigen Verwendung moderner, arbeitszeitreduzierender, aber wenig ressourcenschonender Methoden die bekannten Vorkommen mittlerweile schon deutlich reduziert sind. Zudem gestalten sich vor dem Hintergrund der konfliktbeladenen Thematik konkurrierender Nutzungen in unserem dichtbesiedeltem Raum Steinbruchserweiterungen als zunehmend schwierig, was die Notwendigkeit einer fundierten Kenntnis der Restvorräte und der Erschließung von etwaigen Alternativstandorten unterstreicht.

Aus diesem Grund brachte das Bayerische Geologische Landesamt (GLA) mit Mitteln und im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Verkehr in den Jahren 1996–1998 24 Bohrungen mit insgesamt 1454 Bohrmeter im Raum zwischen Solnhofen und Riedenburg nieder.

## 2. Die Entstehung der Plattenkalke

Die Plattenkalke entstanden im sukzessive flacher werdenden Obermalm-Meer, und zwar in Depressionen (= Senken, Wann) zwischen den von N her absterbenden Schwammriffen, die diese Wann in Form unregelmäßiger Gürtel begrenzten. Die einzelnen Wann wurden durch die kartierenden Geologen mit Hilfe der rezent durch die Erosion an die Oberfläche tretenden Riffbauten abgegrenzt und mit Lokalnamen versehen (z. B. Solnhofener Wanne, Haunsfelder Wanne). Daneben ist auch innerhalb der Wann gelegentlich mit Riffbauten zu rechnen, die als Aufragungen den Wannboden strukturieren, jedoch noch nicht durch die Erosion freigelegt worden sind.

Die Entstehung dieser auf der Welt einmaligen, feinsten Plattenkalksteine mit ihren berühmten Versteinerungen ist bis heute nicht eindeutig geklärt. Folgende Bildungstheorie erscheint vertretbar:

Bei trockenheißem Klima und ruhiger See, die durch die ebenmäßigen Schichtflächen belegt wird, setzten sich feiner Kalkschlamm und biogenes Material auf den Meeresboden ab und füllten im Laufe der Zeit die sich durch allgemeine Subsidenz und seitliches Riffwachstum vertiefenden Wann auf. Am Wannboden bzw. unterhalb der Wellenbasis herrschte im wesentlichen ein lebensfeindliches, hypersalines und euxinisches Milieu, das durch zumin-

dest reliktsche Erhaltung von Bitumenschiefen und das weitgehende Fehlen von Wühlspuren im Sediment (insbesondere im Oberen Solnhofener Schiefer) angezeigt wird. Die gesamten Plattenkalke waren ursprünglich durch den in der bodennahen Faulschlamm-Bildung begründeten Bitumengehalt dunkel gefärbt und erhielten erst später durch die Verwitterung ihr heutiges Aussehen. Die Wannenförmigkeit und der Salzgehalt führte zu einer Dichteschichtung und damit zu einer Zweiteilung in den Wasserkörpern der einzelnen Becken: einen lebensfeindlichen, übersalzten Bodenbereich und einen oberflächennahen, durchmischten Bereich, der durch den periodischen Eintrag frischen Wassers aus der offenen See (Tethys) nur gering erhöhte Salinität aufwies und somit Leben ermöglichte. Nach SCHWARK, VLIEX & SCHAEFFER (1998) waren an der Sedimentbildung neben Tasmanaceen (Dinoflagellaten) auch Cyanobakterienmatten beteiligt, deren Assimilationsfarbstoffe (V-Porphyrine) sie nachweisen konnten. Die Tasmanaceenlagen sollen aufgrund der folgenden Mechanismen bei normalmarinen und die Cyanobakterienmatten bei übersalzten Bedingungen entstanden sein: Durch die Photosynthese der „Algen“ und Cyanobakterien wurde  $\text{CO}_2$  verbraucht und so die Kalkfällung im warmen, übersalzten Wasser verstärkt. Die Sauerstoffarmut am Wannensboden führte dort zur Erhaltung organischer Substanz und zur Bildung bitumenhaltiger Kalkschlämme. Durch Stürme erzeugte Frischwasserzufuhr von S brachte Plankton (Coccolithen, Foraminiferen etc.) über die Riffplattform, die Kalkbildung wurde unterbrochen und vom Festland eindriftende Tontrübe konnte sich weithin absetzen. Dies ist in den mergeligen, meist blättrigen, weichen Kalklagen (Fäulen) dokumentiert. Der Eintrag von kühlerem und somit  $\text{CaCO}_3$ -gesättigtem Wasser führte danach bei Erwärmung wieder zu einer erhöhten biogenen Karbonatproduktion; es bildete sich der feste Plattenkalk (Flinz).

VIOHL (1998) dagegen ist der Meinung, daß der Kalkschlamm insgesamt durch Monsunstürme antransportiert und jede Flinzlage sehr schnell abgelagert und verfestigt wurde. Ein solch unruhiges Sedimentationsmilieu müßte sich jedoch zumindest in Riffnähe in stärkerer Grobschuttführung sowie unruhiger Schichtung dokumentieren.

Aufgrund der starken Zergliederung des Ablagerungsraumes durch trennende Riffgürtel sind die oftmals kleinräumigen faziellen Unterschiede innerhalb der und auch zwischen den einzelnen Sedimentationswannen nicht verwunderlich. Insbesondere die reinen Plattenkalke treten selten über größere Strecken in gleichbleibender Ausbildung auf. Bereichsweise sind sie durch feinen, teils kieseligen Riffschutt bzw. durch starken Eintrag von Tontrübe verunreinigt.

### 3. Eigenschaften und Gliederung der Plattenkalke

Aufgrund ihrer langen Abbaubau-tradition hat sich für die Plattenkalke eine Nomenklatur entwickelt, die nach unterschiedlichen Einteilungskriterien erfolgt und seit FESEFELDT (1962) in der folgenden Form üblicherweise verwendet wird:

Schichtstärke:

- dünnbankig: 10–20 cm
- Plattenkalk: 1–10 cm
- Schiefer: 0,5–1 cm

Brauchbarkeit:

- Flinz: verwertbarer, plattiger Kalkstein, hart, glattbrechend (96–98 %  $\text{CaCO}_3$ )
- Fäule: mergeliger Kalkstein, nicht hart, meist blättrig, unbrauchbar
- Blätterflinz: Flinze, für eine Verwertung zu dünnplattig (< 6 mm)

Besondere Gesteinstypen:

- Krumme Lage: subaquatisch, in unverfestigtem Zustand gerutschter, teils auch verfalteter Schichtstapel, insbesondere an der Oberseite unregelmäßig begrenzt; Auftreten in Form brüchig-stückiger Bankkalke mit meist schrägen Schichtflächen und häufiger Einschaltung einzelner, jedoch nicht mehr ideal ausgebildeter Plattenkalklinsen
- Wilde Lage: ebene Kalksteinbank mit diffusen internen Rutschstrukturen
- Papierschiefer: dünnblättrig verwitterte, meist fäulige Lagen
- Zähle Flinze: etwas gröberkörnige Flinze mit rauen Flächen

Daneben gibt es in einigen Steinbruchrevieren für fast jede Schicht eine spezielle, alt hergebrachte Steinbrecherbezeichnung (z. B. „Knopfige Lage“, „Dreipflasterstein-Lage“, vgl. EDLINGER 1964 bzw. POSCHLOD & WEINIG 1997), die in auffälligen Phänomenen oder charakteristischem Verhalten bei der Aufbereitung bzw. Verarbeitung oder den Verwendungsmöglichkeiten begründet ist. Diese charakteristischen Lagen lassen sich in manchen Fällen über mehrere Aufschlüsse hinweg verfolgen und erlauben so bereichsweise eine gewisse Parallelisierung. Die im tieferen Malm so gut durchführbare Bankparallelisierung läßt sich in den Plattenkalcken, trotz akribischer Profilaufnahmen (vgl. z. B. v. FREYBERG 1964, 1966), nicht durchführen. Der horizontale Übergang nicht auftrennbarer Bänke in Plattenkalke läßt sich stellenweise innerhalb einer Steinbruchwand nachvollziehen und scheint auch in dem unterschiedlichen Grad der Verwitterung, d. h. dem Aufspalten latenter Schichtflächen begründet zu sein.

Die momentan gebräuchliche stratigraphische Gliederung der Plattenkalke wurde anhand oben genannter lithologischer Kriterien entwickelt und läßt sich zumindest in den klassischen Abbaugebieten relativ gut nachvollziehen. Eine biostratigraphische Untergliederung des Malm Zeta 1–3 in eine für die Geländetätigkeit geeignete Form konnte bislang nicht entwickelt werden (MEYER & SCHMIDT-KALER 1994). Folgendes, nach MEYER & SCHMIDT-KALER (1990, 1991) in der Regel zumindest durch das Auftreten mehrerer Wilder bzw. Krummer Lagen gestörtes Idealprofil ist für den behandelten Bereich gültig:

- Malm Zeta 3: Mörsheimer Schichten: unreine, meist feinschuttführende und kieselige, teils mergelige Platten- und Bankkalke mit feiner Internschichtung, fossilreich
- Malm Zeta 2b: Hangende Krumme Lage (=HKL), darunter folgend Obere Solnhofener Schiefer (OSS): dick- und dünnplattige, reine Kalksteine mit ebenen Schichtflächen, wechsellagernd mit geringmächtigen mergeligen Lagen
- Malm Zeta 2a: Trennende Krumme Lage (=TKL), darunter folgend Untere Solnhofener Schiefer (USS): vorwiegend dünnplattige bis blättrige, mergelige Kalksteine mit meist unebenen Schichtflächen (Wühlspuren, sog. Spurenschiefer)
- Malm Zeta 1: Röglinger Bankkalke: dickbankige Kalke, häufig mit Feinschutt, z. T. latent feingeschichtet; an der Hangendgrenze häufig Hornsteinführung (Dachhornstein)
- Malm Epsilon: splittrige Bankkalke bzw.
- Malm Epsilon/Zeta: massige bzw. tafelbankige Kalke und Dolomite der Riffumrahmung und des Wannenbodens



#### 4. Der Rohstoff Plattenkalk

Die Plattenkalksteine (kurz: Plattenkalk) werden im behandelten Raum seit Menschengedenken abgebaut. Wie durch Ausgrabungen belegt, wurden sie zumindest seit der Römerzeit als Bausteine gewonnen (um 200 n. Chr.). Ab dem 16. Jahrhundert war der Steinbruchbetrieb so rege, daß er durch spezielle Verordnungen reglementiert wurde. Im Verlauf des letzten Jahrhunderts begann dann die Entwicklung zu dem heute vorliegenden, bedeutenden Industriezweig (vgl. SCHAUER 1989). Die Bedeutung des Plattenkalkes für einen bestimmten Verwendungszweck wandelte sich jedoch im Laufe der Zeit und damit auch die Anforderungen an die spezielle Ausbildung des Rohstoffs. Seine Gewinnung ist nach wie vor im wesentlichen durch Handarbeit geprägt, das gefühlvolle Aufspalten der Platten erlaubt nicht den Einsatz von Maschinen. Dort, wo es teilweise praktiziert wird, erzeugt der Einsatz der Bagger in eigentlich nutzbaren Lagen mehr Halden- als verwendbares Material. Solche Abbaumethoden sind als Raubbau zu bezeichnen. Schon bei sorgfältiger Gewinnung sind nur ca. 10 % bis max. 20 % des gebrochenen Materials für den Vertrieb geeignet. Einzig das Entfernen von Abraum und der Transport ist durch moderne Maschinen und Fahrzeuge sehr vereinfacht. Der Abraum wird zu einem Teil zu Zement verarbeitet, untergeordnet findet er als Wegebau- und Auffüllmaterial Anwendung. Nach wie vor wird er zu teils riesigen Halden aufgeschüttet, die mittlerweile die gesamte Landschaft der klassischen Abbaugebiete charakterisieren.

Wesentliches Kriterium für die Gewinnung der Plattenkalk war immer die ebene Ausbildung der Schichtflächen und die plattige Absonderung, wenn auch heute dicke Platten teilweise mit modernen Gesteinssägen aufgetrennt werden. Dadurch konnten die Kalkplatten ohne weitere Bearbeitung – außer der Gestaltung des Umrisses – zu Bauzwecken als Werkstein verwendet werden. Je nach Stärke (mindestens 6 mm) reichte die Palette der Anwendungen vom Dachschiefer über Wand- und Bodenplatten bis hin zum Mauerstein. Heute steht die Verwendung von Wand- und Bodenplatten, polygonal oder geschnitten, bruchrauh oder mit verschiedenen Oberflächenbearbeitungen (geschliffen oder poliert), im Vordergrund. Hierbei bestimmen ebenso modische Überlegungen, welche (Verwitterungs-) Farbe (gelb, grau, rötlich) bevorzugt abgenommen wird. Da die Plattenkalk nicht absolut frostbeständig sind, werden sie überwiegend im Innenbereich verlegt. Die Absatzmärkte sind inzwischen weltweit verbreitet. Dachschiefer werden erst seit neuestem wieder vermehrt für die Restaurierung der Legschiefer- bzw. Zwicktaschendächer alter Häuser gewonnen. Dicke Flinze wurden insbesondere in früherer Zeit von Bildhauern zur Gestaltung überwiegend reliefartiger Kunstwerke herangezogen (vgl. WEINIG 1984).

Bekannt ist auch die Verwendung als Lithographiestein, für den aufgrund der einzigartigen Ausbildung (gleichmäßig feinkörnige Ausbildung, hohe Härte und Dichte sowie die Fähigkeit, Wasser bzw. Fett aufzunehmen) weltweit kein vergleichbares Substitut existiert. Die Blütezeit hierfür lag in der Zeit zwischen der Entdeckung des Steindrucks durch Alois Senefelder im Jahre 1796 und Anfang dieses Jahrhunderts, als moderne Druckmethoden dieses Verfahren ablösten. Heute werden Lithographiesteine nur noch in Einzelfällen hergestellt.

## 5. Die Bohrprofile der einzelnen Wannen

### 5.1. Solnhofener Wanne

In der Solnhofener Wanne stehen 2 Bohrungen (Plaka 3/1 u. 3/2, vgl. Abb. 1). In dieser Wanne sind bislang die mächtigsten Plattenkalkabfolgen nachgewiesen. Die Schichtprofile sind in Abbildung 2 dargestellt (s. auch SCHMIDT-KALER 1997).

500 m südlich der großen Steinbrüche der sogenannten Langenaltheimer Haardt, in denen seit Anfang des 19. Jahrhunderts Plattenkalke gebrochen werden, und ebensoweit östlich der Schrandelbrüche, die schon Ende des 17. Jahrhunderts Erwähnung finden, wurde die Bohrung Plaka 3/2 plaziert. Sie kann als repräsentativ für den Schichtaufbau der zentralen bis westlichen Wannenbereiche angesehen werden. Die Bohrung Plaka 3/1 wurde nahe dem Ostrand der Solnhofener Wanne in Richtung auf den Mörsheimer Riffzug gelegt.

In beiden Bohrungen ist der Schichtenaufbau nach dem Idealprofil (vgl. Kap. 3) nachzuziehen. Einzig der Malm Zeta 2a zeigt durch die Einschaltung mehrerer Krummer Lagen eine Sonderentwicklung auf.

Die hangenden Mörsheimer Schichten sind in beiden Bohrungen in typischer Weise ausgebildet. Es handelt sich um rauhe, feinschuttreiche Platten- und Bankkalke.

In der Bohrung Plaka 3/2 sind unter der HKL nur die obersten 3 Meter als Plattenkalk mit Stärken zwischen 1 cm und 5 cm ausgebildet. Der Rest der OSS erscheint als mürbe, feingeschichtete Schiefer. Die USS treten in Form weicher, mergeliger und dünner Spurenschiefer auf. Darunter folgen die rauhen, feinschuttführenden Bankkalke des Malm Zeta 1 mit vielen Hornsteinlagen. Die weißen Bankkalke, die auf dem dunkelgrauen Tafelbankigen Dolomit liegen, sind wahrscheinlich in den Malm Epsilon zu rechnen.

In der Bohrung Plaka 3/1 wurden die OSS über der TKL als Plattenkalk von insgesamt 16 m Mächtigkeit angetroffen. Die meist dicken Platten sind nur im mittleren Bereich zwischen 42 m und 47 m Teufe dünnplattig. Neben einer mächtigen Abfolge von Krümmen Lagen besteht der Malm Zeta 2a nur in den untersten Bereichen aus den mergeligen Spurenschiefern der USS.

Generell ist eine Zunahme der Gesamtmächtigkeit des Malm Zeta 2 von 51 m in Plaka 3/1 zu den weiter nördlich gelegenen Bereichen (Plaka 3/2 = 60 m, Bohrung Maxberg = 79 m) festzustellen. Daß dieses nicht zwangsläufig mit der Riffnähe zu korrelieren ist, sondern eher mit einem überaus unregelmäßigen Wannenboden, zeigt die Bohrung Maxberg, die ebenfalls in der Nähe des Mörsheimer Riffes liegt (s. MEYER & SCHMIDT-KALER 1994).

Da in Plaka 3/2 nur die obersten Meter der OSS ausreichende Qualität besitzen, erscheint der erkundete Standort für eine Rohstoffgewinnung nicht geeignet. Die in Plaka 3/1 erbohrten OSS kämen für eine Nutzung in Frage, dem mächtigen Abraum (Malm Zeta 3, HKL) wäre mit einer Positionierung in geeigneter Hanglage zu begegnen.

### 5.2. Haunsfelder Wanne

Nur ca. 4 km östlich der eben besprochenen Bohrungen jenseits des schmalen Mörsheimer Riffes wurden drei Bohrungen in der Haunsfelder Wanne niedergebracht (vgl. Abb. 3 u. SCHMIDT-KALER 1998). Die rauhen, kieseligen und rötlichen Plattenkalke des Malm Zeta 3 und

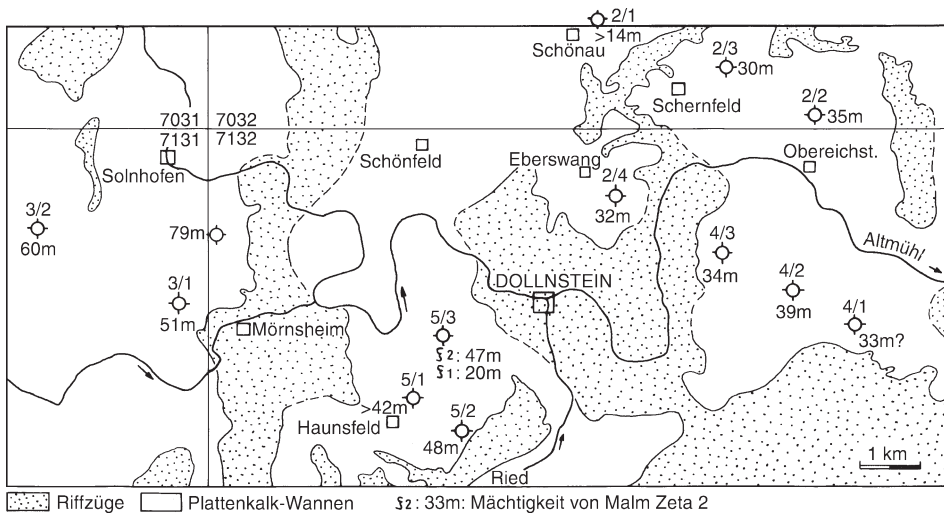


Abb. 1. Lage der Bohrungen in den von Riffzügen umgebenen Plattenkalkwannen W Eichstätt.

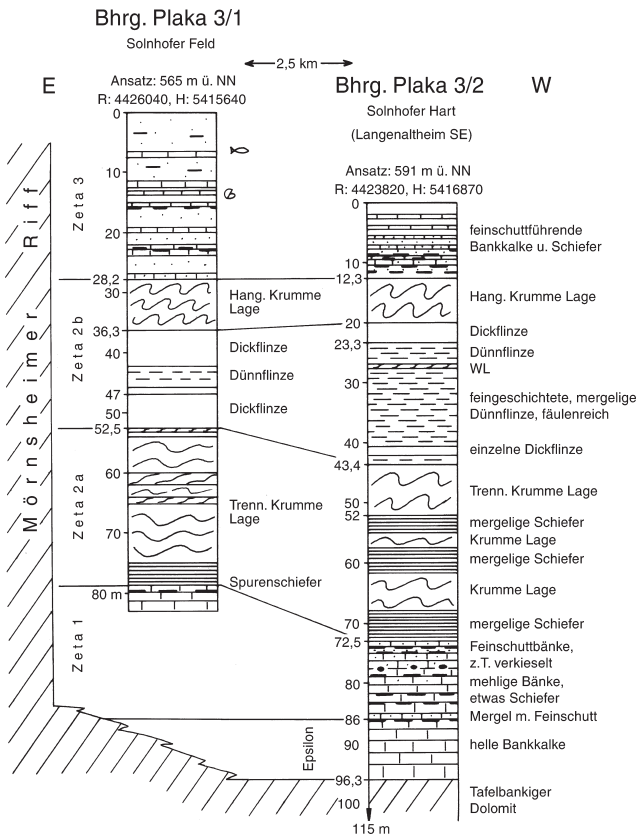


Abb. 2. Bohrprofile durch die mächtigen Plattenkalk-Abfolgen der Solnhofener Wanne.

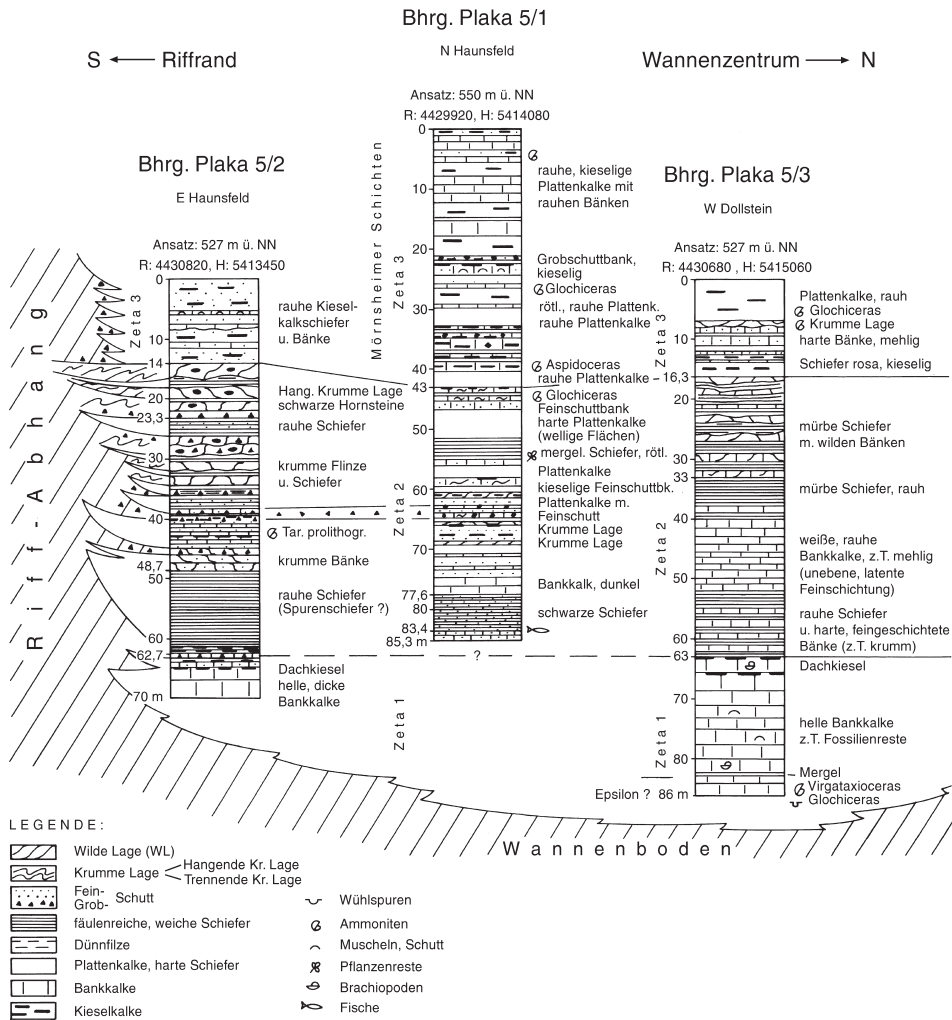


Abb. 3. Bohrprofile durch die rauen, feinschuttreichen Plattenkalke der Haunsfelder Wanne.

die hellen Bankkalke des Malm Zeta 1 im Liegenden entsprechen der üblichen Ausbildung und lassen sich somit gut zuordnen. Im Malm Zeta 2 besitzen die erbohrten Profile im Vergleich zu der Solnhofener Wanne zwar ähnliche Mächtigkeiten (fast 50 m), in der Ausbildung jedoch eine ganz andere Fazies. An die Stelle der reinen Plattenkalke treten hier meist raue, mürbe Schiefer, die in Annäherung an das Riff feinschuttreicher werden und zudem VerkieSELungen aufweisen. Eine wirtschaftliche Nutzung dieser Gesteine bietet sich nicht an.

Die E Haunsfeld gelegene, riffnahe Bohrung Plaka 5/2 enthält außer vielen Krummen Lagen zahlreiche grobe FossilSchuttbänke und auch die wenigen ebenen Bank- und Plattenkalke dazwischen sind feinschuttreich. Im unteren Teil der Abfolge bestätigt *Taramelliceras prolithographicum* die zeitliche Einstufung.

Im Profil Plaka 5/1 N Haunsfeld treten die Krummen Lagen zurück. Die Äquivalente der OSS sind nur teilweise als harte Plattenkalke ausgebildet und besitzen häufig wellige Schichtflächen.

Der Bereich der USS, die z. T. noch als schwarze Bitumenschiefer vorliegen, ist feinschuttreich. Im Dünnschliff zeigen sich dünnste, feinwellige Lagen, die durch die Bitumenführung dunkelbraun gefärbt sind. Sie treten im Abstand von 0,1–0,3 mm im mikritischen Kalk auf. Letzterer enthält Schalenreste und zahlreiche Kalzitkügelchen um 0,2 mm Durchmesser, bei denen es sich um Schwammrhexen oder Dinoflagellaten-Cysten handeln könnte.

In der Bohrung Plaka 5/3 W Dollnstein schieben sich im Bereich der OSS wieder zahllose Wilde Lagen als Bänke zwischen die mürben Schiefer. Im Malm Zeta 2a treten neben rauhen Schiefen auch weiße, feinschuttreiche („mehlige“) Bankkalke auf.

Der liegende Bankkalk des Malm Zeta 1 beginnt mit dem charakteristischen Dachkieselhorizont. Er liegt an der Obergrenze der Bankkalke und nicht in den auflagernden, mergeligen Schiefen (s. ZEISS 1964).

An der Basis der Bohrung Plaka 5/3 bei 85,3 m Teufe wurde *Virgataxioceras* sp. gefunden, der schon auf Malm Epsilon hinweist.

Inwieweit die riffschutführenden Bereiche bzw. einzelne Schuttlagen zeitlich den Krummen Lagen anderer Lokalitäten entsprechen, konnte nicht geklärt werden. Sollte der Anlaß der Entstehung solcher subaquatischer Gleitungen in Seebeben oder ähnliche Ereignissen liegen, wäre es nicht unwahrscheinlich, daß dies in Riffnähe zu einem verstärkten Eintrag grobklastischer Komponenten in das umgebende Sediment geführt hat.

### 5.3. Eberswanger Wanne

In der kleinen Eberswanger Wanne ist der Schichtstapel im Malm Zeta 2 deutlich geringmächtiger (vgl. Abb. 4). In der Bohrung Plaka 2/4 wurden zunächst 4,5 m rötliche Plattenkalke des Malm Zeta 3(?) erbohrt, bevor die 32 m des Malm Zeta 2 mit einer 8,5 m mächtigen Krummen Lage beginnen und nach 2 m harten, dünnen Plattenkalken und 5 m TKL in 9,5 m mergelige Spurenschiefer übergehen. Daraus entwickeln sich allmählich latent feingeschichtete Bankkalke, die eine nach unten zunehmende Feinschuttführung aufweisen. Erst darunter beginnen dicke, helle und feinschuttreiche Bankkalke ohne Feinschichtung, die dem Malm Zeta 1 zugeordnet werden können.

Aufgrund der zu hohen Überdeckung im Verhältnis zu der geringmächtigen und sehr dünnplattigen, an der Grenze der Nutzbarkeit liegenden Ausbildung der ebenlagernden Bereiche der OSS ist im Umfeld von Eberswang nicht von bauwürdigen Vorkommen auszugehen.

### 5.4. Obereichstätter Wanne

Zwischen den klassischen Steinbruchrevieren von Schernfeld und Blumenberg liegen die Bohrungen Plaka 2/2 und Plaka 2/3. Sie zeigen die für die Obereichstätter Wanne typischen geringmächtigen Profile im Malm Zeta 2 (30 m bzw. 35 m; vgl. Abb. 4 u. SCHMIDT-KALER 1990).

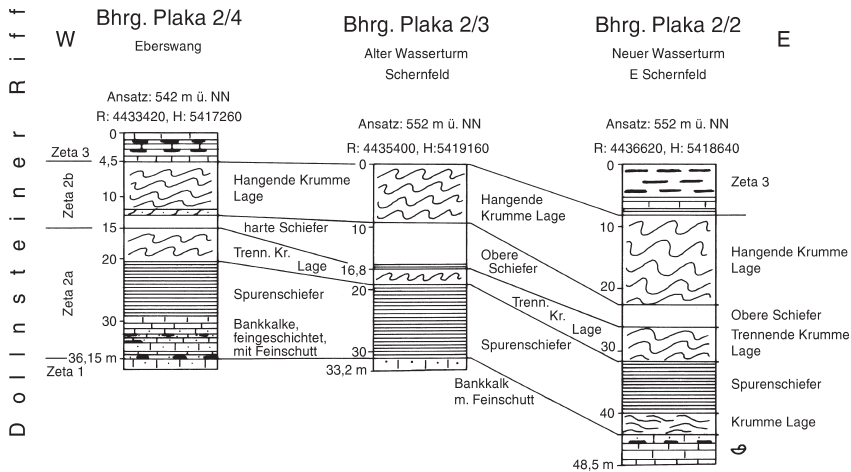


Abb. 4. Bohrprofile durch die geringmächtigen Plattenkalk-Abfolgen der Eberswanger Wanne (Bohrung Plaka 2/4) und des Nordteils der Obereichstätter Wanne (Bohrungen Plaka 2/2 u. 2/3).

In der Bohrung Plaka 2/3 (ca. 600 m E Schernfeld) liegen unter der mindestens 10 m mächtigen HKL 7,5 m dünnplattige OSS, deren unterste Bereiche stark mergelig sind. Nach 2,4 m TKL folgen 11,8 m Spurenschiefer. Den Abschluß der Bohrung bilden dickbankige, feinschuttreiche Bankkalk des Malm Zeta 1.

Bohrung Plaka 2/2 am neuen Wasserturm von Schernfeld traf unter 8 m verkieselten Plattenkalken des Malm Zeta 3 14 m HKL und 4 m dünnplattige OSS. An der Basis der Spurenschiefer ist zusätzlich zur TKL noch eine Krumme Lage ausgebildet. Weiße, feinschuttführende Bankkalk („Mehlkalk“) mit Kieselknollen (Dachhornstein), die nach unten in hartsplittige Bankkalk übergehen, markieren die Grenze zum Malm Zeta 1.

Qualität und Mächtigkeit der erbohrten Plattenkalk ließen durchaus eine Nutzung zu. In den umliegenden Brüchen liegen die Mächtigkeiten der nutzbaren Plattenkalk ebenfalls zwischen 4 m und 6 m. Die aufgrund des Schichteinfallens zunehmende Überdeckung mit Mörnsheimer Schichten, die ohne Verwertungsmöglichkeit abzuräumen wären, stellt jedoch die Wirtschaftlichkeit stark in Frage.

Die Obereichstätter Wanne reicht noch weit südlich des Altmühltals bis in den Rebdorfer Wald hinein. Allerdings wurde dort nie Plattenkalkabbau betrieben. Die Bohrungen Plaka 4/1, Plaka 4/2 und Plaka 4/3 wurden aus diesem Grund dort niedergebracht und erhellen die Ursache (Abb. 5).

Die obersten Meter der Profile werden durch feinschuttführende, teils kieselige und dadurch rauhe Platten- und Bankkalk aufgebaut. Diese lassen sich den Mörnsheimer Schichten (Malm Zeta 3) zuordnen.

Der darunterfolgende Bereich der OSS (Malm Zeta 2b) ist fast ausnahmslos in Krümmen Lagen ausgebildet, die eine Gewinnung ausschließen. Eine eindeutige Unterteilung in HKL und TKL ist nicht möglich. Nur der Malm Zeta 2a ist stellenweise noch in typischer Spurenschieferfazies entwickelt und erlaubt eine Zuordnung.

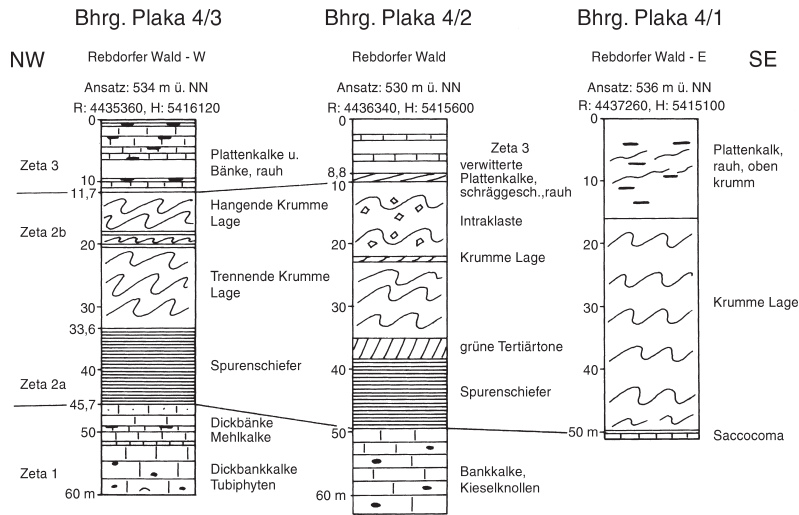


Abb. 5. Krumme Lagen im Südteil der Obereichstätter Wanne.

Die feinschutt- und kieselknollenführenden, dickbankigen Kalke im Liegenden bilden die gut erkennbare Grenze zum Malm Zeta 1.

In diesen dickbankigen Kalken der Bohrung Plaka 4/3 zeigt der Dünnschliff deutliche Faunenrelikte. Biogennester im Mikrit enthalten reichlich Schwammrhaxen und -nadeln, Feinschill und Echinodermenreste. Seltener sind große, dunkle Tubiphyten, sehr selten Ooide und Onkoide. Die „Mehlkalk“-Bänke bei 49,5 m zeigen ebenso wie die rauen Plattenkalke, die bei 48,5 m eingeschaltet sind, eine mikritische Matrix, in der sich zahlreiche Kalzitkugeln verschiedener Größe (0,1–0,3 mm) befinden. Es handelt sich hierbei wahrscheinlich neben Schwammrhaxen um Dinoflagellaten-Cysten oder Radiolarien. Außerdem kommen flachgepreßte Schalen- und Echinodermenreste vor.

### 5.5. Eichstätter Wanne

Östlich des Mariensteiner Riffdolomits folgt die Eichstätter Wanne. Ihre kleinräumige Zergliederung läßt sich durch die Vielzahl der an der Oberfläche anstehenden Riffbauten gut nachvollziehen. Sie wird, wie die weiter westlich gelegenen Wannen, vom Altmühltal durchschnitten. Obwohl es sich um denselben Ablagerungsraum handelt, findet – wie in der Obereichstätter Wanne – nur im Teil nördlich der Altmühl ein Abbau der Plattenkalke statt. In diesen beiderseits von Wintershof gelegenen Abbaugebieten werden unter einer mächtigen HKL (< 16 m) bis zu 13 m meist dünne Plattenkalke gewonnen. Die HKL ist hier stellenweise dergestalt zweigeteilt, daß die dazwischenliegenden Schichten abgebaut werden können. Die TKL erreicht Mächtigkeiten um 9 m und die liegenden Spurenschiefer ca. 15 m. Insgesamt erreicht der Malm Zeta 2 somit in den Aufschlüssen nördlich von Eichstätt eine Mächtigkeit von mindestens 40 m.

In den Abbaugebieten von Wintershof sind durch die jahrhundertelange, intensive Gewinnungstätigkeit schon weite Bereiche der Vorkommen ausgebeutet. Als Besonderheit liegen hier N Wintershof unter der TKL, und somit den USS zuzuordnen, Plattenkalke in einer für die

Gewinnung ausreichenden Qualität vor. Diese Vorkommen wurden durch 2 Bohrungen erkundet (Plaka 2/5 und Plaka 2/6, vgl. Abb. 6, 7). Die Bohrungen zeigen, daß sich dieser Bereich der festen, überwiegend verwertbaren Plattenkalke nur auf einige direkt unter der Krümmen Lage befindliche Meter beschränkt. Darunter folgen dann schon die rauhen, mergeligen Schiefer (hier „Merlschiefer“ genannt), die sonst für den Malm Zeta 2a typisch sind. Diese Profile werfen zumindest die Frage auf, ob diese Krümmen Lage wirklich die Grenze zwischen Malm Zeta 2b und 2a markiert.

Die latent feingeschichteten Bankkalke des Malm Zeta 1, die jeweils mit Hornsteinlagen („Dachhornstein“) beginnen, beschließen die Bohrprofile. In der Bohrung Plaka 2/5 weist die starke Fossilschuttführung und die Einschaltung massiger, zuckerkörniger Kalke auf einen stärkeren Einfluß des benachbarten Riffes hin.

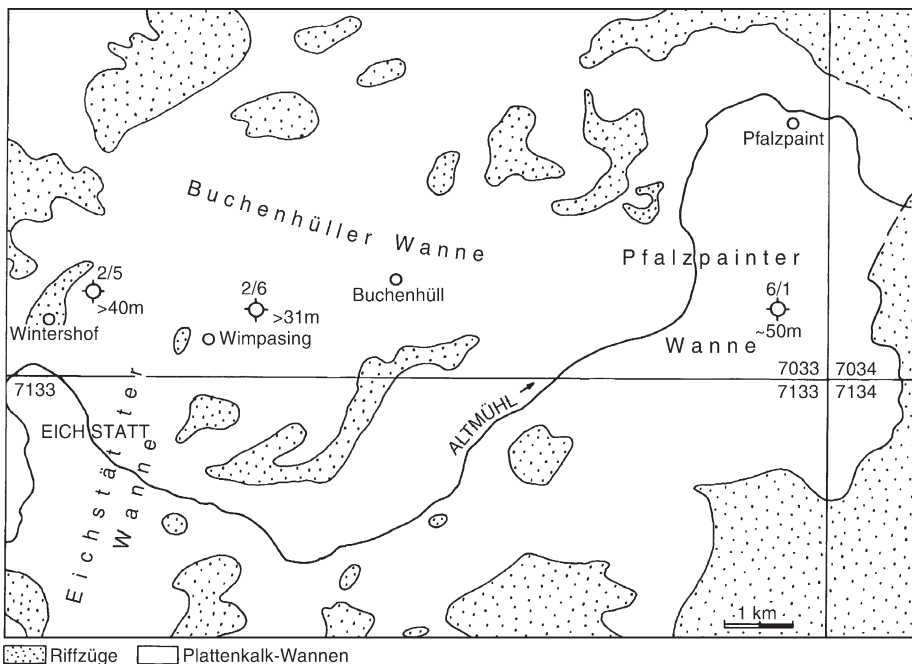


Abb. 6. Lage der Bohrungen in den Plattenkalkwannen E Eichstatt.

### 5.6. Pfalzpainter Wanne

Die Eichstätter Wanne geht nach E in die Pfalzpainter Wanne über. Aus den dortigen – mittlerweile aufgelassenen – Steinbrüchen sind als Besonderheiten die dort gefundenen Qualenabdrücke sowie die als Strömungsrippel beschriebenen, auf den Schichtflächen erhaltenen Strukturen zu nennen.

Die Bohrung Plaka 6/1 (s. Abb. 6, 7) erbohrte zunächst 25,7 m harte Plattenkalke mit Schichtstärken bis 10 cm wechsellagernd mit geringmächtigen (< 3 cm) Mergellagen. Eine HKL wurde nicht angetroffen. Aus den mittlerweile verfüllten Steinbrüchen nördlich der Bohrung beschreibt jedoch EDLINGER (1964) eine 2 m mächtige HKL 16–18 m über der TKL.



Da die Schichten durch tektonischen Einfluß jedoch schräg gelagert sind (ca. 25–30°), ist die wahre Mächtigkeit deutlich geringer anzusetzen, möglicherweise setzt die Bohrung knapp unterhalb der HKL an. Zudem leiten in Plaka 6/1 zwei Krumme Lagen mit eingeschalteten Plattenkalken zu dünnplattigen Kalken über, denen viele dünne Mergellagen eingeschaltet sind. Diese können als Äquivalent der Spurenschiefer angesehen werden. An ihrer Basis ist nochmals eine Krumme Lage entwickelt.

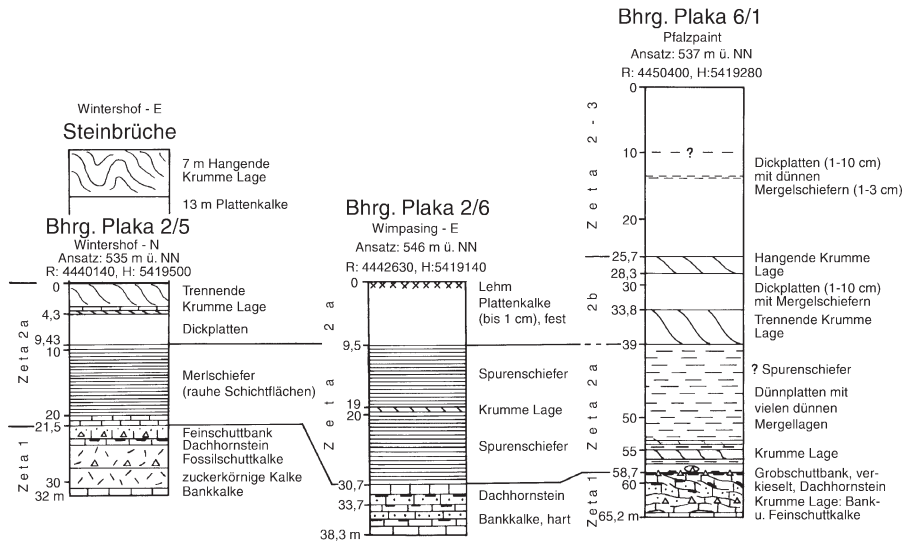


Abb. 7. Faziesübergänge im Malm Zeta 2 zwischen Eichstätt (Bohrungen Plaka 2/5 u. 2/6) und Pfalzpaint (Bohrung Plaka 6/1).

Die Obergrenze des Malm Zeta 1 bilden verkieselte Bankkalke, die aus grobem Fossil-schutt aufgebaut sind und nach unten in eine über 5 m mächtige Krumme Lage aus weißen Feinschuttalken mit grauen Hornsteinlagen, Brekzienbänken und schließlich graue Bankkalke übergehen.

Im Bereich der Pfalzpainter Wanne wäre aufgrund der qualitativen und quantitativen Ausprägung der Gesteine durchaus an einen weiteren Abbau der Plattenkalke zu denken. Nur die Störungszone, die in Plaka 6/1 angetroffen wurde, stellt aufgrund der in ihrem Umfeld anzutreffenden Zerrüttung der Kalksteine ein Abbauehemmnis dar. Das betrifft jedoch nur einen relativ eng begrenzten Streifen und läßt sich durch geeignete Positionierung nördlich bzw. südlich davon umgehen.

## 6. Schlußfolgerungen

Trotz großer Unterschiede von Mächtigkeiten (30–79 m) und Fazies lassen die erbohrten Profile eine Parallelisierung des Malm Zeta 2 von der Solnhofener bis in die Eichstätter Wanne zu. In den weiter östlich gelegenen Faziesräumen ist dies deutlich schwieriger, wie erste Auswertungen der Bohrungen der jüngsten Zeit zeigen. Dies ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Ausführungen. Die Mächtigkeitsunterschiede des Malm Zeta 2 sind wahrschein-

lich schon in primär unterschiedlichen Tiefen der einzelnen Sedimentationswannen begründet. Die gut abgrenzbare Überlagerung durch die rauhen, feinschuttreichen, häufig verkieselten Plattenkalke des Malm Zeta 3 sowie die Unterlagerung durch die Bankkalke des Malm Zeta 1 bilden im Idealfall einen verlässlich erkennbaren Rahmen. Die charakteristischen Krümmen Lagen (HKL, TKL) sind in bestimmten Bereichen eine wertvolle Hilfe bei der weiteren Untergliederung des Malm Zeta 2. Dabei gilt jedoch der Vorbehalt, daß Krümme Lagen grundsätzlich in jeder stratigraphischen Position (auch mehrfach) sowie unterschiedlicher Ausprägung und Mächtigkeit auftreten können. Bisweilen ist „Krumme Lage“ im Bohrprofil nicht sicher anzusprechen. Die stratigraphischen Bezeichnungen „Hangend“ bzw. „Trennend“ sollten daher nur im Zusammenhang mit anderen stratigraphischen Merkmalen des Gesamtprofils verwendet werden.

Grundsätzlich sind stratigraphische Korrelationen allein nach lithologischen Kriterien bei einem vielgliedrigen, uneinheitlichen Sedimentationsraum mit Fehlermöglichkeiten behaftet. Zudem birgt ein Bohrkern nur einen beschränkten Einblick in den Untergrund, der nicht mit einer Aufschlußwand konkurrieren kann. Eine Untergliederung nach den in den gut aufgeschlossenen, klassischen Steinbruchrevieren entwickelten Kriterien bereitet insbesondere in Wannengebieten, die stark durch Riffschutt beeinflusst sind (z. B. Haunsfelder Wanne), große Schwierigkeiten.

Diese Probleme erschweren die gezielte Aufsuchung möglicher Erweiterungsareale bzw. Alternativstandorte für die bestehende Plattenkalkindustrie und unterstreichen die Notwendigkeit von Bohrungen zur Schaffung planerischer Sicherheit. Da die konkrete Gesteinsausbildung aufgrund des zergliederten Faziesraumes kleinräumigem Wechsel unterliegt, reicht die Zuordnung zu einer auskartierbaren stratigraphischen Einheit bei weitem nicht aus, um eine verlässliche Beurteilung der Nutzbarkeit der Gesteine treffen zu können. Als Beispiel seien hier nur die stark unterschiedliche Mächtigkeit der HKL, die als Abraum gelten kann, und die nicht vorhersehbare Verunreinigung der mikritischen Plattenkalke durch Riffschutt bzw. kieseliges Material zu nennen. Vor diesem Hintergrund können einzelne Bohrungen nur orientierende Hinweise geben, die generalisierende Aussagen zulassen, aber doch grobe Fehleinschätzungen verhindern.

Als wesentliches Ergebnis der Bohrungen aus lagerstättenkundlicher Sicht ist festzuhalten, daß nur wenig Alternativmöglichkeiten zu den existenten Steinbrüche bestehen, zumal die Plattenkalkfazies östlich des hier behandelten Raumes in schwer gliederbare Bankkalke überzugehen scheint. Vornehmlich im Umfeld der klassischen Steinbruchreviere ist mit Plattenkalkvorkommen zu rechnen, die nach Qualität und Quantität für eine wirtschaftliche Gewinnung in Frage kommen. Das dort vorhandene Ressourcenpotential ist schwer einzuschätzen. Bei der gegenwärtigen Abbaumethode und -menge dürften diese jedoch in einem in etlichen Jahrzehnten anzugebendem Zeitraum größtenteils erschöpft sein. Die Frage der tatsächlich vorliegenden Rohstoffvorräte ist ohne die verbesserte Kenntnis der noch unerschlossenen Räume im Umfeld der in Abbau stehenden Wannengebiete nicht möglich, wobei neben den Kriterien von Qualität und Mächtigkeit der Plattenkalke insbesondere auch die Mächtigkeit der Abraumschichten wichtig ist. Inwieweit Vorräte bauwürdig sind bzw. überhaupt abgebaut werden können, hängt ohnehin stark von nichtgeologischen Parametern ab, die zeitlichem Wandel unterliegen.

## 7. Literatur

- EDLINGER, G. v. (1964): Faziesverhältnisse und Tektonik der Malmtafel nördlich Eichstätt/Mfr. – Erlanger geol. Abh., **56**: 75 S., Erlangen.
- FESSELDT, K. (1962): Schichtenfolge und Lagerung des oberen Weißjura zwischen Solnhofen und der Donau. – Erlanger geol. Abh., **46**: 80 S., Erlangen.
- FREYBERG, B. v. (1964): Geologie des Weißen Jura zwischen Eichstätt und Neuburg/Donau (Südliche Frankenalb). – Erlanger geol. Abh., **54**: 97 S., Erlangen.
- FREYBERG, B. v. (1966): Der Faziesverband im Unteren Malm Frankens. Ergebnisse der Stromatometrie. – Erlanger geol. Abh., **62**: 112 S., Erlangen.
- MEYER, R. K. F. & SCHMIDT-KALER, H. (1990): Wanderungen in die Erdgeschichte – I. Treuchtlingen – Solnhofen – Mörsheim – Dollnstein. – 80 S., München (PFEIL).
- MEYER, R. K. F. & SCHMIDT-KALER, H. (1991): Wanderungen in die Erdgeschichte (2): Durchs Urdonautal nach Eichstätt. – 112 S., München (PFEIL).
- MEYER, R. K. F. & SCHMIDT-KALER, H. (1994): Fazieswandel und Probleme im Obermalm (Tithon) zwischen Solnhofen und Neuburg/D. (Bayern). – Erlanger geol. Abh., **123**: 1–49, Erlangen.
- POSCHLOD, K. & WEINIG, H. (1997): Rohstoffe. – In: SCHMIDT-KALER, H.: Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7131 Monheim. – 108–129, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHAUER, L. (1989): Die Solnhofener Plattenkalkindustrie. – Bayerland, **91**(3): 49–54, München.
- SCHMIDT-KALER, H. (1990): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7032 Bieswang. – 82 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHMIDT-KALER, H. (1997): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7131 Monheim. – 159 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHMIDT-KALER, H. (1998): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 7132 Dollnstein. – München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHWARK, L., VLIEX, M. & SCHAEFFER, P. (1998): Geochemical characterization of Malm Zeta laminated carbonates from the Franconian Alb, SW-Germany (II). – Org. Geochem., **29**: 1921–1952, Oxford.
- VIOHL, G. (1998): Die Solnhofener Plattenkalke – Entstehung und Lebensräume. – *Achaeopteryx*, **16**: 37–68, Eichstätt.
- WEINIG, H. (1984): Plattenkalke der Wannsen zwischen Monheim und Pfalzpaint. – *Geologica Bavarica*, **86**: 192–203, München.
- ZEISS, A. (1964): Geologie des Malm auf Gradabteilungsblatt Dollnstein (Südliche Frankenalb). – Erlanger geol. Abh., **55**: 43 S., Erlangen.



## Zur Gliederung und Kartierung der bayerischen Vorlandmolasse

Von GERHARD DOPPLER, THOMAS PÜRNER und MARKUS SEIDEL

Mit 4 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Südbayern – Region Ingolstadt – Tertiär – Molasse – Lithostratigraphie – Forschungsbohrung – Analysenergebnisse – geologische Kartierung

**Kurzfassung:** Am Bayerischen Geologischen Landesamt wurde in den letzten Jahren mit dem Aufbau von Datenbanken für ein Bodeninformationssystem und der kartenblatt- und fachgebietsübergreifenden Bearbeitung größerer Gebiete („Projekt Region 10, Ingolstadt“) begonnen. Hierfür ist eine in diesem Umfang bisher nicht erforderliche Normierung der geologischen Aufnahme und der dafür verwendeten Begriffswelt vonnöten. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit entsprechenden Vorgaben, die u. a. für die Kartierung der Molasseabfolge in der Region Ingolstadt erarbeitet wurden.

Die bereits bei SCHWERD et al. (1996) vorgestellte, systematisch ergänzte lithofazielle Grobgliederung der Molasse des nördlichen Alpenvorlandes wird näher erläutert und durch zusätzliche Untereinheiten ergänzt, die eine feinere Korrelation zulassen. Alle Ablagerungen innerhalb des Molassebeckens vom Obereozän bis ins Obermiozän werden den Molasseabfolgen zugerechnet.

Die Region Ingolstadt erfaßt den Übergangsbereich zwischen den unterschiedlichen lithostratigraphischen Gliederungen im östlichen und im westlichen bayerischen Molassebecken. Die Forschungsbohrung Stockhausen bei Gerolsbach lieferte Grundlagen für ein lithostratigraphisches Konzept, das die Einheiten beider Gliederungssysteme zueinander in Beziehung setzt. Ergebnisse dieser Kernbohrung und der an ihr durchgeführten Untersuchungen werden kurz vorgestellt.

Zum Abschluß werden die grundsätzlichen Schwierigkeiten bei der Kartierung limnisch-fluviatiler Lockergesteinsfolgen wie der Oberen Süßwassermolasse beleuchtet: geringe Signifikanz der in einer lithostratigraphischen Einheit vertretenen Sedimente, fließende bzw. oszillierende Übergänge zwischen den Einheiten, sowohl in der lateralen Erstreckung als auch in der vertikalen Zeitfolge. Die Grenzziehung innerhalb der Oberen Süßwassermolasse trägt deshalb mit der vergleichsweise willkürlichen Festlegung innerhalb trendhafter Entwicklungen einen eigenen Charakter.

### Geologic subdivision and mapping of Molasse in the Bavarian Alpine foreland

**Keywords:** Southern Bavaria – Ingolstadt region – Tertiary – Molasse – lithostratigraphy – research drilling – analytical results – geological mapping

**Abstract:** For some years the Bavarian Geological Survey (Bayerisches Geologisches Landesamt) is engaged in the development of a digital soil and subsoil information system. A few years ago a new approach was taken in the geological investigation of Bavaria by utilizing interdisciplinary methods and applying these systematically to larger administration units instead of single map sheets. „Region 10 Ingolstadt Project“ is based on this new approach.

The new system provides the need for more standardisation in mapping concepts and methods, including geological nomenclature. This paper gives information about the results obtained during the work within the southern part of the Ingolstadt region, which is situated in the Molasse basin of the Northern Alpine Foreland.

The subdivision of the Northern Alpine Molasse in major lithofacial units was completed by SCHWERD et al. (1996). This is now improved and better documented. Additional subdivisions make a more detailed

---

Anschrift der Verfasser: Dr. GERHARD DOPPLER, Dipl.-Geol. THOMAS PÜRNER und Dipl.-Geol. MARKUS SEIDEL, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstraße 128, D-80797 München.

correlation of Molasse formations possible. The Molasse sequences include now all sediments deposited in the Molasse basin from Upper Eocene to Upper Miocene regardless of their origin.

The Ingolstadt region comprises the transition between different lithostratigraphic systems in the eastern and the western Bavarian Molasse Basin. The research drill hole of Stockhausen near Gerolsbach provided clues for the correlation of the two systems. Results of the core drilling and supplementary investigations are presented shortly.

Finally the major problems of mapping fluvial molasse sediments are discussed: the lack of significance of individual lithological units and the gradual and oscillating transitions between them. This has implications on the determination of the extension of lithofacial units laterally as well as in time scale. Thus, the boundaries of the Upper Freshwater Molasse units frequently cannot be determined exactly; they only represent trends in the sedimentary evolution of the Molasse basin.

## Inhalt

1. Einleitung .....	218
2. Übergeordnete Molassegliederung .....	219
2.1. Erläuterung der übergeordneten lithostratigraphischen Molasseeinheiten .....	221
2.2. Großräumige Abgrenzung der alpinen Tertiär-Molasse .....	222
3. Korrelation der Formationsgliederungen in der jüngeren Vorlandmolasse der Region Ingolstadt ..	223
3.1. Die Gliederungssysteme der Ost- und Westmolasse .....	223
3.2. Ergebnisse der Forschungsbohrung Stockhausen (RIL 1/97) .....	226
3.3. Deutung der Forschungsbohrung Stockhausen .....	232
4. Kartierproblematik lithostratigraphischer Einheiten der Oberen Süßwassermolasse .....	236
4.1. Allgemeine Grundlagen .....	236
4.2. Unterscheidung lithostratigraphischer Einheiten .....	236
4.3. Grenzziehung zwischen lithostratigraphischen Einheiten .....	239
5. Literatur .....	240

## 1. Einleitung

Die staatliche geologische Landesaufnahme in Bayern blickt auf eine Tradition von 150 Jahren zurück. In den letzten zwei bis drei Jahrzehnten fand mehr und mehr die elektronische Datenverarbeitung (EDV) Eingang in die Bearbeitung der im Gelände erhobenen Daten. Geologische Informationen werden in Datenbanken gespeichert, ihre Bearbeitung erfolgt z. T. mit Hilfe von Programmen und geologische Karten werden digital erstellt. Die mit der EDV verbundenen Möglichkeiten für die Dokumentation und Präsentation geologischer Inhalte wirken mittlerweile auch auf die fachliche Arbeit zurück. Der Aufbau eines Bodeninformationssystems und die blattschnitt- und fachgebietübergreifende Bearbeitung größerer Gebiete erfordern ein bisher nicht übliches Maß an Normierung schon bei der Aufnahme im Gelände.

Im Rahmen des Projekts „Geologischer und Hydrogeologischer Infopool Region 10 (Ingolstadt)“ wird derzeit durch das Bayerische Geologische Landesamt (GLA) die integrierte geowissenschaftliche Aufnahme einer Planungseinheit am Beispiel der Region Ingolstadt betrieben. Für die Schaffung einer gemeinsam nutzbaren Datengrundlage ist eine Abstimmung zwischen verschiedenen Vorgehensweisen und Ansprüchen erforderlich. Neben Teilen der südlichen Frankenalb und des Donautals umfaßt diese Region vor allem Bereiche des Tertiär-Hügellands im Übergangsbereich zwischen östlicher und westlicher Vorlandmolasse. Hier ist

in besonderem Maß ein Abgleich zwischen unterschiedlichen stratigraphischen Gliederungssystemen notwendig.

Die folgenden Ausführungen sollen die in den letzten Jahren am GLA durchgeführten Maßnahmen zur Vereinheitlichung von geologischen Aufnahmen in der Vorlandmolasse erläutern:

- Aufbau einer konsequenten, übergeordneten Molassegliederung
- Abgleich der lokalen und regionalen Gliederungssysteme
- Überarbeitung der Aufnahmekonzeption für Molasseablagerungen

Alle genannten Punkte stehen in Wechselwirkung miteinander.

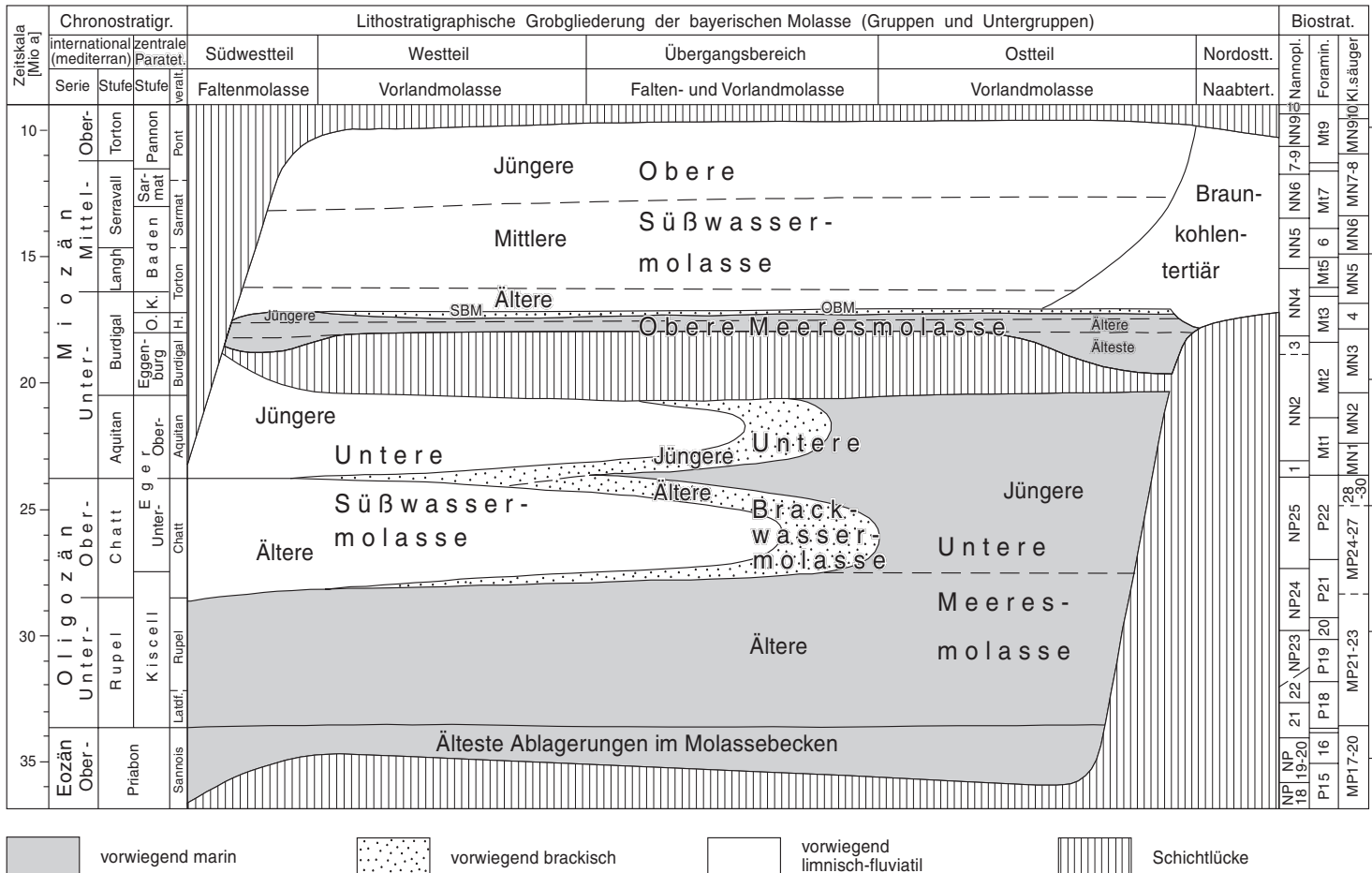
## 2. Übergeordnete Molassegliederung

Die lithostratigraphische Grobgliederung der Molasseablagerungen im bayerischen Alpenvorland ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die übergeordnete Untergliederung der Ablagerungen im Molassebecken nördlich der Alpen erfolgt lithofaziell, d. h. entsprechend des aus den Gesteinen ablesbaren Ablagerungsmilieus. Es werden marine, brackische und limno-fluviatile Ablagerungen als Meeres-, Brackwasser- und Süßwassermolasse unterschieden. Das Ablagerungsmilieu wechselte räumlich und zeitlich, bereichsweise sogar mehrfach. Verantwortlich hierfür ist letztlich die alpidische Gebirgsbildung mit dem Vorrücken und Übereinanderstapeln der mächtigen Gesteinskörper der alpinen Decken. Die dadurch ausgelösten tektonischen Ausgleichsbewegungen steuerten ein komplexes Zusammenspiel von Absenkung des Molassebeckens, Sedimenteintrag und eustatischen Meeresspiegelschwankungen (z. B. SCHWERD et al. 1996: 142 ff.). Von jeder Lithofazies können ältere („Untere“) und jüngere („Obere“) Abschnitte als lithostratigraphische Einheiten unterschieden werden. Sie werden durch einen Hiatus während des Eggenburg eindeutig getrennt (vgl. Abb. 1). Diese Großeinheiten der nördlichen alpinen Tertiär-Molasse haben den Rang von „Gruppen“ im Sinne der „Empfehlungen (Richtlinien) zur Handhabung der stratigraphischen Nomenklatur“ (STEININGER & PILLER 1999).

Der Ansatz zu einer lithostratigraphischen Grobgliederung der Gesteinsfolgen im Molassebecken nördlich der Alpen ging vermutlich vom westlichen Beckenteil aus, da dort die lithofazielle Differenzierung durch mehrfach wechselndes Ablagerungsmilieu am ausgeprägtesten ist. SCHILL (1859) unterscheidet im Bodenseegebiet bereits „obere“ und „untere Süßwassermolasse“. Bei HEER (1879) findet sich bereits die „Meeresmolasse der tongrischen Stufe“, wenn auch als ältester Abschnitt der „Unteren Süßwassermolasse“, und zwischen „Unterer“ und „Oberer Süßwassermolasse“ die „Meeresmolasse der helvetischen Stufe“. KIDERLEN (1931: 227, 384) verwendet hierfür die Bezeichnungen „Untere“ und „Obere Meeresmolasse“. Für die zuvor allgemein nur als „Brackwassermolasse“ geführten Bildungen des westlichen Beckens zwischen Oberer Meeresmolasse und Oberer Süßwassermolasse führen LEMCKE et al. (1953: 28) die Bezeichnung „Süßbrackwassermolasse“ ein.

Diese übergeordnete Gliederung der nördlichen alpinen Molasse weist aber systematische Lücken auf. Z. B. sind entsprechende Bezeichnungen für die oligo- bis miozänen Brackwasserbildungen („Cyrenenschichten“) oder für die durchgehend marinen Ablagerungen im östlichen bayerischen Molassebecken („Schlier“) nicht oder nicht einheitlich in Gebrauch. SCHWERD et al. (1996: Tab. 4.1-1) vervollständigen deshalb für die Erläuterung der 4. Auflage der Geolo-





gischen Karte von Bayern 1 : 500 000 konsequent die Einteilung in lithostratigraphische Gruppen. Zur näheren Erläuterung der ergänzten Begriffe war dort allerdings keine Gelegenheit. Das soll hier nachgeholt werden. Gleichzeitig wird eine feinere Untergliederung in „Untergruppen“ eingeführt, die eine Korrelation annähernd gleichaltriger Bildungen innerhalb der „Gruppen“ erlaubt.

## 2.1. Erläuterung der übergeordneten lithostratigraphischen Molasseeinheiten

(vgl. Abb. 1)

Im Obereozän gehörte der spätere Molassebereich noch zum helvetischen Becken, ehe im Unteroligozän durch den von S vorrückenden alpinen Deckenstapel die überfahrenen Krustenteile niedergebogen wurden. Das führte am Nordrand der zum Gebirge aufwachsenden Alpen zur Ausbildung einer Vortiefe, des Molassebeckens. Obereozäne Ablagerungen vom ehemaligen Nordrand des helvetischen Meeres treten nur im Bereich des Molassebeckens auf, nicht aber in den ursprünglich weiter südlich gelegenen alpinen Decken des Helvetikums. Sie werden deshalb als „Älteste Ablagerungen im Molassebecken“ an den Beginn der Molasseabfolge gestellt, ohne zu den Molasseablagerungen im eigentlichen Sinne zu zählen.

Im älteren Unteroligozän beginnt mit der fortschreitenden Absenkung des Beckenbodens und der Abschnürung eines eigenen Meeresarms („Paratethys“) die Geschichte des eigentlichen Molassebeckens. Als Molasse zu bezeichnender Abtragungsschutt aus den Alpen setzt sich jedoch erst allmählich durch. Trotzdem werden bereits die ältesten unteroligozänen Ablagerungen im Becken vereinbarungsgemäß der Unteren Meeresmolasse zugerechnet.

Während im östlichen Teil des bayerischen Molassebeckens das Ablagerungsniveau noch die gesamte Eger-Stufe hindurch unter dem Meeresspiegel verbleibt, entwickeln sich in der Westhälfte limnisch-fluviatile, im Übergangsbereich brackische Verhältnisse.

Die Bezeichnung „Untere Meeresmolasse“ wurde bisher meist nur auf die älteren oligozänen Meeresbildungen bezogen, die hier als „Ältere Untere Meeresmolasse“ geführt werden. Letztere liegt im W im Liegenden von „Unterer Süßwassermolasse“ bzw. „Unterer Brackwassermolasse“, im E jedoch unter den fortgesetzt marinen Bildungen des jüngeren Oligozäns. Diese Meeresablagerungen der Eger-Stufe werden nunmehr ebenfalls zur Unteren Meeresmolasse gerechnet und zwar als „Jüngere Untere Meeresmolasse“. Sie beginnt mit dem Sedimentationsumschwung von Tonmergelfazies zu Geröllmergel- bzw. Sandfazies im östlichen Bekenteil.

- ◁ Abb. 1. Übergeordnetes lithostratigraphisches Gliederungssystem für die nördliche alpine Tertiär-Molasse in Bayern. – Chronostratigraphische Gliederung nach BERGGREN et al. (1995), für den Bereich der Zentralen Paratethys nach STEININGER (1999) und RÖGL (1996); Korrelation zwischen neuer Paratethysgliederung und alter Stufengliederung des nördlichen Alpenvorlands nach SCHWERD et al. (1996); biostratigraphische Zonen für kalkiges Nannoplankton nach MARTINI (1971) und für planktonische Foraminiferen nach BERGGREN et al. (1995), für jungtertiäre Kleinsäuger nach STEININGER (1999), für alttertiäre Kleinsäuger nach RÖGL (1996). – Die von SCHWERD et al. (1996) aus STEININGER et al. (1989) übernommene Diskrepanz zwischen mariner (Foraminiferen) und kontinentaler (Kleinsäuger) Oligozän/Miozän-Grenze ist in der neuen Tabelle von STEININGER (1999) bereinigt.

Abkürzungen: Biostrat. = Biostratigraphie, Chronostratigr. = Chronostratigraphie, Foramin. = Planktonische Foraminiferen, H. = Helvet, K. = Karpat, Kl.säuger = Kleinsäuger, Latdf. = Latdorf, Naabtert. = Naabtertiär, Nannopl. = Kalkiges Nannoplankton, Nordostt. = Nordostteil, O. = Ottwang, OBM = Obere Brackwassermolasse, SBM = Süßbrackwassermolasse, veralt. = veraltete Stufengliederung, zentr. Parateth. = zentrale Paratethys.

Auf die der Jüngeren Unteren Meeresmolasse gleichaltrigen brackischen Bildungen mit teils limnisch-fluviatilen, teils marinen Einschaltungen wird die bisher nicht allgemein gebräuchliche Bezeichnung „Untere Brackwassermolasse“ angewandt. Der bisher oft verwendete Begriff „Cyrenenschichten“ soll als entsprechende Formationsbezeichnung dienen. Innerhalb dieser Brackwassereinheit wird „Ältere Untere Brackwassermolasse“ von „Jüngerer“ durch einen Meeresvorstoß nach W abgetrennt. Wo diese Trennung nicht mehr erkennbar ist, rechnet die gesamte in die Untere Süßwassermolasse eingeschaltete Brackwasserabfolge zur „Jüngeren Unteren Brackwassermolasse“.

Die an die Untere Brackwassermolasse westlich anschließenden limnisch-fluviatilen Bildungen werden allgemein als „Untere Süßwassermolasse“ bezeichnet. Sie werden durch den oben genannten, weiten Meeres- und Brackwasservorstoß nach W in einen jüngeren und einen älteren Abschnitt unterteilt.

Eine Sedimentationslücke im gesamten bayerischen Teil des Molassebeckens umfaßt große Teile der Eggenburg-Stufe. Nur im E und S treten noch im Eggenburg erneut marine Ablagerungen auf, die hier der „Ältesten Oberen Meeresmolasse“ zugezählt werden. Auch die höhere „Obere Meeresmolasse“ kann anhand der lithologischen Entwicklung („Zyklen“ nach LEMCKE et al. 1953: 24) in einen „Älteren“ und einen „Jüngeren“ Teil gegliedert werden.

Die von LEMCKE et al. (1953: 29, 35) eingeführte Bezeichnung „Süßbrackwassermolasse“ ist bis heute nicht allgemein anerkannt (vgl. hierzu z. B. DOPPLER 1989: 86). Der Begriff wird im Gliederungssystem des GLA für die brackischen, anfangs aber auch limnisch-fluviatilen oder terrestrischen Ablagerungen verwendet, die im westlichen bayerischen Molassebecken (dort v. a. im Bereich der Graupensandrinne) zwischen Obere Meeresmolasse und Obere Süßwassermolasse eingeschaltet sind. Für die östlichen brackischen Folgen, die sich offenbar meist direkt aus marinen Ablagerungen entwickeln, ist der Terminus „Obere Brackwassermolasse“ vorgesehen.

Die über große Gebiete auch oberflächlich anstehende „Obere Süßwassermolasse“, welche die Molasseablagerung beschließt, wird dreigeteilt. Die „Ältere Obere Süßwassermolasse“ soll die ältesten Bildungen nach der endgültigen Aussüßung des bayerischen Molassebeckens bei offenbar teilweise noch sehr trägem Abfluß und überwiegend pelitischer Sedimentation umfassen. „Mittlere Obere Süßwassermolasse“ bezeichnet die anschließende Phase sich verstärkenden Abflusses in der Beckenachse nach W mit Ablagerung von überwiegend Schottern und Sanden. Mit wieder abnehmender Transportkraft folgt die „Jüngere Obere Süßwassermolasse“ bis zum Ende der Molassesedimentation in der Pannon-Stufe.

Die lokalen Grenzziehungen der lithostratigraphischen Gruppen und Untergruppen verlaufen nicht isochron. Im einzelnen leiten sich die Grenzen dieser Gruppen und Untergruppen von kartierbaren Grenzen der darin zusammengefaßten Formationen (z. T. Subformationen) ab.

## 2.2. Großräumige Abgrenzung der alpinen Tertiär-Molasse

Nach S bestehen keine Abgrenzungsschwierigkeiten der Molasseeinheiten im Vorlandbecken gegen gleichaltrige intramontane Ablagerungen. Die „Inneralpine Molasse“ ist räumlich eindeutig vom Vorlandbecken getrennt. Die Abgrenzung der Vorlandmolasse gegen zeitgleiche Bildungen nördlich außerhalb des Molassebeckens (Alb und ostbayerisches Grundgebirge) muß dagegen, wegen vielfach fließender Übergänge, häufig willkürlich erfolgen. Außerhalb des Molassebeckens wurzelnde, tertiäre Sedimente (z. B. „Naabtertiär“) lassen sich teilweise

weit ins Molassebecken hinein verfolgen (z. B. „Moldanubische Serie“), wo sie sich mit Material alpinen Ursprungs vermischen (z. B. „Mischserie“; vgl. UNGER 1983, 1989).

Als Molassesediment wird teils nur der Abtragungsschutt eines Orogens bezeichnet (z. B. FÜCHTBAUER 1988: 957), teils werden alle in orogene Rand- oder Innensenken gelangenden Sedimente dazu gerechnet (z. B. MURAWSKI & MEYER 1998). Unabhängig davon, ob sie als Molassesedimente zu bezeichnen sind, können aber die verschiedensten Gesteine in Molasseabfolgen einbezogen werden (z. B. Helvetikum-Fazies, s. o.). Am GLA werden ungeachtet ihrer Herkunft alle Gesteinseinheiten zur Tertiär-Molasse (Supergruppe) gezählt, die vom Obereozän bis Obermiozän im Bereich der Molassebecken im Alpenvorland bzw. Alpeninneren zur Ablagerung gelangten. Die nordbayerischen Wurzelbereiche von Schüttungen ins Molassebecken werden nicht als Molassesedimente betrachtet. Sobald sie aus ihren eigenen Talwegen (z. B. Naabtal) ins Molassebecken übertreten, werden sie jedoch in die Molasseabfolgen einbezogen. Dieses Vorgehen erfordert verschiedentlich eine abstrakte Grenzziehung quer zu durchgehenden Schüttungskörpern. Sind hierfür keine lithologischen Kriterien verfügbar, wird die Abgrenzung zumindest an nachvollziehbaren Stellen vorgenommen (z. B. Tal-mündung).

### **3. Korrelation der Formationsgliederungen in der jüngeren Vorlandmolasse der Region Ingolstadt**

Ausgehend vom unterschiedlichen lithologischen Aufbau der jüngeren, oberflächlich weit verbreiteten Molasseablagerungen im bayerischen Alpenvorland haben sich für die Obere Süßwassermolasse im östlichen und im westlichen Molassebecken unterschiedliche lithostratigraphische Gliederungssysteme entwickelt. Da sie z. T. auf abweichenden Einteilungskriterien beruhen, ist die zeitliche Parallelisierung ihrer Einheiten mit Unsicherheiten behaftet. Auch die den limnisch-fluviatilen Ablagerungen vorangehenden brackischen und marinen Sedimente werden in verschiedenen Gebieten unterschiedlich bezeichnet, auch wenn dem nicht immer ein augenfälliger Faziesunterschied zugrundeliegt. Für die noch älteren, untermiozänen bis oligozänen Molasseeinheiten ist durch die starke Milieudifferenzierung von W nach E (s. Kap. 2.) eine Unterscheidung verschiedener Abfolgen klar vorgegeben.

In der Folge werden Korrelation und Abgrenzung der miozänen Einheiten im Übergangsbereich zwischen östlichem und westlichem Molassebecken in der Region Ingolstadt nach derzeitigem Kenntnisstand dargestellt. Um verlässliche Grundlagen für die Korrelation anhand eines möglichst langen, durchgehenden Profils zu erhalten, wurde der Bohrungsetat des GLA 1997 für eine Forschungsbohrung bei Gerolsbach eingesetzt.

#### **3.1. Die Gliederungssysteme der Ost- und Westmolasse**

Die Entwicklung des miozänen axialen Flußsystems (s. Kap. 4.) im Molassebecken von seinem proximalen Bereich in Südostbayern zum distalen in Bayerisch-Schwaben bedingt deutliche Faziesunterschiede. Im E herrschen, abgesehen von den frühesten feinerkörnigen Ablagerungen, teilweise schwer unterscheidbare Schotter vor. Dagegen wird im W durch einen Großzyklus anfangs pelitisch, nachfolgend sandig, kurzfristig kiesig, dann wieder sandig bis pelitisch dominierter Sedimente eine grobe lithologische Viergliederung vorgezeichnet. Eine laterale Abgrenzung der gleichaltrigen Einheiten der östlichen und westlichen Molasseabfol-

gen wurde bisher nicht vorgenommen. Sie wird erschwert durch fließende, nicht stetige Übergänge und schlechte Aufschlußverhältnisse. Letzteres gilt verstärkt für die im Übergangsbereich nur noch in Bohrungen erschlossenen Brackwasser- und Meeresmolasseeinheiten im Liegenden der Oberen Süßwassermolasse.

Für die niederbayerische Vorlandmolasse wird die in wesentlichen Zügen heute noch gültige Formationsgliederung durch die Arbeitsgruppe um NEUMAIER (NEUMAIER et al. 1957) vorgelegt. Ausgehend von Unzulänglichkeiten dieses Systems für die Kartierung entwickelt UNGER (1983, 1989) ein Lithozonenkonzept für die Obere Süßwassermolasse. Es basiert vorwiegend auf der Unterscheidung verschiedener Schwermineral-Vergesellschaftungen in den grobklastischen Schüttungskörpern der OSM, aber auch auf anderen lithologischen Eigenschaften. Durch Korrelation mit paläontologischen (v. a. säugerstratigraphischen und paläobotanischen) Einstufungen verschiedener Lokalitäten werden die Lithozonen L1 bis L5 mit weitgehend isochronen Grenzen in einen chronostratigraphischen Rahmen gestellt.

Die Gesamtgliederung der bayerisch-schwäbischen Vorlandmolasse wird von LEMCKE et al. (1953) entworfen, eine Unterteilung der Oberen Süßwassermolasse von ABELE et al. (1955) auf der Grundlage der biostratigraphischen Gliederung DEHMS (1955) durchgeführt. DOPPLER (1989) modifiziert dieses System. Insbesondere wird der lithostratigraphische Charakter der Einheiten betont, was die weitgehende Loslösung von der Vorstellung isochroner Grenzen zwischen den Einheiten beinhaltet.

Die verschiedenen Abfolgen, soweit sie für die aktuelle Gliederung im Bereich der Region Ingolstadt von Bedeutung sind, werden in Abbildung 2 dargestellt. Eine Kurzbeschreibung der Einheiten geben DOPPLER & SCHWERD (1996) sowie UNGER (1996) in den Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500 000. Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, umfaßt der aktuell bearbeitete Raum gerade den nördlichen Übergangsbereich zwischen östlichem und westlichem Gliederungssystem, der etwa zwischen der Autobahn München–Ingolstadt und dem Lechtal eingegrenzt werden kann. Daraus ergab sich die Aufgabe, in diesem Gebiet auch den lateralen Anschluß der verschiedenen Einheiten aneinander zu regeln. Eine Grundlage hierfür sollte die Forschungsbohrung Stockhausen schaffen.

---

Abb. 2. Korrelation informeller lithostratigraphischer Einheiten („Formationen“) im bayerischen Molassebecken mit Schwerpunkt im Bereich der Region 10. – Chronostratigraphische und säugerstratigraphische (MN-Zonen) Einteilung nach STEININGER (1999); die Zeitskala ist im Bereich des Otnangs auf das Doppelte gestreckt. – Die Beschränkung auf eine west-östlich orientierte Schnittebene erfordert Kompromisse bei der Darstellung paralleler Entwicklungen in nördlich oder südlich gelegenen Gebieten (z. B. Misch- und Moldanubische Serie neben Hangendserie). Aufgrund der spärlichen Datierungsmöglichkeiten für Molassesedimente bestehen bei der chrono- und biostratigraphischen Festlegung der Grenzen, insbesondere auch von Schichtlücken, noch erhebliche Unsicherheiten. Grenzen, die regional verschieden benannte Einheiten trennen, ohne augenfällige lithologische Unterschiede nachzuzeichnen, sind punktiert dargestellt. Abkürzungen: k.-m. Abt. = kalkig-mergelige Abteilung, Lakustr. Sch. = Lakustrische Schichten, OBM = Obere Brackwassermolasse, OMM = Obere Meeresmolasse, OSM = Obere Süßwassermolasse, sand. Abt. = sandige Abteilung, SBM = Süßbrackwassermolasse. ▷



### 3.2. Ergebnisse der Forschungsbohrung Stockhausen (RIL 1/97)

Die Bohrung in einer Kiesgrube beim Weiler Stockhausen NW Gerolsbach (Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm) hatte die Aufgabe, für die Bearbeitung der jüngeren Molasse in der Region Ingolstadt ein durchgehendes Richtprofil zur Verfügung zu stellen. Die Ausführung als Kernbohrung ermöglichte eine gesicherte Gesteinsansprache einschließlich Gefügebeurteilung und den Einsatz moderner Analytik mit eindeutigem Schichtbezug. Beabsichtigt war auch die Vergleichbarkeit mit den detailliert bearbeiteten Counterflush-Bohrungen (kleinkalibrige Kernbohrungen) der frühen fünfziger Jahre einige Kilometer östlich bzw. südwestlich (LEMCKE et al. 1953).

Die Forschungsbohrung Stockhausen soll in einer gesonderten Veröffentlichung eingehend behandelt werden, sobald die Ergebnisse der Laboruntersuchungen vollständig vorliegen. An dieser Stelle werden ihre bisherigen Ergebnisse für die stratigraphische Gliederung im Übergangsbereich zwischen östlicher und westlicher Fazies der Vorlandmolasse dargestellt.

Wesentliche Grundlage der Gliederung der Abfolge der Bohrung Stockhausen ist eine detaillierte Kernaufnahme durch die Verfasser sowie durch die Kollegen H. J. UNGER, U. RAST und im oberen Abschnitt M. LINDEMANN (alle GLA). Neben der Ansprache von Bodenart und Fels nach DIN 4022 einschließlich Konsistenz, Lagerungsdichte oder Bindungsstärke wurden die vorhandenen Gefüge und die Ausbildung der Schichtgrenzen festgehalten. Daneben wurden Kalk- und Humusgehalt sowie makroskopische Fossilführung oder andere Besonderheiten wie z. B. Glaukonitführung vermerkt. Wegen der Verrohrung des Bohrloches beschränkten sich geophysikalische Messungen auf ein Gamma-Ray-Log nach Abschluß der Bohrarbeiten. Die Probenahme für die verschiedenen Laboruntersuchungen erfolgte in einer mehrtägigen Kampagne im Kernlager des GLA, ausgenommen die in den höheren Abschnitten für ingenieurgeologische Untersuchungen unmittelbar nach Ausbringung gewonnenen ungestörten Proben. Von H. J. UNGER und M. SEIDEL wurde zusätzlich der Schlämmrückstand von Proben aus dem Übergangsbereich zwischen eindeutig marinen und eindeutig ausgesüßten Ablagerungen mikroskopiert.

Ein Übersichtsprofil der Kernaufnahme kombiniert mit dem Gamma-Ray-Log und ausgewählten Analyse-Ergebnissen gibt Abbildung 3 wieder. Die wesentlichen makroskopisch erkennbaren Merkmale der Abfolge der Bohrung Stockhausen sind der folgenden zusammenfassenden Kernbeschreibung zu entnehmen.

Bohrprofil der Forschungsbohrung Stockhausen (RIL 97/1), einschließlich des über der Meterangabe 0,00 m folgenden Schichtenprofils der Kiesgrube am Bohrpunkt

TK25 Nr. 7434 Hohenwart

Lage: R: 4451612, H: 5374371 (NW Gerolsbach)

Ansatzhöhe: 482,6 m ü. NN

Bohrkern-Aufnahme: G. DOPPLER, Th. PÜRNER & M. SEIDEL, z. T. M. LINDEMANN, 09.09.–17.10.1997

#### **Obere Süßwassermolasse**

##### **„Feinkörnige Kalkige Deckschichten“**

- 11,00 m Abfolge aus Ton- bis Schluffmergel im höchsten Teil der Kiesgrube
- Nördliche Vollschorter-Abfolge (oberer Teil)**
- 9,00 m Quarz-Mittelkies bis -Grobkies mit Sandlagen, braungrau, lokal mit Muschelschalen, im tieferen Teil der Kiesgrube
- ± 0,00 m Sohle der Kiesgrube

- 10,60 m Quarzkies-Sand-Wechselfolge, bräunlich bis grau
- Geröllsandserie**
- 22,18 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff- und Sandmergel sowie Schluff, grau
- 35,50 m Sand-Abfolge, grau, unter 30,20 m z. T. feinkiesig, teilweise Kernverlust
- 36,98 m Schluffmergellage, grünlichgrau
- 47,00 m Wechselfolge aus Fein- und Mittelsand, grau, basal mit Quarz-Feinkies bis -Mittelkies
- 50,05 m Wechselfolge aus Ton- und Schluffmergel, grünlichgrau, mit Ton- und Feinsandlage
- 57,00 m Abfolge aus Mittel- bis Feinsand, grau, basal mit humosen Lagen
- 71,78 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff- und Sandmergel, grünlichgrau und braun, mit wenigen Ton- und Feinsandlagen, Tonmergelsteinlage bei 66,60–66,77 m
- 74,25 m Abfolge aus Mittel- bis Feinsand, grau, vereinzelt Sandstein, kalkig gebunden
- 78,75 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff- und Sandmergel, grünlichgrau, z. T. braunfleckig, mit Tonlage und Kalkmergelsteinlage bei 75,22–75,50 m
- 86,92 m Abfolge aus Mittel- bis Feinsand, grau, mit Schluffmergellage, zuunterst vereinzelt Feinkies
- 94,44 m Wechselfolge aus Ton- und Schluffmergel, grünlichgrau, mit Ton-, Schluff- und Feinsandlagen, zuoberst Kalkmergelstein, verbreitet Kalkeinlagerungen
- 102,55 m Wechselfolge aus Fein- und Mittelsand, oben mit dünner Kalkmergelstein- und Sandmergel-  
lage sowie z. T. Sandstein, kalkig gebunden, grau
- 107,59 m Wechselfolge aus Quarz-Feinkies bis -Mittelkies und Sand, grau
- Fluviatile Untere Serie**
- 112,65 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff- und Sandmergel, grünlich- bis dunkelgrau, teilweise humos  
und mit Kalkeinlagerungen, lokal Schneckenschalen, mit Tonlage und lokal Sand- bis Sand-  
stein-Einschaltung
- 138,08 m Abfolge aus Mittel- bis Feinsand, vereinzelt kalkig gebunden, grau, zuoberst Schluff, mit  
mehreren Aufarbeitungslagen aus Mergel- bis Kalkmergelstein-Resedimenten
- 147,57 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff-, Sand- und Kalkmergel, grünlichgrau, selten humos, oben  
mit Kalkmergelsteinlage, verschiedentlich Schluff- bis Feinsandlagen, basal mit Schnecken-  
schalen
- 156,42 m Feinsand-Abfolge, grau, mit Ton- bis Schluffmergellagen und -einschaltungen
- 157,30 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff- und Sandmergel, grünlichgrau, oben mit Kalkmergelsteinla-  
ge
- 167,75 m Wechselfolge aus Mittel- bis Feinsand, grau, mit Aufarbeitungslagen aus Ton- bis Kalkmer-  
gel- und humosen Ton-Resedimenten
- Limnische Untere Serie**
- 184,52 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff-, Sand-, Kalkmergel und Feinsand, wechselnd grünlichgrau  
bis grau, mit schwärzlichgrauen, humosen Lagen, vorwiegend aus Ton, teilweise beginnende  
kalkige Verfestigung, z. T. Schneckenschalen
- 189,97 m Feinsand-Abfolge, grau, unten mit Aufarbeitungslagen aus Tonmergel- bis Mergelkalkstein-  
Resedimenten
- 215,47 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff-, Sand- und Kalkmergel, wechselnd grünlichgrau bis grau,  
mit Feinsand- bis Schlufflagen und teilweise schwärzlichgrauen, humosen Schluff- bis Ton-  
lagen, teilweise beginnende kalkige Verfestigung, z. T. Schneckenschalen
- Obere Brackwassermolasse**
- Sand-Kalkmergel-Serie (kalkig-mergelige Abteilung)**
- 224,65 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff-, Sandmergel und Feinsand, mit Kalkmergelsteinbänken,  
weiß- bis grünlichgrau, selten graugrün, zuoberst schwarzgrau, humos, mit Muschelpflaster
- Sand-Kalkmergel-Serie (sandige Abteilung)**
- 234,89 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff-, Sandmergel- und Feinsand, hell- bis grüngrau, vereinzelt  
glaukonitführend, z. T. beginnende kalkige Verfestigung und Dolomitmergel-Einlagerungen
- 244,70 m Abfolge aus Mittel- bis Feinsand, grau, karbonatarm bis -frei, häufig lebhaft schräg und  
flaserig geschichtet, mit Schluff- bis Toneinschaltungen, z. T. humos, lokal Brackwasser-  
Molluskenlagen (Rzehakien, Congerien, *Melanopsis*)
- 267,88 m Feinsand-Abfolge mit oft humosen Ton-, Schluff- bis Sandmergellagen, grau bis bräunlich-  
grau, selten graugrün, glaukonitisch, oft lebhaft schräg- bis flaserig geschichtet, lokal Brack-  
wasser-Molluskenlagen (Rzehakien, Congerien, *Melanopsis*)

**Obere Meeresmolasse****Glaukonitsande und Blättermergel**

- 273,00 m Abfolge aus Fein- bis Mittelsand, grau, oben dunkelgrau, schwach glaukonitisch, z. T. schräg bis flaserig geschichtet, mit unterschiedlich häufigen, selten humosen Ton-Mergel-Zwischenlagen, lokal mit Braunkohlelamellen, unten mit Sandstein- bis Kalkmergelsteinbank
- 279,08 m Mittelsand-Abfolge, glaukonitreich, graugrün, mit wenigen Schluffmergellagen
- 285,64 m Wechselfolge aus Ton-, Schluff-, Sandmergel und Feinsand, grau bis grünlichgrau, häufig schräg bis flaserig geschichtet, Mergelanteile nach oben abnehmend, bereichsweise Feinsand, graugrün, glaukonitisch
- 287,95 m Tonmergel-Abfolge mit Sandmergel- bis Schlufflagen, grau, häufig lebhaft schräg bis flaserig geschichtet
- 288,21 m Aufarbeitungslage, graugrün, aus Tonmergel- und Ton-Resedimenten in Mittelsand, glaukonitreich, mit Brackwasser-Mollusken (*Rzehakien*, *Congerien*, *Melanopsis*)
- 290,56 m Wechselfolge aus Fein- bis Mittelsand, grau, wenn glaukonitreich graugrün, nach oben zunehmend mit Ton-, Schluff- und Sandmergel- Einschaltungen  
Neuhofener Schichten
- 298,70 m Abfolge aus Schluff- bis Sandmergel, bräunlichgrau, mit einer Dolomitmergelsteinlage  
E.T.

Folgende, den kleindimensionierten Sedimentwechsel überlagernde, längere Abschnitte mit unterscheidbarer lithologischer Ausbildung sind erkennbar: Bei 290,56 m Teufe werden die als tiefste Einheit erbohrten, bräunlichgrauen Mergel nach oben von einer grünlichgrauen bis graugrünen, z. T. glaukonitreichen, lebhaft geschichteten Abfolge von Sanden mit Mergel-einschaltungen abgelöst. Ab 267,88 m nehmen die Mergel-einschaltungen zu und Glaukonit-führung ist nur noch vereinzelt erkennbar. Der Bereich von 224,65 m bis 215,47 m ist durch helle Mergelsteinbänke gekennzeichnet. Darauf folgt eine Serie überwiegend pelitischer, meist mergeliger Ablagerungen mit untergeordneten Feinsandeinschaltungen und typischen humosen Lagen. Bei 167,75 m wird sie abgelöst durch eine Abfolge von grauen Sanden mit Einschaltungen grauer bis brauner Mergel. Von 107,59 bis 102,55 m tritt eine erste Einschaltung von Quarzkiesen auf. 10,60 m unter der Kiesgrubensohle beginnt der durch den Abbau erschlossene Quarzschotterbereich, der etwa 9 m über der Kiesgrubensohle durch eine Mergel-schicht abgeschlossen wird.

Bohrlochmessungen wie das Gamma-Ray-Log sind ein wesentliches Hilfsmittel zur Korrektur und Festlegung der durch die verzögerte und teilweise unvollständige Ausbringung des Bohrguts unsichereren Schichtgrenzen bei Spülbohrungen. Die Kombination mit den Bohrkernen von Stockhausen ermöglicht eine genauere Deutung der Ursachen erhöhter Gammastrahlung und kann als Grundlage für die Interpretation der Meßprofile von Spülbohrungen der weiteren Umgebung dienen. Die natürliche Gammastrahlung in Gesteinen stammt v. a. aus dem Zerfall von Isotopen der Uran-Thorium-Reihe und des Kaliums. Die Zahl der meßbaren Zerfälle steigt vor allem mit dem Gehalt an Tonmineralen, aber auch an Glimmern oder organischem Material und erlaubt daher v. a. die Unterscheidung von tonärmeren, größeren Klastiten oder Karbonatgesteinen. Die Messung der Bohrung Stockhausen wurde mit dem Meßwagen des GLA durch K. ESTERMEIER und M. HÖCK im verrohrten Bohrloch ausgeführt. Bei der in Abbildung 3 wiedergegebenen Meßkurve ist versucht worden, die Dämpfung der Strahlung durch die teleskopartig ineinandergeschachtelte Verrohrung durch Versetzen der Meßkurve auszugleichen. Die Messungen der Gamma-Sonde reichen etwa 1,2 m tiefer als die angegebene Endteufe. Somit liegt der erkennbare Teufenunterschied bei weniger als 1 %. Auf eine Korrektur der Grenzziehungen aus der Kernaufnahme durch die Gamma-Ray-Log-Messungen wurde deshalb verzichtet.



Wegen der besonderen Bedeutung für die Faziesbestimmung und der z. T. schon bei der Kernaufnahme möglichen Bestimmung werden Fossil- und Glaukonitführung in Abbildung 3 in unmittelbarer Nachbarschaft zur Kerndarstellung wiedergegeben. Die Aufbereitung und Bearbeitung der paläontologischen Proben erfolgten am GLA durch G. SRDIC bzw. H. RISCH, weitere Bestimmungen durch B. REICHENBACHER, Karlsruhe, und W. WITT, Gündlkofen (Ostracoden). Der Fossilbestand wird hier lediglich in Beziehung auf Lebensräume ausgewertet. Die vermerkten biostratigraphischen Zuordnungen beruhen auf Foraminiferenarten. Mit Hilfe von Foraminiferen können marine Verhältnisse nach oben letztmals in einer Probe bei 269 m belegt werden. Allerdings sind Foraminiferen schon mindestens einen Meter tiefer mit Brackwassermollusken vergesellschaftet, die darüber hinaus in einem Aufarbeitungshorizont bei 288 m erstmals vertreten sind. Typische Brackwasserarten (Mollusken, Fische) sind zusammen mit meist brackwasserertragenden Süßwasserarten von 269 m bis 221 m nachgewiesen. Darüber folgt bis etwa 167 m noch ein Bereich mit häufig bereits makroskopisch erkennbaren Süßwasserarten. Die in den höheren Profilteilen, entsprechend der Fossilhäufigkeit, nur noch spärlich genommenen Proben erbrachten neben indifferenten Fossilien v. a. Süßwasser-, seltener auch Landarten (v. a. Mollusken), mehrfach auch offensichtlich umgelagerte marine Fossilien (z. B. Foraminiferen).

Glaukonitführung kann als Indiz für marine Ablagerung gewertet werden. Allerdings können Umlagerungen auftreten und die flachmarine Genese wird nicht mehr als einzige Entstehungsmöglichkeit diskutiert (FÜCHTBAUER 1988: 218 ff.). Bei der Kernaufnahme wurde bei ca. 252 m erstmals erkennbare Glaukonitführung vermerkt. Im Schlämnrückstand der Mikrofossilproben und der von H. J. UNGER und M. SEIDEL bearbeiteten Proben konnte Glaukonit in geringeren Mengen bereits bei 232,90 m nachgewiesen werden.

Das Auftreten feinverteilter organischer Substanz (Humusgehalt bis kohlige Einlagerungen) wurde bei der Kernaufnahme festgehalten, im Labor wurden zusätzlich Gehalte an organischem Kohlenstoff bestimmt. Zwischen 217 m und 175 m treten humose Lagen in auffälliger Häufung auf, sind aber auch darunter und darüber vereinzelt vertreten. Sie zeigen die Abnahme oder Unterbrechung der klastischen Sedimentation und damit meist die Beendigung von Ablagerungszyklen an.

Der Karbonatgehalt wurde bei der Kernaufnahme durchgehend mit zehnpromentiger Salzsäure geprüft. In Lockersedimenten reagiert neben Calcit (sofortiges Aufbrausen) auch feinverteilter Dolomit auf Säurezugabe, wobei letzterer durch eine verzögerte Reaktion gekennzeichnet ist. Karbonat-Gesamtgehalte wurden an ausgewählten Proben im Infrarot-Spektrometer gemessen, daneben die Anteile der verschiedenen Karbonatphasen durch Diffraktometermessungen bestimmt (RAST 1995). Auffällig ist hier vor allem ein Bereich konstant niedriger Gesamtkarbonatgehalte bis höchstens wenig über 10 % zwischen 227 m und 270 m, der sich weitgehend mit einem Abschnitt vorwiegender Dolomitvormacht zwischen 211 m und 270 m überschneidet. Im übrigen ist eine Tendenz sowohl zu höheren Karbonatgehalten als auch Calcit/Dolomitverhältnissen in den pelitischen Sedimenten erkennbar.

Vor allem für sandige Abschnitte, untergeordnet auch für sandige Anteile pelitischer Sedimente, wurden Schwermineralanalysen durchgeführt. Nach der bei RAST (1991) beschriebenen Methode wurde aus der Fraktion 0,1–0,25 mm mit dem Sichertrog die Schwermineralfraktion gewonnen und mikroskopisch untersucht. Mit Werten um 90 % dominiert der Granat i. a. die Schwermineralspektren alpiner Molasseablagerungen. Eine gesonderte Betrachtung der übrigen Schwerminerale erscheint wegen dieser Vormacht nützlich. Für die Darstellung in Abbildung 3 wurden neben dem Granatgehalt das Verhältnis von Staurolith zu Epidot und

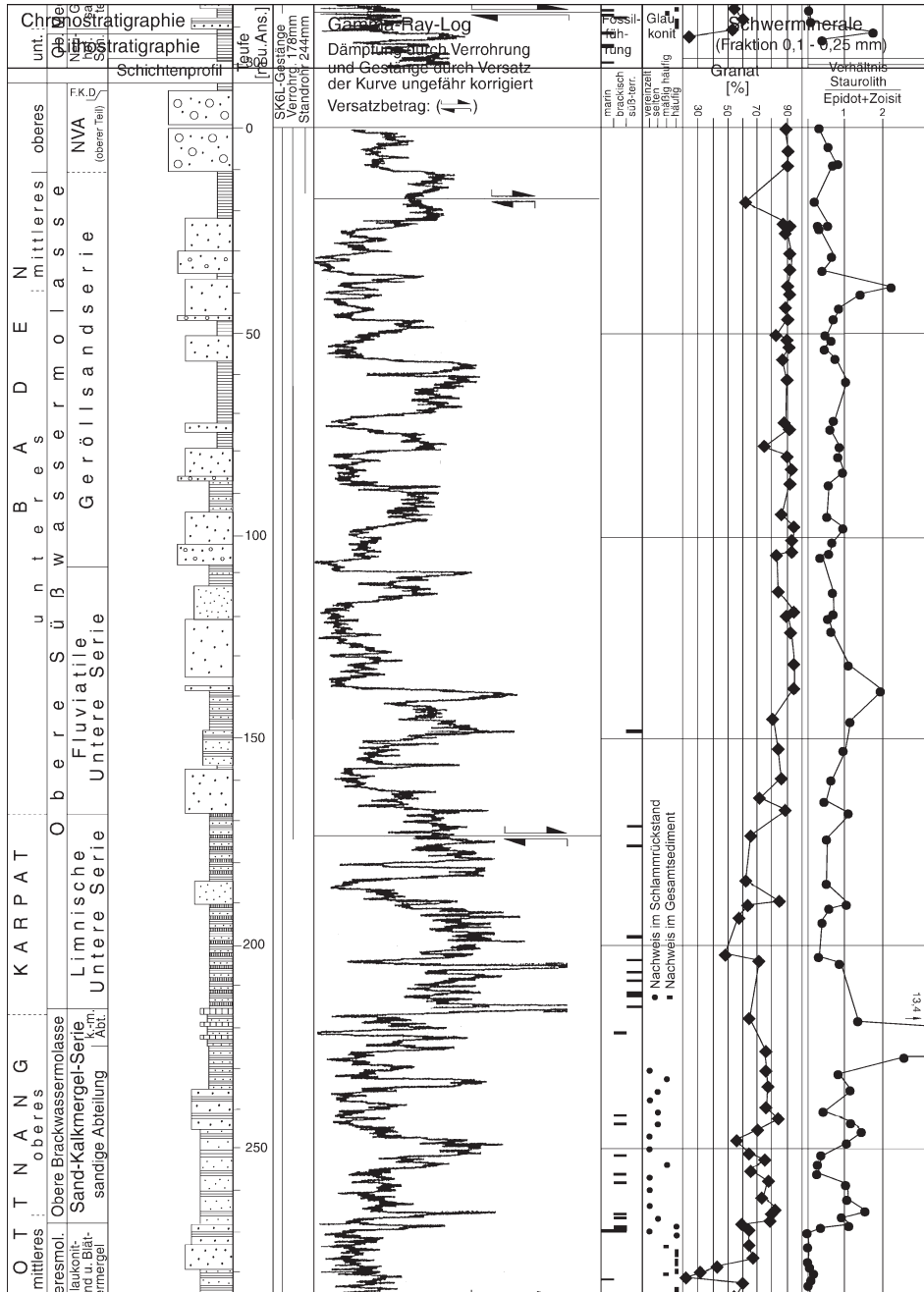
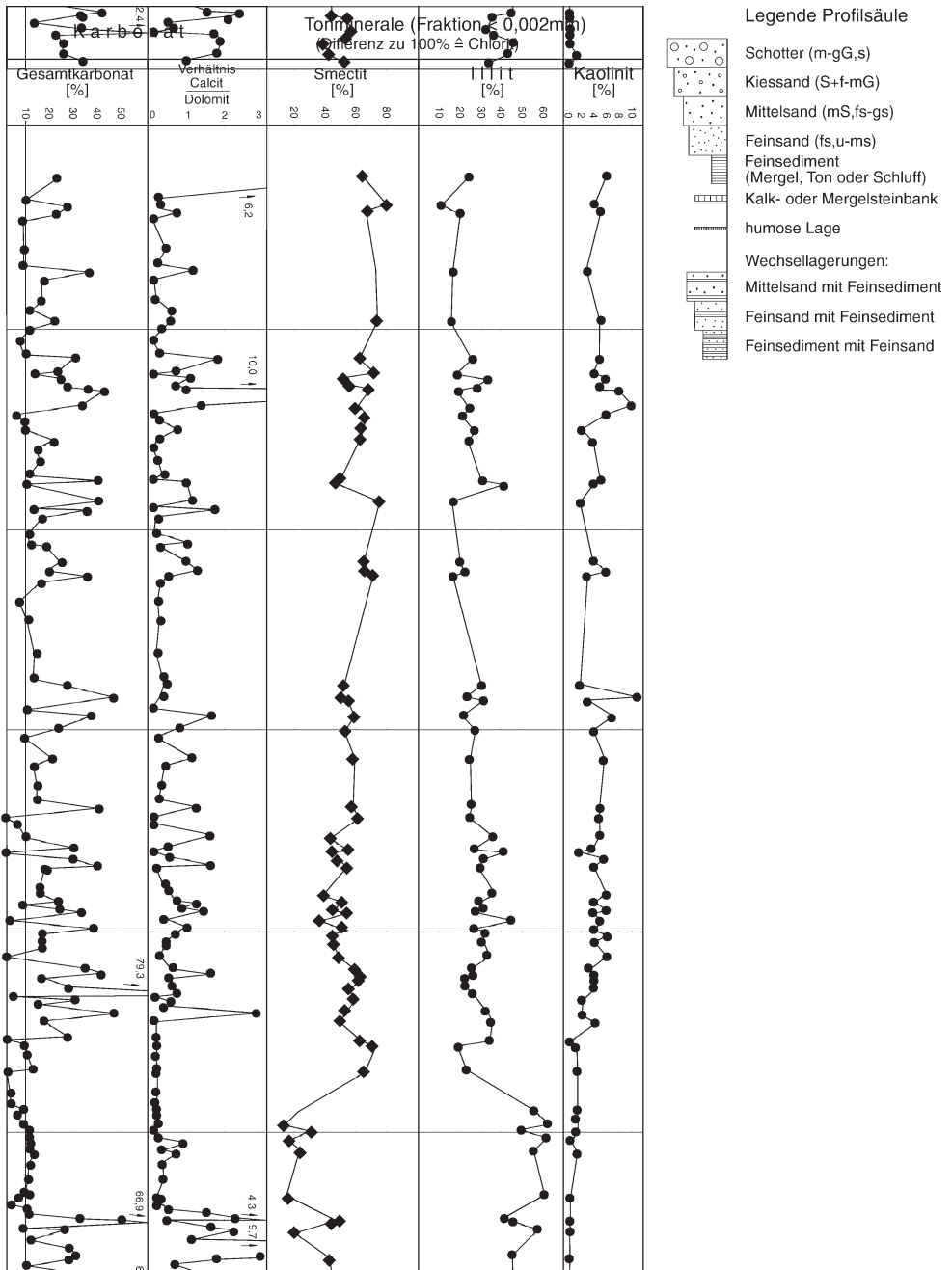


Abb. 3. Übersichtsprofil und Deutung der Forschungsbohrung Stockhausen (RIL 1/97) und des nach oben anschließenden Kiesgrubenprofils. – Verwendung von Kernaufnahme, Gamma-Ray-Log, Ergebnissen paläontologischer und lichtmikroskopischer Untersuchungen sowie von Schwermineral-, Karbonat- und ▷



Tonmineralanalysen (Bearbeiter s. Kap. 3.2). – Abkürzungen: F.K.D. = „Feinkörnige Kalkige Deckschichten“, k.-m. Abt. = kalkig-mergelige Abteilung, m u. Ans. = Meter unter Ansatzpunkt, Neuhof. Sch. = Neuhofener Schichten, terr. = terrestrisch, NVA = Nördliche Vollschotter-Abfolge.

Zoisit ausgewählt. Der Granatgehalt insbesondere der Sande und Schotter aus der Bohrung Stockhausen bleibt oberhalb etwa 138 m konstant hoch bei 90 % und geht ab 168 m von Werten zwischen 80 % und 90 % bis auf ungefähr 50 % bei 205 m zurück, um sich anschließend vorwiegend zwischen 60 % und 80 % zu bewegen. Ab 268 m fallen die Granatwerte z. T. deutlich unter 70 %. Bei leichter Übermacht von Epidot und Zoisit erscheint das Verhältnis zum Staurolith über weite Bereiche verhältnismäßig konstant. Erst von etwa 270 m bis 290 m ist eine eindeutige Vormacht des Epidots zu erkennen. Zur Beurteilung der Entwicklung in den ältesten Abschnitten der Bohrung fehlen entsprechende, gröberkörnig ausgebildete Ablagerungen.

Die Tonmineralanalysen, ausgeführt an der Tonfraktion ( $< 0,002$  mm) am Diffraktometer nach der bei RAST (1993) beschriebenen Methode, lassen nur geringe Differenzierungsmöglichkeiten erkennen. In Abbildung 3 werden die Gehalte an Smectit, Illit und Kaolinit wiedergegeben, bezogen auf den Gesamtgehalt an Tonmineralen (einschließlich Chlorit). Die Entwicklung der Chloritgehalte gleicht dem Illit, bei allerdings mindestens 50 % geringeren Gehalten. Auf eine eigene Darstellung wurde verzichtet. Smectit und Illit verhalten sich reziprok zueinander. Smectit liegt in den höheren Abschnitten bis 112 m meist zwischen 60 % und 80 %, Illit zwischen 10 % und 30 %. Bis 225 m steigt der Illit-Wert auf 30 % bis 40 %, während Smectit auf 40 % bis 60 % abfällt. Auffällig ist nach einem kurzen Wiederanstieg die Abnahme der Smectitgehalte unterhalb von 235 m auf 10 % bis 30 % und im Gegenzug die Zunahme des Illits auf über 50 %. Unter 270 m nähern sich beide Tonminerale wieder den Werten oberhalb 235 m. Kaolinit bleibt i. a. deutlich unter 10 %, um unterhalb 225 m nahezu vollständig aus dem Spektrum zu verschwinden.

Die Proben für die sedimentpetrographische Analytik wurden im Labor des GLA von U. NEUMANN aufbereitet und von U. RAST gemessen und ausgewertet. Die Ergebnisse der geochemischen Analysen, Korngrößenanalysen und ingenieurgeologischen Untersuchungen liegen z. T. noch nicht vor und sind an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

### 3.3. Deutung der Forschungsbohrung Stockhausen

Die Abfolge der Forschungsbohrung Stockhausen korreliert sehr gut mit den Profilen der benachbarten CF-Bohrungen 1006 und 1007a (LEMCKE et al. 1953: Taf. II). Bei der folgenden Einordnung von Abschnitten der Forschungsbohrung in die aktuellen lithostratigraphischen Gliederungssysteme (s. Kap. 3.1.) werden Einheiten der östlichen Abfolge mit „(E)“ gekennzeichnet, die der westlichen mit „(W)“ und Einheiten des Zwischenbereichs mit „(Z)“. Die bestehende Teufendifferenz (s. o.) zur Gamma-Ray-Kurve wird vernachlässigt. Die Beschreibung erfolgt nicht entsprechend des Bohrfortschritts, sondern in Ablagerungsrichtung von den ältesten zu den jüngsten Einheiten.

Die als tiefste erbohrte Einheit nur noch mit wenigen Metern aufgeschlossenen, verhältnismäßig gleichförmig ausgebildeten, bräunlichgrauen, sandigen Mergel werden zu den „Neuhofener Schichten“ (E) gestellt. Genausogut wäre die Bezeichnung Sandmergelserie (W) möglich. Beide Einheiten sind in ihrer Ausprägung nicht grundsätzlich unterschieden (vgl. LEMCKE 1988: 133). Für eine vorläufige, ohnehin künstliche Grenzziehung bietet sich der Lech an. Ausgeschlammte Foraminiferen bestätigen eine Einstufung in den älteren Teil des Ottgangs bis in den Übergangsbereich zum mittleren Ottgang.

Grenzkriterium zur nächstjüngeren Schicht ist der sich auch im Gamma-Ray-Log abzeichnende Sedimentwechsel bei 290,56 m. Die Mergelserie im Liegenden wird abgelöst von einer Abfolge mit vorwiegend grünlichen, teils glaukonitreichen Sanden. Diese werden vorläufig mit der Bezeichnung „Glaukonitsande und Blättermergel“ (E) belegt, obwohl der Gesteinsbestand auch die Einordnung in die Baltringer Schichten (W) zuließe. Ein etwa 2,5 m über der Basis gelegener Aufarbeitungshorizont enthält allerdings nur Pelit-Resedimente und nicht die für den Baltringer Horizont typischen Festgesteinsgerölle. Der Fossilbestand (Rzehakien, Congerien) weist für diesen Horizont kurzfristig Brackwassereinfluß nach. Im übrigen dominieren Foraminiferen, die jedoch keine genauere Einstufung als ins Ottang, zuoberst möglicherweise bis ins tiefste Karpat, zulassen.

Die Abgrenzung zum Hangenden erfolgt bei 267,88 m mit dem Eintritt einer Kornverfeinerung und dem Nachlassen der Grünfärbung durch Glaukonit, der aber durchaus auch oberhalb noch in lagenweise makroskopisch erkennbarer Menge auftritt. Das Tonmineralspektrum verschiebt sich vom Smectit zum Illit. Bereits etwas tiefer nehmen die Karbonatgehalte ab, verschwindet Calcit fast völlig. Der Granatgehalt steigt an und die für die höhere Obere Meeremolasse typische Epidot/Zoisit-Vormacht (LEMCKE et al. 1953: 27) bricht zusammen. Foraminiferen in nennenswerter Menge wurden letztmals bei 269 m nachgewiesen, schon ab 270 m allerdings vermischt mit eindeutig brackischen Faunenelementen, die in der hangenden Folge das Bild bestimmen.

Typische Brackwassermollusken (Rzehakien, Congerien, Nemaurellen) sowie Fisch- und Ostracodenarten, die vor allem aus der Brackwassermolasse bekannt sind, belegen das Ablagerungsmilieu zumindest eines Teils dieser grauen Sandfolge mit nach oben abnehmenden Mergel einlagerungen. Gleichzeitig ist in den sandigen Partien fast durchgängig Glaukonit nachzuweisen, der i. a. flachmarine Verhältnisse anzeigt. In teilweise durchaus noch makroskopisch erkennbaren Anteilen (s. Abb. 3) ist er hier jedoch mit Brackwasserfaunen vergesellschaftet. Nach Einschätzung von Dr. RAST (mündl. Mitt.) kommen aufgrund des Zustandes der Körner Umlagerungen kaum in Frage, so daß wohl eine Entstehung am Rande eines Meeresbeckens im Bereich von Süßwasserzuflüssen in Erwägung gezogen werden muß, möglicherweise analog zu den aktuellen Verhältnissen am Nigerdelta (FÜCHTBAUER 1988: 220). Die Abfolge repräsentiert offensichtlich den Übergang von marinen zu brackischen Verhältnissen. Da der Fauna zufolge keine eindeutig marine Ausprägung mehr vorliegt, wird hier eine Zuordnung zur Brackwassermolasse vertreten. Die lithologische Ausbildung entspricht dem, was LEMCKE et al. (1953: 29) als untere sandige Abteilung der von ihnen eingeführten „Sand-Kalkmergel-Serie“ (Z) bezeichneten. Da weder ein deutlicher Hiatus noch eine eindeutig süßwassergeprägte Phase wie in der Graupensandrinne nachzuweisen sind, wird die Sand-Kalkmergel-Serie zur Oberen Brackwassermolasse und nicht zur Süßbrackwassermolasse gerechnet (vgl. Kap. 2.1.).

Bei 234,89 m beginnt mit dem Wechsel von grauen Feinsanden zu einem Schluffmergel mit Mergelsteinknollen ein Übergangsbereich, in dem die Karbonatgehalte nach dem Rückgang in der unteren Abteilung wieder ansteigen. Gleichzeitig kehren sich die Anteile des Smectits und des Illits gegenüber den tieferen Abschnitten der unteren Abteilung um. Bei etwa 230 m sind letztmals Spuren von Glaukonit nachweisbar. Im höchsten Teil des Übergangsbereichs deutet sich durch zwei Schwermineralproben mit eindeutiger Vormacht des Stauroliths gegenüber der Epidot/Zoisit-Gruppe der kurzfristige Einfluß einer Radialschüttung an, deren Einsetzen von LEMCKE et al. (1953: 38) als B-Grenze bezeichnet wird. Auch die Fossilleere zwischen 240 m und 227 m Tiefe kann auf einen möglicherweise drastischen Milieuwechsel hindeuten.

Die Grenze zur oberen kalkig-mergeligen Abteilung der Sand-Kalkmergel-Serie (Z) wird analog zum Vorgehen von LEMCKE et al. (1953: Taf. IV) mit dem Auftreten der ersten ausgeprägten Mergelsteinbank bei 224,65 m gezogen. Weitere geringmächtige, harte Mergelsteinbänke folgen in der dolomitbetonten, hell- bis grünlichgrauen Mergel-Feinsand-Wechselfolge. Die Kaolinitanteile steigen hier erstmals über 1 % an. Das letzte eindeutige Brackwasserfossil (*Nematurella*) fand sich bei 221 m. Vor allem aus der Brackwassermolasse bekannte Fischarten (Gobiiden) reichen dagegen noch bis in die tiefsten Teile der Oberen Süßwassermolasse, ähnlich wie im Gebiet der Graupensandrinne (Kirchberger Schichten).

Die Abgrenzung und Gliederung der Oberen Süßwassermolasse ist mit allen Problemen der Grenzziehung innerhalb weitgehend fließender, nicht stetiger Übergänge behaftet, die auch im Kapitel 4 beleuchtet werden. Je nach Bewertung des einen oder anderen Kriteriums können die Grenzen im Profil deutlich differieren. In der Bohrung Stockhausen kann der untere Teil eines limnisch-fluviatilen Großzyklus analog zur Abfolge in der Westmolasse beobachtet werden (vgl. Kap. 3.1). Die Schichtbezeichnung schließt sich daher hier bis zu den erst in den höchsten Teilen ausgebildeten Grobschottern dem Vorgehen in der Westmolasse an, das bei der Abgrenzung von Einheiten im wesentlichen auf einfach erkennbare Korngrößenunterschiede der abgelagerten Sedimente zurückgreift.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen ermöglichen im Bereich der Oberen Süßwassermolasse kaum eine zusätzliche Differenzierung. Die Schwankungen der Karbonatgehalte vollziehen im wesentlichen lediglich Korngrößenunterschiede nach und können somit nicht gesondert zur Gliederung herangezogen werden. Sandige Partien zeichnen sich i. a. durch geringere Gesamtgehalte um 10 % und meist eindeutige Vormacht detritischen Dolomits aus, pelitische Bereiche dagegen durch über 10 % bis um 40 % Gesamtkarbonat, bei teilweise leicht überwiegendem, vermutlich hauptsächlich in situ ausgefälltem Calcit. Auch die Tendenz des Smectitgehalts weist auf Kosten des Illits weitgehend kontinuierlich nach oben und steigt von etwa 60 % bis nahe 80 %. Die Kaolinitgehalte bleiben im wesentlichen konstant zwischen 2 % und 6 %. Mit Ausnahme der tiefsten, vorwiegend feinkörnig ausgebildeten Einheit (s. u.) treten Fossilien nur noch sporadisch auf und erlauben kaum eine palökologische, geschweige denn stratigraphische Bewertung. Häufig können umgelagerte marine Reste vermerkt werden.

Die Grenze der Oberen Brackwassermolasse zur Oberen Süßwassermolasse wird mit der auf der höchsten Dolomitmergelsteinbank ausgebildeten humosen Tonmergellage mit Muschelpflaster (Unioniden) bei 215,47 m gezogen. Hier beginnt eine Abfolge grauer bis grünlichgrauer Mergel mit Einschaltungen von Schluff bis Feinsand, die nur zwischen 185 m und 190 m größere Mächtigkeit erreichen. Typisch sind die regelmäßig ausgebildeten, oft karbonatfreien, wechselnd stark humosen Lagen, die die Zugehörigkeit zur „Limnischen Unteren Serie“ (W) bzw. den gleichartig ausgebildeten Limnischen Süßwasserschichten (E) unterstreichen. Die in Ostniederbayern auch als Lakustrische Schichten bezeichnete Abfolge führt dort noch brackische Faunenelemente und wird deshalb von manchen Bearbeitern der Oberen Brackwassermolasse zugerechnet (vgl. REICHENBACHER 1993: 320). Da bis auf die tiefsten Teile mit Brackwasser-typischen Fischarten (Gobiiden) im fraglichen Teufenbereich der Bohrung Stockhausen nur Süßwasserformen (Schnecken, Fische, seltener Ostracoden, Characeen) nachgewiesen werden konnten, wurde hier der Einstufung in die räumlich (zeitlich?) vom Brackwasserbecken entferntere Limnische Untere Serie der Vorzug gegeben. Im Gegensatz zu jüngeren Ablagerungen ist die Fossilführung in diesem ältesten Abschnitt der Oberen Süßwassermolasse noch vergleichsweise reich und zumeist auch makroskopisch gut als Mollusken-schill erkennbar. Die Granatgehalte in den vorwiegend feinkörnigen Schichten liegen meist nur

zwischen 50 % und 70 % mit nach oben ansteigender Tendenz. Im Restspektrum überwiegt die Epidot/Zoisit-Gruppe fast immer den Staurolith.

Mit einer ca. 10 m mächtigen Fein- bis Mittelsandschicht mit Resedimentlagen beginnt bei 167,75 m eine Wechselfolge grauer Fein- bis Mittelsande und vorwiegend grünlichgrauer Mergel. Sie kann den Fluviatilen Süßwasserschichten (E) oder der „Fluviatilen Unteren Serie“ (W) zugerechnet werden. Die Verwendung letztgenannter Bezeichnung liegt im wesentlichen in der Einordnung der liegenden und hangenden Schichten in die westliche Abfolge begründet. Die Festlegung der Untergrenze der Fluviatilen Unteren Serie erfolgt mit der Basis der ersten mächtigeren Sandeinschaltung, auch wenn durch darüber folgende, vergleichsweise mächtige pelitische Ablagerungen ein allmählicher Übergang aus der Limnischen Unteren Serie angedeutet wird. Auffällig sind bereits in die tiefsten Sande eingeschaltete Pelit-Resedimentlagen, die kurzfristige Erosionsvorgänge dokumentieren. Erst ab 138,08 m dominieren Mittelsande mit einer etwa 25 m mächtigen Schicht eindeutig, was sich auch in einem markanten Sprung im Gamma-Ray-Log abzeichnet, der sich für eine Grenzziehung nach Log anböte. Die mit 80 % bis 90 % bereits gegenüber der Limnischen Unteren Serie erhöhten Granatgehalte steigen ab hier bis auf einige Ausnahmen auf über 90 % an.

Bei 107,59 m ist erstmals weit überwiegend aus Quarz bestehender Fein-, untergeordnet auch Mittelkies in Sande eingelagert, mit denen ein neuer fluviatiler Kleinzyklus über Feinsedimenten im Liegenden beginnt. Hier wird die Untergrenze der nächstjüngeren lithostratigraphischen Einheit, der „Geröllsandserie“ (W), gezogen. Die typische Fein- bis Mittelkiesführung war in der nahezu 100 m mächtigen Abfolge der Bohrung Stockhausen allerdings nur selten zu beobachten. Insgesamt herrschen graue Sande mit teilweise mehr als 10 m mächtigen, meist grünlichgrauen, auch braunfleckigen Feinsedimentlagen vor. Sowohl die Fluviatile Untere Serie als auch die Geröllsandserie sind als westliche Fortsetzung der näher zum Liefergebiet im E gelegenen und deshalb grobkörnigeren Nördlichen Vollschotter-Abfolge anzusehen.

Der nächste deutliche Wechsel in der Sedimentausbildung liegt nur 10,6 m unter Bohranzatzpunkt, wo eine Wechselfolge aus Quarzschottern (größte Gerölle bis in den Grobkiesbereich) und Mittel- bis Grobsanden einsetzt. Die Schotter entsprechen denen der Kiesgrube an der Bohrlokation. Sie können aufgrund der vorwiegend in der Feinkiesfraktion vereinzelt enthaltenen Dolomiterölle noch als „Vollschotter“ bezeichnet und deshalb zur „Nördlichen Vollschotter-Abfolge“ (E) gerechnet werden. Der Fund eines Malmkalk-Gerölls aus der Alb in der Kiesgrube, das aus dem Brockhorizont umgelagert sein dürfte, spricht für ein postriesisches Alter vermutlich des gesamten Schotterpakets. Damit wird eine Zuordnung des von ABELE (1938: 19) beschriebenen „Hauptkies-Horizonts“ zum oberen Teil der Nördlichen Vollschotter-Abfolge wahrscheinlich.

Die Schichtfolge in der Kiesgrube wird abgeschlossen durch einen braunen bis braungrauen Mergelhorizont, der etwa 9 m über der Grubensohle einsetzt, aber aufgrund seiner scharfen Grenze zum liegenden Schotter nicht unbedingt als Abschlußphase dem gleichen fluviatilen Kleinzyklus zugerechnet werden kann. Ehemalige Mergelgruben etwa 15 Höhenmeter oberhalb auf dem an die Kiesgrube östlich anschließenden Rücken deuten an, daß die Feinsedimente hier einen mächtigeren Horizont bilden. Er ist vermutlich den „Feinkörnigen Kalkigen Deckschichten“ zuzurechnen, welche die Nördliche Vollschotter-Abfolge abschließen.

Mit ihrer zweifelsfrei nachvollziehbaren Abfolge konnte die Kernbohrung Stockhausen im Rahmen der grundsätzlichen Unterscheidbarkeit von Molasseeinheiten somit ausreichende Gliederungskriterien zur Verfügung stellen.

## **4. Kartierproblematik lithostratigraphischer Einheiten der Oberen Süßwassermolasse**

### **4.1. Allgemeine Grundlagen**

Die folgenden Ausführungen haben Bedeutung nicht nur für die Aufnahme einzelner Schichtenprofile und geologischer Karten, sondern auch für deren Beurteilung durch gebiets- bzw. fachfremde Nutzer.

Vor etwa 17 Millionen Jahren zog sich das Meer endgültig aus dem deutschen Anteil des Molassebeckens zurück. In der Folge war Süßwasser Transport- und Ablagerungsmedium der Gesteine, die als Obere Süßwassermolasse bezeichnet werden und in riesigen fanglomeratischen Schuttfächern am Alpenrand sowie in ausgedehnten Flußsystemen im nördlich anschließenden Becken zum Absatz gelangten. Bedingt durch großräumige tektonische Bewegungen stellte sich die Entwässerung während der Zeit der Oberen Süßwassermolasse auf eine Abflußrichtung nach W über die heutige Schweiz zum Rhonetal um. Erst zu Ende der Molasseablagerung, im höheren Obermiozän, leitete eine gegenläufige Kippung zum heutigen Donausystem mit Abflußrichtung nach E über.

Im überwiegenden Teil des bayerischen Molassebeckens streicht die limnisch-fluviatile Obere Süßwassermolasse an der Oberfläche aus. Aufgrund der allgemeinen Fossilarmut kommt für ihre flächenhafte Gliederung nur eine lithostratigraphische Einteilung in Frage, die auf Unterschieden in der Gesteinszusammensetzung aufbaut. Paläontologische Untersuchungen, v. a. von Kleinsäugerfaunen, erlauben nur lokal eine biostratigraphische Absicherung der Einstufung lithostratigraphischer Einheiten. Im Gegensatz zu den häufig weithin gleichförmig ausgebildeten Ablagerungen in ausgedehnten Meeresbecken (z. B. mesozoische Gesteine des Schichtstufenlandes) ist das limnisch-fluviatile Milieu im Molassebecken durch engräumigen, oft schwer verfolgbaren lithologischen Wechsel gekennzeichnet. Für die Unterscheidung verschiedener Gesteinseinheiten und ihr flächenhaftes Auskartieren ergeben sich daraus Einschränkungen, die nicht nur dem Kartierer, sondern auch dem Nutzer bewußt sein sollten.

### **4.2. Unterscheidung lithostratigraphischer Einheiten**

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf die Lockergesteine der Oberen Süßwassermolasse, wie sie z. B. in der Region 10 oberflächlich anstehen. Sie sind jedoch mit Einschränkungen auch auf den i. a. stärker verfestigten, durch Fanglomerate gekennzeichneten, alpennäheren Teil der Oberen Süßwassermolasse oder ältere Süßwasserablagerungen im Molassebecken übertragbar.

Die grundlegende Unterscheidungsmöglichkeit für Gesteine der Oberen Süßwassermolasse im Gelände liegt in der Korngröße dieser klastischen Bildungen, die von groben Schottern, Kiessanden und Sanden der Flußrinnen bis zu feinerkörnigen Feinsanden, Schluffen, Mergeln und Tonen der Überflutungsebenen, Altwasserarme und zwischengeschalteten Seebecken reichen. Insgesamt nur selten, verstärkt aber am Albrand, treten Karbonatausfällungen in Form von Süßwasserkalken auf. Häufiger ist dagegen Kalk in Form von konkretionären Bildungen oder Imprägnationen im Boden vertreten. Auch für die klastischen Bestandteile der Sedimente ist der Karbonatgehalt von diagnostischer Bedeutung. Mergel können von karbonatfreien Schluffen und Tonen oder Karbonatgeröll-führende „Vollschotter“ von „Restschottern“ unterschieden werden, in denen nur noch verwitterungsresistente Gesteine vertreten sind. Zu



beachten ist hier allerdings immer der sekundäre, oft tiefreichende Einfluß der quartären Verwitterung. Kennzeichnend können auch auffällige Beimengungen sein, sowohl mineralischer Art, wie etwa Feldspatführung in der Sandfraktion oder Smectitreichtum in der Tonfraktion (Bentonit), als auch organischer Art, wie feinverteilter Humus oder Braunkohle. Unterschiede im Gefügebild, z. B. verschiedene Schichtungsarten, treten dagegen zurück. Sie sind im wesentlichen nur in Aufschlüssen zu beobachten und somit nicht flächenhaft zu verfolgen.

Die Anwendung verschiedener Labormethoden auf Proben kann die makroskopische Differenzierung im Gelände ergänzen, aber nicht ersetzen. Neben einer analytischen Untermauerung bereits mit Geländemethoden geschätzter Parameter, wie Korngröße oder Karbonatgehalt, sind hier vor allem die Untersuchung der Gehalte an Leicht-, Schwer- und Tonmineralen zu nennen, die auf Änderungen im Liefergebiet hinweisen können. Auch hier ist aber wieder der Einfluß der quartären Verwitterung zu beachten. Mit Ausnahme der nur vereinzelt in Aufschlüssen auffindbaren Anreicherungen von Kleinsäureresten erlauben mikropaläontologische Untersuchungen meist nur ökologische Aussagen, aber keine differenzierte zeitliche Einstufung.

Für die räumliche Interpretation der geologischen Verhältnisse ist es günstig, möglichst viele Informationen, auch Fremdbeschreibungen, heranziehen zu können. Deshalb und aus Gründen der „Kartierbarkeit“, sollten für die lithostratigraphische Gliederung die am einfachsten beobachtbaren Merkmale im Vordergrund stehen, insbesondere Korngrößenunterschiede, die z. B. auch bei nicht wissenschaftlich aufgenommenen Bohrungen festgehalten werden. Dort, wo im Gelände verfolgbare Unterscheidungsmerkmale fehlen, muß auf die Ergebnisse von Labormethoden zurückgegriffen werden (vgl. Lithozonengliederung der Schotterabfolgen der Ostmolasse).

Fluviatile Systeme sind durch ein vielfach kleinteiliges Nebeneinander verschiedener Ablagerungsräume (z. B. aktive Flußrinnen, Altwasserarme, Seen, Überflutungsebenen) geprägt. Mit der Zeit verlagern sich diese Sedimentationsbereiche, werden bereits abgesetzte Sedimente wieder abgetragen. In der Gesteinsausbildung gleichartige Einheiten sind daher in der Regel in Ausdehnung und Mächtigkeit begrenzt, wiederholen sich aber gleichzeitig mehrfach sowohl in der Lateralen als auch in der Vertikalen. Lithostratigraphische Einheiten, die mehr als nur lokale Gültigkeit beanspruchen, fassen deshalb in der Regel Abfolgen verschiedener Klastite zusammen, die eine bestimmte, von den Nachbareinheiten unterscheidbare Ausprägung aufweisen (z. B. das Überwiegen von Peliten, das Auftreten von Geröll). Zumeist sind nur bestimmte Teile solcher Abfolgen signifikant (z. B. Schotter aufgrund ihres Geröllbestandes, Feinsedimente aufgrund häufiger Humuseinlagerungen), während die übrigen Teile der Abfolge durchaus den Nachbareinheiten gleichen.

Mit der Gefällsverringering eines Flusses vom Ober- zum Unterlauf findet eine Korngrößenverfeinerung der Strombettablagerungen statt, die sich in der Oberen Süßwassermolasse in einem Übergang von Schottern im E zu Sanden im W ausdrückt. Gleich alte Einheiten im E und im W unterscheiden sich deshalb lithologisch (z. B. ist die Fluviatile Untere Serie großenteils als distale Fortsetzung der Geröllsandserie und diese wiederum der Nördlichen Vollschotter-Abfolge anzusehen; vgl. Abb. 2). Die Grenzziehung zwischen entsprechend lithologisch charakterisierten Einheiten erfolgt also deutlich zeitschräg (diachron). Demgegenüber geht UNGER (1999: u. a. Tab. 1–4) offenbar davon aus, daß keine zeitliche Verschiebung der Faziesgrenzen auftritt, die für die lithostratigraphische Gliederung herangezogen werden.

Eine schematische Darstellung der Korngrößenentwicklung in einem Flußsystem in Abhängigkeit von Gefällsänderungen im Laufe der Zeit gibt Abbildung 4. Anhand des dort

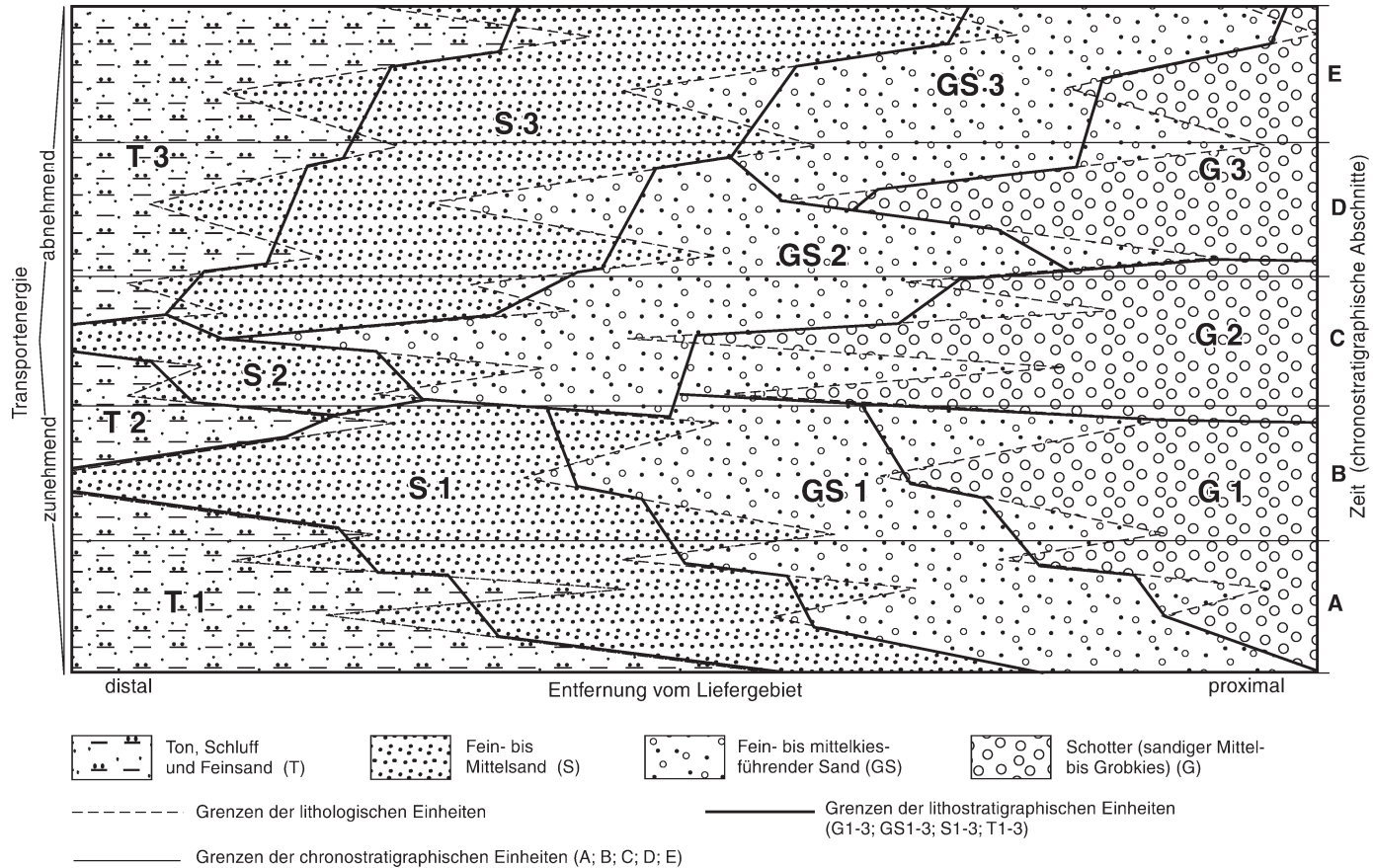


Abb. 4. Schematische Korngrößenentwicklung in einem Flußsystem mit wechselnder Transportenergie. – Erosionsvorgänge und Sedimentvariabilität im Flußbereich sind vernachlässigt. Eine kontinuierliche Gefällsverringering vom Ober- zum Unterlauf wird vorausgesetzt. – Nähere Erläuterung im Text.

dargestellten Schemas wird eine theoretische lithostratigraphische Untergliederung vorgenommen: In jedem Zeitabschnitt (A–E) treten entlang des Flußsystems die gleichen, von der Korngrößenzusammensetzung her zu unterscheidenden, allerdings nicht scharf gegeneinander abgegrenzten und sich miteinander verzahnenden Gesteinseinheiten auf (G, GS, S und T). Abhängig von Änderungen in der Gefällsentwicklung und damit der Fließgeschwindigkeit im Flußsystem werden gröberkörnige Sedimente jedoch bis in unterschiedliche Entfernung vom Liefergebiet transportiert. Daraus resultieren Abfolgen, die eine Unterscheidung lithologischer Einheiten auch in der Vertikalen und damit eine lithostratigraphische Gliederung zulassen. Abhängig von ihrer Entfernung zum Liefergebiet kommen in den verschiedenen Abfolgen gleichartig ausgeprägte Einheiten in unterschiedlichen Zeitabschnitten vor. Die Grenzen zwischen den ableitbaren lithostratigraphischen Einheiten verlaufen deshalb vielfach deutlich zeitschräg (diachron). Eine, eventuell über den gesamten Entwicklungszeitraum des Flußsystems abgelagerte, korngrößenmäßig einheitliche Folge kann mit Hilfe zusätzlicher petrographischer Unterschiede (Mineral- oder Geröllbestand, Karbonatgehalt, Einlagerung faziell abweichender Einheiten u. ä.) lithostratigraphisch weiter untergliedert werden (Ziffern 1–3; z. B. G1–G3). Von der Hauptausprägung der jeweiligen lithostratigraphischen Einheit petrographisch abweichende Einschaltungen, insbesondere in den Verzahnungsbereichen mit Nachbareinheiten, müssen trotz abweichender Ausprägung in diese Einheit einbezogen werden, um geschlossene stratigraphische Abfolgen zu erreichen.

Innerhalb einer lithostratigraphischen Einheit können verschiedene Sedimentarten unterschieden werden. Nur soweit sie mit vertretbarem Aufwand auskartierbar sind, werden sie in der geologischen Karte gesondert ausgeschieden. Für ein lesbares Kartenbild ist es notwendig, den oft kleinräumigen Sediment- und Fazieswechsel ausreichend zu generalisieren: Z. B. müssen im Dezimeterbereich wechselnde, im einzelnen deutlich zu unterscheidende, feinkörnige Sedimente wie Ton, Schluff oder verschiedene Mergel zu einer gemeinsamen Einheit zusammengefaßt werden. Nach ihrer Mächtigkeit nicht darstellbare, aber für die Kartenaussage bedeutsame Schichten werden übertrieben mächtig dargestellt.

### 4.3. Grenzziehung zwischen lithostratigraphischen Einheiten

Räumlich oder zeitlich aneinander anschließende Einheiten weisen womöglich in voneinander entfernt liegenden Bereichen gut unterscheidbare Abschnitte auf, dazwischen finden aber insgesamt fließende, im Detail durch Rückschläge und Vorgriffe oszillierende Übergänge statt, die eine eindeutige Grenzziehung erschweren (z. B. mehrfacher Wechsel zwischen geröllführenden und geröllfreien Sanden). Ähnlich wie in der biostratigraphischen Gliederung können lithostratigraphische Grenzen mit dem ersten Auftreten („FAD“) bzw. dem letzten Vorkommen („LAD“) eines Merkmals gezogen werden (z. B. Beginn der Geröllsandserie mit den ersten deutlichen Fein- bis Mittelkies-Einlagerungen in Sanden). Hierbei ist zu beachten, daß abhängig von lokalen Unterschieden bei der Ablagerung oder bei späteren Abtragungsvorgängen ein solches Merkmal nicht immer an der gleichen Stelle in der Schichtenfolge zu beobachten sein wird. Im Prinzip bieten sich zur Grenzziehung die oft erosiv eingreifenden, gröberkörnigen Sohlschichten in Abflußrinnen an, mit denen ein neuer fluviatiler Kleinzyklus beginnt. Zumeist werden sich solche Grenzen nicht aus den Rinnenbereichen heraus in die Feinsedimente der Überflutungsebene verfolgen lassen. Bei der Verfolgung entsprechender Grenzen werden deshalb zwangsläufig verschiedene Rinnensohlen zusammengefaßt werden, deren Entstehungszeit in engem Rahmen durchaus unterschiedlich sein kann.

Die lithostratigraphischen Süßwassermolasse-Einheiten sind also zumeist nicht entsprechend scharf abzugrenzen wie z. B. mesozoische Meeresablagerungen des Schichtstufenlandes, wo oftmals wirklich die Hand auf eine Schichtgrenze gelegt werden kann. Grenzziehungen in der Oberen Süßwassermolasse sind selten an einer Schichtfuge festzumachen, die über große Entfernungen zwei lithologisch gut unterscheidbare Einheiten trennt. Vielmehr müssen in die kartistische Trennung die Erkenntnisse über die gesamte räumliche Abfolge einbezogen werden, die stark von den örtlichen Aufschlußverhältnissen und den zugrundegelegten Modellvorstellungen abhängt. Grenzen zwischen lithostratigraphischen Einheiten der Oberen Süßwassermolasse sind also meist „Trendgrenzen“.

Danksagung: Für die Beteiligung an Aufnahme und Beprobung der Forschungsbohrung Stockhausen und die Bereitstellung von Untersuchungsergebnissen danken wir den Kolleginnen und Kollegen am Bayerischen Geologischen Landesamt, Frau G. SRDIC und Frau U. NEUMANN sowie den Herren K. ESTERMEIER, M. HÖCK, Dr. M. KLEINSCHNITZ, M. LINDEMANN, Dr. E. LINHARDT, Dr. U. RAST, Dr. H. RISCH und Dr. H. J. UNGER. Besonders dankbar sind wir den externen paläontologischen Bearbeitern Frau Dr. B. REICHENBACHER, München, und Herrn Dr. W. WITT, Gündlkofen. Für kritische Anmerkungen zum Manuskript gilt unser Dank den Herren Kollegen Th. GÜLDEN, Dr. K. SCHWERD und Dr. J. WIERER.

## 5. Literatur

- ABELE, G. (1938): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Schrobenhausen, Nr. 552. – 51 S., München (Bayer. Oberbergamt).
- ABELE, G., FUCHS, B. & STEPHAN, W. (1955): Die westliche bayerische Vorlandmolasse. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse. – 46–56, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BERGGREN, W. A., KENT, D. V., SWISHER, III, C. C. & AUBRY, M.-P. (1995): A Revised Cenozoic Geochronology and Chronostratigraphy. – In: BERGGREN, W. A., KENT, D. V., AUBRY, M.-P. & HARDENBOHL, J. [Hrsg.]: Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. – SEPM (Soc. Sed. Geol.), Spec. Publ., **54**: 129–212, Tulsa.
- DEHM, R. (1955): Die Säugetier-Faunen in der Oberen Süßwassermolasse und ihre Bedeutung für die Gliederung. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse. – 81–87, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DOPPLER, G. (1989): Zur Stratigraphie der nördlichen Vorlandmolasse in Bayerisch-Schwaben. – *Geologica Bavarica*, **94**: 83–133, München.
- DOPPLER, G. & SCHWERD, K. (1996): Faltenmolasse, Aufgerichtete Molasse und westliche Vorlandmolasse. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500 000. – 4. Aufl.: 150–168, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- FÜCHTBAUER, H. (1988): Sedimente und Sedimentgesteine. – *Sediment-Petrologie*, Teil 2, 4. Aufl.: 1141 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- HEER, O. (1879): Die Urwelt der Schweiz. – 2. Aufl.: 713 S., Zürich (Schultheß).
- KIDERLEN, H. (1931): Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des süddeutschen Tertiärs. – *N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Mh.*, **B 1945–1948**: 215–234, Stuttgart.
- LEMCKE, K. (1988): Das Bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit. – *Geologie von Bayern*, **1**: 175 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- LEMCKE, K., ENGELHARDT, W. von & FÜCHTBAUER, H. (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes. – *Beih. Geol. Jb.*, **11**: 182 S., Hannover.

- MARTINI, E. (1971): Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. – Proc. 2nd Planktonic Conf., Roma 1970, **2**: 739–785, Rom.
- MURAWSKI, H. & MEYER, W. (1998): Geologisches Wörterbuch. – 10. Aufl.: 278 S., Stuttgart (Enke).
- NEUMAIER, F., BLISSENBACH, E., WITTMANN, D., GRIMM, W.-D., STIEFEL, J., BATSCHKE, H. & MAYR, M. (1957): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen in der ungefalteten Molasse Niederbayerns. – Beih. Geol. Jb., **26**: 384 S., Hannover.
- RAST, U. (1991): Sedimentpetrographische Untersuchungsmethoden am Bayerischen Geologischen Landesamt. Teil I: Schwermineralanalyse. – *Geologica Bavarica*, **96**: 223–228, München.
- RAST, U. (1993): Sedimentpetrographische Untersuchungsmethoden am Bayerischen Geologischen Landesamt. Teil II: Tonmineralanalyse. – *Geologica Bavarica*, **97**: 177–192, München.
- RAST, U. (1995): Sedimentpetrographische Untersuchungsmethoden am Bayerischen Geologischen Landesamt. Teil III: Röntgen-Pulver-Diffraktometrie in der Karbonatbestimmung. – *Geologica Bavarica*, **99**: 437–447, München.
- REICHENBACHER, B. (1993): Mikrofaunen, Paläogeographie und Biostratigraphie der miozänen Brack- und Süßwassermolasse in der westlichen Paratethys unter besonderer Berücksichtigung der Fisch-Otolithen. – *Senckenbergiana lethaea*, **73** (2): 277–374, Frankfurt/Main.
- RÖGL, F. (1996): Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **41**: 65–73, Wien.
- SCHILL, J. (1859): Die Tertiär- und Quartärbildungen des Landes am nördlichen Bodensee und im Höhgau. – *Württ. naturwiss. Jh.*, **15**: 129–254, Stuttgart.
- SCHWERD, K., DOPPLER, G. & UNGER, H.-J. (1996): Gesteinsfolge des Molassebeckens und der inneralpinen Tertiärbecken, Kap. 4.1 Allgemeiner Überblick. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 500 000. – 4. Aufl.: 141–149, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- STEININGER, F. F. (1999): The Continental European Miocene; Chronostratigraphy, Geochronology and Biochronology of the Miocene „European Land Mammal Mega-Zones“ (ELMMZ) and the Miocene „Mammal-Zones (MN-Zones)“. – In: RÖSSNER, G. E. & HEISSIG, K. [Hrsg.]: The Miocene Land Mammals of Europe. – 9–24, München (PFEIL).
- STEININGER, F. F., BERNOR, R. L. & FAHLBUSCH, V. (1989): European Neogene marine / continental chronologic correlations. – In: LINDSAY, E. H., FAHLBUSCH, V. & MEIN, P. [Hrsg.]: European Neogene mammal chronology. – 15–46, New York (Plenum).
- STEININGER, F. F. & PILLER, W. E. (1999): Empfehlungen (Richtlinien) zur Handhabung der stratigraphischen Nomenklatur. – *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, **209**: 19 S., Frankfurt.
- UNGER, H. J. (1983): Versuch einer Neugliederung der Oberen Süßwassermolasse. – *Geol. Jb.*, **A 67**: 5–35, Hannover.
- UNGER, H. J. (1989): Die Lithozonen der Oberen Süßwassermolasse Südostbayerns und ihre vermutlichen zeitlichen Äquivalente gegen Westen und Osten. – *Geologica Bavarica*, **94**: 195–237, München.
- UNGER, H. J. (1996): Östliche Vorlandmolasse und Braunkohlentertiär i. w. S. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 500 000. – 4. Aufl.: 168–185, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- UNGER, H. J. (1999): Zur lithostratigraphisch-nomenklatorischen Verknüpfung von Ost- und Westmolasse in Bayern. – *Documenta naturae*, **125**: 17–45, München.



## Graupensandrinne–Urnaabrinne, ihre Verbindung und tektonische Verstellung zwischen Donauwörth und Regensburg

Von KURT BADER, ROLF K. F. MEYER und HELMUT BRUNOLD

Mit 3 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Südbayern – Donautal – Fränkische Alb – Molasse – Graupensandrinne – Urnaabrinne – Miozän – Flußgeschichte – Hebungen – Refraktionsseismik – Geoelektrik

**Kurzfassung:** Die Graupensandrinne, ein untermiozänes, nach WSW gerichtetes Flußtal südlich der Alb, ist nach E bis zur Bohrung Rottenburg GLA 25 (1995) nachgewiesen. Sie sinkt, wie auch die Klifflinie der Oberen Meeresmolasse weiter westlich, mit etwa 1–2 ‰ nach E ab. Das gleiche Absinken zeigen die Taltiefen der geophysikalisch georteten Tertiäralsysteme in der Südabdachung der Alb, wobei die Taltiefen der Tertiäraltstücke im Donautal zur Graupensandrinne passen. Das Absinken der Graupensandrinne entgegen ihres ursprünglichen Gefälles wird auf eine Kippung nach E durch die Hebung der Grabenschulter des Oberrheingrabens ab dem untersten Mittelmiozän zurückgeführt.

Durch die schmale Kreide-Aufwölbung S Regensburg hindurch bietet sich eine Kreide-freie Talung entlang der Bahnlinie Köfering–Eggmühl als Verbindungsstrecke Graupensandrinne–Urnaabrinne an. Die Untersuchung mit Refraktionsseismik ergab eine Talung, die über die Schierling-Störungszone ohne erkennbaren Versatz verläuft. Diese Störungszone, die zu einer im S um über 200 m gehobenen und dabei nach N gekippten Pultscholle führte, ist damit älter als die Verbindungsstrecke Graupensandrinne–Urnaabrinne.

Im N-Teil dieser pultförmigen Scholle wurde (noch im Bereich der Kreide-Aufwölbung) eine rückenförmige Hebung der Talung von 50–100 m gefunden, die auf eine Aufwölbung ab dem Mittelmiozän hinweist. Geodätische Wiederholungsmessungen (Zeitdifferenz 30 Jahre) ergeben genau im Bereich dieser rückenförmigen Hebung eine W–E-streichende Zone mit einer Hebungsgeschwindigkeit von etwa 0,2 mm/a.

### Graupensand channel – Urnaab channel, their connection and tectonic dislocation between Donauwörth and Regensburg

**Keywords:** Southern Bavaria – Danube valley – Franconian Alb – Molasse – Graupensand channel – Urnaab channel – Miocene – river history – uplift – refraction seismics – geoelectrics

**Abstract:** The Graupensand channel, a lower miocene river bed draining to WSW south of the Franconian Alb, is to the E detected as far as to the Rottenburg GLA 25 well (1995). It sinks, like the Cliff Line of the Upper Meeresmolasse, with about 1–2 ‰ to the E. The same sinking is demonstrated by the depths of the geophysical located tertiary valley systems in the southern slope of the Alb and the depths of the tertiary valley sectors in the Danube valley harmonize with the Graupensand channel. The sinking of Graupensand channel contrary to its original river gradient is referred to a tilting to E by the uplift of the graben shoulder of Upper Rhine Graben since lowest Middle Miocene.

Through the narrow late Cretaceous uplift zone S of Regensburg a Cretaceous-free strip along the railway line seems to represent the connecting route Graupensand channel–Urnaab channel. The exploration by refraction seismic yielded a channel passing over the Schierling fault zone without a notable

displacement. This fault zone which led to a desk-like N tilted uplift of more than 200 m must be older than the connecting route Graupensand channel–Urnaab channel.

In the northern part of this desk-like late Cretaceous uplift a 50–100 m elevated back-like ridge overprinted the former connecting route since the Middle Miocene. Repeated geodetic measurements (time difference 30 years) show in the region of this back-like ridge a recent uplift velocity of about 0,2 mm/a.

## Inhalt

1. Problemstellung .....	244
2. Meßergebnisse .....	246
3. Zeitliche Einstufung tektonischer Verstellungen aufgrund ermittelter Tertiärtaltiefen .....	248
4. Literatur .....	250

## 1. Problemstellung

Nach dem Rückzug des Oberen-Meeressmolasse(OMM)-Meeres bildete sich am Südrand der Alb die Graupensandrinne aus. Diese Rinne ist mit den Grimmelfinger Schichten (mit den Graupensanden) und den brackischen Kirchberger Schichten eines erneuten Meeresvorstoßes der Süßbrackwassermolasse (SBM) aufgefüllt. Das Alter der SBM und insbesondere der Grimmelfinger Schichten wurde jüngst angezweifelt: BUCHNER (1998) möchte sie postriesisch in das Mittelmiozän als Teil der Oberen Süßwassermolasse (OSM) stellen, während REICHENBACHER et al. (1998) an der bisherigen präriesischen Einstufung in das höhere Untermiozän (DOPPLER 1989) festhalten.









Die Graupensandrinne kann aufgrund von Bohrungen nach E bis zur Bohrung Rottenburg GLA 25 (UNGER & MEYER 1999) verfolgt werden (Abb. 1). Bei Donauwörth mündet eine geophysikalisch geotete, präriesische Erosionsrinne (BADER & SCHMIDT-KALER 1977) in das Gebiet der Graupensandrinne mit einer hierzu passenden Taltiefe von 330 m ü. NN. Wegen der nordostbayerischen Geröll- und Schwermineralführung in der Graupensandrinne (LEMCKE 1985; REICHENBACHER et al. 1998) kann diese präriesische Erosionsrinne auch als Urmain-Tal gedeutet werden. Das Urmain-Tal ist bei Monheim (Bohrung Parkettfabrik) aber vollständig mit Riestrümmermassen (RTM) aufgefüllt, obwohl kurz zuvor präriesische OSM (Karpattunterstes Baden) das Tal noch vollständig verhüllte. Die notwendige nachfolgende Ausräumung des Urmain-Tals bis zur Verfüllung mit RTM wird auf Änderungen des Vorflutniveaus durch die wechselnden Sedimentations- und Abtragungsvorgänge der Alpenflüsse zurückgeführt (BADER & FISCHER 1987). Auf dieses stark wechselnde Vorflutniveau weist auch die hohe Lage der postriesischen OSM gegenüber dem heutigen Vorflutniveau hin.

Die groben Feldspäte und die Schwermineralführung in den Graupensanden zeigen eine Verbindung zum moldanubischen Grundgebirge an. Die Herrnwahlthanner Schichten (zwischen Abensberg und Langquaid) weisen ebenfalls diesen Schwermineralgehalt auf, so daß von WEBER (1978) eine fluviatile Lieferung aus dem Moldanubikum angenommen wurde. Die Herrnwahlthanner Schichten werden wegen ihrer Überlagerung durch die brackischen Schneckenkalke in die Zeit der SBM gestellt; sie liegen jedoch 100 m höher als die SBM in der Graupensandrinne (Bohrungen Geisenfeld GLA 26 und Rottenburg GLA 25).

Die Urnaab-Hauptrinne und ein durch Bohrungen W Regensburg nachgewiesenes Nebental (Abb. 1) zeigen bei Regensburg einen Talverlauf nach ESE bis E, so daß eine Mündung der



LEGENDE :

-  Alb: Malmkalk, Tertiär (OSM), Riestrümmermassen
-  Oberkreide-Sedimente
-  Tertiär: SBM (Herrnwalthanner und Schneckenkalk)
-  **320** Tertiärtalsysteme in der Alb, Tertiärtalstücke im Donautal } mit Talteufen in m ü. NN
-  **250** Urmain-, Urnaabrinne, Verbindungsstrecke Graupensandrinne - Urnaabrinne mit Talteufen in m ü. NN
-   $\diamond$  210 Bohrung: mit Grimmelfinger Schichten - UK in m ü. NN (bis Rottenburg a. d. Laaber)
-   $\diamond$  210 Bohrung: mit OSM-UK in m ü. NN (bis Regensburg)
-  - - - vermutete Grenzen d. Graupensand-Verbreitung

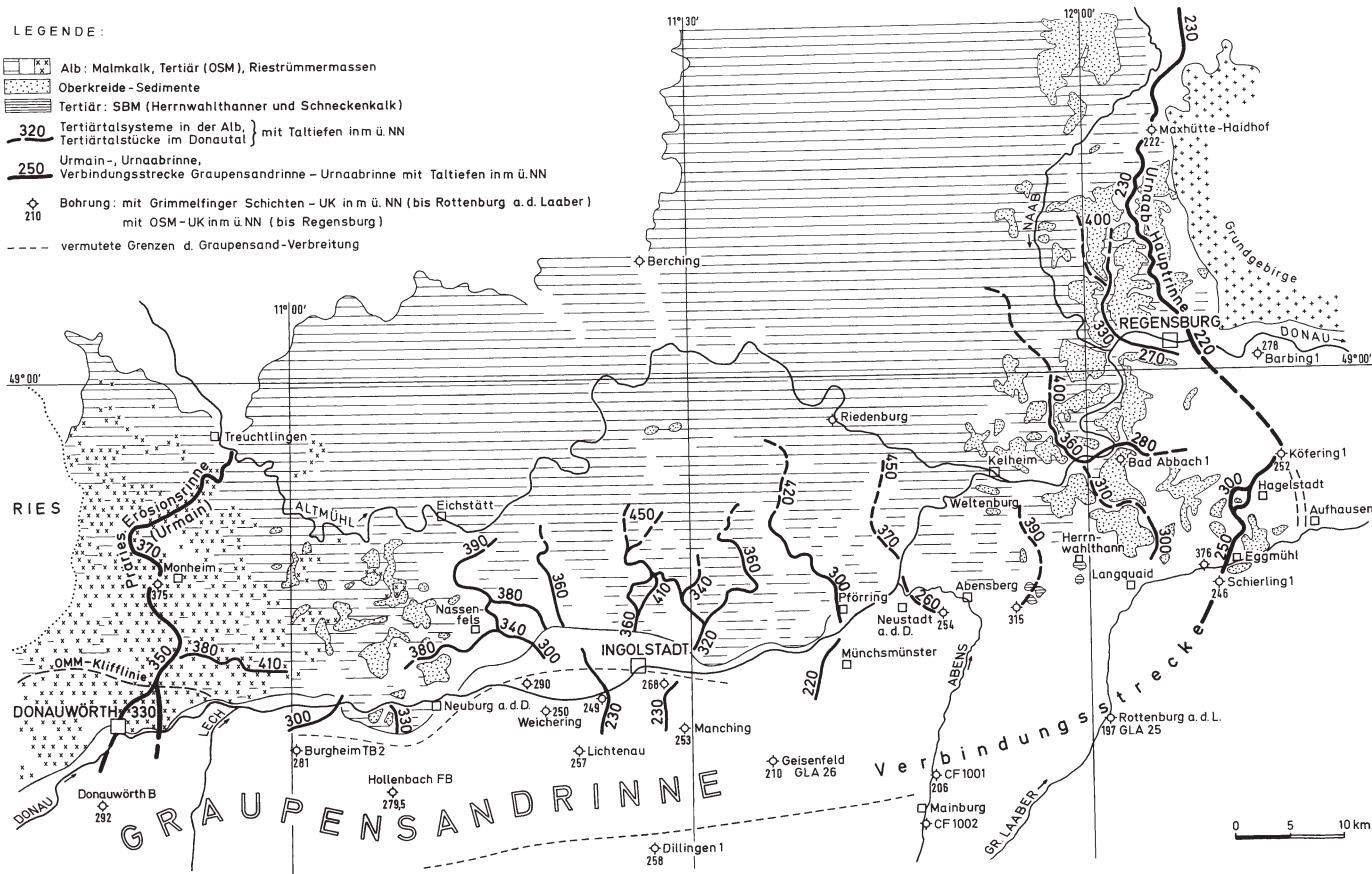


Abb. 1. Lageplan der geophysikalisch georteten Tertiärtäler mit ihren Talteufen in m ü. NN im Raum Donauwörth bis Regensburg in Verbindung mit der allein aus Bohrungen bekannten Graupensandrinne.

Urnaab in eine Bucht des Oncophora-Meeres angenommen wurde (MEYER & BADER 1998). Zudem liegt die Talsohle der Urnaab-Hauptrinne fast 100 m unter den Herrnwahlthanner Schichten. Die von LEMCKE (1985) angenommene fluviatile Verbindung der Urnaab entlang der Donau (von Regensburg bis Kelheim) und über Herrnwahlthann zur Graupensandrinne überquert außerdem bei Weltenburg einen Tertiär-freien Streifen (etwa WNW–ESE-streichend), so daß Zweifel an dieser unter- bis mittelmiozänen Talführung angebracht sind.

Im Zuge der geophysikalischen Ortung von Tertiärtälern in der Südabdachung der Fränkischen Alb (Geologische Landesaufnahme der Region 10 Ingolstadt) wurden neben der Urmairrinne etwa 5 kürzere, in der Alb wurzelnde Tertiärtalsysteme gefunden, deren Taltiefen im Donautal zur Graupensandrinne passen. Es wurde deshalb mit den als erfolgversprechend ausgewiesenen geophysikalischen Methoden (s. Kap. 2) nach einem Tertiärtal E Herrnwahlthann gesucht, das als Verbindungsstrecke zwischen der Graupensandrinne und der Urnaab angesprochen werden könnte. Es bietet sich ein Talverlauf durch die schmale Kreide-Aufwölbung S Regensburg entlang der Bahnlinie Köfering–Eggmühl–Schierling an.

Ein solches Tertiärtal wäre an der engsten Stelle (zwischen den Kreide-Aufschlüssen 2 km N Eggmühl) 1 km breit. Es würde allerdings das in der Geologischen Übersichtskarte 1:200 000, Blatt Nr. CC 7134 Regensburg (1994), sowie in der Geologischen Karte von Bayern 1:500 000 (1996) als „SBM“ eingestufte Tertiär durchqueren. Da die SBM in der Graupensandrinne und bei Herrnwahlthann nur Mächtigkeiten bis 50 m aufweist, sollte ein solches Tertiärtal nicht tief sein. N Schierling reicht die „SBM“ bis 450 m ü. NN. Damit wäre eine Talsohle von 400 m ü. NN zu erwarten. Da jedoch die Talsohle der Graupensandrinne bei Geisenfeld und Rottenburg etwa 200 m ü. NN (UNGER et al. 1999) und die der Urnaab-Hauptrinne bei Regensburg 220 m ü. NN (MEYER & BADER 1998) liegen, müßte das Tertiärtal im Bereich der Kreide-Aufwölbung tektonisch stark gehoben worden sein und wäre dann nicht mehr als Verbindungsstrecke Graupensandrinne–Urnaabrinne zu erkennen. In diesem Sinne wurde von UNGER (1987: Abb. 6) auch die große Mächtigkeit des Tertiärs (Braunkohlentertiär i. w. S.) in der Bohrung Schierling 1 interpretiert, mit der Schlußfolgerung, daß die Hebung der schmalen Kreide-Aufwölbung S Regensburg bis Ende des Mittelmiozäns ange dauert hätte.

Interpretiert man jedoch das Tertiär im Bereich der Kreide-Aufwölbung als Braunkohlentertiär i. w. S. (APEL 1966), so wäre auch eine große Tertiärtaltiefe entlang der Bahnlinie möglich. Wegen mangelnder Anhaltspunkte in Form von Kreide-Aufschlüssen können Rinnen weiter östlich (etwa bei Aufhausen) nur mit großem Aufwand und geringen Erfolgsaussichten (flache Rinne in der tiefliegenden Kreide) geophysikalisch gesucht werden. Die Messungen zum Nachweis einer Verbindungsstrecke Graupensandrinne–Urnaabrinne wurde deshalb auf die Trasse entlang der Bahnlinie Köfering–Eggmühl beschränkt.

## 2. Meßergebnisse

Im Rahmen der geologischen Landesaufnahme der Region 10 (Ingolstadt) und des westlichen Vorlandes wurden im Bereich der Südabdachung der Alb, im Donautal und im Bereich der Kreide-Aufwölbung S Regensburg mehrere 100 geophysikalische Messungen (Refraktionsseismik und geoelektrische Tiefensondierungen GTS) ausgeführt. Soweit die Tertiärtäler in den Malmkalk eingetieft sind und eine Taltiefe von 100 m nicht überschritten wird, konnten mit den weniger aufwendigen GTS ausreichend zuverlässige Ergebnisse erzielt werden. Tertiär besitzt niedrige spezifische elektrische Widerstände von 10–50 (–100) Ohm m und unterscheidet sich dadurch gut vom Malmkalk mit 150–1000 Ohm m. Die seismischen Geschwindigkei-

ten der wassergesättigten, unter der regionalen Grundwasseroberfläche (GWO) liegenden Tertiärtalfüllungen betragen 1,6–1,9 (–2,0) km/s. Wegen der Verkarstung der Malmoberfläche werden mit beiden geophysikalischen Methoden gegenüber Bohrungen etwas größere Überdeckungsmächtigkeiten erhalten (BADER 1999). Dieser Effekt ist bei den geophysikalisch ermittelten Tertiärtaltiefen jedoch berücksichtigt. Für die wassergesättigten Kreidesedimente wurden Geschwindigkeiten von (2,1–)2,2–3,5 km/s gemessen, wodurch sie gut vom Tertiär abzutrennen sind.

Im Gegensatz zu den größeren, die Alb durchquerenden Tertärtälern des Urmains und der Urnaab besitzen die vielen kleinen, neu aufgefundenen Tertiärtäler zwischen Burgheim und Neustadt a. d. Donau ein starkes Talgefälle von 5–10 ‰. Das Gefälle des Urmain-Tales beträgt dagegen nur 1 ‰ und das des Urnaab-Tales nahezu 0 ‰.

Zwischen den neu aufgefundenen Tertiärtälern auf der Alb und im Bereich des heutigen Donautales von Burgheim bis Neustadt a. d. Donau kann meist keine direkte Verbindung gefunden werden (Abb. 1). Es wird zwischen beiden eine mehr oder weniger abrupt nach S zunehmende Taltiefe beobachtet.

Mit den geophysikalischen Methoden wurden etwa 10 Tertiärtalsysteme auf der Alb verbunden mit 5 Tertiärtalstücken im Donautal gefunden und deren Tiefenlage bestimmt. Wegen des großen Gefälles dieser Tertiärtäler muß für einen Vergleich der ursprünglichen Talsohlen etwa der gleiche Abstand zum paläogeographisch zugehörigen Vorfluter Graupensandrinne beachtet werden. Trotz dieser Erschwernis (die Tertiärtäler sind in der Molasse nur ungenau zu verfolgen und die Graupensandrinne ist durch die wenigen Bohrungen nur ungenau festzulegen) kann eine deutliche und einheitliche Zunahme der Tiefenlage der Täler von W nach E von etwa 350 m ü. NN (bei Nassenfels) auf etwa 300 m ü. NN (bei Pförring) für die Tertiärtäler auf der Alb und von 300 m ü. NN (bei Burgheim) auf 220 m ü. NN (bei Münchsmünster) im Donautal festgestellt werden. Die Tiefenlagen der Tertiärtalstücke im Donautal stimmen mit der Tiefenlage der Graupensandrinne überein, soweit diese aus den wenigen und verstreut liegenden Bohrungen zu erschließen ist.

Von Neustadt a. d. Donau bis Regensburg liegen die ermittelten größten Tiefenlagen der Tertiärtalstücke im Donautal dagegen in 260–300 m ü. NN. Über Weltenburg streicht in NW–SE-Richtung eine 10 km breite Zone ohne Tertiärtäler und im Raum Kelheim-Schierling scheinen die gefundenen Tertiärtiefen zu einem Talsystem zu gehören, das über Bad Abbach nach E verläuft, da die größte Taltiefenlage E Bad Abbach gefunden wurde.

Als mögliche Verbindungsstrecke zwischen der Urnaab-Hauptrinne und der Graupensandrinne wurde der Kreide-freie Streifen westlich der Bahnlinie Köfering–Eggmühl–Schierling mit etwa 30 refraktionsseismischen Messungen untersucht. Es wurde ein durchgehendes Tertiärtal gefunden, dessen Talsohle bei Eggmühl 240–250 m ü. NN und bei Hagelstadt 300 m ü. NN beträgt. Es ist bei Eggmühl durch die Kreide hindurch noch 50 m tief in den Malmkalk eingetieft, während bei Hagelstadt Kreide die Talsohle bildet.

Bei Hagelstadt gibt es zwei Talverläufe um eine anstehende Kreide-Insel herum mit gleichen Tiefenlagen von 300 m ü. NN. Von Hagelstadt bis Regensburg ist wegen der abnehmenden Eintiefung in die Kreide der Tertiärtalverlauf nicht mehr genau festzulegen. Das Querprofil über die Bohrung Köfering erbrachte nur noch einen leichten Abfall der Kreide-Oberkante in 250 m ü. NN nach E, so daß nicht sichergestellt ist, daß die Verbindungsstrecke zwischen der Urnaabrinne und der Graupensandrinne entlang der Bahnlinie die einzige Verbindungsstrecke ist; sie ist aber der am weitesten nach W in die Kreide-Aufwölbung eingreifende Talverlauf zwischen Köfering und Schierling.

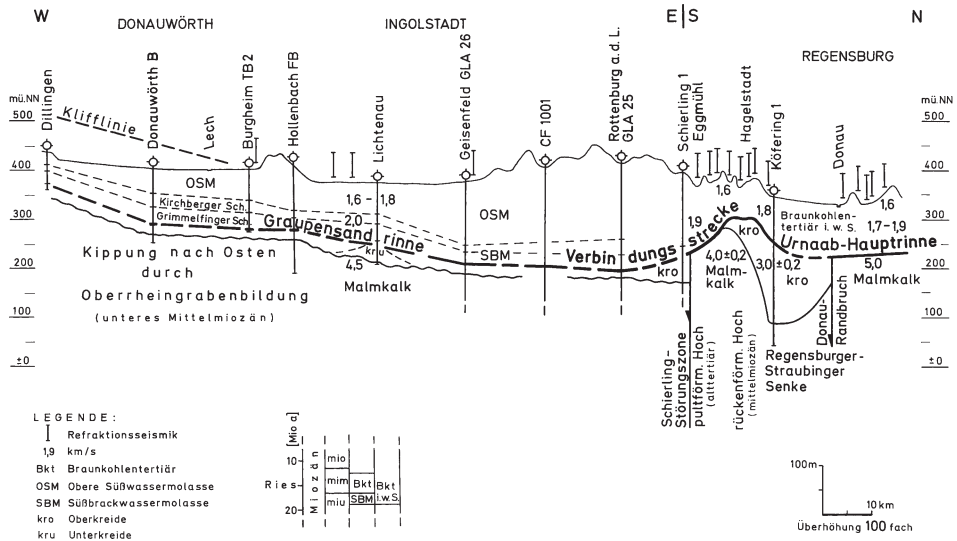


Abb. 2. Schnittprofil, 100fach überhöht, entlang der Graupensandrinne von Dillingen bis Rottenburg und der Verbindungsstrecke über die Kreide-Aufwölbung (Schierling-Köfering) bis zur Urnaab-Haupttrinne bei Regensburg.

### 3. Zeitliche Einstufung tektonischer Verstellungen aufgrund ermittelter Tertiärtaltiefen

Vom Schwarzwald bis Donauwörth gibt die Neigung der Klifflinie des OMM-Meeres das Ausmaß der Kippung durch die Hebung der Grabenschultern (Vogesen, Schwarzwald) des Oberrheingrabens an. Sie beträgt etwa 2 ‰ bis Dischingen (BIRKENHAUER 1997: Abb. 6.2.-1). Von Dischingen bis E Donauwörth, wo die Klifflinie vermutlich unter die OSM abtaucht, haben Klifflinie und Graupensandrinne nahezu die gleiche Neigung (2,5 ‰ bzw. 2 ‰). Durch die Bohrung Geisenfeld, die wegen der Graupensandmächtigkeit von 25 m in Rinnenmitte liegen dürfte, kann die Kippung nach E weiter bis Geisenfeld mit 2 ‰ Neigung verfolgt werden (Abb. 2). Die geophysikalisch gefundenen Tertiärtalsysteme in der Südabdachung der Alb zeigen bei gleichem Abstand von der Graupensandrinne ebenfalls einen Abfall ihrer Tiefenlage nach E, wobei die Tertiärtalstücke im Donautal zur Tiefenlage der Graupensandrinne passen.

Die auf der Alb liegenden, N-S gerichteten Tertiärtalsysteme zeigen nach E eine weniger ausgeprägte Zunahme ihrer Tiefenlage als die zugehörigen, verlaufs- und höhenmäßig etwas abgesetzten Tertiärtalstücke im Bereich des Donautales. Die Tertiärtalsysteme auf der Alb könnten deshalb jünger sein als die Tertiärtalstücke im Donautal, in denen noch Graupensande erbohrt wurden (S Ingolstadt). Die Tertiärtalsysteme auf der Alb sind vermutlich erst entstanden, als in der SBM-Zeit das Vorflutniveau angehoben war. Die Kippung nach E, die etwas stärker bei der Klifflinie (dem ältesten Bezugshorizont) und etwas schwächer bei den Tertiärtalsystemen auf der Alb (dem jüngsten Bezugshorizont) ausgeprägt ist, kann damit weitgehend in das untere Mittelmiozän gestellt werden, da zu dieser Zeit die Hebung der Grabenschultern des Oberrheingrabens besonders ausgeprägt war (HÜTTNER 1991: Abb. 9).

Zwischen Geisenfeld und Rottenburg liegt die Sohle der Graupensandrinne heute in etwa waagrecht; dann steigt sie bis Schierling wieder um 50 m an. In Schierling selbst zieht die

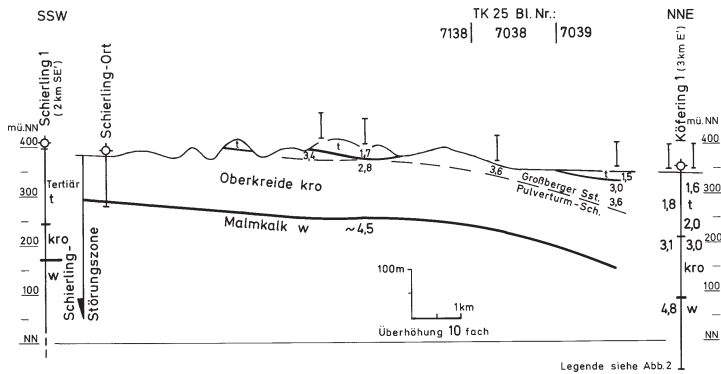


Abb. 3. Profilschnitt, 10fach überhöht, westlich der in Abbildung 2 dargestellten „Verbindungsstrecke“: pultförmiges Hoch zwischen Schierling und Köfering mit der mittelmiozänen, rückenförmigen Aufwölbung im Nordteil.

Verbindungsstrecke ohne erkennbaren Versatz über die Schierling-Störungszone hinweg (Abb. 2). Letztere ist eine Parallelstörungslinie zum Landshut-Neuöttinger Hoch und zum Donaurandbruch. Damit kann die Schierling-Störungszone, die den S-Rand einer nach N gekippten Pultscholle mit einer Hebung der Jura-Kreide-Grenze von über 200 m zwischen Schierling und Köfering darstellt, ins ältere Untermiozän oder Alttertiär gestellt werden. Jünger muß die rückenförmige Hebung im Nordteil der Verbindungsstrecke mit dem Kulminationspunkt bei Hagelstadt sein. Diese Hebung kann nur nach Füllung des Tales mit Tertiärsedimenten (Braunkohletertiär i. w. S.), also frühestens ab dem Mittelmiozän erfolgt sein. Es ist jedoch auch denkbar, daß diese Verbindungsstrecke wegen der rückenförmigen Hebung für eine weiter östlich liegende Verbindung verlassen wurde und der Rücken bei Hagelstadt dann als Wasserscheide für kurze Nebentäler fungierte. In diesem Fall des nach E abgedrängten Haupttals würde der notwendige Hebungsbetrag des Rückens von Hagelstadt bei etwa 50 m ab dem Mittelmiozän liegen. Dieser Hebungsbetrag kann aus den geologischen Karten von OSCHMANN (1958) und APEL (1966) rekonstruiert werden. Der Hebungsbetrag ist in der Abbildung 3 an der Schichtgrenze Großberger Sandstein/Pulverturm-Schichten und der daraus abgeleiteten Malm-Oberfläche zu erkennen.

Daß junge Hebungen im Bereich der alttertiären, pultförmigen Scholle wahrscheinlich sind, zeigen auch die geodätischen Wiederholungsmessungen (Zeitabstand 30 Jahre), die für das Gebiet Kelheim–Aufhausen (nach ESE abnehmend) eine Hebungsgeschwindigkeit von gegenwärtig 0,3–0,1 mm/a erbrachten (MÄLZER 1990: Beil. 4). Extrapoliert man diese Hebungsgeschwindigkeit in die geologische Vergangenheit, so erhält man Hebungen von Dekameter-Größe für die Rißzeit; und tatsächlich wird für die Hochterrasse bei Kelheim eine lokale Hochlage von 10 m gefunden (HILGART 1995: Beil. 5), die allerdings auch mit dem Wechsel von hartem Jurakalk zu weichen Kreidesedimenten im Taluntergrund zu tun haben kann. Eine weitergehende Extrapolation der rezenten Hebungsgeschwindigkeit etwa bis ins Mittelmiozän ist nicht möglich. Es würden sich um Zehnerpotenzen zu große Hebungsbeträge ergeben.

Insgesamt zeigt die tektonische Verstellung der Graupensandrinne bis zur Urnaab, daß die Hebungen über lange geologische Zeiten (20 Mio. Jahre) zwar gleichsinnig, aber nicht kontinuierlich erfolgten.

#### 4. Literatur

- APEL, R. (1966): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen auf Blatt Nr. 7138 Langquaid (Niederbayern). – Dipl.-Arbeit L.-M.-Univ. München: 81 S., München.
- BADER, K. (1999): Geophysikalische Untersuchungen. – In: JERZ, H. & SCHMIDT-KALER, H.: Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7234 Ingolstadt: – 42–46, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BADER, K. & FISCHER, K. (1987): Das präriesische Relief in den Malmkalken im südöstlichen Riesvorland (Trümmersengebiet). – Geol. Bl. NO-Bayern, **37** (3–4): 123–142, Erlangen.
- BADER, K. & SCHMIDT-KALER, H. (1977): Der Verlauf einer präriesischen Erosionsrinne im östlichen Riesvorland zwischen Treuchtlingen und Donauwörth. – *Geologica Bavarica*, **75**: 401–410, München.
- BIRKENHAUER, J. (1997): Morphogenese Rheno-danubischer Reliefregionen zwischen Oberkreide und Jungtertiär – ein Versuch zur Deutung des präquartären Reliefs. – *Münchner Geograph. Abh.*, **A 48**: 1–149, München.
- BUCHNER, E. (1998): Die süddeutsche Brackwassermolasse in der Graupensandrinne und ihre Beziehung zum Ries-Impakt. – *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Verl.*, N. F. **80**: 399–459, Stuttgart.
- DOPPLER, G. (1989): Zur Stratigraphie der nördlichen Vorlandmolasse in Bayerisch-Schwaben. – *Geologica Bavarica*, **94**: 83–133, München.
- HILGART, M. (1995): Die geomorphologische Entwicklung des Altmühl- und Donautes im Raum Dietfurt–Kelheim–Regensburg im jüngeren Quartär. – *Forsch. Dt. L.-Kde.*, **242**: 336 S., Trier.
- HÜTTNER, R. (1991): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens. Ein Überblick mit historischer Rückschau. – *Geol. Jb.*, **E 48**: 17–42, Hannover.
- LEMCKE, K. (1985): Flußfracht von Ur-Main und Ur-Naab in der Schweiz und im deutschen Molassebecken. – *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing.*, **51** (121): 13–21, Basel.
- MÄLZER, H. (1990): DGK-Arbeitskreis für rezente Krustenbewegungen – Berechnungen von Höhenänderungen im bayerischen Haupthöhennetz unter Verwendung unterschiedlicher Modelle. – *Dt. Geodät. Komm.*, **B 293**: 1–89, München.
- MEYER, R. K. F. & BADER, K. (1998): Die Urnaab-Hauptrinne. – *Geol. Bl. NO-Bayern*, **48**: 183–202, Erlangen.
- OSCHMANN, F. (1958): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 7038 Bad Abbach. – Mit Erläut., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- REICHENBACHER, B., BÖTTCHER, R., BRACHER, H., DOPPLER, G., ENGELHARD, W. VON, GREGOR, H.-J., HEISSIG, K., HEIZMANN, E. P. J., HOFMANN, F., KÄLIN, D., LEMCKE, K., LUTERBACHER, H., MARTINI, E., PFEIL, F., REIFF, W., SCHREINER, A. & STEININGER, F. F. (1998): Graupensandrinne – Ries-Impakt: Zur Stratigraphie der Grimmelfinger Schichten, Kirchberger Schichten und Oberen Süßwassermolasse (nördliche Vorlandmolasse, Süddeutschland). – *Z. dt. geol. Ges.*, **149** (1): 127–161, Stuttgart.
- UNGER, H. J. (1987): Bemerkungen zum tektonischen Werdegang Südostbayerns. – *Geol. Jb.*, **A 105**: 3–23, Hannover.
- UNGER, H. J., SCHUBERT, A., MEYER, R. K. F., RISCH, H. & RAST, U. (1999): Die Bohrung Geisenfeld GLA 26 und ihr geologisches Umfeld. – *Documenta naturae*, **129**: 1–29, München.
- UNGER, H. J. & MEYER, R. K. F. (1999): Die Bohrung Rottenburg GLA 25. – *Documenta naturae*, **129**: 31–44, München.
- WEBER, K. (1978): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7137 Abensberg. – 337 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).

## Zur Entwicklung der Schwemmfächer und Schwemmkegel in Randbereichen des Murnauer Mooses – Mit Ergebnissen der GLA-Forschungsbohrungen bei Grafenaschau und Eschenlohe

Von HERMANN JERZ, THOMAS SCHNEIDER und KARL-HEINZ KRAUSE

Mit 4 Abbildungen und 2 Beilagen

**Schlüsselworte:** Südbayern – Alpenvorland – Spätglazial – Holozän – Murnauer Moos – Eschenloher Moos – Schwemmfächer – Schwemmkegel – Römerstraße – Forschungsbohrungen – Pollenanalysen – Radiocarbonatierungen

**Kurzfassung:** Am Beispiel des glazial übertieften Murnauer Beckens mit dem Murnauer Moos wird dargestellt, wie Schwemmkegel bzw. Schwemmfächer sich mit Moorbildungen verzahnen. Mit einer großen Anzahl von Bohrungen konnte die Wechselfolge von klastischen Sedimenten und Torfschichten erfaßt werden. Für eine zeitliche Einordnung diente organisches Material aus diesen Wechselfolgen, welches mit Hilfe biologischer und physikalischer Verfahren datiert werden konnte.

Eine Zusammenschau dieser Ergebnisse ließ Schlüsse auf Zeiten verschiedener intensiver geomorphologischer Aktivität (Aufschüttung, Stagnation, Abtragung) seit der letzten Eiszeit zu. Phasen mit vorherrschender Akkumulation, in denen es im Murnauer Moos zu einer Überschüttung von Moorbildungen und zu einer Ausdehnung der Schwemmfächer und -kegel kam, lassen sich für das Spätglazial, das Boreal und das frühe Subboreal bestimmen. Es sind dies Zeiten relativer geomorphologischer Instabilität. Als Zeiten relativer Stabilität können wiederum Phasen mit Torfwachstum im Präboreal, im Atlantikum sowie im mittleren Subboreal bis Subatlantikum angesehen werden.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit solchen aus inneralpinen Gebieten, so bestehen auch hier deutliche Zusammenhänge zwischen Perioden der Klimaverschlechterung (mit Gletschervorstößen) und starken Überschüttungen, wie z. B. auch bei Schwemmkegeln in Tirol, sowie Phasen verstärkter Solifluktion in Graubünden.

Development of alluvial cones and fans in the periphery of the „Murnauer Moos“ moorland – with results of the GLA research drillings near Grafenaschau and Eschenlohe

**Keywords:** Southern Bavaria – Alpine foreland – Late Glacial – Holocene – „Murnauer Moos“ moorland – alluvial fans – alluvial cones – Roman road – research drillings – pollen analysis – radiocarbon datings

**Abstract:** The study, carried out in the glacially eroded basin of Murnau with its bog- and moorland of the Murnauer Moos, shows the connections between alluvial cones and fans on the one hand and the development of moor and bogs on the other. The interwoven stratigraphy of clastic sediments and organic material (mainly peat) was revealed by means of a large number of drillings. A chronological classification of organic strata was carried out, using both biological and physical methods (pollen- and radiocarbon-dating).

From these results it was possible to draw conclusions as to periods of changing geomorphological intensity since the last glacial, each dominated by processes like sedimentation, interruption of sedimentation and erosion respectively.

---

Anschriften der Verfasser: Prof. Dr. HERMANN JERZ, Eichleite 7, D-82031 Grünwald; Dr. THOMAS SCHNEIDER, Lehrstuhl für Didaktik der Geographie der Universität Augsburg, Universitätsstr. 10, D-86135 Augsburg; Dipl.-Geol. KARL-HEINZ KRAUSE, Hauptstr. 38, D-86934 Reichling.

Periods of intense activity, in which the peat layers of the Murnauer Moos were covered by mineral sediments, could be found in the Late Glacial, the Boreal and the Early Subboreal. Evidence of geomorphological stability and peat growth were found in the Preboreal, in the Atlantic Period, and from the Mid Subboreal up to the Subatlantic Period.

Comparing these results to studies from the Central Alps, e.g. on alluvial cones in the Tyrol or on phases of intensified solifluction in the Grisons, it may be stated that there is a significant correlation between periods of climatic deterioration (with advancing glaciers) and large-scale sedimentation on the alluvial cones and fans.

## Inhalt

1. Einleitung .....	252
2. Zur Lage des Murnauer Mooses und der Fächer von Grafenaschau und Eschenlohe .....	253
3. Forschungsbohrungen Grafenaschau und Eschenlohe .....	255
4. Ergebnisse .....	257
5. Vergleich mit inneralpinen Gebieten .....	259
6. Schichtenverzeichnis der Forschungsbohrungen Grafenaschau und Eschenlohe .....	260
7. Literatur .....	263

## 1. Einleitung

Dem Thema liegt die Überlegung zugrunde, daß Schwemmfächer und Schwemmkegel als natürliche Archive geomorphologischer Prozesse angesehen werden können. In ihren Sedimenten finden sich Vorgänge und Entwicklungen dokumentiert, die mit Veränderungen der Geo-Biosphäre zusammenhängen.

Geeignete Untersuchungsgebiete sind glazial übertiefte Bereiche wie im vorliegenden Beispiel das Murnauer Becken mit dem Murnauer Moos, in dem sich klastische Sedimente mit organischen Bildungen verzahnen. Bei der Einschüttung terrestrischen Materials wurde die Moorentwicklung wiederholt stark beeinflußt oder zeitweise ganz unterbrochen.

Die Sedimentation grob- und feinklastischen Materials einerseits und das Torfwachstum andererseits kennzeichnen ein Ökosystem, das auf Veränderungen im Einzugsgebiet in sensibler Weise reagiert – auf klimatische Änderungen, auf Veränderungen der Vegetation und schließlich auch auf anthropogene Einflüsse, wie z. B. Siedlungstätigkeit und Nutzungsmaßnahmen.

Die nachstehend beschriebenen Verhältnisse und Ergebnisse beziehen sich auf Untersuchungen vor allem in den nordwestlichen und südlichen Randbereichen des Murnauer Mooses mit den großen Schwemmkegeln/-fächern von Grafenaschau und Eschenlohe. Weitere für die genannte Fragestellung noch in Bearbeitung befindliche Vorkommen liegen im Allgäu bei Immenstadt (Agathazeller Moore) und im Chiemgau (Südliche Chiemseemoore).

Die geomorphologischen, geologischen und stratigraphischen Untersuchungen am Alpenrand und in den bayerischen Randalpen sind Bestandteil des Forschungs-Schwerpunktprogramms „Wandel der Geo-Biosphäre in den letzten 15 000 Jahren: Kontinentale Sedimente als Ausdruck sich verändernder Umweltbedingungen“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft;



darüberhinaus sind sie eingebunden in verschiedene Programme des Bayerischen Geologischen Landesamtes (GLA).

In der Zeit von 1995 bis 1999 wurden von den Verfassern im Murnauer Becken eine Vielzahl von Bohrungen durchgeführt und darüberhinaus eine große Anzahl von Bohrprofilen aus Archivunterlagen verschiedener Behörden ausgewertet:

- 38 eigene Schlitzsondierungen und 69 Rammsondierungen
- Bohrungen für den Fernwasserleitungsbau der Stadt München
- Bohrungen für den Autobahnbau
- Einzelbohrungen für verschiedene Zwecke
- über 1000 Moorerkundungsbohrungen im Murnauer Moos, handschriftlich in Kladden aufgezeichnet bei der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München

Ziel war es, möglichst flächendeckend Aussagen über die räumliche Verbreitung der im Bereich des Murnauer Mooses anzutreffenden Wechsellagerungen machen zu können.

Im September 1996 ließ das Bayerische Geologische Landesamt zwei Forschungsbohrungen mit fortlaufendem Kerngewinn – die Kernbohrung Grafenaschau M-F01 (GLA-Bezeichnung KB 4) und die Kernbohrung Eschenlohe M-F02 (GLA-Bezeichnung KB 5) – niederbringen. Vorausgegangen waren eigene Sondierungen zur Festlegung geeigneter Lokalitäten und eine geophysikalische Vorerkundung durch das Bayerische Geologische Landesamt (Dr. K. BADER, M. BRUNOLD).

Die Ergebnisse sämtlicher Bohrungen wurden EDV-mäßig archiviert und graphisch umgesetzt, wobei insbesondere das Programm 'GeoDin' eingesetzt wurde.

Den Schlüssel für die chronologische Zuordnung der Ergebnisse lieferten die Datierungen des organischen Materials aus den Bohraufschlüssen:

- 116 Radiokohlenstoff-Datierungen in den <sup>14</sup>C-Laboratorien in Erlangen, Hannover, Kiel und Zürich
- 198 Pollenanalysen, Moor-Standard-Profile der Umgebung (WEBER 1999) sowie archäologische Daten (LANG 1998)

An weiteren Unterlagen standen zur Verfügung: geologische Kartierungen von DOBEN (1976) und DOBEN & FRANK (1983), geophysikalische Vermessungen von BADER (1979) und SEILER (1979), moorkundliche Aufnahmen und Beiträge von DINGLER (1943), SCHUCH (1995), HOHENSTATTER & SCHUCH (1967), LAFORCE & SCHUCH (1983) und SCHUCH & HOHENSTATTER (1976) sowie Hinweise und Ergebnisse zu Klima und Vegetationsgeschichte von FURRER et al. (1987), JERZ et al. (1998), PATZELT (1987) und WEBER & KÜSTER (1998).

## **2. Zur Lage des Murnauer Mooses und der Fächer von Grafenaschau und Eschenlohe**

Die Lage des Murnauer Mooses stimmt mit dem sich gegen N spitzwinklig-dreiecksförmig weitenden, übertieften Ausgangstrichter des ehemaligen Loisachgletschers am Alpenrand zwischen den Ammergauer Alpen im W und dem Estergebirge im E überein. Für diesen gesamten Raum des ehemaligen Gletscherbeckens wird im weiteren Sinn der Begriff „Murnauer Moos“ verwendet.

In seinem südlichen Teil baut sich seine Umrahmung aus kalkalpinen Gesteinen auf, während sein mittlerer Bereich durch die Berge der Flyschzone begrenzt wird. Im N wird das Becken durch den Faltenmolassezug von Murnau abgeschlossen. WSW–ENE verlaufende Härtlingsrücken der Helvetikumzone mit den sog. „Köcheln“ teilen das Becken in einen südlichen Teil, das Murnau-Eschenloher Moos oder kurz „Eschenloher Moos“, und in einen nördlichen Teil, das „Murnauer Moos“ i. e. S. Die Loisach, Hauptvorfluter für das Becken, durchfließt dieses an seinem östlichen Rand.

Während im südlichen und nördlichen Teil des Murnauer Moooses ausgedehnte Niedermoorflächen überwiegen, welche z. T. mit mineralischen Schichten wechsellagern, finden sich im zentralen Bereich um die „Köchel“ größere, durch Niedermoor- und Übergangsmoorflächen miteinander verbundene Hochmoorkomplexe (SCHUCH 1974).

Drei große Aufschüttungsformen reichen in das Murnauer Moos hinein: der Fächer von Grafenaschau im NW, der Kegel von Eschenlohe im SE und der aus mehreren Teilfächern zusammengesetzte Fächer von Ohlstadt im E. Dazu kommen weitere, kleinere Fächer- und Kegelformen, vor allem im S und W (Höllenstein-Graben, Beckenrandbereiche bei Plaicken, Vorder- und Hinterbraunau).

Nachstehend beschrieben werden die am besten untersuchten Aufschüttungsformen, die Fächer/Kegel von Grafenaschau und Eschenlohe:

Der Fächer von Grafenaschau (vgl. Abb. 1) wurzelt ganz in der Flyschzone. Er ist in  $\pm$  östliche Richtung gegen das Murnauer Moos geschüttet und besitzt eine nahezu gleichmäßige, idealtypische Ausbildung. Die Hauptschüttung des Fächers kommt aus dem Lahne-Graben und seinen Tributärbächen. Sein Material besteht hauptsächlich aus kieseligen Gesteinen, aus splittrig zerbrechenden Kieselkalken und Quarziten. Daneben kommt – mit geringeren Anteilen – im Einzugsgebiet abgetragenes Moränenmaterial vor. Der Ansatzpunkt des Fächers befindet sich oberhalb Grafenaschau beim „Fuchsloch“ in rd. 750 m ü. NN, sein Fuß östlich unterhalb der Ortschaft liegt bei 633 m ü. NN.

Der Fächer von Eschenlohe (vgl. Abb. 2) hat sich an der Stelle gebildet, wo das obere Loisachtal im Bereich der „Eschenloher Enge“ in das südliche Murnauer Moos („Eschenloher Moos“) einmündet. Er wurde aus  $\pm$  südöstlicher Richtung geschüttet und hat sein Einzugsgebiet im Kalkalpin. Zufgeführt wurde das Schuttmaterial über die Urlaine/Archallaine, die Eschenlaine und den Klammgraben, deren jeweilige Kegel miteinander verwachsen sind. Ihr Material besteht fast ausschließlich aus kleinstückig zerbrechendem Hauptdolomit und aus Plattenkalk. Wegen des Aufbaus und steilen Gefälles (6–7 %) dieser Aufschüttungen trifft hier besser die Bezeichnung Schwemmkegel bzw. Murkegel zu. Vom Ausgang der Klamm an der Urlaine bei etwa 720 m ü. NN bis zum Loisach-Flußniveau beträgt der Höhenunterschied rund 80 m.

Die zwischen den Fächern gelegenen Bereiche des Murnauer Moooses werden von Nieder-, Übergangs- und Hochmooren eingenommen. Am Rand der Schwemmfächer sind die Moore über diese emporgewachsen, während sich die Fächer noch weit in das Becken hinein unter den Torflagen fortsetzen und sich mit diesen verzahnen (vgl. Abb. 3). Aufschüttungs- und Moorkörper gehören zusammen; ihre Wechselfolge stellt eine von morphodynamischen Vorgängen gesteuerte Sequenz dar.

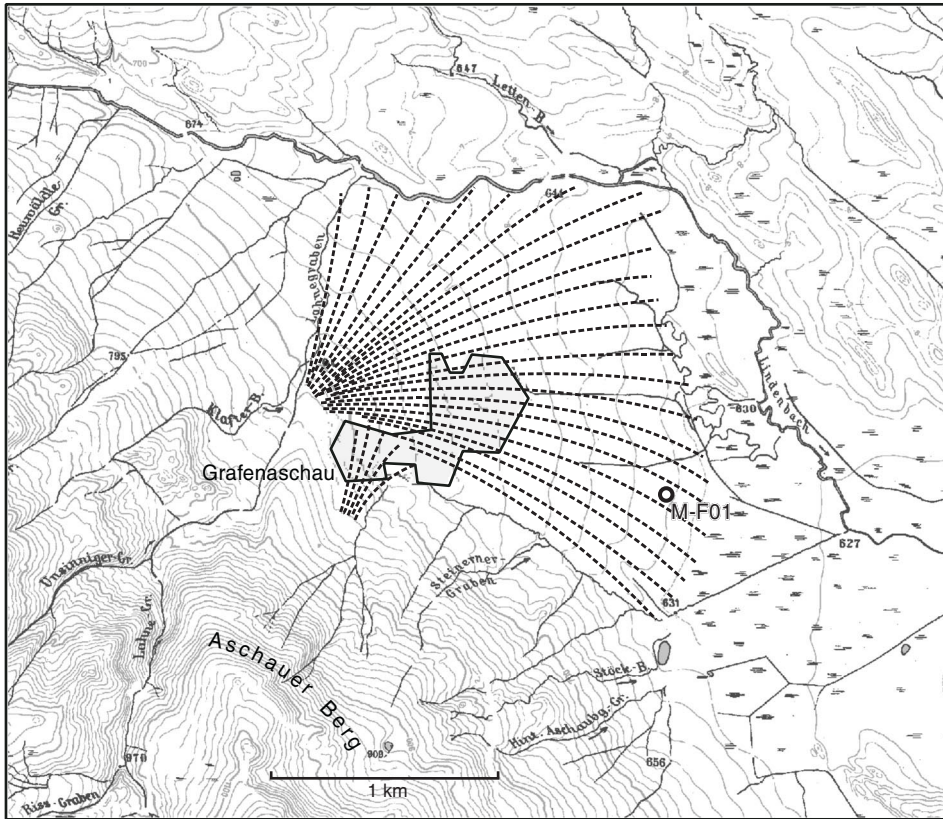


Abb. 1. Der Schwemmkegel von Grafenaschau am NW-Rand des Murnauer Moores mit der Lage der Forschungsbohrung M-F01. – Entwurf: Th. SCHNEIDER, Kartographie: B. GRASNICK.

### 3. Die Forschungsbohrungen Grafenaschau und Eschenlohe

In der Kernbohrung Grafenaschau (Forschungsbohrung M-F01, Endteufe 22,5 m) südöstlich des Ortes wurde ein häufiger Wechsel von kieselig-grusigen und -sandigen Sedimenten mit einzelnen torfigen Zwischenlagen angetroffen (vgl. Schichtenprofil in Beil. 1; Lage s. Abb. 1). Besonders festgehalten sei der enge Zeitraum für die kräftige Akkumulation von mehreren Metern (6,25–9,70 m) um 6000 Jahre BP (spätes Atlantikum). Weitere Aufschüttungen mit Grobsedimenten (14,10–15,00 m und 17,85–19,90 m) gehören den Zeiträumen zwischen etwa 9000 und 10000 Jahren BP an. Im Liegenden folgt ein splittiger Gesteinsschutt aus kieseligem Flyschmaterial, der als Periglazialschutt angesehen wird.

In der Kernbohrung Eschenlohe (Forschungsbohrung M-F02, Endteufe 26 m) W Eschenlohe im Eschenloher Moos wurden zwei mächtige Kieskörper (3,45–8,00 m und 13,30–19,00 m) angetroffen, die jeweils mächtigen Torf- und Muddelagen zwischengeschaltet sind (vgl. Schichtenprofil in Beil. 2; Lage s. Abb. 2). Nach den vorliegenden Ergebnissen gehören die vorwiegend aus Grobschüttungen bestehenden Akkumulationen in die Zeit zwischen rd. 5000–6000 Jahren BP und rd. 9000–10000 Jahren BP. Die Groblagen unterhalb etwa 23 m

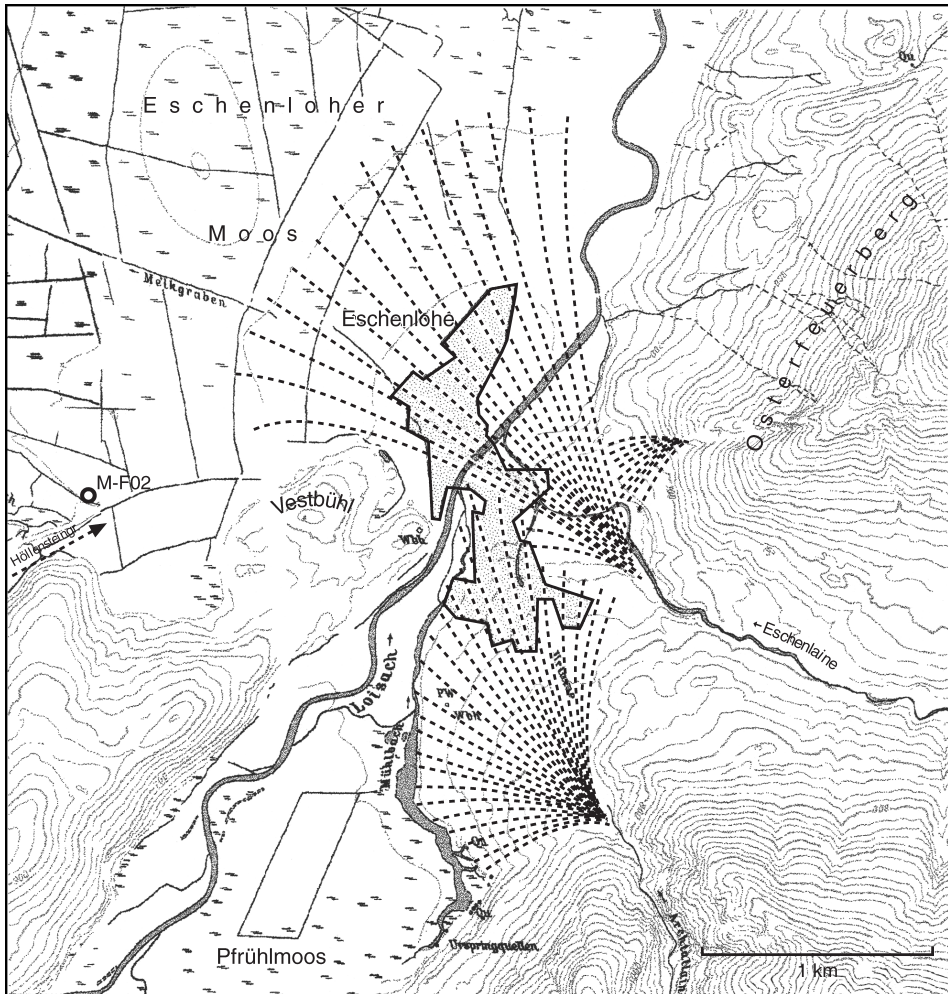


Abb. 2. Die Schwemmkegel von Eschenlöhe im S des Murauer Mooses mit der Lage der Forschungsbohrung M-F02. – Entwurf: Th. SCHNEIDER, Kartographie: B. GRASNICK.

werden als Moräne angesehen, wobei der deutliche Anteil an zentralalpinen Komponenten (bis zu 10 %) auf Fernmoräne hinweist.

Die beiden Schwemmflächen-Grobschüttungen zwischen 19 und 13 m und zwischen 8 und 3,5 m zeigen ähnlich hohe Wettersteinkalk-Anteile wie rezente Loisschotter; daraus ist zu schließen, daß die Loisach durch den Eschenloher Schwemmkegel phasenweise weit nach W in das Eschenloher Moos abgedrängt wurde.

Erwähnt sei für diese Bohrung auch ein kräftiges Aufbrechen von gespanntem Grundwasser (0,2 bar) aus einer kiesigen Sandschicht in 15 m Bohrtiefe. Hier dürfte einer der bei NEUMAIER (1969) erwähnten und voneinander unabhängigen Stockwerken angehörigen Grundwasserkörper angetroffen worden sein.

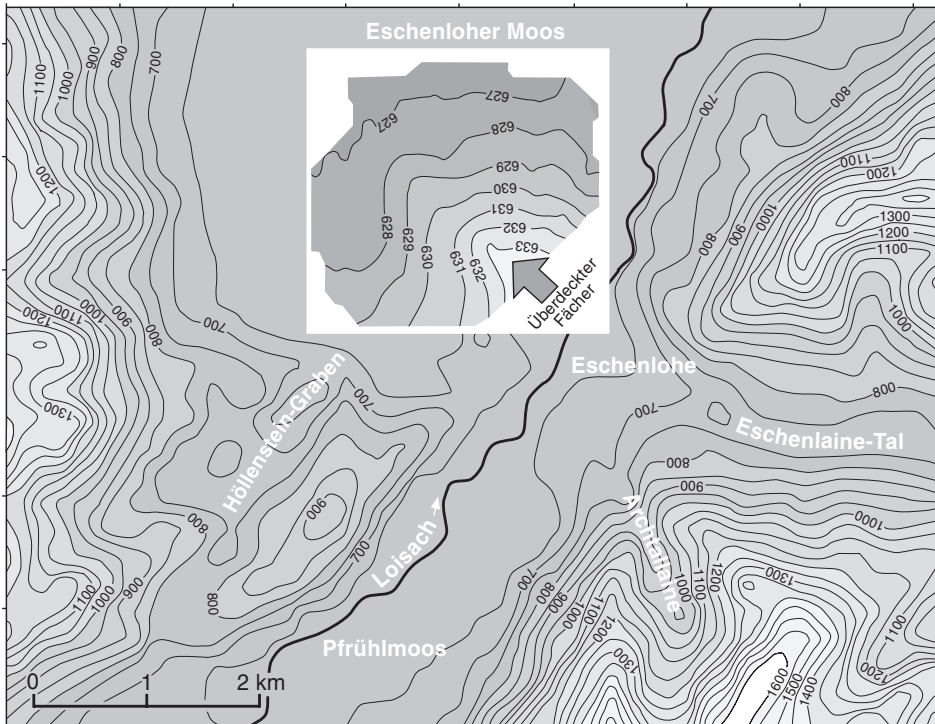


Abb. 3. Überdeckter Schwemmächer im Eschenloher Moos: Die „Fenster“-Darstellung zeigt den aus Bohrungen rekonstruierten, heute von mehreren Metern Torf überdeckten, großen Schwemmächer im S des Eschenloher Moores aus der Zeit des älteren Subboreals vor rd. 5000–6000 Jahren. – Quelle der Bohrdaten: Bayer. L.-Anst. Bodenkultur, Pflanzenbau u. Pflanzenschutz sowie eigene Sondierungen. – Entwurf und Kartographie: K.-H. KRAUSE.

#### 4. Ergebnisse

Nach den Bohrergebnissen und den Ergebnissen der Altersbestimmungen ( $^{14}\text{C}$ , Pollen) können im Murnauer Moos einige bedeutende klastische Sedimentkörper mit Schwemmächermaterial im Wechsel mit organischen Sedimenten aus Torfen und Mudden lithologisch und chronologisch unterschieden werden (vgl. Abb. 4).

Verschiedene „Sedimentfahnen“ (Schüttungen) sind aus W und E gegen die Mitte des Eschenloher Moores gerichtet. In der Eschenloher Enge im SE überwiegen gröberklastische Ablagerungen (Sande, Kiese), ebenso am Ausgang des Höllenstein-Grabens im S. Am SW-Rand des Eschenloher Moores finden sich feinklastische Schüttungen und stellenweise auch schluffig-tonige Beckensedimente.

Ein erster Torfkomplex H 1 setzt um 11 500 Jahre cal. BP ein und umfaßt rund 1500 Jahre (Präboreal). Darüber folgt zwischen ca. 10 000 und 9000 Jahren cal. BP (Boreal) die Schüttung eines mehrere Meter mächtigen Schwemmächers I.

Im Torfkomplex H 2 verzahnen sich mit den Torfbildungen im Zeitraum zwischen etwa 9000 und 6000 Jahren cal. BP (Atlantikum) mehrfach tonig-schluffige Einschwemmungen.

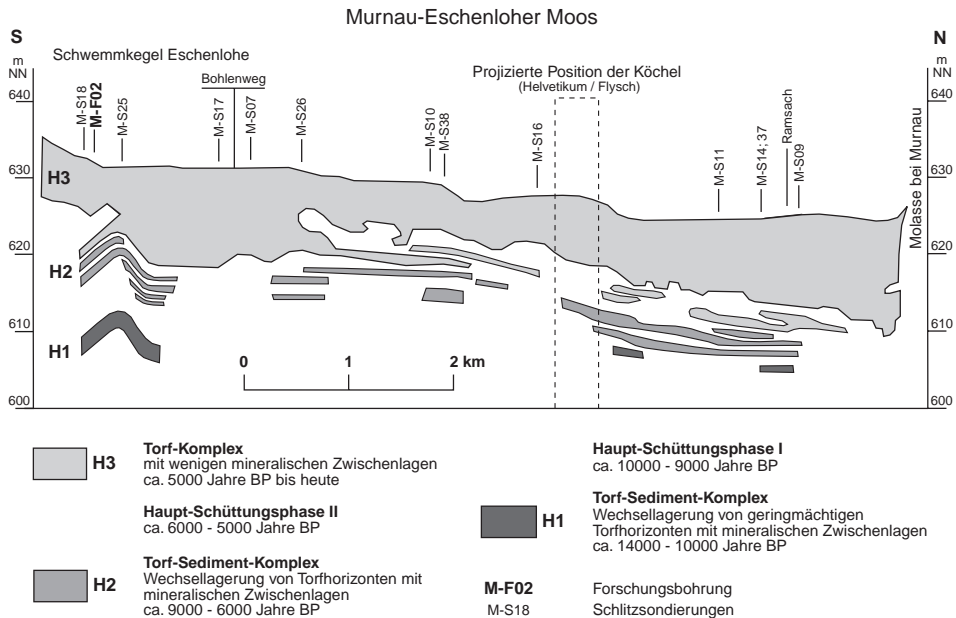


Abb. 4. Sedimentations-Torfbildungs-Zeitschema als S–N-Profil durch das Murnau-Eschenloher Moos (zusammengestellt nach einer Vielzahl von Bohrungen). – Quelle der Bohrdaten: Bayer. L.-Anst. Bodenkultur, Pflanzenbau u. Pflanzenschutz, Bayer. Geol. L.-Amt, Stadtwerke München sowie eigene Sondierungen. Zeichnung: K.-H. KRAUSE.

Die Torfhorizonte werden unterbrochen durch die ausgedehnte kiesig-sandige Schüttung des Schwemmfächers II, der bis weit an den westlichen Beckenrand reicht; diese Schüttung war etwa um 5000 Jahre cal. BP (Frühes Subboreal) abgeschlossen und ist heute von mehreren Metern Torf überdeckt (vgl. Abb. 4).

Die jüngste Torfbildungsphase H 3 umfaßt somit ungefähr die letzten 5000 Jahre (Mittleres Subboreal und Subatlantikum). Darin ist ein wenige Dezimeter mächtiger, überwiegend feinsandig-schluffiger Horizont eingeschaltet, der an vielen Stellen nachgewiesen ist und demnach als „Leithorizont“ angesehen werden kann. Er ist vor rund 3500 Jahren BP (Hochbronzezeit) entstanden („Schwemmfächer III“).

Mit lückenhaften, geringmächtigen mineralischen Einschaltungen im Torfkomplex H 3 korreliert die Höhenlage eines um 2000 Jahre BP datierten Bohlenweges durch das Murnauer Moos (vgl. auch REINECKE 1935). Das Dendroalter der Stämme beträgt einheitlich 43 AD. Die Sedimentfahne ließ sich auch bei der Ergrabung dieses Bohlenweges im Jahre 1997 (LANG, SCHULTZ & ZANIER 1998) als schluffige Überdeckung über der Stammlage in 1,20 m Tiefe erkennen.

Die klastischen Hauptschüttungen und die Torfkomplexe sind für die genannten Zeiträume auch im Grafenaschauer Fächer ausgebildet (vgl. Abb. 1). Dabei sind die Torfkomplexe H 1 und H 2 durch murartige Grobschüttungen aus Flyschgesteinsmaterial getrennt. Der oberste Torfkomplex H 3 weist nur geringmächtige Torflagen auf. Es überwiegen mineralische Überschüttungen, in denen sich aber nicht selten Anzeichen für erodiertes und torfiges Material (z. B. „Torfgerölle“) erkennen lassen.

Insgesamt betrachtet waren somit weite Gebiete in der Umrahmung des Murnauer Beckens mehr oder weniger zeitgleich von größeren Erosionsvorgängen erfaßt, die im Becken selbst zu Akkumulationen und zur Ausdehnung der Schwemmfächer führten, vor allem im Boreal und frühen Subboreal.

Längere Stagnationsphasen mit Torfwachstum sind nach den Datierungen im Präboreal, im Atlantikum und ab dem mittleren Subboreal anzunehmen.

In historischer Zeit, insbesondere in der Neuzeit, läßt sich eine Zunahme der Aktivität feststellen, insbesondere in der Umgebung des Grafenaschauer Fächers. Verschiedene zungenförmige Aufschüttungen stammen von Hochwässern und Vermurungen um die Jahrhundertwende und zu Beginn des 20. Jahrhunderts (vgl. IMMERZ 1999; KRAUSE 1994).

Für das Murnauer Moos erlauben die dichten Bohrdaten eine Neuinterpretation der früheren Annahmen bezüglich der zeitlichen Einstufung der Torfhorizonte und des Beginns des Torfwachstums. War man bisher von einer Moorentwicklung ab dem Atlantikum um 6000 vor heute ausgegangen (PAUL & RUOFF 1932; HOHENSTATTER 1984), so belegen die Ergebnisse von Datierungen an Material aus den eigenen Bohrungen ein weitaus höheres Alter. Für mehrere Profile, so auch in den Forschungsbohrungen, wurden mindestens präboreale Torflagen, in einigen Bohrungen auch allerödzeitliches Torfalter bestimmt. Älteste datierte Pflanzenpartikel stammen aus dem frühen Spätglazial um 15 000 Jahre cal. BP. Die Lagen der ältesten und tiefsten Torfbildungen belegen, daß sich seit dieser Zeit das Niveau der Loisach um rund 20 m erhöht haben muß.

## 5. Vergleich mit inneralpinen Gebieten

Wie schon erwähnt, lassen die Hauptschüttungen in den großen Schwemmfächern auf eine während der erwähnten Phasen außergewöhnliche Erosionstätigkeit für das gesamte Einzugsgebiet des Murnauer Beckens schließen.

Im Tiroler Inntal erkannte PATZELT (1987, 1991) in den vor dem Ausgang von Seitentälern aufgeschütteten Schwemmkegeln einen mehrfachen Wechsel von Perioden verstärkter Sedimentakkumulation einerseits und Erosions- bzw. Stagnationsphasen andererseits, wobei die Aufschüttungen überwiegen. Die dabei festgestellte, bedeutende Akkumulationsphase um 9400 Jahre vor heute (Mittleres Präboreal) fällt ungefähr zwischen die in den vorliegenden Untersuchungen als H 1 und H 2 bezeichneten Torfbildungsphasen. Eine weitere Akkumulationsphase, die PATZELT (1987) zwischen 7500 und 6000 Jahren vor heute (Älteres Atlantikum) angibt, ist mit dem Zeitraum der stark gestörten Torfbildungsphase H 2 bis zum Beginn der Torfbildungsphase H 3 korrelierbar. Die mehrfach festgestellten, auffälligen Einschüttungen innerhalb des Horizontes H 3 scheinen mit einer von PATZELT (1987) festgestellten Akkumulationsphase um 3500 Jahre vor heute (Früh- bis Hochbronzezeit) zusammenzufallen. Als bedeutende Erosionsphase markiert PATZELT (1987) den Zeitraum zwischen 6000 und 4500 Jahren vor heute (Jüngeres Atlantikum). Ihr könnte eine Eintiefungsphase entsprechen, wie sie sich in den Schwemmfächerschüttungen des Murnauer Mooses zwischen den Torfkomplexen H 2 und H 3 abzeichnet.

Die Akkumulationsperioden korrelieren nach PATZELT (1987, 1991) in Nordtirol zeitlich gut mit Perioden der Klimaverschlechterung und dem Vorrücken lokaler Gletscher; nach FURRER & BACHMANN (1972) können diese im Schweizer Hochgebirge, nach GAMPER (1985, 1991) in Graubünden auch mit Phasen verstärkter Solifluktion in Zusammenhang gebracht werden.

Für den Gatria-Murkegel im Vinschgau (FISCHER 1990; PATZELT 1987) ließen Volumenabschätzungen erkennen, daß nur rund ein Drittel des gesamten Murschuttes seit dem Beginn des Atlantikums abgelagert wurde, zwei Drittel dagegen in der Zeit nach dem Eisrückzug bis zum Ende des Boreal. Als Ursachen für die intensivere Murtätigkeit im Spätglazial und frühen Postglazial wird vor allem die geringere Vegetationsbedeckung verantwortlich gemacht.

## 6. Schichtenverzeichnis der Forschungsbohrungen Grafenaschau und Eschenlohe

### Forschungsbohrung Grafenaschau M-F01 (GLA-KB 4)

TK 25, Blatt-Nr 8332 Unterammergau

Lage: R 4434700, H 5278900

Höhe: 634,50 m ü.NN

Bohrfirma: Angerer, Grönenbach

Bohrzeit: 10. 09. 99

Endteufe: 22,50 m

Grundwasser bei 0,5 unter Geländeoberfläche

- 0,70 m Lehm, feinsandig-schluffig, humos, dunkelbraungrau, rostfleckig (vergleyt)
- 1,80 m Schluff, tonig, stark humos bis torfig, dunkelgrau, stark rost- und graufleckig; mit Almausfällungen; reichlich Holzreste
- 2,15 m Schluff, tonig, grau; mit torfigen Lagen und mit Holzresten, „Torfmudde“
- 2,80 m Feinsand, schluffig, grau, stark glimmerig; mit pflanzlichen Resten (Schilf, Holz)
- 3,10 m Schluff, feinsandig, schwach steinig, Steine grob und eckig (> 2 cm); Pflanzenreste (Holz)
- 3,35 m Feinsand, schluffig, stark glimmerig, grau; mit pflanzlichen Resten
- 4,35 m Feinsand, schluffig, glimmerig, dunkelgrau bis schwarzgrau; mit reichlich Holzresten
- 5,80 m Schluff, feinsandig, tonig, grau; mit Holz- und Pflanzenresten
- 6,25 m Torf, grauschwarz; mit pflanzlichen Großresten (Holz)
- 6,95 m Feinsand, schluffig, grau glimmerig; mit Holzresten
- 7,00 m Sand, steinig, grau; mit pflanzlichen Resten
- 7,25 m Sand, schluffig, grau, glimmerig; mit einzelnen Holzresten
- 7,60 m Feinsteine bis Grobsteine, sandig, schluffig, grau; kleine pflanzliche Reste
- 7,75 m Mittelsand, schwach schluffig, glimmerig, grau; Holz- und Rindenreste
- 7,90 m Feinsand, schluffig, glimmerig, grau; mit Holzresten
- 8,10 m Mittelsand, schwach schluffig, glimmerig, olivgrau; mit Holzresten, Zapfen bei 7,95 m
- 8,65 m Feinsand, schluffig, steinig, glimmerig, einzelne Grobsteine; Holzreste
- 9,20 m Sand, stark steinig, schluffig, bis Steine, fein bis grob, eckig bis kantengerundet, grau; bei 9,05 m Gastropode (gut erhalten)
- 9,55 m Sand, schluffig, humos, grau, stark glimmerig; mit Holzresten
- 9,70 m Sand schluffig, stark steinig, grau; mit Holzresten
- 9,95 m Schluff, schwach tonig, grau, mit kleinen Steinen; Pflanzenhäcksel
- 10,00 m Schluff, schwach feinsandig, tonig, torfig, grauschwarz
- 10,10 m Schluff, feinsandig, mit einzelnen Steinen, dunkelgrau
- 11,15 m Feinsand, schluffig, bis Schluff, feinsandig, dunkelgrau, mit Kalksandlagen im cm-Bereich; reichlich Pflanzenreste bzw. Torf („filzartig“)
- 11,50 m Schluff; mit sehr hohem organischem Anteil, z. T. torfig
- 11,85 m Schluff, tonig, dunkelgrau; mit reichlich Pflanzenhäcksel
- 11,95 m Torf, grauschwarz
- 12,25 m Schluff, tonig, dunkelgrau; mit Pflanzenresten (Schilf)
- 12,35 m Torf, grauschwarz
- 12,60 m Torf, mit Schluff im Wechsel, grauschwarz und grau



- 12,80 m Schluff, feinsandig, grau; mit Pflanzenhäcksel
- 13,25 m Torf, grauschwarz, mit schluffigen Einschaltungen
- 13,50 m Schluff, dunkelgrau; mit torfigen Lagen
- 13,95 m Feinsand, schluffig, grau; mit Pflanzenhäcksel
- 14,10 m Feinsand, grau; mit reichlich Pflanzen- bzw. Holzresten
- 15,00 m Kies, fein bis grob, sandig, schluffig, eckig bis kantengerundet, mit kalkalpinem Material; vermutlich umgelagertes Moränenmaterial
- 15,20 m Feinsand, schluffig, grau; mit Almausfällungen und feindetritischem Pflanzenhäcksel
- 15,35 m Schluff, tonig, grau; mit Pflanzenresten (v. a. Schilf)
- 15,40 m Torf; mit mineralischen Einschwemmungen
- 15,60 m Schluff, tonig; mit Pflanzenresten
- 15,85 m Torf, blättrig; mit mineralischen Einschaltungen und mit Almausfällungen
- 16,35 m Torf, feinsandig, grau; mit Pflanzenresten und einzelnen Holzresten
- 16,95 m Torf und Schluff im Wechsel, dunkelgrau bis grau
- 17,35 m Fein- und Mittelsand mit Grobsandlagen, grau; einzelne Holzreste, schwach inkohlt
- 17,50 m Feinkies, feinsteinig, sandig
- 17,85 m Feinsand, schluffig, dunkelgrau; mit großen Holzresten, schwach inkohlt;
- ab 17,80 m Schluff, feinsandig, tonig; zwischen 17,75 m und 17,85 m Schillage als „Grenzschicht“ – Hiatus durch Bach- oder Rinnenerosion
- 19,90 m Sand, sehr stark steinig, schluffig, olivgrau, bis Steine, fein bis grob, stark sandig, schluffig, ± dicht, mit kalkalpinem Material (Wettersteinkalk, Muschelkalk, helvetische Kalksteine und glaukonitische Sandsteine), eckig, geschrammt; vermutlich Moräne (oder Mure mit Moränenmaterial)
- 22,50 m Steine, fein bis grob, splittrig, braungelb, vorverwittert; vermutlich Periglazialschutt

### **Forschungsbohrung Eschenlohe M-F 02 (GLA-KB 5)**

TK 25, Blatt-Nr. 8432 Oberammergau

Lage: R 4437260, H 5273360

Höhe: 630,10 m ü.NN

Bohrfirma: Angerer, Grönenbach

Bohrzeit: 11. 09. 99

Endteufe: 26,00 m

Grundwasser gespannt, Auftrieb bis über Geländeoberfläche (0,2 bar)

- 3,45 m Torf (Niedermoortorf, z. T. Hoch- und Übergangsmoortorf), dunkelbraun bis umbrabraun, ab 3,30 m mit Kies überschüttet, darauf Torfwachstum (Schilftorf)
- 8,00 m Kies, sandig, grau, einzelne Holzreste, Komponenten kalkalpin (Kalk- u. Dolomitstein, im einzelnen nach der Häufigkeit Hauptdolomit, Plattenkalk, Muschelkalk, Wettersteinkalk, Raibler Kalk; zwischen 5,00 und 8,00 m Kernverlust bei vermutlich vorwiegend Kies)
- 8,50 m Torf, schwarzbraun (Niedermoor- bis Übergangsmoortorf)
- 9,30 m Schluff, kiesig, feinsandig, grau; mit Holzresten
- 9,75 m Torf mit Geröllen (durch Überschüttung)
- 10,15 m Torf mit vereinzelt Geröllen
- 10,65 m Torf und Kalkmudde im Wechsel, mit Geröllen durch Überschüttung, schwarzbraun und olivgrau, weich
- 11,05 m Kalkmudde (Schluff, tonig), olivgrau, weich; mit dünnen hellgrauen Seekreidebändern (mm), feingeschichtet, vorwiegend Schluff mit Pflanzenresten (org. Detritus)
- 11,40 m Torf, schwarzbraun, blättrig, dicht gelagert; mit dünnen schluffigen Lagen aus Kalkmudde
- 12,30 m Kalkmudde (Schluff, tonig), olivgrau, weich; mit hellen Seekreidebändchen und mit Pflanzenresten bzw. organischer Detritus
- 12,75 m Torf, schwarzbraun, blättrig (Schilftorf), dicht gelagert; bei 12,60 cm Käferflügel, blaugrün schillernd
- 13,15 m Torf und Kalkmudde im Wechsel, schwarzbraun und olivgrau, feingeschichtet

- 13,30 m Torf, schwarzbraun, blättrig
- 14,95 m Kies, v. a. Grobkies, stark sandig, schwarz, schluffig, grau, dicht gelagert
- 15,25 m Sand, feinkiesig (ausgewaschen); gespanntes Grundwasser (0,2 bar)
- 15,95 m Kies (Fein- bis Grobkies), sandig (ausgewaschen), Komponenten gerundet, kalkalpin; einzelne Holzreste, einzelne „Torfgerölle“
- 16,55 m Kalksand, schwach kiesig, grau, vorwiegend Mittel- bis Grobsand
- 16,95 m Kalksand, kiesig, grau (vorwiegend Grobsand)
- 17,40 m Kies (vorwiegend Fein- bis Mittelkies), stark sandig, grau; mit Pflanzenresten
- 18,90 m Kies, stark sandig, schwach schluffig; mit Torfgeröllen und mit Holzresten
- 19,00 m Sand, kiesig, schluffig, olivgrau
- 19,05 m Schluff, olivgrau; Kalkmudde
- 19,10 m Torf, braunschwarz
- 19,35 m Schluff, olivgrau; Kalkmudde
- 19,50 m Torf, braunschwarz
- 19,60 m Feinsand, schluffig, grau
- 19,70 m Grobsand, schwach feinkiesig, grau
- 19,95 m Torf mit Kalkmudde im Wechsel
- 20,15 m Sand, schwach feinkiesig, schluffig, olivgrau
- 20,40 m Schluff, tonig, olivgrau (= Kalkmudde, weich, feingeschichtet, mit humosen Lagen)
- 20,75 m Schluff; mit reichlich Torfdetritus (= Torfmudde tonig, mit Holzresten), grauschwarz bis schwarzgrau
- 21,05 m Schluff, tonig, humos, olivgrau; Torflage zwischen 21,02 m und 21,05 m
- 21,20 m Grobsand, feinkiesig; mit Schlufflagen und mit Holzresten
- 21,90 m Schluff mit Sandlagen, humos; einzelne Holzreste zwischen 21,70 m und 21,90 m
- 22,00 m Kies (vor allem Feinkies), sandig, grau,
- 23,05 m Schluff, feinsandig bis Feinsand, schluffig, mit sandigen Zwischenlagen, grau; einzelne Holzreste und Pflanzenfasern
- 23,45 m Kies, sandig, schwach schluffig, grau, Komponenten ± gerundet bis kantengerundet; vermutlich Moräne
- 23,60 m Kies, sandig, stark schluffig, graugelb (kalkalpine Kalksteine, Cenoman-Mergel und -Sandsteine; vermutlich Moräne mit reichlich Lokalmaterial)
- 26,00 m Kies, stark sandig, schwach schluffig, grau, vorwiegend Kalkalpin, einzelne Kristallinkomponenten; Moräne! (mit Fernmaterial).

#### Danksagung:

Für die Unterstützung und Förderung der Arbeit danken die Autoren:

- der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)
  - der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Augsburg mit den Lehrstühlen für Physische Geographie (Prof. Dr. K. FISCHER) und Didaktik der Geographie (Prof. Dr. U. WIECZOREK), den studentischen Mitarbeitern Ch. IMMERZ, B. GRASNICK, A. HUPPERTZ, W. SCHMIDT sowie Dipl.-Ing. T. RICHTMANN (Kartographie)
  - dem Bayerischen Geologischen Landesamt München und seinen Mitarbeitern Dr. K. BADER, Dr.-Ing. H.-J. BAUMANN, Dipl.-Geol. U. HAAS, Dipl.-Ing. (FH) T. GALLEMANN, H. BRUNOLD und D. WILD
  - dem Institut für Geographie der Universität Würzburg (Prof. Dr. H. HAGEDORN und M. SCHIENER)
- Für Altersdatierungen nach der Radiokohlenstoff-<sup>14</sup>C-Methode danken wir:
- Prof. Dr. M. A. GEYH, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover
  - Prof. Dr. W. KRETSCHMER, Dr. G. MORGENROTH und Dipl.-Phys. M. KLEIN, Physikalisches Institut der Universität Erlangen-Nürnberg
  - Prof. Dr. P. M. GROOTES, Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung der Universität Kiel
  - Dr. W. A. KELLER und em. Prof. Dr. G. FURRER, <sup>14</sup>C-Labor des Geographischen Instituts der Universität Zürich-Irchel.

Für paläobotanische Bestimmungen (Pollenanalysen und zeitliche Einordnung) danken wir Dr. K. WEBER, München, und A. OBERHAUSER, Augsburg, Prof. Dr. H. KÜSTER, Hannover, sowie Dr. M. PETERS, München.

Archäologische Daten vermittelten uns freundlicherweise Dr. A. LANG und U. SCHULTZ, München. Einsichtnahme und Verwendung von Bohrungsunterlagen haben dankenswerterweise ermöglicht:

- das Wasserwirtschaftsamt Weilheim
- die Autobahndirektion Süd, München
- die Stadtwerke München
- Besonderer Dank gilt der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München (Dr. M. SCHUCH †, F. JORDAN und E. WEIDELE) für die Überlassung der handschriftlichen Schichtenverzeichnisse von über eintausend Moorerkundungsbohrungen im Murnauer Moos.

Nicht zuletzt und ganz besonders wird den Grundstücksbesitzern SCHRÜFER, Grafenaschau, und JAIS, Plaicken, für die Bohrgenehmigungen auf ihren Grundstücken gedankt.

## 7. Literatur

- BADER, K. (1979): Exarationstiefen wärmzeitlicher und älterer Gletscher in Südbayern. – *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **29**: 49–61, Hannover.
- DINGLER, M. (1943): *Das Murnauer Moos*. – 77 S., München (Gerber).
- DOBEN, K. (1976): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 25 000, Blatt Nr. 8433 Eschenlohe. – 96 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DOBEN, K. & FRANK, H. (1983): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 25 000, Blatt Nr. 8333 Murnau a. Staffelsee. – 151 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- FISCHER, K. (1990): Entwicklungsgeschichte der Murkegel im Vinschgau: Fossiler Wald im Gatria-Kegel erlaubt nähere Datierung. – *Der Schlern*, **64**: 93–96, Bozen.
- FURRER, G. & BACHMANN, F. (1972): Solifluktsdecken im schweizerischen Hochgebirge als Spiegel der postglazialen Landschaftsentwicklung. – *Z. Geomorph., N.F., Suppl.-Bd.* **13**: 163–172, Berlin.
- FURRER, G., BURGA, C., GAMPER, M., HOLZHAUSER, H. P. & MAISCH, M. (1987): Zur Gletscher-, Vegetations- und Klimageschichte der Schweiz seit der Späteiszeit. – *Geographica Helvetica*, **42**: 61–91, Zürich.
- GAMPER, M. (1985): Morphochronologische Untersuchungen an Solifluktszungen, Moränen und Schwemmkegeln in den Schweizer Alpen: Eine Gliederung mit Hilfe der <sup>14</sup>C-Altersbestimmung fossiler Böden. – *Physische Geogr.*, **17**: 115 S., Zürich.
- GAMPER, M. (1991): Solifluktsphasen im Holozän der Alpen. – In: FRENZEL, B. [Hrsg.]: *Klimageschichtliche Probleme der letzten 130 000 Jahre*. – *Paläoklimaforsch.*, **1**: 79–86, Stuttgart (FISCHER).
- HOHENSTATTER, E. (1984): Geschichte und Stratigraphie des Murnauer Mooses. – *Jb. Ver. Schutz Bergwelt*, **49**: 163–192, München.
- HOHENSTATTER, E. & SCHUCH, M. (1967): Die Moorkommen des Kartenblattes Nr. 8432 Oberammergau. – In: Kuhnert, C.: *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 25 000, Blatt Nr. 8432 Oberammergau*. – 47–56, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- IMMERZ, C. (1999): Untersuchungen zur jüngsten Entwicklung der Schwemmkegel- und Talsohlenbereiche im Murnauer Moos und seinen Randgebieten. – *Zulass.-Arb. Univ. Augsburg*: 89 S., Augsburg.
- JERZ, H., FISCHER, K. & SCHNEIDER, Th. (1998): Die Entwicklung der Schwemmkegel, Schwemmfächer und Talsohlenbereiche im Spät- und Postglazial am Alpenrand und in den Randalpen. – *Ber. DFG-Schwerpunktprogr. „Wandel der Geo-Biosphäre während der letzten 15 000 Jahre – Kontinentale Sedimente als Ausdruck sich verändernder Umweltbedingungen“*. – Bonn (Dt. Forschungsgem.). – [Unveröff.]
- KRAUSE, K.-H. (1994): Die Schwemmfächer und Murkegel bei Ohlstadt, Eschenlohe und Grafenaschau. Geologisch-morphologische Aufnahme im Auftrag des Bayerischen Geologischen Landesamtes. – *Ber.*: 33 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt). – [Unveröff.]

- LAFORCE, W. & SCHUCH, M. (1983): Die Moorkommen des Kartenblattes Nr. 8333 Murnau. – In: DOBEN, K. & FRANK, H.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 8333 Murnau. – 56–77, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- LANG, A. (1998): Ein Wunsch – Siedlungsarchäologische Untersuchungen im Loisachtal, Lkr. Garmisch-Partenkirchen. – In: KÜSTER, H., LANG, A. & SCHAUER, P. [Hrsg.]: Archäologische Forschungen in urgeschichtlichen Siedlungslandschaften. – Regensburger Beitr. prähist. Archäol., **5** (Festschr. G. KOSSACK): 419–441, Regensburg.
- LANG, A., SCHULTZ, U. & ZANIER, W. (1998): Eine frühromische Holz-Kiesstraße im Murnauer Moos bei Eschenlohe, Lkr. Garmisch-Partenkirchen. – In: Walde, E. [Hrsg.]: Via Claudia – Neue Forschungen. – 315–326, Innsbruck (Inst. Klass. Archäol.).
- NEUMAIER, F. (1969): Bericht über Grundwassermessungen im Murnauer Moos (10. 6.–14. 8. 1969). – Gutachten: 7 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt). – [Unveröff.]
- PATZELT, G. (1987): Untersuchungen zur nacheiszeitlichen Schwemmkegel- und Talentwicklung in Tirol – 1. Teil: Das Inntal zwischen Mötztal und Wattens. – Veröff. Mus. Ferdinandeum Innsbruck, **67**: 93–123, Innsbruck.
- PATZELT, G. (1991): Zur Chronologie der nacheiszeitlichen Entwicklung der Schwemmkegel im Tiroler Raum. – Nachr. Dt. Geol. Ges., **46**: 47–48, Hannover.
- PAUL, H. & RUOFF, S. (1932): Pollenstatistische und stratigraphische Untersuchungen im südlichen Bayern – II. Teil: Moore in den Gebieten der Isar-, Allgäu- und Rheinvorlandgletscher. – Ber. Bayer. Botan. Ges., **20**: 264 S., München.
- REINECKE, P. (1935): Ein römischer Prügelpfad im Eschenloher Moor. – Germania, **19**: 57–60, Mainz.
- SCHUCH, M. (1974): Moorkarte des Murnauer Mooses 1:10 000. – Ms.-Kt., München (Bayer. L.-Anst. Bodenkultur, Pflanzenbau u. Pflanzenschutz). – [Unveröff.]
- SCHUCH, M. (1995): Entstehung und Darstellung des Murnauer Mooses. – Ausstellungskat. Schloßmuseum Murnau: 39–45, Murnau (Schloßmus. Murnau).
- SCHUCH, M. & HOHENSTATTER, E. (1976): Die Moorkommen des Kartenblattes Nr. 8433 Eschenlohe. – In: DOBEN, K.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 8433 Eschenlohe. – 28–36, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SEILER, K.-P. (1979): Glazial übertiefte Talabschnitte in den bayerischen Alpen: Ergebnisse glazialgeologischer, hydrologischer und geophysikalischer Untersuchungen. – Eiszeitalter u. Gegenwart, **29**: 35–48, Hannover.
- WEBER, K. (1999): Vegetations- und Klimageschichte im Werdenfelser Land. – Augsburg. Geogr. H., **13**: 127 S., Augsburg.
- WEBER, K. & KÜSTER, H. (1998): Klima- und Vegetationsgeschichte im Werdenfelser Land: Abschlußbericht zum Projekt „W1“ im Bayerischen Klimaforschungsprogramm (BayFORKLIM). – 34 S., München (Bayer. Klimaforschungsverbund).

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 4. 10. 1999.

## Der digitale Geotopkataster Bayern des Bayerischen Geologischen Landesamtes – fachliche Grundlage zur Erhaltung bedeutender Dokumente der Erdgeschichte

Von ULRICH LAGALLY, STEFAN GLASER & ROLAND EICHHORN

Mit 5 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Geotopschutz – Aufnahmekriterien – GIS-basierte Erfassung – Datenbank – Bewertung – Recherche – Visualisierung – Erhaltungsmaßnahmen

**Kurzfassung:** Geotopschutz hat die langfristige Erhaltung der aus geowissenschaftlicher Sicht wichtigsten Objekte zum Ziel. Mit Beginn der Naturschutzbewegung im 19. Jahrhundert kam es in Bayern bereits vereinzelt zu Unterschutzstellungsmaßnahmen von erdgeschichtlichen Objekten. Als zuständige Fachbehörde hat das Bayerische Geologische Landesamt heute die Aufgabe, die Grundlagen für einen fachlich fundierten Geotopschutz zu schaffen.

Seit 1985 wird zu diesem Zweck an der Erfassung und Bewertung der wichtigsten bayerischen Geotope gearbeitet. Im Rahmen einer Ersterfassung wurden ca. 3400 Objekte inventarisiert. Dabei überwiegen Aufschlüsse, Formen und geohistorische Objekte. Die Aufnahme von Quellen und Höhlen sowie Geotopen im bayerischen Alpenraum konnte bisher nur in Ausnahmefällen erfolgen. In einigen Testgebieten wurde eine flächendeckende Inventarisierung der bedeutenden Aufschlüsse und Formen durchgeführt, für den Großteil Bayerns steht diese, mit einem hohen Zeitaufwand verbundene, Erhebung jedoch noch aus.

Die Daten werden im digitalen Geotopkataster Bayern gesammelt und ausgewertet. Neben alphanumerischen Daten sind auch Fotos und Karten gespeichert. Die Aufnahme in die Datenbank erfolgt mit Hilfe von Eingabemenüs und unter Verwendung eines geographischen Informationssystems. Bewertungen, Recherchen und Datenausgabe werden nach standardisierten Verfahren vorgenommen.

Die Auswertungsergebnisse gehen in Stellungnahmen zu raumbedeutsamen Maßnahmen ein; gleichzeitig unterstützt das Bayerische Geologische Landesamt die Naturschutzbehörden, initiiert aber auch von sich aus Unterschutzstellungen. Um bei kollidierenden Nutzungsansprüchen einvernehmliche Lösungen zu finden, werden bei der geowissenschaftlichen Abwägung alle möglichen Alternativen in Betracht gezogen. Die rechtliche Unterschutzstellung von Geotopen durch die Naturschutzbehörden wird vom Geologischen Landesamt nur für jene Objekte angestrebt, an deren Erhalt ein besonderes fachliches oder öffentliches Interesse besteht.

The digital Geotopkataster Bayern of the Bavarian Geological Survey – special base  
for the conservation of important documents of earth history

**Keywords:** Geotope protection – selection criteria – GIS-based data input – data base – evaluation – search – visualization of results – conservation measures

**Abstract:** Geotope protection aims for the long term conservation of geoscientifically important objects. Already from the beginning of the nature conservation movement in the 19<sup>th</sup> century, some geotopes were protected in Bavaria. Today the Bavarian Geological Survey is responsible for establishing a reliable base for statewide geotope protection.

For that reason an inventory and evaluation of the most important geotopes started in 1985. The major part of the data collected so far are outcrops, landforms and geohistorical sites. A registration of springs and caves, and of the geosites within the Bavarian alpine region only partly could be carried out. Few test areas were already covered by an area-wide inventory to obtain complete information about important outcrops and landforms. However, for most parts of Bavaria this time consuming task has to be carried out in the future.

The data collected so far are entered and processed in the digital Geotopkataster Bayern. In addition to alphanumeric data, also photos and maps are stored. For the entry to the database specific menus and a geographical information system are used. Data evaluation, search and output follow standardized procedures.

The results serve as a base for special comments to spatial related licensing procedures. Furthermore, the Geological Survey assists the Nature Conservation Authorities in current legal procedures and initiates the conservation of selected geotopes. In case of colliding interests, all the geoscientific alternatives available are evaluated in order to work out compromises. The legal protection of geotopes, which is the duty of the Nature Conservation Authorities, will be proposed only for those geotopes, which are of considerable interest for scientific research or for the public.

## Inhalt

1. Historische Entwicklung .....	267
1.1. Bedeutung erdgeschichtlicher Bildungen .....	267
1.2. Erste Unterschutzstellungen .....	267
1.3. Sinn und Zweck des Geotopsschutzes .....	268
2. Aufbau des modernen Geotopkatasters Bayern .....	269
2.1. Anlaß .....	269
2.2. Erfassung von Geotopen in Bayern .....	269
2.3. Aufnahmekriterien für den Geotopkataster Bayern .....	270
3. Der digitale Geotopkataster Bayern .....	272
3.1. Aufbau der Datenbank .....	272
3.1.1. Daten .....	272
3.1.2. Fotos .....	273
3.1.3. Karten .....	273
3.2. Möglichkeiten zur Eingabe, Recherche und Visualisierung der Daten .....	274
3.2.1. Ermittlung und Eingabe von Daten .....	274
3.2.2. Visualisierung mit Textverarbeitung .....	274
3.2.3. Recherche und Visualisierung im GIS .....	274
3.3. Bewertung von Geotopen .....	278
4. Stand der Geotoperfassung in Bayern .....	278
5. Umsetzung der Ergebnisse .....	281
5.1. Handlungsbedarf aufgrund der Bewertung .....	281
5.2. Praktische Umsetzung der Ergebnisse .....	281
6. Literatur .....	282

## 1. Historische Entwicklung

### 1.1. Bedeutung erdgeschichtlicher Bildungen

Seit jeher hat sich der Mensch intensiv mit der Erde beschäftigt. Dokumente aus prähistorischer Zeit belegen bereits seine Versuche, die Geheimnisse der Erde zu lüften und ihre Schätze nutzbar zu machen. Neben der Erforschung der Erdoberfläche waren es vor allem mineralische Bodenschätze, die das Interesse des Menschen auf sich zogen; denn ihre Gewinnung und Verarbeitung bedeuteten Wissen, Fortschritt, Wohlstand und Macht. Daneben faszinierten ihn aber auch einzelne Bildungen der unbelebten Natur. Ihre Schönheit oder Eigenart, nicht selten aber ihre besonders markante Form führte dazu, daß sie für Kultzwecke verwendet oder mit dunklen Mächten in Verbindung gebracht wurden. Viele einschlägige Eigennamen belegen dies noch heute.

In der Zeit der Romantik erwachte das Interesse an der Natur als schutzwürdiges Gut. Zunächst zogen vor allem einzelne Bäume und ganz besonders markante Landschaftsformen die Aufmerksamkeit auf sich. Waren früher hauptsächlich mystische Gründe für eine besonders sorgfältige Behandlung einzelner geowissenschaftlicher Objekte verantwortlich, so traten nun landschaftsästhetische und wissenschaftliche Kriterien hinzu, die Schutzmaßnahmen für derartige Bildungen rechtfertigten. Bereits 1792 berauschte sich MATHIAS FLURL in seiner „Beschreibung der Gebürge Baierns und der oberen Pfalz“ an der „nackten, prächtigen Felswand des Pfahls“ und am „prächtigen Anblick des Rauhen Kulm“, der „eine Landschaftszeichnung liefern würde, die wenige ihresgleichen hätte“ (FLURL 1792). Gleichzeitig bedauerte er die fast gänzliche Zerstörung „jener prächtigen Felsengruppe“ des Parksteins durch Gesteinsabbau, die „dem Auge des Naturforschers ein wunderbar bezauberndes Bild darstellte“.

Mit der rasanten Entwicklung der Geowissenschaften seit dem 18. Jahrhundert gewannen Bildungen der Erdgeschichte in zunehmendem Maße an Bedeutung. Der ideelle Wert von Gesteinen und Mineralien, aber auch von herausragenden Landschaftsformen als Dokumente für die Entstehung und Veränderung des Planeten Erde wurden erkannt. Fossilien schließlich lieferten den Schlüssel zum Nachweis der ersten Lebensformen und ihrer Fortentwicklung auf der Erde. Dadurch erhielten ihre Fundstellen für die Wissenschaft unschätzbaren Wert.

### 1.2. Erste Unterschutzstellungen

Schutzbemühungen für besondere erdgeschichtliche Bildungen hatten in Deutschland zu Beginn des 19. Jahrhunderts erstmals Erfolg. Im Jahr 1836 veranlaßte der preußische König FRIEDRICH WILHELM III. die „Conservation“ des Drachenfelskegels im Siebengebirge bei Bonn „vermittels Expropriation“ (BURGHARD 1979). Damit war weltweit wohl der erste Geotop amtlich unter Schutz gestellt worden (GRUBE & WIEDENBEIN 1992).

In der Folgezeit kam es zu weiteren Unterschutzstellungen für besonders markante Landschaftselemente in Deutschland, aber auch in anderen Ländern. Bereits 1840 verfügte König LUDWIG I. von Bayern die Erhaltung der Weltenburger Enge bei Kehlheim an der Donau, um sie vor einer Zerstörung durch Steinbruchbetriebe zu schützen (ZIELONKOWSKI 1989). Nur kurz darauf wurden mit dem Yosemite Valley in Californien und dem Yellowstone Park in Wyoming die ersten, heute zu den berühmtesten Nationalparks Nordamerikas zählenden Schutzgebiete festgelegt.

Auch die Bedeutung von weniger landschaftsprägenden, jedoch merkwürdigen erdgeschichtlichen Einzelbildungen wurde bereits erkannt. Wegen ihrer Eigenart und Fremdartigkeit wurden manche von ihnen als Schlüssel zur Ergründung des Unerforschten oder bisher Unerklärlichen angesehen. Vor diesem Hintergrund ist eine Initiative der kgl. Akademie der Wissenschaften zu sehen, die in einer Anordnung aus dem Jahr 1857 an die kgl. Forstbehörden resultierte, über „Vorkommen von sogenannten erratischen Blöcken, die bei der Untersuchung des Landes vorzügliche Beachtung verdienen“ (RINGLER 1998), geeignete Notizen zu sammeln.

Mit dieser Anordnung war in Bayern der erste Versuch gemacht worden, eine systematische Inventarisierung zumindest eines Geototypes durchzuführen. Das Ergebnis dieser Bemühungen ist nicht bekannt. In den folgenden Jahrzehnten kam es mit der Verbreitung des Naturschutzgedankens in Deutschland zu einer Intensivierung der Schutzmaßnahmen. Neben Pflanzen und Tieren galt anfänglich das Interesse vor allem Bildungen der unbelebten Natur. Ein allgemeiner Fragebogen zur Naturdenkmalpflege wurde 1908 von der staatlichen Stelle für Naturdenkmalpflege in Preußen zusammengestellt und zum Zwecke einer Inventarisierung geeigneter Objekte verbreitet (CONWENTZ 1908). Er enthält eine ausführliche Auflistung verschiedener Geototypen, die den damaligen hohen Stellenwert des Geotopschutzes belegt. Im Lauf der folgenden Jahre verlagerte sich jedoch das Gewicht der erfolgreichen Untersetzungen immer mehr auf Objekte der belebten Natur.

Wegen des Fehlens geeigneter Rechtsvorschriften erfolgten die ersten Erhaltungsmaßnahmen meist durch käuflichen Erwerb der Schutzobjekte. In Bayern wurden vor allem durch Privatinitiativen vorwiegend Pflanzenschongebiete, aber auch einzelne Geotope gesichert (VOLLMANN 1916). Diese Aktivitäten brachten es mit sich, daß seit der Jahrhundertwende auch das rechtliche Instrumentarium verbessert wurde, so beispielsweise durch Prinzregent LUITPOLD im Jahre 1908 durch Ergänzungen des Polizeistrafgesetzbuches von 1871: die Verunzierungen der Landschaft, aber auch widerrechtliche Ausgrabungen wurden unter Strafe gestellt (KÖNIGLICHES STAATSMINISTERIUM DES INNEREN 1908). Ab 1935 stand schließlich mit dem Reichsnaturschutzgesetz eine weitreichende rechtliche Grundlage auch für den Geotopschutz zur Verfügung. Sie führte in der Folge zu einer Vielzahl von Ausweisungen von Naturdenkmälern mit überwiegend biologischem Schutzzweck; geowissenschaftliche Objekte blieben bis heute bei weitem in der Minderzahl (RUDOLPH 1975).

### 1.3. Sinn und Zweck des Geotopschutzes

Die Erkenntnis, daß Geotope einmalige Dokumente der Erdgeschichte und damit Schlüsselstellen zur Erforschung der Bildung und Weiterentwicklung des Planeten Erde, aber auch des Universums sind, ist unbestritten. Ebenso ist klar, daß für grundlegende Untersuchungen über die Entstehung und Fortentwicklung des Lebens auf der Erde vor allem die Relikte des früheren Lebens, die Fossilien, herangezogen werden müssen. Daher sind die Stellen, an denen derartige Erkenntnisse gewonnen werden können, von ganz besonderem Interesse für die Allgemeinheit und besitzen für die Wissenschaft eine außerordentliche Bedeutung. Darüber hinaus sind sie für Zwecke der Volksbildung, aber auch für die Freizeitgestaltung von besonderem Wert.

Die Zerstörung eines Geotopes bedeutet meist die Vernichtung eines unwiderbringlichen Dokumentes: Ein Fenster der Erdgeschichte wird für immer geschlossen. Sofern ein geeignetes Vergleichsobjekt nicht bekannt ist, kann die gemachte Beobachtung oder Messung nicht mehr



reproduziert werden. Wenn zudem durch an anderer Stelle gewonnene Erkenntnisse Zweifel an der ursprünglichen Aussage aufkommen, ist eine eindeutige Klärung des Sachverhaltes nicht mehr möglich.

Es ist daher heute mehr denn je ein Grundanliegen aller naturwissenschaftlich Interessierten, die Stellen, an denen wichtige Erkenntnisse über die Erde, ihre Entstehung, ihren Bau und ihre Entwicklung gewonnen werden können, auf Dauer möglichst unversehrt zu erhalten. Sie stehen damit für spätere Untersuchungen mit neuen Fragestellungen oder modernen Methoden, aber auch für Lehr- oder Demonstrationszwecke zur Verfügung.

In der heutigen Zeit mit immer enger werdenden Freiräumen und vielfachen, oft konkurrierenden Nutzungsansprüchen an den Raum ist jedoch eine Unterschutzstellung aller bekannten Geotope nicht praktikabel. Vielmehr muß aus der Vielzahl von Geotopen eine Auswahl der wichtigsten Objekte getroffen werden; ihr geowissenschaftlicher Aussagewert muß so hoch sein, daß er im Zweifelsfall höher als andere Nutzungsansprüche einzustufen ist.

Eine fundierte Aussage, wie bedeutend ein Geotop ist, kann nur in den seltensten Fällen direkt am jeweiligen Objekt entschieden werden. In der Regel ist ein fachlicher Vergleich mit anderen, bekannten Geotopen erforderlich. Dieser Vergleich kann jedoch nur dann ein sinnvolles Resultat ergeben, wenn die meisten der in Frage kommenden bedeutenden Objekte bekannt, ausreichend dokumentiert und ihre Daten für den erforderlichen Abwägungsprozess verwendbar sind.

Für die Bedeutung eines Objektes im Sinne des Geotopschutzes kommt es dabei nur auf Merkmale der unbelebten Natur an, denn Geotope sind klassische Objekte der Naturdenkmalpflege (CONWENTZ 1904), nicht aber der Biotop- und Landschaftspflege von heute (RINGLER 1998). Der Informationsgehalt von Geotopen liegt also hauptsächlich auf orographischem, petrographisch-stratigraphischem, tektonischem oder paläontologischem Gebiet (RINGLER 1995).

## **2. Aufbau des modernen Geotopkatasters Bayern**

### **2.1. Anlaß**

Aus der Erkenntnis, daß die bisherige Unterschutzstellungspraxis von Geotopen in Bayern den von Seiten der Geowissenschaften gestellten Anforderungen nicht genügt (FREYBERG 1951; KAVASCH & GREINER 1969), hat das Bayerische Geologische Landesamt (GLA) im Jahr 1985 damit begonnen, eine landesweite Inventarisierung wichtiger Geotope durchzuführen. Es schloß damit an ähnliche Initiativen in anderen Bundesländern wie beispielsweise Niedersachsen, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein oder Baden-Württemberg an. Ziel dieser Initiative war die Schaffung eines modernen Instrumentes für einen breit angelegten und fachlich ausgewogenen Geotopschutz in Bayern.

### **2.2. Erfassung von Geotopen in Bayern**

In einer Pilotphase wurde zunächst der Regierungsbezirk Oberbayern bearbeitet. Sie diente der Entwicklung der Arbeitsmethodik zur Objektauswahl, Inventarisierung und fachspezifischen Bewertung (LAGALLY et al. 1993). Anschließend erfolgte bis 1994 in den übrigen

Regierungsbezirken Bayerns die Übersichtserfassung. Nach Sichtung des Datenbestandes, vorläufigen Auswertungen und ersten Maßnahmen zur Umsetzung der Ergebnisse stellte sich heraus, daß eine länderübergreifende Vereinheitlichung der Aufnahme- und Bewertungskriterien dringend erforderlich wäre. Mit der „Arbeitsanleitung zum Geotopschutz in Deutschland“ (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOTOPSCHUTZ 1996) wurde ein unter der Federführung des Bayerischen Geologischen Landesamtes erarbeiteter Leitfaden vorgelegt, der dem Geotopschutz in Deutschland eine einheitliche fachliche Grundlage und damit über Ländergrenzen hinweg vergleichbare Resultate liefern soll. Dieser enthält auch die wesentlichsten Definitionen:

- Geotope sind demnach erdgeschichtliche Bildungen der unbelebten Natur, die Erkenntnisse über die Entwicklung der Erde und des Lebens vermitteln. Sie umfassen Aufschlüsse von Gesteinen, Böden, Mineralien und Fossilien sowie einzelne Naturschöpfungen und natürliche Landschaftsteile.
- Schutzwürdig sind diejenigen Geotope, die sich durch ihre besondere erdgeschichtliche Bedeutung, Seltenheit, Eigenart oder Schönheit auszeichnen. Für Wissenschaft, Forschung und Lehre sowie für Natur- und Heimatkunde sind sie Dokumente von besonderem Wert. Sie können insbesondere dann, wenn sie gefährdet sind und vergleichbare Geotope zum Ausgleich nicht zur Verfügung stehen, eines rechtlichen Schutzes bedürfen.

Auf der Basis des gesammelten Datenmaterials, einer fachlichen Abstimmung mit den Naturschutzbehörden und der Arbeitsanleitung erfolgte die weitere Detailarbeit im Gelände. Dabei wurden vor allem zusätzliche Daten von Objekten in bereits existierenden Schutzgebieten erhoben. Der Datenbestand des Geotopkatasters Bayern umfaßt derzeit ca. 3400 Einzelobjekte. Für beinahe 2400 Geotope sind vollständige Datensätze aus der Detailerfassung zusammengestellt. Von fast 1000 weiteren Objekten (insbesondere Höhlen) liegen Informationen vor, die allerdings bislang nicht für eine Detailerfassung und -bewertung ausreichen.

Diese Bestandsaufnahme und die darauf aufsetzende Auswertung bilden heute die fachliche Grundlage für einen umfassenden und ausgewogenen Schutz erdgeschichtlicher Bildungen in Bayern. Die Arbeitsergebnisse gehen in die Arbeit der Naturschutzbehörden, die für den rechtlichen Vollzug des Geotopschutzes zuständig sind, ein.

### 2.3. Aufnahmekriterien für den Geotopkataster Bayern

Die sehr allgemein gehaltene Definition für „Geotop“ (s. oben) bewirkt, daß nahezu unendlich viele Teile der unbelebten Natur als Geotope bezeichnet werden können. Um überhaupt eine grobe Übersicht über die wichtigsten Geotope zu gewinnen, muß folglich eine strenge Vorauswahl getroffen werden. In den Datenbestand des GLA wurden daher nur jene Objekte aufgenommen, die mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllten:

- Die charakteristischen Eigenschaften des jeweiligen Objekttyps sind an dem Objekt besonders typisch ausgeprägt.
- Das Objekt beinhaltet ein besonderes Gestein oder befindet sich in einer außergewöhnlichen geologischen oder landschaftlichen Position.
- Es handelt sich um einen besonders „großen“ Vertreter des Objekttyps (Findling mit großem Volumen, Quelle mit großer Schüttung usw.).
- Es handelt sich um einen seltenen Vertreter des jeweiligen Objekttyps (z. B.: die tonigen

Gesteine des Lias Epsilon sind an sich weit verbreitet, dauerhafte Aufschlüsse des Gesteins sind jedoch eine Seltenheit).

- Das Objekt ist in der Fachliteratur beschrieben und zumindest teilweise erhalten (viele „klassische“ Lokalitäten, die in der Literatur des letzten Jahrhunderts beschrieben wurden, sind mittlerweile vollkommen verschwunden).

In der Aufbauphase des Geotopkatasters Bayern wurden auch alle jene geowissenschaftlichen Objekte aufgenommen, die bereits einen Schutzstatus nach dem bayerischen Naturschutzgesetz aufwiesen. Dies erschien zunächst sinnvoll, um einen Überblick über die bereits geschützten Geotope zu erhalten. Die Praxis hat jedoch gezeigt, daß eine Vielzahl der geschützten Objekte nicht aus geowissenschaftlichen Gründen, sondern aus ökologischer oder landschaftspflegerischer Sicht schutzwürdig ist. So wurden z. B. früher im Landkreis Eichstätt über 60 Dolinen als Naturdenkmäler ausgewiesen, um diese vor einer Verfüllung zu bewahren; die Ausweisung von 300 weiteren ist geplant. Die geowissenschaftliche Aussagekraft dieser Objekte ist im allgemein jedoch gering. Eine Inventarisierung dieser Objekte und die Verwaltung der Daten würde jedoch einen erheblichen, fachlich nicht gerechtfertigten Aufwand verursachen.

Im allgemeinen werden Geotope nur dann in den Datenbestand aufgenommen, wenn sie eine Fläche von höchstens einigen Hektar umfassen, obwohl definitionsgemäß natürlich auch größere Objekte wie z. B. der Pfahl oder das Ries als Geotop zu bezeichnen sind. Die Aufnahme derart großflächiger Objekte ist jedoch nur in besonderen Einzelfällen sinnvoll, da hier ohnehin keine pauschalen Schutzmaßnahmen möglich wären. Erfolgversprechender im Sinne eines wirkungsvollen Schutzes ist es, die wichtigsten Aufschlüsse und Oberflächenformen innerhalb dieser Großgeotope aufzunehmen und auf deren Erhaltung hinzuwirken.

Die Hinweise auf potentiell schutzwürdige Geotope stammen aus Geländebefahrungen, aus der Literatur oder von Personen oder Institutionen. Die entscheidende Frage bei der Aufnahme von Geotopen in den Geotopkataster Bayern lautet: „Welche Objekte sind geowissenschaftlich so bedeutend, daß sie einer staatlichen Fürsorge bedürfen?“ Sie muß für jedes in Frage kommende Objekte separat beantwortet werden.

Zahlreiche Aufschlüsse sind in der geowissenschaftlichen Literatur und in Exkursionsführern beschrieben. Diese Aufschlüsse sind demnach von besonderem Wert für Wissenschaft, Forschung und Lehre und erfüllen somit die Voraussetzungen eines schutzwürdigen Geotopes. Ein derartiges Objekt wird aufgenommen, wenn nicht eine große Zahl von anderen Objekten den selben geowissenschaftlichen Sachverhalt genauso gut oder besser dokumentieren und wenn eine Geländebefahrung ergibt, daß das Objekt von seinem Erhaltungszustand her eine Aufnahme rechtfertigt. Die erste Bedingung soll verhindern, daß der Geotopkataster mit einer Vielzahl von beinahe identischen Objekten überfrachtet wird. Die zweite Bedingung bewirkt, daß historische Aufschlüsse, die aber (teilweise schon seit Jahrzehnten) völlig zerstört sind, in den Datenbestand gelangen. Wird ein Aufschluß zur Aufnahme vorgeschlagen, der bisher nicht in der geowissenschaftlichen Literatur beschrieben ist, so ist zu prüfen, ob es nicht vergleichbare Objekte gibt, die bereits im Geotopkataster Bayern enthalten sind. Ist dies nicht der Fall, so wird auch hier im Gelände entschieden, ob sich das Objekt in einem ausreichend guten Zustand befindet.

Neben Aufschlüssen sind Formen der Erdoberfläche wichtige Zeugnisse der Erd- und Landschaftsgeschichte. Die Auswahl der Oberflächenformen für den Geotopkataster Bayern ist besonders schwierig, da manche Formen sehr häufig, stellenweise sogar landschaftsprägend

vorkommen wie z. B. die Dolinen in der Fränkischen Alb oder die Wallmoränen im Voralpenland. Natürlich hat jedes Einzelobjekt für sich genommen eine gewisse Aussagekraft, genauso wie jeder Aufschluß zumindest erkennen läßt, welches Gestein an dieser Stelle ansteht. Es ist aber aus der Sicht des Geotopschutzes weder sinnvoll noch erforderlich, alle Oberflächenformen Bayerns zu erhalten. Denn der Geotopkataster Bayern verfolgt nicht den landschaftspflegerischen Ansatz, die verschiedenen Landschaften möglichst vollständig zu erhalten und die jeweils charakteristischen Formen zu betonen (RINGLER 1998). Vielmehr soll der Schutz der bedeutendsten Einzelformen gefördert werden, deren Verlust für die gesamte Öffentlichkeit einen erheblichen Schaden bedeuten würde.

### **3. Der digitale Geotopkataster Bayern**

#### **3.1. Aufbau der Datenbank**

Die große Zahl und Vielfalt von Geotopen in Bayern macht es nahezu unmöglich, einen Überblick über den Datenbestand zu behalten. Daher wurde beim Aufbau des Geotopkatasters Bayern bereits früh damit begonnen, Informationen über die bayerischen Geotope digital zu speichern. Auf diese Weise können die Daten schnell und effektiv nach unterschiedlichen Kriterien sortiert und recherchiert werden. Die Geotopdaten sind gemeinsam mit anderen geowissenschaftlichen Daten in der zentralen Datenbank (ZDB) des Bayerischen Geologischen Landesamts gespeichert.

##### **3.1.1. Daten**

Der zentrale Teil des Geotopkatasters Bayern ist eine Tabelle, die in beinahe 100 Spalten zu jedem erfaßten Geotop alle wesentlichen Informationen enthält. Diese einfache Datenstruktur hat sich bewährt, da eine Tabelle vergleichsweise unproblematisch in neue Softwareprodukte und Betriebssysteme übernommen werden kann.

Die Tabelle enthält zu jedem Objekt neben der Bezeichnung und einer Nummer genaue Informationen zur Lage (Koordinaten, Zugehörigkeit zu Verwaltungseinheiten, Lage auf Kartenblättern usw.). Großer Wert wird auf die beschreibenden und klassifizierenden Merkmale gelegt: Geotoptyp, Gesteine, Petrographie, Größe, Zustand, Nutzung und Erreichbarkeit des Objekts. Der Schutzstatus und ggf. die Art der Gefährdung des Objekts sind wichtige Informationen für die Festlegung eines möglichen Handlungsbedarfes. Eine Literaturliste und die Namen der Bearbeiter ermöglichen es, nötigenfalls gezielt zusätzliche Informationen einzuholen. Die Tabelle enthält auch die Speicherpfade zu den jeweiligen digitalen Fotos und Kartenausschnitten, die auf diese Weise schnell einen optischen Eindruck vom Zustand und der Lage des Geotops vermitteln. Die Bewertungskriterien geben in ihrer Summe den geowissenschaftlichen Wert des Objekts wider und ermöglichen so einen objektiven Vergleich der betrachteten Geotope.

Diese Informationen ermöglichen im allgemeinen auch demjenigen, der ein Objekt nicht aus eigener Anschauung kennt, sich einen klaren Eindruck von der Beschaffenheit und der Bedeutung eines Geotops zu verschaffen. Bei der großen Zahl von Anfragen, die den Geotopkataster Bayern mittlerweile erreichen, ist dies absolut unerlässlich.

Neben der zentralen Tabelle mit den Daten der Geotope bestehen mehrere zusätzliche Tabellen (Schlüssellisten), welche die möglichen Einträge in einzelne Felder der Haupttabelle enthalten. Schlüssellisten existieren beispielsweise zu den Feldern „Geototyp“, „Geologie“ und „Petrographie“. Durch die Verwendung dieser Schlüssellisten wird vermieden, daß die jeweiligen Felder mit einer unüberblickbaren Anzahl von unterschiedlichen Einträgen belegt werden. Die Begrenzung auf bestimmte mögliche Einträge ist nötig, um deren Vergleichbarkeit und Recherchierbarkeit zu gewährleisten.

Ähnlich den Schlüssellisten sind der zentralen Tabelle mehrere Flächendatenbanken mit den möglichen Einträgen für räumliche Informationen hinterlegt. Die wichtigsten hiervon geben die Lage sowie die Namen und Kennziffern der bayerischen Planungsregionen, Landkreise und Gemeinden wieder. Andere Flächendatenbanken enthalten die Lagedaten und Bezeichnungen von TK-25-Blättern, Flurkarten, Naturräumen sowie von Natur- und Landschaftsschutzgebieten.

### 3.1.2. Fotos

Ein Foto vermittelt dem Betrachter meist einen klareren und schnelleren Eindruck von der Art und Beschaffenheit eines Objekts als jede Beschreibung. Mit den heute gebräuchlichen Rechenanlagen ist es möglich, auch Bilder schnell und in ausreichender Qualität darzustellen. Es erschien daher sinnvoll, zu jedem Objekt mindestens ein Foto in digitaler Form zur Verfügung zu stellen. Dazu wurden die vorhandenen Bildabzüge oder Diapositive gescannt und unter der jeweiligen Geotopnummer als Rasterbild abgespeichert. Sofern von einem Objekt mehrere aussagekräftige Bilder vorlagen, wurden die Dateinamen zusätzlich mit einem Index (a, b, c ...) versehen. Die Datenbank enthält zu jedem Objekt einen Eintrag mit dem Speicherpfad zu der jeweiligen Bilddatei.

Für schnelle Recherchen oder Überblicksdarstellungen am PC hat es sich bewährt, die Bilder in einer geringen Auflösung ständig auf Festplatte bereitzuhalten. Auch eine geringe Bildauflösung, die geringen Speicher- und Rechenzeitbedarf erfordert, genügt noch zur Vermittlung eines ersten optischen Eindrucks. Zur dauerhaften Archivierung wurden die Fotos mit möglichst hoher Auflösung digitalisiert und auf CD-ROM gespeichert.

### 3.1.3. Karten

Neben einem optischen Eindruck des Objektes wird meist ein Überblick über die Lage des Geotops und über die umgebende geologische Situation benötigt. Zu diesem Zweck werden zusätzlich zu digitalisierten Bildern zu jedem Geotop auch digitalisierte Ausschnitte einer topographischen und einer geologischen Karte bereitgestellt. Dazu wird ein  $7 \times 7$  cm großer Ausschnitt der Topographischen Karte 1:25 000 verwendet, der die exakte Lokalisierung des Objekts im Gelände ermöglicht; zusätzlich wird ein ebenso großer Ausschnitt der Geologischen Karte von Bayern 1:500 000 bereitgestellt, der sowohl einen geologischen als auch einen geographischen Überblick gibt. Mit Hilfe von digitalen Karten, die mittlerweile bayernweit vorliegen, können die Kartenausschnitte anhand der Lagekoordinaten mittels GIS (s. unten) auf rein digitalem Weg erzeugt werden. Die Kartenausschnitte werden analog zu den digitalisierten Fotos als Rasterdaten unter der jeweiligen Geotopnummer abgespeichert.

### **3.2. Möglichkeiten zur Eingabe, Recherche und Visualisierung der Daten**

Die zentrale Tabelle des Geotopkatasters Bayern kann aufgrund ihrer einfachen Datenstruktur mit verschiedenen Datenbank- und Tabellenkalkulationsprogrammen geöffnet und bearbeitet werden. Auf diese Weise sind einfache Abfragen und Korrekturen möglich, insbesondere aber auch die statistische Auswertung der Daten und die Erzeugung von Diagrammen.

#### **3.2.1. Ermittlung und Eingabe von Daten**

Die Ermittlung der raumbezogenen Daten war früher eine zeitraubende und fehlerträchtige Aufgabe. Lagekoordinaten sowie Planungsregion, Landkreis, Gemeinde, Flurkartennummer und Naturraum eines jeden Objekts wurden aus Karten abgelesen und von Hand in die Datenbank eingetragen. Heute genügt es, den Geotop in einem geographischen Informationssystem (ArcView) auf einer georeferenzierten digitalen Karte auszuwählen. Mit Hilfe eines Unterprogrammes werden dann durch Verschneidung die oben genannten, in unterschiedlichen Ebenen gespeicherten Informationen ermittelt und direkt in die entsprechenden Felder der Datenbank eingetragen (Abb. 1). Zusätzlich werden automatisch die zutreffenden Kartenausschnitte mit dem jeweiligen Objekt abgespeichert. Die Umgrenzung des Geotops kann auf Grundlage der unterlegten Karte digitalisiert werden, wobei auch der Flächeninhalt des Objektes ermittelt und abgespeichert wird.

Das Ausfüllen der nicht raumbezogenen Datenfelder erfolgt mit Hilfe von Eingabemasken entweder in einem Datenbankprogramm oder ebenfalls im GIS. Dabei müssen nur relativ wenige Felder (wie z. B. „Beschreibung“) von Hand ausgefüllt werden. Den meisten Feldern sind die oben erwähnten Schlüssellisten hinterlegt, aus denen der gewünschte Eintrag nur ausgewählt werden muß. Auf diese Weise werden die Eingabe beschleunigt, Schreibfehler vermieden und die Vergleichbarkeit und Recherchierbarkeit der Datenbankeinträge gewährleistet.

#### **3.2.2. Visualisierung mit Textverarbeitung**

Die Visualisierung einzelner Datensätze zusammen mit Bildern und Kartenausschnitten ist in Datenbankprogrammen nicht ohne weiteres möglich. Es wurde daher auf die Möglichkeiten von Textverarbeitungsprogrammen zurückgegriffen. Auf DIN-A4-Musterformularen werden in übersichtlicher Weise die Feldeinträge eines Objekts wiedergeben. Daneben werden auf der selben DIN-A4-Seite auch die topographischen und geologischen Kartenausschnitte und das Objektfoto dargestellt. So erhält der Sachbearbeiter einen schnellen und gut gegliederten Überblick über den Geotop. Das komplette Datenblatt kann ausgedruckt werden.

#### **3.2.3. Recherche und Visualisierung im GIS**

Seit einigen Jahren stehen leistungsfähige geographische Informationssysteme (GIS) auch auf PC-Ebene zur Verfügung. Jeder Datensatz des Geotopkatasters Bayern wird im GIS mit seiner räumlichen Lage kombiniert, so daß die verschiedenen Informationen aus einem Gebiet miteinander in Beziehung gesetzt werden können.

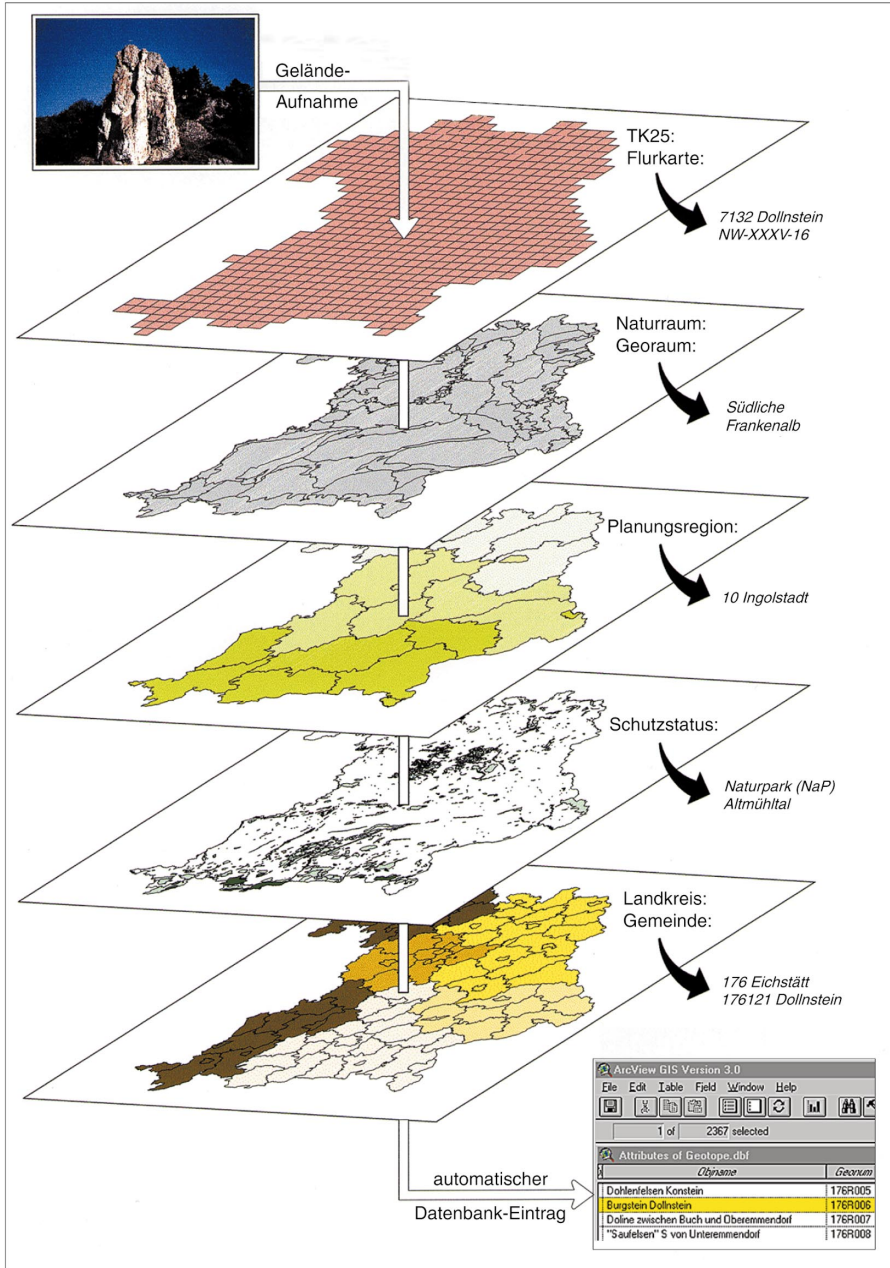


Abb. 1. Schema der Ermittlung von raumbezogenen Daten durch Verschneidung unterschiedlicher Ebenen im geographischen Informationssystem ArcView.

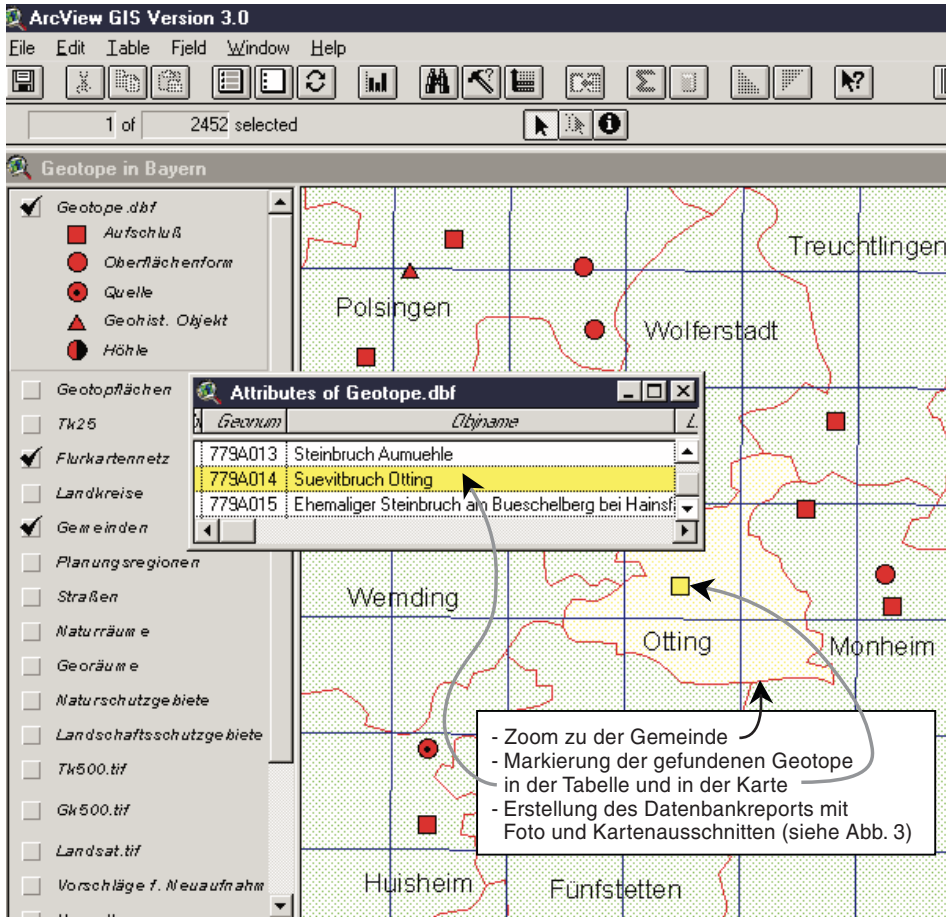


Abb. 2. Beispiel für die raumbezogene Recherche im geographischen Informationssystem: Suche nach Geotopen in der Gemeinde Otting.

Die wichtigste Anwendung des GIS ist die raumbezogene Recherche und die Visualisierung des Rechercheergebnisses. Die häufigste Fragestellung lautet: Welche Geotope befinden sich auf dem Gebiet einer bestimmten Gemeinde bzw. Trasse? Mit Hilfe von hierfür erstellten Unterprogrammen können die Geotope in einem Landkreis, in einer Gemeinde oder auf einem Kartenblatt markiert und in ihrer Lage dargestellt werden (Abb. 2, 3). Darüberhinaus können auf einfache Weise weitere Informationen und Bilder zu den markierten Objekten abgerufen werden. Ebenso ist es möglich, geologische oder topographische Karten in beliebigen Maßstäben zu hinterlegen oder Gemeindegrenzen, Flurkartennetze und dergleichen einzublenden. Analog zu den Textverarbeitungsprogrammen ist es im GIS möglich, die Datenbankeinträge zusammen mit Foto und Kartenausschnitten auf einer DIN-A4-Seite darzustellen. Das GIS beinhaltet darüberhinaus eine Datenbank-Funktionalität; damit können beliebige Recherchen durchgeführt werden (z. B. suche alle Wollsackbildungen im Granit, die als Naturdenkmal ausgewiesen sind). Die gefundenen Geotope werden markiert und wiederum auf einfache Weise visualisiert.





**GEOTOPKATASTER BAYERN**



**Suevitbruch Otting**

**Geotop-Nummer: 779A014 (ID: 7130AG0008)**

Biotopt-Nr.: X7130-33  
 Gemeinde: OTTING  
 Landkreis/Stadt: Donau-Ries  
 Bezirk, Region: Schwaben, Augsburg  
 TK25, Flurkarte: 7130 Wemding, NW.036.25  
 Koordinaten: R: 4411700, H: 5416050  
 Geländehöhe: 500 m ü.NN  
 Naturraum: Südliche Frankenalb  
 Geol. Raumeinheit: Nördlinger Ries

**Kurzbeschreibung:**

In dem zeitweise noch im Abbau befindlichen Bruchgelände ist stark beanspruchtes Impaktgestein aufgeschlossen. Der glasreiche ("Flädle") Suevit enthält hier hauptsächlich Grundgebirgskomponenten. In den geschockten Quarzen treten die Hochdruckmodifikationen Coesit und Stishovit auf. Der Fund dieser Mineralien in Otting durch Shoemaker & Chao (1961) belegte erstmals stichhaltig die meteoritische Entstehung des Rieses.

**Geototyp:** Mineralien, Gesteinsart, Auswurfmaterial (Impakt)

**Zustand/Nutzung:** zur Rohstoffgewinnung genutzt,

**Geologie:** Ries-Suevit (Miozän)  
 Ries-Brekzie (Miozän)

**Petrographie:** Suevit, Brekzie  
**Aufschluss-Art:** Steinbruch  
**Erschliessung:** anfahrbar  
**Größe:** L: 250 m, B: 200 m, H: 7 m, F: 50000 qm  
**Schutzstatus:** nicht geschützt

**Eigentümer:** Harburger Zementwerke  
**Referenz:**  
**Erfasser:** Bayer. Geol. Landesamt  
**Bearbeiter:** Lagally, Eichhorn, Glaser (BayGLA)

**Literatur:** Chao, Hüttner & Schmidt-Kaler (1978)  
 Gall, Hüttner & Müller (1977)  
 Schmidt-Kaler, Treibs & Hüttner (1970)

**Bewertung:** (Stand: 31.12.1996)

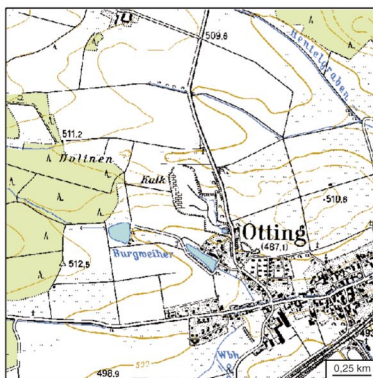
**Allgemeine geowiss. Bed.:** bedeutend (2 - 4 Fachbereiche)  
**Regionalgeologische Bed.:** überregional bedeutend  
**Öffentliche Bedeutung:** wichtiges wissenschaftl. Referenzobjekt  
**Erhaltungszustand:** nicht beeinträchtigt  
**Häufigkeit in der Region:** selten (weniger als 4 gleichartige Geotope)  
**Verbreitung in Regionen:** selten (nur in einer geol. Region)

**Geowissenschaftlicher Wert:** besonders wertvoll  
 (gering wertig, bedeutend, wertvoll, besonders wertvoll)

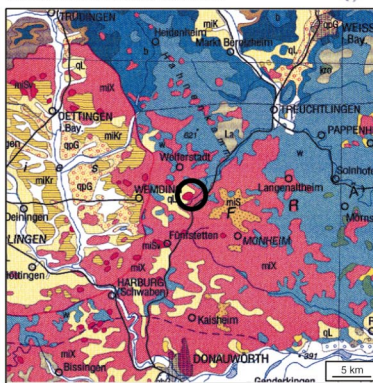
**Handlungsbedarf:** erhaltenswert  
 (keiner, erhaltenswert, schutzwürdig, besonders schutzwürdig)

**Geschützte Vergleichsobjekte:**

keine geschützten Vergleichsobjekte mit gleichem oder höherem Geowissenschaftlichen Wert bekannt



Rasterdaten des Bayerischen Landesvermessungsamtes  
 Wiedergabe mit Genehmigung Nr. 6/94



Datum des Ausdrucks: 29.11.1999

Bayerisches Geologisches Landesamt  
 Heßstraße 128, D-80797 München, Tel.: 089/1213-2600, Fax: 089/1213-2647, email: poststelle@glg.bayern.de

Abb. 3. Beispiel für einen automatisch generierten Datenbankauszug aus dem Geotopkataster Bayern; durch Verknüpfung werden auch Fotos und Kartenausschnitte eingefügt.

### 3.3. Bewertung von Geotopen

Für einen sinnvollen Geotopschutz ist es wichtig, den Wert eines Objekts zu kennen. Hierzu werden für jedes Objekt Wertungskriterien verwendet, die in der „Arbeitsanleitung zum Geotopschutz in Deutschland“ (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOTOPSCHUTZ 1996) festgelegt worden sind. Im Geotopkataster Bayern werden sämtliche Wertungskriterien mit einem Punktesystem hinterlegt, das eine automatisierte und damit objektive Auswertung zur Hervorhebung von besonders wertvollen Geotopen und die Aussonderung von geringwertigen Objekten ermöglicht.

Die Ermittlung des geowissenschaftlichen Wertes eines Geotops erfolgt anhand eines festgelegten Algorithmus (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOTOPSCHUTZ 1996). Zunächst werden die vier Bewertungskriterien „allgemeine geowissenschaftliche Bedeutung“, „regionale geologische Bedeutung“, „öffentliche Bedeutung“ und „Erhaltungszustand“ beschrieben. Zwei weitere Bewertungskriterien werden mit Hilfe eines Programmes auf Grundlage des gesamten Datenbestandes ermittelt: die Häufigkeit gleichartiger Objekte in einer bestimmten geologischen Region und die Verbreitung gleichartige Objekte in anderen geologischen Regionen. Ein Punktesystem ermöglicht es, von den Bewertungskriterien auf den geowissenschaftlichen Wert des Geotopes zu schließen.

Zur Ermittlung möglicherweise erforderlicher Schutzmaßnahmen werden weitere Kriterien herangezogen. Von besonderer Bedeutung ist die Gefährdungssituation des Geotopes. Sofern ein Objekt von hohem geowissenschaftlichem Wert akut gefährdet ist und kein Alternativobjekt zur Verfügung steht, wird in der Regel die Einleitung von Erhaltungs- oder Schutzmaßnahmen geboten sein. Auch die Ermittlung dieses eventuellen Handlungsbedarfes erfolgt über einen Algorithmus, welcher die dem jeweiligen Kriterium zugeordneten Punkte mit einbezieht.

## 4. Stand der Geotoperfassung in Bayern

Der Geotopkataster Bayern des GLA ist die bislang umfangreichste Datensammlung von geowissenschaftlich schutzwürdigen Objekten in Bayern. Der Datenbestand ist das Ergebnis einer in Teilbereichen durch eine detaillierte Nachbearbeitung verfeinerten Übersichtserfassung. In den letzten Jahren wurde in ausgewählten Regionen Bayerns versuchsweise eine flächendeckende Inventarisierung der wichtigen Geotope durchgeführt, die in den bearbeiteten Gebieten zu einer Zunahme der erfaßten Aufschlüsse und Reliefformen auf beinahe das Doppelte führte. Weitgehend zurückgestellt ist bisher die Aufnahme von Geotopen im Alpenraum sowie von Quellen und Höhlen. Durch die noch abzuschließende Detailerfassung und die anstehende flächendeckende Inventarisierung sowie eine Überprüfung bereits erfaßter Geotope, deren Zustand sich im Lauf der Zeit verändert hat, wird der Datenbestand im Geotopkataster Bayern weiter anwachsen. Die folgende Auswertung bezieht sich auf den Datenbestand im Herbst 1999.

Bayernweit sind derzeit in der Datenbank knapp 2400 Geotope im Detail erfaßt. Dazu kommen noch ca. 1000 Höhlen, deren Daten aus Katastern von Höhlenvereinen übernommen worden sind und die bis auf weiteres separat verwaltet werden.

Auf die Landesfläche bezogen trifft im Durchschnitt auf 30 km<sup>2</sup> ein Geotop. Die räumliche Verteilung der Objekte ist allerdings sehr ungleichmäßig. Besonders viele Geotope finden sich in der Fränkischen Alb, in der ostbayerischen Grundgebirgsregion und im Voralpenland.

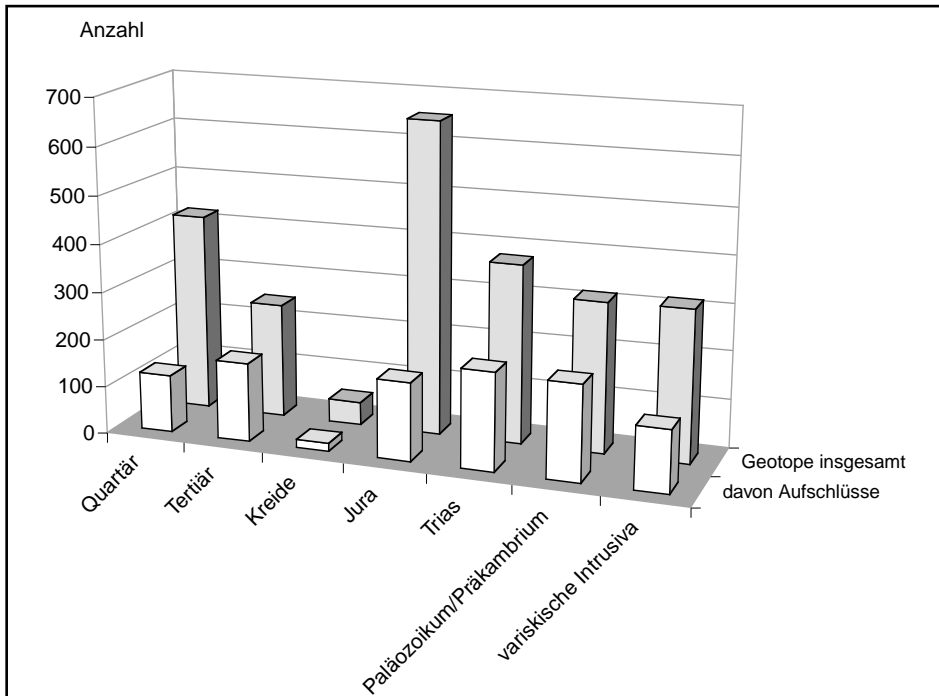


Abb. 4. Die Verteilung der Geotope insgesamt (hinten) und der Aufschlüsse (vorne) auf verschiedene geologische Einheiten Bayerns.

Häufungen von Geotopen zeichnen sich auch entlang von tief eingeschnittenen Flußtälern ab, so z. B. entlang von Lech, Altmühl und Main. Sowohl Aufschlüsse als auch markante Oberflächenformen treten hier naturgemäß häufiger als im Rest des Landes auf. Vergleichsweise wenige Geotope finden sich im Tertiär-Hügelland und im Keuper-Schichtstufenland.

Die Geotope in der Datenbank werden in fünf Grundklassen gegliedert: Aufschlüsse, Formen, Quellen, Höhlen und geohistorische Objekte. Diese unterteilen sich weiter in insgesamt 160 verschiedene, bisher in Bayern beschriebene Geotoptypen. Den größten Teil des Datenbestandes machen Reliefformen (48 %) und Aufschlüsse (42 %) aus. Der Rest entfällt auf geohistorische Objekte (5 %, überwiegend ehemalige Rohstoff-Abbaustellen) und zu etwa gleichen Teilen auf Quellen (v. a. Schicht- und Verengungsquellen) und Höhlen (fast ausschließlich Karsthöhlen). Bei den Formen dominieren fluvial/gravitativ entstandene (42 %) vor den Verwitterungsbildungen (30 %) und den glazialen Formen (18 %). Die restlichen verteilen sich mit abnehmender Häufigkeit auf Karstformen, Seen/Moore, aeolische Formen, Impaktbildungen und vulkanische Formen. Aufschlüsse wurden überwiegend wegen ihrer Gesteinsart (53 %) oder ihrer Schichtfolge (21 %) aufgenommen. Über 8 % sind wichtige Standard- und Referenzprofile oder Typlokalitäten. Bei den restlichen Aufschlüssen handelt es sich vorwiegend um Fossil- und Mineralfundstellen oder um Aufschlüsse von tektonischen oder sedimentären Strukturen.

Geotope dokumentieren in Bayern Gesteine aus allen Erdzeitaltern seit dem Ende des Präkambriums (Abb. 4). Die Verteilung der als Geotop erfaßten Aufschlüsse auf die Erdzeitalter entspricht in etwa den flächenmäßigen Anteilen der jeweiligen Gesteine in Bayern. Beson-

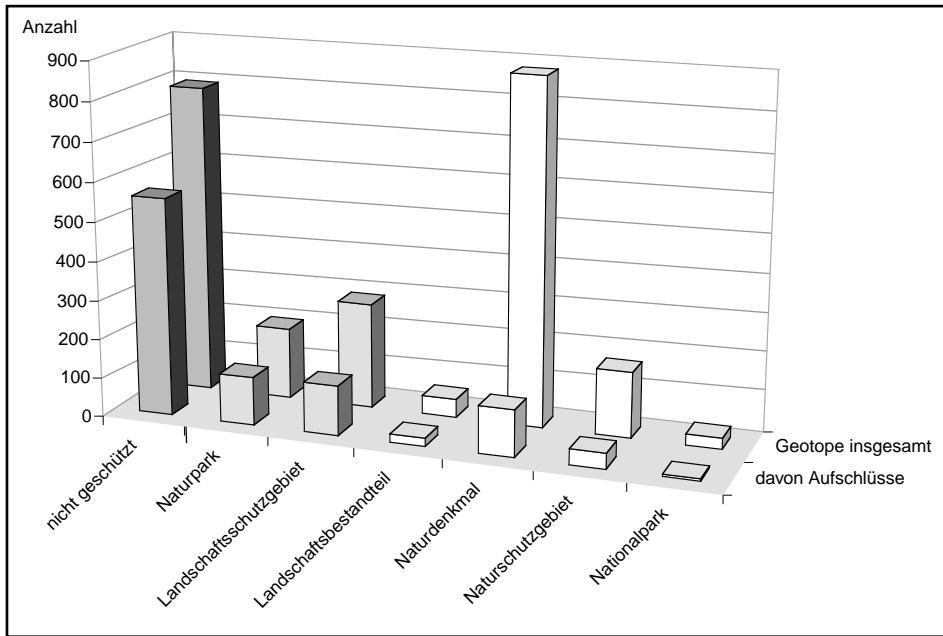


Abb. 5. Der Schutzstatus der erfaßten Geotope.

ders viele markante Reliefformen sind in jurassischen und quartären Gesteinen entstanden. Dies erklärt die auffallend hohe Gesamtzahl von Geotopen aus diesen Perioden. In paläozoischen und tertiären Gesteinen wurden dagegen nur wenige Reliefformen erfaßt; hier stellen dafür die Aufschlüsse den Großteil der Geotope.

Die Mehrzahl der bisher erfaßten Geotope ist bereits nach dem Bayerischen Naturschutzgesetz geschützt (Abb. 5). Nur etwa ein Drittel der Geotope steht bisher nicht unter Schutz. Etwa 48 % sind als Naturdenkmal oder Landschaftsbestandteil ausgewiesen oder liegen in einem Naturschutzgebiet bzw. Nationalpark. Weitere 19 % befinden sich in Landschaftsschutzgebieten oder Naturparks. Der hohe Anteil an bereits geschützten Objekten ist darin begründet, daß es ein Ziel der Erstaufnahme von Geotopen war, alle wesentlichen und bereits unter Schutz stehenden Objekte mit geowissenschaftlichem Inhalt zu erfassen. Beim weiteren Ausbau des Datenbestandes wird der Anteil der geschützten Objekte voraussichtlich abnehmen. Erwähnenswert ist noch, daß etwa 45 % der Geotope gleichzeitig auch kartierte Biotope darstellen (BOTSCH 1995).

Als Naturdenkmal oder geschützter Landschaftsbestandteil ausgewiesene oder in einem Naturschutzgebiet oder Nationalpark liegende Geotope gelten im allgemeinen als ausreichend geschützt. Dies trifft für etwa zwei Drittel der erfaßten Geotope zu. Allerdings sind die verschiedenen Geototypen nicht zu gleichen Anteilen geschützt. Während die Formen zu über 82 % einen ausreichenden Schutzstatus aufweisen, trifft dasselbe nur auf knapp 19 % der Aufschlüsse zu. Diese auffällige Diskrepanz weist klar auf die immer noch vorhandenen Defizite im geowissenschaftlich orientierten Naturschutz hin, denn die Unterschützstellung der Formen ist nur in den wenigsten Fällen aus geologischen, vielmehr aus biologischen oder landschaftsästhetischen Gründen erfolgt.

Um den Wert der Geotope möglichst objektiv zu ermitteln, wird der oben erwähnte Algorithmus verwendet. Die Bewertung des derzeitigen Datenbestandes ergibt, daß aus geowissenschaftlicher Sicht 62 % der in Bayern erfaßten Geotope als wertvoll oder besonders wertvoll einzustufen sind. Von diesen stehen bisher aber nur etwa 41 % unter ausreichendem Schutz nach dem Bayerischen Naturschutzgesetz.

## **5. Umsetzung der Ergebnisse**

### **5.1. Handlungsbedarf aufgrund der Bewertung**

Die Bewertung der Geotope gibt auch wichtige Hinweise auf den Handlungsbedarf zum Schutz der einzelnen Geotope. Die „Arbeitsanleitung zum Geotopschutz in Deutschland“ (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOTOPSCHUTZ 1996) enthält Richtlinien, welche Konsequenzen aus den unterschiedlichen Bewertungsergebnissen abzuleiten sind.

Für die weniger bedeutenden Geotope, die nicht in ihrem Bestand bedroht sind oder für die vergleichbare Ersatzobjekte unter ausreichendem Schutz zur Verfügung stehen, ergibt sich in der Regel kein Handlungsbedarf. Bedeutende und wertvolle Geotope, die in irgendeiner Weise bedroht sind und für die kein Ersatzobjekt zur Verfügung steht, sollen zumindest durch Nachweis in Programmen und Plänen der Raumordnung und Landesplanung gesichert werden.

Besonders wertvolle Geotope sollen, vor allem wenn sie bedroht sind, nach dem Naturschutzgesetz unter Schutz gestellt werden. Hierbei ist darauf zu achten, daß der geowissenschaftliche Schutzzweck durch die Schutzverordnung nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Die Pflege- und Erhaltungsmaßnahmen müssen detailliert festgeschrieben werden, wobei insbesondere ein Betretungsrecht gewährleistet sein sollte.

### **5.2. Praktische Umsetzung der Ergebnisse**

Flächendeckender Geotopschutz kann von staatlicher Seite allein selbst mit großem Aufwand kaum gelingen. Der Staat ist zwar in der Lage, in den dringendsten Fällen beratend und regulierend einzugreifen. Um aber bei Abwägungsprozessen eine entscheidende Rolle spielen können, muß in weiten Teilen der Bevölkerung das Verständnis für die Problematik des Geotopschutzes zunehmen. Es wurde daher von Anfang an als vordringliches Ziel bei der Umsetzung der Ergebnisse des Geotopkataster Bayern angesehen, die Öffentlichkeit mit Publikationen und Ausstellungen auf die Thematik aufmerksam zu machen.

In manchen Fällen kann der Zustand von Geotopen durch einfache Vereinbarungen oder mit Hilfe von Patenschaften verbessert werden. So wurde beispielsweise mehrfach angeregt, daß bestimmte Böschungsabschnitte nicht abgeflacht und bepflanzt werden sollen, um wichtige Aufschlüsse zu erhalten. Im Fall eines Kohleflözes am Bühlach bei Peiting/Obb., welches beim Straßenbau unerwartet angeschnitten wurde, konnte durch Zusammenarbeit von Gemeinde, einem Bergknappenverein, dem Straßenbauamt Weilheim und dem GLA der einzigartige Aufschluß durch eine Einhausung langfristig gegen Zerstörung gesichert und zugänglich gemacht werden.

Als Träger öffentlicher Belange wird das GLA im Vorfeld von raumbedeutsamen Maßnahmen, aber auch bei Fachplanungen beteiligt. In zunehmendem Maße sind Stellungnahmen zur

Aufstellung oder Änderung von Landschafts- und Flächennutzungsplänen sowie zu Raumordnungsverfahren gefordert. Durch die frühzeitige Einbeziehung können so die Belange des Geotopschutzes oftmals berücksichtigt werden, Nutzungskonflikte werden von vorne herein verringert.

Rohstoffabbau schafft in Steinbrüchen, Kiesgruben usw. laufend neue Aufschlüsse, die aufgrund ihrer geowissenschaftlichen Bedeutung durchaus wichtige Geotope sein können. Während der Rohstoffgewinnung sind derartige Geotope nur selten bedroht, da die Aussagekraft des Aufschlusses meist auch bei fortschreitendem Abbau erhalten bleibt. Problematisch ist jedoch, daß die Abbaustellen meist wieder verfüllt werden, so daß die Aufschlüsse nur kurze Zeit für Zwecke des Geotopschutzes zur Verfügung stehen. Ein nachträglicher Widerruf von Genehmigungen von Eingriffen in Natur und Landschaft ist aber meist nur dann möglich, wenn die Widerrufsmöglichkeit von Anfang an vorbehalten wurde (FIEBER 1997). In Genehmigungsverfahren sollte daher in Zukunft die Möglichkeit berücksichtigt werden, daß die Schutzwürdigkeit des neu geschaffenen Geotopes erst nachträglich erkannt wird. Es sollten jeweils Rechte zur Dokumentation von erdgeschichtlichen Bildungen und notfalls zum Widerruf der Genehmigung des Abbaus bzw. der bereits festgelegten Nachfolgenutzung vorgesehen werden.

Die Durchführung von konkreten Schutzmaßnahmen ist Aufgabe der Naturschutzbehörden an den Landratsämtern und den Bezirksregierungen. Bei den genannten Behörden sind jedoch geowissenschaftliche Kenntnisse für die Zwecke des Geotopschutzes oft nicht in ausreichendem Umfang vorhanden. Dem GLA kommt deshalb als geowissenschaftliche Fachbehörde die Aufgabe zu, den Naturschutzbehörden in Fachfragen beratend zur Seite zu stehen.

In der Regel wird das GLA in laufende Unterschutzstellungsverfahren einbezogen. Geowissenschaftliche Belange können so frühzeitig eingebracht und berücksichtigt werden. In der Vergangenheit wurden aber in einigen dringenden Fällen auch direkt spezielle Schutzmaßnahmen für gefährdete Geotope vorgeschlagen, die in die später erlassene Verordnung Eingang gefunden haben.

Es ist ein Grundanliegen des Geotopschutzes, die geowissenschaftliche Forschung auch an geschützten Objekten weiterhin zuzulassen. Darunter fällt die Erlaubnis zum Betreten des Geotopes ebenso wie die Entnahme von Probenmaterial für Untersuchungen. Wichtige Exkursionspunkte und heimatkundliche Demonstrationsobjekte sollen allgemein zugänglich bleiben, soweit der nachhaltige Schutz des Objekts dadurch nicht gefährdet wird. Denn nur wenn die Ziele des Geotopschutzes und die wichtigen Geotope weithin bekannt sind, kann der eigentliche Zweck, nämlich die wichtigen Dokumente der Erdgeschichte auf Dauer zu erhalten, erreicht werden.

## 6. Literatur

- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOTOPSCHUTZ (1996): Geotopschutz in Deutschland – Leitfaden der Geologischen Dienste der Länder. – Angew. Landschaftsökol., **9**: 105 S., Bonn.
- BOTSCH, H.-J. (1995): Gemeinsame Auswertung der Biotop- und GEOSCHOB-Kartierung.– Schriftenr. Bayer. L.-Amt f. Umweltschutz, **131**: 183–185, München.
- BURGHARDT, O. (1979): Siebengebirge – Landschaft im Wandel. – 64 S., Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrhein-Westfalen).

- CONWENTZ, H. (1904): Die Gefährdung der Naturdenkmäler und Vorschläge zu ihrer Erhaltung. – Denkschrift, dem Herrn Minister der geistlichen, Unterrichts- und Medizinal-Angelegenheiten 1904 überreicht von HUGO CONWENTZ: IX+207 S., Berlin (Borntraeger).
- CONWENTZ, H. (1908): Bericht über die staatliche Naturdenkmalpflege in Preußen im Jahre 1908. – Beitr. Naturdenkmalpflege, **3**: 181–293, Berlin (Borntraeger).
- FIEBER, B. (1997): Rechtsgrundlage des Geotopschutzes in Deutschland – eine Bestandsaufnahme und Handlungsbedarf. – In: LOOK, E.-R. [Hrsg.]: Geotopschutz und seine rechtlichen Grundlagen. – Schriftenr. dt. Geol. Ges., **5**: 36–40, Hannover.
- FLURL, M. (1792): Beschreibung der Gebürge von Baiern und der oberen Pfalz. – 642 S., München (Lentner).
- FREYBERG, B. VON (1951): Rettet unsere Aufschlüsse ! – Geol. Bl. NO-Bayern, **15**: 74–75, Erlangen.
- GRUBE, A. & WIEDENBEIN, F.-W. (1992): Geotopschutz – eine wichtige Aufgabe der Geowissenschaften. – Geowiss., **10**(8): 215–219, Weinheim.
- KAVASCH, J. & GREINER, H. (1969): Die Erhaltung geologischer Aufschlüssen im Ries. – Geologica Bavarica, **61**: 385–388, München.
- KÖNIGLICHES STAATSMINISTERIUM DES INNEREN (1908): Gesetz, die Änderung der Gemeindeordnungen und des Polizeistrafgesetzbuches betreffend. – Hohenschwangau, 6. Juli 1908.
- LAGALLY, U., KUBE, W. & FRANK, H. (1993): Geowissenschaftlich schutzwürdige Objekte in Oberbayern – Ergebnisse einer Erstaufnahme. – Erdwiss. Beitr. Naturschutz, **1**: 168 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- RINGLER, A. (1995): Einführung. – In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN u. BAYERISCHE AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE [Hrsg.]: Landschaftspflegekonzept Bayern, **I**: 301 S., München/Laufen (StMLU/ANL).
- RINGLER, A. (1998): Lebensraumtyp Geotope. – In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN u. BAYERISCHE AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE [Hrsg.]: Landschaftspflegekonzept Bayern, **II**(15): 560 S., München/Laufen (StMLU/ANL).
- RUDOLPH, E. (1975): Naturschutz in Oberbayern – Grundlagen, Schutzgebiete und Naturdenkmäler. – Schriftenr. Naturschutz Landschaftspflege, **6**: 160 S., München.
- VOLLMANN, F. (1916): Die Pflanzenschutz- und Schongebiete in Bayern. – Beitr. Naturdenkmalpflege, **5** (1): 1–74, Berlin (Borntraeger).
- ZIELONKOWSKI, W. (1989): Geschichte des Naturschutzes. – Laufener Seminarbeitr. **2**: 5–12, Laufen.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 1. 10. 1999.





# Erkundung und Sicherung von mineralischen Rohstoffen in Bayern

Von ALBERT DOBNER, MANFRED PIEWAK, KLAUS POSCHLOD, THOMAS PÜRNER,  
THOMAS SPERLING, SEBASTIAN WAGNER und HERMANN WEINIG

Mit 6 Abbildungen

Schlüsselworte: Rohstoff – Rohstofferkundung – Rohstoffsicherung – Sand – Ton – Kalkstein

Kurzfassung: Eine wichtige Aufgabe des Bayerischen Geologischen Landesamtes ist die Erkundung und Sicherung von Rohstoffen in Bayern. Am Beispiel von drei Rohstoffgruppen – als Sandsubstitut verwendbare Mürbsandsteine, keramische Rohstoffe sowie karbonatische Festgesteine – werden die Aufgabenstellung, die Ergebnisse der Erkundung sowie die sich daraus ergebenden Folgerungen beschrieben.

## Exploration and preservation of mineral raw materials in Bavaria

Keywords: Mineral raw materials – exploration – preservation – sand – clay – limestone

Abstract: Explorating and preserving mineral raw materials are important tasks of the Bavarian Geological Survey. The results of the exploration and the consequences are presented by examples of three groups of mineral resources: friable sandstone as sand substitute, clay and limestone.

## Inhalt

1. Einleitung .....	286
2. Erkundung von Mürbsandsteinen in Nordbayern .....	287
2.1. Burgsandstein im südlichen Mittelfranken .....	288
2.2. Sande und Sandsteine aus Rhät und Lias .....	291
2.3. Kreidesandsteine der Bodenwöhrer Senke .....	293
2.4. Buntsandstein des nordostbayerischen Bruchschollengebietes .....	294
3. Erkundung keramischer Rohstoffe .....	295
3.1. Tone bei Schmidmühlen .....	297
3.2. Tone bei Wertingen .....	297
3.3. Tone im Raum Pfarrkirchen-Eggenfelden .....	299
3.4. Tone bei Rötze .....	299
3.5. Hinweise zur Tonprospektion .....	300
4. Erkundung von Karbonatgesteinen auf der südlichen Frankenalb .....	300
4.1. Plattenkalksteine .....	301
4.2. Treuchtlinger Marmor im Bereich des Raitenbucher Forstes .....	303
5. Folgerungen aus den Erkundungsergebnissen .....	308
6. Literatur .....	309

---

Anschriften der Verfasser: Dr. ALBERT DOBNER, Dr. KLAUS POSCHLOD, THOMAS SPERLING, Dr. SEBASTIAN WAGNER und Dr. HERMANN WEINIG, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstr. 128, D-80797 München; THOMAS PÜRNER, Bayerisches Geologisches Landesamt, Außenstelle Marktredwitz, Leopoldstr. 30, D-95615 Marktredwitz; MANFRED PIEWAK, Alexanderstr. 5, D-95444 Bayreuth.

## 1. Einleitung

Aufsuchung und Erkundung mineralischer Rohstoffe standen am Beginn geologischer Forschung und waren Anstoß für diese. Dieser älteste und ehemals einzige Anwendungsbereich der Geologie hat bis heute seine grundlegende Bedeutung behalten und gehörte immer zu den wesentlichen Aufgaben und Tätigkeiten des amtlichen geologischen Dienstes bzw. der Bergbehörde. Allerdings haben sich die Schwerpunkte der Arbeiten und die Aufgabenstellung den wirtschaftlichen Entwicklungen und in neuer Zeit den Erfordernissen der Landesplanung angepaßt: Neben die Erkundung von Rohstoffen tritt heute deren Sicherung. Vor allem unterlagen Ziele und Fragestellungen der Rohstoffgeologie immer wieder Wandlungen, die wechselnden Rohstoffbedarf nach Menge und Art bzw. bei der Verwendung von Rohstoffen widerspiegeln.

Eine grundlegende Schwerpunktverlagerung ergab sich aus der zurücktretenden Bedeutung der in Bayern nur punktuell auftretenden, „klassischen“ mineralischen Rohstoffe (z. B. Erze, Industriemineralien, Brennstoffe) zugunsten des in den Nachkriegsjahrzehnten sprunghaft gestiegenen Bedarfes an weit verbreiteten Massenrohstoffen bzw. Baurohstoffen im weitesten Sinne (vor allem Kiese und Sande, Hartsteine und andere Steine- und Erdenrohstoffe).

Die Gewinnung dieser Rohstoffe erfolgt in großen Mengen. Z. B. liegt der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch von Kies und Sand bei 7 bis 8 t, der von Hartstein bei 3 bis 4 t. Diese Fördermengen machen die Anlage entsprechender Gewinnungsstellen notwendig und führen im Falle wenig mächtiger Rohstoffe (z. B. meist bei Kies und Sand) zu hohem Flächenbedarf.

Rohstoffgewinnung ist langfristig Veränderungen unterworfen, die durch wechselnden Bedarf an Rohstoffen wie auch durch den sich laufend verändernden geologischen Kenntnisstand gesteuert werden.

Die Sicherstellung der mittel- bis längerfristigen Rohstoffversorgung erfordert angesichts des bestehenden Bedarfes an Menge und Fläche planerische Abstimmung mit anderen Belangen der Landnutzung und Raumordnung. Rohstoffsicherung und -gewinnung sind daher auf der Grundlage möglichst umfassender, abgesicherter Kenntnisse zu Verbreitung, Lagerung und Ausbildung von Lagerstätten und Vorkommen vorzunehmen. Hierzu bedarf es der Erkundung sowohl der aktuell zu sichernden Rohstoffe als auch solcher Gesteine und Vorkommen, die alternativ heute oder für eine spätere Nutzung in Frage kommen.

Seit Mitte der Achtziger Jahre richten sich die Aktivitäten zur Erkundung von Rohstoffen vor allem auf solche Gesteine, deren Gewinnung und Sicherung heute raumbedeutsam und planungsrelevant sind, das ist v. a. die Gruppe der „Steine und Erden“ und Industriemineralien. Die Erkundungen werden überwiegend im Auftrag und mit Haushaltsmitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie durchgeführt.

Abbildung 1 vermittelt einen Überblick über die seit 1983 durchgeführten Rohstofferkundungsprogramme nach Rohstoffart und Lage. Hierbei ist zunächst eine breite Themenstreuung zu erkennen. Ebenso fällt auf, daß diejenigen Rohstoffe breiten Raum einnehmen, deren Abbau flächenintensiv ist, raschen räumlichen Veränderungen unterliegt und daher häufig Fragen der Landesplanung berührt. Hierzu gehören v. a. Kiese und Sande, aber auch keramische Rohstoffe.

Im folgenden werden Themenbereiche aus drei Rohstoffgruppen (Sande, keramische Rohstoffe, Kalksteine, in Abb. 1 grau hinterlegt) nach Aufgabenstellung, Ergebnissen der Erkundung sowie der sich daraus ergebenden Folgerungen vorgestellt.

## 2. Erkundung von Mürbsandsteinen in Nordbayern

Die Versorgung der Bauindustrie mit dem wichtigen Rohstoff Sand ist in Bayern in regional sehr unterschiedlicher Weise gegeben. Während südlich der Donau im allgemeinen kein Mangel an Sand besteht, kommen potentiell nutzbare Sandvorkommen in Nordbayern nur in begrenztem Umfang innerhalb schmaler Talzüge oder lokaler Flugsandanhäufungen vor und sind häufig Ziel konkurrierender Nutzungen. Da die Sande in der Regel Grundwasser führen, sind sie auch von wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Vielfache Nutzungsbeschränkungen, aber auch bereichsweise weit fortgeschrittener Sandabbau führen zu einer Verknappung dieses unverzichtbaren Baustoffes.

Es sollte daher untersucht werden, ob die Nutzung der insgesamt weit verbreiteten Vorkommen mesozoischer Sandsteine intensiviert werden könnte bzw. bereichsweise als neue Alternative zur Gewinnung quartärer Talsande anzusehen wäre.

Zur Klärung dieser Frage wurde im Zeitraum zwischen 1984 und 1997 (vgl. Abb. 1: S 1–S 5) der Reihe nach eine systematische Erkundung folgender Sandsteine durchgeführt:

- Bursandstein im südlichen Mittelfranken
- Sande und Sandsteine aus Rhät und Lias (Ober- u. Unterfranken)
- Kreidesandsteine der Bodenwöhrer Senke
- Buntsandstein des nordostbayerischen Bruchschollengebietes

Die genannten Abfolgen sind zwar größtenteils sandig aufgebaut, allerdings sind ihnen auch in meist unregelmäßiger Weise unverwertbare Zwischenschichten in Form von Ton- und Schluffsteinen oder toniger Feinsandsteine zwischengeschaltet. Die Sandsteine sind nur dann nutzbar, wenn sie wenige, beim Abbau aushaltbare Zwischen- oder Abraumschichten enthalten oder – im Idealfall – frei davon sind.

Insgesamt müssen folgende rohstoffgeologische Kriterien erfüllt sein, um eine Nutzung der Sandsteinfolgen in Betracht zu ziehen:

- mittel- bis grobkörnige Sandsteine hinreichend hoher Mächtigkeit (mindestens 5 m, möglichst über 10 m) ohne wesentlichen Anteil zwischengeschalteter Feinsedimente
- nicht zu starke Verfestigung durch kieselige oder auch tonige Kornbindung als Voraussetzung für Abbau und Aufbereitung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten
- Lage der Sandsteine über der Grundwasseroberfläche (Material im Regelfall nur trocken gewinnbar, zumindest aber Erleichterung der Gewinnung und v. a. weniger Probleme bei Folgenutzung)

Im folgenden werden Aktivitäten und Ergebnisse der bisherigen Untersuchungsräume dargestellt. Hierbei steht eine Gesamtwertung im Vordergrund. Detailergebnisse (Bohrungen, Einzelvorkommen) sind Inhalt spezieller Dokumentationen und Berichte (vgl. HADAMITZKY et al. 1990 u. DOBNER et al. 1994).

Wesentlicher Teil der Erkundungen sind Kernbohrungen, durch die ausgewählte Gebiete „in orientierender Weise“, d. h. durch einzelne oder weitmaschig angeordnete Bohrungen untersucht wurden. Insofern sind Angaben zu Rohstoffinhalten als vorläufige Abschätzungen zu verstehen. Sie gelten für Areale, auf die eine Übertragung von Bohrergebnissen vertretbar ist.

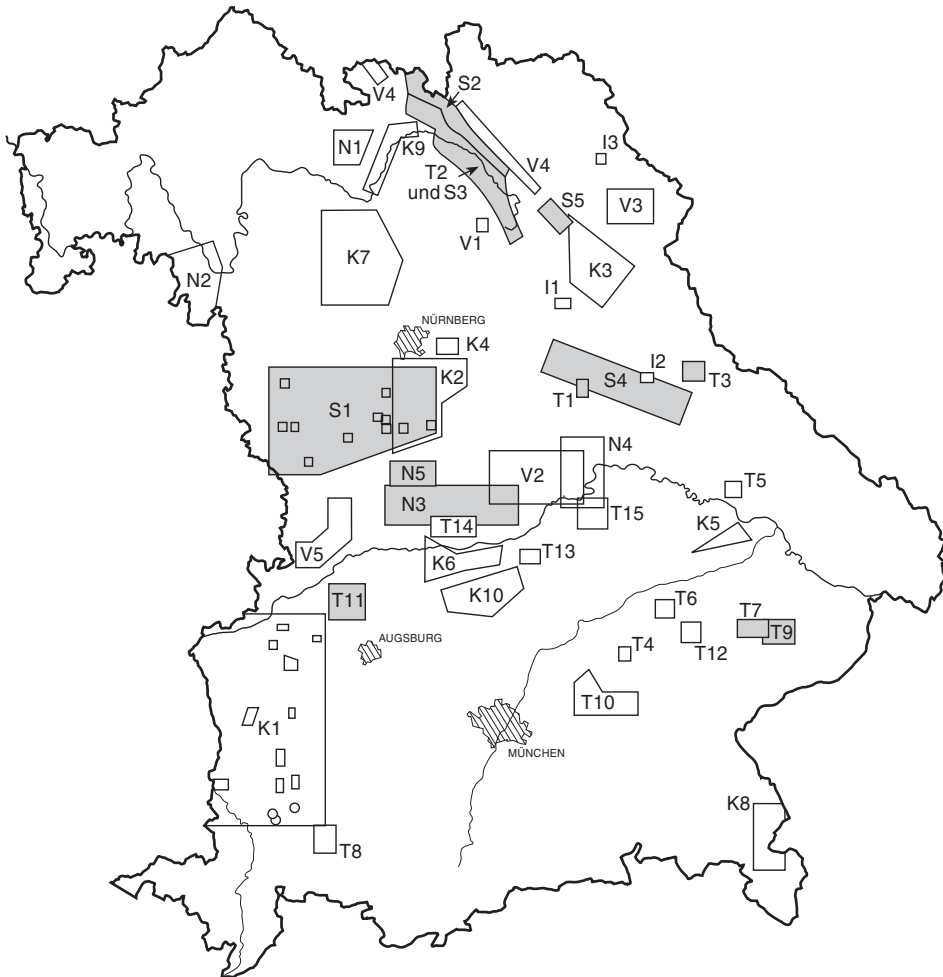


Abb. 1. Rohstoff-Untersuchungsprogramme des Bayerischen Geologischen Landesamtes 1983–1999 (im Text behandelte Rohstoffbereiche grau unterlegt). – Legende s. Seite 289.

## 2.1. Burgsandstein im südlichen Mittelfranken

Der Burgsandstein bildet in Mittelfranken je nach geographischer Position im Schichtstufengebiet im W hohe Rücken, die im E auch in Verebnungen übergehen. Die 80 m bis nahezu 100 m mächtige Abfolge des Burgsandsteins besteht aus unterschiedlich festen Sandsteinen wechselnder Kornzusammensetzung und ist von zahlreichen Lettenlagen durchsetzt, deren wichtigste auch zur Gliederung des Burgsandsteins in einen Unteren, Mittleren und Oberen Bereich herangezogen werden. Die weit verbreitete Abfolge des Burgsandsteins wurde dort untersucht, wo sie in beckenrandlicher, dem Vindelizischen Liefergebiet nahegelegener „Nürnberger Fazies“ vorliegt, weil hier ein hoher Anteil an Grobsanden, vor allem aber ein Zurücktreten von Feinsedimentlagen zu erwarten ist. Diese Ausbildung ist v. a. im Innenbogen der Frankenalb zu vermuten.

**Rohstoffuntersuchungsprogramme 1983-1999****Keramische Rohstoffe**

- T 1 Lehme und Tertiär-Tone bei Schmidmühlen (1985 - 1988)
- T 2 Tone des Rhät und Lias in Oberfranken (1989, 1990)
- T 3 Schluffig-tonige Tertiärsedimente bei Rötz (1991)
- T 4 Miozäne Mergel und Schluffe bei Sulding (1991)
- T 5 Lehme und Tone der Hunderdorfer Tertiärbucht (1992)
- T 6 Lehme und miozäne Tone im Kröning (1992)
- T 7 Miozäne Tone im Raum Eggenfelden (1992)
- T 8 Tertiäre Mergel bei Marktobersdorf (1992)
- T 9 Miozäne Tone im Raum Pfarrkirchen (1992, 1994)
- T 10 Ziegelrohstoffe im Raum Erding - Isen - Dorfen (1993)
- T 11 Miozäne Tone bei Wertingen (1994)
- T 12 Miozäne Tone an der Bina (1994, 1996)
- T 13 Tertiäre Ziegelrohstoffe bei Geisenfeld (1996)
- T 14 Ziegelrohstoffe der Albüberdeckung (1997)
- T 15 Tertiäre Tone bei Herrnhuthausen (1999)

**Kiese und Sande**

- K 1 Deckenschotter der Iller-Lech-Platte (1986 - 1988)
- K 2 Quartäre Sande im Talsystem der Rednitz (1988)
- K 3 Kiese und Sande im Landkreis Neustadt a.d. Waldnaab (1988, 1989)
- K 4 Sande bei Altdorf (1989)
- K 5 Kiese der Plattlinger Hochterrasse (1990, 1991)
- K 6 Quartärkiese der Region Ingolstadt (1991, 1996, 1997, 1998, 1999)
- K 7 Quartäre Sande im Talbereich der westlichen Regnitzzuflüsse (1992)
- K 8 Kiese und Sande im Raum Freilassing und Bad Reichenhall (1993)
- K 9 Terrassensande des oberen Maintales und des Trebgasttales (1994)
- K 10 Tertiäre Kiese und Sande im Bereich der Region Ingolstadt Süd (1994, 1995)

**Sande aus Mürlsandsteinen**

- S 1 Burgsandstein-Sande in Mittelfranken (1983 - 1986, 1997)
- S 2 Sande und Mürlsandstein des Mittleren Buntsandsteins in Oberfranken (1989, 1990)
- S 3 Mürlsandsteine des Rhät und Keuper in Oberfranken (1989, 1990, 1994)
- S 4 Sande und Mürlsandsteine der Kreide in der Bodenwöhrer Senke (1990 - 1992, 1994)
- S 5 Mürlsandsteine des Buntsandsteins E Weidenberg (1995, 1996)

**Naturwerksteine**

- N 1 Rhät-Sandsteine der Haßberge (1989, 1990)
- N 2 Quaderkalle S von Würzburg (1989)
- N 3 Platten- und Bankkalksteine in der Südlichen Frankenalb (1990, 1996 - 1998)
- N 4 Regensburger Grünsandstein (1994, 1995)
- N 5 Dickbankkalksteine [„Juramarmor“] (1997)

**Industriemineralien**

- I 1 Glassande der mittleren Oberpfalz (1983 - 1985)
- I 2 Flußspat bei Pingarten (1985 - 1988)
- I 3 Speckstein im Raum Wunsiedel (1993, 1999)

**Verschiedene Rohstoffe**

- V 1 Dolomitstein bei Pegnitz (1994)
- V 2 Kalksteinvorkommen im Raum Regensburg (1994, 1995)
- V 3 Tertiärsedimente der Wondrehsenke (1995, 1996)
- V 4 Gips und Anhydrit des Mittleren Muschelkalkes in Oberfranken (1995 - 1997)
- V 5 Suevit im Bereich des Nördlinger Rieses (1996, 1997)

Legende zu Abb. 1.

Innerhalb eines weiten Untersuchungsraumes zwischen Dinkelsbühl und Allersberg konzentrierten sich ausgewählte Erkundungsgebiete schließlich auf den Raum Hilpoltstein-Spalt im E und auf den Oettinger Forst im W. Diese Räume sind den Talgebieten des Rednitz-Rezat-Systems und des Ries benachbart, deren quartäre Tal- und Dünensande Sandabbau nur noch in begrenztem Umfang zulassen. Akuter Anlaß für die Erkundungen im Burgsandstein war die bevorstehende Flutung des Brombachstausees. Auf dessen Bereich konzentrierte sich bis zu diesem Zeitpunkt eine umfassende und ohne Rücksicht auf andere Belange vorzunehmende Sandgewinnung. Diese muß nach der Flutung auf andere Vorkommen umgestellt werden.

Burgsandstein („Felsensand“) wurde bisher im Vergleich zu den quartären Talsanden kaum genutzt, jedenfalls nicht zu Bausanden aufbereitet. Nur in wenigen Fällen (z. B. im Brombachgebiet oder im Minbachtal S Hilpoltstein) wurde oder wird Burgsandstein als Unterlage quartärer Sande mitgewonnen und aufbereitet.

Die Auswahl der Erkundungsgebiete erfolgte nach Begehung von etwa 100 Sandsteinarealen und deren feldgeologischer Beurteilung nach ihrer faziellen Ausbildung. Ein Teil dieser Gebiete wurde durch geoelektrische Widerstandsmessungen vorerkundet (Durchführung: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, ehemalige Abt. Gemeinschaftsaufgaben), um heterogen aufgebautes Gebirge vorab zu erkennen und aus dem Erkundungsprogramm herauszunehmen. In den Jahren 1983 bis 1986 und 1997 wurden insgesamt 71 Bohrungen mit Teufen zwischen wenigen Metern und 30 m niedergebracht, die sich im wesentlichen auf etwa 12 Arealen im Burgsandstein verteilen.

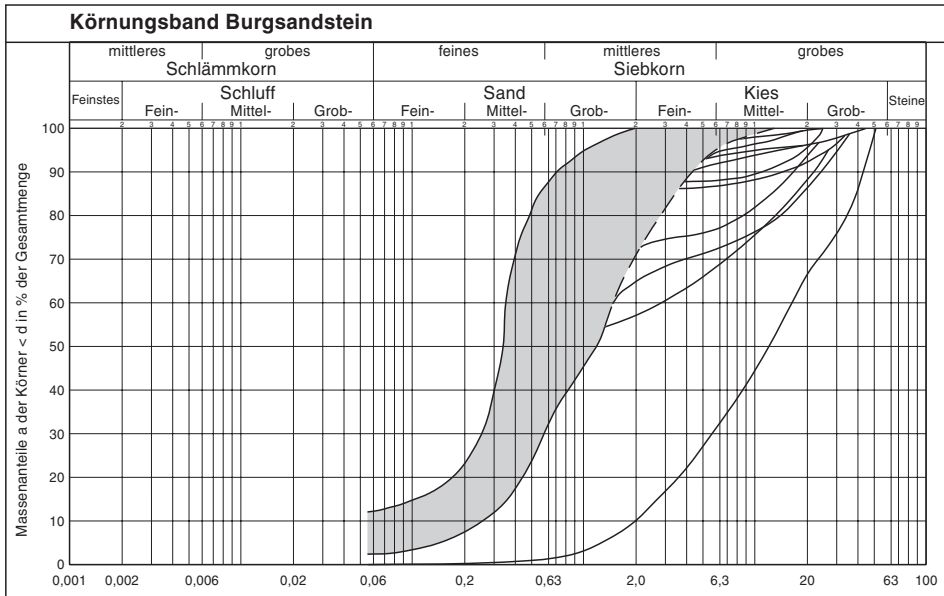


Abb. 2. Kornverteilung fester, normal ausgebildeter Burgsandsteine nach einmaligem Brechen; der kiesige Brechrückstand ginge beim zweiten Brechvorgang im Band der Normalverteilung auf (16 feste Sandsteinblöcke). Kieselig gebundene Sandsteine (rechte Kurve) lassen sich nicht ins Einzelkorn zerlegen.

Die Erkundung brachte insgesamt folgende Erkenntnisse:

Unterschiedliche primäre Kornbindung und spätere Entfestigung v. a. durch Feldspatverwitterung führen zu unterschiedlicher Gesteinsfestigkeit. Diese reicht von harten, kieselig gebundenen Sandsteinen (sehr selten) über „normal feste“ Sandsteine (Druckfestigkeiten bis ca. 30 MPa, dennoch als Werksteine verwendbar: früher massiv, heute zumeist als Platten) zu halbfesten bis mürben, dann leicht zerfallenden Sandsteinen. Lockere, kaum verfestigte Sande finden sich fast nur in Oberflächennähe.

Um festzustellen, ob sich auch normal verfestigte Sandsteine durch mechanische Aufbereitung ins Einzelkorn zerlegen lassen, wurden an ausgewählten Proben (verwitterungsresistente Sandsteinblöcke und Massivbausteine) Brechversuche durchgeführt: Die Blöcke wurden jeweils in den Prallbrecher einer Aufbereitungsanlage gegeben und das gesamte Brechgut auf seine Kornzusammensetzung untersucht (Abb. 2). Die Summenkurven lassen sich mit primär locker vorliegendem Burgsandstein vergleichen. Der geringe Anteil verbleibender „Kiesfraktionen“ ließe sich im Rücklauf durch einen weiteren Brechvorgang ebenfalls in die Sandfraktion überführen.

Die Befunde zeigen, daß die Sandsteinfestigkeit kein wesentliches Hemmnis für Aufbereitung und Verwendung der Sandsteine darstellt. Diese Beurteilung läßt sich auf die untersuchten Sandsteinabfolgen (s. u.) des Buntsandsteins, des Rhätolias und der Kreide übertragen, da sie im Regelfall ähnliche Festigkeiten aufweisen. Zudem erweist dort die Praxis der Sandgewinnung die Verwendbarkeit der Sandsteine.

Die Sande des Burgsandsteins (kantengerundete Quarze und wenige Prozent unverwitterter Feldspäte) sind nach entsprechender Aufbereitung zur Verwendung als „Bausand“ (Zuschlagstoff) geeignet.

Wesentliches Kriterium für die Sandgewinnung ist die Art des Profilaufbaus, d. h. Verhältnis und Anordnung von verwertbarer Sandfazies und zwischengeschalteten Feinsedimenten (schluffige Feinsande, v. a. aber „Letten“: Ton-Schluffsteine, teils feinsandig). Die Bohrungen erwiesen, daß der Burgsandstein Letten führt, die nach Mächtigkeit, Verteilung und horizontaler Beständigkeit in unregelmäßiger Weise in allen Profiltteilen auftreten können. Die besten Aussichten, weitgehend geschlossene Sandsteine aufzufinden, bieten v. a. sorgfältige Profil-Begehungen in hängigem Gelände. Zunehmende Geländeverflachung oder Ebenen erschweren naturgemäß das Erkennen von Lettenausstrichen und reduzieren die Fündigkeit von Bohrungen erheblich. Geoelektrische Erkundungen können Anhaltspunkte für sandige Fazies liefern, kaum aber Aussagen zu mehrlagig aufgebauten Profilen machen. Lettenzwischen-schichten sind bei Burgsandsteinprofilen über 15 m nahezu die Regel. Diese können je nach Häufigkeit und Verteilung im Profil entweder ausgehalten werden oder sie lassen eine wirtschaftliche Sandgewinnung nicht zu. Nur in zwei von 20 untersuchten Arealen liegen Sandsteine in nahezu geschlossener Mächtigkeit vor (z. B. 15–18 m und 20–30 m).

Insgesamt ist festzustellen, daß die Gewinnung von Burgsandsteinen als Substitut für quartäre Talsande grundsätzlich an vielen Stellen möglich ist, allerdings unter erhöhtem Aufwand an Gewinnung (Lösen und Selektion) und Aufbereitung (Zerkleinerung). Im Regelfall ist die Auffindung einer nutzbaren Lagerstätte erst nach hinreichenden Geländeerkundungen meist mehrerer Areale möglich.

## 2.2. Sande und Sandsteine aus Rhät und Lias

Zwischen dem Feuerletten des Mittleren Keupers und dem Arietensandstein des Lias Alpha ist eine komplex aus Sandstein, Tonstein und Mischgliedern aufgebaute Serie entwickelt, die in der Umrandung der Nördlichen Frankenalb und in den Haßbergen durchschnittliche Mächtigkeiten von 40 m (30 bis max. 60 m) besitzt.

Diese Rhät-Lias-Übergangsschichten enthalten an nutzbaren Ablagerungen:

- Sande und Mürbandsandsteine, die im Raum zwischen Creussen und Kulmbach in mehreren Sandgruben abgebaut und als Bausand verwendet werden
- Sandsteine (als verfestigte Äquivalente der Sande), die früher im Raum Bayreuth, heute nur noch in den Haßbergen gebrochen werden
- Tone, die wegen ihres hohen Kaolinitgehaltes gesuchte keramische Rohstoffe v. a. zur Herstellung von Steinzeug und Klinker darstellen und in wenigen Gruben abgebaut werden

Die Rhät-Lias-Übergangsschichten sind durch häufigen Fazieswechsel charakterisiert und deshalb nicht durch einen allgemeingültigen Profilaufbau zu beschreiben. Zahlreiche Bearbeiter befaßten sich mit Gliederung und stratigraphischer Zuordnung, z. B. KESSLER (1973), der eine übergreifende Zusammenstellung mehrerer Teilbereiche vorlegt. Sehr gut ist die Thematik der stratigraphischen Gliederung nach den bis dahin vorliegenden Kenntnissen unter Weglassen zahlreicher, teils widersprüchlicher Schichtbezeichnungen von EMMERT (1977) zusammengefaßt. In den nördlichen Gebieten (s. o.) ist von folgendem Profilaufbau auszugehen:

- Lias Alpha 3: „Arietensandstein“: grobe, nur schwach verfestigte Sande
- Lias Alpha 1 u. 2: überwiegend sandige Fazies („Gümbelscher Sandstein“) mit relativ wenigen, unbeständigen Tonzwischenlagen (Tone der Pylonoten- und Angulatenschichten bzw. allgemein: „Pflanzentone“), Sandkorngröße der schräggeschichteten, einander rasch ablösenden Schüttungs- bzw. Sand(stein)körper wechselnd, vorherrschend aber mittel- und grobkörnig, nach oben Übergang in aushaltende Flächenfazies der Angulatenschichten
- Rhät: überwiegend tonige, kaolinitgeprägte Fazies, oben (im Liegenden des Sandsteins) als „Hauptton“, in tieferen Teilen auch durch Sandsteine vertreten, unten als Basiston über den illitischen Feuerletten

Vor allem Gümbelscher Sandstein und Hauptton können als nutzbare Lagerstätten ausgebildet sein, aber auch als Wechselfolge oder in tonig-sandiger Mischfazies vorliegen. In umgekehrter Weise können aber auch die Tone des Lias und die Sande des Rhät in nutzbarer Qualität und Mächtigkeit auftreten oder mit Hangend- und Liegendschichten zu einer Lagerstätte zusammengeschlossen sein.

Ziel der Erkundungen war die örtliche Klärung des Schichtaufbaus der Rhät-Lias-Übergangsschichten zur Beurteilung ihres Inhaltes an nutzbaren Rohstoffen. In den Jahren 1989/90 sowie 1994/95 wurden im Gebiet der Ost- und Nordumrandung der Frankenalb und in den Haßbergen 50 Kernbohrungen mit einer Gesamtstrecke von ca. 2060 m in über 30 Gebieten niedergebracht, fast immer allerdings soweit von einander entfernt (> 1 km), daß letztlich Einzelareale mit jeweils einer Bohrung belegt wurden. Die Streuung der Bohrungen über 12 Gradabteilungsblätter (Raum Creussen–Sonnefeld sowie Seßlach–Hofheim) belegt den orientierenden Charakter der Erkundungen. Die Auswahl der Areale erfolgte nach umfangreichen Geländebegehungen, denen die bisherigen Kenntnisse, v. a. aber die aus alten und aktuellen Gewinnungsstellen zu entnehmenden Erfahrungen zugrunde lagen. Die Erkundungen (die an anderer Stelle im einzelnen zu dokumentieren sind) brachten insgesamt im Hinblick auf Sand bzw. Sandstein folgende Ergebnisse:

Insgesamt wird die oben angeführte Profilabfolge als Schema (!) bestätigt. Orientierungsmarken sind der grobe Arietensand(stein), der häufig auftretende Gümbelsche Sandstein, im E oft mit dünnem „Basiskonglomerat“, der meist darunter folgende Hauptton, im W oft grüner Sandstein („Grüne Bank“) und schließlich roter Feuerletten. Die Bohrungen bestätigten bzw. übertrafen aber auch die Vermutung äußerst rascher Fazieswechsel. Insofern können selbst Bohrungen, die – um den stratigraphischen Zusammenhang herzustellen – nahe Aufschlüssen niedergebracht oder auch – testweise – einander benachbart plaziert wurden, stark abweichende Ergebnisse liefern. Von 50 Bohrungen erbrachten etwa 10 solche Ergebnisse, die auf eine nutzbare Lagerstätte schließen lassen und etwa weitere 10, die im Grenzbereich zur Nutzbarkeit liegen. „Nutzbar“ bedeutet hierbei, daß die erbohrten Profile auf ein langfristig zu nutzendes Areal übertragbar sind, eine Annahme, die erfahrungsgemäß hier nicht immer zulässig ist. Noch weniger erlaubt ist diese Vermutung in Fällen (etwa 5), in denen ein „nutzbarer Profilabschnitt“ wegen mächtiger Überdeckung erst in den hangseitigen Ausstrich projiziert werden muß.

Schließlich ist angesichts der unregelmäßigen Bankung und Klüftung gerade der „Rhät-sandsteine“ die Beurteilung der Nutzbarkeit von Werksteinvorkommen auch durch mehrere Bohrungen nicht abgesichert und kann letztlich erst im Aufschluß erfolgen. Die angeführten Einschränkungen machen deutlich, daß von den untersuchten Punkten nur sehr wenige als Lagerstätten anzusprechen sind, die für eine künftige Nutzung in Frage kommen. Insgesamt



war zu erkennen, daß bei Neuaufschlüssen, vor allem von Sanden, die längerfristig in größeren Mengen abzubauen sind, ein sehr hoher Prospektionsaufwand erforderlich ist.

Die Ergebnisse zeigen, daß gute Sandsteinqualitäten (Festigkeiten) eher in den Haßbergen anzutreffen sind, während die Vorkommen östlich und nördlich der Frankenalb häufiger als Mürbsandstein vorliegen, meist aber mächtiger sind. Dabei fällt auf, daß sich Sandsteinvorkommen in den Haßbergen besonders deutlich durch scharf geschnittene Hangkanten im Gelände abbilden, während im E enge Nebeneinander mürber und fester Konsistenz auftritt. Die Profile belegen, daß nutzbare Sandsteine und Sande in überwiegendem Maß dem Lias (Gümbelscher Sandstein) zuzuordnen sind, während Tone auch über und unter dem Hauptton in nutzbarer Ausbildung auftreten können. In der Mehrzahl der Fälle liegen Profile vor, die von häufigem Wechsel sandiger und toniger Fazies oder auch durch Mischglieder gekennzeichnet sind, so daß weder die eine noch die andere Art der Rohstoffgewinnung möglich ist.

### 2.3. Kreidesandsteine der Bodenwöhrer Senke

Von den im Bereich der Bodenwöhrer Senke und im westlich anschließenden Gebiet der überdeckten Frankenalb (Raum Amberg–Freihöls) verbreiteten kreidezeitlichen Sedimenten liegt mehr als die Hälfte in sandiger Fazies vor. Zur neueren Untergliederung der Bodenwöhrer Oberkreide vergleiche z. B. MEYER & MIELKE (1993), zur Sanderkundung in diesem Raum vergleiche PÜRNER & WEINIG (1994).

Von der Sandfazies kommen nach ihrem Kornaufbau vor allem die „Knollensande“ und die „Freihölser Bausande“ bzw. deren Äquivalent im Bereich der Bodenwöhrer Senke, die „Pflanzensandsteine“, für eine Nutzung als Baurohstoff in Frage. Die Kenntnisse zu Mächtigkeit und Ausbildung dieser Schichtstöße, vor allem aber zu deren internem Profilaufbau ist dann unzureichend, wenn die örtliche Beurteilung der Nutzbarkeit der Sande gefordert ist. Da die Sandschüttungen nicht beständig sind, vielmehr immer wieder mit Feinsedimenten unterschiedlicher Mächtigkeit und Beständigkeit wechsellagern und auch durch solche stratigraphisch untergliedert werden, kann die geologische Karte nur den Rahmen für die Aufsuchung von nutzbaren Sanden abgeben.

Derzeit werden Kreidesande nur an wenigen Stellen im Freihölser Forst abgebaut. Bisher stand die Sandgewinnung aus dem Naabquartär im Vordergrund. Hierbei zeichnet sich mittelfristig wegen zunehmender Beanspruchung der Talräume eine Verknappung ab. Ziel der Erkundung war es, bisher nicht erschlossene Areale und Räume auf ihre Nutzbarkeit zu untersuchen, um mittel- bis längerfristig Alternativen zur Sandgewinnung aus dem Naabtal aufzuzeigen.

Die erste Phase der Erkundung stellte eine Übersichtskartierung der bis dahin noch nicht kartierten Bereiche dar. Durch die Übersichtsaufnahme wurde das Grundprinzip des Aufbaus der Bodenwöhrer Kreide in die Karte umgesetzt: Die Wechselfolge von Sanden (Sandsteinen) und Tonen führt zu deutlich ausgebildeter bis angedeuteter Schichtstufenbildung, deren Stufen von sandiger Fazies gekennzeichnet sind, während zwischenliegende, tonig geprägte Schichtglieder Geländeüberflachungen bewirken. Auch die Knollensande streichen im W in weitflächigen Verebnungen aus. Die Bodenwöhrer Senke ist in Abbildung 3 als Profilschema dargestellt. Die Auswahl der Erkundungsgebiete bzw. der Bohrpunkte konnte somit durch geomorphologische Kriterien gestützt werden. Insgesamt wurden in 27 größeren und kleineren Arealen zwischen Amberg und Roding 46 Bohrungen mit einer Gesamtkernstrecke von nahezu 1500 m abgeteuft.

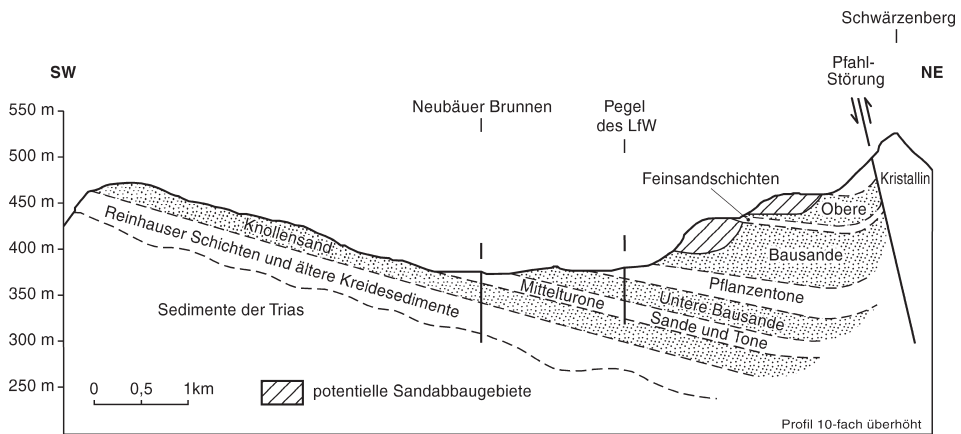


Abb. 3. Schematischer Schnitt durch den Schichtaufbau der Bodenwöhrer Senke im Bereich von Neubäu.

Als Ergebnis der Erkundungen ist festzuhalten: Innerhalb von etwa 20 Erkundungsarealen wurden nutzbare Sandvorkommen festgestellt. Zusammenhängende, große Sandinhalte (jeweils 5–30 Mio. t) finden sich im Bereich weitflächig ausstreichender Schichten (Knollensande und Freihölser Bausande) im Bereich des Freihölser Forstes. Etliche Vorkommen mit jeweils wenigen Mio. Tonnen Sanden liegen im Bereich der Schichtstufen des Bodenwöhrer Halbgrabens (vgl. Schema Abb. 3). Neben trockenliegenden, flächigen Ausstrichen kommen Kanten von Schichtstufen für Sandabbau in Betracht, da hier grundwasserfreie Sande ohne Abraumschichten vorliegen. Zur Klärung hydrogeologischer Fragen wurden auch tiefere Bohrungen niedergebracht, die zusammen mit bestehenden Bohrungen den v. a. durch tonige Fazies des Mittelturons und die Pflanzenzone gegebenen Stockwerksbau durch grundwasserhemmende Trennschichten belegen.

Die Kornzusammensetzung der Freihölser Sande bzw. der Pflanzensandsteine entspricht, da überwiegend mittel- und grobsandig ausgebildet, den geforderten Kriterien. Der Schlammkorngehalt bewegt sich zwischen 10 und 15 Gew.-%.

Die bisherigen Erkundungen bezogen sich auf ausgewählte Gebiete, denen bereichsweise weitere hinzuzufügen wären. Die vorliegenden Ergebnisse machen deutlich, daß im Bereich der kreidezeitlichen Sande mehrere Vorkommen und Lagerstätten vorhanden sind, die für eine Gewinnung von Bausanden als Entlastung des Talraumes der Naab in Frage kommen. Untersuchungsbedarf besteht hinsichtlich Profilaufbau und Ausbildung der Knollensande v. a. im Bereich ihrer möglicherweise weiten Verbreitung innerhalb der dem Weißjura aufliegenden Schichten beiderseits des Vilstaes.

#### 2.4. Buntsandstein des nordostbayerischen Bruchschollengebietes

Vor dem Rand des nordostbayerischen Grundgebirges ist Buntsandstein in verschiedener Ausbildung und tektonischer Position zwischen dem Naabgebirge und Neustadt b. Coburg (dort nach Thüringen übergreifend) verbreitet. Der Buntsandstein Nordostbayerns ist in der Nähe seines südöstlich gelegenen Liefergebietes entstanden. Die dadurch bedingte grobklastische Fazies kulminiert im unteren Teil des Mittleren Buntsandsteins in der Abfolge des ca.

35–50 m mächtigen, überwiegend mittel- bis grobsandig, auffallend geröllführend ausgebildeten „Kulmbacher Konglomerates“ (Volpriehausen-Folge). Dieser Profilteil des Buntsandsteins war Hauptziel der Erkundungen. Das „Kulmbacher Konglomerat“ ist Teil einer mächtigen terrestrischen Schüttung, die im Liegenden, vor allem aber im Hangenden, von ebenfalls grobsandigen Schichten begleitet wird. Ebenso kann noch Geröllführung auftreten. Die Liegendschichten (Unterer Buntsandstein) sind allerdings im Normalfall durch feines Sandkorn (fein- bis mittelsandig) wie auch durch eingeschaltete Feinsedimente charakterisiert. Die Hangendschichten (Hauptbuntsandstein: Detfurth-Folge) sind im Normalfall mittel- bis grobsandig ausgebildet, wobei sowohl Übergänge zu gröberer Fazies (mit Geröllführung) und zu Kornverfeinerung (erhöhter Feinsandanteil und zwischengeschaltete Feinsedimente) auftreten. Die geologische Karte bietet gute Anhaltspunkte zur Verbreitung der Serien, erlaubt aber keine abgesicherten Aussagen zu Profilaufbau und Nutzbarkeit. Zudem ist der mesozoische Untergrund bereichsweise unter jüngeren (auskartierten) Decksedimenten verborgen.

Ziel mehrfacher Erkundung (z. B. PÜRNER & DOBNER 1994 sowie unpublizierte Berichte) war die Klärung der örtlich vorliegenden faziellen Verhältnisse im Hinblick auf die Nutzbarkeit der Sande innerhalb bisher nicht aufgeschlossener Räume, ebenso das Auftreten entsprechender Serien unter verhüllenden Deckschichten (und die Zusammensetzung dieser selbst). Zwischen Kemnath und Thüringen wurden insgesamt 9 Räume und Areale durch 22 Bohrungen mit insgesamt 818 Bohrmeter untersucht.

Die Ergebnisse belegen die örtlich sehr unterschiedliche Zusammensetzung des „Kulmbacher Konglomerates“. Sehr gut nutzbarer, grobsandig-kiesiger Ausbildung (NE Pechgraben) stehen noch nutzbare, überwiegend mittelsandige Ablagerungen (z. B. N Bächlein bei Mitwitz) oder auch wegen zu häufig zwischengeschalteter Feinsedimente nicht nutzbare Serien gegenüber. Auch die Nutzbarkeit der begleitenden Serien, v. a. der im Hangenden, ist, wenn auch in abgeschwächtem Maß, gegeben (z. B. W Immenreuth).

Insgesamt bieten die Ablagerungen des Unteren Teiles des Mittleren Buntsandsteins (Mittel- und Grobsande, meist wenig Feinsedimente) gute Möglichkeiten der Bausandgewinnung. Die wechselhafte Zusammensetzung erfordert jedoch gründliche Erkundungsarbeiten. Den Beispielen bisheriger Erkundungsareale sind zwar noch weitere hinzuzufügen, jedoch müssen die Örtlichkeiten möglicher Sandgewinnung insgesamt als begrenzt bzw. nicht beliebig auswählbar angesehen werden.

### 3. Erkundung keramischer Rohstoffe

Die Suche nach Rohstoffen für die Baukeramik, speziell für die Ziegelindustrie, zählte für einen Geognosten am Königlich Bayerischen Oberbergamt im 19. Jahrhundert nicht zu den Hauptaufgaben. Die Jahrhunderte alte Methode des Ziegelbrandes in Feldöfen wurde in den Jahren um 1900 durch den Ringofen ersetzt. Diese Umstellung brachte noch keine besonderen Anforderungen an den Rohstoff mit sich, da weiterhin überwiegend sog. Vollsteine gefertigt wurden. Erst nach dem Zweiten Weltkrieg setzte ein entscheidender Wandel ein, der durch mannigfache Einflüsse bedingt war. Angestoßen von der zunehmenden Bautätigkeit hielt auch in den Ziegelwerken die Automatisierung Einzug. Damit ging eine Diversifizierung der Produkte einher, verbunden mit erhöhten Qualitätsanforderungen. Daraus ergaben sich auch unterschiedliche Anforderungen an den Rohstoff.

Gab es bislang viele Werke, die Dachziegel, Hintermauersteine und bereichsweise auch Klinker in ihrer Produktpalette führten, kam es jetzt zur Branchendifferenzierung. Die Entwicklung neuer Produkte, die Verkehrserschließung und die Konzentration auf große Betriebs-einheiten führte zu einem Verdrängungswettbewerb. Zählte das Verzeichnis der Ziegelindustrie in Bayern von 1948 noch 506 Betriebe, sind es heute kaum 100 produzierende Werke. Diese Entwicklung konnte nicht ohne Auswirkungen auf die Rohstoffanforderungen bleiben. War es früher möglich, durch das Stechen mit dem Spaten noch selektiven Abbau zu betreiben und unbrauchbare Lagen gezielt auszuhalten, wurde dies durch den Einsatz von Maschinen zunehmend schwieriger. Auf der anderen Seite konnte durch Einsatz von Technik, insbesondere von Kollergang, Feinwalzwerk und Vakuumpresse auch etwas mindere Qualität zu hochwertigen Produkten verarbeitet werden. Die Lagerstättenprospektion konzentrierte sich somit nicht mehr auf kleine, komplex zusammengesetzte, sondern auf große, homogene Vorkommen. Durch die maschinellen Voraussetzungen war auch die Beseitigung mächtigeren Ab-raums und der Transport von Rohstoffen über größere Entfernung möglich. Die Charakterisierung der Rohstoffe erfordert differenzierte Untersuchungen im Labor. Nur so können Rohstoffe hinsichtlich ihres Einsatzes in neuen Herstellungstechnologien (z. B. Schnellbrand) und der Herstellung weiterentwickelter Produkte (z. B. Wärmedämmung) bewertet werden.

Zur Erkundung von Ton- und Lehmvorkommen wurden neben den klassischen Methoden der Kartierung mit entsprechender Unterlagensammlung bereichsweise auch geophysikalische Prospektionsverfahren (hier: Geoelektrik) eingesetzt. Nach Auswertung dieser Ergebnisse konnten dann gezielt Kernbohrungen angesetzt werden. Um ausreichend Probenmaterial gewinnen zu können, wurde ein Mindestkerndurchmesser von 10 cm gewählt. Ziel der Bohrungen war nicht die Prospektion von Lagerstätten, sondern die großräumige Erkundung von rohstoffhöffigen Strukturen. Nur ausnahmsweise wurden beim Antreffen von Vorkommen weitere Bohrungen in der näheren Umgebung angesetzt. In der Regel lagen die Bohrungen mehrere hundert Meter bis einige Kilometer auseinander. Geologischer Kenntnisstand und Schichtlagerung waren ausschlaggebend für die Endteufe, die meist zwischen 10 m und 20 m lag. In Ausnahmefällen wurden auch Teufen um 40 m erreicht.

An ausgewählten Bohrkernen wurden Großproben (10–30 kg) für keramotechnische Untersuchungen entnommen, die ergänzt durch gezielte mineralogische und chemische Analysen meist ausreichende Kriterien für eine Charakterisierung eines Vorkommens bieten.

In den Labors des Bayerischen Geologischen Landesamtes werden folgende Untersuchungen durchgeführt:

Routineuntersuchungen (meist an stranggepreßten Probekörpern)	Gelegentlich durchgeführte Untersuchungen	Untersuchungen für bestimmte Fragestellungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>– chemische Analyse (RFA)</li> <li>– Karbonatgehalt</li> <li>– Kornverteilung</li> <li>– Trockenschwindung</li> <li>– Trockenbiegefestigkeit</li> <li>– Brennschwindung</li> <li>– Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck und unter Vakuum</li> <li>– Plastizität nach Pfefferkorn</li> <li>– Anmachwasserbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– mineralogische Analyse (XRD)</li> <li>– Blähverhalten</li> <li>– Reduktionskernbildung</li> <li>– Differentialthermoanalyse</li> <li>– Untersuchungen einzelner Fraktionen</li> <li>– Quarzgehalt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Feuerfestigkeit (Sege-Kegel)</li> <li>– Porenradienverteilung in gebrannten Scherben</li> <li>– Säurebeständigkeit</li> <li>– Frost-Tau-Wechsel</li> </ul>

Exemplarisch sei hier auf Abbildung 4 verwiesen, die eine Darstellung der unterschiedlichen Wasseraufnahmefähigkeit gebrannter keramischer Scherben aus verschiedenen Rohstoffen in Abhängigkeit zur angewandten Brenntemperatur bietet.

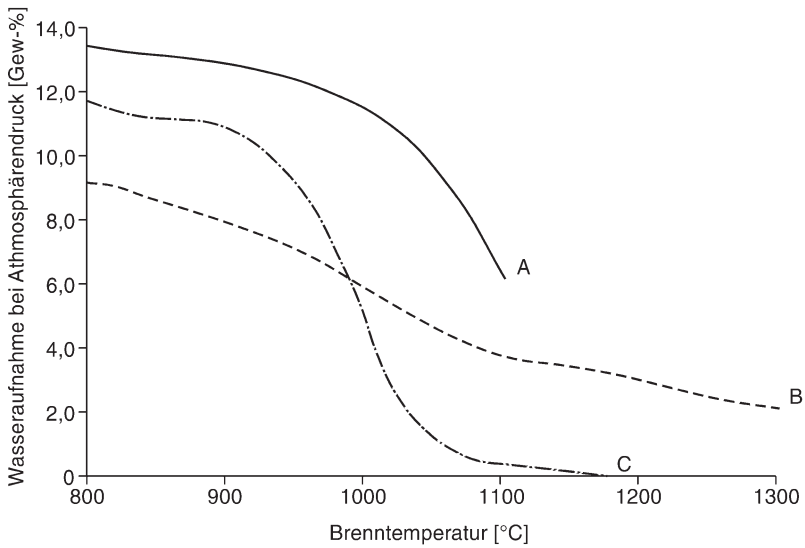
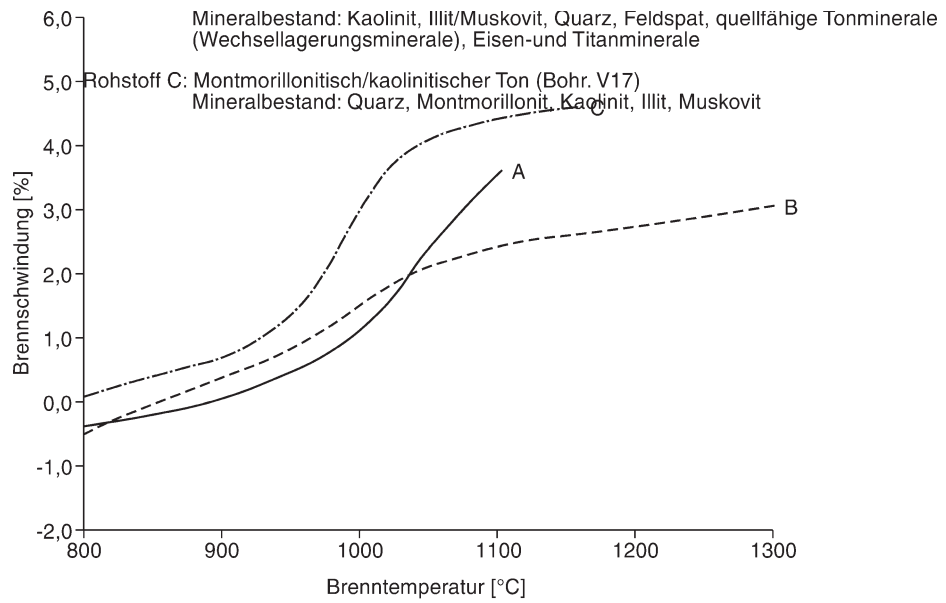
Die in den letzten Jahrzehnten auf Lehme, Tone und Mergel untersuchten Räume sind aus Abbildung 1 ersichtlich. Im folgenden sind beispielhaft einige Projekte herausgegriffen und kurz beschrieben. Neben den mit Erfolg abgeschlossenen Projekten „Schmidmühlen“, „Wertingen“ und „Pfarrkirchen-Eggenfelden“ sei auch das Untersuchungsgebiet „Rötz“ genannt, in dem die Bohrkampagne nicht den erhofften Erfolg brachte. Gleichwohl lieferten auch hier die Bohrungen und Untersuchungen nützliche geologisch-lagerstättenkundliche Erkenntnisse.

### 3.1. Tone bei Schmidmühlen

Der Untersuchungsraum Schmidmühlen (DOBNER 1990) liegt im Gebiet des gleichnamigen Gradabteilungsblattes Nr. 6737 auf der Albhochfläche zwischen Vils- und Naabtal. Die hier von diesen Tälern angeschnittenen Kalksteine des Oberen Jura bilden das Liegende einer mehrere Zehnermeter mächtigen, kreide- bis tertiärzeitlichen Überdeckung. Die Oberfläche des Jura bildet ein stark ausgeprägtes Relief, das rinnenförmige Strukturen mit dolinenartigen Einbrüchen aufweist. Es ist fast vollständig verfüllt und kann nur durch Bohrungen erkannt werden. Aus dem Naabtal und seiner Umgebung ist bekannt, daß die in diesen Jurasenken liegenden Sedimente Braunkohle und hochwertige feuerfeste Tone führen können. Die Tongrube am Degelhof, N Pilsheim, die bis 1968 betrieben wurde und dann als erschöpft galt, war hierfür ein Beispiel. Als Voruntersuchung der geologischen Strukturen wurden auf der Albhochfläche zwischen den Orten Vilshofen und Eglsee auf einem ca. 2 km breiten Streifen mehrere geoelektrische Profile gelegt (ca. 400 Meßpunkte). Nach Auswertung der Ergebnisse wurden 27 Bohrungen (1985–87) auf höffige Strukturen angesetzt. Die Mehrzahl der Bohrungen durchteufte zwar Feinsedimente wie Schluffe, Tone und Sande, z. T. mit Braunkohlelagen, bis örtlich 50 m unter Gelände, aber nicht die gesuchten weißen Tone. Eine Ausnahme bildeten einige wenige Bohrungen im Staatsforst zwischen Pilsheim und Vilshofen. Dies war um so überraschender, als die geoelektrischen Messungen hier eine eher schwach ausgeprägte Anomalie zeigten (ca. 35 Ohm/m) und zwei von Firmen früher angesetzte Prospektionen keinen Erfolg verzeichneten. Form und Ausbildung des Vorkommens waren durch die fündigen Bohrungen nur angedeutet. Der Nachweis einer nutzbaren Lagerstätte wurde erst durch eine aufwendige Bohrprospektion einer Firma erbracht, die heute dort einen Tagebau betreibt. Die derzeit aufgeschlossene Tongrube zeigt nur bereichsweise den Aufbau der Lagerstätte. Die weitere Lagerstättenausdehnung kann nur durch ein enges Bohrraster ermittelt werden.

### 3.2. Tone bei Wertingen

Karbonatarme und karbonatfreie Tone sind in der Oberen Süßwassermolasse südlich der Donau auf wenige Schichtglieder begrenzt und in der Regel nur wenige Dezimeter mächtig. Eine der wenigen höffigen Schichten ist die sog. „Untere limnische Serie“ (DOPPLER 1989). Sie streicht im unteren Zusamtal bei Wertingen aus und erreicht eine Mächtigkeit von 40 bis 60 m. Begrenzt wird diese Schichtserie im Liegenden von den „Kirchberger Schichten“ und im Hangenden von den Kiesen und Sanden der „Unteren fluviatilen Serie“. Die Aufmerksamkeit galt dabei den Schluff- und Tonhorizonten, die bei entsprechender Mächtigkeit gesuchte Lagerstätten für die keramische Industrie darstellen.



Rohstoff A: Lößlehm (Bohr. HU4a)  
Mineralbestand: Quarz, Illit, Montmorillonit

Rohstoff B: Kaolinitischer Ton (Bohr. HU11)

Abb. 4. Wasseraufnahme von keramischen Scherben aus verschiedenen Rohstoffen in Abhängigkeit von der Brenntemperatur.

Im Bereich der unteren Zusam wurden zwischen den Orten Mertingen und Hettingen 13 Bohrungen abgeteuft, mit einer Endteufe zwischen 13,4 m und 26,0 m (DOBNER & ECKBAUER 1998 a). Die weiträumig angesetzten Bohrungen trafen in einigen Fällen karbonatarme, schluffig-tonige Schichten an, aber nur in wenigen Bohrkernen (E Lauterbach und W Pfaffenhofen a. d. Zusam) zeigten sich auch hochwertige, feinkörnige illitische Tone. Auf Grund der großen Bohrabstände kann nicht entschieden werden, ob die einzelnen Tonlagen auf eine zeitgleiche Sedimentation zurückzuführen sind. Erschwert wird die Kartierung dieser Tonhorizonte durch die großflächige Überlagerung mit pleistozänen Deckenschottern und Lößlehm. Um die erbohrten Vorkommen auch als quantifizierbare Lagerstätte nachzuweisen, sind noch engräumige Prospektionsarbeiten erforderlich.

### 3.3. Tone im Raum Pfarrkirchen–Eggenfelden

Seit langem sind die Vorkommen plastischer Tone im Tertiärhügelland zwischen Isar und Rott bekannt. Verwendung fanden sie früher hauptsächlich als Töpferton, wobei der Ton im Kröning E Landshut überregionale Bedeutung besaß. Auch im Raum Pfarrkirchen–Eggenfelden ging immer wieder in kleinen Gruben der Abbau auf Ton um. Die dort in den Jahren 1992 und 1994 durchgeführten Bohrkampagnen verfolgten das Ziel, das bis dato unzureichende Wissen über Verbreitung, Mächtigkeitsschwankungen und Ausbildung der Tone zu erweitern und nach Möglichkeit neue Vorkommen auch für die industrielle Nutzung (z. B. Dachziegel) zu finden. Nach entsprechenden Vorarbeiten wurden 75 Bohrungen (1478 Bohrmeter) auf den Gradabteilungsblättern Nr. 7542 Eggenfelden und Nr. 7543 Pfarrkirchen abgeteuft. Die Bohrungen waren auf die Höhenrücken nördlich der Rott auf einem Areal von ca. 100 km<sup>2</sup> verteilt. Die Bohrergebnisse, die im einzelnen bei SPERLING & ECKBAUER (1998) und SPERLING, ULBIG & ECKBAUER (1998) beschrieben und bewertet sind, zeigen, daß die tonhöffigen Schichten auf eine Höhenlage zwischen 425 m und 475 m ü. NN beschränkt sind. Wahrscheinlich handelt es sich dabei nicht um eine einzige Lage, sondern um mehrere linsenartige Vorkommen, wie sie typisch für limnisch-fluviatile Sedimentation sind. Die Tonlagen weisen sowohl in den Bohrprofilen als auch in ihrer Lateralerstreckung bedeutende Qualitätsunterschiede auf. Kaolinit und Illit/Muskovit sind in der Tonfraktion am häufigsten vertreten, untergeordnet die quellfähigen Tonminerale. Beste Qualitäten können einen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt bis 30 Gewichts-% erreichen. Bei entsprechender Mächtigkeit, etwa ab 2 m aufwärts, und einem günstigen Abraum/Ton-Verhältnis von 2:1 bis 3:1 können Vorkommen als nutzbar angesehen werden. Bei dieser Beurteilung war knapp ein Drittel der Bohrungen „fündig“. Die laterale Ausdehnung der Tonhorizonte in gleichbleibender Qualität ist noch durch weitere Prospektionsarbeiten zu bestätigen.

### 3.4. Tone bei Rötz

Während die oben genannten Erkundungen als Erfolge verbucht werden können, sei hier auch ein Beispiel aufgeführt, das nicht den gewünschten Erfolg aufweisen konnte. Im Zuge der rohstoffgeologischen Aufnahme des Gradabteilungsblattes Nr. 6641 Rötz (DOBNER & ECKBAUER 1998 b) wurden auf größeren Arealen tertiäre Verwitterungsdecken aus Sand und Ton angetroffen. Dies gab den Anlaß, die höffigen Bereiche abzubohren. Es wurden 12 Kernbohrungen mit einer maximalen Teufe von 20 m niedergebracht. Die meisten Bohrungen erreichten nach wenigen Metern das kristalline Grundgebirge in mehr oder weniger verwittertem

Zustand. Lediglich in einer wenig ausgedehnten Senke erreichten die Tone ca. 5 m Mächtigkeit. Neben der minderen Tonqualität waren es vor allem die eingelagerten, großen, reliktschen Quarzgerölle, die keine positive Bewertung der Vorkommen zuließen.

### 3.5. Hinweise zur Tonprospektion

Nach den Erfahrungen aller bisher durchgeführten Tonerkundungen (vgl. Abb. 1) sind größere Lagerstätten hochwertiger keramischer Tone, die sich an der Oberfläche präsentieren, in Bayern praktisch nicht mehr zu finden. Sieht man von den Lößlehmvorkommen ab, die in vielen Teilen Bayerns größere Verbreitung haben und für viele grobkeramische Produkte als Grundrohstoff verwendet werden können, sind alle anderen Rohstoffe für baukeramische Produkte nur mit gezielter Prospektion zu erkunden. Die geologischen Voraussetzungen erfordern erheblichen Aufwand, um jeweils geeignete Vorkommen aufzufinden.

## 4. Erkundung von Karbonatgesteinen auf der südlichen Frankenalb

Die harten Karbonatgesteine des Weißen Jura (Malm) bilden eine mehrere 100 m mächtige, leicht nach SE einfallende Tafel, die am Nord- und Westrand als Schichtstufe steil gegen das Vorland abbricht.

Aus der Vielfalt der Weißjuragesteine, die zahlreiche Nutzungsmöglichkeiten bieten, seien hier zwei Ausbildungen herausgehoben: die weltbekannten Solnhofener Plattenkalksteine des Oberen und die Dickbankkalksteine des Mittleren Malm („Treuchtlinger Marmor“). Auf beide Ausbildungen wurden im Zuge einer intensiven geowissenschaftlichen Bearbeitung der Planungsregion Ingolstadt Erkundungen durch Kernbohrungen angesetzt (vgl. Abb. 5). Ziel der Erkundungen waren v. a. Gebiete außerhalb bestehender Abbaureviere, um langfristige Perspektiven oder Alternativen für die dortige Steingewinnung auszuloten. Ein grundsätzliches Problem der rohstoffgeologischen Beurteilung ist, daß geologische Karten nur Hinweise auf Höffigkeitsgebiete geben, da auf ihnen die generelle Verbreitung einer Gesteinsfazies dargestellt ist und sie damit zwar wertvolle Basisinformationen darstellen, sie jedoch keine Angaben zu Qualität und nur sehr generalisierte zur Quantität eines Rohstoffs enthalten. Damit sind konkrete Aussagen zur Nutzbarkeit eines Rohstoffs schon bei einem flächenhaft verbreiteten und über weite Strecken gleichmäßig ausgebildeten Gestein wie dem Treuchtlinger Marmor (vgl. Kap. 4.2.) allein aus der Karte nicht möglich. Dies kann erst durch Detailerkundungen anhand von verschiedenartigen Aufschlüssen (zumindest Kernbohrungen) erfolgen, die die geforderten Informationen z. B. über die lokale qualitative Ausbildung sowie Restmächtigkeiten im Bereich wertflächiger Ausstriche liefern.

Verstärkt gilt dies für Gesteine wie die Plattenkalke, bei denen die starke Zergliederung der Sedimentationsräume und der daraus resultierende, kleinräumige Wechsel der Ablagerungsbedingungen keine gleichmäßige Ausbildung und Verbreitung zuließ. Selbst in den durch Steinbrüche sehr gut erschlossenen Bereichen lassen sich hier durch Interpolation kaum zuverlässige prognostische Aussagen über Vorkommen treffen, die nach Qualität und Quantität eine wirtschaftliche Nutzung ermöglichen würden. Erst Bohrungen schaffen zuverlässigen Einblick.

Einige Ergebnisse dieser Erkundungsbohrungen werden im folgenden kurz dargestellt. Da die westlichen Plattenkalkvorkommen im vorliegenden Band an anderer Stelle beschrieben werden (MEYER, WAGNER & WEINIG 2000), wird auf diese Thematik nicht eingegangen. Die



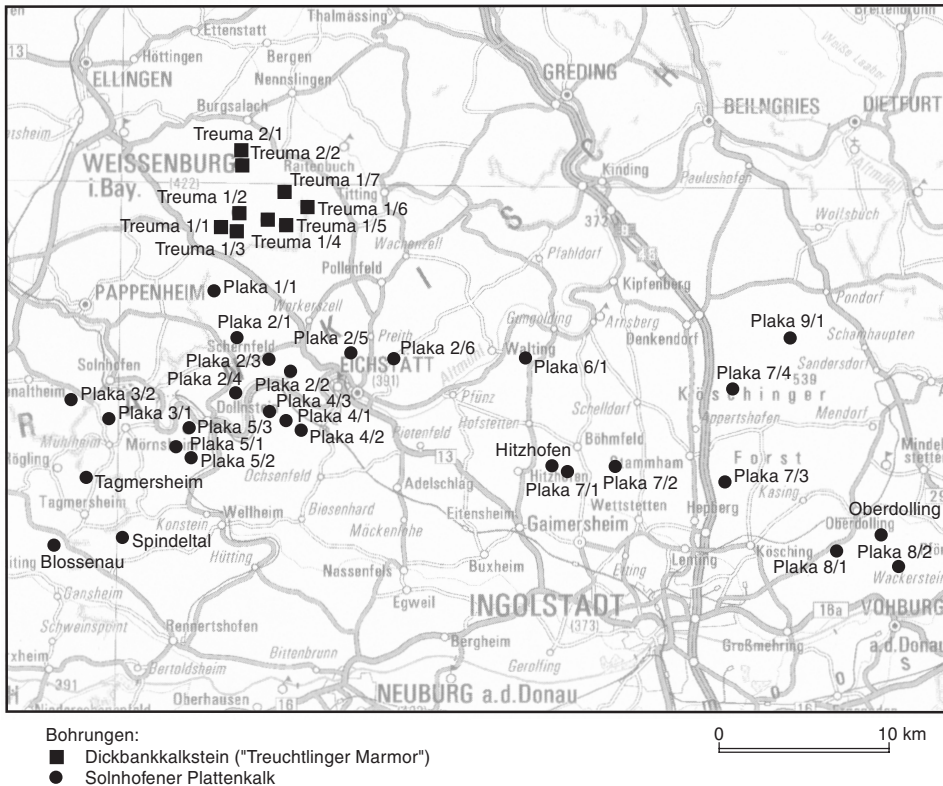


Abb. 5. Lage der Erkundungsbohrungen auf Jurakalkstein 1990–1998.

Ergebnisse der in den östlicher gelegenen Wannen von Denkendorf und Schamhaupten abgeteufte Bohrungen werden an anderer Stelle ausführlich dargestellt, sollen aber hier unter dem Aspekt der wirtschaftlichen Nutzung in zusammengefaßter Form mitgeteilt werden. Die im Treuchtlinger Marmor niedergebrachten Bohrungen werden hingegen ausführlicher dargestellt.

#### 4.1. Plattenkalksteine

In den zahlreichen, von Riffmassen umsäumten Lagunen („Wannen“) des Malm Epsilon bis Zeta bildeten sich Schichtkalksteine, von denen insbesondere die Plattenkalksteine der Wannen von Solnhofen–Langenthalheim und die von Schernfeld–Eichstätt von herausragender technischer Qualität sind. Die Nutzbarkeit von Plattenkalken, die heute fast ausschließlich zu Wand- und Bodenplatten verschiedener Ausführung verwendet werden, ist an folgende Bedingung gebunden:

- Die Platte muß als „Flinz“ ausgebildet sein: feinst, harter, hochreiner Kalkstein, glattbrechend, > 7 mm dick, Schichtfläche eben.
- Die Flinze müssen im Profil gegenüber den nicht brauchbaren Zwischenschichten (z. B. raue Flinze, Krumme Lagen, Fäulen) deutlich in der Übermacht sein. Die Mächtigkeiten

von überlagernden Schichten (z. B. kieselige Mörsheimer Schichten, Malm Zeta 3 bzw. Obere Krumme Lage), die aufgrund der limitierten Verwendungsmöglichkeiten meist nur Abraum sind, und nutzbarem Schichtstapel müssen in günstigem Verhältnis zueinander stehen.

Die Jahrhunderte andauernde Abbautätigkeit führt mittlerweile zur teilweisen Erschöpfung der bekannten Lagerstätten. Durch Bohrungen sollte erkundet werden:

- ob in den traditionellen Abbaugebieten noch mit langfristig ausreichenden Vorräten zu rechnen ist,
- ob der Sedimentinhalt anderer, bisher nicht oder nur unzureichend erschlossener Wannengebiete für eine künftige Nutzung in Frage kommt.

Die stratigraphische Korrelation gestaltet sich nach E mit zunehmender Entfernung von den Solnhofener und Eichstätter Faziesräumen immer schwieriger. Wie die Bohrungen insbesondere in der ausgedehnten Böhmfeld-Denkendorfer Wanne nach ersten Auswertungen zeigen, entspricht die lithologische Ausprägung der Gesteine des Oberen Malm nicht mehr derjenigen, die in den westlichen Gebieten anzutreffen ist. Zudem zeigen die Mächtigkeiten der einzelnen stratigraphischen Einheiten von einem Profil zum anderen sowie die Gesamtmächtigkeiten der Sedimentfüllungen der Wannengebiete untereinander große Unterschiede. Als weitere Komplikation sind Krumme Lagen nicht als markante, stratigraphisch verwendbare Schichtglieder ausgebildet bzw. sind diese bei Auftreten nicht eindeutig zuzuordnen. Die Gliederung des Malm Zeta wurde jedoch aufgrund der Armut an leitenden Fossilien im wesentlichen aufgrund lithologischer Merkmale erstellt.

In der lithologischen Ausbildung der kalkigen Sedimente des Malm Zeta 2 findet innerhalb der Böhmfeld-Denkendorfer Wanne, in etwa von Böhmfeld aus nach E, ein Umschwung statt. Die Plattenkalke des Malm Zeta 2 gehen in schlecht untergliederbare Bankkalke über. Es wurden dort keine den westlichen Abbaurevierer vergleichbaren Qualitäten vorgefunden. Bisher konnten nur vereinzelt den „Spurenschiefern“ des Malm Zeta 2a vergleichbare Abschnitte nachgewiesen werden bzw. zwar plattig erscheinende Bereiche, in denen jedoch die Schichtflächen nicht vollständig ausgebildet sind, somit nicht sauber auftrennen und einen Übergang zwischen Platten- und Bankfazies darstellen. Noch deutlicher wird diese Veränderung in der östlich davon gelegenen Hartheimer Wanne, in der bislang keine Plattenkalke angetroffen wurden.

Aus Sicht der Rohstoffwirtschaft sind für diese Region eher die auflagernden Bankkalke des Malm Zeta 3 interessant. Diese stellen in der aus dem Umfeld des Reisbergs bekannten Ausbildung einen begehrten Naturwerkstein dar. Die schwach mergeligen, 10–30 cm dicken und bis zu 60 m mächtigen Bankkalke werden E von Hitzhofen abgebaut und überwiegend zum Bau von Mauern bei Gebäuden und in der Garten- bzw. Landschaftsgestaltung verwendet. Die E Böhmfeld positionierten Bohrungen konnten in diesen Wannengebieten ausgedehnte Bankkalk-Vorkommen nachweisen, die zudem eine weitere Verbreitung vermuten lassen.

In der nordöstlich davon gelegenen Schamhauptener Wanne sind Plattenkalkvorkommen vor allem in der weiteren Umgebung von Zandt, d. h. dem Westrand dieser Wanne bekannt. Die sog. „Zandter Schiefer“ sind streng geschichtete, fäulenfreie Plattenkalke von sehr guter Qualität. Als besonderes Merkmal gelten die extrem glatten Schichtflächen und das splittrig-spröde Brechverhalten. Das Vorkommen wird jedoch durch den Einschnitt des Schambachtales begrenzt und in dem E Zandt liegenden Steinbruch ruht momentan die Abbautätigkeit. Über die weitere Verbreitung dieser Plattenkalke über das Tal hinweg ist bisher nur wenig bekannt.

Die Schichtfugen der hier in den wenigen Aufschlüssen vorliegenden Kalke des Malm Zeta 2 sind häufig – vergleichbar denen der Denkendorfer Wanne – nur ungenügend ausgebildet und lassen sich nicht sauber in Platten aufspalten, sondern trennen mit teils muscheligen Bruch auf (zuweilen wird der Ausdruck „verklebte“ Platten gebraucht). Zudem gehen die Plattenkalke horizontal häufig ansatzlos in Bankkalke über. Im Steinbruch am Öchselberg überwiegen zudem krummlagige Plattenkalke.

In einer überschlägigen Bewertung lassen sich für die Wannen von Denkendorf, Schamhaupten und Hartheim keine den klassischen Abbaugebieten vergleichbaren Plattenkalkvorkommen größeren Umfangs erwarten. Dies unterstreicht wesentlich die Bedeutung der seit jeher genutzten Steinbruchreviere.

Die weiteren im E der südlichen Alb gelegenen Wannen führen nur vereinzelt geringmächtige Plattenkalklagen, deren Abbau schon seit Anfang des Jahrhunderts unwirtschaftlich ist. Nur in der Paintener Wanne sind in größeren Mächtigkeiten Plattenkalke ausgebildet. Solche werden derzeit nur in einem bei Painten gelegenen Steinbruch abgebaut. Allerdings liegen Werksteinqualitäten hier nur über wenige Meter Mächtigkeit vor.

#### **4.2. Treuchtlinger Marmor im Bereich des Raitenbucher Forstes**

Der sogenannte Treuchtlinger Marmor kam in der bekannten Ausbildung während des obersten Malm Gamma (Unterkimmeridge) und des Malm Delta im Bereich der südlichen Frankenalb zwischen der Ries-Riffschwelle im W und dem Riffgürtel von Regensburg–Parsberg im E zur Ablagerung. Er entwickelt sich mit einer deutlichen Grenze aus den unterlagernden, weitgehend bioklastfreien Bankkalcken des Malm Gamma und ist charakterisiert durch das erste gehäufte Auftreten von Kieselschwämmen und Tubiphyten. Die Hangengrenze wird durch den graduellen Übergang in nicht gebankte Massenfazies mit einer sukzessiven Zunahme der Schwammführung angezeigt und unterliegt örtlichen Unterschieden.

Als Werkstein wird die Dickbankfazies seit jeher vor allem in zwei Gebieten abgebaut. Der eine Bereich liegt rund um Treuchtlingen und südlich davon, der andere im Raum Kaldorf-Petersbuch. Dazwischen existieren bei Rothenstein-Lohrmannshof noch einige Brüche. Die Dickbankkalke des Malm Delta haben, obwohl es sich mittlerweile um einen der bedeutendsten Rohstoffe der Naturwerksteinindustrie in Bayern handelt, eine nicht ganz so weit zurückreichende Historie wie die traditionsreichen Plattenkalke. Erst seit dem Ersten Weltkrieg wird der Treuchtlinger Marmor in nennenswertem und immer zunehmendem Ausmaß gewonnen.

Für eine Eignung des Treuchtlinger Marmors zur Verwertung als Naturwerkstein sind neben der Bankstärke im wesentlichen zwei Qualitätsfaktoren bestimmend: die das Gestein durchziehenden Trennfugen sowie Art und Grad der Porosität bzw. Verkarstung. Auf die Einschätzung und Bewertung dieser grundsätzlich limitierenden Merkmale wurde das Hauptaugenmerk bei der Bearbeitung der Bohrkerne gelegt. Daneben sind noch viele andere Faktoren für eine Nutzbarkeit maßgebend. Die Dickbankkalke sind in bestimmten Bereichen häufig von Pyrit- bzw. Brauneisennestern durchzogen, die bei bewitterten Werksteinplatten rostige Schlieren ergeben können. Örtlich treten auch Hornsteinknollen bzw. verkieselte Schwämme auf. Bei der Bearbeitung verursacht die große Härte­differenz zwischen diesen Einschlüssen und der karbonatischen Matrix Schwierigkeiten. Zudem sorgen diese Phänomene für eine ungewohnte optische Erscheinung des Gesteins. Da ein als Werkstein genutztes Gestein nicht nur technischen Qualitätsanforderungen genügen muß, sondern für einen erfolgreichen Vertrieb und somit die Wirtschaftlichkeit insbesondere die Musterung und Farbgebung

in Verbindung mit einer dementsprechenden Marketingstrategie wichtig sind, entscheiden häufig diese Faktoren, welche Lage als Werkstein genutzt wird und welche nicht. Solche Parameter sind jedoch Modeströmungen unterworfen und nicht objektiv hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zu bewerten, sondern nur zu erfassen.

Im gesamten Schichtstapel des Treuchtlinger Marmors (insgesamt max. 40 m) reichen die einzelnen Bankstärken von 10–250 cm Dicke. Bänke unter 40 cm werden nicht verarbeitet. Der Abbau konzentriert sich im untersuchten Bereich momentan auf die untersten 6 Bänke aufgrund der dort verwirklichten größeren Bankmächtigkeiten, die den Betrieben größere Wirtschaftlichkeit und Variabilität bei der Bearbeitung lassen. Aus diesem Grund ist es besonders wichtig, bei der Kernaufnahme die Bankgrenzen zu dokumentieren.

In der Abfolge des Treuchtlinger Marmors läßt sich eine Vielzahl von Trennfugen unterschiedlicher Entstehung beobachten. Dominant erscheinen im Aufschluß zunächst die Schichtflächen, die bei ausreichender Bankstärke die Gewinnung von Blöcken in verarbeitungsgeeignetem Format erleichtern. Den Schichtflächen gleichzusetzen sind etwaige Zwischenfugen, die im Normalfall durch feine Mergelbändchen gebildet werden und zu einer Reduktion der nutzbaren Bankstärke bzw. zu einem Zerbrechen der daraus geschnittenen Werksteinplatten führen. Dies gilt in ähnlicher Weise für Klüfte, die zwar oft sehr regelmäßig ausgebildet sind, aber nicht zwangsläufig dort, wo sie der Steinbrecher benötigen würde. Daneben bilden sich in stärker zerklüfteten Bereichen bevorzugt Karsthohlräume aus, die ebenfalls störend für den Abbau sind. Schwieriger sind Stylolithen („Froschmäuler“) zu beurteilen, die die Bänke nicht nur horizontal, sondern auch vertikal durchziehen. Diese engverzahnten, meist mergelbelegten Suturen markieren Horizonte, an denen durch syn- und postdiagenetische Drucklösungsprozesse Karbonat abgeführt wurde und sich somit der tonige Gesteinsdetritus anreicherte. Ob diese Stylolithen bei der Bearbeitung des Gesteins nun aufgehen oder nicht, liegt in der Regel sowohl am Grad der Verzahnung der sehr unregelmäßigen Oberflächen, vor allem aber an der Ausbildung der trennenden Tonschicht. Üblicherweise zeigt sich erst bei der Bearbeitung, ob ein Zusammenhalt besteht oder nicht.

Der Begriff der Porosität beinhaltet zunächst grundsätzlich alle im Gestein auftretenden Hohlräume, ungeachtet ihrer Entstehung, Größe oder Ausbildung. Die in jedem Gestein in gewissem Maß existenten Mikroporen sind ebenso wie einzelne kleine und isoliert auftretende Hohlräume bei der Bearbeitung nicht störend, da sie mit geringem Aufwand gefüllt und poliert werden können. Qualitätsmindernd sind vor allem die Hohlräume, die im Zuge der Dolomitisierung entstehen. Bei der Dolomitisierung, die den Treuchtlinger Marmor stellenweise vom Hangenden her bzw. von benachbarten Riffen aus erfaßt, erhöht sich der Anteil von Interkristallporen des betroffenen Gesteins. Dies führt zu einer größeren Permeabilität und somit Verwitterungsanfälligkeit. Durch die meist nestförmige Dedolomitisierung entstehen größere Hohlräume, die oft grusig absandende „Dolomitasche“ enthalten (vgl. KOCH 1999) und das Gestein unbrauchbar werden lassen („sandig“, „Baster“). Da die Dolomitisierung ein Vorgang ist, der sich über einen größeren Bereich hinweg erstreckt, handelt es sich um ein Beurteilungskriterium, für das auch der beschränkte Einblick eines Bohrkerns Aussagen zu einer größeren Fläche ermöglicht.

Die Erkundungen hatten zum Ziel, grundsätzliche Informationen über Ausbildung und Mächtigkeit eventuell nutzbarer Bankkalke in dem unerschlossenen und bewaldeten Gebiet zwischen den Rothensteiner Brüchen und dem Kaldorfer Revier zu bekommen. Zu diesem Zweck wurden durch das Bayerische Geologische Landesamt im Auftrag und mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie in den Jahren 1996

und 1997 im Bereich des Raitenbucher Forstes 9 Kernbohrungen mit Teufen zwischen 22 m und 55 m niedergebracht, die jeweils die gesamte Schichtabfolge des Treuchtlinger Marmors erfaßten und in der Regel bis in die gut abzugrenzenden Crussoliensis-Mergel abgeteuft wurden. Dadurch wurden auch die dazwischenliegenden Uhlandi-Dickbänke miterfaßt, die üblicherweise wegen spröden Bruchverhaltens („Glaser“) nicht genutzt werden.

Bei der Bearbeitung der Bohrkerns und der Auswertung der gewonnenen Daten stellte sich heraus, daß sich die Ergebnisse nicht ohne weiteres mit den klassischen Profilen aus alten Veröffentlichungen korrelieren ließen. Dies liegt häufig daran, daß diese Profile in Steinbrüchen aufgenommen wurden. Generell sind charakteristische und gut erkennbare Leitbänke, die eine Korrelation erleichtern, eher im unteren Teil des Treuchtlinger Marmors ausgebildet (MEYER & SCHMIDT-KALER 1983).

In einem Steinbruch läßt sich aufgrund der Größe des Aufschlusses leichter entscheiden, welche Wertigkeit die Trennfugen besitzen. Häufig trägt dazu auch die Verwitterung bei, durch die Bankfugen herauspräpariert werden. In einem (unverwitterten) Bohrkern lassen sich oft Bank- und untergeordnete Trennfuge nicht sicher voneinander trennen. Zudem entwickeln sich Steinbrüche aufgrund ihrer nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten orientierten Anlage naturgemäß in Bereichen, in denen die Bänke von wenigen Trennfugen durchzogen sind.

In der vorliegenden Arbeit wird als Malm Delta die gesamte Treuchtlinger Fazies verstanden. Eine biostratigraphische Grenzziehung zwischen Malm Gamma und Delta ist aufgrund deren nach wie vor ungeklärter Positionierung (wahrscheinlich zwischen Bank 9 und 10, vgl. BANTZ 1970) nicht erfolgt. Die Höhenlage der lithofaziellen Grenze Malm Gamma/Malm Delta spiegelt das allgemein übliche N-S-Gefälle der Malmtafel von 1,2 % wider. Einzig im Bereich der Bohrungen Treuma 1/2 und 1/3 ist eine Abweichung vom generellen Trend festzustellen. Sie dokumentieren weitläufige Flexuren des Untergrundes.

In Abbildung 6 sind die einzelnen Bohrprofile detailliert dargestellt und für eine bessere Korrelation der einzelnen Bänke auf die Untergrenze des Treuchtlinger Marmors normiert. Diese Grenze ist generell gut zu fassen, wenn auch oft nur im Zusammenhang des kompletten Schichtprofils. Ebenso markant ist der Bereich der Crussoliensis-Mergel, der deutlich ausgebildet ist. Die in den Aufschlußwänden so gut definierten Leitbänke wie Obere bzw. Untere Mergelplatte sind in den Bohrkernen meist gar nicht zu erkennen, da die Zwischenmergel durch die im Untergrund fehlende Verwitterung nicht herauspräpariert sind. Bei der „Geblünten Bank“ lassen sich die Hauptmerkmale (das Fehlen von Schwämmen bei gleichzeitiger massiver Tubiphytenführung) nur bei der Betrachtung eines größeren Bankbereichs zuverlässig beurteilen und nicht allein im geringen Querschnitt eines Bohrkerns. Die Numerierung der Bänke folgt der in den Profilkorrelationen von SCHMIDT-KALER (1990) getroffenen Einteilung.

Den Säulenprofilen ist die bei der Kernaufnahme getroffene Einschätzung der Gesteinsausbildung unter rohstoffgeologischen Gesichtspunkten beige stellt. Dadurch werden die qualitativ hochwertigen und die aufgrund hoher Porosität bzw. starker Trennflächenausbildung minderwertigen Kernstrecken gekennzeichnet.

Mit den Bohrungen Treuma 1/1–1/7 (s. Abb. 5) wurde in etwa ein W-E-Profil im Bereich des Raitenbucher Forstes erbohrt. Keine dieser Bohrungen erbrachte einen Hinweis auf wirtschaftlich gewinnbare, qualitativ hochwertige Bankkalke. Die mindere Qualität dieses Gesteins ist zum einen in der stellenweise extremen Porosität begründet, deren Ursache wohl in Dolomitisierung und späterer Dedolomitisierung der angrenzenden Riffbauten zu suchen ist. Zum anderen sind die Bänke von ungewöhnlich vielen Mergelbändchen durchzogen, welche

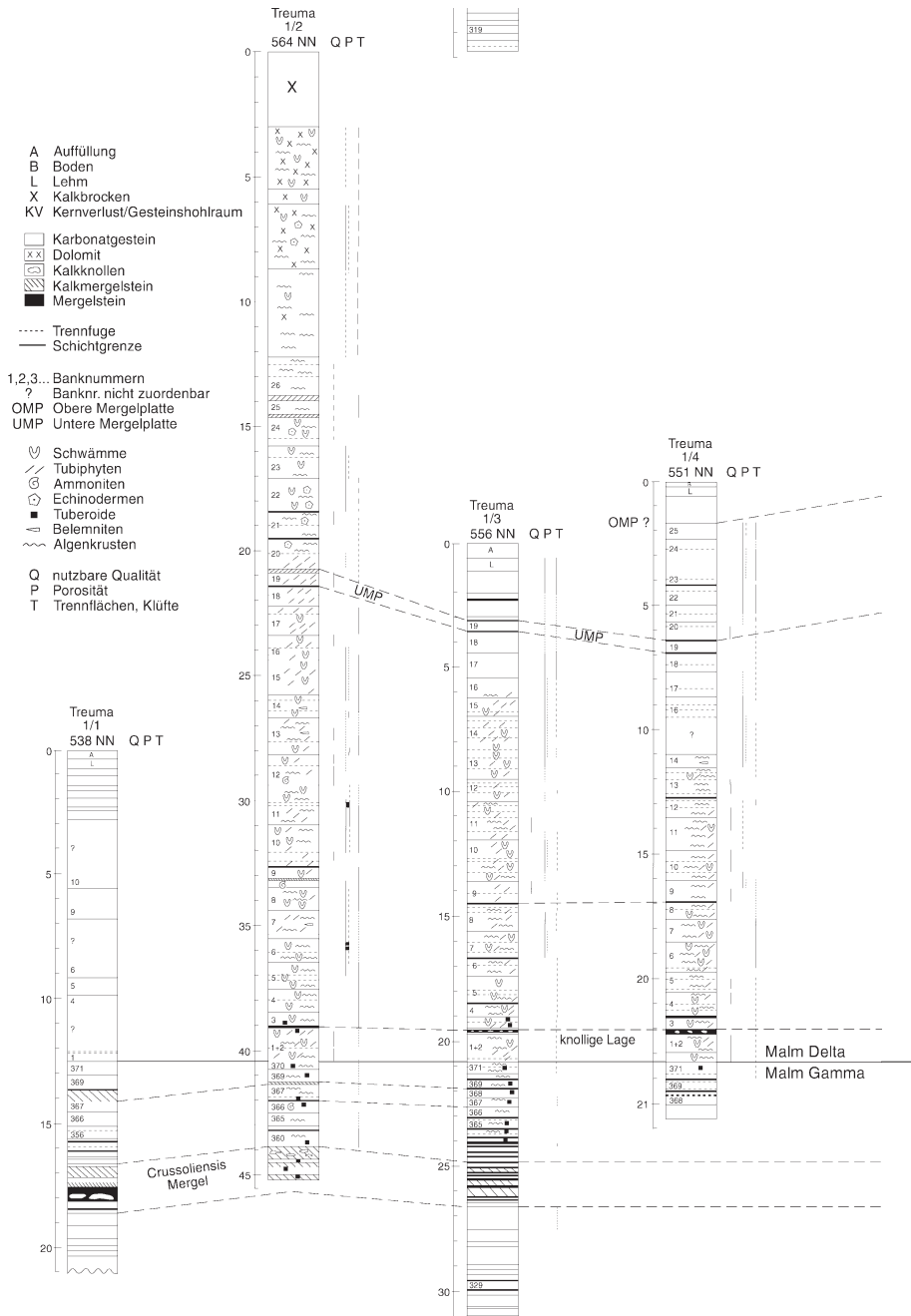
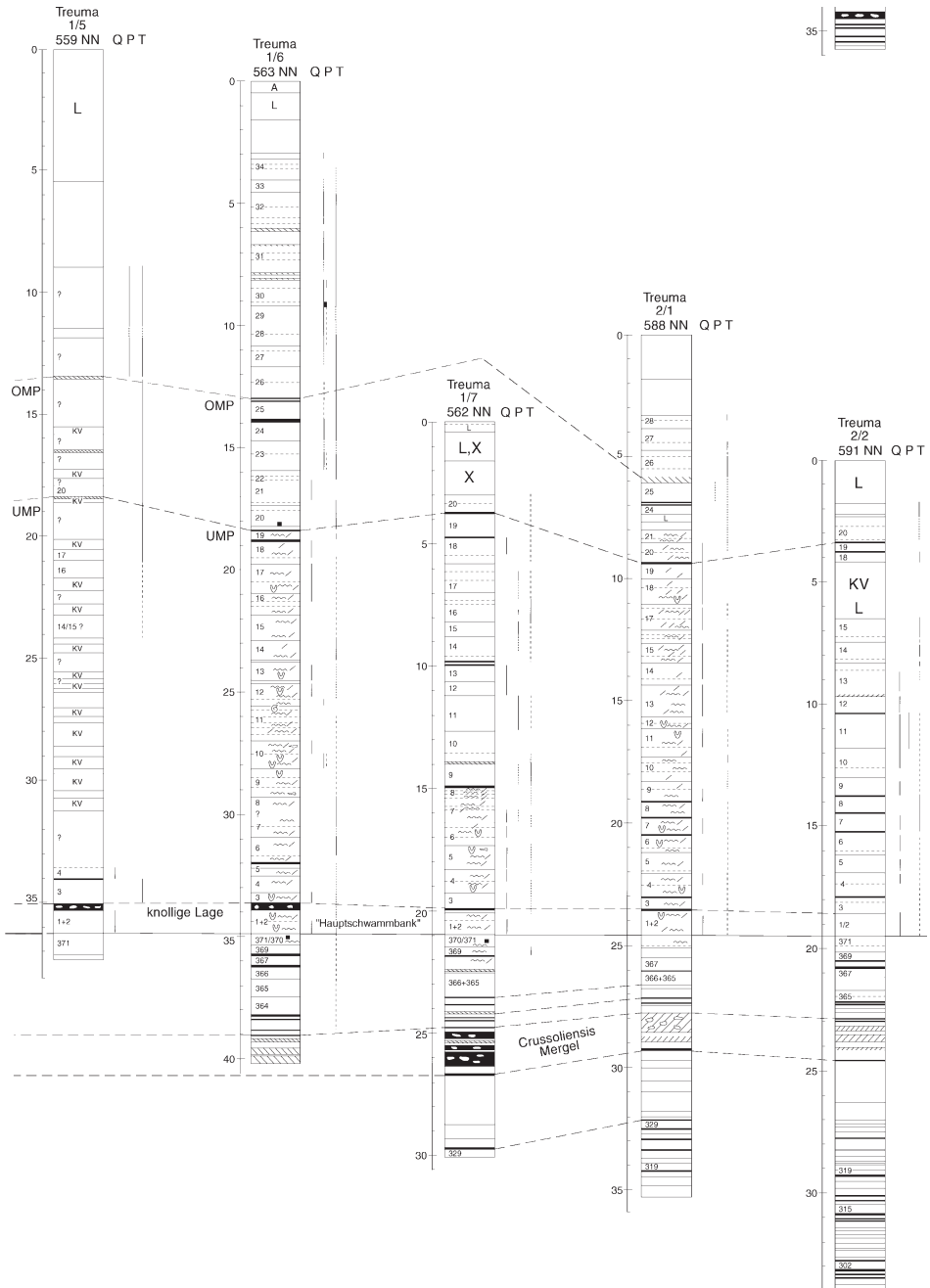


Abb. 6. Detailprofile der Erkundungsbohrungen normiert auf die Untergrenze des Treuchtlinger Marmors (stratigraphische Malm Gamma/Malm Delta-Grenze). – Fortsetzung der Abb. s. rechte Seite.



Fortsetzung von Abb. 6.

die bei einer Verarbeitung nutzbare Bankmächtigkeit auf ein unwirtschaftliches Maß reduzieren. Beide Phänomene sind aufgrund ihrer Genese nicht lokal begrenzt. Dies führt zu dem Schluß, daß im Bereich keiner der dort niedergebrachten Bohrungen ein nutzbares Vorkommen von Treuchtlinger Marmor zu erwarten ist. Einzig die im äußersten W und E gelegenen Bohrungen lassen die Möglichkeit der Nutzung offen, jedoch nur unter Vorbehalt, da eine (Treuma 1/1) über weite Strecken entlang einer Karstschlotte abgeteuft wurde und in der anderen (Treuma 1/7) mächtige, Abraum bildende Schichten angetroffen wurden.

Anderes zeigen die zwei Bohrungen Treuma 2/1 und 2/2, die im N des Forstes am Steinbuck niedergebracht wurden: Diese erbrachten aus Sicht der Rohstoffgeologie die besten Ergebnisse. Es konnten nicht nur die qualitativ hochwertigsten Bankkalke erbohrt werden. Ein Abbau wäre zudem, da das gesamte Vorkommen eine hügelartige Morphologie aufweist, von den Hangflanken her gezielt auf die untersten Bänke auszurichten, die eine höhere Bauwürdigkeit versprechen.

Zwei Ergebnisse der präsentierten Bohrungen erscheinen aus Sicht der Rohstoffgeologie wesentlich. Zum einen die konkrete Erkenntnis, daß in dem weiten Areal des Raitenbacher Forstes über weite Strecken kein Vorkommen des Treuchtlinger Marmors angetroffen wurde, das nach Qualität und Quantität für eine wirtschaftliche Nutzung in Frage käme. Zum anderen unterstreicht dieses Ergebnis die Wichtigkeit der Erkundung durch Aufschlußbohrungen von zwar geologisch durchaus richtig erfaßten, jedoch nicht erschlossenen Räumen, die oft vor-schnell als Rohstoffbasis gekennzeichnet werden. Im vorliegenden Fall reduziert sich das große als Treuchtlinger Marmor kartierte Gebiet auf begrenzte Areale, die als nutzbare Lagerstätte bezeichnet werden können. Dies stellt einen wichtigen Beitrag für die planerische Sicherheit bei der Beurteilung des tatsächlich vorhandenen Ressourcenpotentials dar.

## 5. Folgerungen aus den Erkundungsergebnissen

Die Ergebnisse der Rohstofferkundungen bilden die Grundlage für verschiedene Anwendungsbereiche.

Die Daten fließen ein in die Erstellung von Rohstoffkarten verschiedener Maßstäbe und sind damit ein wesentlicher Teil der rohstoffgeologischen und auch der geologischen Landesaufnahme. Sie erhellen Bau und Ausbildung des Untergrundes und liefern Informationen, die auch in anderen Anwendungsbereichen, so vor allem in der Hydrogeologie verwendbar sind. Die Ergebnisse sind außerdem eine wichtige Basis für Flächenvorschläge zur Rohstoffsicherung und geben damit im Konfliktfall Sicherheit bei der Abwägung hinsichtlich anderer Nutzungsansprüche.

Rohstoffgeologische Daten geben Kenntnis über die betriebliche Rohstoffbasis bzw. die Möglichkeiten der betrieblichen Weiterentwicklung. Aus den orientierenden Erkundungen und den dadurch angeregten, weiterführenden, firmenseitigen Detailerkundungen resultiert eine gesicherte, langfristige Rohstoffversorgung des Landes, die wesentliche Voraussetzung für Bestand und Weiterentwicklung von Wirtschaft und Infrastruktur ist.

Die Erkundungsergebnisse erlauben eine Beurteilung alternativer Möglichkeiten der Rohstoffgewinnung aus anderen Räumen oder aus anderen, bisher nicht genutzten Gesteinen. Negative Ergebnisse schaffen Klarheit hinsichtlich Bereichen und Vorkommen, die bis dahin als höflich oder sogar als nutzbar eingeschätzt wurden.



## 6. Literatur

- BANTZ, H.-U. (1970): Der Fossilinhalt des Treuchtlinger Marmors (Mittleres Unter-Kimmeridge der Südlichen Frankenalb). – Erlanger geol. Abh., **82**: 86 S., Erlangen.
- DOBNER, A. (1990): Tone bei Schmidmühlen. – In: HADAMITZKY, E., DOBNER, A., SCHMID, H., WEINIG, H., ENDLICHER, G., ROSE, D., FELBER, J., HEINRICH, P., PIEWAK, M. & VIERNSTEIN, M.: Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. – **1**: 54–60, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DOBNER, A. & ECKBAUER, M. (1998 a): Miozäne Tone bei Wertingen. – In: DOBNER, A., ECKBAUER, M., SPERLING, T. & ULBIG, A.: Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. – **3**: 24–27, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DOBNER, A. & ECKBAUER, M. (1998 b): Schluffig-tonige Tertiärsedimente bei Rötzing. – In: DOBNER, A., ECKBAUER, M., SPERLING, T. & ULBIG, A.: Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. – **3**: 11–14, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DOBNER, A., ECKBAUER, M., POSCHLOD, K., PÜRNER, T., ULBIG, A. & WEINIG, H. (1994): Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. – **2**: 87 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DOPPLER, G. (1989): Zur Stratigraphie der nördlichen Vorlandmolasse in Bayerisch-Schwaben. – *Geologica Bavarica*, **94**: 83–133, München.
- EMMERT, U. (1977): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6035 Bayreuth. – 180 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HADAMITZKY, E., DOBNER, A., SCHMID, H., WEINIG, H., ENDLICHER, G., ROSE, D., FELBER, J., HEINRICH, P., PIEWACK, M. & VIERNSTEIN, M. (1990): Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. – **1**: 125 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- KESSLER, G. (1973): Sedimentgeologische Untersuchungen im oberfränkischen Rhätolias. – Erlanger geol. Abh., **93**: 60 S., Erlangen.
- KOCH, R. (1999): Zur Geologie, Faziesverteilung und Porenraumgenese im Malm der Frankenalb. – *GSF-Ber.*, **4/99**: 30–38, Neuherberg.
- MEYER, R. K. F. & MIELKE, H. (1993): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6639 Wackersdorf. – 194 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- MEYER, R. K. F. & SCHMIDT-KALER, H. (1983): Erdgeschichte sichtbar gemacht. Ein geologischer Führer durch die Altmühlalb. – 260 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- MEYER, R. K. F., WAGNER, S. & WEINIG, H. (1999): Die Plattenkalke zwischen Solnhofen und Eichstätt: Fazieswechsel und Kalksteinabbau. – *Geologica Bavarica*, **105**: 201–215, München. – [Dieser Bd.]
- PÜRNER, T. & DOBNER, A. (1994): Sande und Mürlsandsteine des Mittleren Buntsandsteins in Oberfranken. – In: DOBNER, A., ECKBAUER, M., POSCHLOD, K., PÜRNER, T., ULBIG, A. & WEINIG, H. (1994): Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. – **2**: 10–17, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- PÜRNER, T. & WEINIG, H. (1994): Sande und Mürlsandsteine der Kreide in der Bodenwöhrer Senke und in angrenzenden Gebieten. – In: DOBNER, A., ECKBAUER, M., POSCHLOD, K., PÜRNER, T., ULBIG, A. & WEINIG, H. (1994): Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. – **2**: 18–38, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHMIDT-KALER, H. (1990): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7032 Bieswang. – 82 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SPERLING, T. & ECKBAUER, M. (1998): Miozäne Tone im Raum Pfarrkirchen. – In: DOBNER, A., ECKBAUER, M., SPERLING, T. & ULBIG, A.: Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. – **3**: 66–83, München (Bayer. Geol. L.-Amt).

- SPERLING, T., ULBIG, A. & ECKBAUER, M. (1998): Miozäne Tone im Raum Eggenfelden. – In: DOBNER, A., ECKBAUER, M., SPERLING, T. & ULBIG, A.: Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. – **3**: 55–65, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WEINIG, H. (1990): Burgsandsteinsande in Mittelfranken. – In: HADAMITZKY, E., DOBNER, A., SCHMID, H., WEINIG, H., ENDLICHER, G., ROSE, D., FELBER, J., HEINRICH, P., PIEWAK, M. & VIERNSTEIN, M.: Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. – **1**: 75–86, München (Bayer. Geol. L.-Amt).

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 20. 9. 1999.

# Hydrogeologische Landesaufnahme – Grundwasseruntersuchungen in Bayern

Von ROLF APEL, GEORG BÜTTNER, GEROLD W. DIEPOLDER und BERNHARD WAGNER

Mit 3 Abbildungen und 1 Tabelle

**Schlüsselworte:** Hydrogeologische Landesaufnahme – hydrogeologische Regionalgliederung Bayerns – Grundwasser – Grundwasserdeckschichten – Grundwassermarkierungsversuche – Numerische Modellierung

**Kurzfassung:** Die hydrogeologische Landesaufnahme wird am Bayerischen Geologischen Landesamt seit 1969 im Rahmen eines eigenständigen Referates bearbeitet. In einem kurzen Abriß werden die wichtigsten Grundwasserleiter Bayerns in ihren hydraulischen und hydrogeochemischen Eigenschaften beschrieben. Wesentliche Arbeiten und Ergebnisse der hydrogeologischen Landesaufnahme werden erläutert. Dazu zählen insbesondere die Bearbeitung der hydrogeologischen Fachbeiträge zur Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, die Erstellung von Karten der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung, die Durchführung und Auswertung von Grundwassermarkierungsversuchen, die Untersuchung der Stoffverlagerung und der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone mit Hilfe von numerischen Strömungsmodellen sowie die Erstellung von Gutachten zu speziellen Fragestellungen wie Thermal- und Mineralwasser-Erschließung oder Grundwassermodellierung.

## Hydrogeological survey – investigation of groundwater in Bavaria

**Keywords:** Hydrogeological survey – regional hydrogeology of Bavaria – groundwater – unsaturated zone – groundwater tracer experiments – numerical modeling

**Abstract:** The hydrogeological survey exists as a separate unit at the Bavarian Geological Survey since 1969. A brief description of the most important aquifers in Bavaria and their hydraulic and hydrogeochemical properties is given. The essential tasks and products of the hydrogeological survey are described. These are especially contributions of hydrogeology to regional water resources planning, production of maps of the protective effectiveness of the unsaturated zone, groundwater tracer experiments and their evaluation, investigations of solute migration and movement of water in the unsaturated zone with numerical simulation models as well as expert reports on special problems like the exploration of mineral and thermal waters or groundwater modeling.

## Inhalt

1. Einleitung .....	312
1.1. Hydrogeologische Aufgaben des Bayerischen Geologischen Landesamtes .....	312
1.2. Grundwasserdefinition .....	313
2. Grundwasservorkommen, Grundwasserstockwerke und Grundwasserbeschaffenheit in regionalen Teilgebieten Bayerns .....	314
3. Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung und Rahmenuntersuchung .....	320
4. Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung .....	322

5. Simulationsberechnungen zur Schadstoffverlagerung .....	323
6. Spezielle Grundwasseruntersuchungen .....	326
6.1. Grundwassermarkierungsversuche .....	326
6.1.1. Einführung .....	326
6.1.2. Beispiele für vom Bayerischen Geologischen Landesamt durchgeführte Grundwassermarkierungsversuche .....	327
6.2. Thermalwasser/Geothermie .....	328
6.3. Grundwassermodellierung im Zusammenhang mit Rohstoffabbau im Grundwasser .....	329
7. Literatur .....	330

## 1. Einleitung

### 1.1. Hydrogeologische Aufgaben des Bayerischen Geologischen Landesamtes

Dem Amt (GLA) obliegen nach dem Gesetz über die Aufgaben des Bayerischen Geologischen Landesamtes vom 27. Juli 1970 gemäß Artikel 2 die geowissenschaftliche Landesaufnahme u. a. auf dem Gebiet der Hydrogeologie sowie die Auswertung der Ergebnisse in der Weise, daß sie für Wirtschaft, Wissenschaft und Behörden nutzbringend werden. Auf dieser gesetzlichen Basis steht die hydrogeologische Landesaufnahme des Amtes. Hier werden im Rahmen der geologischen Kartierung die im jeweiligen Blattgebiet angetroffenen Grundwasserhältnisse aufgrund von Geländebefunden und archivierten Daten untersucht und beschrieben (sog. Hydro-Beiträge), wobei die Grundwasserleiter bzw. die Grundwasser-Stockwerke charakterisiert, die Grundwasserneubildungsraten ermittelt sowie die chemisch-physikalische Beschaffenheit der Grundwässer entsprechend des Parameterkataloges der „Großen Trinkwasseranalyse“ untersucht werden. Seit ca. 12 Jahren werden großenteils auch die Spurenstoffgehalte der Grundwässer untersucht und nach geogenen oder anthropogenen Bildungskriterien bewertet.

Von den wasserwirtschaftlich bedeutsamen Grundwasserlandschaften Bayerns werden im Maßstab 1 : 50 000 beispielhaft einzelne Karten der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung erarbeitet. Hierbei handelt es sich jeweils um eine auf der Geologie basierende hydrogeologische Grundlagenkarte sowie um die eigentliche Schutzfunktionskarte. Letztere stellt die Beschaffenheit der Grundwasserdeckschichten und deren Schutzwirkung für das Grundwasser dar.

Die Nachfrage nach modernen hydrogeologischen Karten ist zunehmend gewachsen, wobei sehr großes Interesse vor allem von seiten der Fachbehörden, der regionalen und kommunalen Planungsträger, der Hochschulen und Ingenieurbüros dem GLA angezeigt worden ist. Daher hat das Amt schon vor einigen Jahren mit der hydrogeologischen Kartierung bayernweit begonnen und bereits von einigen Blattgebieten hydrogeologische Spezialkartierungen im Maßstab 1 : 50 000 mit Erläuterungen und Profilen erstellt.

Um die hydrogeologische Kartierung in Bayern wirksam zu beschleunigen, beschreitet das GLA mit der geowissenschaftlichen Bearbeitung der gesamten Region 10, Ingolstadt, einen neuen Weg in der geowissenschaftlichen Landesaufnahme. Seit 1997 führt das GLA in dieser Region unter Verwendung von Sondermitteln des Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StLMU) umfangreiche, intensive geowissenschaftliche Untersuchungen mit dem Ziel durch, diese Region unter Einsatz moderner Bearbeitungsmethoden, basierend auf einer optimalen Datenauswertung, einer geologischen, hydrogeologischen, bodenkundlichen,

ingenieurgeologischen und lagerstättenkundlichen Bestandsaufnahme zu unterziehen. Als Ergebnis dieser 5 Jahre dauernden Schwerpunktarbeit soll ein spezielles bzw. spartenbezogenes Kartenwerk mit Profilen, Tabellen, Diagrammen und Erläuterungstexten entstehen, durch das die staatlichen, kommunalen und privaten Planungsträger optimal bedient werden können.

Auf dem Gebiet der Hydrogeologie sollen die hydraulischen Verhältnisse, insbesondere die Grundwasseroberfläche, die Grundwassermächtigkeiten und die Grundwasserfließrichtungen erkundet sowie die Grundwasserneubildung in definierten Teilgebieten ermittelt und die chemische Beschaffenheit der Grundwässer dieser Region näher untersucht werden. Vor dem Hintergrund der Grundwassernutzung bzw. der Abgrenzung von Reserven für die Trinkwassergewinnung einerseits und dem Grundwasserschutz andererseits kommen der Bearbeitung der hydrogeochemischen Verhältnisse sowie der Erkundung und der Bewertung der Grundwasserdeckschichten besondere Bedeutung zu. Das GLA hat an den wasserwirtschaftlichen Rahmenplanungen „Main“, „Naab-Regen“ und „Nördliche Frankenalb“ mitgewirkt und jeweils den Text des geologisch-hydrogeologischen Grundlagenbandes mit Karten, Profilen und Tabellen erstellt. In ähnlicher Weise war das GLA an der wasserwirtschaftlichen Rahmenuntersuchung der Flußgebiete Donau, Main, Isar und Salzach beteiligt. Durch diese Untersuchungen hat das GLA die Kenntnis über die hydrogeologischen Verhältnisse der behandelten Teilgebiete wesentlich verbessert.

F&E-Vorhaben sowie diverse andere Tätigkeiten im Fachgebiet Hydrogeologie haben eine Fülle von Daten und Teilergebnissen zu den Grundwasserverhältnissen aus sehr unterschiedlich bemessenen Projektgebieten erbracht, die vorrangig der hydrogeologischen Landesaufnahme zur Verfügung stehen und der Beantwortung spezieller Grundwasserfragen dienen können. An auf diese Projekte bezogenen Tätigkeiten sind u. a. zu nennen: Betreuung von zahlreichen Bohrungen zur Thermal- und Mineralwassererschließung in Bayern, Erforschung der Auswirkungen des Müllberges Großlappen auf das Grundwasser der Münchener Schotterebene, Untersuchung der Wechselwirkungen von Baggerseen und Grundwasser, Grundwasseruntersuchungen im Vorfeld des Baugeschehens zur Münchener S-Bahn, zum Münchener Großflughafen im Erdinger Moos und zum Main-Donau-Kanal.

Auf dem Gebiet der hydrogeologischen Forschung befaßt sich das Amt mit der Weiterentwicklung und Anwendung von Simulationsmodellen zur Wasser- und Stoffverlagerung im Untergrund. Die daraus entwickelten Methoden wurden bereits in zahlreichen Fällen erfolgreich angewandt.

Auf dem Gebiet der Hydrogeologie war und ist das Amt laufend zur Abgabe von Stellungnahmen und Berichten zu aktuellen Fragen für staatliche, kommunale und private Stellen aufgefordert und hat oft detaillierte fachliche Auskünfte und Empfehlungen zu erteilen.

## 1.2. Grundwasserdefinition

Grundwasser ist nach der DIN 4049 „unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschließlich oder nahezu ausschließlich von der Schwerkraft oder den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird“. Das Grundwasser ist ein Teil des Kreislaufs des Wassers auf der Erde, der durch eine „ständige Folge der Zustands- und Ortsveränderungen in Form von Niederschlag, Abfluß und Verdunstung“ (DIN 4049) charakterisiert ist. Der Wasserkreislauf (Abb. 1)

wird quantitativ in folgender Wasserbilanzgleichung, die auch als hydrologische Grundgleichung bezeichnet wird, ausgedrückt:  $N = A + V$  (1)  
wobei N den Niederschlag bezeichnet, A den Abfluß, der sich aus ober- und unterirdischem Abfluß zusammensetzt, und V die Verdunstung.

Der unterirdische Abfluß wird im humiden Klima überwiegend aus der Grundwasserneubildung gespeist, also aus dem flächenhaften Wassereintrag durch Niederschlag. Dies macht deutlich, daß ein effektiver Grundwasserschutz nur durch einen flächendeckenden Bodenschutz erreicht werden kann.

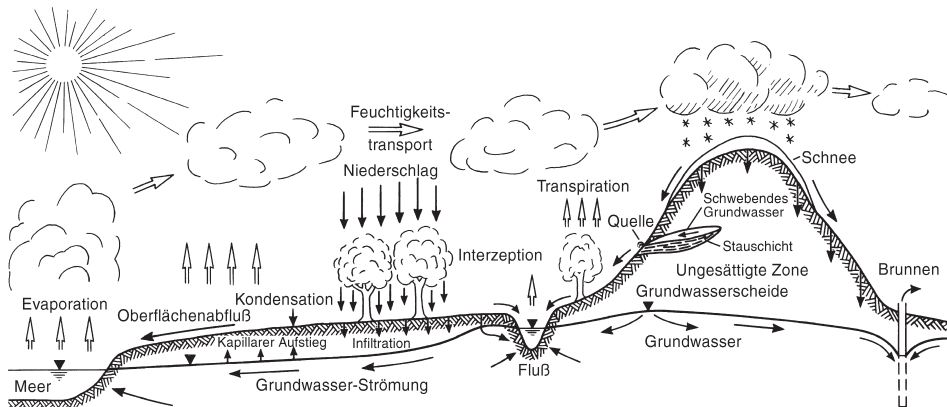


Abb. 1. Schematische Darstellung des Wasserkreislaufs.

## 2. Grundwasservorkommen, Grundwasserstockwerke und Grundwasserbeschaffenheit in regionalen Teilgebieten Bayerns

Das GLA bearbeitet im Rahmen der geologischen Kartierung seit 1969 auch die Grundwasserverhältnisse der jeweiligen Blattgebiete. Dazu werden hydrogeologische Geländearbeiten sowie Laboruntersuchungen durchgeführt und entsprechende Daten an den Ämtern, in den Kommunen und bei den privaten Unternehmen eingeholt und ausgewertet. Die Untersuchungsergebnisse werden in den Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000 zum jeweiligen Blattgebiet im Kapitel „Hydrogeologische Verhältnisse“ erläutert und dargestellt (Hydro-Beiträge). In den letzten 30 Jahren sind auf diese Weise von etwa 150 Blattgebieten Bayerns die Grundwasserverhältnisse mit modernen Methoden erkundet und beschrieben worden. Der Kenntnisstand über die Grundwasserverhältnisse Bayerns wurde außerdem durch die „Fachbeiträge Hydrogeologie“ zur wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung sowie durch zahlreiche, umfangreiche Projektbearbeitungen auf dem Fachgebiet Hydrogeologie ergänzt. Außerdem bezieht sich das GLA bei der Abgabe von Stellungnahmen zum Grundwasser bzw. bei der Erstellung von Prognosegutachten zur Tiefenwassererschließung oder zu ähnlichen Vorhaben auf diesen hydrogeologischen Sachstand. Als Ergebnis der hydrogeologischen Bearbeitungen werden nachfolgend die wasserwirtschaftlich wichtigsten Grundwasservorkommen bzw. Grundwasserstockwerke Bayerns vorgestellt und kurz charakterisiert.

Die Existenz von Grundwasser setzt ein angemessen großes Leitvermögen bzw. eine entsprechend wirksame Permeabilität voraus. Diese Durchlässigkeit wiederum erfordert eine entsprechend hohe Porosität. Solche Gesteinsverbände sind Grundwasserleiter. Gesteine mit sehr geringem Leitvermögen sind Grundwassernichtleiter. In Lockergesteinen bilden die Hohlräume zwischen den Gesteinspartikeln (z. B. Sandkörner) den Porenraum, wobei die vom Wasser durchfließbaren Poren als effektiver bzw. nutzbarer Porenraum bezeichnet werden, im Gegensatz zum Gesamtporenraum (absolute Porosität). Im Festgestein, z. B. Kalk-, Dolomit- und Kristallingestein, übernehmen weiträumig miteinander verbundene, wasserwegsame Klüfte und Fugen die Funktion, Grundwasser zu speichern und zu leiten. In Sandsteinen kann zudem die auf Trennflächen beruhende Permeabilität noch durch eine effektive Porosität im Gestein selbst ergänzt werden.

Ohne klar definierte Bedingungen bezeichnet man bereits die Existenz von Grundwasserkörpern als Grundwasservorkommen. Werden in einer Schichtenfolge mehrere Grundwasserleiter von schwer- bzw. nahezu undurchlässigen Schichten voneinander getrennt, so gliedert sich der grundwasserführende Schichtenverband in Grundwasserstockwerke. Die Grundwasserstockwerke, in denen sich das Grundwasser hydraulisch unterschiedlich verhalten kann, werden von oben nach unten gezählt.

In Bayern, wo hügelige, mittelgebirgige bis gebirgige Gelände- bzw. Landschaftsformen vorherrschen, wird in der Regel der großräumig zusammenhängende Grundwasserleiter, der mit einem Fluß bzw. mit einer Talfüllung als Vorflut in hydraulischem Kontakt steht, als Hauptgrundwasserleiter bezeichnet. In den meisten Fällen bildet dann dieser Hauptgrundwasserleiter das wasserwirtschaftlich bedeutsame Grundwasserstockwerk. Häufig sind in den höheren Lagen schwebende Grundwasserleiter ausgebildet, die sich jeweils über einer flächig begrenzten, schlecht durchlässigen Schicht befinden, welche deutlich über der Erosionsbasis bzw. über dem Vorflutniveau liegt (Oberes Grundwasserstockwerk). An den Rändern schwebender Grundwasserleiter kann v. a. in niederschlagsreichen Perioden das Grundwasser übertreten und in den Hauptgrundwasserleiter infiltrieren. Wenn die Sohle des schwebenden Grundwasserstockwerks am Talhang austreicht, kommt es meist zum Austritt intermittierender, seltener perennierender Quellen. In Abbildung 2 ist ein hydrogeologischer Profilschnitt durch das Blatt L 6738 Schwandorf gezeigt. Das Blatt ist lithologisch stark differenziert mit Kristallingesteinen, sedimentären Festgesteinen und Lockergesteinen.

Die wasserwirtschaftlich bedeutsamen Grundwasserstockwerke in Bayern lassen sich mittels vereinfachter geologischer Übersichtskarten lokalisieren. Die Kristallingesteine des Grundgebirges führen Grundwasser in sehr unterschiedlich ergiebigen Grundwasservorkommen. Die im Fichtelgebirge, im Oberpfälzer Wald und im Bayerischen Wald flächenhaft verbreiteten Gneise und Granite haben je nach Grad der Gesteinsauflockerung grundwasserleitende und grundwassernichtleitende Eigenschaften. Die Grundwasserführung beschränkt sich im wesentlichen auf die Zonen stärkerer Gesteinsklüftung, d. h. auf ein räumlich angeordnetes Netz von Klüften und Rissen sowie auf die vergrusteten Bereiche der Kristallinzersatzdecken. Je intensiver das Gestein durch Tektonik vorbelastet ist, um so ausgedehnter und speicherfähiger wird der Grundwasserleiter.

In frischem Zustand sind die Kristallingesteine dicht und wirken wasserundurchlässig. Die meisten Klüfte, vorwiegend Dehnungsklüfte, schließen sich mit zunehmender Tiefe. Deshalb bildet die weitgehend klüftfreie Zone des Kristallins im tieferen Untergrund die Grundwasser- sohle des Kristallin-Grundwasserstockwerks. Oberflächennah sind die Zersatzdecken häufig kaolinisiert bzw. stark verlehmt. Wenn derart bindig ausgebildete Zersatzdecken vorhanden

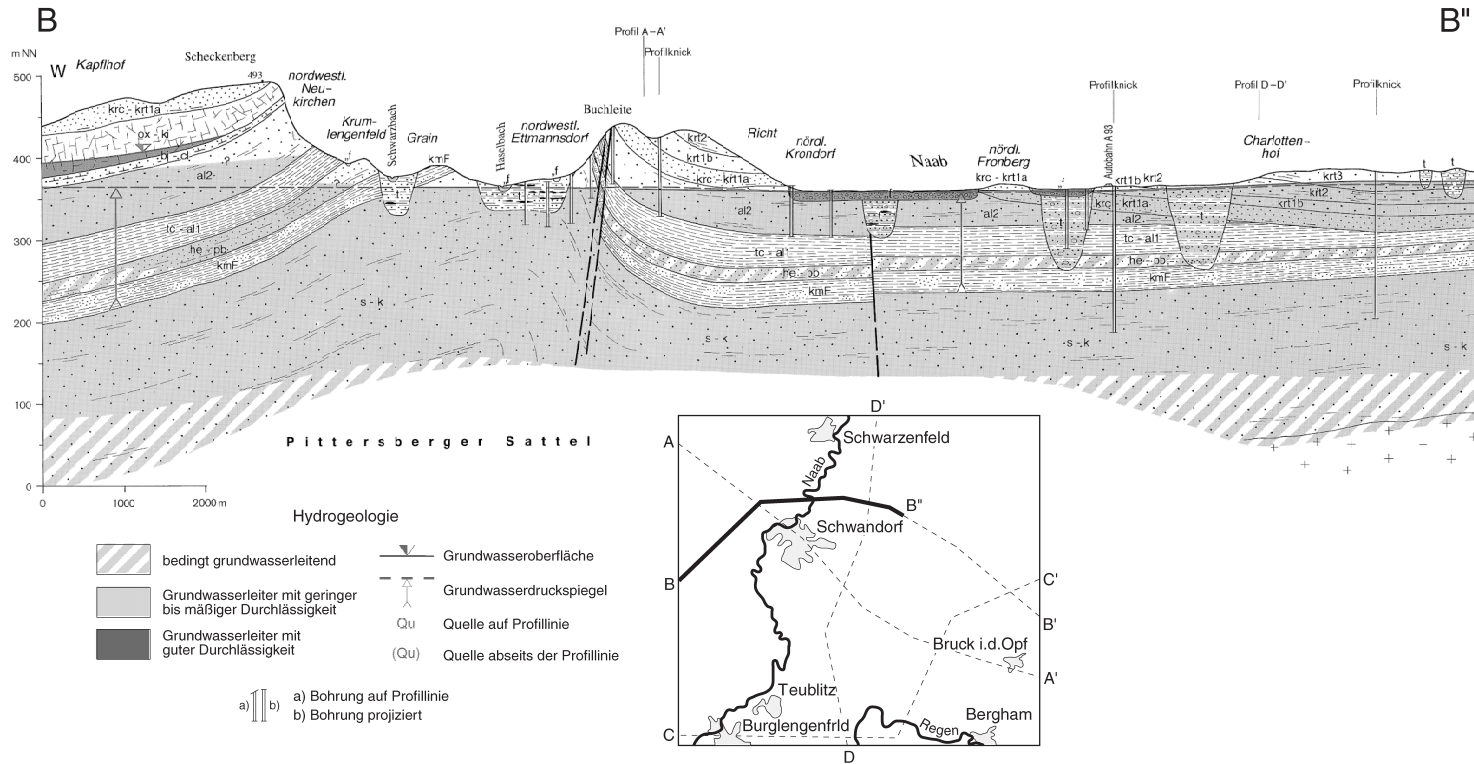


Abb. 2. Beispiel eines komplexen Grundwasserstockwerksbaus im Mesozoikum des Oberpfälzer Becken- und Hügellandes im Bereich des Blattes L 6738 Schwandorf. – Verkleinerter Ausschnitt des Profiles B–B'' in BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996 b).



sind, schirmen sie als Grundwasserdeckschicht den Grundwasserleiter gegen Oberflächeneinflüsse ab. Die meisten Quellen des Kristallins sind Stauquellen. Die Voraussetzungen zur Ausbildung eines weiträumig zusammenhängenden Grundwasserstockwerks sind nicht im gesamten Kristallinverbreitungsgebiet erfüllt. Wasserwirtschaftlichen Zwecken dienen zahlreiche, separate Grundwasservorkommen, die je nach Speicherkapazität mehr oder weniger den örtlichen Wasserbedarf decken. Darüber hinaus sind in den Kristallingebieten nur wenige Grundwasservorkommen wasserwirtschaftlich regional bedeutsam. Insgesamt wird das regionale Defizit bezüglich der Trinkwasserversorgung durch Fernwasser aus der Trinkwassertalsperre Frauenau und aus der Fernwasserversorgung Bayerischer Wald bei Plattling ausgeglichen. Die Grundwässer aus dem Kristallin und aus dem Kristallinersatz verzeichnen in der Regel geringe Lösungsinhalte, was sich durch relativ niedrige Werte der elektrischen Leitfähigkeit ( $\varnothing < 100 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) ausdrückt. Die Wässer sind weich bis sehr weich, weisen relativ hohe Kieselsäurekonzentrationen auf und gehören zum Wassertyp „Erdalkalische Süßwässer mit höherem Alkaligehalt, überwiegend sulfatisch bis chloridisch“. Die pH-Werte bewegen sich meist im leicht sauren Bereich. Dennoch liegen die Spurenstoffgehalte in der Regel unter der Nachweisgrenze bzw. bleiben unter dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung. Anthropogene Einflüsse lassen sich meist durch auffällige Parameteränderungen, insbesondere eine Erhöhung der Nitrat-, Chlorid- oder Sulfatgehalte, erkennen.

Die paläozoischen Schichten des Frankenwaldes sind durch den mehrfachen Wechsel von grundwasserleitenden und grundwassernichtleitenden Gesteinseinheiten gekennzeichnet. Die Gesteinsabfolgen bestehen hauptsächlich aus Tonschiefern, Kieselschiefern, Grauwacken, Sandsteinen, Konglomeraten und untergeordnet aus Karbonatgesteinen. Allgemein sind diese Gesteinsserien gering permeabel. Die sehr wechselhaften Lagerungsverhältnisse sind zudem einer weiträumigen Grundwasserströmung hinderlich. Deshalb sind im Frankenwald nur kleinräumige Grundwasservorkommen ausgebildet, die wegen des allgemein geringen Poren- und Kluftvolumens und der wechselhaften Lagerungsverhältnisse durchweg gering ergebnisreich und wasserwirtschaftlich nur für einzelne Ortschaften von Bedeutung sind. Die niedrige Grundwasserneubildungsrate gab in Verbindung mit einem relativ hohen Niederschlagsaufkommen den Anlaß zum Bau der Trinkwassertalsperre Mauthaus, die der Versorgung von Trinkwassermangelgebieten in Ober-, Mittel- und Unterfranken dient. Die paläozoischen Grundwässer sind allgemein niedrig mineralisiert und gehören zum Wassertyp „Erdalkalische Süßwässer, vorwiegend sulfatisch bis chloridisch“. Der Charakter der Grundwässer ist leicht sauer bis neutral.

Der Buntsandstein des Spessarts und der Rhön bildet ein wasserwirtschaftlich regional bis überregional bedeutsames Grundwasserstockwerk. Die Grundwassersole stellen die aus Tonsteinen und Schluffsteinen zusammengesetzten Bröckelschiefer dar, die den Zechstein vom darüberfolgenden Buntsandstein trennen. Das Zechstein-Grundwasser ist dort weiträumig salinar überprägt und wird daher nicht zu Trinkwasserzwecken erschlossen. Über dem Bröckelschiefer setzt eine sehr mächtige Wechselfolge aus Sandsteinen und Tonsteinen ein, die, soweit sie zum Unteren und Mittleren Buntsandstein zählt, hydrogeologisch den Hauptgrundwasserleiter darstellt. In Bezug auf die Wasserführung dominieren die Sandsteinschichten; die Tonsteinzwischenlagen können vom Grundwasser als weitgestreckte Linsen umflossen werden oder sie sind aufgrund von Klüften und Verwerfungen lokal durchlässig für den vertikalen Wasserdurchsatz. Im östlichen Spessart sowie in der südöstlichen Rhön ist in den höher gelegenen Bereichen noch der Obere Buntsandstein erhalten und wirkt dort als Grundwasserüberdeckung für den Hauptgrundwasserleiter. Andererseits ist der Obere Buntsandstein ein gutes Beispiel eines schwebenden Grundwasserstockwerks. Dort liegt der grundwasserlei-

tende Plattensandstein zwischen den undurchlässig wirkenden Chirotherienschiefern und den Unteren Röttonsteinen sowie der mäßig durchlässige Rötquarzit zwischen den Unteren Röttonsteinen und den Oberen Röttonsteinen. Neben zahlreichen intermittierenden Quellen entspringen dort auch etliche perennierende Quellen, was die dauerhafte Wasserführung dieses schwebenden Grundwasserstockwerks unterstreicht. Die Gesamtmineralisation der Wässer ist gesteinsbedingt relativ niedrig, wobei die Werte der elektrischen Leitfähigkeit meist unter 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  betragen. Es handelt sich um den Wassertyp „Erdalkalische Süßwässer, vorwiegend sulfatisch bis chloridisch“. Die Wässer sind weich bis sehr weich. Die pH-Werte schwanken zwischen 5 und 8. Die Spurenstoffkonzentrationen liegen deutlich unter den TVO-Grenzwerten.

Die an den Buntsandstein des Spessarts und der Südrhön anschließenden Fränkischen Platten sind geologisch vom Muschelkalk geprägt. In seiner vollen Ausbildung enthält der Muschelkalk drei Grundwasserstockwerke. Über den undurchlässig wirkenden Röttonsteinen folgen mikritische und sparitische Kalksteine mit dünnblättrigen Tonsteineinschaltungen des Unteren Muschelkalks. Grundwasserleitend sind vorwiegend die tektonisch stärker beanspruchten Bereiche, die ein teilweise verkarstetes Kluftgefüge aufweisen. Über stockwerkstrennenden Residualschluffen, Tonen und Mergeln bilden die Zellen- und Styolithenkalksteine sowie auch die Gelbkalklagen den Grundwasserleiter im Mittleren Muschelkalk. Bereichsweise ist der Mittlere Muschelkalk stark gipsführend, so daß der Mittlere Muschelkalk sulfatreiches Grundwasser führt und daher selten zur Wassergewinnung erschlossen wird. Die hydraulische Abtrennung zum Grundwasserleiter im Hauptmuschelkalk bilden Tonmergelsteine zusammen mit dem Zeller Tonhorizont. Mächtige, gut geklüftete Kalksteine verbunden mit Tonsteinzwischenlagen bilden diesen wasserwirtschaftlich wichtigsten Grundwasserleiter des Muschelkalks in Unterfranken. Die Grundwasserdeckschicht besteht aus mergelig-tonigen Schichten (u. a. Ostracodenton) der höchsten Partien des Oberen Muschelkalks. Im Raum Weiden und Grafenwöhr bis Bodenwöhr ist der Muschelkalk in typischer Randfazies ausgebildet. Er ist insgesamt weniger mächtig als im Triasbecken, besteht dort überwiegend aus Sandsteinen und wird hydrogeologisch mit den darunter lagernden Buntsandsteinschichten zusammengefaßt. Die Muschelkalkwässer sind stark mineralisiert, wobei die durchschnittliche elektrische Leitfähigkeit im Hauptmuschelkalk 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  beträgt. Sie sind als „Erdalkalische Süßwässer vorwiegend hydrogencarbonatisch bis hydrogencarbonatisch-sulfatisch“ zu typisieren. Diese Wässer sind sehr hart und reagieren neutral.

Im Keuper ist der Wechsel von durchlässigen und nicht durchlässigen Schichten besonders stark ausgeprägt. Der Untere Keuper wird nur örtlich zur Wasserversorgung herangezogen. Der Gipskeuper ist wenig wasserführend und weist meistens für die Trinkwassernutzung zu hohe Sulfatkonzentrationen auf. Somit spielt der Gipskeuper wasserwirtschaftlich keine Rolle. Davon ausgenommen ist das Verbreitungsgebiet des Benker Sandsteins, ein lokal bedeutsamer Grundwasserleiter innerhalb der Myophorienschichten im Raum Bayreuth–Nürnberg–Dinkelsbühl.

Der Sandsteinkeuper ist vor allem in der Sandsteinkeuperregion regional bedeutsam für die Trinkwasserversorgung. Dabei handelt es sich um ein Grundwasserstockwerk, dessen Grundwasserleiter durch zahlreiche Tonsteinschichten und großflächige Tonsteinlinsen untergliedert erscheint, jedoch bei der Wassererschließungen durch Bohrbrunnen wieder als hydrogeologische Einheit betrachtet wird. Die Lehrbergsschichten bilden die Grundwassersohle und der Feuerletten die Deckschicht des Sandsteinkeuper-Grundwasserstockwerks. Den Grundwasserleiter bilden der Blasensandstein i. e. S., der Coburger Sandstein sowie der Untere, Mittlere und Obere Burgsandstein. Somit ist diese hydrogeologische Einheit als ein mächtiger, tonig

durchsetzter Kluft-Poren-Grundwasserleiter von regionaler Bedeutung anzusehen. Hydrogeochemisch weisen die Grundwässer relativ viel gelöste Inhaltsstoffe auf und zeigen Werte der elektrischen Leitfähigkeit von durchschnittlich 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sie sind hart bis sehr hart und zählen zum Wassertyp „Erdalkalische Süßwässer, vorwiegend hydrogenkarbonatisch-sulfatisch“. Die pH-Werte bewegen sich knapp über 7, also im neutralen Bereich.

Die Frankenalb und die angrenzende Albrandregion sind das Verbreitungsgebiet des Jura. Die Lias-Schichten weisen einige gering mächtige Grundwasserleiter auf, sind aber kaum ergiebig und daher wasserwirtschaftlich nur von lokaler Bedeutung. Der Opalinuston des Dogger Alpha bildet die Grundwassersohle des Dogger-Grundwasserstockwerks. Grundwasserleiter ist im wesentlichen der Eisensandstein des Dogger Beta, ein mit Tonsteinlagen und eisenhaltigen Flözen durchzogener, mürber, kalkhaltiger Sandstein, der als Kluft-Poren-Grundwasserleiter zu bezeichnen ist. Die geringmächtigen Kalksandsteinbänke, Kalksteine und Mergelsteine des Mittleren Dogger sind durchlässig und ergänzen den Grundwasserleiter. Der Ornatenton des Dogger Zeta wirkt wasserundurchlässig und bildet sowohl die Grundwasserdeckschicht des Dogger-Grundwasserstockwerks als auch die Sohle des Malm-Karstwasserstockwerks. Der Malmkarst besteht vorwiegend aus Kalk- und Dolomitgesteinen in geschichteter bis massiger Fazies. Zwischengelagerte Kalkmergelsteine kommen hauptsächlich in den tieferen Malmschichten vor und hemmen den vertikalen Wasserdurchsatz. Sonst sind die Malmgesteine wechselnd stark geklüftet und von der Oberfläche ausgehend weitreichend verkarstet (Kluft-Karstgrundwasserleiter). Der Malmkarst verfügt nur bereichsweise über Deckschichten der Kreide, des Tertiärs bzw. des Quartärs und ist sonst unbedeckt. Er gliedert sich in tiefen Karst, Übergangszone und seichten Karst. Der tiefe Karst ist ein ergiebiger Grundwasserleiter von regionaler bis überregionaler Bedeutung. Die Städte Regensburg, Ingolstadt und Nürnberg sowie zahlreiche größere Wasserversorgungs-Zweckverbände betreiben Wasserwerke im Malmkarst. Im seichten Karst ist die Schützbarkeit des Karstwassers besonders problematisch. Dort und zum Teil auch in der Übergangszone existieren Brunnen, die Mischwasser aus dem Dogger und dem Malm fördern. Die Jura-Grundwässer sind mittelstark bis stark mineralisiert. Die elektrischen Leitfähigkeiten schwanken etwa zwischen 350 und 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Da der Doggersandstein silikatisch und karbonatisch gebunden ist, gehören die Doggerwässer zum gleichen Typ wie die Malmkarstwässer, nämlich „Erdalkalische Süßwässer, vorwiegend hydrogenkarbonatisch“. Es handelt sich um neutrale, mittelharte bis harte Wässer.

Von regionaler bis überregionaler Bedeutung ist auch das Kreide-Grundwasserstockwerk im Bereich der Vilsecker Mulde, der Bodenwöhrer- und der Freihölser Senke. Mürbe Sandsteine, Kalksandsteine und Sande sind grundwasserleitend. Präcenomane, undurchlässig wirkende Gesteinseinheiten des Erosionsreliefs, das durch die Kreidetransgression ausgefüllt worden ist, bilden die Grundwassersohle. Deckschichten sind nur teilweise in Form toniger Sande oder als Lehm vorhanden. Die Mineralisierung der Kreide-Grundwässer ist relativ gering, wobei die Werte der elektrischen Leitfähigkeit bis an 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  heranreichen. Die Wässer sind sehr weich bis weich und neutral. Sie sind als „Erdalkalische Süßwässer vorwiegend hydrogenkarbonatisch bis hydrogenkarbonatisch-sulfatisch“ zu typisieren.

Das Tertiär des Molassebeckens ist als bis über 4000 m mächtige Sedimentfolge ausgebildet. Dort finden sich ergiebige Grundwasserleiter praktisch nur im obersten Abschnitt, nämlich in der Oberen Süßwassermolasse. Im Bereich zwischen Isar und Inn beruht die starke Grundwasserführung auf der relativ guten Durchlässigkeit des sehr mächtigen (bis 200 m) Nördlichen Vollschotters, der den Hauptgrundwasserleiter bildet. Lithologisch handelt es sich um stark sandige Fein-, Mittel- und Grobkiese mit schluffigen bis tonigen sowie mergeligen

Einschaltungen. Der vertikale Wasserdurchsatz wird in dem mächtigen Grundwasserleiter durch die vielen Feinsedimenteinschaltungen, ähnlich wie im Sandsteinkeuper, stärker differenziert. Über den Vollschoffern, die höheren Geländeformen einnehmend, lagern, wesentlich schlechter durchlässig, die Moldanubische Serie, die Hangendserie sowie eine aus beiden gemischte Serie. Diese Serien bestehen aus Fein- bis Mittelkies und mehr oder weniger stark schluffigen Fein- bis Grobsanden mit Ton- und Mergeleinschaltungen. In der höher gelegenen Sedimentserie sind häufig schwebende Grundwasserstockwerke ausgebildet, die sich durch schwach schüttende Quellen in Hanglage zu erkennen geben und die häufig noch von privaten Einzelversorgern genutzt werden.

Das Äquivalent des Nördlichen Vollschoffers heißt östlich des Landshut-Neuöttinger-Hochs bzw. im Raum Pfarrkirchen Quarzschoffter. Die übrigen hydrogeologischen Verhältnisse sind annähernd gleich. Die Tertiär-Grundwässer sind allgemein mäßig stark bis stark mineralisiert, wobei die Werte der elektrischen Leitfähigkeit durchschnittlich 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  betragen. Im Verbreitungsgebiet der Quarzschoffter ist die Mineralisierung deutlich geringer. Typmäßig handelt es sich um „Erdalkalische Süßwässer, vorwiegend hydrogenkarbonatisch“. Die Wässer in Ostniederbayern sind vorwiegend chloridisch bis sulfatisch. Die Wässer sind mäßig hart bis hart und reagieren neutral.

Der Malmkarst im Molasseuntergrund stellt bezüglich der erreichten Erschließungstiefe das tiefste Grundwasserstockwerk in Bayern dar, in das bereichsweise Tiefbohrungen zur Gewinnung von Thermalwasser bzw. Erdwärme niedergebracht worden sind.

Die quartären Talfüllungen der größeren Flüsse Bayerns stellen zum Teil sehr ergiebige Grundwasservorkommen dar, deren wasserwirtschaftliche Nutzung jedoch verschiedentlich durch Besiedelungseinflüsse sowie durch Verkehrswege eingeschränkt ist. Auch das Gebiet der Münchner Schoffterebene stellt ein großes, zusammenhängendes Grundwasserstockwerk, das erhebliche Grundwassermengen beinhaltet, dar. Die schluffigen bis tonigen Feinsande (Flinz) an der Tertiäroberfläche bilden die Grundwassersohle. Die fluvioglazialen Schoffter vor dem Moränenrand sind Akkumulationssedimente, von zu Nagelfluh verfestigten Schofftern aus gänzlich- und mindelzeitlichen Deckenschofftern bis zu jüngeren Deckenschofftern bzw. Hochterrassen- und Niederterrassenschofftern. Diese sandigen Schoffter sind ein ausgezeichneter Grundwasserleiter, dessen Grundwasser nicht in ausreichendem Maße, vor allem nicht flächendeckend, durch bindige Deckschichten vor anthropogenen Einwirkungen geschützt ist.

Im Quartär des Alpenvorlandes existieren weitere, lokal begrenzte Grundwasservorkommen in ähnlicher Ausbildung. Die Grundwässer der quartären Deckenschoffter des Alpenvorlandes weisen allgemein eine geringe bis mittlere Mineralisation auf; die elektrischen Leitfähigkeiten liegen hier zwischen 350 und 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Es handelt sich um ziemlich harte bis harte Kalkschoffterwässer, die schwach alkalisch sind und sich im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befinden. Sie gehören zum Wassertyp „Normal erdalkalische Süßwässer, vorwiegend hydrogenkarbonatisch“.

### **3. Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung und Rahmenuntersuchung**

Die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung beschreibt die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse und zeigt die bestehende wasserwirtschaftliche Situation auf, weist auf etwaige Probleme in den Projekträumen hin und vermittelt Lösungsvorschläge. Grundlage der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung sind § 36 des Gesetzes zur Ordnung des Wasserhaushalts,

veröffentlicht im Bundesgesetzblatt vom 12. 08. 1957, und die Richtlinien des Bundes für die Aufstellung von wasserwirtschaftlichen Rahmenplänen vom 30. 05. 1984, in der Neufassung vom 23. 09. 1986.

Tabelle 1 zeigt die vom GLA im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen zwischen 1975 und 1996 erstellten hydrogeologischen Fachbeiträge zu wasserwirtschaftlichen Rahmenplänen bzw. Rahmenuntersuchungen.

Zur Durchführung dieser Aufgaben wurden dem GLA vom Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen Forschungsmittel zur Verfügung gestellt.

Die Untersuchungsgebiete wurden nach geologisch-hydrogeologischen Gesichtspunkten sowie in Anlehnung an die naturräumlichen Haupteinheiten in Bilanzräume untergliedert. Aus landesplanerischen Gründen wurden im Detail kommunale Grenzen berücksichtigt. Neben der quantitativen Darstellung des Grundwasserdargebots wurde vor allem bei den jüngeren Bearbeitungen qualitativen Fragestellungen besondere Bedeutung geschenkt. In diesem Zusammenhang sollte vor allem das Sonderforschungsprogramm „Spurenelemente im Grundwasser“ erwähnt werden, welches im Zuge der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung Main begonnen wurde und dessen methodische Ansätze im Zuge der hydrogeologischen Landesaufnahme fortgesetzt werden.

Die Untersuchungsergebnisse sind in zahlreichen Abbildungen (z. B. hydrogeologische Profilschnitte und Piperdiagramme zur Charakterisierung von Grundwassertypen) und Karten (z. B. Darstellung von generalisierten Grundwasseroberflächen, Darstellung von Grundwassermächtigkeiten, Informationen über Grundwasserdruckverhältnisse, Konzentrationsvertei-

*Tabelle 1:* Hydrogeologische Fachbeiträge des Bayerischen Geologischen Landesamtes zur wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung

Projektraum		Art der Untersuchung	Art des Berichtes	Zeitpunkt der Veröffentlichung
Isargebiet	Einzugsgebiet der Isar	Rahmenplan	Veröffentlichung des GLA (in BayStMLU)	1979a,b
Donau und Main	Talbereiche	Rahmenuntersuchung	Veröffentlichung des GLA	1980
Main	Bayerischer Anteil des Main-einzugsgebietes ausschließlich des Regnitz-einzugsgebietes	Rahmenplanung	Veröffentlichung des GLA	1993
	Bayerischer Anteil des Main-einzugsgebietes	Sonderforschungsprogramm „Spurenelemente im Grundwasser“	Unveröffentlichte Berichte des GLA (1989, 1990)	
Nördliche Frankenalb	Ausstrich der Jura-Gesteine in der Nördlichen Frankenalb	Sonderforschungsprogramm	Veröffentlichung des GLA	1995
Salzach	Talraum	Rahmenuntersuchung	Unveröffentlichter Bericht des GLA (1994)	
Naab-Regen	Einzugsgebiet von Naab und Regen sowie angrenzende Teilgebiete	Rahmenplanung	Veröffentlichung des GLA	1996 a

lung ausgewählter Inhaltsstoffe und physikalischer Parameter der Grundwässer, Information über Grundwasserneubildungsraten und über die Lage größerer bestehender bzw. geplanter Grundwassererschließungen) dargestellt sowie in einem Begleittext erläutert. Tabellen informieren beispielsweise über klimatische Verhältnisse der Teilgebiete, Zwischenschritte bei der Berechnung der Grundwasserneubildungsraten, Konzentrationen signifikanter Inhaltsstoffe und physikalische Eigenschaften der unterschiedlichen Grundwassertypen.

Abschließend wurden die Bilanzräume hinsichtlich der Quantität des hier anzutreffenden Grundwassers und seiner Qualität beurteilt; es wurden (bestehende und/oder zu erwartende) Versorgungengpässe aufgezeigt und es wurde auf potentielle Erschließungsmöglichkeiten hingewiesen. Die vom GLA erstellten hydrogeologischen Fachbeiträge zur wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung bzw. -untersuchung stellen somit ein wichtiges Instrument bei der Beurteilung der aktuellen Grundwassergewinnungssituation bzw. bei der Bewertung potentieller Grundwassererschließungen durch andere Fachbehörden bzw. kommunale Träger dar.

#### 4. Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung

Die Sicherung der Qualität des Trinkwassers ist eine der wichtigsten Aufgaben im heutigen Umweltschutz. Da das Trinkwasser in Bayern zu rund 95% aus dem Grundwasser gewonnen wird, ist die Bewahrung der natürlichen Beschaffenheit dieses Wasserreservoirs von besonderer Bedeutung. Unter den zahlreichen möglichen Ursachen für die Beeinträchtigung der Grundwasserqualität verlieren infolge verbesserter Umwelttechnik punktuelle Schadstoffquellen zunehmend an Wirkung. Belastungen des Wasserhaushalts erfolgen heute vorwiegend flächenhaft, insbesondere durch diffuse Stoffeinträge aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung, aus gasförmigen Emissionen über den Luftpfad und die Abschwemmungen von Verkehrsflächen. Ein vorsorgender Grundwasserschutz muß daher flächendeckend sein.

Wesentliche Voraussetzung für einen vorbeugenden Grundwasserschutz sind möglichst genaue, flächendeckende Kenntnisse sowohl der hydrogeologischen Verhältnisse als auch über den Aufbau und die Eigenschaften der Grundwasserdeckschichten. Es besteht daher ein zunehmender Bedarf an Kartenwerken, in denen diese Gegebenheiten dargestellt und interpretiert werden. Aus diesem Bedarf heraus wurde in Abstimmung mit dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft und in Zusammenarbeit mit den geologischen Diensten anderer Bundesländer Anfang der 90er Jahre ein Bewertungsverfahren entwickelt, das eine flächenhafte Beurteilung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung ohne zusätzlichen Untersuchungsaufwand erlaubt (HÖLTING et al. 1995; DIEPOLDER 1995).

Bei der Erarbeitung dieser Methode war zu berücksichtigen, daß viele Parameter, die die Schutzfunktion oder Filterwirkung der Grundwasserüberdeckung beeinflussen, häufig nur unzureichend bekannt sind, insbesondere bei großflächigen Bearbeitungen. Auch liegen über das Abbau- und Umsetzungsverhalten der zahlreichen potentiellen Schadstoffe im Untergrund meist nur geringe Kenntnisse vor. Das Bewertungsverfahren stützt sich daher ausschließlich auf Kriterien, die aus geologischen, bodenkundlichen und klimatologischen Standard-Informationsquellen ableitbar sind. Dabei wird die Wirksamkeit mechanischer, physiko-chemischer und mikrobieller Prozesse bei der Passage von Sickerwasser durch die Grundwasserüberdeckung maßgeblich von der Verweildauer im Untergrund beeinflusst.

Die Abschätzung der Schutzfunktion erfolgt mittels eines dimensionslosen Punktesystems, wobei folgende Einzelparameter bewertet werden:

- Durchlässigkeit bzw. Speicherfähigkeit des Bodens (s. s.), basierend auf der nutzbaren Feldkapazität (nFK) in der effektiven Durchwurzelungstiefe (= Punktwert B)
- Durchlässigkeit aller unterschiedlichen Einzelschichten der tieferen ungesättigten Zone, abgeleitet aus dem Feinkornanteil bei Lockergesteinen bzw. den petrographischen und strukturellen Eigenschaften bei Festgesteinen (= Punktwert G), unter Berücksichtigung der jeweiligen Schichtmächtigkeiten (= Faktor m)
- Sickerwasserrate auf der Grundlage des langjährigen Mittels der klimatischen Wasserbilanz ( $N-ETP_{pot}$ ) (= Faktor W)
- besondere hydrogeologische Situationen, die einen zusätzlichen Schutz des bewerteten Hauptgrundwasser-Stockwerks darstellen, wie schwebende Grundwasserstockwerke mit Quellen (= Zuschlag Q) oder artesische Druckverhältnisse (= Zuschlag D)

Die aus der Verrechnung der Punktwerte aller berücksichtigten Einzelparameter bzw. – bei flächenhafter Betrachtung – aus der Verschneidung dementsprechend diskretisierter Homogenitätsbereiche nach dem Algorithmus

$$S = (B + \sum_{i=1}^n G_i \cdot m_i) \cdot W + Q + D \quad (2)$$

resultierende Punktsumme S repräsentiert einen dimensionslosen Relativwert der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Dieser wird 5 subjektiv gegeneinander abgegrenzten Werteintervallen (Schutzfunktionsklassen) zugeordnet, die Größenordnungen der Verweildauer des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung von wenigen Tagen bis zu mehr als 25 Jahren entsprechen.

Die Darstellung der Schutzfunktionsklassen in Karten erfolgt mittels Flächenfarben entsprechend der allgemein üblichen Darstellung von Gefahrenklassen, von Rot für die geringste Schutzfunktion über Gelb zu Dunkelgrün für die höchste Schutzfunktionsklasse. Darüber hinaus sind in den Karten auch die räumlichen Verteilungen der wesentlichen, in das Bewertungsverfahren eingehenden Parameter eingetragen.

Durch flächendifferenzierte Umsetzung des Bewertungsverfahrens mittels eines geographischen Informationssystems wurden am GLA insgesamt sieben Schutzfunktionskarten im Maßstab 1:50 000 für unterschiedliche Grundwasserlandschaften Bayerns erstellt. Plausibilitätsüberprüfungen ergaben dabei eine gute Übereinstimmung zwischen den nach dem beschriebenen Verfahren ermittelten Schutzfunktionsklassen und den an verschiedenen Grundwasseraufschlüssen gemessenen Indikatoren für anthropogene Belastungen des Grundwassers (insbesondere elektrische Leitfähigkeit, Chlorid-, Sulfat- und Nitratkonzentrationen).

## 5. Simulationsberechnungen zur Schadstoffverlagerung

Im Sickerwasser gelöste Stoffe können, sofern sie bis zum Grundwasser gelangen, einen nachteiligen Einfluß auf die Grundwasserqualität haben. Hierbei kommt der Grundwasserüberdeckung eine Filterwirkung zu, da das Sickerwasser bei der Untergrundpassage aufgrund von Abbau und Retention gereinigt werden kann. Dabei verhalten sich die unterschiedlichen Stoffgruppen deutlich verschieden: Z. B. wird Nitrat, das zum größten Teil auf Einträge aus der

Landwirtschaft und auf flächenhaften Eintrag aus dem  $\text{NO}_x$ -Ausstoß von Verbrennungsmotoren zurückzuführen ist, im Untergrund organisch abgebaut, nicht jedoch adsorbiert. Pestizide werden im Boden adsorbiert und unterliegen in der Regel einem Abbau. Schwermetalle werden nicht abgebaut, werden jedoch meist stark adsorbiert.

Aufgrund der unterschiedlichen Stoffeigenschaften ist zur Beurteilung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung eine möglichst gute Kenntnis der Dynamik des Verhaltens der wesentlichen Schadstoffgruppen während der Passage durch die ungesättigte Zone erforderlich. Hierzu wurde am GLA das Stofftransportmodell FLOTRA für die Berechnung des Wasser- und Stofftransportes in der ungesättigten Zone entwickelt (WAGNER et al. 1997; WAGNER 1999), das anhand umfangreicher Meßdaten verifiziert und kalibriert wurde.

#### Berechnung des Wasser- und Stofftransportes in der ungesättigten Zone

Der Wasserfluß in der ungesättigten Zone entlang einer Wegstrecke  $\Delta z$  errechnet sich in Analogie zum Darcyschen Gesetz zu:

$$q = -K(\theta) \frac{\Delta h}{\Delta z} \quad (3)$$

$q$  = Wasserflußdichte [m/s]

$K(\theta)$  = ungesättigte Wasserleitfähigkeit [m/s]

$h$  = Matrixpotential [m]

$z$  = Wegstrecke [m]

Im Unterschied zum Darcyschen Gesetz für den Fluß im wassergesättigten Bereich ist hier die Wasserleitfähigkeit  $K$  vom Wassergehalt  $\theta$  abhängig.

RICHARDS (1931) leitete aus Gleichung 3 die folgende partielle parabolische Differentialgleichung zur Berechnung der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone ab (Richards-Gleichung):

$$\frac{\partial \theta}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K(\theta) \left( \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \quad (4)$$

$\theta$  = vol. Wassergehalt [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]

$t$  = Zeit [s]

Gleichung 4 berücksichtigt nur gravitatives und Matrixpotential. Weiterhin wird hier nur der vertikale Wasserfluß betrachtet. Bei Berücksichtigung von Konvektion und hydrodynamischer Dispersion sowie unter der Annahme einer Beteiligung aller Porengrößenbereiche am Wasserfluß läßt sich der Transport eines linear adsorbierbaren Stoffes mit der folgenden partiellen Differentialgleichung, die als klassische Konvektions-Dispersionsgleichung (z. B. NIELSEN et al. 1986) bekannt ist, beschreiben:

$$(\theta + \rho k_d c) \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (\theta D \frac{\partial c}{\partial z} - qc) + Q \quad (5)$$

$\rho$  = Lagerungsdichte [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$k_d$  = Ausgleichskoeffizient [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]

$c$  = Stoffkonzentration [ $\text{mg}/\text{l}$ ]

$D$  = hydrodynamische Dispersion [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

$Q$  = Quellen-/Senkenterm [ $\text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ ]

Für die Berechnung der Verlagerung von konservativen Stoffen wird der Ausgleichskoeffizient  $k_d$  zu null gesetzt.



Der hydrodynamische Dispersionskoeffizient erhält die Form (NIELSEN et al. 1986):

$$D = D_0\tau + \lambda |v|^n \quad (6)$$

$D_0$  = Diffusion in Wasser [m<sup>2</sup>/s]

$\tau$  = Impedanzfaktor [-]

$\lambda$  = Dispersionslänge [m]

$v$  = Abstandsgeschwindigkeit [m/s]

$n$  = Exponentialkoeffizient

Der hauptsächlich vom Wassergehalt abhängige Impedanzfaktor  $\tau$  gibt den Faktor der im porösen Medium im Vergleich zum freien Wasser verminderten Diffusionsrate an.  $\lambda$  bezeichnet die Dispersionslänge und ist boden- sowie skalenabhängig.

Da in Gleichung 5 von einer vollständigen Verdrängung des Bodenwassers durch nachsickerndes Wasser ausgegangen wird (Piston-flow-Modell), führt die Berechnung der Stoffverlagerung nach Gleichung 5 zu einer symmetrischen Auslängung von Stoffkonzentrationen. Tatsächlich klingen jedoch die Durchbruchkurven oft allmählich ab (tailing). Dies wird auf immobile Wasseranteile zurückgeführt, die als Quelle/Senke fungieren. VAN GENUCHTEN & WIERENGA (1976) stellen eine Erweiterung von Gleichung 5 zur Berücksichtigung mobiler/immobiler Wasseranteile (Mobil-immobil-Modell) auf. Dabei wird eine Stoffkonzentration  $c_m$  im mobilen Wasseranteil  $\theta_m$  und eine Stoffkonzentration  $c_{im}$  im immobilen Wasseranteil  $\theta_{im}$  berechnet:

$$(\theta_m + f\rho k_d c_m) \frac{\partial c_m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (\theta_m D \frac{\partial c_m}{\partial z} - qc_m) - \alpha(c_m - c_{im}) + Q \quad (7)$$

$$(\theta_{im} + (1-f)\rho k_d c_{im}) \frac{\partial c_{im}}{\partial t} = \alpha(c_m - c_{im}) + Q \quad (8)$$

$f$  = Volumenanteil [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]

$\alpha$  = Austauschfaktor [1/s]

Der Stoffaustausch zwischen mobilem und immobilem Wasseranteil wird als Reaktion 1. Ordnung mit  $\alpha$  als Austauschparameter berechnet.

Die Lösung der obigen Differentialgleichungen für den Wasser- und Stofftransport in wasserungesättigten Lockergesteinen erfolgt in FLOTRA mit der Finiten-Differenzen-Methode (FDM).

Die Berechnung der Grundwasserneubildung erfolgt nach dem Ansatz von HAUDE (1955), wobei kulturspezifisch unterschiedliche Wasserentzugsfaktoren zur Auswahl stehen. Die hydraulischen Kennwerte der einzelnen Bodenkompimente können nach unterschiedlichen Modellen aus den bodenphysikalischen Standardkennwerten (insbesondere Korngrößenverteilung und Lagerungsdichte) abgeschätzt werden (WAGNER et al. 1998). Bezüglich der Stoffeigenschaften werden berücksichtigt: stoffspezifische Diffusionskoeffizienten, Henrysche und Freundlichsche Adsorption, irreversible Adsorption und kinetischer Abbau 1. Ordnung.

Die vorgenommenen Untersuchungen beinhalten Nitrat (FUNK et al. 1995), die Pestizide Atrazin (WAGNER et al. 1995) und Terbutylazin (WAGNER & SUTTNER 1995) sowie Schwermetalle (Cd, Ni, Cu). Es wurden sowohl Laborsäulenversuche mit festen Randbedingungen als auch Freilandversuche durchgeführt.

Die aus den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen eine bessere Beurteilung der Filterwirkung der ungesättigten Zone und erlauben die Verifizierung bzw. Verfeine-

zung der Methode zur Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (s. auch DIEPOLDER 1995; WAGNER 1995).

## 6. Spezielle Grundwasseruntersuchungen

### 6.1. Grundwassermarkierungsversuche

#### 6.1.1. Einführung

Mit Markierungsversuchen können die Grundwasserströmungsverhältnisse sowie die Fließrichtungen und Fließgeschwindigkeiten erkundet werden. Die Ergebnisse ermöglichen es, unterirdische Einzugsgebiete abzugrenzen und Grundwasserscheiden genauer zu lokalisieren. Die Tracerrückgewinnungsmengen erlauben Rückschlüsse auf die Verdünnung potentieller Schadstoffe. Hierdurch können Gefährdungspotentiale beispielsweise durch Altablagerungen oder durch Abwassereinleitungen abgeschätzt werden. Grundwassermarkierungsversuche werden in der Grundwassererkundung und Trinkwassererschließung, bei der Abwasserentsorgung und Deponie-Standortwahl sowie bei der Verkehrswegeplanung (insbesondere beim Bau von Autobahnen und Bundesstraßen in sensiblen Trinkwassereinzugsgebieten) vorgenommen.

Die Tracer müssen für eine Verwendung im Trinkwasser unbedenklich, gut wasserlöslich und in großer Verdünnung noch nachweisbar sein. Darüber hinaus ist es von Vorteil, wenn die eingesetzten Stoffe primär nicht oder nur in Spuren im Grundwasser vorhanden sind. Als mögliche Tracer kommen vor allem Salze (insbesondere Natrium- und Kaliumchlorid sowie Kaliumbromid), radioaktive Substanzen mit kurzer Halbwertszeit, Fluoreszenzfarbstoffe sowie Sporen in Betracht. Dabei bleibt die Anwendung von Sporen auf Karstgebiete beschränkt.

Am GLA werden seit einigen Jahrzehnten Grundwassermarkierungsversuche mit Fluoreszenztracern durchgeführt. Diese haben folgende Vorteile:

- sie sind in den verwendeten Konzentrationen als gesundheitlich unbedenklich eingestuft
- sie sind gut im Wasser löslich
- sie werden meist nur gering vom Gestein adsorbiert
- sie sind in Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleitern einsetzbar
- sie können mit den geeigneten Methoden noch in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen werden

Die Tracereingabe kann im ungesättigten Bereich vielfältig, d. h. auf jeglichem Sickerpfad erfolgen, wie z. B. in einem Erdfall bzw. einer Doline (Karst), über einer Versickerungsfläche oder entlang eines Grabens, in einer offenen Spalte eines Steinbruchs oder in einem Schurf (Baggerloch etc.). Hierfür wird das Sickerverhalten der Eingabestelle vor der eigentlichen Eingabe durch Sickertests überprüft. Daneben kann der Tracer auch über eine Grundwassermeßstelle direkt in das Grundwasser eingespeist werden.

Die Probenahme erfolgt an Quellen, Brunnen (Wasserversorgungen und Brauchwasserentnahmen) und Oberflächengewässern. Vor Versuchsbeginn werden an den Meßstellen Nullproben gezogen, um die Untergrundbelastung durch Fluoreszenzfarbstoffe festzustellen. Dies ist vor allem beim Einsatz des Tracers Uranin und der Beprobung von Oberflächengewässern (bzw. Grundwasserentnahmen, in deren Einzugsgebieten Versickerungen häuslicher Abwässer liegen) unabdingbar.

### 6.1.2. Beispiele für vom Bayerischen Geologischen Landesamt durchgeführte Grundwassermarkierungsversuche

#### Markierungsversuche im Karst der Nördlichen Frankenalb

Das GLA hat mit etwa 40 Karstwassermarkierungsversuchen zwischen 1986 und 1995 zur hydrogeologischen und hydraulischen Erkundung der Nördlichen Frankenalb beigetragen. Das Untersuchungsprogramm wurde zum überwiegenden Teil im Zuge der Untersuchungen zum Fachbeitrag Hydrogeologie der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung (Nördliche Frankenalb) begonnen und im Rahmen von Erkundungen des Gefährdungspotentials von Abwassereinleitungen in Zusammenarbeit mit dem Sachgebiet „Gewässerschutz einschließlich Fachplanungen in den Regierungsbezirken Ober-, Mittel- und Unterfranken“ des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (LfW) fortgeführt.

Mit den Untersuchungen, die im Zuge der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung durchgeführt wurden, sollten vornehmlich unterirdische Wasserscheiden erfaßt und ihre Lageveränderung bei verschiedenen Grundwasserständen überprüft werden. Darüber hinaus wurde versucht, die Auswirkung potentieller Schadstoffe auf Gebiete mit großer Grundwassermächtigkeit abzuschätzen. Daher fanden die Tracereingaben vor allem in den tektonischen Muldenzonen (in der Hollfelder und in der Veldensteiner Mulde) des tiefen Karstes statt. Die Einspeisungsstellen lagen meist nahe der vermuteten Grundwasserscheiden; die Tracereingabe erfolgte in Dolinen und Trockentälern, in denen teilweise auch Abwässer versickerten.

Bei der Überprüfung von Gefährdungspotentialen durch häusliche Abwässer lagen die Untersuchungsschwerpunkte im Umfeld von Gräfenberg, Kasendorf, Mittelehrenbach, Weismain und Weidensees. Mit Ausnahme der Lokalität Weidensees lagen die Eingabepunkte an den Rändern von tektonischen Muldenzonen. Die Grundwassermächtigkeiten betragen dort meist weniger als 100 m. Teilweise zählen diese Gebiete zum seichten Karst. In Hiltpoltstein wurden gleichzeitig flächig versprühtes Abwasser und Trinkwasser, das in eine nur knapp einen Kilometer entfernte Doline eingespeist wurde, markiert. Mit dieser Versuchsanordnung sollten punktuelle Einträge in Dolinen mit Flächenversickerungen über ungestörter Ablehndecke (verzögerte Verdriftung) verglichen werden.

Im Zuge des Ausbaues der Bundesautobahnen (BAB) A 9 und A 70 wurde ebenfalls zusammen mit dem LfW entlang der Bauabschnitte Hormersdorf–Pegnitz und Roßdorf a. B.–Thurnau die Verdriftung von Straßenabwässern an im Bau bzw. an Standorten von in Planung befindlichen Versickerungsbecken überprüft. Dabei quert die BAB A 70 die nördliche Hollfelder Mulde in E–W-Richtung, die BAB A 9 die Veldensteiner Mulde in N–S-Richtung. Die Tracereingabestellen befanden sich häufig im Umfeld vermuteter Grundwasserscheiden, in der Regel im tiefen Karst. Die Ergebnisse dieser Untersuchung fanden bei der Bauausführung Berücksichtigung und dienten dazu, den Grundwasserschutz zu optimieren.

#### Markierungsversuche in geklüfteten Sandsteinen

Im Zuge der Bearbeitung des Fachbeitrages Hydrogeologie zum wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Main wurden vor allem im Buntsandstein-Spessart und in der Südrhön Gebiete mit relativ hohen Grundwasserneubildungsraten erfaßt. An Hand der Bilanzierung wurde vermutet, daß ein Teil des im Ausstrich des Buntsandsteins neugebildeten Grundwassers nicht in Quellen austritt oder in Bäche infiltriert, sondern unterirdisch dem Hauptvorfluter Main zuströmt. Derartige Anströmungsbereiche, gepaart mit entsprechender Bruchtektonik, könnten

als potentielle Erschließungsgebiete betrachtet werden. Um die vermuteten hydraulischen Zusammenhänge im Ausstrich des Buntsandsteins überprüfen zu können, führte das GLA in zwei Teilgebieten des Spessarts, im Umfeld des Wagenbachtals sowie im Raum Kleinwallstadt–Eschau–Großheubach 1990 mehrere Grundwassermarkierungsversuche durch. Aufgrund dieser Ergebnisse entschied man sich, im westlichen Spessart drei Schrägbohrungen niederzubringen. Im Zuge dieses Bohrprogrammes, das gemeinsam vom GLA und dem LfW betreut worden ist, wurden 1992 und 1993 weitere Grundwassermarkierungsversuche vorgenommen, um die hydraulischen Gegebenheiten im Umfeld der Bohrungen zu erkunden.

#### Markierungsversuch im Grenzbereich Lockergestein-Festgestein

Im Zuge der hydrogeologischen Beurteilung für die Planung des Ausbaus einer Staatsstraße E Drügendorf galt es 1993 zu klären, ob ein hydraulischer Zusammenhang zwischen der geplanten Neutrassierung und der Wasserversorgung von Drügendorf besteht, ob durch bauliche Veränderungen nachhaltige Auswirkungen auf die zur Wasserversorgung genutzte Quelfassung zu befürchten sind und ob bereits durch die heutige Straßentrasse die Wasserversorgung beeinflusst wird. Die Quelle bezieht ihr Wasser aus dem Eisensandstein, einem Kluft-Poren-Grundwasserleiter im unteren Abschnitt des Dogger Beta. In der engeren Schutzzone wird der Doggersandstein von einer Rutschmasse aus Gesteinen des Malm überdeckt. Bei der geplanten Verlagerung der Staatsstraße würde deren Kurve exakt über den Schuttmassen liegen. Aufgrund der erhaltenen Ergebnisse wurde auf einen Ausbau der Staatsstraße an dieser Stelle verzichtet.

#### Markierungsversuche in einem Porengrundwasserleiter

Ein Grundwassermarkierungsversuch im Einzugsgebiet der Wasserversorgung Hindelang sollte mögliche hydraulische Verbindungen zwischen der Ostrach und den zur Wasserversorgung genutzten Brunnen untersuchen und so Grundlagen für den Grundwasserschutz liefern. Als Versuchszeitraum wurde der Spätsommer 1996 gewählt, da zu diesem Zeitpunkt die Wasserentnahme bezogen auf den Jahresdurchschnitt am höchsten war. Der Grundwasserleiter wird im Untersuchungsgebiet von 8–12 m mächtigem, quartärem Talkies aufgebaut. Verglichen mit den im Vorfeld in einer Modellrechnung bestimmten Fließgeschwindigkeiten wurden deutlich kürzere Verweilzeiten erhalten, welche eine starke Empfindlichkeit dieses Kiesaquifers gegenüber potentiellen Verunreinigungen im Ostrachwasser belegten.

## 6.2. Thermalwasser/Geothermie

Unabhängig von Fragen der derzeitigen Wirtschaftlichkeit stellt Erdwärme eine umweltfreundliche Energiequelle und Alternative zu den fossilen Brennstoffen und zur Kernkraft dar. Zudem wird Thermalwasser bereits seit alters her zur balneologischen Nutzung herangezogen und bildet die Grundlage für zahlreiche Bäder in Bayern, wie jene im Niederbayerischen Bäderdreieck, in Staffelstein, Rodach oder Treuchtlingen.

Zur erfolgreichen Erschließung von Thermalwasser ist ein ausreichend ergiebiger Grundwasserleiter in einer Tiefenlage erforderlich, die die gewünschte Temperatur sicherstellt. Die Temperatur des Grundwassers nimmt, ausgehend von der mittleren Jahrestemperatur der Luft – in Bayern zwischen +4 °C in der Höhenlagen der Alpen und des Bayerischen Waldes und +9 °C in Unterfranken – entsprechend dem durchschnittlichen Temperaturgradienten von 30 mK/m um ca. 3 °C pro 100 m Tiefe zu.

Günstige Voraussetzungen für die Erschließung von Thermalwasser sind in Bayern insbesondere im süddeutschen Molassebecken gegeben, wo die Malmtafel nach SSE hin unter zunehmend mächtigere Tertiär-Schichten bis auf 5500 m u. NN am Alpenrand abtaucht. Der grundwasserführende Malmkarst des Molassebeckens gilt als das bedeutendste Reservoir hydrogeothermischer Energie in Deutschland. Nach KAYSER & KALTSCHMITT (1998) erstreckt sich der Bereich mit technisch-wirtschaftlich gewinnbaren Energievorräten von der 30 °C-Isotherme an der Malmoberfläche im N bis zum Nordrand der helvetischen Fazies (Quintner Kalk) im S, wo aufgrund der geringen hydraulischen Durchlässigkeiten mit keiner nennenswerten Fördermenge gerechnet werden kann.

### 6.3. Grundwassermodellierung im Zusammenhang mit Rohstoffabbau im Grundwasser

Um den Einfluß von Maßnahmen im Grundwasserbereich quantitativ zu ermitteln, werden am GLA numerische Grundwasserströmungsmodelle eingesetzt. Dabei handelt es sich um 2-dimensionale Finite-Differenzen-Modelle auf der Basis der Darcy-Gleichung. Die Modelle wurden bisher insbesondere für die Prognose der Beeinflussung der hydraulischen Verhältnisse im Zusammenhang mit Kiesabbau im Grundwasserbereich eingesetzt.

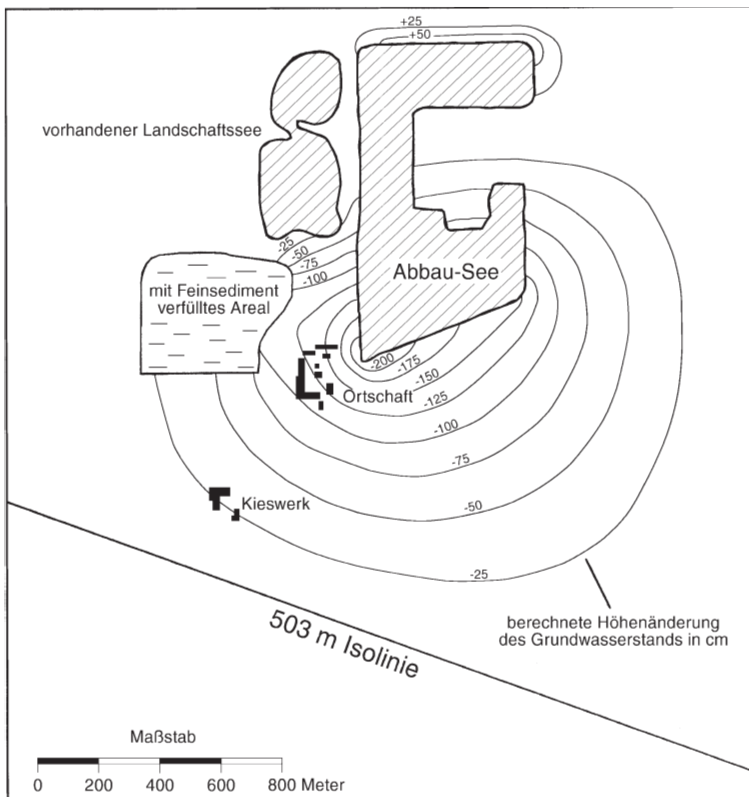


Abb. 3 a. Berechnete Höhenänderung des Grundwasserstands bei vollständigem Kiesabbau.

Bei dem hier dargestellten Fallbeispiel (Abb. 3 a, b) sollte die Beeinflussung des Grundwasserströmungsfeldes durch einen in der Folge des Kiesabbaus entstehenden Baggersee in der Schotterebene E München ermittelt werden. In der Umgebung der Kiesabbaufäche gibt es bereits Seen aufgrund des vorherigen Abbaus und mit Feinmaterial verfüllte Flächen, die das Grundwasserströmungsfeld beeinflussen. Unmittelbar nördlich des Abbaugeländes befindet sich ein künstlich angelegter Bach, der hier als Vorfluter dient.

In das hydraulische Modell wurden die Anfangs- und Randbedingungen des Standorts für Mittelwasserverhältnisse eingegeben und der berechnete Grundwassergleichenplan mit Messungen verglichen. Für die Berechnung wurde das Rechenareal in ein Rechtecksraster von  $50 \times 57$  Volumenelementen aufgeteilt, für die jeweils repräsentativ die Grundwasserstandshöhe errechnet wird. Die Kantenlängen dieser Elementarvolumen betragen zwischen 15 m in verdichteten Bereichen (Kiesabbaufäche) und 50 m in den Randbereichen.

Bei einem mittleren  $k_f$ -Wert des Quartärschotters von  $5 \cdot 10^{-3}$  m/s und einem Speicherkoeffizienten  $S$  von 0,2 wurde eine gute Übereinstimmung von Modell und Berechnung erzielt. Mit dem so verifizierten hydraulischen Modell wurde nun der Einfluß auf die Grundwasserverhältnisse für 2 Varianten untersucht:

- vollständiger Kiesabbau, es entsteht ein See (Abb. 3 a)

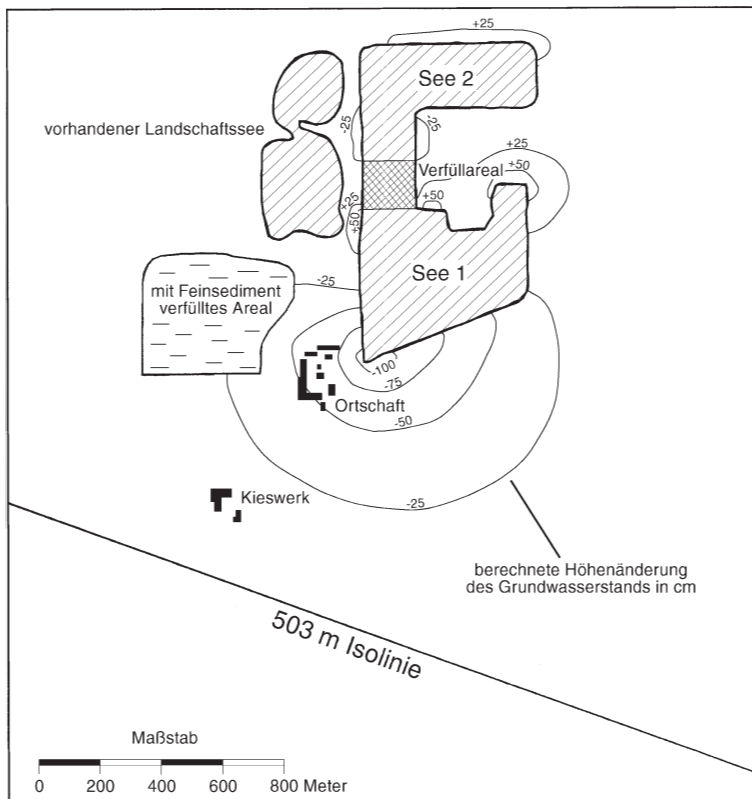


Abb. 3 b. Berechnete Höhenänderung des Grundwasserstands bei teilweiser Verfüllung eines Teilbereiches mit Feinsediment.

- Verfüllung eines Teilbereiches von ca.  $120 \times 100$  m mit Kieswaschschlamm, es entstehen zwei Seen (Abb. 3 b)

Beide Varianten wurden in das geeichte Modell eingegeben und berechnet. Der Einfluß der Varianten auf das Grundwasser ist in beiden Fällen als Differenz der berechneten Grundwasserstände vor und nach Durchführung des Abbaus dargestellt. Negative Werte zeigen somit eine Absenkung des Grundwassers gegenüber dem unbeeinflussten Zustand, positive Werte dagegen eine entsprechende Aufhöhung des Grundwassers an.

Ein Vergleich der Abbildungen zeigt, daß durch den Einbau des Verfüllareals in Variante 2 eine deutlich geringere Beeinflussung der Grundwasserstände eintritt. Die maximale Absenkung des Grundwassers reduziert sich um etwa die Hälfte; ebenso reduziert sich die Gesamtfläche, in der eine meßbare Veränderung der Grundwasserstandshöhen zu beobachten ist, gegenüber der Variante 1 deutlich. Da zudem für die Variante 1 bei höchstem Hochwasserstand (HHW) ein Überlaufen des Sees über die Dammkrone in den nördlich gelegenen Bach zu besorgen war, wurde auf der Basis der Modellrechnungen für die Realisierung der Variante 2 plädiert.

## 7. Literatur

- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1979 a): G 1 – Hydrogeologische Verhältnisse und Grundwasserdargebot im Isargebiet. – In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN [Hrsg.]: Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Isar. – Bd. I: 195–232, München (Oldenbourg).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1979 b): Karte 4 – Hydrogeologische Übersicht. – In: BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN [Hrsg.]: Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Isar. – Bd. II, München (Oldenbourg).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1980): Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Donau und Main – Hydrogeologie. – 44 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1993): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Main – Hydrogeologie. – 138 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1995): Nördliche Frankenalb – Hydrogeologie. – 119 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1996 a): Grundlagen zum Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Naab–Regen – Hydrogeologie. – 106 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1996 b): Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung, Blatt L 6738 Schwandorf. – München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DIEPOLDER, G. W. (1995): Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Grundlagen – Bewertung – Darstellung in Karten. – GLA-Fachber., **13**: 5–79, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- FUNK, R., MAIDL, F.-X., WAGNER, B. & FISCHBECK, G. (1995): Vertikaler Wasser- und Nitrattransport in tiefere Bodenschichten süddeutscher Ackerstandorte. – Z. Pflanzenernähr. Bodenk., **158**: 399–406, Weinheim.
- GENUCHTEN, M. TH. VAN & WIERENGA, P. J. (1976): Mass transfer studies in sorbing porous media, I, Analytical solutions. – Soil Sci. Soc. Am. J., **40**: 473–480, Madison/Wisconsin.
- HAUDE, W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. – Mitt. Dtsch. Wetterdienst, **11**(2): 1–24, Bad Kissingen.

- HÖLTING, B., HAERTLÉ, T., HOHBERGER, K.-H., NACHTIGALL, K. H., VILLINGER, E., WEINZIERL, W. & WROBEL, J.-P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. – *Geol. Jb.*, **C 63**: 5–24, Stuttgart.
- KAYSER, M. & KALTSCHMITT, M. (1998): Potentiale hydrothermalen Erdwärmes in Deutschland. – In: EHRlich, H., ERBAŞ, K. & HUENGES, E. [Hrsg.]: Angebotspotential der Erdwärme sowie rechtliche und wirtschaftliche Aspekte der Nutzung hydrothermalen Ressourcen. – *Geothermie Rep.*, **98**(1): 7–26, Potsdam (GeoForsch.-Zentr.).
- NIELSEN, D. R., GENUCHTEN, M. TH. VAN & BIGGAR, J. W. (1986): Water Flow and Solute Transport Processes in the Unsaturated Zone. – *Water Resources Res.*, **22**(9): 89–108, Washington D.C.
- RICHARDS, L. A. (1931): Capillary conduction of liquids through porous mediums. – *Physics*, **1**: 318–333.
- WAGNER, B. (1995): Untersuchungen zum Wasser- und Stofftransport in der ungesättigten Zone im Hinblick auf ihre Schutzfunktion für das Grundwasser. – *GLA-Fachber.*, **13**: 81–100, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WAGNER, B. (1999): Beschreibung des Simulationsmodells FLOTRA zur Berechnung der Wasser- und Stoffverlagerung in der ungesättigten Zone. – Unveröff. Dok.: 21 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WAGNER, B. & SUTTNER, TH. (1995): Konzept zur flächenhaften Ermittlung und Darstellung der stoffspezifischen Auswaschungsgefährdung von Schadstoffen. – *Z. dt. geol. Ges.*, **146**: 39–44, Hannover.
- WAGNER, B., SCHEWES, R., MAIDL, F.-X. & FISCHBECK, G. (1995): Measurement of residues and simulation of the movement of atrazine in deeper soil layers after long-term application in agriculture. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, **158**: 333–338, Weinheim.
- WAGNER, B., FUNK, R. & MAIDL, F.-X. (1997): Validierung eines 2-Regionen-Modells zur Simulation des Stofftransportes im Boden anhand von Laborsäulen- und Feldversuchen. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, **160**: 309–316, Weinheim.
- WAGNER, B., TARNAWSKI, V. R., WESSOLEK, G. & PLAGGE, R. (1998): Suitability of models for the estimation of soil hydraulic parameters. – *Geoderma*, **86**: 229–239, Amsterdam.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 15. 10. 1999.



# Die Forschungs- und Thermalwasserbohrung Geisenfeld

Von THOMAS FRITZER, ACHIM SCHUBERT, HEINZ J. UNGER und JAN-PETER WROBEL

Mit 2 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Geisenfeld – Thermalwasserbohrung – Bohrprofil – Hydrochemie – Grundwasseralter – Molasse – Malm – Dogger

**Kurzfassung:** Mit der Bohrung Geisenfeld ist erstmals eine Forschungsbohrung vom Bayerischen Geologischen Landesamt in Kooperation mit einem privaten Investor niedergebracht worden. Die Bohrung erschloß ein Profil von der Oberen Süßwassermolasse bis in die Graupensande sowie ein komplettes Malmprofil und endete im Opalinuston des Doggers.

Die Bohrung brachte neue hydrogeologische Erkenntnisse über den Malm-Aquifer und erschloß im Dogger-Sandstein unterhalb einer Teufe von 700 m ein ergiebiges Mineral-Thermalwasser-Vorkommen.

## The exploration well Geisenfeld

**Keywords:** Geisenfeld – thermal water well – cuttings profile – hydrochemistry – groundwater age – Molasse – Malm – Dogger

**Abstract:** The thermal-water exploration well Geisenfeld was drilled about 15 km SE of Ingolstadt (Bavaria) to a depth of 745 m. It was performed as a research project by the Bavarian Geological Survey, and for the first time in cooperation with a private investor. The profile comprises sediments of the Upper Freshwater Molasse (Miocene) reaching into the Graupensande, a complete profile of the Malm limestones, and ends in the Opalinuston (Dogger claystone).

The Malm and Dogger aquifers were investigated in detail by pumping tests, hydrogeochemical analysis and geophysical measurements inside the borehole. This gave new findings, especially on the hydrogeology of the Malm aquifer. In the Dogger sandstone below 700 m depth a productive reservoir of mineralized thermal-water was opened up.

## Inhalt

1. Einführung .....	334
2. Ausführung und Ergebnisse der Bohrung Geisenfeld .....	335
2.1. Technische Ausführung der Bohrung .....	335
2.2. Geologisches Profil .....	338
2.3. Hydrogeologie .....	340
2.3.1. Malm .....	340
2.3.2. Dogger-Sandstein .....	341
3. Ausblick .....	342

---

Anschriften der Verfasser: Dr. THOMAS FRITZER und Dr. JAN-PETER WROBEL, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstr. 128, D-80797 München; Dr. ACHIM SCHUBERT, Geoteam, Zweigniederlassung München, Dietlindenstr. 20 b, D-80802 München.; Dr. HEINZ J. UNGER, Nußbaumstr. 13, D-85435 Altenerding.

## 1. Einführung

Bereits im Jahre 1997 begannen Planungen des Bayerischen Geologischen Landesamtes (GLA), im Rahmen des mit Sondermitteln aus dem Allgemeinen Umweltfonds der Bayerischen Staatsregierung geförderten Vorhabens „Geologischer und hydrogeologischer Infopool, Projekt Region 10 (Ingolstadt)“ eine tiefere Aufschlußbohrung S Ingolstadt niederzubringen. Ziel dieser Bohrung sollte sein, die tertiären und, soweit mit den verfügbaren Amtsmitteln möglich, Teile der jurassischen Sedimente des tieferen Untergrundes zwischen der Donau im N und der Bohrung Wolnzach 1 im S zu durchteufen, um Auskünfte über die Schichtenfolge, die Fazies und die Tektonik des Untergrundes zu erhalten. Zusätzlich zu neuen geologischen Erkenntnissen erhoffte man sich auch Aufschluß zu hydrogeologischen Fragestellungen.

Zur Verbesserung der geringen geologischen Kenntnisse über den flacheren und tieferen Untergrund in diesem Raum waren von Dr. K. BADER (GLA) umfangreiche geophysikalische Untersuchungen durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser refraktionsseismischen Messungen führten zu dem Schluß, daß für die geplante Bohrung ein Bohransatzpunkt in der Umgebung von Geisenfeld am besten geeignet wäre.

Bei der Suche nach einem geeigneten Bohrplatz wurden Gespräche mit dem Bürgermeister der Stadt Geisenfeld, Herrn M. STEINBERGER, bezüglich der Überlassung eines städtischen Grundstückes für diesen Zweck geführt, da die Stadt die Bohrung nach erfolgreichem Abschluß möglicherweise zur Notwasserversorgung hätte nutzen können. Bei diesen ersten Kontakten mit der Stadt Geisenfeld kam zur Sprache, daß ein ortsansässiger Geschäftsmann, Herr Fred PENTENRIEDER, ein für den Bohrzweck günstig gelegenes Grundstück am Rande von Geisenfeld besäße und sich gegebenenfalls an einer Tiefbohrung beteiligen wolle.

In direkten Gesprächen bestätigte Herr PENTENRIEDER, daß er mit einem namhaften Betrag zur Vertiefung der Bohrung beitragen wolle, da ihn Fragen des tieferen Untergrundes von Geisenfeld schon stets interessiert hätten und er im Falle des Auffindens von Thermalwasser an dessen Nutzung, in welcher Form auch immer, denke. Außer der Beteiligung an der Finanzierung bot er die kostenlose Bereitstellung eines Grundstückes in Geisenfeldwinden, wenig westlich von Geisenfeld, an.

Bei alleiniger Durchführung der Forschungsbohrung durch das GLA wäre aufgrund der begrenzten Haushaltsmittel nur eine Bohrtiefe von etwa 250 m zu erreichen gewesen, da zusätzliche Kosten für Verrohrung und möglicherweise Verfüllung angefallen wären. Durch die Beteiligung des privaten Investors konnte eine wesentlich größere Endteufe ins Auge gefaßt werden.

Damit trat das Vorhaben in die konkrete Planungsphase. Unter Berücksichtigung des geologischen Vorprofils und einer gemeinsamen Finanzierung wurde eine Bohrungsplanung vorgenommen, die aufgrund der knappen Amtsmittel von geringen Bohrdurchmessern und einer Endteufe von ca. 750 m ausging. Bei dieser Teufe war zu erwarten, daß man durch die Bohrung Aufschluß über die Schichtenfolge vom Tertiär über den Malm bis in den Dogger erhalte und im Malm wie im Dogger-Beta-Sandstein Erkenntnisse über Wasserführung, Chemismus und Grundwassertemperatur gewinnen könnte.

Zwischen dem Freistaat Bayern, vertreten durch das Bayerische Geologische Landesamt, und Herrn F. PENTENRIEDER wurden die Finanzierungsmodalitäten und die jeweiligen Rechte und Pflichten bei Übernahme der Bohrung vertraglich fixiert. Die fachliche Betreuung der Bohrung in der zweiten Phase erfolgte durch Herrn Univ.-Doz. Dr. J. GOLDBRUNNER und Herrn

Dr. A. SCHUBERT vom Büro Geoteam (Technisches Büro für Hydrogeologie, Geothermie und Umwelt G.m.b.H., Gleisdorf/Österreich). Mit der Wasserwirtschaftsverwaltung war zuvor vereinbart worden, daß die Bohrung, falls sie nicht für eine spätere Wasserförderung genutzt würde, vom Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt zu einer Malm-Grundwassermeßstelle ausgebaut und als solche genutzt werden könnte.

Nach erfolgter Ausschreibung erhielt die Firma Geomechanik, Woringen, den Zuschlag für die Durchführung der Bohrung, die von September 1998 bis Januar 1999 ohne größere Schwierigkeiten erfolgreich niedergebracht wurde. Ablauf und Ergebnisse (s. Abb. 1) können kurzgefaßt folgendermaßen dargestellt werden:

- Die Bohrung wurde aus Amtsmitteln bis 362,5 m unter Geländeoberkante (GOK) abgeteuft. Die Vertiefung der Bohrung bis zur Endteufe von 745 m und der Ausbau der Bohrung zu einer nutzbaren Thermalwasserbohrung erfolgte auf Kosten des privaten Investors.
- Es wurde ein so nicht erwartetes Tertiärprofil einschließlich der Graupensande angetroffen. Zudem wurde ein vollständiges Malmprofil erbohrt und eine genauere Kenntnis der Schichtenfolge im oberen und mittleren Dogger dieses Gebietes gewonnen.
- Die Bohrung erbrachte neue Erkenntnisse über Wasserführung und Grundwassereigenschaften in Dogger und Malm.
- Hervorzuheben ist die reibungslose und zielführende Zusammenarbeit zwischen den beiden Auftraggebern (GLA und privater Investor), die Modellcharakter für ähnliche Projekte in Zukunft haben könnte. Ebenso ist die erfolgreiche Kooperation mit anderen Behörden, dem beratenden Büro, dem Bohrunternehmer und der Stadt Geisenfeld zu nennen.

Die vorliegende Veröffentlichung soll kurzgefaßt den Ablauf dieser Bohrung und ihre wichtigsten Ergebnisse darstellen.

## **2. Ausführung und Ergebnisse der Bohrung Geisenfeld**

### **2.1. Technische Ausführung der Bohrung**

Lage: Gradabteilungsblatt 7335 Geisenfeld

Gemarkung: Geisenfeldwinden, Flur Nr. 480

Koordinaten: R 4470320, H 5394240

Ansatzhöhe: 376,4 m ü. NN

Endteufe: 745,0 m

Auftraggeber: Bayerisches Geologisches Landesamt, München, sowie Fred PENTENRIEDER, Geisenfeld

Bohrunternehmer: Fa. Geomechanik, Woringen

Bohrzeit: 2. 9. 1998 bis 20. 1. 1999

Bohrdurchmesser und -verfahren:

- 196,0 m    12 1/2" (311 mm, Rotary-Druckspülbohrverfahren)
- 662,5 m    8 1/2" (216 mm, Rotary-Lufthebebohrverfahren)
- 745,0 m    6 1/4" (159 mm, Rotary-Druckspülbohrverfahren)

## Verrohrung:

- 7,5 m 14 1/2" (368 mm, Standrohr)
- 194,5 m 9 5/8" (244 mm)
- 662,2 m 7" (178 mm)

## Zementationen:

9 5/8"- Rohrtour: Fuß- und Kopfzementation

7"- Rohrtour: Fußzementation (mittels Leichtzement der Servicefirma Dowell-Schlumberger, Vechta); weitere Zementationen erfolgten im Bereich von Klüften und Karsthohlräumen im Malm zur Nachfallbekämpfung

## Bohrlochmessungen (GLA, München, und Fa. BLM, Gotha):

Gamma Ray:	194,9– 0 m 473,0–150 m 686,0–430 m 742,0–642 m	Kaliber:	186,0– 0 m 740,0–650 m
Gamma Gamma:	743,0–662 m	Temp./Leitf.:	476,0– 0 m
Neutron Neutron:	743,0–662 m	Flowmeter:	Bei Teufe 686 m u. 2,5 l/s Förderung
ES:	685,0–642 m 744,0–660 m		

Nach den geophysikalischen Bohrlochmessungen und einem Kurzpumpversuch im offenen Bohrloch ließen sich die Hauptwasserzutritte der Dogger-Feinsandsteinabfolge auf den Bereich von 703–728,5 m Teufe eingrenzen. Für den Ausbau zum Förderbetrieb wurde eine Edelstahl-Komplettierung mit 25 m Wickeldrahtfilter (Außendurchmesser 4", Schlitzweite 0,5 mm, stützrohrverstärkt) mit einer darüberliegenden Blindlinerstrecke (57,5 m) zusammengestellt und durch die Firma Ebenhöf (Himberg/Österreich) geliefert. Nach intensiver Bohrlochreinigung wurde der sogenannte „Gravel Pack“ (eingespülter Filtersand, Körnung 0,7–1,2 mm) durch die Servicefirma Halliburton GmbH (Celle) einzirkuliert.

Die Edelstahl-Produktionsstrecke (insgesamt 82,5 m) wurde dann mittels Packers in der 7"- Casing bei einer Teufe von 645,4 m (entspricht 17 m über Rohrschuh) dichtend abgesetzt. Über ein verschraubbares Verbindungsstück ließ sich optional eine wärmeisolierende 4 1/2"-Steigrohrstrecke in die 7"-Verrohrung einbringen.

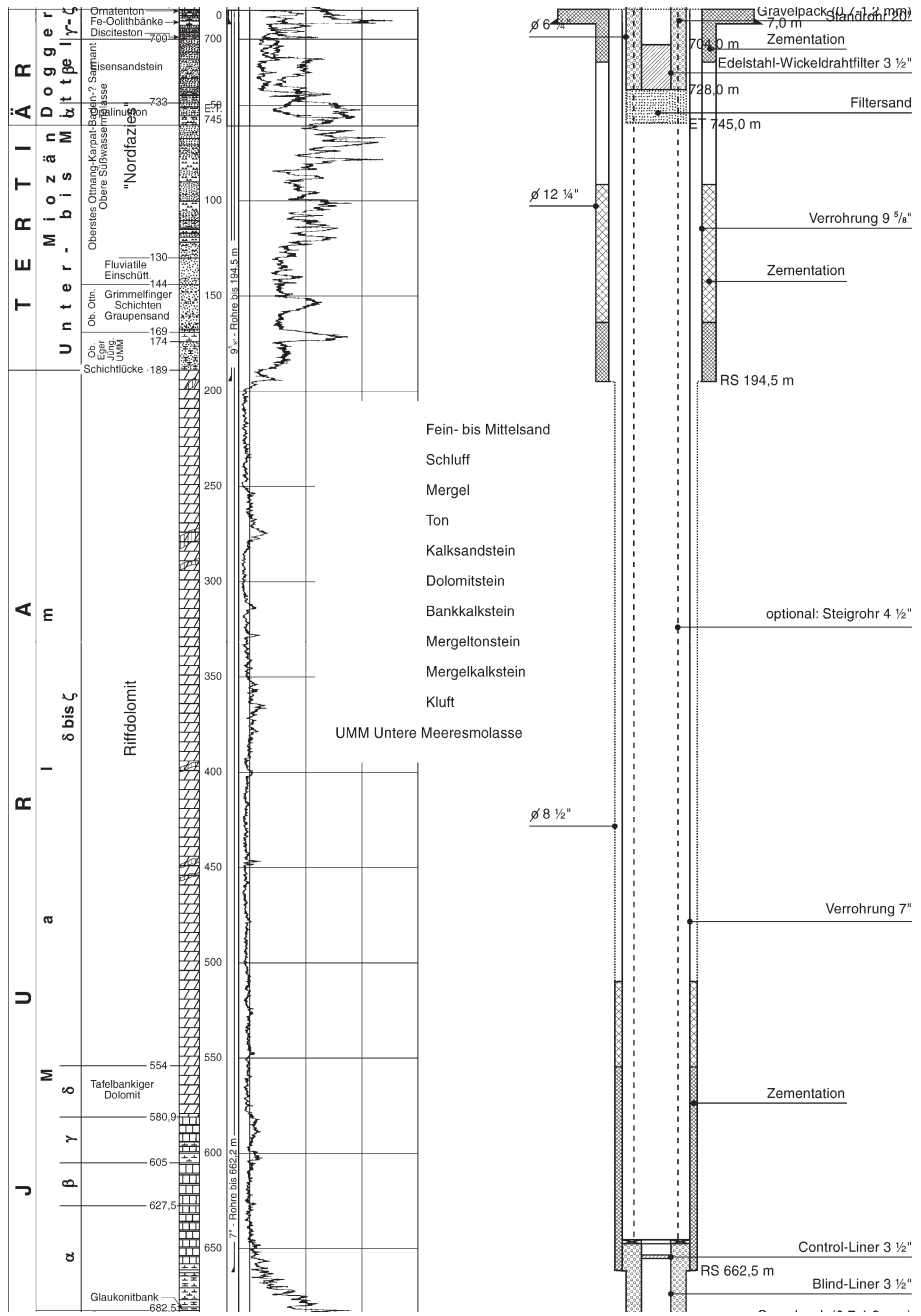


Abb. 1. Profil,  $\gamma$ -Log und Ausbau der Bohrung Geisenfeld.

## 2.2. Geologisches Profil

Geologisches Profil (s. Abb. 1) nach Spülproben und Gamma Ray (Jura: R. K. F. MEYER, sonst H. J. UNGER, beide GLA) sowie Mikrofauna (H. RISCH, GLA):

- 0,2 m Künstliche Aufschüttung
- 189,0 m Tertiär, Unter- bis Miozän
  - 144,0 m Obere Süßwassermolasse: Limnisch-fluviatile Serie, u. a. abschnittsweise als Braunkohlentertiär i. w. S. (= Nordfazies) ausgebildet (Unter- bis Miozän: oberstes Ottang–Karpát–?Sarmat)
  - 169,0 m Grimmelfinger Schichten (Untermiozän: oberes Ottang)
    - 144,0–167,8 m Graupensande

---

  - Schichtlücke

---

  - 189,0 m Jüngere Untere Meeresmolasse (Untermiozän: oberes Eger)
    - 174,0 m Mergel
    - 189,0 m Kalkfeinsandstein

---

  - Schichtlücke

---

- 745,0 m Jura
  - 682,5 m Malm Alpha bis Zeta
    - 554,5 m Riffdolomitstein (Malm Delta bis Zeta)
    - 580,9 m tafelbankiger Dolomitstein (Malm Delta)
    - 605,0 m Bankkalkstein mit Mergelstein (Malm Gamma)
    - 627,0 m Bankkalkstein (Malm Beta)
    - 682,5 m Bankkalkstein, darunter Mergelstein (Malm Alpha)
  - 745,0 m Dogger Alpha bis Zeta
    - 690,0 m Ornatenton (Dogger Epsilon 3 bis Zeta)
    - 692,5 m Oolithbänke (Dogger Delta bis Epsilon 2)
    - 698,0 m Kalksandstein (Dogger Gamma)
    - 700,0 m Disciteston (Dogger Gamma)
    - 733,0 m Eisensandstein (Dogger Beta)
    - 745,0 m Opalinuston (Dogger Alpha)

Endteufe: 745,0 m

Die Bohrung Geisenfeld setzt somit in Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse (OSM) an. Die OSM ist 144 m mächtig und liegt in limnisch-fluviatiler Fazies mit Tonen, Schluffen und Fein- bis Mittelsanden in Wechsellagerung vor. Es handelt sich überwiegend um Sedimente der sog. Nordfazies (Braunkohlentertiär i. w. S.) mit einzelnen Sandeinschüttungen von S. Auffallend ist der durchlaufend hohe Kalkgehalt in der OSM, der auf stark kalkhaltige Wässer aus dem nördlich zutage anstehenden Jura zurückgeführt wird. Pyritführung in den Sedimenten ab Teufe 51 m deutet auf zeitweise stagnierendes Milieu hin.

Der tiefste Abschnitt der OSM zwischen Teufe 130 m und 144 m wird von grauen, stark kaolinführenden Fein- bis Mittelsanden aufgebaut, die von E bis NE eingeschüttet wurden (u. a. Kristallinbruchstücke in den Sanden). Dieser Profilabschnitt dürfte als fluviatile Schüttung zeitgleich mit den Kirchberger Schichten in das oberste Ottang bis Karpát einzustufen sein. Jedenfalls gibt es für Ablagerungen der Süßbrackwassermolasse keine Belege.

Zwischen Teufe 144 m und 169 m wurden die untermiozänen Grimmelfinger Schichten des oberen Ottang einschließlich der Graupensande (144,0–167,8 m) erbohrt. Damit ist Geisenfeld derzeit der östlichste Punkt, an dem die Graupensandrinne durch eine Bohrung nachgewiesen wurde. Lagemäßig dürfte in etwa das Rinnentiefste der Graupensandrinne erschlossen worden sein. Ihre Basis liegt hier zwar etwa 100 m tiefer als im W bei Dillingen (ca. 50 m tiefer als bei Ingolstadt), doch dürfte dies tektonisch begründet sein.

Nach der petrographischen Zusammensetzung dürften die Graupensande eine ihrer Wurzelzonen im Naab-Tal, eine andere im Ortenburger Schotter-Stromsystem im SE haben.

Der weit nach S und E vorspringende Sporn zutage anstehender jurassischer und kretazischer Gesteine, an dessen südlichen und östlichen Rändern sich entlang von Blattverschiebungen und großen Brüchen die Sedimente des Jura, der Kreide und des Tertiärs absenkten, bestimmt das heutige, etwas verwirrende Lagerungsbild der Graupensandrinne.

An der Basis der Grimmelfinger Schichten wurde eine kalkig-kaolinig gebundene, mittelgraue Feinsandlage durchteuft, deren Habitus einem umgelagerten und mit anderen Sedimenten vermischten Granitzersatz ähnelt.

Die Mikrofauna eines zwischen Teufe 169 m und 174 m erbohrten Mergels erlaubt seine Zuordnung zum untermiozänen Oberen Eger. Es handelt sich somit wahrscheinlich um einen erosiv durch die Graupensande ausgedünnten Rest eines marinen Sediments der Jüngeren Unteren Meeresmolasse, die dieses Gebiet noch erreicht hatte. Im Liegenden dieses Mergels wurden bis zur Teufe 189 m mittel- bis dunkelgraue Kalkfeinsandsteine nachgewiesen, die im höheren Teil einzelne Feinkieszwischenlagen führen. Sie sind sehr hart und bilden einen Deckel über dem Malm. Da diese Kalkfeinsandsteine keine Faunen erbrachten, der petrographische Habitus aber auf ein nördliches Einzugsgebiet hindeutet, werden sie als fluviatile Einschüttungen aus N während des Oberen Eger interpretiert. Gegen ihre Einstufung in das oberoligozäne Untere Eger, was paläogeographisch auch möglich wäre, spricht, daß zwischen ihnen und dem überlagernden Mergel keine Anzeichen für eine Sedimentationsunterbrechung vorliegen.

Das Tertiär überlagert einen mächtigen jurassischen Riffkomplex des Malm Delta bis Zeta, der eine Mächtigkeit von 365 m erreicht (Teufe 189 m–554 m). Zwischen Teufe 554 m und 580,9 m folgt tafelbankiger Dolomitstein des Malm Delta, den hellgrauer Bankkalk- und grauer Mergelstein des Malm Gamma bis Teufe 605 m unterlagern. Die graue bis dunkelgraue Bankkalkstein-Mergelstein-Fazies des Malm Alpha mit der Glaukonitbank endet bei Teufe 682,5 m.

Der Dogger Epsilon 3 bis Zeta ist als schwarzer, glimmeriger Mergel bzw. Mergelstein (Ornatenton) bis Teufe 690 m nachgewiesen. Die Oolithbänke des Dogger Delta bis Epsilon 2 führen Eisenoole bis 0,8 mm Durchmesser und grenzen bei Teufe 692,5 m an den hellgrauen, fein- bis mittelkörnigen Kalksandstein des Dogger Gamma. Der Top des Dogger-Beta-Eisensandsteins liegt bei Teufe 700 m und wird von 2 m mächtigem Disciteton des Dogger Gamma überdeckt.

Petrographisch handelt es sich beim Dogger-Beta-Sandstein um einen fein- bis feinnittelkörnigen, lagenweise mittelkörnigen, beige- bis braunen Sandstein, in dessen tiefsten Abschnitt (728,5–729,5 m) eine schwarze Ton- bzw. Tonsteinlage eingeschaltet ist. Die Gesamtmächtigkeit des Dogger-Beta-Sandsteins beträgt 33 m.

Unter dem Eisensandstein des Dogger Beta folgt bis zur Endteufe von 745,0 m ein schwarzer, schieferiger Mergelton bzw. -tonstein des Dogger Alpha (Opalinuston).

Ein Vergleich des Profils der Bohrung Geisenfeld mit Bohr- und Aufschlußprofilen im Raum Vohburg läßt vermuten, daß S Vohburg der Jura an einer großen Störung um mindestens 100 m zum Molassebecken hin abgesenkt wurde.

## 2.3. Hydrogeologie

### 2.3.1. Malm

Für einen Zwischenpumpversuch im Malm wurde bei Teufe 507,0 m eine Unterwasserpumpe ca. 90 m u. GOK eingebaut. Die quartären und tertiären Deckschichten waren bis Oberkante des Malms verrohrt und mit einer Fußzementation gegen den Malm-Aquifer abgesperrt. Aufgrund der durchfahrenen Klufthzonen war im Malm eine hohe Ergiebigkeit zu erwarten. Um jedoch die Standfestigkeit des im Malm offenstehenden Bohrlochs nicht zu gefährden, wurden für den Pumpversuch nur relativ geringe Förderraten gewählt. Auf ein vorheriges Klarspülen wurde verzichtet, da die Bohrung im Malm im Lufthebeverfahren mit Klarwasserspülung abgeteuft wurde. Der Ruhewasserspiegel lag bei Pumpversuchsbeginn bei 4,29 m unter Rohroberkante (= 372,5 m ü. NN).

Die erste Stufe wurde 6 Stunden mit einer gleichbleibenden Förderrate von 5 l/s gefahren, wobei zunächst eine maximale Absenkung von 0,05 m erreicht wurde. Nach einer halben Stunde begann der Wasserspiegel trotz gleichbleibender Förderrate wieder zu steigen. Gegen Ende der ersten Stufe lag er 0,04 m über Ruhewasserspiegel, was vermutlich durch die zunehmend höhere Temperatur des geförderten Wassers bedingt war. In der zweiten Stufe wurden über 30 Stunden 10 l/s gefördert, wobei sich eine quasistationäre Absenkung von 0,11 m einstellte.

Die Gesamtabenkung beträgt temperaturkorrigiert etwa 0,2 m. Die Leitfähigkeit erhöhte sich im Verlauf des Pumpversuchs von 41,5 mS/m auf 48,2 mS/m; die Auslauftemperatur stieg von 16,7 °C (nach 20 Minuten) auf 19,6 °C (nach 22 Stunden).

Der Malm ist im getesteten Bohrlochabschnitt als „stark durchlässig“ ( $k_f > 10^{-4}$  m/s) zu bezeichnen. Die hohe Durchlässigkeit ist vermutlich mit auf einen hydraulischen Kontakt zwischen dem Malm-Aquifer und den überlagernden Graupensanden zurückzuführen. Diesen hydraulischen Kontakt belegt das Antreffen von Graupensanden in einer Klufthzone rund 10 m unter Top Malm, wobei das weitere Nachlaufen der Sande und Feinkiese in das Bohrloch nur durch eine Druckzementation verhindert werden konnte. In der Bohrung Geisenfeld ist zudem ein signifikantes Ansteigen des Malm-Druckwasserspiegels mit zunehmender Teufe (Abb. 2) zu beobachten. Möglicherweise üben die Graupensande eine Vorflutfunktion für das Malm-Grundwasser aus, was diese vertikale Potentialänderung im Malm-Aquifer bedingt.

In der Endphase des Pumpversuchs erfolgte eine Beprobung für hydrochemische und isopenhydrologische Untersuchungen sowie für Gasgehaltsbestimmungen, die vom Laboratorium Hydroisotop GmbH (Schweitenkirchen) im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (LfW) und des GLA durchgeführt wurden. Parallel dazu wurde eine weitere Probe entnommen, die am GLA wasserchemisch (einschließlich Spurenelemente) analysiert wurde.

Das beprobte Tiefenwasser entspricht dem – für Grundwasser des überdeckten Malm charakteristischen – Typ eines Calcium-Magnesium-(Natrium)-Hydrogenkarbonatwassers. Mit einer Gesamtmineralisation von etwa 460 mg/l handelt es sich um ein Grundwasser mit geringem Gehalt an Mineralien. Hinweise auf anthropogen bedingte Grundwasserinhaltsstoffe liegen nicht vor.

Der Gehalt an Kohlenwasserstoffen ist als sehr gering anzusehen. Es waren lediglich geringe Gehalte an Methan und keine Spuren von höheren Kohlenwasserstoffen (z. B. Ethan) nachzuweisen.



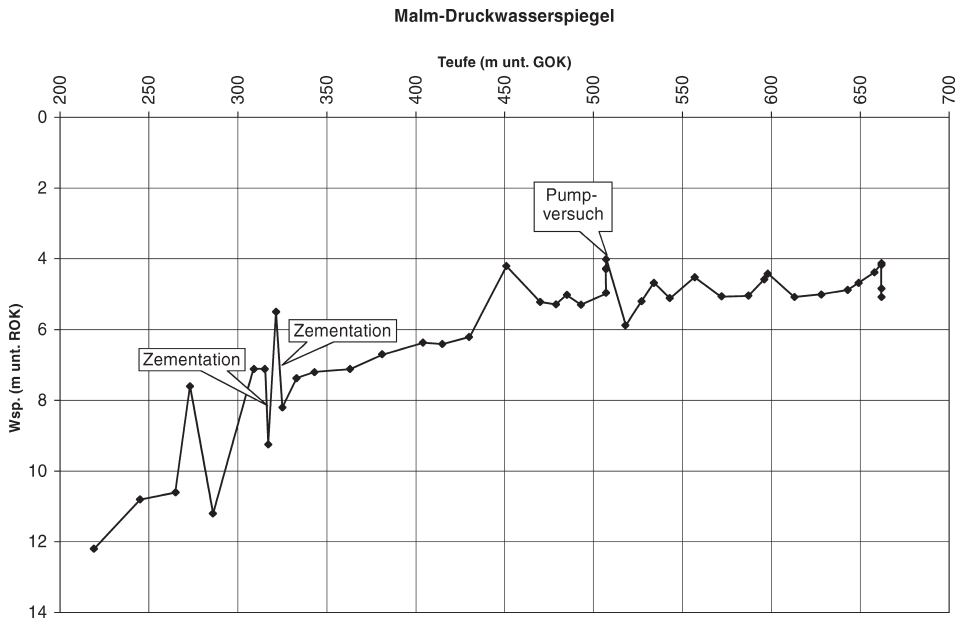


Abb. 2. Anstieg des Druckwasserspiegels mit zunehmender Teufe.

Die Tritium-, Deuterium- und Sauerstoff-18-Gehalte sowie die Gehalte an Kohlenstoff-14 und Kohlenstoff-13 lassen auf ein Grundwassersystem schließen, das überwiegend im Übergangsbereich Pleistozän/Holozän, also vor ca. 10 000 Jahren, neugebildet wurde. Anhand der isopenhydrologischen Untersuchungen konnte kein Zustrom von jungem, oberflächennahem Grundwasser festgestellt werden. Nach dem Ergebnis der Argon-39-Untersuchung ist allerdings ein geringer Anteil einer jüngeren Komponente mit einem Alter von mehreren Jahrhunderten nicht auszuschließen, eine Verbindung zum Malmwasser-Mischungssystem unter dem Stadtbereich Ingolstadt liegt jedoch nicht vor.

### 2.3.2. Dogger-Sandstein

Nach dem erfolgreichen Ausbau der Bohrung wurde im Dogger-Sandstein ein 144stündiger Leistungspumpversuch über 4 Stufen durchgeführt. Die mit der Versuchsanordnung maximal erreichbare Schüttung lag bei 6,8 l/s bei einer quasistationären Absenkung des Wasserspiegels von ca. 40 m unter der Geländeoberfläche. Das geförderte Thermalwasser war nach relativ kurzer Zeit klar und frei von Feinanteilen. Bei einer Förderleistung von 6,8 l/s wurde ein Maximaltemperatur von 27,7 °C gemessen. Die hydraulische Auswertung des Wiederanstiegsverhaltens liefert eine Transmissivität von  $3,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  und einen  $k_f$ -Wert von  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  für den bohrlochferneren Bereich. Der Ruhewasserspiegel des Dogger-Aquifers liegt bei 366 m ü. NN.

Das Thermalwasservorkommen im Dogger-Sandstein wird somit durch eine verhältnismäßig gute Gebirgsdurchlässigkeit und hohe Produktivität gekennzeichnet, so daß die gestellten Erwartungen an die Ergiebigkeit voll erfüllt wurden.

Die hydrochemischen Untersuchungen weisen das Thermalwasser als einen fluoridhaltigen Natrium-Hydrogenkarbonat-Typus aus. Die Gesamtmineralisation liegt bei 1200 mg/l. Das Thermalwasser besitzt im Gegensatz zum darüber erschlossenen Malm-Karstwasser deutlichen Ionenaustauschcharakter, es ist aber bezüglich seiner isotopischen Signatur und Altersstruktur (Neubildung vor ca. 10 000 Jahren) mit diesem vergleichbar.

### **3. Ausblick**

Die Mineral-Thermalwasserbohrung Geisenfeld ist für einen Förderbetrieb vorbereitet; die wasser- und bergrechtlichen Genehmigungsverfahren sind eingeleitet. Durch den unerwarteten Tod von Herrn F. PENTENRIEDER in der Endphase der Bohrung sind jedoch die Bemühungen um eine zukünftige Nutzung der Bohrung ins Stocken geraten. Dennoch bleibt zu hoffen, daß dieses erste Beispiel einer Kooperation zwischen einem privaten Investor und dem Bayerischen Geologischen Landesamt Schule macht.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 15. 9. 1999.

## Das GEORISK-Informationssystem im Spiegel der Starkregenereignisse an Pfingsten 1999

Von ANDREAS V. POSCHINGER und KARL MAYER

Mit 3 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Hangbewegung – Rutschung – Felssturz – Hangexplosion – Informationssystem – Niederschlag

**Kurzfassung:** Das bereits seit 1987 laufende Projekt GEORISK hat zum Ziel, Gefährdungen durch Hangbewegungen zu vermindern. Hierfür werden Informationen zu Hangbewegungen im Alpenraum gesammelt, interpretiert und weitergegeben. Zur Verwaltung der Daten dient ein geographisches Informationssystem in Verbindung mit Datenbanken. Die Zuverlässigkeit des Systems und seine Grenzen werden anhand von einigen Beispielen anlässlich der starken Niederschläge an Pfingsten 1999 aufgezeigt.

Heavy rainfall in May 1999, a testcase for suitability of GEORISK informationsystem

**Keywords:** Mass movement – landslide – rock fall – information system – precipitation

**Abstract:** Dealing with mass movements is already a traditional task of the Bavarian Geological Survey. But since 1987 in a special program called GEORISK also preventive measures for risk reduction are taken into account. To reach this target all kind of information about slope movement is collected, analysed and saved in a digital data base. These data of former slope instabilities give indications for future events and thus are crucial for future town and rural planning.

In Mai 1999 severe rainfall occurred in the Bavarian Alps. Presenting some site examples the suitability of the GEORISK system is demonstrated as well as its limits. During this rainfall event important landslides occurred only in areas already known to be endangered. Nevertheless shallow landslides in the debris cover combined with an outburst of groundwater happened in areas that did not show any morphological signs for instability before. Fortunately these slides only caused minor damages.

### Inhalt

1. Generelle Ziele von GEORISK .....	344
2. GEORISK als Instrument für Vorhersage und Planung .....	345
2.1. Das Niederschlagsereignis Pfingsten 1999 .....	345
2.2. Einzelergebnisse .....	346
2.2.1. Wiedmais .....	346
2.2.2. Oberjochstraße .....	347
2.2.3. Ostrachtal .....	349
3. Schlußfolgerungen .....	350
4. Literatur .....	351

## 1. Generelle Ziele von GEORISK

Naturkatastrophen haben in den letzten Jahren in zunehmendem Maße Schäden im Alpenraum angerichtet. Hier ist neben den Lawinenereignissen des Winters 1998/99 insbesondere auch an Massenbewegungen wie die Bergstürze von Randa und Val Pola oder an Mureren wie in Brig oder an der Brennerautobahn zu erinnern. Im Jahr 1999 machte die große Rutschung von Sibratsgfall S Balderschwang Schlagzeilen, als zahlreiche Wohnhäuser zerstört wurden. Die im Alpenraum zunehmende Schadenshöhe dürfte insbesondere auch darauf zurückzuführen sein, daß früher bei der Bevölkerung noch vorhandenes Wissen über gefährdete Bereiche mehr und mehr in Vergessenheit gerät und zunehmend auch Gefahrenbereiche bebaut werden. Solches Wissen muß deshalb gesammelt und teilweise neu geschaffen werden, um zukünftige Schäden weitestgehend vermeiden zu können.

Eine wesentliche, gesetzlich festgelegte Aufgabe des Bayerischen Geologischen Landesamtes (GLA) ist neben der „geowissenschaftlichen Landesaufnahme auf den Gebieten ... Ingenieurgeologie“ die „Anlage und Führung der erforderlichen Archive ... für Beobachtungs- und Meßdaten über Struktur und Aufbau des tieferen Untergrundes“ sowie die „Beratung der Behörden des Freistaates Bayern auf dem Gebiet der angewandten Geowissenschaften“ (Gesetz über die Aufgaben des GLA, 1970). Das Thema der Gefährdung durch sog. „gravitative Massenbewegungen“, also durch Felsstürze, Rutschungen und Schuttströme, ist bereits seit langem in die Arbeit des GLA mit einbezogen, denn es handelt sich um Vorgänge, die ihre Ursache primär im spezifischen geologischen Aufbau haben. Die geologische Landesaufnahme ist für diese angewandte Fragestellung eine wesentliche Grundlage. Die Übernahme einer Aufgabe wie die der Sammlung von Information zu Hangbewegungen durch das GLA ist deshalb naheliegend.

Seit 1987 wird unter dem Projektnamen „GEORISK“ verstärkt eine Archivierung von Hangbewegungsphänomenen und -ereignissen durchgeführt. Dies erfolgt sowohl durch eine punktuelle Erfassung von Informationen jeder Art zu Hangbewegungen als auch durch gezielte Kartierungen in sensiblen Bereichen, also vornehmlich im Umfeld von Siedlungsgebieten. Insbesondere werden bereits erfolgte Hangbewegungen dokumentiert und analysiert. Hierdurch können Bereiche ermittelt werden, in denen mit höherer Wahrscheinlichkeit weitere Ereignisse zu erwarten sind. Die Untersuchungen haben nämlich bisher ergeben, daß der Großteil der aktuellen Ereignisse sich in solchen Bereichen abspielt, in denen bereits früher ähnliche erfolgt waren. Üblicherweise haben diese Gebiete eine gewisse Prädisposition, die langfristig erhalten bleibt. Die Standhaftigkeit dieser These wird im folgenden noch diskutiert. Die Analyse älterer Ereignisse erlaubt allerdings nicht nur eine Vorhersage bezüglich der wahrscheinlichen Lokalisationen eines Ereignisses, sondern auch über die möglichen Mechanismen. Die Lage von älteren Sturzblöcken beispielsweise gibt zumindest einen Anhaltspunkt für die wahrscheinliche Reichweite zukünftiger Felsstürze. Die bisherigen Abläufe können somit auch als modellhafte Großversuche an Ort und Stelle gesehen werden, die allerdings entsprechend interpretiert werden müssen. Sie müssen möglichen zukünftigen Ereignissen und dabei insbesondere den zu erwartenden Dimensionen, die unter Umständen auch weit über bisherige Ausmaße hinausreichen können, angepaßt werden.

Die Analyse der älteren hangdynamischen Prozesse ergibt eine Unzahl von Informationen in unterschiedlicher Qualität und unterschiedlichster Art. Neben Grundinformationen über Lage, Aktivität und Bewegungsart werden bei einer Vielzahl von Objekten genaue Angaben über eine mögliche Gefährdung und über eventuell gefährdete Objekte gemacht. Für detailliert

untersuchte Bereiche können zusätzlich Spezialkarten, Profilschnitte und Photodokumentationen vorgehalten werden. Auch die zugehörige Fachliteratur muß mit erfaßt und dokumentiert werden. Die Verwaltung derartiger Datenmengen wird überhaupt erst durch die moderne Datenverarbeitung ermöglicht. Ziel muß es schließlich sein, die Daten geordnet leicht abrufen zu können und möglichst auch für Dritte (andere Fachbehörden, Planungsträger, Planer) einen einfachen Zugang zu ermöglichen.

Um diesem Ziel gerecht werden zu können, wurde ein „Hangbewegungs-Informations- und Dokumentations-System“ erstellt, das auf einem geographischen Informationssystem (GIS) sowie auf verschiedenen Datenbanken basiert. Als Instrumente dienen dabei die Systeme ArcView, ADABAS und LARS. Bisher ist das System noch im Aufbau und aufgrund der Geschwindigkeit der Entwicklungen im DV-Sektor ist wohl noch längerfristig mit einem weiteren technischen Um- und Ausbau zu rechnen. Wesentlich ist dabei, daß die vorhandenen Datengrundlagen konstant erhalten und abgerufen sowie laufend neue Informationen eingebracht werden können.

## **2. GEORISK als Instrument für Vorhersage und Planung**

### **2.1. Das Niederschlagsereignis Pfingsten 1999**

Vom 20. bis 22. Mai 1999 fielen in Süddeutschland infolge eines für drei Tage ortsfesten Starkregenbandes ungewöhnlich starke Niederschläge. Die Regenrate erreichte teilweise Werte zwischen 10 und 30 mm/ Stunde (KÄSTNER 1999) und hielt dabei in hoher Intensität über längere Zeit an. Die Folge waren Niederschlagsmengen, die an einzelnen Meßstationen historische Höchstwerte ergaben. In Garmisch-Partenkirchen wurden am 21. 05. 99 beispielsweise 135,2 mm/ Tag gemessen, in Hinterstein bei Hindelang ergab sich die höchste gemessene Niederschlagsrate mit 234 mm/Tag bzw. von 290 mm/2 Tage. Dies entspricht einem Ereignis mit über 250jähriger statistischer Wiederkehr (KÄSTNER 1999).

Regional verteilten sich die Niederschläge sehr unterschiedlich. Ein großes Maximum lag im Bereich um den Bodensee bis in das Allgäu hinein. Ein zweites Maximum erstreckte sich vom Ammergebirge über das Werdenfelser Land (175,5 m / 3 Tage) bis zum Tegernsee, wo immer noch 170,4 mm/3 Tage registriert wurden (DEUTSCHER WETTERDIENST, frdl. Mitt. 1999).

Die Niederschläge ereigneten sich zu einem besonders ungünstigen Zeitpunkt, denn erst kurz vorher waren im Gebirge die enormen Schneemassen des vorangegangenen Februar abgeschmolzen, was bereits zu einer starken Wassersättigung der Böden geführt hatte. In der ersten Maihälfte waren außerdem schon ergiebige Niederschläge für eine weitere Sättigung verantwortlich. Im Allgäu hatten sich deshalb bereits um den 10. Mai erste Überschwemmungen ereignet. Die Kapazität des Porenraumes war also bereits vor dem Niederschlagsereignis an Pfingsten wohl weitgehend erschöpft.

Als direkte Folge der Niederschläge traten insbesondere im Allgäu und im Werdenfelser Land starke Überschwemmungen sowie Muren auf. Zudem ereigneten sich mehrere kleinere, zumeist flache Rutschungen in der Lockergesteins- oder Verwitterungsdecke (s. u.). Tiefgreifende Hangbewegungen reagierten erst mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung.

## 2.2. Einzelereignisse

### 2.2.1. Wiedmais

Die Lokalität Wiedmais befindet sich am Südwesthang des Teisenberges bei Inzell. Bereits im August 1991 löste sich bei 1010 m ü. NN anlässlich lang anhaltender und starker Niederschläge ein Schuttstrom, der eine Gesamtlänge von 700 m erreichte und ca. 500 m vor dem Ortsteil Hutterer zum Stillstand kam. Oberhalb der Anbruchmuschel des Schuttstromes wurde zeitgleich eine alte Großrutschung reaktiviert, in der sich tiefe Risse und Anbrüche bildeten. Aufgrund der Gefährdungssituation für den Ortsteil Hutterer wurde damals vom GLA eine detaillierte Untersuchung des gesamten Hanges eingeleitet. Neben genauen geologisch-geotechnischen und geophysikalischen Karten und Profilen wurden zwei Erkundungsbohrungen abgeteuft und mit Inklinometer- und Pegelrohren versehen. Des Weiteren wurde ein geodätisches Meßnetz im ganzen Bereich der Großrutschung installiert. So konnten genaue Erkenntnisse über die Kinematik der Großrutschung und die Mechanismen gewonnen werden, die zur Bildung des Schuttstromes geführt haben.

Die Untersuchungsergebnisse sowie die Auswertung der jährlichen, geodätischen Präzisionsmessungen (geodätisches Meßnetz) erlaubten eine vorsichtige Prognose, wie sich der gesamte Bereich weiterhin entwickeln könnte. Bei einem Ansteigen des Bergwasserspiegels infolge schlechter Wasserwegsamkeiten im Untergrund und stärkerer Niederschläge würden Beschleunigungen an den Meßpunkten innerhalb der Rutschmasse auftreten, die eine Übersteilung des Rutschungsfußes zur Folge hätten. Dies würde zu Anbrüchen oder sogar zur Bildung neuer Schuttströme am Fuß der Großrutschung führen.

Während sich im nördlichen Teil der Rutschmasse die Bewegungen im Laufe der Zeit verlangsamen und auf einen mehr oder weniger konstanten Wert einpendelten, konnten im südlichen Teil der Großrutschung teilweise auffällige Beschleunigungen an einzelnen Meßpunkten registriert werden (bis zu 15 cm/Monat). Die Tendenz zu einer räumlichen Verlagerung der Aktivität der Rutschbereiche vom Nord- auf den Südtteil der gesamten Rutschmassen konnte zu diesem Zeitpunkt schon erkannt werden und bestätigte die Voraussagen.

In der Nacht vom 31. 5. auf 1. 6. 1999 kam es 9 Tage nach den lang anhaltenden Pfingstniederschlägen im südlichen Teil der Großrutschung zu einer Beschleunigung des Hangbereiches. Dabei wurde eine Fläche von ca. 6 bis 8 ha Wald mit Bewegungsbeträgen von geschätzt ca. 1 bis 5 m/Tag in einer Höhenlage zwischen 900 m und 1200 m ü. NN mobilisiert (s. Abb. 1). Der geschätzte durchschnittliche Tiefgang der Bewegung lag bei etwa 15 m. Die Kubatur der Rutschmassen konnte auf ca. 1 Mio. Kubikmeter geschätzt werden. Im aktiven Bereich wurde der Waldbestand großflächig zerstört. An der Stirn der Rutschmasse (Fuß der alten Großrutschung) entwickelten sich zwei kleine Schuttströme, deren Reichweite jedoch nur wenige Zehnermeter betrug. Zum Zeitpunkt des Ereignisses konnte aufgrund der vorangegangenen Untersuchungen und der langjährigen geodätischen Überwachung die Schlußfolgerung gezogen werden, daß ähnliche Mechanismen und vergleichbare kinematische Verhältnisse, wie sie im Jahr 1991 zur Aktivierung des nördlichen Teils der Großrutschung beigetragen hatten, auch bei der Aktivierung des Südtteiles zur Wirkung kamen. So konnten auch die Auswirkungen der Hangbewegung auf weiter im Tal liegende Bereiche gut eingeschätzt werden. Das Hauptaugenmerk mußte dabei auf die weitere Entwicklung der beiden Schuttströme gelegt werden, da ein Vordringen bis zur Siedlung Hutterer entlang des sogenannten Teufelsgraben nicht auszuschließen war. Die Siedlung wird mittlerweile zwar durch einen Ablenkwall geschützt, doch hängt dessen Schutzfunktion von der Dimension der zu erwartenden



Abb.1. Blick auf den südlichen Teil der Wiedmaisrutschung, der am 31. 5. 1999 aktiviert wurde. Gut zu erkennen sind die aufgrund der Bewegungen im Untergrund umgestürzten und schiefgestellten Bäume.

den Schuttströme ab. Die Beobachtungen ergaben, daß sich die Schuttströme an Ort und Stelle beruhigten, so daß als Sofortmaßnahme nur eine Sperrung des aktiven Anbruchbereiches sowie des Geländes unmittelbar unterhalb der Rutschmasse veranlaßt werden mußte.

### 2.2.2. Oberjochstraße

Im Rahmen der Kartierungen von Hangbewegungen im Umfeld von Siedlungsgebieten wurde 1997 NE Hindelang eine eventuelle Felssturzgefahr an einer Wandstufe oberhalb der B 308 Oberjochstraße festgestellt. Hier sind mehrere ca. 60 m hohe Felstürme (s. Abb. 2) aus Hauptdolomit durch tiefgreifende Spalten vom rückwärtigen Gebirge abgetrennt. Der Hauptdolomit zeigt im Bereich der Felstürme eine erhebliche Zerklüftung. Anlässlich einer Wiederholungsbegehung nach den Frühjahrsniederschlägen 1999 konnte festgestellt werden, daß sich die Spalten hinter den Felstürmen deutlich geöffnet hatten, so daß von einer deutlichen Gefährdung der Bundesstraße ausgegangen werden mußte.

Felsstürze stehen eher selten in direktem Zusammenhang mit starken Niederschlagsereignissen. In diesem Fall sind allerdings die speziellen geologischen Verhältnisse zu berücksichtigen, die einen solchen Einfluß durchaus nahelegen: Die Wandstufe bildet die Deckenstirn der Nördlichen Kalkalpen, die hier offensichtlich an einer flachen tektonischen Überschiebung über die Arosa-Zone zu liegen kamen. Die Lage der Deckengrenze ist zwar nicht aufgeschlossen, doch muß aufgrund der umliegenden Aufschlüsse von einer nur geringen Tiefe ausgegangen werden.



Abb. 2. Blick von der „Kanzelkehre“ der B 308 nach NW auf den Kleinen Jochschrofen; die vom rückwärtigen Gebirge vollständig abgetrennten Felstürme oberhalb der Oberjochstraße sind in sich stark zerklüftet.

Nach SCHWERD (1996) besteht die Arosa-Zone aus einer lithologisch extrem heterogenen tektonischen Mischzone (Melangezone), die aus tektonischen, unterschiedlich kompetenten Blöcken und Schuppen in einer inkompetenten, vor allem aus kreidezeitlichen Peliten hervorgegangenen Melangematrix aufgebaut ist. Bei einer Kartierung im näheren Umfeld konnten vorwiegend diese bunten Pelite gefunden werden, die möglicherweise der „Couches Rouges“-Fazies zuzuordnen sind (SIMET & THOM 1990).

Mit den deutlich inkompetenten Gesteinen der Arosa-Zone im Untergrund, die von der verhältnismäßig rigiden Platte aus Hauptdolomit überlagert werden, liegt das mechanisch hoch sensible System „Hart auf Weich“ vor, wie es u. a. von POISEL & EPPENSTEINER (1988) beschrieben wird. Hier vermag der Niederschlag eine verstärkte Plastifizierung der weichen Unterlagerung hervorzurufen, was schließlich zu den Bewegungen geführt haben dürfte. Die Beobachtung durch Höhlenforscher (Hr. WOLF, frdl. mdl. Mitt.), daß die Hauptspalte extrem naß sein soll, unterstützt diese Annahme.



Aufgrund der Geometrie ist vorwiegend mit einem langsamen Einsinken oder Driften der Haupttürme nach Art einer „Blockschollenbewegung“ zu rechnen, weniger mit einem plötzlichen vollständigen Umkippen. Die starke Zerrüttung läßt nichtsdestoweniger eine erhebliche Gefährdung entstehen, da jede Bewegung des Gesamtturmes zum Abplatzen einzelner randlicher Partien führen kann, die immer noch ein Volumen von mehreren Zehnern bis Hunderten Kubikmetern haben. Dementsprechend werden derzeit die notwendigen Sanierungsmaßnahmen konzipiert.

### 2.2.3. Ostrachtal

Besonders stark wurde im Allgäu das Ostrachtal oberhalb von Sonthofen bis nach Hinterstein durch die Niederschläge betroffen. Hier haben sich zahlreiche kleinere Rutschungen ereignet, die weitgehend einem bestimmten Typus zuzurechnen sind. Es handelte sich um flache Anbrüche innerhalb von Lockergesteinen. Teilweise waren Moränen betroffen, teilweise die Hangschutt- oder Verwitterungsdecke über einem anstehenden Fels. Der Tiefgang erreichte üblicherweise nur ein bis zwei Meter, so daß die bewegten Kubaturen im Zehner bis wenige Hunderter Kubikmeterbereich blieben.

Eine größere Rutschung dieser Art hat sich bei Tiefenbach bei Sonthofen ereignet (s. Abb. 3). Am ca. 24° geneigten Hang oberhalb eines Wohnhauses hatte sich noch während der starken Niederschläge ein kleinerer Anbruch in einer Breite von ca. 30 m und einer Tiefe von 2 m ereignet. Während der Großteil nur wenige Meter weit bewegt wurde, kam das Rutschmaterial im östlichsten Nischenbereich mit einem Volumen von ca. 500 Kubikmetern infolge der starken Wasseraustritte innerhalb der Anbruchnische zum Fließen. Es bewegte sich schuttstromartig langsam bis zum Haus. Dort stauten sich die Massen an der Rückwand etwa einen Meter hoch auf, führten aber zu keinen größeren Schäden.

Der Anbruch hat ausschließlich Grundmoräne betroffen, die von einer geringmächtigen Schicht aus tonigen Schluffen mit polymikten, kantigen Komponenten überdeckt ist. Offensichtlich handelt es sich hierbei um periglazialen Solifluktionsschutt. Diese Überlagerung weist einen wesentlich höheren Feinanteil auf als die unterlagernde Moräne. Entsprechend dürfte auch ihre Durchlässigkeit geringer anzusetzen sein. Der Solifluktionsschutt bildete somit einen im Verhältnis zur Unterlagerung geringer wasserdurchlässigen „Deckel“. Es ist davon auszugehen, daß sich unter dieser Schicht ein Wasserdruck aufbauen konnte, der schließlich zum Absprengen des „Deckels“ führte. Derartige Vorgänge werden auch als „Hangexplosionen“ (z. B. MOSER 1980) beschrieben, wobei die Druckentlastung zeitweise zu einem fontänenartigen Hervorquellen des Wassers führen kann.

Typischerweise finden solche Hangexplosionen im Bereich von Gefällszunahmen statt. Auch bei Tiefenbach liegt oberhalb der Anbruchkante eine flachere Almwiese, in deren Bereich sich reichlich Wasser im Untergrund ansammeln konnte. Direkt oberhalb der Anbruchkante nimmt das Gefälle schließlich zu. Hier finden sich im Bewuchs auch Anzeichen für bereits seit langem bestehende Vernässungszonen, jedoch keine morphologischen Anzeichen für ältere Anbrüche.



Abb. 3. Rutschung N Tiefenbach bei Sonthofen; Blick auf den flachgründigen Anbruch und die sich anschließende Rutschmasse, die bis zum Wohnhaus vordrang.

### 3. Schlußfolgerungen

Ein erheblicher Teil der durch die Niederschläge im Mai 1999 aktivierten Hangbewegungen fand in Bereichen statt, die aufgrund der GEORISK-Erhebungen bereits als kritisch bekannt waren. Hierbei ist insbesondere die Reaktivierung oder Beschleunigung von älteren, großen Rutsch- und Kriechmassen zu nennen. Diese Reaktivierung erfolgte weitgehend mit einer zeitlichen Verzögerung zu den Niederschlagsereignissen. Die Erfassung solcher älterer Bewegungsbereiche, wie sie im GEORISK-Informationssystem erfolgt, hat sich somit als ein Vorhersagewerkzeug bewährt. Auch hat es sich gezeigt, daß das aktuelle Verhalten vieler Hangbewegungsbereiche nur durch längerfristige Beobachtung ergründet werden kann. Erst nach Kenntnis der aktuellen Vorgänge sind jedoch Prognosen in die Zukunft möglich. Um also eine Gefährdungsvorhersage durchführen zu können, sind weiterhin in erheblichem Maße Beobachtungen, meßtechnische Überwachungen und Wiederholungsbegehungen erforderlich.

Dies wird zukünftig neben den Neuaufnahmen und Aktualisierungen von Einzelobjekten den Hauptteil der Geländearbeiten darstellen müssen.

Problematisch ist allerdings die Prognose von sog. Hangexplosionen. Sie ereignen sich üblicherweise an vorher weitgehend unberührten Hängen, so daß aufgrund der Morphologie nicht auf eine Sensibilität geschlossen werden kann. Offensichtlich handelt es sich um Ereignisse, die allein mit einer extremen Niederschlagsituation in Verbindung zu bringen sind. Aufgrund der Erfahrungen aus solchen Starkregenereignissen in anderen Gebieten, wie z. B. in Sachseln (PETRASCHECK et al. 1998) oder bei Immenstadt (STRAUB 1988) ist davon auszugehen, daß beim Zusammentreffen der entsprechenden natürlichen Faktoren (Vorsättigung, Bodenaufbau, morphologische Situation etc.) nahezu überall ähnliche Ereignisse stattfinden können, wenn der Niederschlag ausreichend exzessiv wird. Eine Prädisposition ist für solche Fälle bisher nicht anzugeben.

#### 4. Literatur

- KÄSTNER, W. (1999): Hochwasser vom 21. 05. bis 26. 05. 1999. – Unveröff. Ber. Bayer. L.-Amt f. Wasserwirtsch.: 13 S., München.
- MOSER, M. (1980): Zur Analyse von Hangbewegungen in schwachbindigen bis rolligen Lockergesteinen im alpinen Raum anläßlich von Starkniederschlägen. – Int. Symp. INTERPRAEVENT, 1980: 121–148, Bad Ischl.
- PETRASCHECK, A., BERWERT-LOPES, J., MANI, P. & ZARN, B. (1998): Ereignisdokumentation Sachseln. Unwetter vom 15. August 1997. – Studienber. B.-Amt f. Wasserwirtsch., **8**: 48 S., Biel.
- POISEL, R. & EPPENSTEINER W. (1988): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung, Teil 1: Geomechanik des Systems „Hart auf Weich“; Teil 2: Massenbewegungen am Rand des Systems „Hart auf Weich“. – Felsbau, **6** (4,7): 189–194, 16–20, Essen.
- SCHWERD, K. (1996): Arosa-Zone und Walserbergserie. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 500 000. – 4. Aufl.: 218–219, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SIMET, Ch. & THOM, P. (1990): Bericht zur geologischen Kartierung im Einzugsgebiet des Rothplatten- und Hirschbaches nördlich Hindelang. – Unveröff. Ber. i. Auftr. Bayer. L.-Amt f. Wasserwirtsch.: 22 S., München.
- STRAUB, J. (1988): Landschaft und Mensch im Allgäu – Eine Untersuchung über Massenbewegungen am Alpsee. – 89 S., Frankfurt (Haag & Herchen).

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 8. 9. 1999.



## Abfalldeponie nach Technischer Anleitung Siedlungsabfall (TASi): Die Stellung der Geologischen Barriere im Multibarrierenkonzept

Von HANSJÖRG OELTZSCHNER

Mit 2 Abbildungen

Schlüsselworte: Abfalldeponie – Geologische Barriere – Multibarrierensystem

Kurzfassung: Im Jahr 1980 wurde das Stichwort „Mehrbarrierenkonzept“ im deutschen Sprachgebrauch wohl erstmals im Zusammenhang mit der Endlagerung radioaktiver Stoffe verwendet: ALBRECHT & HUNSCH (1980) definieren als Multibarrierenprinzip „ein System hintereinandergeschalteter oder ineinandergreifender, natürlicher und technischer Barrieren“, wobei unter letzteren „die Fixierung der Abfälle und die Umhüllung der Abfallprodukte“, unter „natürliche Barrieren“ „die die Abfälle einhüllenden Gesteinskomplexe“ verstanden werden.

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, die sich u. a. mit der sicheren Endlagerung radioaktiver Kernbrennstoffe befassen mußte, hat dieses Mehrfachbarrierensystem dann zur Grundlage ihrer Sicherheitsphilosophie gemacht.

Im Zusammenhang mit der Ablagerung von kommunalen Abfällen wurde die Bedeutung und Funktion des geologischen Untergrundes als mögliche Sicherheits-Barriere im Untergrund unter Abfalldeponien erst zum Ende der 80er Jahre zunehmend anerkannt. Bei der Bewertung von Deponiestandorten wird der „Geologischen Barriere“ seither eine führende Rolle zuerkannt. In der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) wird 1992 erstmalig *expressis verbis* von einer „Geologischen Barriere“ gesprochen und es wurden konkrete Mindestanforderungen an diese Barriere formuliert.

Mit der endgültigen Durchsetzung der TASi, d. h. nurnmehr Einbringung von mineralisierten oder nicht brennbaren Reststoffen mit weniger als 5 % Organikanteil in Deponien (Mineralstoffdeponien), wird das Gefahrenpotential, das bislang in Multikomponentendepontien immanent war, ganz wesentlich minimiert. Damit ist der Schwerpunkt der Gefährdungsbetrachtungen vom Deponieumfeld auf den Deponie-Input konzentriert worden und es muß gefolgert werden, daß bei einer ordnungsgemäßen Bauausführung einer Deponie für Reststoffe aus der Behandlung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen nach TASi der Geologischen Barriere nurnmehr eine sekundäre Bedeutung zukommt.

In Entwicklungsländern, die sich weder der finanziellen noch der technischen Möglichkeiten westlicher Industrieländer beim Bau von Deponien bedienen können, wird der Geologischen Barriere nach wie vor bei der Standortbestimmung von Abfalldeponien eine vorrangige Sicherungsfunktion zukommen.

Sanitary landfill according to „Technische Anleitung Siedlungsabfall“ (TASi):  
the importance of geology as a barrier in the multi-barrier system

Keywords: Sanitary landfill – geology as a barrier – multi-barrier system

Abstract: The philosophy of the „Multi-Barrier System“ which consists of a combination of artificial (technical) and natural (geological) barriers as a protection against hazardous emissions from disposed of waste was used for the first time (in 1980) in connection with the safe disposal of waste from nuclear plants. Some years later (about 1985) the authorities and institutions which were responsible for the disposal of municipal solid waste picked up the idea of this multi-barrier system, and the „geological barrier“ was born. In fact, the english version of this phrase, „geology as a barrier“ is much more appropriate describing the correct function of the geological situation beneath a landfill site. Eventually the „geological barrier“ played

---

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. HANSJÖRG OELTZSCHNER, Fischerstr. 11, D-82266 Bachern/Wörthsee.

a key role in the evaluation of a site chosen for a sanitary landfill, and often it (or its poor quality/non-existence) became a major argument to prevent a site!

With the new (1992) Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASi) the existence of a geological barrier with a sufficient quality had to be proved beneath a new sanitary landfill site before the official agreement to its construction would be given. This regulation is necessary as long as untreated waste is disposed of in a sanitary landfill with leachate which may contaminate the groundwater, if leaking through the lining of the landfill. But with the correct input of waste which is containing less than 5 % of organic matter (i. e. mineral residues), with a leachate quality according to the regulations of TASi (landfill type 2), and the correct disposal in technical safety barriers in Germany the existence of a „geological barrier“ does not any more have the same importance as before.

On the other hand in developing countries which have neither the financial nor the technical means to construct a sanitary landfill with all the sophisticated lining systems used in industrialized western countries the identification of a suitable site for a sanitary landfill must depend mainly on the geological quality of the subsurface beneath the landfill, in order to minimize the hazards of contamination for the groundwater.

## Inhalt

1. Rückblick .....	354
2. Der aktuelle Barrieregedanke .....	356
3. Die Geologische Barriere als „Streitobjekt“ .....	357
4. Die Bedeutung der Geologischen Barriere für eine Deponie nach Technischer Anleitung Siedlungsabfall (Reststoffdeponie) .....	360
5. Die Bedeutung der Geologischen Barriere in Entwicklungsländern .....	361
6. Folgerungen .....	361
7. Literatur .....	362

## 1. Rückblick

Bis Ende der 70er Jahre spielte bei der Standortsuche oder umweltrelevanten Bewertung von Abfalldeponien die Geologie bestenfalls nur eine nachgeordnete Rolle. In den Merkblättern zur Abfallbeseitigung des Bundesgesundheitsamtes, die damals die wesentliche rechtliche Grundlage im Zusammenhang mit Deponieplanung und -bau darstellten, wurde lediglich gefordert, daß „die Eignung des Untergrundes zur Anlage einer Deponie von Sachverständigen, z. B. Hydrologen, Geologen, Wasserwirtschaftsingenieuren, nach wasserwirtschaftlichen, hydrogeologischen und grundbautechnischen Gesichtspunkten festgestellt werden muß.“

In einem Aufsatz in der Zeitschrift „Müll und Abfall“ machte sich STIEF (1980) „Gedanken zur Ablagerung von Abfällen“ und schrieb: „Der Trend, Deponien auf naturdichten Standorten einzurichten oder die Deponiebasis abzudichten, ist in der Bundesrepublik unverkennbar ansteigend.“ Im gleichen Aufsatz erwähnte STIEF aber, daß in anderen Ländern auch die Auffassung vertreten wird, das Reinigungsvermögen des Untergrundes, insbesondere auch bezüglich toxischer Inhaltsstoffe, zu nutzen, d. h., dichte Deponien bewußt zu vermeiden. Er schrieb weiter: „Zu jeder Deponie gehört eine nicht genau vorherzubestimmende Schmutzfahne im Grundwasserbereich. Die Begrenzung der Schmutzfahne wird durch die Reinigungsprozesse im Boden, nicht zuletzt aber auch durch die Verdünnung im Grundwasserstrom bestimmt.“ D. h. letztendlich, daß bis etwa zum Beginn der 80er Jahre die Schadstoffemission

durch eine Deponie mehr oder weniger als gegeben hingenommen wurde. Allerdings war man sich bei der Neuplanung von Deponien schon darüber klar, daß die Reinhaltung der Gewässer als vorrangig zu betrachten ist.

Etwa zur gleichen Zeit, d. h. ebenfalls im Jahr 1980, wurde das Stichwort „Mehrbarrierenkonzept“ im deutschen Sprachgebrauch wohl erstmals in zwei Publikationen verwendet, die im Zusammenhang mit der Endlagerung radioaktiver Stoffe standen: ALBRECHT & HUNSCHE (1980) definieren als Multibarrierenprinzip „ein System hintereinandergeschalteter oder ineinandergreifender, natürlicher und technischer Barrieren“, wobei unter „technische Barrieren“ „die Fixierung der Abfälle und die Umhüllung der Abfallprodukte“, unter „natürliche Barrieren“ „die die Abfälle einhüllenden Gesteinskomplexe“ verstanden werden. Praktisch zeitgleich stellt LANGER (1980) bei der 4. Nationalen Tagung über Felsmechanik der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau in Aachen dieses Multibarrierenprinzip vor, wobei er zwischen „Technischem, Gebirgsmechanischem und Geologischem System“ unterscheidet (s. Abb. 1).

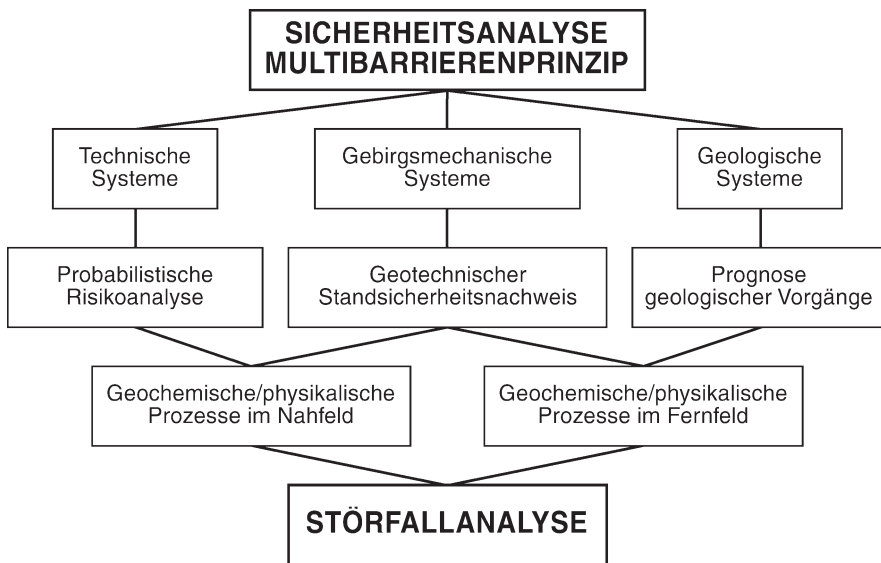


Abb. 1. Anwendung des Multibarrierenprinzips bei der Endlagerung von radioaktiven Abfällen (LANGER 1980).

In einer späteren Publikation der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ (PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT 1983) wird das Multibarrierensystem erweitert. Dabei wird eine Kombination folgender möglicher Barrieren als zweckmäßig angesehen:

- Abfallform
- Verpackung
- Versatz
- Endlagerformation
- Deckgebirge/Nebengestein

Hinsichtlich der Standortauswahl, vor allem für die Langzeitsicherheit, wird in dieser

Schrift betont, daß die Endlagerformation in Verbindung mit dem geologischen Gesamtsystem dabei entscheidend ist.

1985 hat dann der Autor (OELTZSCHNER 1985), beeinflußt durch die entsprechenden Ausführungen der PTB, in einem Beitrag zum ersten Nürnberger Deponieseminar („Bodenmechanische und hydrogeologische Probleme bei Abfalldeponien“) festgestellt: Die Deponie von heute wie auch in der Zukunft muß nach dem System der „Mehrfachbarrieren“ abgesichert sein. Im einzelnen bedeutet dies Schutz der Umwelt durch:

- Standortwahl nach sorgfältigst vorgeprüften hydrogeologischen Gesichtspunkten
- Einrichtung nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik unter Berücksichtigung aller vorliegenden Erfahrungen
- Betrieb der Deponie nach dem Stand der Technik und den gesamten vorliegenden Erfahrungen auf dem Gebiet der Emissionsverhinderung oder zumindest -verminderung
- entsprechende Sicherheits- und Schutzmaßnahmen (Abdeckung, Entgasung, Sickerwasserentsorgung, Nutzungseinschränkung etc. bei und nach der Rekultivierung)

## **2. Der aktuelle Barrieregedanke**

Im Jahr darauf hat wiederum STIEF (1986) in der bundesweit als einschlägiges Fachjournal verbreiteten Zeitschrift „Müll und Abfall“ „das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien“ vorgestellt. Auf diese Publikation haben nachfolgend praktisch alle, die in Deutschland mit Deponiestandortsuche und -planung zu tun hatten, bezug genommen. STIEF (1986) bezeichnet als Barrieren:

- den Deponiestandort
- das Deponiebasisabdichtungssystem
- den Deponiekörper
- die Oberflächenabdichtung
- die Nutzung
- die Nachsorge und die Kontrollierbarkeit der Barrieren

Von besonderem Interesse ist in diesem Artikel ein Absatz, der in seiner Bedeutung außer von STIEF selbst anfänglich wohl nur von wenigen erkannt wurde: „Bei konsequenter Anwendung des Multibarrierenkonzepts und der sorgfältigen Kontrolle der Wirksamkeit der Barrieren wird insbesondere die Entwicklung der erhöhten Wirksamkeit der Barriere ‚Deponiekörper‘ die Verbesserung der Umweltverträglichkeit der Deponie bestimmen.“ Diese Aussage ist von grundlegender Bedeutung und erst die TASI (Eluatkriterien) ist ihr in konsequenter Weise nachgekommen.

Der Grundgedanke ist dabei sehr einfach: Je weniger (mobilisierbare) Schadstoffe in eine Deponie hineingebracht werden, umso weniger Schadstoffe können von dieser Deponie auch wieder abgegeben werden. Die Forderung, den Schadstoff-Input in einer Deponie so gering wie möglich zu halten, bedeutet gleichzeitig, daß, wenn sie korrekt eingehalten wird, die anderen von STIEF (1986) und anderen genannten Barrieren letztlich nur eine vergleichsweise sekundäre Bedeutung haben, einschließlich der sogenannten Geologischen Barriere!

Nichtsdestoweniger stürzten sich vor allem die Geologen, Hydrogeologen und Wasserwirtschaftler in der zweiten Hälfte der 80er Jahre auf das Stichwort „Deponiestandort als Barriere“:



Das Wort „Geologische Barriere“ war plötzlich in aller Munde. Hatten die Geowissenschaftler doch endlich einen Platz in der Welt der Abfallwirtschaft gefunden, wo ihr Wort etwas galt und ernstgenommen werden mußte. Der Autor dieses Berichtes möchte sich davon nicht ausnehmen. In einem Aufsatz über „Anforderungen an Basisabdichtungen einschließlich Deponieaufstandsflächen“ greift der Autor (OELTZSCHNER 1988) den Barrieregedanken von STIEF auf und erweitert ihn: An erster Stelle der zitierten Barrieren steht hier: „Geologie: Standortwahl nach sorgfältigst vorgeprüften hydrogeologischen Gesichtspunkten“.

Ein Arbeitskreis der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe hatte sich bereits 1986 gebildet und versucht, in jahrelanger Arbeit geowissenschaftliche Kriterien für Deponiestandorte zu erarbeiten. Ein Produkt dieser Arbeit war eine Übersicht über hydrogeologische Standorttypen für Deponien (DÖRHÖFER 1987), in der 14 verschiedene Standorttypen dargestellt wurden, die in der Praxis allerdings kaum Anwendung fand. Der gleiche Arbeitskreis stellte 1990 Vorschläge für Anforderungen an die Geologische Barriere im Deponiekonzept vor (OELTZSCHNER 1990). Die Vorschläge, die als Empfehlungen des Arbeitskreises formuliert waren, stellten vor allem an die Mächtigkeit der Geologischen Barriere sehr hohe Anforderungen, z. B. Mindestmächtigkeit 5 m bei Lockergestein für Siedlungsabfalldeponien und 10 m Mindestmächtigkeit bei Lockergestein für Sonderabfalldeponien. Diese (Wunsch-) Vorstellungen stießen naheliegenderweise auf recht massiven Widerstand bei fast allen, die mit Planung und Realisierung einer Deponie befaßt waren.

### 3. Die Geologische Barriere als „Streitobjekt“

Zwischenzeitlich war eine Standortsuche ohne maßgebliche Berücksichtigung der jeweiligen geologisch-hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse am Standort bzw. im Standortumfeld undenkbar geworden. Vor allem auch die jeweiligen Deponiegegner benutzten die Geologische Barriere als Waffe gegenüber den Deponiebefürwortern. Die Schwierigkeit, genaue geowissenschaftliche Aussagen über die Verhältnisse am potentiellen Deponiestandort zu erhalten, führten nicht nur dazu, daß mit jedem neuen Standortvorschlag die Zahl der Bohrungen und sonstigen geologischen Untersuchungen zunahm, sondern auch, daß die diesbezüglichen Forderungen der Deponiegegner manchmal bis fast ans Groteske reichten. Anhörungstermine wurden zu erbitterten Schlachten, bei denen sich die geologischen Gutachter der Deponiegegner und die Fachgutachter der Antragsteller bzw. der Regierung die Köpfe heiß redeten und manchmal beinahe auch blutig schlugen.

Die Tendenz, die Wichtung der Barrieren auf das Deponieumfeld anstatt auf den Inhalt der Deponie zu verlagern, wurde letztlich auch dadurch bewirkt, daß die TASI (interessanterweise nicht die vorhergehende Technische Anleitung Abfall) die Geologische Barriere expressis verbis anführte und gewisse, unglücklicherweise nicht immer präzise Anforderungen an diese Geologische Barriere vorgab. Vor allem bei Laien (leider auch bei einigen Fachleuten, die es eigentlich hätten besser wissen sollen) setzte sich die Vorstellung fest, daß die Geologische Barriere unter der Deponie als ein völlig wasserdichtes, mindestens 3 m dickes „Brett“ zu sehen sei. Es dauerte einige Zeit, bis dann durch den zuvor erwähnten Arbeitskreis der Geologischen Dienste der Bundesrepublik eindeutig (und hoffentlich auch endgültig) definiert wurde, was unter Geologischer Barriere tatsächlich zu verstehen ist (AUST et al. 1997). Es erscheint wichtig, diese Definition hier noch einmal zu zitieren:

„Die Geologische Barriere ist demnach ein natürlicher Untergrund mit hohem Schadstoffrückhaltevermögen und möglichst geringer Wasserwegsamkeit. Sie sollte über möglichst

große Mächtigkeit verfügen und flächenhaft verbreitet sein. Als Geologische Barriere ist das gesamte Schichtpaket unterhalb einer Deponiedichtung bis zum nächsten Aquifer bzw. nutzbaren Grundwasserleiter zu betrachten. Dementsprechend wird in der Geologie von einem als Barriere wirksamen Gebirge, besser noch vom Schutzpotential des Untergrundes gesprochen. Der ‚barrierewirksame‘ natürliche Untergrund unter einer Deponie kann langfristig allerdings nur eine retardierende Wirkung gegenüber Schadstoffen besitzen, daher die Forderung nach:

- möglichst großer Mächtigkeit (Dicke)
- möglichst geringer Permeabilität (Durchlässigkeit)
- möglichst großer Sorptionsfähigkeit
- möglichst großer flächenhafter Ausdehnung

Werden technische Maßnahmen zur Verbesserung der Barrierewirkung im Bereich der Aufstandsfläche einer Deponie erforderlich, so wird damit eine Technische Barriere geschaffen. Eine derartige Barriere kann dementsprechend auch nicht vollwertiger Ersatz einer Geologischen Barriere sein, sondern muß als technische Ergänzung eines die Anforderungen nicht ausreichend erfüllenden Untergrundes angesehen werden. Ergänzungsmaßnahmen in Form von Bodenverbesserung bzw. Bodenaustausch, die in qualitativ und quantitativ definierter Form vorgenommen werden und in der Praxis auch nicht wesentlich über die Deponieaufstandsfläche hinausreichen, können deshalb auch nicht als künstliche Geologische Barriere definiert werden. Sie stellen daher nur eine zusätzliche technische Sicherung zur Einkapselung des Deponiekörpers dar.“ (Zitatende).

Von Bedeutung ist hier wohl vor allen Dingen auch das Stichwort „Schutzpotential des Untergrundes“, oder wie im amerikanischen Sprachgebrauch viel korrekter ausgedrückt „geology as a barrier“, d. h., die geologischen Verhältnisse unterhalb einer Deponie sind in ihrer Gesamtheit zu betrachten, und zwar nicht nur hinsichtlich ihrer möglichst großen Dicke und geringen Permeabilität, sondern vor allem auch hinsichtlich ihrer möglichen Sorptionsfähigkeit. Hier fließt wieder STIEFS (1980) Gedanke ein, daß die Begrenzung einer von einer Deponie ausgehenden Schmutzfähne durch die Reinigungsprozesse im Boden bestimmt wird. Das spricht wiederum für die grundsätzlich nicht zu unterschätzende Bedeutung einer ein hohes Schadstoffrückhaltevermögen besitzenden geologischen Schicht unter bzw. im Umfeld einer Abfalldeponie (FICHEL & OELTZSCHNER 1979).

Dies greift vor allem dann, wenn man feststellen muß – wie es inzwischen bei zahllosen Untersuchungen der Fall war –, daß auch die „schönste“ Geologische Barriere tatsächlich in sehr vielen Fällen so dicht nicht ist, wie es zuerst den Anschein hat. Eine noch so geringe Gesteinsdurchlässigkeit kann sich in situ ganz anders darstellen, wenn die Gebirgsdurchlässigkeit geprüft wird. In Abbildung 2 wird dies bei einer „Geologischen Barriere“ aus qualitativ hochwertigem und sehr dichtem, tertiärem Ton unterhalb einer Hausmülldeponie im wahrsten Sinn des Wortes augenfällig. Hier zeigt sich, durch den Eisengehalt des aus der Deponie austretenden Sickerwassers hervorragend sichtbar gemacht, wie auch in einem scheinbar dichten Ton über feinste Klüftchen Sickerwasser in den tieferen Untergrund wandern kann.

Unabhängig davon scheint sich aber nach wie vor bei vielen der Eindruck zu halten, daß die Deponie trotz hochwertiger Dichtung eine Art Rieselfeld ist, aus dem flächenhaft laufend nicht unerhebliche Mengen an Schadstoffen an den Untergrund abgegeben werden. Zumindest bei vielen Anhörungsterminen wurde diese Vorstellung von den Deponiegegnern vertreten. Daß eine moderne Deponie nach TASI oder nach der Technischen Anleitung Abfall ein technisch hervorragend durchkonzipiertes Abdichtungs- und Entwässerungssystem besitzt, wird offensichtlich dabei so gut wie gar nicht in Rechnung gestellt. Selbst wenn diese Systeme im Laufe



Abb. 2. Deponiesickerwasser (braun verfärbt) tritt über einer Tonschicht (obere Abb.), aber auch aus feinsten Klüftchen innerhalb der Tonschicht (untere Abb.) aus. – Fotos: OELTZSCHNER 1993.

der Zeit Leckagen oder Schwachstellen aufweisen sollten, so kann guten Gewissens angenommen werden, daß das System nicht vollständig versagt und daß ein Schadstoffaustrag bezogen auf die Größe „Zeit“ immer äußerst gering sein dürfte. Gerade der Quotient Menge pro Zeit ist aber ausschlaggebend für eine mögliche Belastung des Grundwassers im Deponieumfeld durch Deponiesickerwässer. Dementsprechend sind auch die Anforderungen an die Barrierewirkung der geologischen Schichten unterhalb einer potentiellen Sickerwasseraustrittsstelle durchaus vergleichsweise mäßig (s. TASI mit ihren Anforderungen an die Geologische Barriere:  $k_f = 10^{-6}$  m/s in situ).

#### **4. Die Bedeutung der Geologischen Barriere für eine Deponie nach Technischer Anleitung Siedlungsabfall (Reststoffdeponie)**

Das Stichwort „Deponiesickerwasser“ veranlaßt zu weiteren Überlegungen: Bislang wurden bei den meisten Diskussionen um die qualitativen Anforderungen an eine Geologische Barriere „Äpfel mit Birnen verglichen“ bzw. „Äpfel und Birnen in einem Topf verkocht“. Bezogen auf Deponien heißt das: Die für die TASI erarbeiteten Vorgaben wurden grundsätzlich auch für Deponien der „alten Art“, d. h. Multikomponentendeponien angesetzt. Dies ist durchaus richtig, denn die Belastung der Sickerwässer aus derartigen Multikomponentendeponien sind erfahrungsgemäß und nachgewiesenermaßen wesentlich größer als diejenigen, die bei einer Deponie, die den Auflagen der TASI voll gerecht wird, zu erwarten sind. Letztere, die „klassische“ TASI-Deponie, ist aufgrund der in der TASI festgelegten Vorgaben eine reine Mineralstoffdeponie mit Sickerwässern, die aufgrund der Zuordnungskriterien für Deponien (Deponieklasse 2) nur noch minimal belastet sind. Hier greift wirklich der Satz: „Was in die Deponie nicht hineinkommt, kann auch nicht herauskommen.“ Fazit: Das Gefahrenpotential einer „echten“ Klasse-2-Deponie nach TASI ist endlich, wie von STIEF immer gefordert, so gering geworden, daß von einer solchen Deponie nurmehr geringste Umweltbelastungen ausgehen können. Theoretisch kann man, wenn die Inhaltsstoffe einer solchen Deponie die Zuordnungswerte erfüllen, davon ausgehen, daß ein genügend mächtiger tonmineralischer Untergrund unterhalb des Deponiekörpers eigentlich ausreicht, um im Laufe von längeren Zeiträumen zutretende Sickerwässer zurückzuhalten oder zumindest nur ganz allmählich an den Untergrund abzugeben.

Insofern stellen die Forderungen der TASI in Hinblick auf die Geologische Barriere letztlich einen Widerspruch in sich dar, da einerseits die in eine TASI-Deponieklasse 2 eingebrachten Abfälle als Mineralstoffe zu bezeichnen sind, die, wenn sie denn ausgelaugt werden, pro Zeiteinheit nur noch sehr schwache Belastungen abgeben, andererseits werden gerade für eine solche Deponie hinsichtlich Dichtung und geologischem Untergrund Anforderungen gestellt, die nach den bisherigen Erfahrungen sogar einer Sondermülldeponie gerecht werden würden.

In diesem Zusammenhang muß auch erwähnt werden, daß alle Untersuchungen an mineralischen Dichtungen (ohne Kunststoffdichtungsbahn-Auflage), die bislang vorgenommen wurden, gezeigt haben, daß die Dichtungsschichten nur ganz geringfügig (< 10 cm) durch Sickerwasser beeinflußt wurden. Alle bislang vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, daß mineralische Deponiebasisdichtungen, wenn sie denn ordnungsgemäß eingebaut worden waren, die an sie gestellten Anforderungen mehr als genug erfüllt haben. Eine Durchsickerung bzw. Diffusion von Sickerwasserinhaltsstoffen durch diese Dichtung konnte in keinem Fall festgestellt werden (SCHNEIDER 1994; BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 1999).

Aufgrund der Summe der zwischenzeitlich vorliegenden Erfahrungen kann daher die Aussage getroffen werden:

Eine Deponie, die entsprechend der TASI-Anforderungen nur mit Mineralstoffen (organische Anteile des Trockenrückstandes der Originalsubstanz als Glühverlust < 5 % der Masse) betrieben wird, weist nur ein sehr geringes Gefahrenpotential auf. Die geforderten technischen Dichtungsmaßnahmen stellen (eine entsprechende Qualitätssicherungskontrolle vorausgesetzt) hierfür eine ausreichende Schutzbarriere dar. Ein vollständiges Versagen dieser Barrieren auch über lange Zeiträume hinweg ist nicht anzunehmen; darüber hinaus wird bei ordnungsgemäßer Deponieabdeckung kaum mehr ein Wassereintrag in die Deponie erfolgen, so daß Lösungsvorgänge innerhalb der Deponie auf ein Minimum reduziert werden dürften. Bei korrekter Erfüllung dieser Vorgaben und unter der Voraussetzung, daß keine unbehandelten Siedlungsabfälle in eine Deponie eingebracht werden, ist dem Vorhandensein einer Geologischen Barriere nach TASI wohl nur mehr eine sekundäre Bedeutung zuzumessen.

## **5. Die Bedeutung der Geologischen Barriere in Entwicklungsländern**

In Ländern, die sich aufwendige technische Sicherungsmaßnahmen, wie sie bei uns in der Bundesrepublik Deutschland möglich und vom Gesetz her gefordert sind, nicht leisten können und wo nach wie vor noch lange unbehandelte kommunale Abfälle (oft vermischt mit Sonderabfällen) abgelagert werden, greift die o. a. Auslegung ganz sicher nicht. Hier muß nach wie vor die Geologie in einem Deponiestandortraum die wichtige Funktion einer Schutzbarriere übernehmen. Bei der Standortidentifizierung und Bewertung ist in solchen Ländern vorrangig Wert darauf zu legen, daß sorgfältige geologisch-hydrogeologische Voruntersuchungen erfolgen und deren Ergebnisse letztendlich die Standortauswahl bestimmen. Eine geeignete Geologie ist schließlich immer noch die kostengünstigste und langfristig am sichersten wirksame Barriere. Selbstverständlich darf gerade in Ländern, bei denen entweder keine entsprechenden Vorschriften bestehen oder diese nicht sehr genau eingehalten werden, angenommen werden, daß auch in den kommenden Jahren noch immer durchaus hochbelastete Abfälle in Deponien (Multikomponentendeponien mit Sonderabfällen) eingelagert werden. Selbst wenn hier schon Dichtungen und Sickerwassererfassungssysteme gebaut werden, ist die Gefahr von Leckagen oder vergleichbaren Schwachstellen an der Deponiehülle so groß, daß ein geeigneter geologischer Untergrund eine vorrangige Position als Schutz gegenüber Grundwassergefährdungen einnimmt.

## **6. Folgerungen**

Als Fazit der vorliegenden Überlegungen kann ausgesagt werden:

Bei allen Mehrkomponentendeponien, deren Auslaugverhalten durch die eingelagerten, stärker auslaugfähigen Abfälle bestimmt wird, wird neben den technischen Barrieren die Geologische Barriere als Langzeitschutz nach wie vor eine wichtige Rolle spielen. Bei allen Deponien, die gemäß TASI nurmehr einen geringen Schadstoff-Input haben (reine Mineralstoffdeponien), wird eine ordnungsgemäß eingebaute technische Dichtung (Kombinationsdichtung) auch langfristig einen ausreichenden Schutz bieten. Der Geologie als Barriere hinsichtlich des Grundwasserschutzes kann hier durchaus eine sekundäre Bedeutung zugeordnet werden.

## 7. Literatur

- ALBRECHT, F. & HUNSCH, U. (1980): Gebirgsmechanische Aspekte bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzdiapiren unter besonderer Berücksichtigung des Fließverhaltens von Steinsalz. – Fortschr. Mineral., **58** (2): 212–247, Stuttgart.
- AUST, H., BAURIEGEL, A., DAHMS, E., DÖRHÖFER, G., FINGER, P., HÄDRICH, A., HÖRINGKLEE, P., HUCH, K. M., JÄGER, B., KASCHANIAN, B., KOPP, J., MAIER-HARTH, U., OELTZSCHNER, H., WECKECK, H. & WESTRUP, J. (1997): Geowissenschaftliche Rahmenkriterien zur Standorterkundung für Deponien. – Geol. Jb., **G 4**: 98 S., Hannover.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN [Hrsg.] (1999): Deponieforschung in Bayern – Ergebnisse von Forschungsvorhaben zum Themenbereich „Deponie“. – 158 S., München (Bayer. Staatsmin. L.-Entwickl. Umweltfrag.).
- DÖRHÖFER, G. (1987): Geologische Standorttypen für Deponien – Ein Ansatz zur Definition der Geologischen Barriere. – Ber. 6. Nat. Tag. Ing.-Geol.: 21–38, Aachen.
- FICHEL, K., & OELTZSCHNER, H. (1979): Die Reinigungswirkung von Lockersedimenten auf Sickerwässer aus Schlackedeponien. – LfU-Schriften. Abfallwirtsch., **6**: 70 S., München.
- LANGER, M. (1980): Grundlagen des Standsicherheitsnachweises für ein Endlagerbergwerk im Salzgebirge. – 4. Nat. Tag. Felsmech., 5. u. 6. Mai 1980: 365–376, Aachen (Dt. Ges. Erd- u. Grundbau).
- OELTZSCHNER, H. (1985): Allgemeine Gesichtspunkte zur Abfalldeponie. – Veröff. LGA-Grundbauinst., **44**: 3–12, Nürnberg.
- OELTZSCHNER, H. (1988): Anforderungen an Basisabdichtungen einschließlich Deponieaufstandsflächen. – In: THOMÉ-KOZMIENSKY [Hrsg.]: „Deponie 2“ – Ablagerungen von Abfällen. – 326–342, Berlin (EF-Verl. Energie- u. Umwelttechnik).
- OELTZSCHNER, H. (1990): Vorschläge der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) für Anforderungen an die „Geologische Barriere“ im Deponiekonzept. – Z. dt. geol. Ges., **141**: 215–224, Hannover.
- PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT, Abteilung SE [Hrsg.] (1983): Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk. – PTB-Info-Blatt **1983**, (2): 4 S., Braunschweig.
- SCHNEIDER, G. (1994): Untersuchungen an älteren feinkornmineralischen Dichtungsschichten von Hausmülldeponien in Bayern und sich daraus ergebende Folgerungen für Deponiedichtungen und geologische Barrieren. – Veröff. LGA-Grundbauinst., **72**: 159–200, Nürnberg.
- STIEF, K. (1980): Gedanken zur Ablagerung von Abfällen. – Müll u. Abfall, **12**(8): 240–248, Berlin.
- STIEF, K. (1986): Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien. – Müll u. Abfall, **18**(1): 15–20, Berlin.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 2. 8. 1999.

## Die bodenkundliche Landesaufnahme – Grundlage für Bodenschutz und Daseinsvorsorge

Von OTTO DREXLER, WALTER GROTTENTHALER, HANS-PETER GRUBER,  
WALTER MARTIN und FRANZ SCHMIDT

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

**Schlüsselworte:** Bayern – bodenkundliche Landesaufnahme – Bodenprofil – Boden-Grundinventur – Boden-Flächeninventur – Bodenkartierung – Bodenschutz – Bodenfunktionen – Hintergrundwerte – Boden-Dauerbeobachtung

**Kurzfassung:** Die gemäß dem gesetzlichen Auftrag am Bayerischen Geologischen Landesamt durchgeführte bodenkundliche Landesaufnahme bedient sich zweier aufeinander abgestimmter Methoden: Die Boden-Grundinventur beschreibt und untersucht die Böden standörtlich punktuell; darauf aufbauend erkundet die Boden-Flächeninventur die räumliche Verbreitung der Böden und erfaßt sie in Bodenkarten verschiedener Maßstäbe. Als Grundbausteine der bodenkundlichen Landesaufnahme dienen flächenrepräsentative Bodenprofile. Diese werden horizontweise unter Berücksichtigung geologischer Schichtungen aufgenommen, beprobt und durch Feld- und Laboruntersuchungen in ihrem Ist-Zustand dokumentiert. Die Untersuchungsergebnisse gehen in Dateien ein, die im Bodeninformationssystem als Bestandteil von Bodenkarten geführt werden. Damit erstellt die bodenkundliche Landesaufnahme die Basis für flächendeckende Auswertungen zu Fragen des vorsorgenden Bodenschutzes.

### Soil surveying, basis of soil protection and existential provision

**Keywords:** Bavaria – soil surveying – soil profile – soil inventory – soil mapping – soil protection – soil functions – background values – soil monitoring

**Abstract:** The Bavarian Geological Survey has the legal assignment to survey soils in Bavaria. This is done first by a basic soil inventory, the „Boden-Grundinventur“: The different soils are investigated in detail at their location and analysed thoroughly. Secondly it is done by an area soil inventory, the „Boden-Flächeninventur“: The distribution of soils in an area is described by representative soil profiles aggregated to mapping units and published in soil maps of different scales. Soil profiles from the „Boden-Grundinventur“ and the „Boden-Flächeninventur“ are documented in their present state and stored in a soil information system. An effective evaluation of soils is enabled by the detailed soil survey combined with the soil information system thus providing preventive soil protection and existential provision.

### Inhalt

1. Einleitung .....	364
2. Das Bodenprofil als Kernstück bodenkundlicher Untersuchungen .....	366
2.1. Horizonte und Schichten .....	366
2.2. Die Bodenform .....	367
2.3. Vom Punkt zur Fläche .....	368

---

Anschriften der Verfasser: Dr. WALTER GROTTENTHALER, Dr. HANS-PETER GRUBER, Dr. WALTER MARTIN und Dr. FRANZ SCHMIDT, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstraße 128, D-80797 München; Dr. OTTO DREXLER, Bayerisches Geologisches Landesamt, Außenstelle Marktredwitz, Leopoldstr. 30, D-95615 Marktredwitz.

3. Boden-Grundinventur .....	369
4. Boden-Flächeninventur .....	371
5. Bodenschutz und Daseinsvorsorge .....	373
5.1. Funktionen und Gefährdungen von Böden .....	374
5.2. Hintergrundwerte .....	374
5.3. Umweltbedingte Veränderung der Bodeneigenschaften .....	376
6. Literatur .....	377

## 1. Einleitung

Der Boden ist das mit Leben erfüllte Verwitterungsprodukt der Erdkruste. Er dient Pflanzen und Tieren als Standort und bildet die Lebensgrundlage der Menschen. Daher ist der Boden ein schützenswertes Gut, sowohl in ökonomischer als auch in ökologischer Hinsicht.

Der Schutz des Bodens erfordert eingehende Kenntnisse über den Aufbau, die Dynamik und die Funktionen der Böden. Pauschale Betrachtungen führen leicht zu Fehleinschätzungen. Es ist bekannt, daß es „den Boden“ als einheitliches Phänomen nicht gibt, weil die Einflußfaktoren während der Entstehung und Weiterentwicklung der Böden zu vielfältig sind und in ihrem äußerst variablen Zusammenspiel zu unterschiedlichsten Bodenformen führen. Schon allein die geologischen und geomorphologischen Verhältnisse (Gestein, Tektonik, Oberflächenrelief), aber auch die klimatischen und hydrologischen Einflüsse bedingen verschiedenartige Bodenbildungen und Bodenvergesellschaftungen. Hinzu kommen weitere Differenzierungen, die auf biotische Einflüsse aus der Tier- und Pflanzenwelt zurückgehen. Nicht zuletzt hat der wirtschaftende Mensch im Lauf der Siedlungs- und Nutzungsgeschichte die Böden großflächig und tiefgreifend umgestaltet. Jeder, der sich mit Böden beschäftigt, sieht sich zunächst mit einer unüberschaubaren Vielfalt konfrontiert.

Es war der Fachdisziplin Bodenkunde von Anfang an ein wichtiges Anliegen, die Böden systematisch zu ordnen, um die komplexen Verhältnisse in übersichtlichen Einheiten erfassen zu können. Hier setzt die Tätigkeit der bodenkundlichen Landesaufnahme an. Ihre zentrale Aufgabe ist es, die Böden in ihrer Verschiedenheit und räumlichen Verbreitung sowie die Vergesellschaftungen unterschiedlicher Böden in reliefbedingten Standortsmosaiken landesweit zu erkunden, zu untersuchen und systematische Gruppierungen vorzunehmen. Dabei stehen naturwissenschaftliche Kriterien im Vordergrund, weil sie den natürlichen Bedingungen der Bodenentwicklung nachspüren und damit eine allgemeine und wertfreie Kennzeichnung erlauben. Die auf dieser Basis gewonnenen Ergebnisse dienen den unterschiedlichsten Fragestellungen als fachliche Grundlage und Informationsquelle.

Wie in allen Ländern der Bundesrepublik Deutschland ist auch in Bayern die bodenkundliche Landesaufnahme eine Aufgabe des staatlichen geologischen Dienstes. Sie nahm in den meisten Ländern ihren Anfang in Anknüpfung an die geologische Kartierung. Bereits im Jahr 1875 hat C. W. v. GÜMBEL – er war Leiter der Geognostischen Abteilung des Bayerischen Oberbergamtes – die Notwendigkeit der flächendeckenden Erforschung der Böden erkannt und folgendermaßen zum Ausdruck gebracht: „... Es ist jene dem Unkundigen kaum beachtenswerth scheinende, unansehnliche, dünne Lage von Mineralstoffen an der Oberfläche unserer Erde, der sogenannte „Boden“, die Krume oder Vegetationserde, welche weitaus wichtigere Schätze in sich birgt als alle Gold- und Silbergänge ... geognostische Karten allein



genügen noch nicht für das tiefere Eindringen in das Studium der Bodenverhältnisse. Dazu bedarf es eigener Bodenkarten ...“ (V. GÜMBEL 1875).

Trotz dieser frühzeitigen und unumstrittenen Erkenntnis begann die Aufnahme eines völlig eigenständigen Kartenwerkes der Böden Bayerns erst nach dem Zweiten Weltkrieg. Diese Verzögerung war unter anderem dadurch bedingt, daß die wissenschaftlichen Grundlagen der Bodenkunde nicht früher ausgereift waren und eine allgemein anerkannte Bodensystematik noch nicht zur Verfügung stand.

Der Auftrag zur geowissenschaftlichen Landesaufnahme auf dem Gebiet der Bodenkunde ist im Artikel 2 des Gesetzes über die Aufgaben des Bayerischen Geologischen Landesamtes (GLA) verankert.

Um dem gesetzlichen Auftrag und den Anforderungen gerecht zu werden, welche die Öffentlichkeit an eine moderne bodenkundliche Landesaufnahme stellt, werden die verschiedenen Erscheinungsformen der Böden Bayerns:

- durch Kartierungen flächendeckend erfaßt, ihre Verbreitung in Bodenkarten verschiedener Maßstäbe dargestellt und die Karten in gedruckter und digitaler Form veröffentlicht
- durch Feld- und Laboruntersuchungen in ihrem Ist-Zustand charakterisiert und die Ergebnisse in Datenbanken dokumentiert
- durch Vorhaltung repräsentativer Proben in einer Probenbank archiviert
- durch systematische Auswertung der Analysenergebnisse in Bezug auf ihre Eigenschaften, Potentiale und Funktionen klassifiziert
- durch Modellrechnungen im Hinblick auf mögliche Nutzungsrisiken bewertet

Standen ursprünglich Aussagen der Bodenkarten im Hinblick auf Nutzungseignung und Ertragsfähigkeit im Mittelpunkt des Interesses, so gewannen seit der Mitte der 70er-Jahre Fragen des Bodenschutzes zunehmend an Bedeutung. Vor dem Hintergrund der am 01. 03. 1999 in Kraft getretenen Bodenschutzgesetze wird der Informationsbedarf über den Zustand und die Funktionsfähigkeit der Böden landesweit steigen. Aus dem dokumentierten Ist-Zustand können vor allem Maßnahmen des vorsorgenden Bodenschutzes abgeleitet und festgelegt werden. Bestimmte Bodenparameter, wie z. B. die Hintergrundgehalte von Problemstoffen, werden punktuell, d. h. an genau definierten Standorten ermittelt. Für den Vollzug von Bodenschutzmaßnahmen müssen jedoch Flächen ausgewiesen werden. Mit Hilfe moderner Bodenkarten wird eine fachlich untermauerte, standortgerechte Extrapolation von punktuell erhobenen Stoffgehalten auf die Fläche zu Übersichtszwecken ermöglicht.

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der bodenkundlichen Landesaufnahme über Bayern hinaus zu gewährleisten, werden die Aufnahme- und Auswertungsmethoden zwischen den staatlichen geologischen Diensten Deutschlands ständig abgestimmt. Gemeinsame Basis ist die „Bodenkundliche Kartieranleitung“, die 1994 als völlig überarbeitete 4. Auflage erschienen ist (ARBEITSGRUPPE BODEN 1994). Mit dem benachbarten Ausland erfolgt eine Koordination in länderübergreifenden Arbeitsgemeinschaften und, nicht zuletzt, über die bodenkundlichen Gesellschaften.

Die bodenkundliche Landesaufnahme bedient sich als raumorientierte Disziplin zweier unterschiedlicher, aber aufeinander abgestimmter Methoden:

- im Rahmen der Boden-Grundinventur werden die Böden standörtlich punktuell aufgenommen und analysiert (s. Kap. 3)
- die darauf aufbauende Boden-Flächeninventur, d.h. die Bodenkartierung i.e.S., erkundet die räumliche Verbreitung und die Vergesellschaftung der Bodenformen (s. Kap. 4)

Boden-Grund- und Boden-Flächeninventur betreiben eine möglichst umfassende Erhebung von Bodendaten, um für ein planvolles Management der Böden Grundlagen bereitzustellen.

## 2. Das Bodenprofil als Kernstück bodenkundlicher Untersuchungen

Bestimmte Differenzierungen der Bodendecke sind bereits an der Oberfläche erkennbar, z. B. unterschiedliche Körnung oder Färbungen der Ackerkrume. Zur Ergründung wesentlicher Merkmale und Eigenschaften ist jedoch die innere Struktur eines Bodens von der Oberfläche bis zum Untergrund zu prüfen. Dazu dient das Bodenprofil, d. h. eine senkrechte Schnittfläche durch den gesamten Bodenkörper. Untersuchungen und Aufnahme des Bodenprofils erfolgen i. d. R. an einer Schürfgrubenwand. Der Bodenkundler bestimmt nach bewährten Feldmethoden zunächst einige wichtige Parameter, z. B. Körnung, Gefüge, Humus- und Carbonatgehalt des Materials. Dabei erkennt er durch vergleichende Beobachtungen Schichten im Bodenausgangsmaterial sowie darin durch bodenbildende Prozesse entstandene Horizonte. Das ermöglicht ihm die Zuordnung seines Arbeitsobjektes zu einer systematischen Einheit. Zugleich gewinnt er ein Bild über den meist mehrphasigen Entwicklungsablauf des Bodenprofils und über die Eigenschaften des Standortes. Aus jedem Horizont werden repräsentative Proben für bodenchemische und bodenphysikalische Laboruntersuchungen entnommen.

Derartige Profilaufnahmen im Gelände bilden das Kernstück bodenkundlicher Forschung. Sie liefern die Grundbausteine der Landesaufnahme. Der Aufbau eines Bodenprofils wird nachfolgend in groben Zügen dargestellt.

### 2.1. Horizonte und Schichten

Bodenhorizonte sind das Ergebnis bodenphysikalischer oder bodenchemischer Prozesse, die das Ausgangsmaterial verändern. Bodenhorizonte sind keine Schichten im geologischen Sinne. In unserem in Abbildung 1 dargestellten Beispiel führte die Verwitterung bis in eine Tiefe von 4 bis 5 Dezimetern zur Verlehmung und Eisenfreisetzung (Bv-Horizont und Bv-iCv-Übergangshorizont). Zusätzlich erfolgte von der Oberfläche her eine Überprägung durch bioturbat, das heißt durch Bodenlebewesen eingemischten Humus (Ah-Horizont). Aus der vertikalen Abfolge dieser pedogenen Horizonte wird nach den bestehenden systematischen Regeln (zusammengestellt in WITTMANN 1998) ein Bodentyp bzw. -subtyp abgeleitet, in diesem Fall eine Braunerde. In den darunterliegenden, vom Tiefgang der Braunerdebildung noch nicht erfaßten C-Horizonten (IIiCv und IIIimCv) wurde das Material nur leicht verändert.

Ein Boden ist aber nur einseitig beschrieben, wenn er lediglich einer bodensystematischen Einheit, z. B. dem oben genannten Typ Braunerde, zugewiesen ist. Seine vollständige Charakterisierung muß auch das „Muttergestein“, das Substrat, umfassen, aus dem er aufgebaut ist, denn seine Eigenschaften werden in hohem Maß davon bestimmt. Das Substrat ist das Material, aus dem die Festsubstanz des Bodens besteht. Substrate kennzeichnen somit die

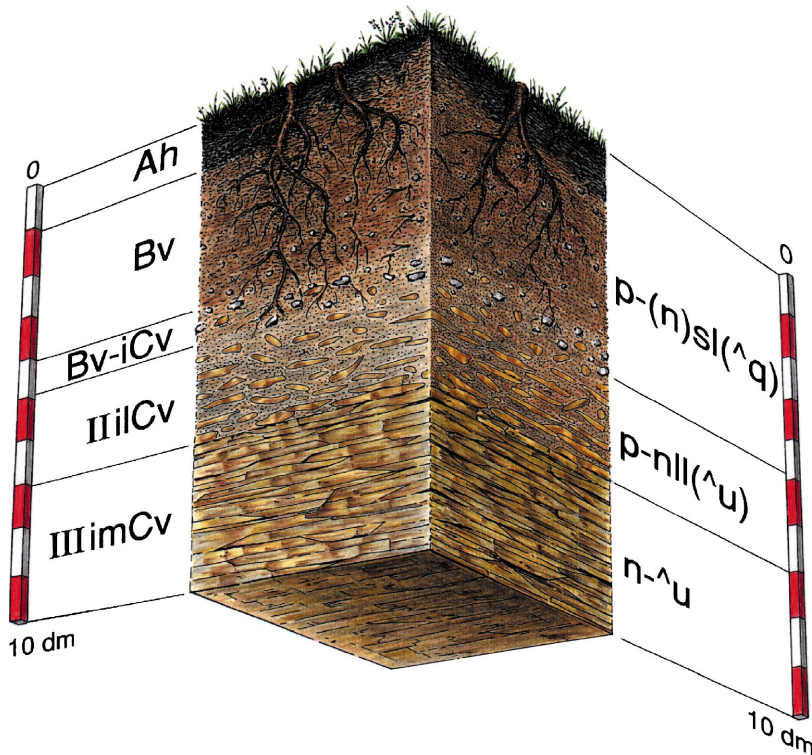


Abb. 1. Aufbau eines Bodenprofils, dargestellt am Beispiel einer Braunerde aus pleistozänen Fließerden über Schluffstein; die Buchstabensymbolik bezeichnet die pedogenetischen Horizonte (links) und die Substratschichten (rechts). – Zeichnung: A. MÄRTEL.

bodenbildenden Gesteine sowie deren Verwitterungs- und Umlagerungszustand (ALTERMANN & KÜHN 1998: 137). Die in Abbildung 1 dargestellte Bodensäule zeigt drei Schichten: Über schiefrig ausgebildetem Festgestein ( $n^{\wedge}u$ ) liegen zwei pleistozäne Fließerden. Die untere ( $p-nll(^u)$ , von ca. 4,5 dm bis 7 dm) ging aus vorverwittertem und frostdynamisch aufbereitetem Material des Liegenden hervor, in der oberen ( $p-(n)sl(^q)$ , von 0 dm bis ca. 4,5 dm) tritt ein ortsfremder Sand- und Steinanteil hinzu. Die gesamte, in diesem Fall von periglazialen Schuttedecken geprägte Abfolge läßt sich – wiederum nach systematischen Regeln (ARBEITSGRUPPE BODEN 1994) – als Substrattyp beschreiben.

Boden(sub)typ und Substrattyp ergeben zusammen die Bodenform (vgl. Abb. 2).

## 2.2. Die Bodenform

Die Bodenform ist also eine charakteristische, durch das Substrat und dessen pedogenetischen Entwicklungszustand bestimmte Erscheinungsform der Pedosphäre. Im vorliegenden Beispiel (Abb. 1) handelt es sich um eine Braunerde aus Fließerden über Schluffstein.

Zur systematischen Bezeichnung von Horizonten und Schichten werden Kurzzeichen verwendet. Dabei bedient man sich einer Buchstabensymbolik (Beispiel in Abb. 1), die den

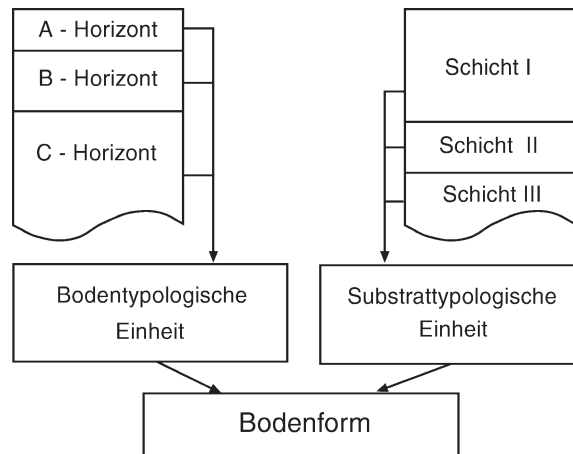


Abb. 2. Ableitung der Bodenform aus Horizonten und Schichten (schematische Darstellung); aus der vertikalen Horizontabfolge ergibt sich die bodentypologische, aus der Schichtfolge die substrattypologische Einheit.

Festlegungen des Arbeitskreises für Bodensystematik der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft folgt (ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK 1998). Damit sind die Voraussetzungen für eine datenbankgerechte Schreibweise gegeben.

Eine vollständige Profilaufnahme umfaßt nicht nur den Horizont- und Schichtbeschrieb, sondern auch die Ansprache der Komponenten des Fein- und Grobmaterials, aus denen die einzelnen Schichten zusammengesetzt sind. Daraus resultieren weitere Informationen über die Petrographie (Korngrößen, Mineralbestand, Geogenese) sowie zur geologischen Herkunft des Materials (stratigraphische, petrographische oder tektonisch-lithofazielle Einheit). Darüber hinaus werden damit wesentliche Standortseigenschaften charakterisiert.

### 2.3. Vom Punkt zur Fläche

Bei der Bodenkartierung wird die flächenmäßige Verbreitung der Bodenformen im Gelände durch Sondierbohrungen erkundet. Aus der Fülle der Bohrergebnisse gilt es, Böden nach Ähnlichkeitskriterien zu Flächeneinheiten (= Kartiereinheiten) zusammenzufassen. Bei diesem Aggregierungsschritt spielt neben der geowissenschaftlichen Vorinformation, die z. B. aus geologischen Karten, Bodenschätzungskarten oder forstlichen Standortskarten stammt, die Geländebeobachtung die entscheidende Rolle. Alle bodenkundlich relevanten Beobachtungen fließen in ein bodengeographisches Konzept ein und werden bei der inhaltlichen Festlegung sowie bei der Ausgrenzung der Kartiereinheiten berücksichtigt.

Kartiereinheiten mit gleichem oder ähnlichem Bodeninventar werden einer Einheit der Kartenlegende (= Legendeneinheit) zugeordnet. Die fachliche Inhaltsbeschreibung der Legendeneinheit beruht auf der Zusammenfassung und generalisierten Darstellung der in den zugeordneten Flächen festgestellten Bodenformen. Dabei erfolgt die Darstellung des bodenkundlichen Inventars in Form einer Datei der flächentypischen Profile. Ergänzende Angaben beinhalten den jeweiligen Flächenanteil (Schätzung) und das Verteilungsmuster. Die flächentypischen Profile stellen entweder reale, im Gelände aufgenommene und vom Kartierer als

flächenrepräsentativ erachtete Bodenprofile oder aber aus mehreren untersuchten Realprofilen interpolierte Profile (Modellprofile) dar. Je nach der Heterogenität der Legendeneinheit besteht der dazugehörige Datensatz aus einem oder aus mehreren flächentypischen Profilen, die ihren jeweiligen Flächenanteilen entsprechend als Leitböden oder Begleitböden eingestuft werden. Auf diese Weise läßt sich die Brücke schlagen von der punktförmigen Aufnahme zur flächenhaften Aussage. Die Erstellung von Auswertungskarten, z. B. die Flächendarstellung bodenkundlicher Kennwerte (vgl. hierzu SCHRAA 2000), erfordert eine flächengewichtete Umrechnung der betreffenden Profilparameter.

### 3. Boden-Grundinventur

In Abhängigkeit von den außerordentlich vielfältigen Konstellationen bezüglich der geologischen, geomorphologischen, hydrologischen, klimatischen, vegetations- und nutzungsbezogenen Bedingungen entwickeln sich – wie bereits in der Einleitung angesprochen – die Böden in einem breiten Spektrum unterschiedlichster Ausprägungen. Ihre jeweiligen Eigenschaften bestimmen in hohem Maße das produktive Potential des jeweiligen Pflanzenstandortes. Die Erkundung dieser Vielzahl unterschiedlichster Bodenbildungen anhand diskreter Bodenprofile bildet daher das zentrale Anliegen der Bodenkunde. Im Rahmen der bodenkundlichen Landesaufnahme fällt dieses Arbeitsgebiet der Boden-Grundinventur zu. Bayernweit wurden dabei bisher ca. 4600 Profile aufgenommen, beprobt und mit differenzierten Beschreibungen des Standorts, der Horizonte und der Materialschichten (vgl. Abb. 1 u. 2) in den Amtsarchiven sowie im Bodeninformationssystem (BIS) dokumentiert; vielfach ergänzen Profil-Fotos die normierten Aufzeichnungen. Die aus den umfangreichen chemischen und physikalischen Untersuchungen der Bodenproben gewonnenen Laborergebnisse fließen ebenfalls in die Datenbank des BIS ein. Sie dokumentieren den derzeitigen Zustand unserer Böden. Neben dieser Zustandserfassung bilden laboranalytisch gestützte Erkenntnisse über die natürliche Dynamik der verschiedenen Böden ein wesentliches Forschungsziel. Des weiteren werden die durch land- und forstwirtschaftliche Nutzung bedingten quantitativen und qualitativen Veränderungen der Böden untersucht.

Unterschiedliche Böden treten vielfach in charakteristischen, vorwiegend reliefbedingten Vergesellschaftungen oder Catenen auf, denen die Boden-Grundinventur – ohne dabei die topographische Verbreitung zu kartieren – mittels sogenannter „Bodensequenzen“ (s. Tab. 1) nachgeht. Dabei handelt es sich um meist lineare Abfolgen von bis zu 1,5 m tiefen, in der Regel nicht oder nur oberflächennah beprobter Bohrungen. Ca. 22 300 solcher Untersuchungsobjekte sind in den Archiven der bodenkundlichen Landesaufnahme festgehalten und überwiegend bereits im BIS dokumentiert. Soweit Sequenzbohrungen wichtige neue Bodenformen erfassen, werden diese in Schürfgruben weitergehend aufgenommen und beprobt.

Die digitale Vorhaltung der Feld- und Laborbefunde der Boden-Grundinventur in der Zentralen Datenbank des Bayerischen Geologischen Landesamtes erlaubt raschen Zugriff auf die Daten, gezielte Recherchen und selektive Auswertungen für unterschiedlichste Fragestellungen auch aus dem Bodenschutz und der angewandten Bodenkunde. Mit den seit 1955 in den Erläuterungen zu den einzelnen Blättern der Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000 erscheinenden Beiträgen „Die Böden“ werden die Ergebnisse der Boden-Grundinventur für überschaubare Gebietsauschnitte in konzentrierter Form publiziert und Interessenten zugänglich gemacht. Detailliertere Ergebnis-Darstellungen der Boden-Grundinventur auf der Basis der standortkundlichen Landschaftsgliederung von Bayern (WITTMANN 1991) bietet das Daten-

handbuch „Die Böden Bayerns“ (vgl. Tab. 1), von dem 1992 der erste Band über die Böden des Tertiärhügellandes, der Iller-Lech-Platte und des Donautales (SCHMIDT et al. 1992) der Öffentlichkeit vorgestellt werden konnte. Als nächster Band des Datenhandbuches der Böden Bayerns wird zur Zeit die Boden-Grundinventur des Fränkischen und Schwäbischen Keuper-Lias-Landes aufbereitet. Im Gegensatz zum ersten Band ist hier daran gedacht, den jeweils sehr umfangreichen Daten- und Tabellen-Teil nicht nur gedruckt, sondern auch in digitaler Form anzubieten (s. SCHILLING & HAMMERL 2000).

Die Beprobung der Bodenhorizonte bei der Profilaufnahme erfolgt im allgemeinen so reichlich, daß nach Durchführung der aktuellen Analysen noch unbehandeltes Material für die Bodenprobenbank des Amtes reserviert werden kann; gegenwärtig sind darin etwa 55 000

*Tabelle 1:* Boden-Grundinventur und Boden-Flächeninventur – Zusammenstellung der im Rahmen der bodenkundlichen Landesaufnahme am Bayerischen Geologischen Landesamt bearbeiteten Informationsgrundlagen

Boden-Grundinventur (punktförmige Aufnahmen)	Boden-Flächeninventur (Bodenkarten)
Bodenprofile *) Untersuchte Einzelstandorte mit vollständiger Profilbeschreibung und Analyseergebnissen	BÜK 500 Inselkarte für Bayern (1953) mit Erläuterungsband (1961)
Bodensequenzen *) Profilaufnahmen nach dem Catenaprinzip mit verkürzter Profilbeschreibung, z.T. mit Analyseergebnissen	BÜK 200 Für die Gesamtfläche der Bundesrepublik konzipiert; Blatt München (1997); weitere bayerische Kartenblätter in Bearbeitung
Beiträge „Böden“ zur GK 25 Textkapitel zur GK 25 mit Bodenprofilen und Analysentabellen	SBK 50 14 Kartenblätter als Kartenblock „München-Augsburg und Umgebung“ mit Erläuterungsband (1986, 1987); Kartenwerk wird fortgesetzt
„Die Böden Bayerns“ Datenhandbuch „Tertiärhügelland ...“ (1992); weitere Bände in Bearbeitung	SBK 25 8 Kartenblätter als Kartenblock „Hallertau“ mit Erläuterungsband (1981)
Bodenschätzungsarchiv *) Auswahl von Profilen der Bodenschätzung (ca. 270 000 Profile)	BK 25 23 Kartenblätter aus verschiedenen Bodenschätzungen mit Erläuterungsbänden (1957 bis 1978)
Abkürzungen: BK Bodenkarte SBK Standortkundliche Bodenkarte BÜK Bodenübersichtskarte KBK Konzeptbodenkarte BSÜK Bodenschätzungs-Übersichtskarte GK Geologische Karte	KBK 25 *) Vorläufige BK als Grundlage der BÜK 200 und SBK 50
	Projektkarten > 25 *) z. B.: Stadtbodenkarte München-Allach (1992); Weinberg-Bodenkarten (1957 bis 1962); verschiedene Maßstäbe
	BSÜK 25 *) Handkolorierte Unikate im Blattschnitt der Meßtisch- bzw. Positionsblätter; nur landwirtschaftliche Nutzfläche dargestellt
	BSÜK 100 11 Karten für die Regierungsbezirke Oberbayern (Nordteil), Niederbayern, Oberpfalz und Schwaben (1944 bis 1978)
*) Archivmaterial, nicht veröffentlicht	

Proben archiviert. Die schonende Aufbewahrung der Substanzen erlaubt bei gegebenem Anlaß zu jeder Zeit eine Nach- oder Vergleichsanalyse; dies wird beispielsweise bei Kontaminationsereignissen von großem Nutzen sein, wenn der ursprüngliche Zustand eines veränderten Bodens – eventuell sogar hinsichtlich einer zunächst nicht analysierten Eigenschaft – für notwendige Vergleiche oder Feststellungen später noch nachvollzogen werden soll.

Von ausgewählten Bodenprofilen werden für die Bodenprofilensammlung des Bayerischen Geologischen Landesamtes Klebeabzüge hergestellt. Dabei handelt es sich um eine durch spezielle Präparationstechnik ermöglichte, ungestörte Materialentnahme an der Schürfrubengewand, die dem Betrachter ein mobiles, maßstab- und völlig naturgetreues Abbild des Bodens bis in eine Tiefe von ca. einem Meter oder mehr bietet (s. hierzu TRIDL et al. 2000).

Bei vielen Darstellungen oder Bearbeitungen von Böden landwirtschaftlicher Nutzflächen bildet die Bewertung durch die Bodenschätzung eine wesentliche Zusatzinformation. Daher wurden für das Bodenschätzungsarchiv (s. Tab. 1) des Bayerischen Geologischen Landesamtes aus den Schätzungsbüchern der Finanzverwaltung ca. 270 000 typische Profilbeschreibungen von bayerischen Böden auf Formblättern übernommen und archiviert. Darüber hinaus enthält das Bodenschätzungsarchiv noch Verkleinerungen der Schätzungsurkarten im Maßstab 1:15 000, auf denen die Lage der Grablöcher (Bodenprofile) verzeichnet ist.

#### 4. Boden-Flächeninventur

Das Arbeitsfeld der Boden-Flächeninventur ist die kartenmäßige Erfassung und Darstellung des Bodeninventars. Die erste Bodenkarte, die das gesamte bayerische Staatsgebiet umfaßt, erschien 1953 (vgl. Tab. 1). Diese Übersichtskarte im Maßstab 1:500 000 (BÜK 500) wird derzeit schrittweise durch die wesentlich aussagekräftigere Bodenübersichtskarte 1:200 000 (BÜK 200) ersetzt. Das neue Kartenwerk wird als digitaler Datensatz vorgehalten und zusammen mit der dazugehörigen Flächeninhaltsdatei im Bodeninformationssystem des GLA geführt (s. Abb. 3).

Die Geländeaufnahmen zur Bodenkarte 1:25 000 (BK 25) begannen 1955 gemäß der damals neuen, nach morphogenetischen Gesichtspunkten aufgebauten Systematik (veröffentlicht in MÜCKENHAUSEN 1962). Um einen landesweiten Überblick der Bodenformen zu gewinnen, wurden – über Bayern verstreut – exemplarische Karten in den verschiedenen Bodenlandschaften erstellt. Seit Anfang der 70er-Jahre erfolgte die Aufnahme größerer geschlossener Gebiete in Form von Kartenblöcken. Dabei wurde mit der Verwendung von Generallegenden der erste Schritt zu einer blattschnittfreien Landesaufnahme vollzogen. Die Erläuterungsbände zu den Kartenblöcken sind als bodenkundliche Gebietsmonographien ausgelegt. Sie enthalten für die einzelnen Legendeneinheiten eine Kurzcharakteristik der Leitböden einschließlich bodenphysikalischer und bodenchemischer Analysenergebnisse sowie einen standardisierten Satz standortkundlicher Parameter, wie Lage im Relief, Ökologischer Feuchtegrad, Filtervermögen, Erosionsanfälligkeit etc. Mit der Bezeichnung „Standortkundliche Bodenkarte“ (SBK, s. Tab. 1) wird diesem umweltrelevanten Informationsangebot Rechnung getragen. Noch während der Kartenblock „Hallertau“ im Maßstab 1:25 000 (SBK 25) herausgegeben wurde, entschloß man sich, den Kartenblock „München–Augsburg und Umgebung“ in Anlehnung an die Bodenkarten anderer Bundesländer im kleineren Maßstab 1:50 000 (SBK 50) zu erstellen. Dieser Maßstab bietet eine wesentlich bessere Übersicht und ist in der Lage, bodengeographische und landschaftsökologische Zusammenhänge optimal zu vermitteln. Die Standortkundliche Bodenkarte 1:50 000 eignet sich insbesondere für landesplanerische Zwecke sowie für

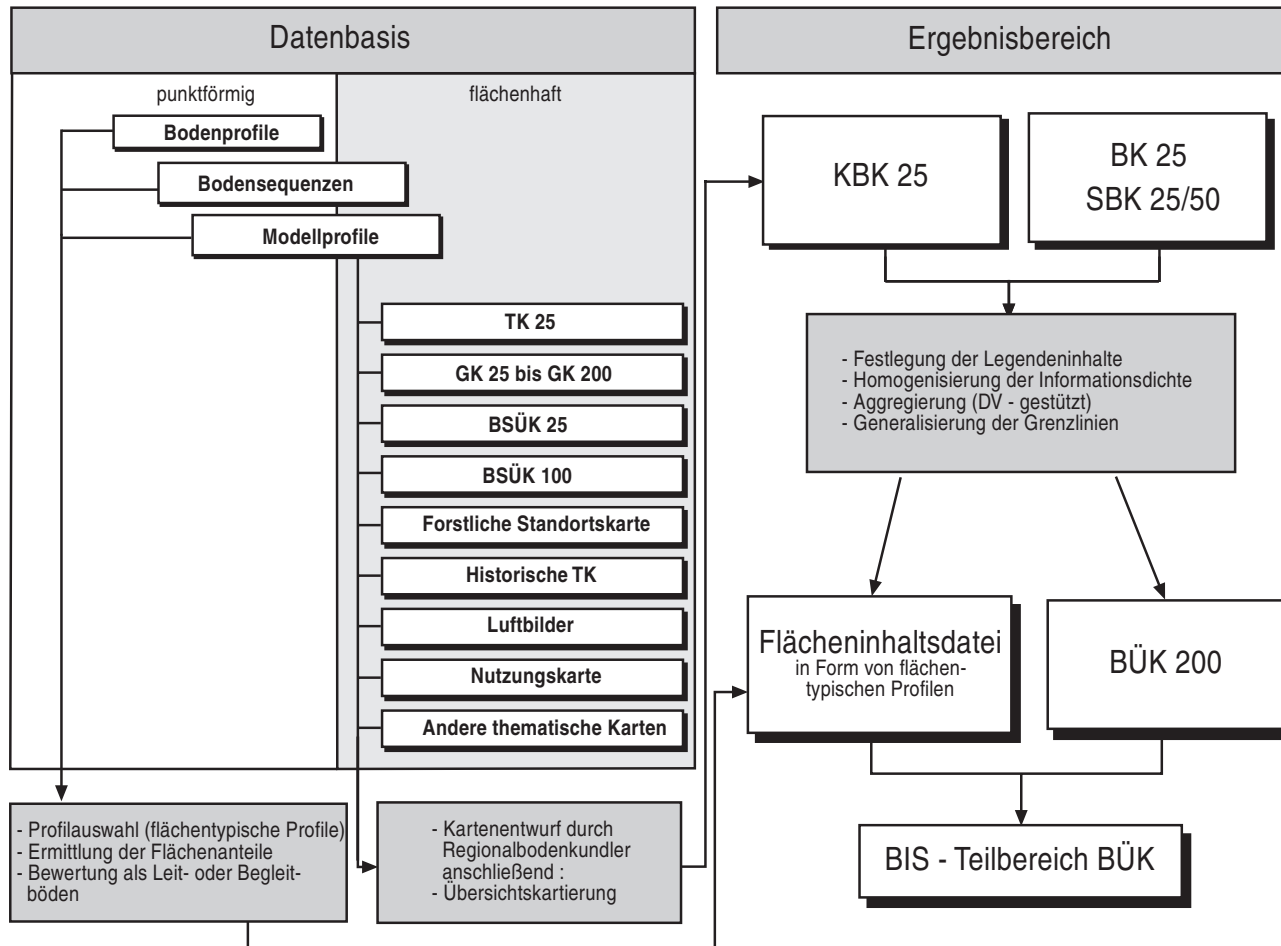


Abb. 3. Arbeitsflußplan für die Erstellung der Bodenübersichtskarte 1:200 000 (BÜK 200).



flächenhafte Aussagen im vorsorgenden Bodenschutz. Nachteile gegenüber dem Kartenmaßstab 1:25 000 ergeben sich aus der etwas größeren Komplexität der ausgegrenzten Flächen, indes kann auch die Bodenkarte 1:25 000 keine Parzellenschärfe erreichen. Aussagen über Einzelgrundstücke erfordern nähere Untersuchungen und Projektkartierungen in größerem Maßstab (s. Tab. 1).

Es ist das Ziel der bodenkundlichen Landesaufnahme, die Standortkundliche Bodenkarte 1:50 000 als bayernweites Kartenwerk fortzusetzen. Eine wichtige Vorarbeit zu diesem Kartenwerk stellt die Konzeptbodenkarte 1:25 000 (KBK 25, s. Tab. 1) dar, deren Erstellung z. Zt. einen Schwerpunkt der Boden-Flächeninventur bildet. Es handelt sich um eine vorläufige Bodenkarte, die aus vorhandenen Unterlagen sowie aus Ergebnissen der Boden-Grundinventur abgeleitet und durch Übersichtskartierungen im Gelände ergänzt und gegebenenfalls korrigiert wird. Hinsichtlich der Grenzgenauigkeit und Informationssicherheit kann die KBK 25 den Standard der bisher publizierten Bodenkarten nicht erreichen. Den Anlaß für die Aufnahme der KBK 25 gab der Beschluß der Geologischen Ämter, mit der o.g. Bodenübersichtskarte 1:200 000 dem steigenden Bedarf an bundeseinheitlichen Unterlagen für den länderübergreifenden Bodenschutz kurzfristig zu begegnen. Da in weiten Teilen Bayerns zur Bearbeitung dieser Bodenübersichtskarte keine geeignete Basiskarte zur Verfügung steht, wird mit der KBK 25 eine Arbeitsgrundlage geschaffen, die mit relativ geringem Zeitaufwand erstellt werden kann. Sie wird als blattschnittfreier digitaler Datensatz vorgehalten.

Von großem Vorteil für die Bearbeitung der KBK 25 erwies sich die Tatsache, daß am GLA in den Jahren nach dem 2. Weltkrieg die Bodenschätzungsergebnisse der Finanzverwaltung in eine Bodenschätzungs-Übersichtskarte 1:25 000 (BSÜK 25, s. Tab. 1) umgesetzt worden waren. Dieses für die landwirtschaftliche Nutzfläche Bayerns nahezu vollständig vorliegende Kartenwerk diente auch anderen geowissenschaftlichen Kartierungen (z. B. BK 25, SBK 50, z. T. GK 25) als Informationsquelle, vor allem über die an der Oberfläche auftretenden Bodenarten und über die Bodenwasserverhältnisse. Darüber hinaus spielt die BSÜK 25 neben anderen Bodenschätzungsunterlagen des GLA-Archivs als Grundlage der bodenkundlichen Beratung und für Begutachtungen eine große Rolle.

Als weiteres Bodenschätzungs-Kartenwerk wurde eine Bodenschätzungs-Übersichtskarte 1:100 000 entwickelt (BSÜK 100, vgl. Tab. 1). Sie folgt den Prinzipien der BSÜK 25, ist aber wegen der kleinflächigen Darstellung stärker generalisiert.

## 5. Bodenschutz und Daseinsvorsorge

Die Böden – drittes Umweltmedium neben Luft und Wasser – erfüllen eine Vielzahl wichtiger und unverzichtbarer Funktionen für Leben, Umwelt und Gesellschaft. Das Bundes-Bodenschutzgesetz schützt daher die natürlichen Funktionen des Bodens als Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen, als Bestandteile des Naturhaushaltes, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen und als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften.

Die Nutzungsfunktionen als Rohstofflagerstätte, als Fläche für Siedlung und Erholung sowie für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Belange, insbesondere als Standort für land- und forstwirtschaftliche Produktion, werden ebenso geschützt wie die Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte.

Der Bodenschutz gliedert sich zum einen in das Überwachen, Entsorgen oder Beseitigen schädlicher Bodenveränderungen oder Altlasten, zum anderen in den vorsorgenden Bodenschutz mit dem Ziel, schädliche Bodenveränderungen erst gar nicht entstehen zu lassen.

Für den vorsorgenden Bodenschutz in Bayern erarbeitet das GLA flächendeckend Grundlagen und stellt sie in ausgewerteter Form bereit. Auf der Basis der Boden-Grundinventur und -Flächeninventur werden die Böden bezüglich ihres Ist-Zustandes sowie ihrer Funktionen und ihrer Gefährdungen durch Umwelteinflüsse bewertet und die Ergebnisse in Übersichtskarten dargestellt. Ferner werden Veränderungen der Bodeneigenschaften erfaßt (s. Kap. 5.3.) und bei bodenschutzrelevanten Fragestellungen Beratungen durchgeführt. Spezielle Grundlagen insbesondere für parzellengenaue Aussagen zu land- und forstwirtschaftlichen Fragestellungen erstellen die zuständigen Fachbehörden.

### **5.1. Funktionen und Gefährdungen von Böden**

Die vielfältige Inanspruchnahme der Böden in ihren Natur- und Nutzungsfunktionen verändert sie in ihren Eigenschaften. Das kann dazu führen, daß Böden in ihrer Leistungsfähigkeit für den Naturhaushalt beeinträchtigt werden. Das Bundes-Bodenschutzgesetz greift diese Beeinträchtigungen auf und formuliert die nachhaltige Sicherung oder Wiederherstellung von Bodenfunktionen als Ziel des Bodenschutzes nach folgenden Grundsätzen:

- Erhaltung der natürlichen Leistungsfähigkeit von Böden
- Schutz besonders empfindlicher Böden vor Belastungen
- Erhaltung der Vielfalt der Böden

Die vielfältigen Ansprüche an die Nutzung und den Schutz der Böden werden auf den verschiedenen Planungsebenen abgewogen und ausgeglichen. Dazu muß die Fähigkeit der Böden, Funktionen zu erfüllen oder ihre Empfindlichkeit gegenüber Belastungen beurteilt und offen gelegt werden. Am GLA werden daher zur Zeit folgende Bodenfunktionen- und Bodenbelastungen flächenhaft bewertet:

- Filter- und Puffervermögen für sorbierbare anorganische Schadstoffe
- Puffervermögen von Waldböden für saure Einträge
- Rückhaltevermögen für nicht sorbierbare Stoffe (Nitrat)
- Standortpotential für Kulturpflanzen und für natürliche Vegetation
- natürliche Erosionsdisposition

Die bodenkundlichen Informationen für die Bewertung werden den Bodenkarten und den Dateien der flächentypischen Profile (vgl. Kap. 2.3. u. 4.) entnommen. Darüber hinaus gehen weitere Informationen zum Standort, wie Niederschlag oder Reliefausbildung, in die Bewertung ein (CARLE & AUSSENDORF 1999; MARTIN & WEIDENBACHER 1999).

### **5.2. Hintergrundwerte**

Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, die dem Bundes-Bodenschutzgesetz nachgeordnet ist, führt Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte für stoffliche Belastungen auf (Abb. 4.). Davon sind die Maßnahmen- und Prüfwerte humantoxikologisch abgeleitet und beziehen sich auf Nutzungen, wie Spielplatz, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen oder Industrie- und Gewerbegebiete, und auf Wirkungspfade, wie Boden–Mensch, Boden–Pflanze und Boden–Wasser. Die Maßnahmen- und Prüfwerte definieren Schwellen, bei deren Über-

<b>Maßnahmenwert</b>	<b>Gefahrenbereich</b>	i. d. R. Vorliegen einer Gefahr	Sanierungsmaßnahmen
	<b>Prüfbereich</b>	Verdacht einer Gefährdung	Untersuchungen zur abschließenden Gefährdungsabschätzung
<b>Vorsorgewert</b>	<b>Vorsorgebereich</b>	Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung	Schritte zur Vorsorge
	<b>Unerheblichkeitsbereich</b>	Keine Besorgnis	Erhaltungswürdiger Zustand

Abb. 4. Bedeutung der Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung zur Gefährdungsbeurteilung.

schreitung eine Gefahr oder der Verdacht einer Gefährdung vorliegen. Werden diese Werte überschritten, müssen Maßnahmen oder einzelfallbezogene Prüfungen auf erforderliche Maßnahmen durchgeführt werden, um Schaden von den Schutzgütern Mensch, Tier, Pflanze und Grundwasser abzuwenden.

Die Vorsorgewerte sind dagegen nutzungs- und schutzgutunabhängig und sollen die Multifunktionalität der Böden bewahren. Werden sie überschritten, ist die Bodennutzung so zu gestalten, daß weitere Schadstoffeinträge auf das unvermeidbare Minimum, das ebenfalls durch die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung geregelt ist, beschränkt werden.

Den Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerten stehen die Hintergrundwerte gegenüber, die sich aus den tatsächlichen Gehalten in den Böden ableiten (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ 1995). Die Hintergrundwerte kennzeichnen den Stoffbestand der Böden, der sich aus dem Ausgangsgestein (lithogener Anteil), den durch pedogenetische Prozesse beeinflussten Umverteilungen (An- oder Abreicherung) von Stoffen sowie aus dem ubiquitären, diffusen Stoffeintrag ergibt. Die Hintergrundwerte werden als statistische Kenngrößen, differenziert nach Bodeneigenschaften, Standortverhältnissen, Nutzung und standortkundlichen Landschaftseinheiten (WITTMANN 1991), ermittelt.

Organische Schadstoffe, wie Dioxine und Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), gelangen außerhalb spezifischer Belastungsstandorte überwiegend durch ubiquitären, diffusen Stoffeintrag aus der Luft in die Böden. Anorganische Schadstoffe, wie Schwermetalle, stammen dagegen oft zu einem überwiegenden Anteil aus dem Ausgangsgestein der Böden. Die beiden Schadstoffgruppen werden daher am GLA getrennt untersucht und ausgewertet.

Zur Ermittlung der Hintergrundwerte für die organischen Schadstoffe PCDD/F, PAK, DDT,  $\gamma$ -HCH, HCB, PCB wurden in Fichtenbeständen die organischen Auflagen, die Oberböden und ausgewählte Unterböden beprobt. Die Fichte mit einer ganzjährigen Filterung der Luft bewirkt eine maximale Stoffdeposition, die sich in den Böden widerspiegelt. Wegen der luftbürtigen Herkunft dieser Schadstoffe wurde bei der Auswertung auf eine Differenzierung der Böden nach dem Ausgangsgestein verzichtet. Untersuchungen zur nutzungsbezogenen Differenzierung der Hintergrundwerte werden durchgeführt. Soweit Vorsorgewerte für organische Schadstoffe festgelegt sind, wie für PAK und PCB, wurden bei keinem der bisher geprüften Standorte Überschreitungen gemessen. Für PCDD/F, DDT,  $\gamma$ -HCH und HCB liegen Prüf- und Maßnahmenwerte vor. Sie wurden an keinem der in Bayern untersuchten Standorte erreicht (JONECK et al. 1998).

Bei den anorganischen Schadstoffen wurden die Hintergrundwerte in Gewichtsanteilen für As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Tl, V und Zn regional-, substrat-, nutzungs- und horizontspezifisch aus den Daten der Boden-Grundinventur ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, daß bei den Elementen Co, Cr, Ni, Tl und V die Hintergrundwerte hauptsächlich vom Ausgangsgestein bestimmt werden, während bei Cd, Hg, Pb und Se der durch Immissionen verursachte Anteil überwiegt. Für die Elemente As, Cu und Zn ergibt sich kein so eindeutiges Zuordnungsmuster. In Böden nahezu aller Substrate Bayerns überschreiten die maximalen Hintergrundgehalte die Vorsorgewerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung; die Vorsorgewerte werden dabei insbesondere in Böden aus basischen Gesteinen für die Elemente Cr, Cu, Ni und Zn überschritten. Dies gilt auch für Cr, Ni und Zn in sandreichen Böden aus sauren Bodenausgangsgesteinen. Überschreitungen des Cd-Vorsorgewertes wurden nur in Kalksteinverwitterungslehmen oder in Mischungen mit diesem Material angetroffen. Sie werden dort durch verwitterungsbedingte Anreicherung, nicht aber durch Immission verursacht (SUTTNER et al. 1998).

### 5.3. Umweltbedingte Veränderung der Bodeneigenschaften

Unter natürlichen Bedingungen verlaufen Bodenprozesse meist langsam; die nachkaltzeitliche Entwicklung unserer Böden beanspruchte Jahrtausende. Anthropogene Einflüsse steuern und beschleunigen die Dynamik jedoch erheblich, so daß die daraus resultierenden Veränderungen der Bodeneigenschaften bereits nach relativ kurzen Zeiträumen beobachtbar werden. Daher wurde am GLA bereits Mitte der 80er Jahre mit der Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) begonnen. Die exakte und wiederholte Beprobung eines Bodens zur Feststellung von kurzfristigen Bodenveränderungen ist eine neue Aufgabe und setzt – insbesondere auch hinsichtlich der wiederholten Beprobung von Standorten und der Vergleichbarkeit der Befunde – angepaßte Methoden voraus. Deshalb wurde von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) eine bundesweite Arbeitsgruppe eingerichtet, die einschlägige Erfahrungen austauschte und Richtlinien erarbeitete (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ in Druckvorb.).

Anhand der Ergebnisse aus den Wiederholungsuntersuchungen (SCHILLING 1997 a) konnten Veränderungen der Stoffgehalte festgestellt werden. Zum besseren Verständnis der Veränderungen und zur Erfassung von Stoffflüssen werden zur Zeit sogenannte Intensiv-BDF eingerichtet (SCHILLING et al. 2000), auf denen in relativ kurzen Zeitintervallen von Tagen und Wochen Parameter des Klimas, des Bodenwassers und des Bodens erfaßt werden. Die an den BDF gewonnen Ergebnisse werden in die Datenbestände der Boden-Grundinventur übernommen und stehen über das BIS für unterschiedliche Auswertungen zur Verfügung.

Die Böden in Bayern enthalten Radionuklide aus ganz unterschiedlichen Quellen. Neben den natürlich vorkommenden wurden, insbesondere durch den 1986 havarierten Atomreaktor von Tschernobyl, Radionuklide vor allem nach Süd- und Südostbayern eingetragen. Ausmaß und Verhalten dieser radioaktiven Stoffe werden in einem bayernweit betriebenen Meßprogramm festgestellt, an dem auch das GLA beteiligt ist.

Die natürliche Radioaktivität von Böden hängt vom Ausgangsgestein ab. Im ostbayerischen Grundgebirge weisen besonders Böden aus Graniten, vor allem durch das radioaktive Isotop  $^{40}\text{K}$ , überdurchschnittliche Aktivitäten auf. Sie überschreiten die Intensitäten der von außen eingetragenen Radionuklide.

Für die aus dem Tschernobyl-Fallout stammenden Radionuklide mit längerer Halbwertszeit deutet sich inzwischen eine Abnahme im Oberboden an, die aber noch nicht als gesichert gelten kann. Rasch zerfallende Radionuklide, wie  $^{132}\text{Te}$  und  $^{131}\text{I}$ , können nicht mehr nachgewiesen werden (SCHILLING 1997 b).

## 6. Literatur

- ALTERMANN, M. & KÜHN, D. (1998): Systematik der bodenbildenden Substrate. – Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **86**: 135–174, Oldenburg.
- ARBEITSGRUPPE BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 4. Aufl.: 392 S., Hannover (Schweizerbart).
- ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK [Hrsg.] (1998): Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands. – Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **86**: I–XII, 1–180, Oldenburg.
- BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (1995): Hintergrund- und Referenzwerte für Böden. – 151 S., München (Bayer. Staatsminist. L.-Entwickl. Umweltfrag.).
- BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (in Druckvorb.): Boden-Dauerbeobachtung – Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen.
- CARLE, C. & AUSSENDORF, M. (1999): Funktionen und Gefährdungen der Böden: Bewertung natürlicher Bodenfunktionen. – Marktredwitzer Bodenschutztag, Tagungsbd., **1**: 220–223, Marktredwitz.
- GÜMBEL, C. W. VON (1875): Bodenkunde und Geognosie. – Allg. Ztg., Beil., **33** (Ausg. v. 2. 2. 1875): 489–491, Stuttgart.
- JONECK, M., PRINZ, R., REISCHL, A. & SCHMIDT R. (1998): Untersuchung zur Ermittlung der ubiquitären Hintergrundbelastung von organischen Problemstoffen (inkl. PCDD/PCDF) an ausgewählten Böden Bayerns unter normierten Standortbedingungen. – Abschlußber.: 107 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt). – [Unveröff.].
- MARTIN, W., & WEIDENBACHER, A. (1999): Die natürliche Erosionsdisposition der Böden in der Region Ingolstadt. – Marktredwitzer Bodenschutztag, Tagungsbd., **1**: 248–252, Marktredwitz.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1962): Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. – 1. Aufl.: 148 S., Frankfurt a. Main (DLG-Verl.).
- SCHILLING, B. (1997 a): Wiederholungsuntersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. – GLA-Fachber., **14**: 48–91, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHILLING, B. (1997 b): Untersuchungen zum Verhalten radioaktiver Stoffe auf Monitoringflächen im Zeitraum 1990–94. – GLA-Fachber., **14**: 25–47, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHILLING, B. & HAMMERL, J. (2000): Böden der fränkischen Keuper-Lias-Landschaft und ihre Abbildung im Bodeninformationssystem. – *Geologica Bavarica*, **105**: 387–393, München. – [Dieser Bd.]
- SCHILLING, B., HOLZNER, G. & MAHLER, C. (2000): Boden-Dauerbeobachtung – ein wichtiger Teilaspekt für den Bodenschutz. – *Geologica Bavarica*, **105**: 403–411, München. – [Dieser Bd.]
- SCHMIDT, F., BÖHM, A., HAMMERL, J., HOFMANN, B., HOLZNER, G., JOCHUM, R., KELLER, X., MAHLER, C., MARTIN, W., PETSCHL, A., PRINZ, R., SCHILLING, B., SPIES, E.-D., STIMMELMEIER, G. & WITTMANN, O. (1992): Die Böden Bayerns – Datenhandbuch für die Böden des Tertiärhügellandes, der Iller-Lech-Platte und des Donautales. – 527 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHRAA, H.-H. (2000): Recherchesystem bodenkundlicher Kennwerte (REBOK). – *Geologica Bavarica*, **105**: 395–401, München. – [Dieser Bd.]
- SUTTNER, T., AUSSENDORF, M., & MARTIN, W. (1998) Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns. – GLA-Fachber., **16**: 70+88 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).

- TRIDL, R., STIMMELMEIER, G., DIETZ, E., FÖRSTER, H., SCHMIDT, F. & SCHILLING, B. (2000): Böden in der Profilsammlung des Bayerischen Geologischen Landesamtes. – *Geologica Bavarica*, **105**: 379–386, München. – [Dieser Bd.]
- WITTMANN, O. (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern – Übersichtskarte 1:1 000 000. – GLA- Fachber., **5** (2. Aufl.): 5–47, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WITTMANN, O. (1998): Systematik der Böden. – *Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges.*, **86**: 1–134, Oldenburg.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 17. 9. 1999.

# Böden in der Profilsammlung des Bayerischen Geologischen Landesamtes

Von ROBERT TRAUDL, GEORG STIMMELMEIER, ELKE DIETZ, HELMWART FÖRSTER,  
FRANZ SCHMIDT & BERND SCHILLING

Mit 5 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Bayern – Böden – Rendzina – Braunerde – Parabraunerde – Pseudogley – Lackprofil – Bodenentwicklung

**Kurzfassung:** Im Zuge der bodenkundlichen Landesaufnahme entstand im Bayerischen Geologischen Landesamt eine umfangreiche Sammlung präparierter Bodenprofile. Vorgestellt werden Profilentnahme- und Präparationstechnik sowie Nutzungsmöglichkeiten dieses Naturarchivs. Anhand ausgewählter Bodenprofile wird die Vielfalt der bayerischen Bodenlandschaften dokumentiert.

## Soils in the profile collection of the Bavarian Geological Survey

**Keywords:** Bavaria – soils – rendzina – brown earth – lessivé – pseudogley – varnish soil profile – soil development

**Abstract:** A large number of preserved soil profiles have been collected in the course of pedological mapping by members of the Bavarian Geological Survey. Methods how to dig out and preserve soil profiles are introduced as well as the practical application of the resulting archive. Selected soil profiles demonstrate the diversity of the soil areas in Bavaria.

## Inhalt

1. Inhalt und Zweck der Sammlung .....	379
2. Entnahme und Präparation der Bodenprofile .....	380
3. Profilbeispiele aus Bodenlandschaften Bayerns .....	380
3.1. Rendzina aus der Fränkischen Alb .....	380
3.2. Braunerde aus dem Bayerischen Wald .....	382
3.3. Parabraunerde aus dem Gäuboden .....	383
3.4. Pseudogley aus dem Keuper-Lias-Land Frankens .....	384
4. Literatur .....	386

## 1. Inhalt und Zweck der Sammlung

Die Profilsammlung des Bayerischen Geologischen Landesamtes umfaßt zur Zeit ca. 150 Bodenprofile. Sie dokumentieren als konservierte Momentaufnahmen der natürlichen Bodenentwicklung die Vielfalt der bayerischen Bodenlandschaften. Dieser Mannigfaltigkeit gerecht

---

Anschriften der Verfasser: ELKE DIETZ, Dr. FRANZ SCHMIDT und GEORG STIMMELMEIER, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstr. 128, D-80797 München; Dr. HELMWART FÖRSTER, Dr. BERND SCHILLING und Dr. ROBERT TRAUDL, Bayerisches Geologisches Landesamt, Außenstelle Marktredwitz, Leopoldstr. 30, D-95615 Marktredwitz.

zu werden ist das Hauptanliegen der Sammlung. Sie enthält nicht nur lehrbuchhaft ausgeprägte, landschaftstypische Profile, sondern auch seltene und für die pedogenetische Forschung interessante Exemplare. Zudem werden schutzwürdige Böden, die am natürlichen Standort nicht erhalten werden können, archiviert.

Das präparierte Profil ist als dreidimensionaler Körper einer Fotodokumentation überlegen, da in ersterem die diagnostischen Merkmale und Strukturen eines Bodens (Gefüge, Konkretionen, Tonkutane u. a.) optimal zu erkennen sind. Zusammen mit laboranalytischen Kenndaten stellen die Profile eine wichtige Diskussionsgrundlage für verschiedene Themenbereiche (z. B. Lessivierung, Deckschichten) dar. Damit dient die Profilsammlung der Koordination in Fragen der bodenkundlichen Ansprache und Klassifikation durch die verschiedenen Sachbearbeiter. Auf die Möglichkeit von Führungen durch diese Sammlung sei hingewiesen.

## 2. Entnahme und Präparation der Bodenprofile

Die Profilentnahme erfolgt mittels Stechrahmen, die in die Stirnseite einer freigelegten Profilwand eingeschlagen werden. Dabei wird auf ein möglichst verlustfreies Bergen des Bodenmaterials geachtet. Die Stechrahmen werden in der entnommenen Reihenfolge abgelegt (vgl. Abb. 1) und die gewonnenen Bodenausschnitte schließlich in einen vorbereiteten Profilrahmen aus Holz unter möglichst vollständiger Erhaltung des natürlichen Bodengefüges überführt und eingeklebt.

Die nächsten Arbeitsschritte erfolgen im Präparationsraum. Hier wird über die gesamte Profillänge ein Bereich mit glatter Oberfläche präpariert, in dem Ausfällungen und andere Bodenmerkmale gut zu erkennen sind (vgl. Abb. 4). Daneben bleibt ein Bereich, der die natürliche Bodenstruktur zeigt. Zur Präparation dient ein Speziallack, der die Schauseite des Bodenprofils festigt und schützt.

## 3. Profilbeispiele aus Bodenlandschaften Bayerns

Die hier getroffene und in den Abbildungen 2 bis 5 wiedergegebene Auswahl aus der Profilsammlung beschränkt sich auf vier landschaftscharakteristische Böden. In den Abbildungen sind auf der linken Seite der Profilsäulen die Bodenhorizonte mit Hilfe von Kurzzeichen (Horizontsymbole) beschrieben. Rechts steht der geologische Schichtenaufbau. Bei den Kurzzeichen der Bodenhorizonte wurde die neueste systematische Nomenklatur berücksichtigt (ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK 1998). Einzelheiten der Horizontsymbolik werden im Text nicht erläutert, da sich die Profilbeschreibungen auf das Wesentliche beschränken sollen. Es sei hier nur angemerkt, daß jeder Schichtenwechsel auch in den Horizontsymbolen angezeigt wird, indem römische Ziffern vorangestellt werden. Weitere Erklärungen zu Horizonten und Schichten finden sich in diesem Band an anderer Stelle (vgl. DREXLER et al. 2000: Kap. 2.1.).

### 3.1. Rendzina aus der Fränkischen Alb

Aus der fränkischen Alb wird eine Rendzina vorgestellt (Abb. 2). Der Name Rendzina stammt aus dem Polnischen („Rauschen“ des Pfluges) und bezeichnet flachgründige, steinige Böden, die aus Carbonat- oder Gipssteinen entstanden sind (MÜCKENHAUSEN 1962). Rend-





Abb. 1. Entnommenes Bodenprofil vor der Präparation. – Foto: B. PAINTNER; Maße der Stechrahmen: 30 × 25 cm.

zinen gehören zur bodensystematischen Klasse der A-C-Böden, die durch einen humosen Oberboden (Ah-Horizont) über dem Ausgangsgestein (C-Horizont) charakterisiert sind. Gelöstes Calcium und Magnesium aus dem Ausgangsgestein werden als Hydrogencarbonate abgeführt. Zurück bleibt ein unlöslicher Rückstand, der u. a. aus Aluminiumsilikaten (z. B. Tonmineralen) besteht. Das Profil der Abbildung 2 besteht aus zwei Schuttdecken, die anhand der Lagerung und Größe des Bodenskelettes leicht zu unterscheiden sind. Die obere Schuttdecke mit den Horizonten Ah und Ah-eCv ist eine Fließerde. Sie zeigt kleine Skelettkomponenten in dachziegelartiger Lagerung. Darunter folgt grobblockiger Frostschutt aus Malm-Kalkstein in wirrer Lagerung (IlclCv1- und clCv2-Horizont). Das ausgewählte Profil kann als typisch für die Fränkische Alb angesehen werden.

Auf den Malmhochflächen der Fränkischen Alb sind die Böden gut drainiert und neigen zur Austrocknung. Dies hat negative Auswirkungen auf die ansonsten infolge günstiger pH-Werte gute biologische Aktivität (Bodenleben). Rendzinen weisen im allgemeinen, bedingt durch den hohen Anteil an Sorbenten (Tonmineralien und organische Substanz), hohe Sorptionskapazitäten für Nährstoffe und Wasser auf. Lediglich eine zu geringe Mächtigkeit des Ah-Horizontes schränkt die Sorptionskapazität entscheidend ein. Kennzeichnend ist ein hoher Basenanteil (99–100 %) an der Austauschkapazität. Auf Grund dessen sind die Rendzinen der Malmhochflächen für landwirtschaftliche Nutzung, z. B. als Standort für Braugerste gut geeignet. Da das Wasserspeichervermögen hauptsächlich von der Mächtigkeit des Ah-Horizontes bestimmt wird, führt Trockenheit in extremen Fällen dazu, daß die Ackernutzung bis zur Rentabilitätsgrenze sinkt (TOMSEN 1975). Schließlich wird die Beackerung bei hohen Steingehalten im Oberboden erschwert. Daher werden Rendzinen häufig forstwirtschaftlich oder als Weideland genutzt. In Hangbereichen treten Trockenrasengesellschaften auf, die durch mittelalterliche Rodung und durch Schafbeweidung entstanden sind. Heute sind sie als Standorte seltener Pflanzenarten, z. B. Orchideen bekannt. In der Frankenalb sind Rendzinen vorwiegend auf Kuppen und an steileren Hängen zu finden. BLEICH (1994) beschreibt eine ähnliches Verbreitungsmuster für die Schwäbische Alb.

### 3.2. Braunerde aus dem Bayerischen Wald

Im Bayerischen Wald sind Braunerden aus Zersatzmaterial von Gneisen weit verbreitet. Im ausgewählten Beispiel der Abbildung 3 folgen unter dem humosen Oberboden (= Ah-Horizont) verschiedene Ah-Bv- und Bv-Horizonte, die durch Verbraunung (Bildung von braun färbenden Sesquioxid-Mineralen) und gleichzeitige Verlehmung (Bildung von Tonmineralen) entstanden. In der Abbildung erscheinen diese Bodenhorizonte dunkelbraun. Sie entwickelten sich in einer unter periglazialen Bedingungen entstandenen Fließerde. Letztere besteht überwiegend aus umgelagertem, sandig-grusigem Gneis-Zersatzmaterial, einigen kantengerundeten Grobkomponenten und einem geringen Anteil äolisch eingetragenen Feinmaterials, der laboranalytisch nachweisbar ist.

Darunter folgt ein völlig zersetzter und entfestigter Gneis, dessen Gesteinsstrukturen jedoch weitgehend erhalten sind. Derartige Zersatzzonen sind im ostbayerischen Grundgebirge seit langem bekannt (vgl. PRIEHÄUSSER 1968). In der modernen Geologie wurde dafür der Begriff Saprolith (= verfaultes Gestein) geprägt (vgl. VALETON 1983). Die tiefreichende, örtlich bis in Tiefen von mehreren 10er Metern reichende Entfestigung des Gesteins erfolgte nicht bei den heute herrschenden Klimabedingungen. Sie geht auf intensive chemische Verwitterung unter subtropisch-tropischen Verhältnissen des Tertiärs zurück. Auch das in Abbil-

dung 3 dargestellte Profil ist in seinem unteren Teil als Relikt einer tertiären Verwitterung und damit als Paläoboden zu interpretieren. Das wird in den Horizontsymbolen mit „rCj“ (d. h. reliktscher, fersiallitischer Untergrundhorizont) zum Ausdruck gebracht.

Eine intensivere und großflächigere Bodennutzung setzte im Bayerischen Wald erst mit einer Rodungsphase des Spätmittelalters ein. Der wachsende Bevölkerungsdruck machte eine verstärkte landwirtschaftliche Nutzung notwendig. Die Rodungen beschränken sich meist auf relativ günstige Standorte, so vor allem im Bereich der Regensenke. Die steinigten Höhenzüge mit kürzerer Vegetationsperiode und hohen Niederschlagssummen wurden hingegen forstwirtschaftlich genutzt. Dieses Nutzungsmuster bestimmt noch heute im wesentlichen das Landschaftsbild.

In den Hochlagen verursacht die unzureichende Nährstoffausstattung der Böden bei den dortigen Nadelwaldbeständen Mangelerscheinungen, wie Nadelvergilbung durch Mangan- und Magnesiummangel. Die Vitalität der Bäume ist soweit herabgesetzt, daß die Wälder zwischen Rachel und Lusen, im Nationalpark Bayerischer Wald, als Folge des Borkenkäferbefalls großflächig absterben.

### 3.3. Parabraunerde aus dem Gäuboden

Die Abbildung 4 zeigt ein Bodenprofil aus der „Kornkammer Bayerns“. Bodengenetisch ist neben der Verbraunung die Tonverlagerung der wichtigste Prozeß. Unter der Pflugsohle (= Untergrenze des Ap-Horizonts) folgt ein Al-Horizont. Das indizierte „l“ bedeutet „lessiviert“, d. h. „ausgewaschen“. Tatsächlich kann man bei einer Bilanzierung der Tongehalte zwischen dem Al-Horizont und dem darunter folgenden Bt-Horizont (t = tonangereicht) einen deutlichen Unterschied feststellen. Bewegen sich die Tongehalte im Al-Horizont um 20–25 %, so steigen sie im Bt-Horizont auf 35–40 % an. Bodensystematisch wird dieser Boden als Parabraunerde bezeichnet. Damit soll einerseits die Verwandtschaft zu den Braunerden ausgedrückt werden, andererseits aber auch die abweichende Genese. Das Ausgangsmaterial dieses Bodens ist eiszeitlicher (Würm-) Löß. Er enthält ca. 30 % Carbonat. Deutlich zu erkennen sind im eCv-Horizont einzelne Lößkindel und Schneckengehäuse. Der Löß wurde vorwiegend aus Fluß- und Schmelzwasserablagerungen ausgeweht und verfrachtet. Die Mächtigkeit der Lößdecken kann mehrere Meter erreichen.

Die hohe natürliche Fruchtbarkeit dieser Böden ist bereits von den Menschen der Jungsteinzeit erkannt worden. Deshalb wurden die sogenannten „Gäugebiete“, in denen Parabraunerden aus Löß dominieren, schon sehr früh dauerhaft besiedelt. Bis zum heutigen Tag wird in diesen Regionen intensiver Ackerbau betrieben. Ein hohes natürliches Nährstoffpotential und gute Bearbeitbarkeit erlauben praktisch jede denkbare ackerbauliche Nutzung von Weizen- und Zuckerrübenanbau bis hin zum Feldgemüse und anderen Sonderkulturen. Das günstige Porenvolumen und die relativ hohe nutzbare Feldkapazität (ca. 200 mm bis 1 m Tiefe) sind beste Voraussetzungen für einen ausgeglichenen Luft- und Wasserhaushalt des Standortes. Nachteile von Lößböden sind die leichte Verschlammbarkeit und die hohe Erosionsanfälligkeit. Dies liegt im hohen Schluffgehalt begründet, der im Oberboden 70 % und mehr erreichen kann. Gegenüber einem Sandboden steigt dadurch die Erosionsanfälligkeit um das zehnfache und darüber an. Vor allem beim Anbau von Reinkulturen in Hanglagen sollten daher Maßnahmen gegen Bodenabtrag getroffen werden.

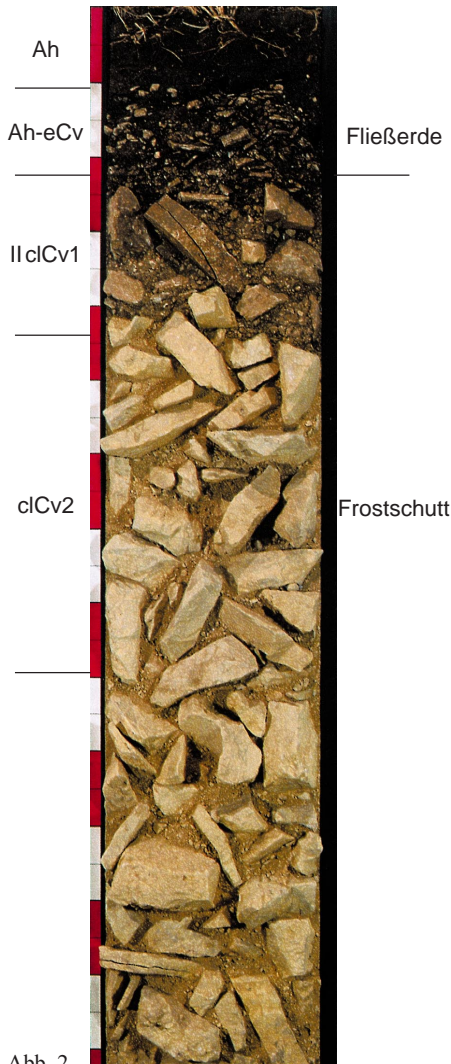


Abb. 2

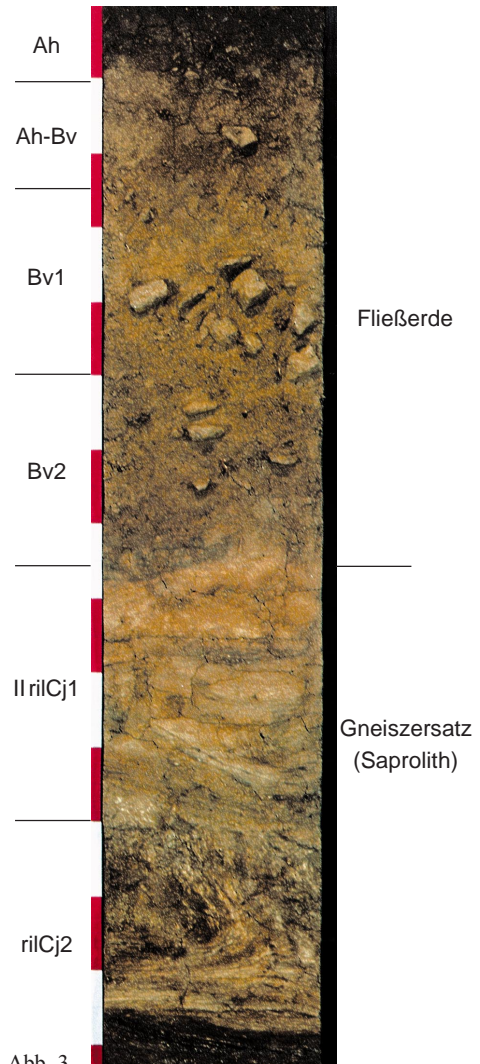


Abb. 3

Abb. 2. Stark humose Rendzina aus Fließerden über Frostschutt aus Malm-Kalkstein. – Lage: Wasserzell bei Eichstätt, südliche Frankenalb; Höhe: 470 m ü. NN; Relief: steiler Mittelhang; Klima: 7 °C, 700 mm Jahresniederschlag; Nutzung: Mischwald. – Foto: H. PARTHEYMÜLLER; Maßstab in Dezimeterteilung.

Abb. 3. Braunerde aus Fließerde über Gneiszersatz. – Lage: Frath bei Bodenmais, Bayerischer Wald; Höhe: 740 m ü. NN; Relief: flacher Oberhang; Klima: 6 °C, 1100 mm Jahresniederschlag; Nutzung: Grünland. – Foto: H. PARTHEYMÜLLER; Maßstab in Dezimeterteilung.

### 3.4. Pseudogley aus dem Keuper-Lias-Land Frankens

Der in Abbildung 5 dargestellte Boden hat sich auf Sedimenten des Feuerletts entwickelt und liegt auf einer Verebnungsfläche im Keuper-Lias-Land Frankens. Das Bodenprofil zeigt einen mehrschichtigen Aufbau (vgl. auch SCHILLING 1991). Bodensystematisch wird es den Stauwasserböden (Pseudogleyen) zugeordnet.

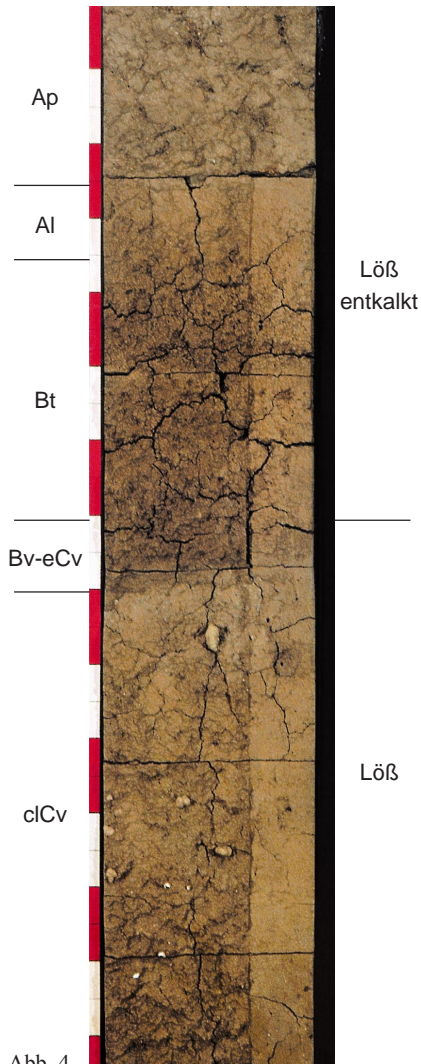


Abb. 4

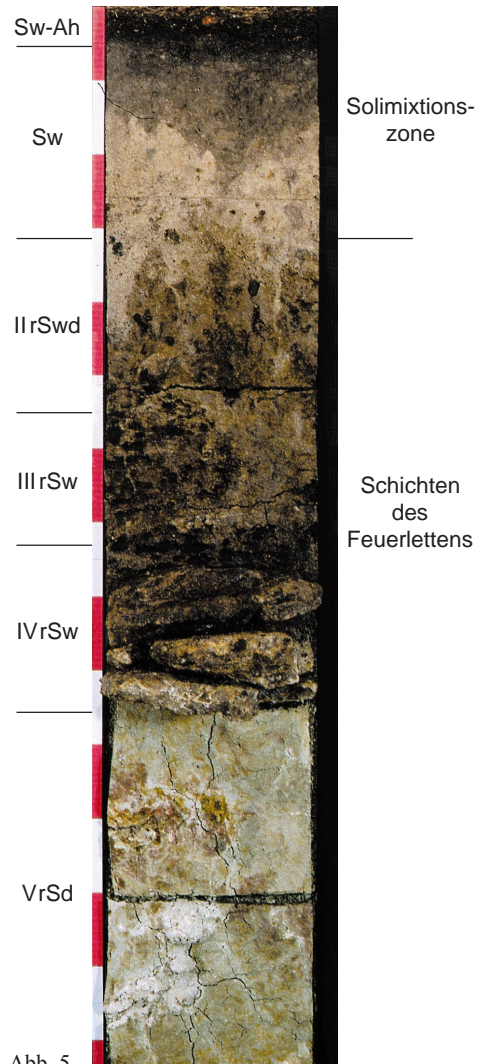


Abb. 5

Abb. 4. Parabraunerde aus Löss. – Lage: Salching, Landkreis Straubing; Höhe: 347 m ü. NN; Relief: Hochterrasse, eben; Klima: 7–8 °C, 650–700 mm Jahresniederschlag; Nutzung: Acker. – Foto: H. PARTHEYMÜLLER; Maßstab in Dezimeterteilung.

Abb. 5. Pseudogley aus Solimixtionszone über Schichten des Feuerlettings. – Lage: Allersberg, Landkreis Roth, Albvorland; Höhe: 440 m ü. NN; Relief: Verebnung; Klima: 7 °C, 600 mm Jahresniederschlag; Nutzung: Mischwald. – Foto: H. PARTHEYMÜLLER; Maßstab in Dezimeterteilung.

Im oberen Teil des Bodenprofils (bis 3 dm Bodentiefe) sind sandige Verwitterungsprodukte des Feuerlettings durch periglaziale Prozesse mit eiszeitlich angewehtem, ursprünglich carbonathaltigem Löss vermengt worden (Solimixtion). Der Lössanteil beträgt nur wenige Prozent und ist durch die Bodenbildung vollständig entkalkt.

Unterlagert wird diese Solimixtionszone von intensiv verwitterten Schichten des Feuerlet-

tens, der hier als Wechselfolge von Ton- und Sandsteinen ausgebildet ist. Die tonreicheren Profilabschnitte haben wasserstauende Wirkung (Sd- bzw. Swd-Horizonte) und verursachen die temporäre Wasserführung der sandreicheren Stauwasserleiter (= Sw-Horizonte). In den Sw-Horizonten verläuft die Wasserbewegung nur sehr langsam und ausschließlich lateral. Dies führt zu langen Feuchtephasen im Boden. Wegen der damit verbundenen Reduktionsprozesse und der lateralen Abfuhr von Eisenionen sind die Sw-Horizonte ausgebleicht. Allerdings scheiden sich aus dem manganreichen Bodenwasser während sommerlicher Trockenphasen schwarze Manganoxide aus. Sie übertönen insbesondere in den Horizonten IIIrSw und IVrSw als Konkretionen und Inkrustationen die hellgraue Farbe der Bleichzonen.

Auffallend ist die graue Farbe des basalen VrSd-Horizontes, da der Feuerletten ansonsten in roten Farbtönen auftritt. Einige Indizien sprechen dafür, daß die Graufärbung dieses Horizontes bereits mesozoischen Ursprungs ist. Auch die intensive Verwitterung der Schichten des Feuerletten im Hangenden des VrSd-Horizonts begann schon vor dem Pleistozän. Damit besitzt dieser Profilabschnitt reliktsche Merkmale, die mit der rezenten Bodenbildung nicht im Einklang stehen. In den Horizontbezeichnungen wird dies durch ein kleines „r“ (= reliktsch) angezeigt.

Die staunassen, häufig stark versauerten Böden auf Verebnungsflächen des Feuerletten im Albvorland werden fast ausschließlich forstwirtschaftlich genutzt. Im hier beschriebenen Bodenprofil ist die Versauerung dank der hohen Carbonatgehalte des Ausgangsmaterials nur in den obersten Horizonten deutlich fortgeschritten. In den organischen Auflagen und im humosen Mineralboden wurden gegenüber dem humusfreien Unterboden erhöhte Schwermetallgehalte nachgewiesen, die teils als Stoffeinträge aus der Luft, teils als gesteinsbürtig zu interpretieren sind. Grenz- oder Richtwerte werden nicht überschritten.

#### 4. Literatur

- ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK [Hrsg.] (1998): Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands. – Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **86**: I–XII, 1–180, Oldenburg.
- BLEICH, K. E. (1994): Paläoböden auf der Schwäbischen Alb als Zeugen der Relief- und Klimaentwicklung? – Z. Geomorph. N.F., **38**: 13–32, Berlin.
- DREXLER, O., GROTTENTHALER, W., GRUBER, H.-P., MARTIN, W. & SCHMIDT, F. (2000): Die bodenkundliche Landesaufnahme – Grundlage für Bodenschutz und Daseinsvorsorge. – Geologica Bavarica, **105**: 363–378, München. – [Dieser Bd.]
- MÜCKENHAUSEN, E. (1962): Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. – 1. Aufl.: 300 S., Frankfurt a. M. (DLG-Verl.).
- PRIEHÄUSSER, G. (1968): Über Verwitterung kristalliner Gesteine zu Zersatz von der Oberfläche aus. – Geol. Bl. NO-Bayern, **18**: 162–172, Erlangen.
- SCHILLING, B. (1991): Deckschichten und Böden der Altflächenlandschaften Mittelfrankens. – Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **64**: 211–267, Oldenburg.
- TOMSEN, V. (1975): Sickerwasser-Quantität und -Qualität von Muschelkalkböden (Braunlehm-Rendzina) unter Sozialbrache- und Rekultivierungsflächen. – Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., **22**: 271–276, Göttingen.
- VALETON, I. (1983): Klimaperioden lateritischer Verwitterung und ihr Abbild in den synchronen Sedimentationsräumen. – Z. dt. geol. Ges., **134**: 413–452, Hannover.

# Böden der fränkischen Keuper-Lias-Landschaft und ihre Abbildung im Bodeninformationssystem

Von BERND SCHILLING & JOSEF HAMMERL

Mit 2 Abbildungen

**Schlüsselworte:** Keuper-Lias-Land Frankens – Boden – Bodenschutz – Bodeninformationssystem – bodenkundliche Landesaufnahme

**Kurzfassung:** Informationen zum Aufbau, zu den Eigenschaften und zur Verbreitung der Böden ist für landesplanerische und wirtschaftliche Fragestellungen sowie für Fragen des Bodenschutzes von großer Bedeutung. Das Bayerische Geologische Landesamt stellt daher im Rahmen seiner bodenkundlichen Landesaufnahme Daten zu den Böden zusammen. Diese Daten sind im Bodeninformationssystem abgespeichert und stehen zur weiteren Verwendung zur Verfügung. Das Bayerische Geologische Landesamt erarbeitet weiterhin sogenannte Handbücher der Böden, in denen nach Regionen getrennt bodenkundliche Daten geordnet, bewertet und graphisch abgebildet werden. Hier wird diese Vorgehensweise anhand des Beispiels der Böden der fränkischen Keuper-Lias-Landschaft vorgestellt.

## Soils of the Franconian Keuper-Lias region and their description in the Bavarian soil information system

**Keywords:** Franconian Keuper-Lias region – soil – soil protection – soil information system

**Abstract:** It is very important to have information about structure, properties and spreading of soils for land management, economics and soil protection. Soil data are produced and collected by the Bavarian Geological Survey. These data are saved in a soil information system and are available for different applications. Soil handbooks of several Bavarian regions are published by the Bavarian Geological Survey. The soil data are classified, evaluated and visualised in those books. The proceedings are demonstrated with the help of soils of the Franconian Keuper-Lias region.

### Inhalt

1. Einführung .....	388
2. Böden des Keuper-Lias-Land Frankens .....	388
3. Landwirtschaft und Bodenschutz .....	390
4. Boden-Flächeninventur .....	391
5. Böden im Bodeninformationssystem .....	392
6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen .....	393
7. Literatur .....	393

## 1. Einführung

Das Bayerische Geologische Landesamt (GLA) hat den Auftrag, bodenkundliche Grundlagen zu erheben. Dazu werden die verschiedensten Projekte durchgeführt, die Antworten zum Belastungsstand, zu ablaufenden Prozessen und zu Veränderungen im Boden liefern. Im Rahmen der bodenkundlichen Landesaufnahme werden Verbreitung und Eigenschaften der Böden erkundet. Die Inventur der Böden Bayerns erfolgt punktförmig als Boden-Grundinventur und flächenhaft in Form von Kartierungen in verschiedenen Maßstäben (Boden-Flächeninventur) (vgl. DREXLER et al. 2000).

Bayern umfaßt mehrere unterschiedliche Bodenlandschaften. Nach der standortkundlichen Landschaftsgliederung (WITTMANN 1991) wird das fränkische Keuper-Lias-Land der Landschaftseinheit 5 zugeordnet. Nachfolgend werden die Böden dieser Landschaftseinheit vorgestellt.

## 2. Böden des Keuper-Lias-Landes Frankens

Das Keuper-Lias-Land Frankens gehört zum Süddeutschen Schichtstufenland. Dessen petrographischer Aufbau ist von einem ständigen Wechsel von tonigen, sandigen und mergeligen bis kalkigen Schichten geprägt. Vor allem in den ausgehenden Eiszeiten wurden Flugsande und Löss aufgeweht und durch periglaziale Prozesse mit Verwitterungsmaterial der anstehenden Gesteine vermischt (s. Abb. 1; SCHILLING 1991). Diese pleistozänen Mischsubstrate bilden flächendeckend das Ausgangsmaterial für die Pedogenese. Doch auch fuvial bedingte Prozesse sorgen noch bis zum heutigen Tag für die Aufbereitung von neuem Ausgangsmaterial. Diese Überdeckungen können jedoch an exponierten Stellen bereits erodiert sein.

Sowohl die unterschiedlichen geologischen als auch morphologischen Gegebenheiten haben eine Vielzahl von Bodenformen entstehen lassen. Die Abbildung 2 zeigt am Beispiel des Hetzlesberges Böden des Burgsandsteins, des Feuerletzens, des Rhätolias, des Lias, des Doggers und des Malms, die einen Ausschnitt der Böden des Keuper-Lias-Landes darstellen. Aus der Sicht der Bodentypologie überwiegen Braunerden. Braunerden sind durch einen Verwitterungshorizont unter dem humosen Oberboden gekennzeichnet, der verbraunt und oft aufgrund von Tonmineralneubildungen verlehmt ist. Braunerden kommen im Keuper-Lias-Land in erster Linie an Mittel- und Unterhängen und auf weiten Verebnungen vor.

Weiterhin sind Pseudogleye häufig zu finden. Durch den Wechsel von Ton- und Sandschichten und das entsprechende Wasserregime bilden sich wasserleitende und wasserstauende Horizonte aus. Pseudogleye treten häufig in Senken auf, an Hängen mit Quellaustritten und auf Hochflächen, wenn das Wasser nicht genügend schnell abfließen kann. Diese Flächen sind meist sogenannte „Altflächen“ mit teils reliktschen, teils fossilen Bodenhorizonten, die sich schon seit dem Tertiär entwickelten (Paläoböden).

Podsole sind die am intensivst verwitterten Böden. Ihre Bodenqualität ermöglicht nur sehr widerstandsfähigen Pflanzen zu bestehen. Man findet sie vorwiegend in den Flugsandarealen. Ihre größten Verbreitungen haben sie bei Neumarkt i. d. Opf. und am östlichen Rand des Regnitz-/Rednitztales. Der Versauerungsgrad dieser Böden ist sehr hoch.



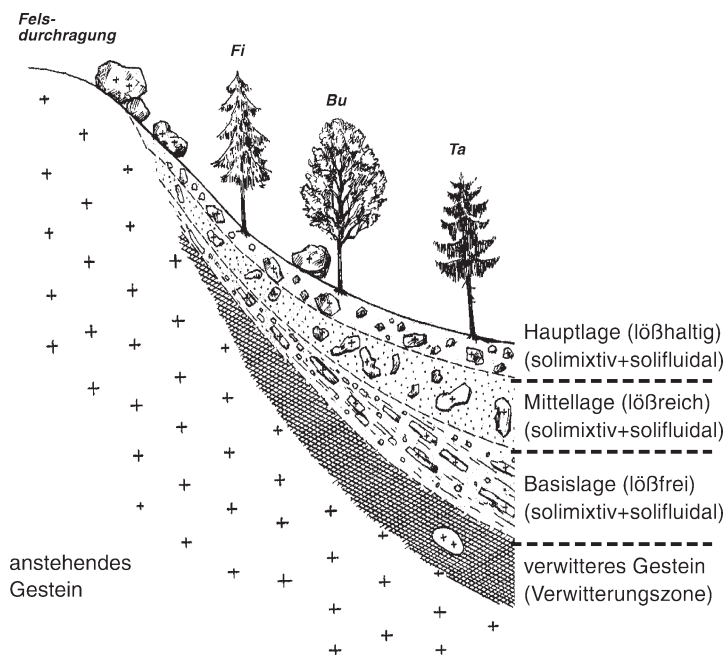


Abb. 1. Periglaziale Deckschichten als Ausgangsmaterial für die Bodenentwicklung (nach REHFUESS 1981: Abb. 2.2., verändert). – Abkürzungen: Bu: Buche, Fi: Fichte, Ta: Tanne.

Aus mesozoischen Sanden entwickeln sich meistens saure Braunerden. Der Mineral- und Nährstoffhaushalt dieser Substrate reicht noch aus, sauer wirkende Wasserstoffkationen abzupuffern.

Auf Erosionsstandorten überwiegen A/C-Böden (Ranker, Regosole, Pararendzinen). Das heißt, die Bodenbildung ist noch nicht weit fortgeschritten. Über dem Ausgangsgestein hat sich bisher nur ein humoser Mineralbodenhorizont entwickelt. Deckschichten, die an anderen Standorten das Substrat für die Ausbildung der charakteristischen Unterbodenhorizonte (wie z. B. Verbraunungshorizonte, Illuvialhorizonte u.s.w.) darstellen, sind hier bereits aberodiert. Bei Tonstandorten, bei denen genügend quellfähige Tonminerale vorhanden sind, entstehen auch Pelosole, deren charakteristischer „P-Horizont“ durch Quell- und Schrumpfungsvorgänge gekennzeichnet ist.

Hydromorphe Böden wie z. B. Gleye kommen im wasserarmen Schichtstufenland nur kleinflächig vor. Typische Standorte treten um Quellaustritte herum auf. Hanggleye sind z. B. bei der Grenze Sandschichten des Dogger-Beta und Tonschichten des Dogger Alpha zu finden, die auch durch viele Quellen gekennzeichnet ist.

Weite Verbreitung haben Auenböden. Sie treten sowohl entlang der größeren Flüsse (Main, Regnitz, Altmühl) auf, sind aber auch an kleineren Nebenflüssen zu finden. Dabei sind sie meist nach dem gleichen Schema angeordnet. In unmittelbarer Nähe des Vorfluters haben sich wegen der mächtigeren Ablage von Hochflutsedimenten Braune Auenböden (Vega) ausgebildet, bei denen der Grundwassereinfluß nicht mehr in die oberen Bodenhorizonte reicht. Am Rand der Auen ist die Sedimentauflage in der Regel nicht so mächtig. Dort steigt das Grundwasser vielfach noch bis an die Erdoberfläche und es haben sich Auengleye ausgebildet.

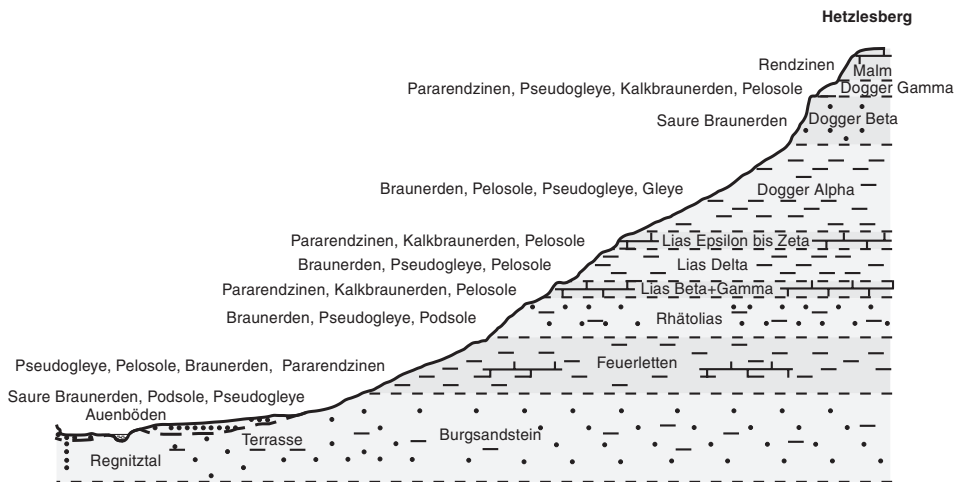


Abb. 2. Bodenentwicklungen über einen Abschnitt der mesozoischen Schichtenfolge am Beispiel des Hetzlesberges E Erlangen.

Eine Besonderheit stellen die Parabraunerden dar. Sie sind durch die Tonverlagerung aus hangenden (Al) in liegende Bodenhorizonte (Bt) gekennzeichnet. Parabraunerden bilden sich vorzugsweise auf lößreichem Ausgangssubstrat. Großflächige Lößgebiete sind im Keuper-Lias-Land jedoch nicht vorhanden. Lediglich an der Westgrenze zu den mainfränkischen Platten und auf den Osthängen der Erhebungen in unmittelbarer Nähe des Regnitztales wurden Löss abgelagert. Oft läßt die Abfolge im Bodenprofil – tonärmerer Horizont über tonreichem Horizont – in diesen meist zu Lößlehmen verwitterten Lössen eine Tonverlagerung vermuten. In der Regel sind diese Tongehaltsunterschiede durch die länger andauernde Verwitterung in den tieferliegenden, älteren Bodenschichten begründet, die zu einer umfangreicheren Tonmineralneubildung geführt hat. Merkmale der pedogenen Tonverlagerung wie Toncutane sind im Keuper-Lias-Land nur selten zu erkennen.

### 3. Landwirtschaft und Bodenschutz

Die Vielfalt der Böden im Keuper-Lias-Land hat natürlich seine Auswirkungen auf Ansprüche der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft und des Bodenschutzes.

Der westliche Teil der in WITTMANN (1991) als Landschaftseinheit 5 ausgewiesenen Region besteht vorwiegend aus Keuperschichten. Diese sind entweder aus mächtigen Sand- oder aus Tonsteinkomplexen aufgebaut. Da äolische Beimengungen meist nur lokal oder nur zu geringen Teilen in das verwitterte Bodenmaterial eingemengt sind, herrschen hier auch vorwiegend sandige oder tonige Böden vor. Dies sind schlechte Voraussetzungen für eine landwirtschaftlichen Nutzung. Daher finden wir in dieser Landschaft ausgedehnte Wälder, wie z. B. den Steigerwald, die Frankenhöhe oder den Nürnberger Reichswald. Die tonigen Gebiete werden für eine Sonderbewirtschaftung genutzt. Im Bereich zwischen Regnitz im E und den Weinbaugebieten der mainfränkischen Platten im W befindet sich eine der größten mit Teichwirtschaft genutzten Regionen Deutschlands. Über 4000 Karpfenteiche sind hier ein bedeutender Wirtschaftsfaktor.

Die Liasgebiete, die hauptsächlich aus Tonen, Mergeln und Kalken bestehen, liegen östlich bzw. südlich der Regnitz und Rednitz. Sie sind als markanter Anstieg in der Landschaft zu erkennen und bilden das Bindeglied zur fränkischen Albhochfläche. Daher wird diese Zone auch als Albvorland bezeichnet. Das mesozoische Ausgangssubstrat ist hier meist mit Löß- bzw. Flugsandeinwehungen vermischt. Dadurch wird das Porenvolumen erhöht und der Wasserhaushalt verbessert. Die damit verbundene höhere Bodenqualität führt zu einer intensiveren landwirtschaftlichen Nutzung als auf den Keuperflächen.

Im Hangenden der Liasschichten folgt meist ein Anstieg, der dem Dogger Alpha (Opalinuston) zuzuordnen ist. Die Überdeckung dieser Schichten mit Lössen oder Sanden ist vielerorts nur gering. Daher wird dieser Bereich bevorzugt als Grünlandstandort benutzt. Eine Eigenheit auf diesen geologischen Schichten sind die Kirschaumplantagen. Das Gebiet um den Markt Pretzfeld bei Ebermannstadt gilt sogar als eine der größten Kirschanbauzonen Deutschlands. Über dem Dogger Alpha liegen die Schichten des Dogger Beta (Eisensandstein). Als Dogger Beta wird ein mächtiges Sandsteinpaket (bis 70 m) bezeichnet, das als Steilanstieg im Gelände gut zu erkennen ist. Die sauren Böden, die auf ihm ausgebildet sind, werden vorzugsweise forstlich genutzt.

Das vorherrschende Substrat und die darin ablaufenden Bodenprozesse sind entscheidend für die Bewertung eines Bodens aus dem Gesichtspunkt des Bodenschutzes. So sind sandige Böden gegen Belastungen weitaus empfindlicher als tonige Böden. Sandböden verfügen vielfach über höhere Säurekonzentrationen und vermögen wegen mangelnder pufferfähiger Sorbenten nur eine begrenzte Anzahl von eingetragenen Schadstoffen zu fixieren. Die Gefahr, daß Schadstoffe in tiefere Bodenhorizonte oder sogar ins Grundwasser gelangen, ist bei sandigen Standorten um vieles höher als bei tonigen. Humusreiche Horizonte verfügen über eine deutlich höhere Fähigkeit, schädliche Substanzen aus dem Bodenwasser auszufiltern, als humusarme. In den großen Nadelwaldarealen erfolgte aber bis in die Nachkriegszeit eine intensive Streunutzung, die zu einer Reduzierung der Humusanteile führte.

Im Keuper-Lias-Land Frankens ist daher vor allem das Grundwasser im Gebiet der großen Sandsteinflächen bei etwaigen hohen Schadstoffeinträgen gefährdet.

#### **4. Boden-Flächeninventur**

Im Rahmen der Boden-Grundinventur und mit Hilfe von Sonderprojekten (z. B. Boden-Dauerbeobachtung; SCHILLING 1997) wurden Kennwerte erhoben, die die Vielzahl der Böden, ihre Bodeneigenschaften und ihre umweltbezogene Stellung charakterisieren.

Zur Beantwortung bodenkundlicher Fragestellungen genügt es aber meistens nicht, daß das Bodeninventar punktförmig beschrieben, analysiert und katalogisiert wird. Unabdingbar ist darüberhinaus die flächenhafte Erfassung der Böden in Bodenkarten. Das ist die Aufgabe der Boden-Flächeninventur, die am GLA schon seit Mitte der 50er Jahre begonnen wurde (s. DREXLER et al. 2000). Eine Übertragung der punktuell festgestellten Ergebnisse auf die Fläche wird erst mit Bodenkarten ermöglicht.

Bodenkarten werden in verschiedenen Maßstäben erstellt. Die Geländeaufnahme erfolgt normalerweise im Maßstab 1:25 000. Im Raum des Keuper-Lias-Landes liegen bisher erst 2 Kartenblätter (Bodenkarte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6729 Ansbach Süd und Blatt Nr. 6833 Hilpoltstein) vor.

Um den dringenden Bedarf an Bodenkarten zu begegnen, wird zunächst eine Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200 000 (BÜK 200) erstellt. Für die Erstellung der BÜK 200 Nürnberg begannen 1998 die Geländearbeiten. Als Arbeitsgrundlage werden Konzeptbodenkarten im Maßstab 1:25 000 (KBK 25) angefertigt, die mit Hilfe von geologischen, standortkundlichen und topographischen Karten sowie von Bodenschätzungskarten konzipiert werden. Im Gelände erfolgt dann eine Überprüfung des Konzeptes anhand von Bohrungen.

## 5. Böden im Bodeninformationssystem

Daten zu den Böden in Bayern werden erhoben mit dem Ziel, Kenntnisse zu der flächenhaften Verteilung der Böden, zu deren Eigenschaften und zu deren Belastung zu gewinnen. Diese Daten müssen jedoch auch so aufbereitet sein, daß sie bei Fragestellungen verschiedener Institutionen bzw. Bürger geeignet zur Verfügung stehen.

Im Bodeninformationssystem (BIS) des GLA werden die umfassenden Datenbestände niedergelegt.

Im BIS sind aus dem Bereich „Keuper-Lias-Land“ rd. 2800 bodenkundliche Aufnahmen (Bodenprofile) gespeichert, die im Rahmen der Boden-Grundinventur erstellt wurden. Ca. 30 % der Profile wurden beprobt und im Labor untersucht. Innerhalb des BIS können Daten nach bestimmten Kriterien recherchiert werden und bei Bedarf in andere Systeme exportiert und weiterverarbeitet werden. Es ist jedoch nicht Zweck des BIS, speziellere Auswertungen, klärende Texte, Graphiken oder Kartenausschnitte zu erzeugen.

Das BIS als Grundlage für die Darstellung der Böden des Keuper-Lias-Landes liefert zunächst die Daten für die Erstellung eines Handbuches der Böden. Anfang der 90er Jahre wurde dies bereits in analoger Form für das Tertiärhügelland zusammengestellt (SCHMIDT et al. 1992). Zu Beginn des 3. Jahrtausends soll nun das „Handbuch der Böden für das Keuper-Lias-Land Frankens“ publiziert werden. Die Grundidee des Handbuches von 1992 bleibt dabei erhalten, die Form unterscheidet sich deutlich. Der Schwerpunkt liegt auf der digitalen Darstellung der Informationen zu den Böden. Wobei diese digitalen Darstellungen auf einer CD-ROM zur Verfügung gestellt werden sollen. Als Appendix wird noch ein Textband beigelegt, in dem geomorphologische, geologische und kulturelle Zusammenhänge mit der Entwicklung der Böden beschrieben sind.

Bei der Datenzusammenstellung und der Gestaltung des Handbuches für das Keuper-Lias-Land Frankens haben sich die Autoren zu folgender Vorgehensweise entschlossen:

Im BIS wurden Bodenformen mit verwandten Bodeneigenschaften zu Bodenformengruppen zugeordnet. Danach erfolgte das Auslesen aller Daten des Bearbeitungsgebietes in eine Microsoft-Access-Datenbank. Zur Visualisierung der Bodenforminhalte wurde mit der Programmiersprache Delphi eine Datenbankoberfläche geschaffen, mit deren Hilfe die bodenkundliche Beschreibung der jeweiligen Bodenformengruppe aufgerufen werden kann. Verschiedene Auswahlmöglichkeiten lassen einen raschen Zugriff auf Zusatzinformationen zu. So können Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungsverfahren sowohl graphisch als auch in Tabellenform dargestellt werden. Weiterhin kann eine Karte der Landschaftseinheit 5 erzeugt werden, auf der Aufnahmeorte, die nach verschiedenen Kriterien ausgewählt werden können, sichtbar sind. Falls man Beziehungen zu anderen Erhebungen herstellen will, kann man geologische Karten, Gewässernetze, Nutzungskarten u. s. w. unterlegen.

Das Auswahlmenü bietet zudem verschiedene Verknüpfungen zu erläuternden Texten. Weiterhin besteht ein Menüpunkt, mit dem ökologische Eigenschaften von Bodenformgruppen, z. B. Filtervermögen oder Schadstoffempfindlichkeit, aufgerufen werden können.

## 6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Der Boden ist für unsere Umwelt von großer Bedeutung. Um ihn zu schützen und mit ihm verantwortungsbewußt umzugehen, müssen wir möglichst viel von ihm wissen. Dazu werden daher in ganz Bayern Informationen zum Aufbau des Bodens, zu seinen Bodeneigenschaften und zu seiner Verbreitung erarbeitet. Mit dem Bodeninformationssystem ermöglicht das GLA den Zugriff auf diese Informationen. Zur weiteren Bewertung und Darstellung dieser Daten wurde seit Anfang der 90er Jahre begonnen, sogenannte Handbücher der Böden herauszugeben. Diese Handbücher enthalten eine Zusammenstellung aller wichtigen Daten zu den Böden einer bestimmten Region. Zu Beginn des 3. Jahrtausends erscheint mit dem Handbuch der Böden für das Keuper-Lias-Land Frankens ein weiterer Band, der sich für seine Darstellung die Möglichkeiten der neuen Medien zu Nutze macht.

Die Handbücher sind in ihrer jetzigen Form eine wichtige Basis für alle Thematiken, bei denen punktuelle Informationen benötigt werden. In Verbindung mit Daten zur flächigen Verbreitung der Böden ist das Handbuch der Böden ein zentrales Werkzeug zur Beantwortung bodenkundlicher Fragen.

Im Keuper-Lias-Land Frankens wird daher daran gearbeitet, die Bodenübersichtskarten zu erstellen und sie in das EDV-Programm für das Handbuch einzubinden.

## 7. Literatur

- DREXLER, O., GROTTENTHALER, W., GRUBER, H.-P., MARTIN, W. & SCHMIDT, F. (2000): Die bodenkundliche Landesaufnahme – Grundlage für Bodenschutz und Daseinsvorsorge. – *Geologica Bavarica*, **105**: 363–378, München. – [Dieser Bd.]
- REHFUESS, K. (1981): Waldböden. – 192 S., Hamburg (Parey).
- SCHILLING, B. (1991): Deckschichten und Böden der Altflächenlandschaften Mittelfrankens. – *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, **64**: 211–267, Oldenburg.
- SCHILLING, B. (1997): Wiederholungsuntersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. – *GLA-Fachber.*, **14**: 48–91, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHMIDT, F., BÖHM, A., HAMMERL, J., HOFMANN, B., HOLZNER, G., JOCHUM, R., KELLER, X., MAHLER, CH., MARTIN, W., PETSCHL, A., PRINZ, R., SCHILLING, B., SPIES, E.-D., STIMMELMEIER, G. & WITTMANN, O. (1992): Die Böden Bayerns – Datenhandbuch für die Böden des Tertiärhügellandes, der Iller-Lech-Platte und des Donautales. – 527 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WITTMANN, O. (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern. – *GLA-Fachber.*, **5** (2. Aufl.): 5–47, München (Bayer. Geol. L.-Amt).



# Recherchesystem bodenkundlicher Kennwerte (REBOK)

Von HANS-HUBERT SCHRAA

Mit 3 Abbildungen

**Schlüsselworte:** GIS – ARC/INFO – ArcView – Bodenübersichtskarte 1:200 000 (BÜK 200) – Bodeneigenschaften – Hintergrundwerte – Schwermetalle – Bodenschutz – Bodenbewertung

**Kurzfassung:** Das im Bayerischen Geologischen Landesamt entwickelte GIS-Werkzeug „Recherchesystem bodenkundlicher Kennwerte (REBOK)“ wird seit 1997 aufgebaut und gepflegt. Es dient der Vorhaltung von Bodeneigenschaftsdaten und ermöglicht Recherche, Visualisierung und kartographische Ausgabe. Es basiert auf den Legendeneinheiten der Bodenübersichtskarte 1:200 000 (BÜK 200) und verbindet daher bodenkundliche Landesaufnahme mit bodenkundlicher Auswertung, z. B. im Rahmen des Bodenschutzes.

## Research system for soil properties (REBOK)

**Keywords:** GIS – ARC/INFO – ArcView – generalized soil map 1:200 000 (BÜK 200) – soil properties – background values – heavy metals – soil protection – evaluation of soils

**Abstract:** The GIS-tool „Research system for soil properties (REBOK)“ has been programmed and updated since 1997. It contains data of soil properties and enables to investigate, visualize and plot charts. It is based on the legend of the generalized soil map 1:200 000 (BÜK 200) and links pedological mapping and pedological evaluation, e. g. in the scope of soil protection.

## Inhalt

1. Einleitung .....	395
2. Beschreibung der Anwendung .....	396
3. Die Kennwerte im Einzelnen .....	397
4. Ausblick .....	399
5. Literatur .....	401

## 1. Einleitung

Im Rahmen der geowissenschaftlichen Landesaufnahme werden am Bayerischen Geologischen Landesamt die Böden Bayerns sukzessive bodenkundlich kartiert und im Maßstab 1:25 000 digital erfaßt (vgl. DREXLER et al. 2000). Darauf aufbauend werden Bodenübersichtskarten im Maßstab 1:200 000 (BÜK 200) generalisiert, die Teil eines bundesweiten, bodenkundlichen, digitalen Kartenwerkes werden und gleichzeitig die Basis für das im geographischen Informationssystem (GIS) ARC/INFO entwickelte „Recherchesystem bodenkundlicher Kennwerte (REBOK)“ liefern.

Mit einigen in Bayern mittlerweile vorliegenden BÜK 200 stehen Geometrien von Legendeneinheiten für einen größeren Raum zur Verfügung, deren Flächen detaillierte Daten zu Bodeneigenschaften zugeordnet werden können. Das GIS-Werkzeug REBOK hält eine Reihe dieser Bodenkennwerte vor. Mit Hilfe von Verknüpfungsregeln und Beurteilungsschemata kann die Leistungsfähigkeit der Böden im Hinblick auf ihre Funktionen abgeleitet und flächenhaft dargestellt werden.

Um mit dem GIS ARC/INFO die Legendeneinheiten der BÜK 200 auswerten zu können, werden für jede Einheit flächentypische Profile der Flächeninhaltsdatei herangezogen (vgl. DREXLER et al. 2000: Abb. 3). Diesen können im Anschluß bodenkundliche Kennwerte wie z. B. Hintergrundwerte für Schwermetalle, nutzbare Feldkapazität (nFK) oder Tongehalt zugeordnet werden. Die im REBOK gespeicherten Kennwerte können jederzeit recherchiert, klassifiziert und in der Geometrie der Bodenübersichtskarte visualisiert und geplottet werden.

Die Entwicklung des REBOK begann 1997 mit ersten Kennwerten in der BÜK 200, Blatt Nr. CC 7934 München. Seitdem wächst der REBOK-Datenbestand kontinuierlich sowohl räumlich mit jeder Fertigstellung einer neuen Bodenübersichtskarte als auch inhaltlich mit dem Hinzukommen weiterer ausgewerteter Kennwerte.

## 2. Beschreibung der Anwendung

Das GIS-Tool REBOK wurde für ARC/INFO ab Version 7.0 entwickelt. Eine Programmierung für ArcView ist geplant.

Nach Aufruf des Programms wird der Benutzer aufgefordert, anzugeben, ob er Werte recherchieren will, die von Fachwissenschaftlern für repräsentative, flächentypische Profile berechnet wurden, oder ob er Daten sucht, die aus Meßwerten vorhandener Realprofile gemittelt wurden. Letzteres steht nur bei den Hintergrundwerten von Schwermetallen zur Verfügung. Ferner erfordert die für eine Darstellung von zahlreichen bodenkundlichen Kennwerten notwendige Information des Horizont-Bezugs vom Benutzer noch eine entsprechende Auswahl, z. B. zwischen A-Horizont / Oberboden, Unterboden und C-Horizont. Mit diesen Angaben sucht sich das Programm anschließend die entsprechenden Daten zusammen und ordnet sie den einzelnen Legendeneinheiten zu (vgl. Abb. 1).

Der Anwender wird zum Bestand an Bodenübersichtskarten geführt, der auf dem Bildschirm in den Farben der BÜK-Legende erscheint. Teilversiegelte Flächen, wie die Stadtgebiete von München, Augsburg, Passau, Ingolstadt etc., werden mit grauer Übersignatur (Schraffur) dargestellt. Nach Wahl des gewünschten Ausschnitts durch den Benutzer können dann auf der Geometrie der Bodenübersichtskarte verschiedene Bodenparameter visualisiert werden. Dazu werden die Daten klassifiziert und die Flächen der Legendeneinheiten in Anlehnung an eine zu dem jeweiligen Kennwert assoziative Farbskala eingefärbt (vgl. Abb. 2). Ferner wird auf dem Bildschirm eine für den dargestellten Bodenkennwert spezifische Legende erzeugt, welche eine Zuordnung der Farben zu den entsprechenden Wertklassen ermöglicht. Die entstandene Auswertungskarte kann jederzeit auch ausgeplottet werden und ist dann mit Maßstab, Legende und Koordinatennetz kartographisch aufbereitet.

Zusätzlich zur klassifizierten Visualisierung des gewünschten Kennwertes kann dieser auch als exaktes Berechnungsdatum eingesehen werden. Dazu wählt man eine oder mehrere interessierenden Flächen aus und erhält in einem eigenen Fenster Einblick in die zugeordneten Daten selbst. Dies bietet darüber hinaus auch die Möglichkeit, nicht nur die dargestellten Werte, sondern alle zu dieser Fläche gehörenden Kenndaten im Vergleich zu sehen.



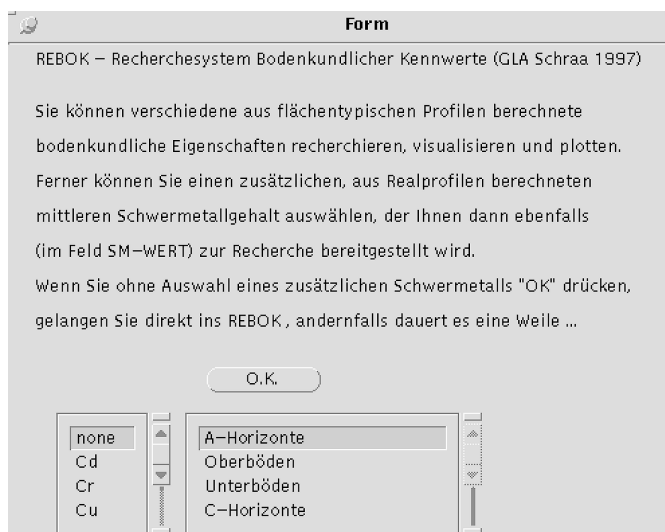


Abb. 1. Eingangsmenue des Recherchesystems bodenkundlicher Kennwerte (REBOK).

### 3. Die Kennwerte im Einzelnen

Im folgenden sollen einzelne Kennwerte vorgestellt werden, so wie sie in der Bodenkunde des Bayerischen Geologischen Landesamtes berechnet und in das REBOK eingestellt wurden. Wie schon eingangs erwähnt, werden für die einzelnen Legendeneinheiten der Bodenübersichtskarte jeweils flächentypische Profile in einer Flächeninhaltsdatei vorgehalten. Die Auswertung dieser Profile liefert die jeweils für die entsprechende Legendeneinheit charakteristischen Bodenkennwerte.

Für eine ganze Reihe von Schwermetallen wurde darüber hinaus aus den vorhandenen Meßwerten zahlreicher Einzelprofile auch ein Mittelwert für jeden Horizont einer jeden Legendeneinheit berechnet und als Bodeneigenschaft in das REBOK eingestellt. So findet man für jede Legendeneinheit zusätzlich zu den Bodeneigenschaften der flächentypischen Profile auch die nach Realprofilen berechneten, mittleren Cd-, Cr-, Cu-, Ni-, Pb-, Zn-, Hg- und As-Gehalte vor, differenziert nach A-Horizont / Oberboden, Unterboden und C-Horizont.

Beispielhaft sollen im folgenden zunächst einige nach flächentypischen Profilen berechnete Kennwerte vorgestellt werden, um dann anschließend die nach Realprofilmeßwerten gemittelten Hintergrundwerte zu behandeln.

#### Nach flächentypischen Profilen berechnete Kennwerte

##### a) Gewichteter Tongehalt

Berechnet wird der gewichtete Tongehalt (Tg, in Gew.-%) bis 10 dm Tiefe. Als Eingangsdatum dient die Bodenart je Horizont. Zur Kennwertermittlung wird das Profil bis 10 dm Tiefe in Tiefenintervalle gleicher Bodenart eingeteilt und anschließend stellt man für jedes Tiefenintervall die Schichtmächtigkeit fest. Tabellen aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung der ARBEITSGRUPPE BODEN (1994) liefern den für die jeweilige Bodenart durchschnittlichen Tongehalt und aus der Tiefe des Bodenartenwechsels wird der Tiefengewichtsfaktor abgeleitet.

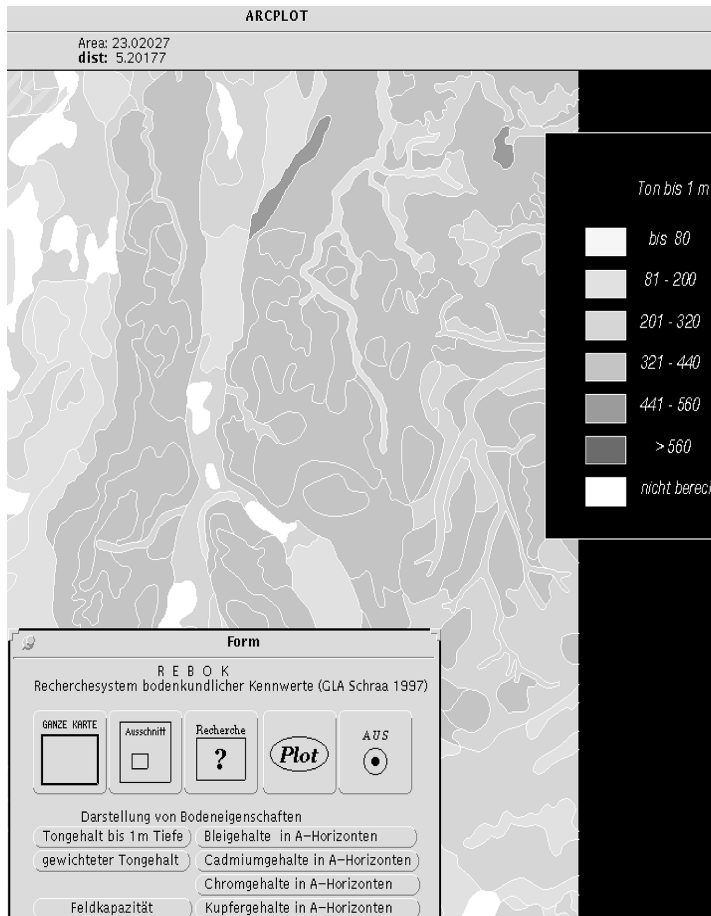


Abb. 2. Arbeitsbildschirm (Ausschnitt, im Original farbig).

(vgl. HENNINGS 1994: 109). Mit den so ermittelten Parametern werden schließlich die Tongehalte nach definierter Verknüpfungsregel (HENNINGS 1994: 110) berechnet.

Die Tg-Werte werden für alle an der Legendeinheit beteiligten, flächentypischen Profile ermittelt und mit einem Flächenanteilsfaktor (z. B. 0.05 bei „selten“, 0.4 bei „verbreitet“, 0.6 bei „überwiegend“ etc.) gewichtet.

Dieser Wert wird in die REBOK-Datenbank gestellt und dort einer entsprechenden Wertklasse der Tongehalte zugeordnet. Die Visualisierung erfolgt assoziativ, in diesem Fall über eine Braunskala.

#### b) Tongehalt bis 1 m Tiefe (vgl. Abb. 3 a)

Berechnet wird die Gesamtmenge an Ton im Boden bis 1 m Tiefe in ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Das weitere Vorgehen (Multiplikation mit Flächenanteilsfaktoren, um einen Wert pro Legendeinheit zu erhalten, Einstellung in REBOK-Datenbank, Klassifizierung, Zuordnung einer assoziativen Farbe) geschieht hier wie auch bei allen anderen Kennwerten in der unter a) geschilderten Weise.

c) Feldkapazität / nutzbare Feldkapazität

Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität werden nach ARBEITSGRUPPE BODEN (1994: Tab. 55) für jeden einzelnen an einer Legendeneinheit der BÜK 200 beteiligten Boden in Abhängigkeit von Bodenart und Lagerungsdichte ermittelt. Der Wert der Legendeneinheit ergibt sich auch hier wieder durch Verrechnung mit Flächenanteilsfaktoren.

d) Schwermetall-Hintergrundwerte in den A-Horizonten (vgl. Abb. 3 b)

Aus dem Handbuch „Die Böden Bayerns“ (SCHMIDT et al. 1992) bzw. aus Archivdaten werden bekannte Werte beprobter Einzelprofile zu Pb, Cd, Cr, Cu und Zn für den A-Horizont mittels Anteilsgewichtung verrechnet, so daß man für jede Legendeneinheit der BÜK 200 zu einem mittleren Pb-, Cd-, Cr-, Cu- und Zn-Wert gelangt, der in der Einheit [kg/ha] auf eine A-Horizont-Mächtigkeit von 10 cm bezogen wird.

#### Aus Realprofilmeßwerten gemittelte Hintergrundwerte

##### Schwermetall-Hintergrundwerte in den verschiedenen Horizonten

Die vorhandenen Meßwerte von in einer Legendeneinheit liegenden Einzelprofilen (= Realprofile) werden nach A-Horizont / Oberboden, Unterboden und C-Horizont differenziert und nach Horizontmächtigkeit gewichtet. Im REBOK wird für jeden Horizont der jeweilige Median aller betreffenden in mg/kg gemessenen Werte verwendet. Bislang wurden Cd-, Cr-, Cu-, Ni-, Pb-, Zn-, Hg- und As-Gehalte ermittelt.

## 4. Ausblick

Das Recherchesystem bodenkundlicher Kennwerte REBOK des Bayerischen Geologischen Landesamtes ist von vornherein auf die räumliche Erweiterung um jeweils fertiggestellte Bodenübersichtskarten-Blätter konzeptioniert und programmiert worden. Eines Tages soll ganz Bayern im Maßstab 1:200 000 nicht nur mit Bodenübersichtskarten, sondern auch mit verschiedensten Bodeneigenschaftskarten abgedeckt sein. Dazu gehört natürlich nicht nur die Berechnung bisher berücksichtigter Kennwerte für hinzukommende BÜK 200-Blätter, sondern auch die Aufnahme weiterer Bodeneigenschaften wie z. B. Filtervermögen, Kationenaustauschkapazität, Durchlässigkeit, Humusgehalt, Karbonatgehalt und weiterer Hintergrundwerte für organische und anorganische Schadstoffe. Daraus können dann für verschiedene Fragestellungen, wie etwa aus dem Bodenschutz, auf Abruf jederzeit und bayernweit entsprechende Bodeneigenschaften recherchiert und auf dem Computer visualisiert werden.

Als zweites wesentliches Ziel bei der Programmierung des REBOK wurde die Möglichkeit realisiert, jederzeit kartographisch aufbereitete, d. h. mit Legende, Maßstabsleiste, geographischen Koordinaten, Gauß-Krüger-Netz etc. versehene Bodeneigenschaftskarten produzieren zu können. Auch dies soll eines Tages nicht nur für den Bereich der bisher fertiggestellten Blätter, sondern bayernweit möglich sein. Darüber hinaus ist langfristig geplant, Modelle zu entwickeln, mit deren Hilfe aus den Bodeneigenschaftskarten Bewertungen von Bodenfunktionen (z. B. Lebensraum-, Filter-/Pufferfunktionen etc.) für planerische Zwecke vorgenommen werden können.

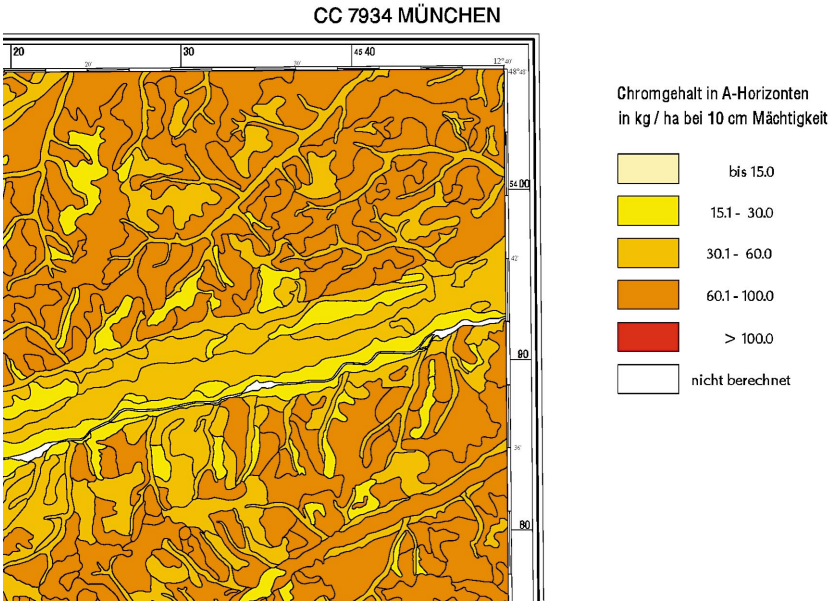
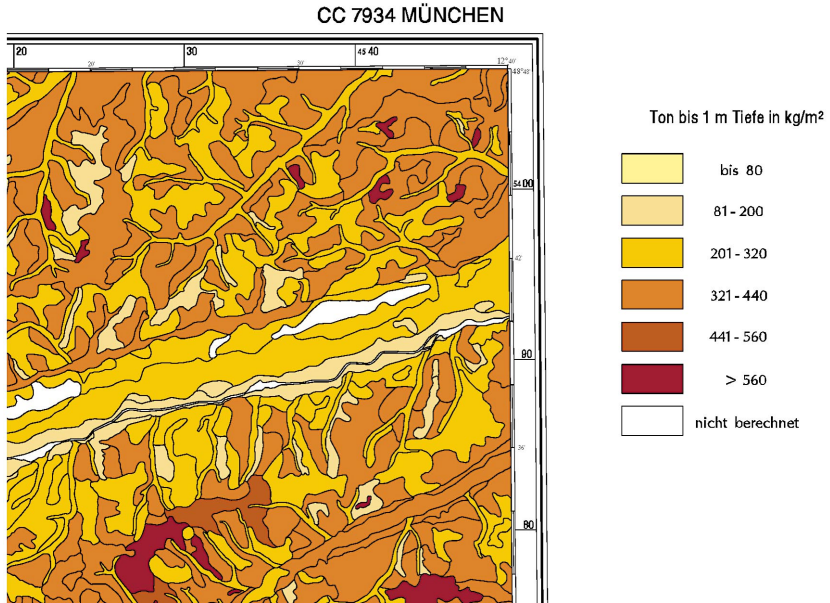


Abb. 3. Beispiele für REBOK-AusgabepLOTS (Ausschnitte, verkleinert): Abb. 3 a. Ton bis 1 m Tiefe, Abb. 3 b. Chromgehalt in A-Horizonten.

## 5. Literatur

- ARBEITSGRUPPE BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 4. Aufl.: 392 S., Hannover (Schweizerbart).
- DREXLER, O., GROTTENTHALER, W., GRUBER, H.-P., MARTIN, W. & SCHMIDT, F. (2000): Die bodenkundliche Landesaufnahme – Grundlage für Bodenschutz und Daseinsvorsorge. – *Geologica Bavarica*, **105**: 363–378, München. – [Dieser Bd.]
- HENNINGS, V. (1994): Methodendokumentation Bodenkunde – Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. – *Geol. Jb.*, **F 31**: 242 S., Hannover.
- SCHMIDT, F., BÖHM, A., HAMMERL, J., HOFMANN, B., HOLZNER, G., JOCHUM, R., KELLER, X., MAHLER, C., MARTIN, W., PETSCHL, A., PRINZ, R., SCHILLING, B., SPIES, E.-D., STIMMELMEIER, G. & WITTMANN, O. (1992): Die Böden Bayerns – Datenhandbuch für die Böden des Tertiärhügellandes, der Iller-Lech-Platte und des Donautales. – 527 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 20. 9. 1999.



## Boden-Dauerbeobachtung – ein wichtiger Teilaspekt für den Bodenschutz

Von BERND SCHILLING, GEORG HOLZNER & CHRISTOF MAHLER

Mit 5 Abbildungen und 1 Tabelle

**Schlüsselworte:** Boden-Dauerbeobachtung – Boden-Dauerbeobachtungsflächen – Bodenschutz – Bodenschutzgesetz

**Kurzfassung:** Ab den achtziger Jahren begannen viele europäische Länder mit Langzeitbeobachtungen des Bodens (Boden-Dauerbeobachtung). Das gemeinsame Ziel dieser Projekte ist die Einschätzung zukünftiger Entwicklungen in der Pedosphäre. Die Boden-Dauerbeobachtung verlangt eine spezielle Art der Beprobung. Die Gründe für diese Beprobung sind dargestellt. Weiterhin ist der aktuelle Stand der Arbeiten in Bayern aufgezeigt.

Die Ergebnisse von Wiederholungsbeprobungen lassen Veränderungen bei den Bodeneigenschaften und den Stoffgehalten erkennen. Um mehr Informationen zu Bodenprozessen und Stoffbilanzierungen zu erhalten, werden vom Bayerischen Geologischen Landesamt zusätzlich zu den 55 bestehenden Boden-Dauerbeobachtungsflächen 4 sogenannte Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen mit Meßinstrumenten zur Erfassung des Klimas, des Stoffeintrages und des Bodenwassers bestückt. Die Meßergebnisse dienen dem angewandten Bodenschutz.

### Soil monitoring – an important part of soil protection

**Keywords:** Soil monitoring – soil monitoring plots – soil protection – soil protection act

**Abstract:** Since the early eighties many European countries started soil observations over extended periods of time. The common objective of these projects is the estimation of future soil developments. Soil monitoring requests a special type of sampling. Reasons for that sampling are discussed. Furthermore the state of the art achieved in Bavaria is shown.

After two samplings the comparison of the results indicates changes of soil properties and contents. For a better understanding of soil processes and substance balances the Bavarian Geological Survey installs measuring instruments of climate, input and soil water at 4 intensive soil monitoring plots additional to the existing 55 soil monitoring plots. The comprehensive results of this work are thus an important contribution to the applied soil protection.

### Inhalt

1. Einführung .....	404
2. Boden-Dauerbeobachtung in Bayern .....	404
3. Probenahme .....	406
4. Analytik .....	407
5. Ergebnisse .....	408
6. Intensivierung der Untersuchungen .....	410

---

Anschriften der Verfasser: Dr. BERND SCHILLING, Bayerisches Geologisches Landesamt, Außenstelle Marktredwitz, Leopoldstr. 30, D-95615 Marktredwitz; GEORG HOLZNER und CHRISTOF MAHLER, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstr. 128, D-80797 München.

7. Ausblick .....	410
8. Literatur .....	411

## 1. Einführung

Unter Boden-Dauerbeobachtung bzw. Boden-Monitoring wird eine Langzeitbeobachtung des Bodens verstanden. Die Idee, den Boden immer wieder auf der selben Fläche zu beproben, um Veränderungen im Boden zu erfassen, wurde schon Mitte des 19. Jahrhunderts auf einem Versuchsgut bei Rothamsted in England geboren. Danach geriet diese Untersuchungsmethode wieder in Vergessenheit und man beschränkte sich darauf, eine momentane Zustandserfassung der Böden durchzuführen. Dies erschien vielerorts nicht ausreichend, um etwaige Entwicklungen im Verhalten der Böden gegenüber Belastungen einschätzen zu können. Daher entschlossen sich mehrere Länder bzw. Regionen seit Mitte der 80er Jahre, die Boden-Dauerbeobachtung verstärkt einzusetzen (SCHILLING 1999). Bayern gehörte mit Baden-Württemberg und der Schweiz (NATIONALES BODENBEOBACHTUNGNETZ NABO 1993) dabei zu den ersten. Zur Zeit verfügt ein großer Teil der europäischen Länder bzw. Regionen über Boden-Dauerbeobachtungsprogramme.

Die Zielsetzungen in den einzelnen Ländern sind zum Teil konform, zum Teil unterschiedlich. So möchten die meisten Institutionen die Boden-Dauerbeobachtung zur Überwachung des Nährstoffhaushaltes und der Bodenbelastung nutzen. Kärnten zum Beispiel beobachtet aber auch die Veränderungen des Bodens auf Skipisten oder Spanien erforscht die Wüstenbildung mit Hilfe der Boden-Dauerbeobachtung.

## 2. Boden-Dauerbeobachtung in Bayern

In Bayern stehen vor allem folgende Ziele im Mittelpunkt:

- Erfassung der auf Stoffeintrag aus der Atmosphäre zurückzuführenden Veränderungen im Boden
- Beobachtung der Auswirkungen des Düngemittleinsatzes
- Überwachung von Erosionsereignissen
- Einrichtung als Eichstandorte für andere Bodenuntersuchungsprojekte

Bayern ist das deutsche Bundesland mit der größten zu bearbeitenden Fläche. Wegen der großen Fläche (ca. 70 000 qkm) entschlossen sich die beiden verantwortlichen Ministerien (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen und Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten), die Aufgabe der Dauerbeobachtung bayerischer Böden auf mehrere Institutionen aufzuteilen. Dies führte zu einer nutzungsspezifisch begründeten Trennung in landwirtschaftliche und forstliche Boden-Dauerbeobachtungsstandorte sowie in sogenannte Boden-Dauerbeobachtungs-Sonderstandorte. Die landwirtschaftlichen Standorte stehen unter der Verantwortung der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), die forstlichen unter der der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) und die Sonderstandorte unter der des Bayerischen Geologischen Landesamtes (GLA, s. Abb. 1). Letztere sind Belastungs-, Naturschutz- und Wasserschutzgebiete. Die Beobachtungsstandorte sind über ganz Bayern verteilt, so daß alle Bodenlandschaften repräsentiert werden.



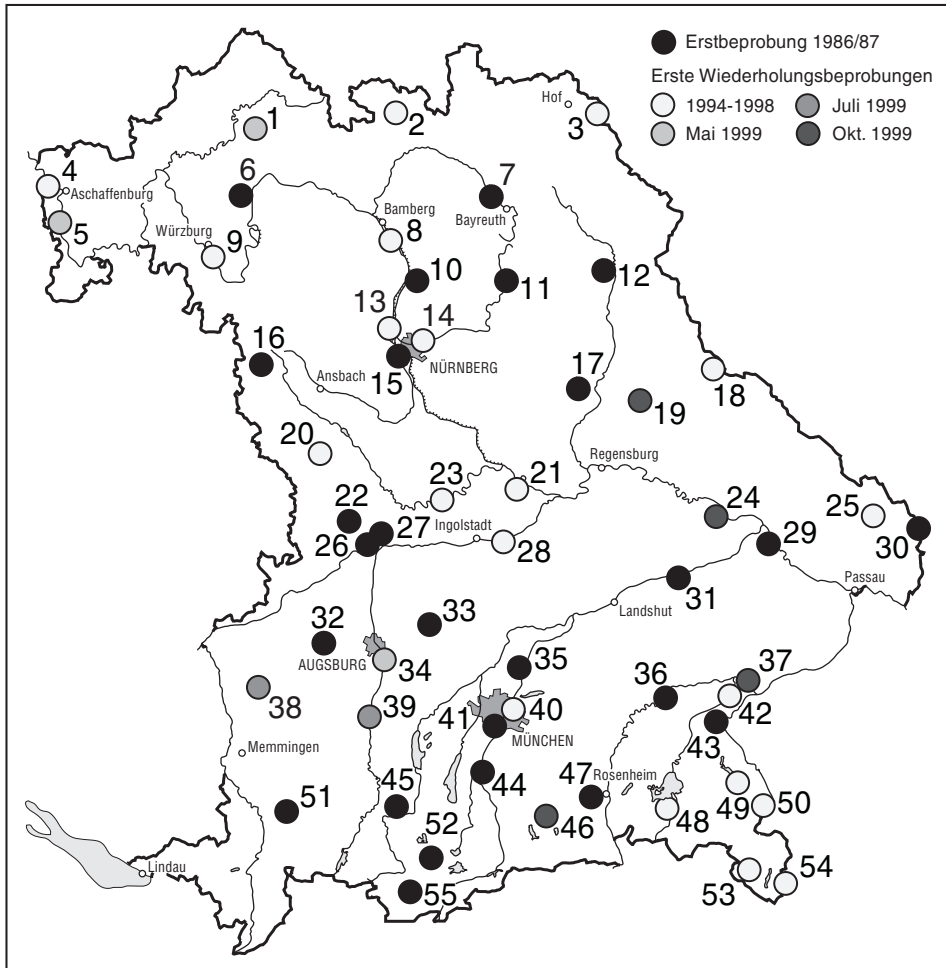


Abb. 1. Lage, Nummern und Beprobungsstand der Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Bayerischen Geologischen Landesamtes.

Da der Boden in seinen Eigenschaften kleinräumig variiert, reicht es für die o. g. Zielsetzungen nicht aus, auf einem Standort nur einen Punkt zu beproben. Nur über die Untersuchung definierter Flächen und über eine flächenbezogene Probeentnahme können die Inhomogenitäten der Bodeneigenschaften und des Stoffbestandes erfasst werden. Deshalb wurden Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) eingerichtet.

Der Boden ist ein Medium, das in Abhängigkeit von seinen Eigenschaften Schadstoffe mehr oder weniger abpuffern kann. Sind seine natürlichen Funktionen durch äußere Einflüsse gestört, so ist eine Regenerierung nur unter sehr großem Aufwand oder überhaupt nicht mehr möglich. Daher ist es von großer Relevanz, vorsorgenden Bodenschutz zu betreiben. Dies bedeutet für die Boden-Dauerbeobachtung, daß Veränderungen möglichst schnell erfassbar sein müssen. Voraussetzung hierfür ist ein homogener Aufbau der Untersuchungsflächen. Denn je geringer die Variabilität auf der Fläche ist, umso eher können Veränderungen erkannt werden.

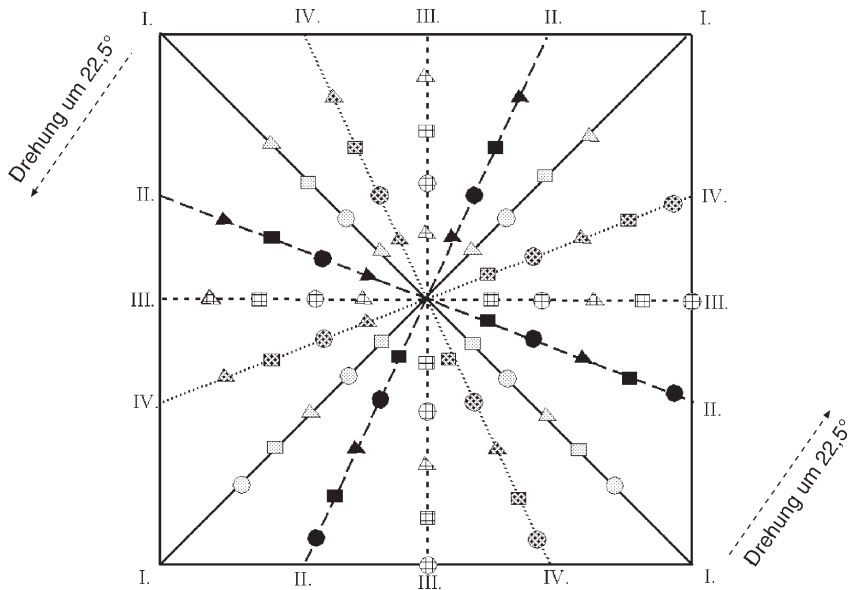


Abb. 2. Probenahmeschema für die Erstuntersuchung (I.) und drei zeitlich versetzte Wiederholungsuntersuchungen (II.–IV.).

### 3. Probenahme

In Deutschland wurde eine Anleitung zur Einrichtung und Beprobung von BDF erarbeitet. Entsprechend dieser Vorgaben wurden seit 1985 in Bayern 265 BDF eingerichtet, 132 von der LBP, 78 von der LWF und 55 vom GLA. Bei der Probenahme unterscheiden sich die Vorgehensweisen zwischen der LBP und den beiden anderen Behörden.

Die Beprobung der Flächen erfolgt generell bis 30 cm Bodentiefe. Jede Probenahme führt zur Störung des Bodens an der Entnahmestelle. Um eine Wiederbeprobung der gestörten Stelle zu verhindern, wurde ein System entwickelt, das diesen Störfaktor ausschließt und dennoch eine Erfassung der Variabilität der Bodeneigenschaften gewährleistet. Es werden ca. 1000 m<sup>2</sup> große, quadratische Flächen eingerichtet, die entlang sich rechtwinklig kreuzender Linien an 18 Stellen horizontbezogen bis 30 cm Bodentiefe beprobt werden (Abb. 2). Damit die Probenanzahl die Laborkapazitäten nicht überfordert, werden jeweils sechs Einzelproben, in Abbildung 2 mit gleichem Symbol gekennzeichnet, zu einer Mischprobe vereinigt. Nach der Erstuntersuchung (I. in Abb. 2) werden die Proben für die Wiederholungsuntersuchungen (II.–IV. in Abb. 2) nach dem gleichen System auf um jeweils 22,5° gegen den Uhrzeigersinn gedrehten Linien entnommen. Diesem Schema folgend wird auch die Probenahme auf den BDF der LWF durchgeführt. Auf den ackerbaulich genutzten Flächen der LBP werden die Entnahmestellen nach dem Zufallsprinzip festgelegt, weil bei der Bearbeitung des Bodens bis in 30 cm Tiefe ohnehin eine Durchmischung stattfindet (Pflugtiefe). Um den Bezug zum geologischen Ausgangsgestein herzustellen, erfolgt am Rand der Beprobungsfläche bei Erstuntersuchung eine Aufgrabung bis ins Ausgangsgestein, die auf alle in der Tabelle 1 angegebenen Parameter untersucht wird.

#### 4. Analytik

Als Untersuchungsziel steht beim GLA die Erfassung von Stoffeinträgen aus der Atmosphäre im Vordergrund. Um ganzheitliche Aussagen über den Boden machen zu können, werden bodenphysikalische Parameter sowie Nähr- und Schadstoffgehalte analysiert (s. Tab. 1). Die Untersuchungen sollen über mehrere Jahrzehnte fortgesetzt werden. Die Auswirkungen von Düngereinsatz und Erosionsereignissen erforscht in erster Linie die LBP.

Nicht nur die Homogenität der Flächen ist für das BDF-Projekt von großer Bedeutung, sondern auch Kontinuität und Präzision bei der Analytik. Am GLA erfolgt ein Großteil der Analytik in den hauseigenen Laboratorien. Organische Problemstoffe (außer Dioxine) werden erst seit 1994, an der Außenstelle des GLA, untersucht. Dioxine (ab 1994) und radioaktive Elemente analysiert das Bayerische Landesamt für Umweltschutz.

*Tabelle 1: Analyseverfahren und Parameterliste der BDF-Untersuchungen*

Analyseverfahren	Parameter
DIN 19 683 Teil 1+2: Korngrößenanalyse – Pipettmethode kombiniert mit Siebanalyse; Dispergierung mit Natriumpyrophosphat	Korngrößen
DIN 19 683 Teil 5: Porenraumverteilung – mittels Druckmembranapparat	Luftkapazität (Lk), nutzbare Feldkapazität (nFk), Feldkapazität (Fk), Gesamtporenvolumen (GPV)
DIN 19 684 Teil 1: Messung mit Gaselektrode in 0,01 m CaCl <sub>2</sub>	pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )
Trockene Verbrennung mit anschließender gaschromatographischer Trennung und Wärmeleitfähigkeitsmessung der Gase CO <sub>2</sub> und N <sub>2</sub> ; Messung mit CNS-Analysator	C, N, CO <sub>3</sub>
DIN 19684 – Teil 6: Extraktion mit Natriumoxalat; Messung mit Ionenchromatograph	Oxalatlösliche Elemente (Fe, Al, Mn, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn)
Extraktion mit Natriumdithionit (vgl. DIN 19684); Messung mit Ionenchromatograph	Dithionitlösliche Elemente: Fe, Al, Mn
MEIWES et al. (1984): Perkolations mit NH <sub>4</sub> Cl; Messung mit Ionenchromatograph	Effektive Austauschkapazität (Ca, K, Mg, Na, Al, H, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn)
Gesamtaufschluß mit HClO <sub>4</sub> -HF-HNO <sub>3</sub> -Druckaufschluß (RUPPERT 1987)	Haupt- u. Spurenelemente: Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, Y, Zn
Gamma-Spektrometrie LfU*: Messung mit Reinert-Germanium-Detektor	Radioaktive Isotope: Ag 110, Ce 144, Cs 134, Cs 137, K 40, Nb 95, Ru 106, Sb 125
VDLUFA** Methodenhandbuch – Band VII Außenstelle GLA: Messung mit Gaschromatographen	Organische Schadstoffe: PHE, ANT, FLA, PYR, BAA, STP-HCH, SBF, BEP, BAP, PEYL, IND, DBAHA, BGHIP, PECB, HCB, Alpha-HCH, Beta-HCH, Gamma-HCH, Delta-HCH, PCB
VDLUFA** Methodenhandbuch – Band VII LfU*: Messung mit Gaschromatographen	Dioxine u. Furane

\*LfU: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

\*\*VDLUFA: Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

## 5. Ergebnisse

Die Erstuntersuchungen im Rahmen des 1985 begonnen BDF-Projektes wurden von den beteiligten Behörden abgeschlossen (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU 1997; SCHUBERT et al. 1995; SCHILLING 1994). Mit den Ergebnissen aus den Erstuntersuchungen wurden statistische Berechnungen durchgeführt, die die gewählte Vorgehensweise als geeignet bestätigten. Zu Beginn des BDF-Projektes wurden 5 Jahre als Beprobungsintervall vorgeschlagen. Die Ergebnisse der Erstuntersuchungen zeigten aber, daß bei den einzelnen Parameter sehr unterschiedliche Zeiträume nötig sein werden, um Veränderungen belegen zu können. So können sich bestimmte organische Schadstoffgehalte schon innerhalb eines Jahres nachweislich ändern, während mit der Änderung der Gehalte mancher Schwermetalle erst nach mehreren hundert Jahren zu rechnen ist. Die unterschiedlichen Zeiträume erklären sich zum einem aus der unterschiedlichen Variabilität, mit der die einzelnen Stoffe auf der Fläche vorkommen (s. Abb. 3), zum anderen aus den unterschiedlichen Immissionsraten. Um eine möglichst große Anzahl an sich verändernden Parametern erfassen zu können, wurden die ersten Wiederholungsuntersuchungen des GLA erst nach 8 Jahren (ab 1994) durchgeführt.

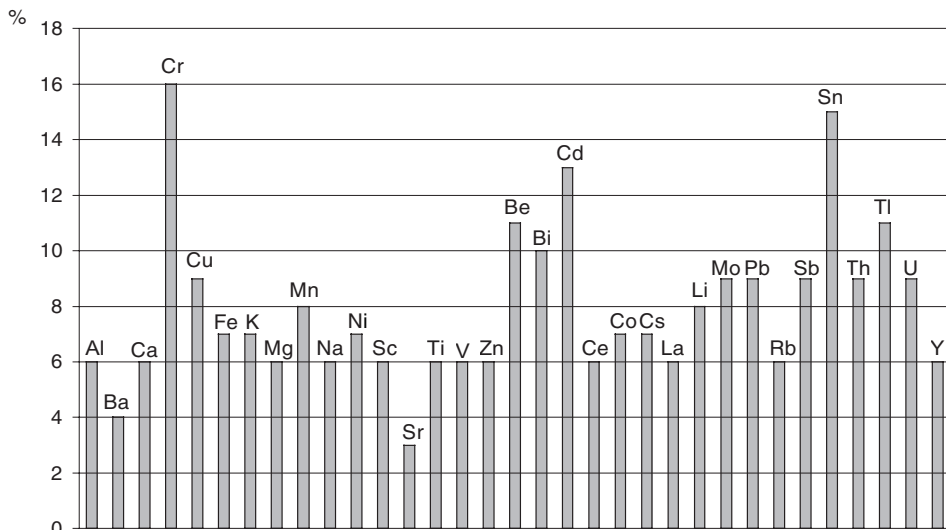


Abb. 3. Flächenvariabilität von Elementen aus dem Gesamtaufschluß (RUPPERT 1987) – durchschnittliche Abweichungen der Einzelmesswerte vom arithmetischen Mittelwert errechnet aus den Elementgehalten aller BDF (Angaben in %).

Der Vergleich zwischen den Erstbeprobungen und den Wiederholungsbeprobungen zeigt, daß die nachweisbaren Veränderungen sehr unterschiedlich sind (SCHILLING 1997). Obwohl sich über 50 % der untersuchten Parameter signifikant veränderten, sind einheitliche Trends nur in Einzelfällen erkennbar. Die Acidität der Flächen blieb auf den untersuchten Flächen unverändert oder nahm sogar etwas ab.

Die Bleigehalte in den humosen Auflagen und im Oberboden verringerten sich, vermutlich als Reaktion auf den geringeren Bleiausstoß im Kraftverkehr. Das hochtoxische Spurenelement Cadmium hingegen nahm zwar geringfügig, aber signifikant zu. Auffallend ist hierbei die Zunahme im humusfreien Mineralboden saurer Böden (Abb. 4). Wahrscheinlich ist die Pufferkapazität der humosen Auflagen und Oberbodenhorizonte nicht mehr in der Lage, das mobile Element Cadmium vollständig auszufiltern.

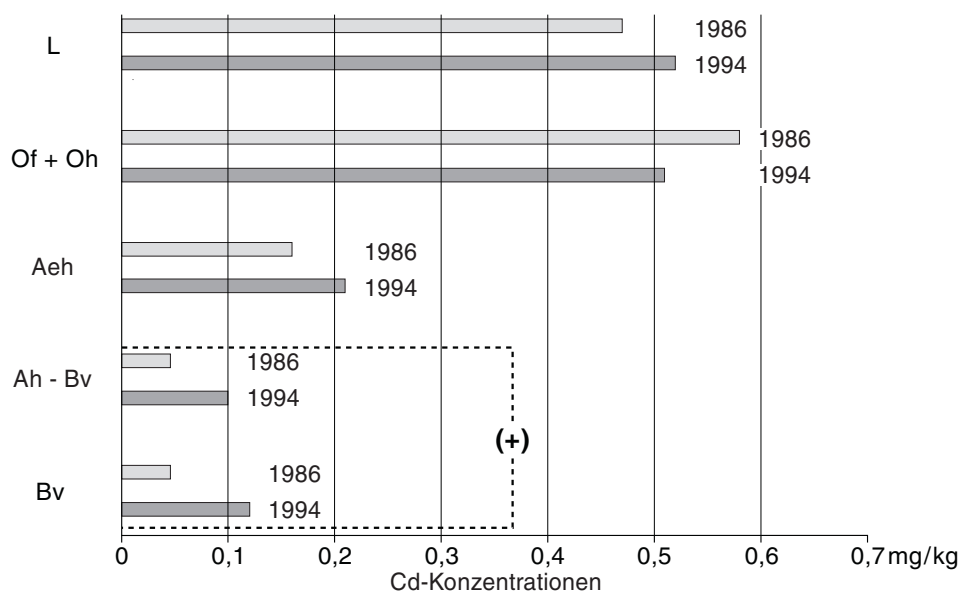


Abb. 4. Cadmiumgehalte aus dem Gesamtaufschluß (RUPPERT 1987) in den Jahren 1986 und 1994 – Signifikante Zunahme (+) im Ah-Bv- und Bv-Horizont (Angaben in mg/kg).

Die weitaus größere Anzahl der Parameter veränderte sich in Abhängigkeit vom Standort. So erhöhten sich auf einigen Flächen die Gehalte bestimmter Stoffe, während sie auf anderen Flächen gleich blieben oder sich sogar verringerten.

Die erste Wiederholungsbeprobung wird im Jahre 2002 auf den Flächen des GLA abgeschlossen sein. Zwischenzeitlich werden bestimmte Flächen zum dritten Mal beprobt.

Außerhalb der BDF wird vom GLA seit 1990 auf 8 Flächen im SE und S Bayerns ein Radionuklidmeßnetz betreut. Das Beprobungsintervall ist auf ein Jahr festgelegt. Die Beprobung wird entlang eines Rasters auf einer 100 × 100 m großen Fläche durchgeführt. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt auf den Radionukliden aus dem Tschernobyl-Fallout.

Mit diesem Untersuchungsprogramm kann nicht nur die Abnahme der Radioaktivitäten im Boden verfolgt werden, sondern auch ihre Verlagerung in tieferliegende Bodenhorizonte (Abb. 5). Inhomogenitäten des Bodens, ungleichmäßige Ablagerung der Nuklide, Auswaschung, Meßungenauigkeiten u. s. w. lassen die Meßwerte nicht kontinuierlich abnehmen, wie es nach dem Zerfallsgesetz zu erwarten wäre. Die Abnahme der Nuklidanzahl des langlebigen Cs 137 ist dennoch zu erkennen.

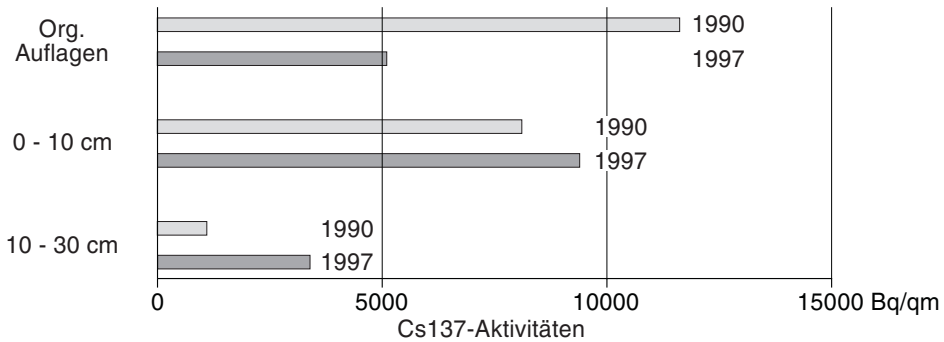


Abb. 5. Darstellung der Tiefenverlagerung von Cs 137 vom Jahr 1990 bis zum Jahr 1997 am Beispiel der BDF Markt Schwaben (Angaben in Bq/m<sup>2</sup>).

## 6. Intensivierung der Untersuchungen

Das Ziel der Untersuchungen, Veränderungen des Bodenzustandes zu erfassen, kann mit der gewählten Vorgehensweise erreicht werden. Es fehlen jedoch Erkenntnisse zum Stoffein- und -austausch sowie zu Stofffrachten, die über das Bodenwasser transportiert werden. Deshalb wird auf einigen BDF ein Intensiv-Meßprogramm begonnen. Außer den üblichen Bodenuntersuchungen, wie sie auf den Standard-BDF (Basis-BDF) erfolgen, werden auf diesen Flächen auch Daten zum Klima, zur Bodenwasserspannung und zur Bodenwassermenge erhoben. Das aufgefangene Regenwasser, das Bodenwasser und das vom Standort beeinflusste Grundwasser werden auf bodenkundliche Standardparameter (pH-Wert, C/N-Wert u. s. w) und auf Problemstoffanteile untersucht (Schwermetalle und organische Schadstoffe). Diese Messungen sollen Stoffbilanzierungen ermöglichen. Weiterhin werden bodenbiologische Kenndaten (Bodenmikrobiologie und -zoologie) bestimmt. Aus der Zusammenschau dieser Grundlagen werden Aussagen über den Zustand des vorhandenen Ökosystems erwartet. Geplant sind bislang 4 Intensiv-BDF, die in belasteten Gebieten eingerichtet werden, um bereits bestehende Meßprogramme, die von der LWF und vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) an naturnahen Standorten begonnen wurden, zu ergänzen. Um eine bundesweit einheitliche Vorgehensweise bei der Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen zu gewährleisten, werden von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden-Dauerbeobachtungsflächen Richtlinien erstellt und laufend aktualisiert.

## 7. Ausblick

Das GLA führt mit dem Projekt Boden-Dauerbeobachtungsflächen ein geowissenschaftliches Forschungsvorhaben durch, das die wichtige Variable Zeit berücksichtigt. Damit werden Prognosen über umweltrelevante Entwicklungen möglich. Darüberhinaus stellen die BDF aufgrund des hohen Meßstandards Eichstandorte für andere Forschungsprojekte dar. In der Synthese aus der quantitativen Erfassung von Bodenveränderungen (Basis-BDF) und der Feststellung von Einflußfaktoren, die diese Veränderungen hervorrufen können, sowie der dabei ablaufenden Prozesse (Intensiv-BDF) ist die Boden-Dauerbeobachtung ein ideales Werkzeug zur langfristigen Überwachung der Veränderungen von Bodenzuständen und -funktionen. Die Boden-Dauerbeobachtung bietet somit ein geeignetes Instrument, um die im







## Gehalte umweltrelevanter Spurenelemente in Gesteinen der Region 10 (Ingolstadt)

Von ELMAR LINHARDT

Mit 6 Abbildungen und 5 Tabellen

**Schlüsselworte:** Spurenelemente – Lithogengehalte – Geochemischer Atlas von Bayern – Region Ingolstadt

**Kurzfassung:** Die flächendeckende Kenntnis der Lithogengehalte umweltrelevanter Spurenelemente ist Voraussetzung für die Festlegung von Bereichen hoher natürlicher Grundbelastungen. Dies unterstützt bei der Abgrenzung von anthropogenen Zusatzbelastungen, läßt Veränderungen der Umwelt erkennen und bewerten, und gestattet, belastbare Richt- und Grenzwerte in rechtlichen Regelungen abzuleiten.

Im Rahmen des Projektes „Geogene Grundgehalte der Gesteine Bayerns (Geochemischer Atlas)“ wurden für die Region 10 (Ingolstadt) die Probenahme und Analytik koordiniert durchgeführt und der so erhaltene Datenbestand (Gesamtgehalte der Spurenelemente) für eine erste statistische Bearbeitung aufbereitet. Für die Auswertung der Lithogengehalte nach regionalen und überregionalen Gesichtspunkten, auch im Hinblick auf einen weltweiten Vergleich, wurden die Gesteine schließlich nach geochemischen Hauptgruppen, nach Lithofazies bzw. Lithotypen gruppiert.

### Concentrations of trace elements with environmental impact on rocks of the district Ingolstadt, Bavaria

**Keywords:** Lithogenic concentrations – trace elements – geochemical atlas of Bavaria – district Ingolstadt

**Abstract:** The areal knowledge of lithogenic concentrations of trace elements with environmental impact in various rocks is a prerequisite for recognizing natural „hot spots“, for identifying and monitoring changes in the environment, for calculating anthropogenic influences and, moreover, for determining reliable standard values and limits for legal regulations.

As part of the geochemical atlas of Bavaria a combined sampling and analytical work (total amounts on trace elements by multielemental techniques) was carried out on rocks of the district Ingolstadt. For reasons of the statistical evaluation of lithogenic concentrations and their comparison with concentrations worldwide the rocks were grouped in geochemical classes.

### Inhalt

1. Einleitung .....	414
2. Zielsetzung .....	414
3. Durchführung .....	416
4. Gliederungsprinzipien der Gesteine .....	417
5. Lithogengehalte in der Planungsregion Ingolstadt – Auswertung nach Lithofazies .....	417

6. Literatur .....	422
7. Anhang .....	423

## 1. Einleitung

Mit dem Inkrafttreten der Bundes- und Landes-Bodenschutzgesetze sowie der Bundes-Bodenschutzverordnung im Jahr 1999 liegen Grundlagen auch zum vorsorgenden Bodenschutz vor. Einen Bestandteil stellen die Definitionen von Bodenwerten dar, „bei deren Überschreitung unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, daß die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht (Vorsorgewerte)“ (BBodSchG, § 8, Abs. 2, Nr. 1). Abgeleitet aus dem Gesetzestext, wonach „eine schädliche Bodenveränderung (...) nicht bei Böden mit naturbedingt erhöhten Gehalten an Schadstoffen allein auf Grund dieser Gehalte (besteht), soweit diese Stoffe nicht durch Einwirkung auf den Boden in erheblichem Umfang freigesetzt wurden oder werden ...“ (BBodSchG, § 4, Abs. 8) und der Tatsache, daß die geochemische Zusammensetzung des Bodenausgangsgesteins den wesentlichsten Faktor der Elementgehalte in den Böden darstellt, ist die Kenntnis der natürlichen, gesteinsbürtigen (lithogenen) Gehalte anorganischer Schadstoffe von entscheidender Bedeutung.

Die vorliegende Datenkompilation zeigt das Konzept zur Erarbeitung eines geochemischen Atlases der Gesteine von Bayern auf. Sie präsentiert die erste, noch unvollständige Datenauswertung anorganischer, umweltrelevanter Spurenelemente in einem regionalen Ausschnitt von Bayern (Region 10, Ingolstadt, s. Abb. 1). Nach Abschluß der landesweiten Erhebung und Analytik soll eine Bewertungsgrundlage für Fragestellungen in den Bereichen Geologie bis Geochemie vorliegen, die Auskunft gibt über die natürlichen, lithogenen Gehalte anorganischer Schadelemente in oberflächennahen Gesteinen Bayerns.

## 2. Zielsetzung

Die bisher durchgeführte bodenkundliche bzw. geologische Landesaufnahme wurde durch die Geochemie in erster Linie bei der Lösung wissenschaftlicher Detailprobleme unterstützt. Mit den Schadensfällen im Umfeld von Deponien bzw. mit der Waldschadensdiskussion wuchs im Verlauf der letzten Jahre die Erkenntnis, daß die Beurteilung von Umweltschäden nur über die flächendeckende Kenntnis der geochemischen Zusammensetzung der Substrate erfolgen kann. Daher sollen – ähnlich den Hintergrundwerten bei Böden – an repräsentativen Locker- und Festgesteinen die Gehalte anorganischer Elemente ermittelt, zusammengefaßt und als Lithogehalte sowohl in Tabellenform als auch in Übersichtskarten in Form eines geochemischen Atlases von Bayern dargestellt werden. Mittel für ein diesbezügliches F&E-Projekt „Geogene Grundgehalte der Gesteine Bayerns“ wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (zunächst für zwei Jahre) bereitgestellt. Generell soll sukzessive landesweit eine Analytik der anorganischen Elementgehalte (Gesamtgehalte) oberflächennaher Gesteine erfolgen. Die so erhaltenen Daten werden anschließend für regionale sowie überregionale Übersichten nach geochemisch-petrographisch-lithologischen Merkmalen (geochemische Hauptgruppen bzw. Lithofazies und Lithotypen) gruppiert und statistisch ausgewertet.



Abb. 1. Lage der Region 10 (Ingolstadt) mit ihren politischen Grenzen innerhalb Bayerns.

Dieses Ziel kann nicht in kurzer Zeit erreicht werden, setzt es doch die wichtige geologische Grundlagenarbeit, eine Vielzahl von petrographischen und geochemischen Untersuchungen sowie die Zusammenfassung und wissenschaftliche Auswertung der Datenbestände voraus. Wegen der Größe der Aufgabe ist ein sukzessives Vorgehen notwendig. Als Pilotversuch zum später bayernweiten Vorgehen dient deswegen das Projekt Region 10 (Ingolstadt). Geeignetes Probenmaterial wird parallel zur geologisch geowissenschaftlichen Bearbeitung des Gebietes entnommen und analysiert. Um die gefundenen gesteinsbezogenen Elementspannweiten der „bayerischen“ Gesteine mit solchen „weltweit“ vergleichen zu können, ist hierfür die Einführung geeigneter Klassifizierungen notwendig. Die Unterteilung nach „Geochemischen Hauptgruppen“ bzw. „Geochemischen Lithofazies und Lithotypen“ gestattet eine einfache, aber gute Gliederung und ermöglicht den Vergleich mit Elementgehalten außerhalb Bayerns. In weiteren Schritten sollen über die Region 10 hinaus die ausgewiesenen geochemischen Gruppen nach lokalen / regionalen Kriterien zusammengefaßt und in entsprechenden Karten dargestellt werden (Flächendarstellung).

Nach Abschluß der bayernweiten Arbeiten zur geochemischen Charakterisierung des Untergrundes können Beiträge zu nachstehenden Fragestellungen geliefert werden:

- geochemisch-petrographische Grundcharakterisierung des Gesteinsuntergrundes in Bayern
- Erkennen von Bereichen hoher lithogener bzw. geogener Grundbelastungen
- Abgrenzung von anthropogenen Zusatzbelastungen
- Erkennen und Bewerten von Veränderungen der Umwelt

### 3. Durchführung

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde zunächst in der Region 10 (Ingolstadt) als Schwerpunkt eine „Durchforschung“ des lithogenen Stoffbestandes aller wichtigen, d. h. flächenrelevanten Gesteinstypen durchgeführt. Parallel zu den laufenden Kartierungsarbeiten sowie lagerstättenkundlichen Bohrprogrammen erfolgte vor Ort eine intensive Beprobung. Dabei wurde anfänglich versucht, möglichst viele Proben flächenrepräsentativer, weitflächig aushaltender, möglichst oberflächennaher und anthropogen unbeeinflusste Vertreter von Gesteinseinheiten einzubeziehen.

Erstrebenswert ist im weiteren Verlauf der landesweiten Bearbeitung eine Einengung der jeweiligen Probenzahlen pro Auswerteeinheit (Großlandschaft, Lithofazies, Kartiereinheit) auf eine repräsentative Auswahl von Proben, abhängig von der Fläche der jeweiligen – stratigraphisch gut dokumentierten – Kartiereinheiten. Diese wenigen, aber typischen Proben sollten dann sowohl die mittlere lithofazielle bzw. petrographische Ausbildung als auch die möglichen „Endglieder“ (z. B. Muschelkalk als randnahe, sandige Ausbildung oder als karbonatische Entwicklung) besser und effektiver beschreiben helfen.

Probenahme, Präparation, Aufbereitung, Analytik sowie Maßnahmen zur Qualitätssicherung und -kontrolle erfolgen entsprechend Richtlinien des Bayerischen Geologischen Landesamtes in Form hausinterner Arbeitsanweisungen sowie Methodenbeschreibungen (z. T. in LINHARDT & DITTRICH 1999 a, b, c). Probenmengen (Gesamtproben) bewegen sich je nach Körnigkeit und/oder Homogenität zwischen 0,5 und 10 kg. Nach Erfassung werden die eingehenden Proben der Analytik (u. a. Tonmineralogie, Schwerminerale) zugeführt, auf jeden Fall aber mittels Multielementanalytik (RFA, ICP-OES/-MS) untersucht. Die Klassifizierung der vorhandenen Datensätze beruht auf der petrographischen Ansprache und wird mittels „geochemischer Plausibilitäten“ überprüft. Gehalte von CaO sowie von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> als Karbonat- bzw. Tonkomponente werden hierzu als limitierende Werte gemäß FÜCHTBAUER (1988) verwendet, um zwischen Ton-, Mergel- und Karbonatgesteinen zu differenzieren. Für die statistische Auswertung werden die Analysendaten lithologischen und geochemischen Gruppen zugeordnet, die im folgenden Kapitel näher beschrieben werden. Die Charakterisierung lithogener Grundgehalte und deren Verteilungen basiert auf den Spannweiten (Minimal- und Maximalwerte), dem 50 %-Perzentilwert (Median), dem 90 %- sowie dem 97,5 %-Perzentilwert. Nach SACHS (1969) wird der 97,5 %-Perzentilwert als Schwellenwert im geowissenschaftlichen Sinne definiert, da zur Definition des Normalbereiches eine Orientierung am Zwei-Sigma-Bereich (Mittelwert  $\pm$  2-fache Standardabweichung) am zweckmäßigsten ist. Der Schwellenwert im geowissenschaftlichen Sinne gibt dann die Obergrenze der natürlichen Elementschwankungen in geologischen Matrices an (MEDERER et al. 1998). Um den Vergleich mit bodenkundlichen Hintergrundwerten zu ermöglichen, wird auch der 90 %-Perzentilwert in den Tabellen mitgeführt. Da insbesondere bei kleinem Stichprobenumfang und hohen Gehalten der Schluß von der Stichprobe auf die Gesamtpopulation äußerst problematisch ist, erfolgte eine Angabe des 97,5 %-Perzentils erst dann, wenn die entsprechende Gruppe 50 und mehr Proben umfaßte.

#### 4. Gliederungsprinzipien der Gesteine

Die Auswertung bzw. Regionalisierung der Datenbestände bedingt eine Verknüpfung unterschiedlicher Gliederungsparameter (Naturraum, geologische Großlandschaft, Petrographie, Lithofazies, Stratigraphie), um sowohl eine differenzierte bzw. differenzierbare als auch eine verallgemeinernde Aussage nach geochemischen Gesichtspunkten zu ermöglichen. Grundlage dieser Arbeit ist eine naturräumliche und geologisch orientierte Landschaftsgliederung in Form von Großlandschaften, die u. a. auf den tektonischen, stratigraphischen und petrographischen Gegebenheiten Bayerns aufsetzt und Häufungsgebiete oder bestimmte Gesteinsassoziationen (Lithofazies bzw. Lithofazies-Gruppen) beschreibt. Tabelle 1 (s. Kap. 7) enthält die ausgewiesenen Großlandschaften mit entsprechenden Lithofazies-Gruppen.

Die weitere Untergliederung der Gesteine erfolgt für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse (Region 10, bayernweit) nach geochemischen Hauptgruppen (GH), nach Lithofazies (LF), Lithotypen (LT) sowie nach ihrer stratigraphischen Position. Mit diesem Gliederungsschema wird so zum einen die kleinräumige Regionalisierung der Daten bis zum jeweiligen Lithotyp eines Faziesbereiches, zugeordnet zu einer Großlandschaft, ermöglicht. Zum anderen können über die Grobgliederung der Gesteine nach übergeordneten Kriterien (geochemische Hauptgruppen) auch verallgemeinernde Aussagen erzielt werden, die den Vergleich mit Elementgehalten weltweit gestatten (s. Tab. 2, 3 in Kap. 7).

#### 5. Lithogehalte in der Planungsregion Ingolstadt – Auswertung nach Lithofazies

Das Gebiet hat Anteil an den Großlandschaften Tertiärhügelland und Fränkische Alb (Tab. 1 in Kap. 7, Abb. 2). Als geochemische Hauptgruppen (s. Tab. 2 in Kap. 7) treten im wesentlichen Pelite, Psammite, Psephite sowie karbonatisch-sulfatische Gesteine auf (GH 4, 5, 6 und 7). Lithofaziell beinhaltet sind die Gruppen 8, 9, 11, 13, 15, 21, 22, 27, 28 sowie 29 mit den jeweiligen Lithotypen (s. Tab. 3 in Kap. 7). Als Datenbasis standen ca. 230 Proben, untersucht bis Mitte 1999 mittels ICP-MS bzw. ICP-OES, zur Verfügung.

Zur Erzielung aussagekräftiger, möglichst großer Teil-Datenbestände wurden sowohl Proben aus benachbarten topographischen Karten 1:25 000 in die Auswertung einbezogen als auch die Einzelpopulationen vorläufig zu Lithofazies entsprechender geochemischer Hauptgruppen zusammengefaßt.

Zur Beurteilung der einzelnen Datenkollektive stehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Der Vergleich der gefundenen Werte mit den Spannweiten (Minimal- und Maximal-Werte) analysierter und publizierter Lithogehalte weltweit (WEDEPOHL 1969–1978) erlaubt eine erste Orientierung und gibt Hinweis auf mögliche Extremwerte. Dabei ist jedoch zu bedenken, daß diese weltweite Kompilation lithogener Gehalte aus über Jahrzehnte gesammelten und publizierten Datenkollektiven besteht. Sie entstanden meist durch unterschiedliche Meßverfahren in vielen Laboren weltweit und beinhalten demzufolge unterschiedliche systematische Fehler oder unterschiedliche, z. T. auch noch, nach heutigem Stand, „schlechte“ Bestimmungsgrenzen. Vielfach basieren sie zudem auf Werten ungewichteter, unrepräsentativer, nur lokal bis regional bedeutsamer Vorkommen, was den Rückschluß auf Spannweiten lithogener Konzentrationen mit weltweiter Gültigkeit stark einschränkt.

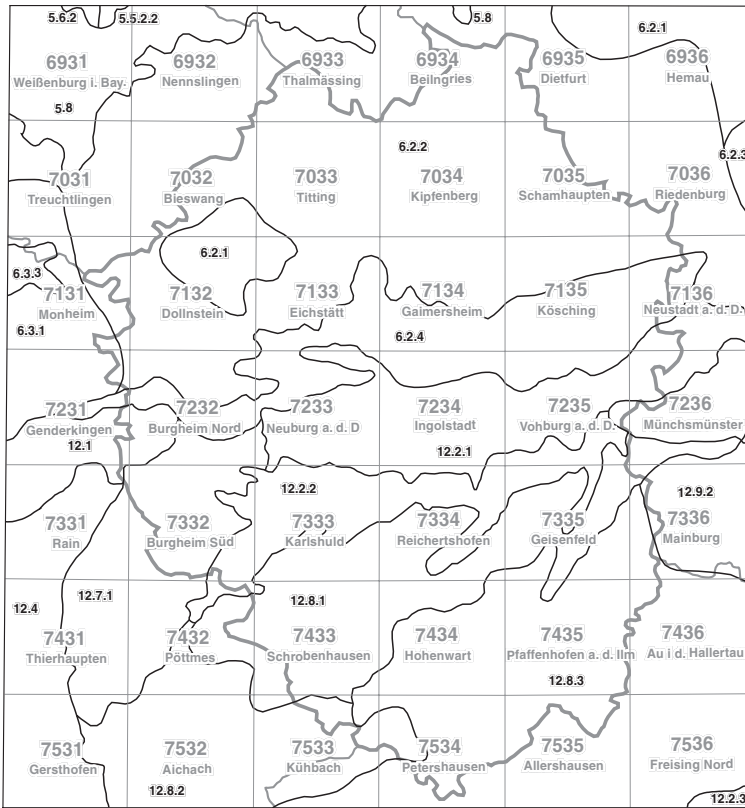


Abb. 2. Übersichtskarte der Region 10 (Ingolstadt) mit Meßtischblättern und Großlandschaften nach WITTMANN (1991). – Breite Linie: Außengrenze der Region 10; feine Linien: Landschaftsgliederung nach WITTMANN (1991), dabei alle Unterlandschaften mit Zahl 6. beginnend = „Fränkische Alb“, alle Unterlandschaften mit Zahl 12. beginnend = „Tertiärhügelland“.

Als Alternative steht der Bezug der gefundenen Werte auf sog. mittlere weltweite Gehalte („Durchschnittswerte“ nach FIEDLER & RÖSLER 1993 od. WEDEPOHL 1969–1978) offen. Da diese Gehalte z. T. auch auf stark regional geprägte Untersuchungen (FIEDLER & RÖSLER 1987) beruhen, können sie dem Anspruch weltweit repräsentativer Durchschnittsgehälter nur eingeschränkt entsprechen. Für die Bewertung der Analytik gilt das im vorangehenden Absatz Gesagte. Vor diesem Hintergrund ist die gemeinsame Betrachtung und der Vergleich von Durchschnittswerten sowie von ungewichteten Daten nach WEDEPOHL (1969–1978), die die bekannten Elementspannweiten weltweit ausdrücken, realistischer (und ehrlicher).

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die abgeleiteten Mittelwerte der vier in den Abbildungen 3–6 dargestellten Datenkollektive auf publizierte Durchschnittswerte (FIEDLER & RÖSLER 1987 u. WEDEPOHL 1969–1978) nach der Formel

$$Y = (\text{Mittelwert}_{[\text{Element, GH, Bayern}]} - \text{Mittelwert}_{[\text{Element, GH, Welt}]}) / (\text{Mittelwert}_{[\text{Element, GH, Bayern}]})$$

normiert und die so erhaltenen Werte in den nachfolgenden Diagrammen (Abb. 3–6) dargestellt.

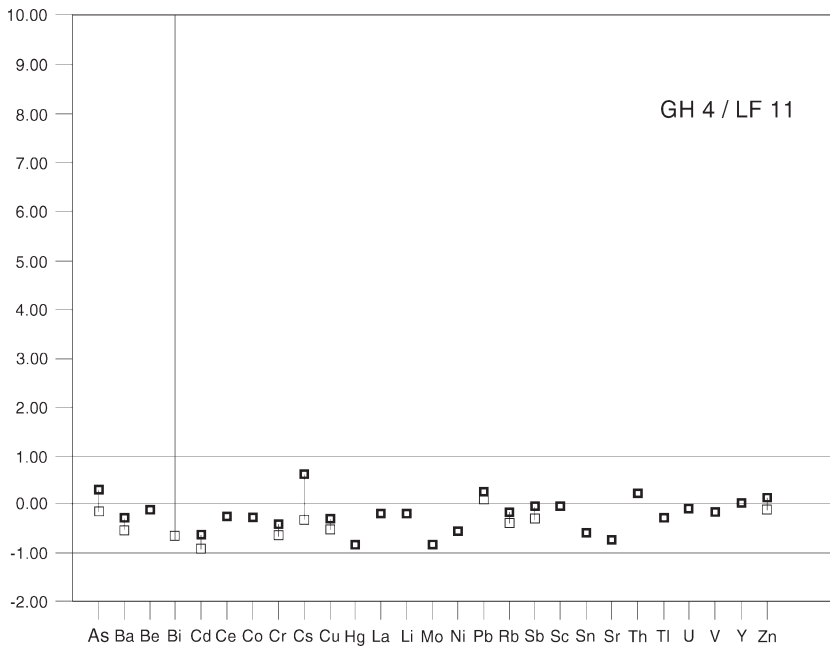


Abb. 3. Normierte Durchschnittswerte Bayern / Welt der GH 4, LF 11. – Ordinate: prozentuale Abweichung der bayerischen Mittelwerte von weltweiten Durchschnittswerten in 100 %-Schritten; Vierecksymbole: elementbezogene Abweichung des bayerischen Mittelwertes von unterschiedlich publizierten, weltweiten Durchschnittsgehalten (dickes Symbol: Maximalwert; dünnes Symbol: Minimalwert).

Liegen die normierten Werte in Abbildungen 3–6 auf der „Nullinie“, entsprechen die gefundenen bayerischen Mittelwerte der jeweiligen Elemente (abhängig vom Datenkollektiv „Geochemische Hauptgruppe“, GH, oder „Lithofazies“, LF) dem oder den Mittelwert(en) bzw. Durchschnittswert(en) weltweit. Mit stärkerer Abweichung von diesem „Idealwert“ verschieben sich die Verhältnisse in Richtung +1 oder –1 bzw. darüber oder darunter. Ein Verhältnis von „+1“ bedeutet z. B., daß der bayerische elementbezogene Mittelwert einer Lithofazies bzw. geochemischen Hauptgruppe um 100 % über dem weltweiten Durchschnittswert liegt. Sofern in der Literatur unterschiedliche Werte bzw. Spannweiten angegeben sind, wurden beide Werte entsprechend oben genannter Formel berechnet und die Ergebnisse durch senkrechte Linien verbunden.

Spurenbestandteile in Peliten (GH 4) der Lithofazies 11 (Tone, Tongesteine) des Tertiärhügellandes (Molasse-Tertiär)

Die Mittelwert-Verhältnisse aller betrachteten Elemente streuen, bis auf sehr wenige Ausnahmen (z. B. Bi), homogen um die Nullinie oder liegen darunter (Abb. 3). Die gefundenen Gehalte der Tongesteine entsprechen also den weltweiten oder liegen bis zu 85 % unter den angegebenen Durchschnittswerten (s. Tab. 4 a, 5 a, 5 b in Kap. 7). Die Maximalwerte von As, Bi, Co, Mo, Ni und U liegen dagegen in dieser Gruppe über den publizierten Maximalwerten weltweit (WEDEPOHL 1969–1978). Aufgrund eines Mittelwertvergleiches ergeben sich jedoch für diese Elemente am betrachteten Datenkollektiv noch keine konkreten Hinweise auf vorhandene Anomalien.

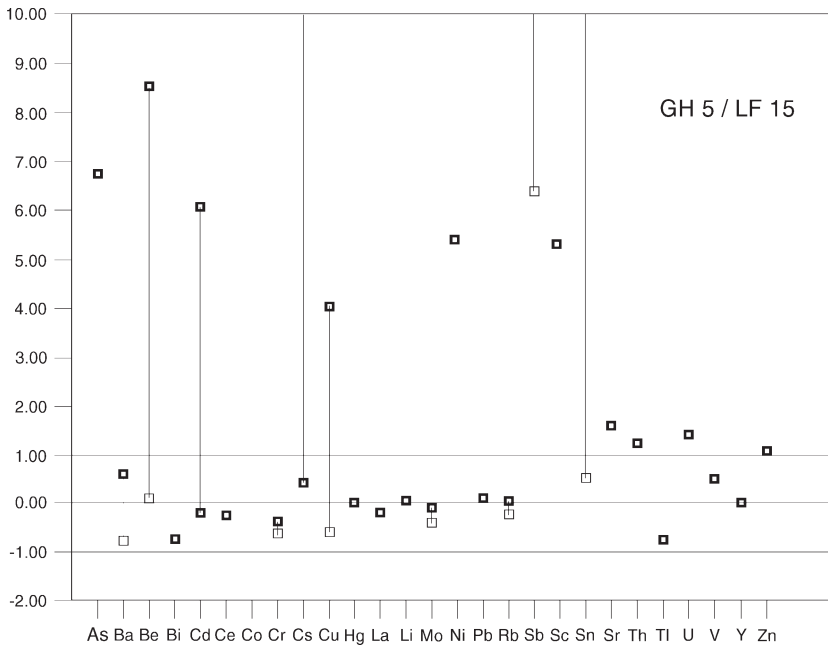


Abb. 4. Normierte Durchschnittswerte Bayern / Welt der GH 5, LF 15. – Ordinate: prozentuale Abweichung der bayerischen Mittelwerte von weltweiten Durchschnittswerten in 100 %-Schritten; Vierecksymbole: elementbezogene Abweichung des bayerischen Mittelwertes von unterschiedlich publizierten, weltweiten Durchschnittsgehalten (dickes Symbol: Maximalwert; dünnes Symbol: Minimalwert).

#### Spurenbestandteile in Psammiten (GH 5) der Lithofazies 15 (Sande) des Tertiärhügellandes (Molasse-Tertiär)

Die Maximalwerte von As, Co, Ni und U liegen in dieser Gruppe über den publizierten Maximalwerten weltweit (s. Tab. 4 b, 5 a, 5 b in Kap. 7). Aufgrund des Mittelwertvergleiches ergeben sich für die vorgenannten Elemente (inklusive Sb) sowie für die Elementgruppe Sr, Sc und Th positive Abweichungen von z. T. mehreren 100 Prozent (Abb. 4). Die gefundenen mittleren Gehalte von As, Co, Ni, Sb und U der Sande liegen demnach signifikant über den weltweiten Durchschnittswerten. Das Auftreten dieser paragenetisch eng verknüpften Elemente deutet auf eine gemeinsame Bildungsgeschichte hin (Herkunft aus sulfidischen Gangvorkommen der Alpen?). Die Assoziation mit organischer Substanz und / oder dispers verteilten Eisenoxihydroxiden im Sediment macht nachfolgende Lösungs-, Fällungs- und Adsorptionsprozesse im fluviatilen bis grundwasserbeeinflussten Milieu als Element-konzentrierende Faktoren sehr wahrscheinlich. Die von den weltweiten Durchschnittswerten abweichenden Gehalte von Sc und Th (konzentriert in Schwermineralen) werden mit der höheren Aufschlußeffizienz des verwendeten Verfahrens erklärt.

#### Spurenbestandteile in Karbonatgesteinen (GH 7) der Lithofazies 28 der Fränkischen Alb (Kalksteine, Mesozoikum, hier Weißjura)

Die Maximalwerte von Co und Ni liegen hier über den publizierten Maximalwerten weltweit für karbonatische Gesteine (s. Tab. 4 c, 5 a, 5 b in Kap. 7). Aufgrund des Mittelwertvergleiches ergeben sich nur für die Elemente As, Cd und Tl Abweichungen von z. T. mehreren



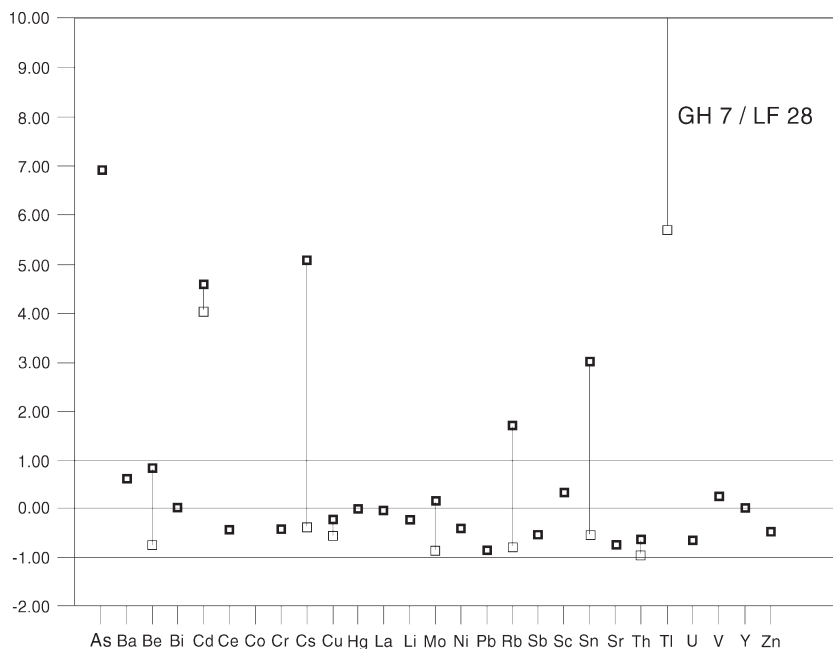


Abb. 5. Normierte Durchschnittswerte Bayern / Welt der GH 7, LF 28. – Ordinate: prozentuale Abweichung der bayerischen Mittelwerte von weltweiten Durchschnittswerten in 100 %-Schritten; Vierecksymbole: elementbezogene Abweichung des bayerischen Mittelwertes von unterschiedlich publizierten, weltweiten Durchschnittsgehalten (dickes Symbol: Maximalwert; dünnes Symbol: Minimalwert).

100 Prozent. Die gefundenen mittleren Gehalte dieser Elemente in den Karbonatgesteinen liegen demnach signifikant über den weltweiten Durchschnittswerten (Abb. 5). Wegen des kleinen Probenumfangs sind jedoch die Ergebnisse als vorläufig zu betrachten und noch nicht verallgemeinerbar.

#### Spurenbestandteile in Peliten (GH 4) der Lithofazies 7 und 8 (Alblehme) der Fränkischen Alb

Die Mittelwert-Verhältnisse aller betrachteten Elemente streuen, bis auf sehr wenige Ausnahmen (Bi, Cs), homogen um die Nulllinie oder liegen darunter. Die gefundenen Gehalte der Alblehme entsprechen also den weltweiten oder liegen bis zu 100 % unter den angegebenen Durchschnittswerten (Abb. 6). Die Maximalwerte von Co, Mo und Ni liegen dagegen in dieser Gruppe über den publizierten Maximalwerten weltweit (s. Tab. 4 d, 5 a, 5 b in Kap. 7). Aufgrund des noch geringen Stichprobenumfangs sollten die Mediane jedoch noch entsprechend vorsichtig beurteilt werden.

Mit den vorgestellten Ergebnissen liegen erstmalig Spurenelementdaten zu verbreiteten Gesteinstypen einer Region vor. Wegen des noch unzureichenden Stichprobenumfangs konnten einzelne Lithotypen hinsichtlich ihrer Lithogehalte noch nicht isoliert statistisch bearbeitet werden. Ebenso wenig waren im derzeitigen Stadium der Bearbeitung verallgemeinernde Aussagen zu flächigen Elementgehalten möglich, da sich der Datenbestand aufgrund unterschiedlicher Projekte mit verschiedenen Intentionen noch sehr heterogen verhält. Das ist bei der Nutzung der Werte entsprechend zu berücksichtigen. Erst mit zunehmender Verdichtung

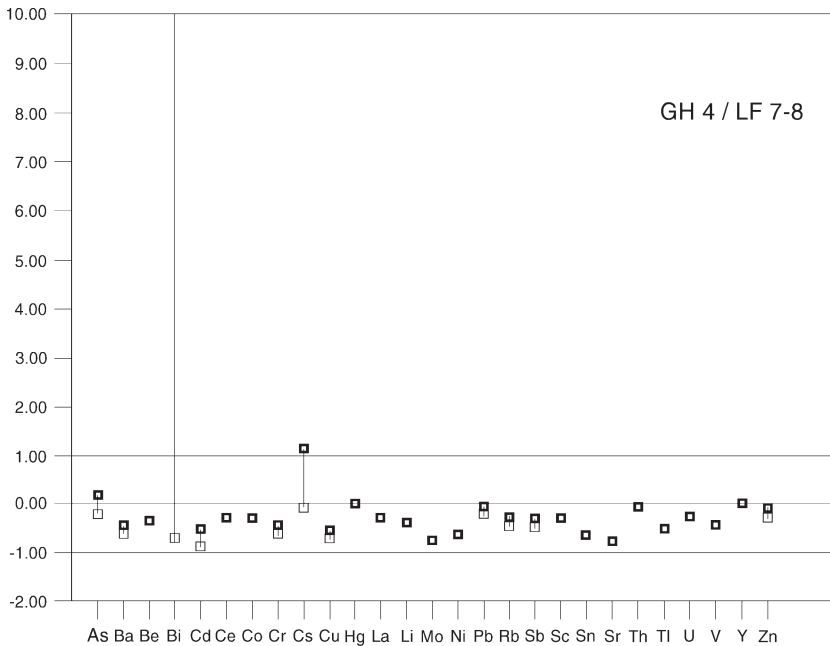


Abb. 6. Normierte Durchschnittswerte Bayern / Welt der GH 4, LF 7 und 8. – Ordinate: prozentuale Abweichung der bayerischen Mittelwerte von weltweiten Durchschnittswerten in 100 %-Schritten; Vierecksymbole: elementbezogene Abweichung des bayerischen Mittelwertes von unterschiedlich publizierten, weltweiten Durchschnittsgehalten (dickes Symbol: Maximalwert; dünnes Symbol: Minimalwert).

der Datenbestände werden konkretere Aussagen zu Lithofazies bzw. einzelnen Lithotypen ermöglicht werden.

## 6. Literatur

- FIEDLER, H. J. & RÖSLER, H. J. (1987): Spurenelemente in der Umwelt. – 278 S., Jena (Fischer).
- FIEDLER, H. J. & RÖSLER, H. J. (1993): Spurenelemente in der Umwelt. – 385 S., Jena (Fischer).
- FÜCHTBAUER, H. (1988): Sedimente und Sedimentgesteine, Teil II: Sediment-Petrologie. – 1140 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- LINHARDT, E. & DITTRICH, R. (1999 a): Analytische Multielement-Methoden am Bayerischen Geologischen Landesamt – Teil I: Bestimmungen von Haupt-, Neben- und Spurenelementen an Böden und Gesteinen mittels ICP-MS bzw. ICP-OES (Standardelementsatz aus Gesamtaufschlüssen). – *Geologica Bavarica*, **104**: 79–93, München.
- LINHARDT, E. & DITTRICH, R. (1999 b): Analytische Multielement-Methoden am Bayerischen Geologischen Landesamt – Teil II: Bestimmungen von anorganischen Neben- und Spurenelementen an Wässern mittels ICP-MS. – *Geologica Bavarica*, **104**: 95–103, München.
- LINHARDT, E. & DITTRICH, R. (1999 c): Analytische Multielement-Methoden am Bayerischen Geologischen Landesamt – Teil III: Bestimmungen der Seltenerd-Elemente in Gesteinen und Mineralen aus Gesamtaufschlüssen mittels ICP-MS. – *Geologica Bavarica*, **104**: 105–116, München.

- MEDERER, J., HINDEL, R., ROSENBERG, F., LINHARDT, E. & MARTIN, M. (1998): UAG „Hintergrundwerte“ der Ad-hoc-AG Geochemie, Statusbericht Dezember 1996. – Geol. Jb., **G 6**: 3–130, Hannover.
- SACHS, L. (1969): Statistische Auswertungsmethoden. – 677 S., Heidelberg (Springer).
- WEDEPOHL, K. H. (1969–1978): Handbook of Geochemistry. – I, II (1–5), Berlin (Springer).
- WITTMANN, O. (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern – Übersichtskarte 1:1 000 000. – GLA-Fachber., **5**: 5–47, München (Bayer. Geol. L.-Amt).

## 7. Anhang

*Tabelle 1: Geologische Großlandschaften Bayerns*

Großlandschaft	Lithofazies-Gruppe(n)
Bayerische Alpen	Faltenmolasse, Helvetikum, Ultrahelvetikum, Flysch, Arosazone, Nördliche Kalkalpen
Jungmoränen und Molassevorberge	Tertiär und Quartär
Schotterplatten- und Altmoränenlandschaften	Quartär
Tertiärhügelland	Molasse
Alb	Jura: Dogger, Malm
Fränkische Platten	Muschelkalk
Fränkisch-Schwäbisches Keuper-Lias-Land, Obermain-Schollenland, Oberpfälzisches Hügelland	Keuper-Lias
Rhön und Vogelsberg	Tertiärer Basaltvulkanismus
Spessart und Odenwald	Buntsandstein
Spessart	Kristallin
Nordostbayerisches Grundgebirge	Kristallin mit präkambrischen und paläozoischen Anteilen

*Tabelle 2: Gesteinsgliederung nach geochemischen Hauptgruppen (GH)*

GH	Definition
GH 1	saure granitoide Gesteine (Granite, Granitoide i. e. S. sowie Si-, Al-, Mg-, Fe-reiche Orthogneise), SiO <sub>2</sub> > 65 %
GH 2	intermediäre magmatische Gesteine (Fest- und Lockergesteine), SiO <sub>2</sub> 65 %- 52 %
GH 3	basische-ultrabasische Gesteine (Fest- und Lockergesteine), SiO <sub>2</sub> < 52 %
GH 4	Pelite; sedimentäre Gesteine (locker-verfestigt, Korngröße unter 0,063 mm) oder entsprechende metamorphe Gesteine
GH 5	Psammite; sedimentäre Gesteine (locker-verfestigt, Korngröße 0,063 mm – 2,00 mm) oder entsprechende metamorphe Gesteine
GH 6	Psephite; sedimentäre Gesteine (locker-verfestigt, Korngröße über 2 mm)
GH 7	karbonatische-sulfatische Gesteine
GH 8	bituminöse Gesteine und Kohlen
GH 9	Erzgesteine verschiedener Genese

Tabelle 3: Unterteilung nach geochemischen Hauptgruppen (GH), Lithofazies (LF) und Lithotypen (LT)

GH	LF	LT
1	1	Granit, Rhyolith, Granodiorit, Syenit, Tonalit, Quarz-Diorit
1	2	Gneis (quarz-, feldspatreich), Orthogneis
2	3	Diorit, Tonalit, Syenit, Monzonit, intermediärer Tuff
3	4	Basalt, Diabas, basischer Tuff
3	5	Amphibolit, Serpentin, Grünschiefer, Eklogit
3	6	Peridotit, Pyroxenit, Dunit
4	7	Lehm, Ton (Pleistozän)
4	8	Lehm, Ton (Holozän)
4	9	Lehm, Ton (Molasse)
4	10	Tonstein, Schieferntonstein (Mesozoikum)
4	11	Tonstein, Schieferntonstein (Molasse)
4	12	Mergelstein, Mergelkalkstein (Mesozoikum)
4	13	Mergel, Mergelstein, Mergelkalk, Mergelkalkstein (Molasse)
4	14	Phyllit, Glimmerschiefer
5	15	Sand, Sandstein (Molasse)
5	16	Sand, Sandstein (Mesozoikum)
5	17	Arkose, Sandstein, Feinbreccie, Grauwacke (Grundgebirge)
5	18	Radiolarit (Mesozoikum)
5	19	Kieselschiefer (Paläozoikum)
5	20	Grünsandstein (Kreide)
5	21	Sand (Holozän)
6	22	Schotter (Holozän)
6	23	Schotter (Pleistozän)
6	24	Moränenablagerung (fein- bis grobklastisch; vorwiegend Pleistozän)
6	25	Konglomerat (Molasse)
7	26	Kalkmarmor, Kalksilikatfels
7	27	Dolomitstein, Dolomitmarmor
7	28	Kalkstein (Mesozoikum)
7	29	Gips- und Anhydritgestein
8	30	Kohle, bituminöses Gestein
9	31	Erzgestein verschiedener Genese

Tabelle 4 a: Tongesteine, GH 4, LF 11, Einheit in ppm (mg/kg)

Element	Min.-Wert	Max.-Wert	50-Perz./ Median	90-Perz.	97,5-Perz.	N
As	1,4	133,9	8,5	27,7	106,4	64
Ba	102,9	1144,5	394,7	521,0	845,3	68
Be	0,7	5,2	2,6	3,4	4,9	68
Bi	0,1	1,5	0,3	0,7	1,2	67
Cd	0,0	0,4	0,1	0,2	0,3	63
Ce	10,7	107,1	67,2	86,5	106,1	68
Co	1,8	32,6	14,5	21,1	29,7	68
Cr	9,4	118,9	56,1	87,3	104,3	68
Cs	2,7	49,9	8,0	17,6	34,1	68
Cu	1,1	175,3	26,3	50,8	104,7	67
Hg	0,004	0,175	0,038	0,108	/	32
La	6,9	58,8	35,6	47,2	56,8	68
Li	17,8	156,1	47,9	86,3	154,6	68
Mo	0,1	7,9	0,3	1,6	6,7	68
Ni	9,2	140,4	39,1	63,3	93,6	68
Pb	2,2	54,2	23,8	39,7	52,6	68
Rb	17,4	225,2	121,0	169,8	213,1	68
Sb	0,4	4,4	1,4	2,3	3,5	68
Sc	6,7	19,7	14,2	17,8	19,6	63
Sn	0,9	9,5	3,9	6,0	9,5	67
Sr	37,3	4008,2	103,8	310,9	2478,5	68
Th	1,2	19,2	13,1	16,7	18,0	68
Tl	0,1	1,3	0,7	1,0	1,2	67
U	1,6	20,3	2,9	6,2	13,9	68
V	36,4	184,7	105,5	139,5	172,1	60
Y	6,1	63,0	25,2	35,8	60,7	68
Zn	27,1	191,9	87,2	137,5	163,4	67

Tabelle 4 b: Sande und Sandsteine, GH 5, LF 15, Einheit in ppm (mg/kg)

Element	Min.-Wert	Max.-Wert	50-Perz./ Median	90-Perz.	97,5-Perz.	N
As	1,1	752,0	7,7	32,6	369,0	86
Ba	29,8	575,2	157,9	344,5	405,7	90
Be	0,2	6,4	1,0	2,0	4,5	90
Bi	0,0	2,6	0,1	0,3	1,9	87
Cd	0,0	0,6	0,1	0,2	0,3	71
Ce	5,6	95,7	23,4	73,4	90,9	90
Co	1,0	30,6	4,9	12,0	22,9	90
Cr	3,6	124,3	20,8	65,5	107,5	90
Cs	0,3	119,5	1,4	11,0	37,8	90
Cu	0,7	98,1	5,0	23,6	86,9	76
Hg	/	/	/	/	/	/
La	3,7	66,5	13,1	43,4	58,7	90
Li	4,8	213,9	15,4	41,9	115,7	90
Mo	0,0	18,6	0,2	2,1	11,0	89
Ni	2,6	106,0	12,8	37,2	80,5	90
Pb	2,8	55,9	7,6	18,9	36,4	90
Rb	6,0	251,7	46,8	105,5	139,0	90
Sb	0,4	10,0	0,7	1,6	8,7	90
Sc	0,6	32,2	6,3	10,6	22,0	80
Sn	0,4	5,6	1,4	3,1	4,8	61
Sr	14,3	580,7	51,9	122,7	326,2	90
Th	1,0	23,5	3,8	11,3	16,5	90
Tl	0,1	1,2	0,2	0,7	1,1	90
U	0,2	10,9	1,1	3,6	9,3	90
V	5,4	174,9	30,5	80,8	152,5	83
Y	3,8	63,8	15,2	33,3	50,5	90
Zn	5,8	222,0	30,9	88,7	163,3	90

Tabelle 4 c: Karbonatgesteine, GH 7, LF 28, Einheit in ppm (mg/kg)

Element	Min.-Wert	Max.-Wert	50-Perz./ Median	90-Perz.	97,5-Perz.	N
As	4,3	11,7	7,9	10,0	/	33
Ba	5,2	85,7	15,7	39,3	/	33
Be	0,1	0,4	0,2	0,3	/	33
Bi	0,026	0,037	0,028	/	/	5
Cd	0,0	3,3	0,2	1,3	/	21
Ce	1,1	7,9	3,6	6,9	/	33
Co	0,1	16,9	1,4	10,9	/	32
Cr	1,1	16,4	6,0	12,1	/	33
Cs	0,2	1,7	0,6	1,4	/	33
Cu	0,7	16,7	2,9	6,8	/	29
Hg	/	/	/	/	/	/
La	1,4	8,1	3,9	7,0	/	33
Li	1,1	9,8	3,8	6,9	/	30
Mo	0,1	3,2	0,5	1,4	/	33
Ni	1,4	42,7	11,9	27,5	/	33
Pb	0,4	4,3	1,1	2,5	/	33
Rb	1,9	26,8	8,1	19,8	/	33
Sb	0,0	1,3	0,1	0,4	/	29
Sc	0,8	1,9	1,3	/	/	7
Sn	0,3	0,6	0,4	0,6	/	11
Sr	69,6	351,2	139,6	226,9	/	33
Th	0,0	1,6	0,6	1,3	/	32
Tl	0,0	0,3	0,6	0,1	/	28
U	0,3	2,8	0,7	1,4	/	33
V	11,4	93,8	24,2	44,8	/	32
Y	1,4	14,1	3,6	10,8	/	33
Zn	2,9	60,6	10,4	43,2	/	24

Tabelle 4 d: Lehm- und Tongesteine (Ablehme), GH 4, LF 7 und 8, Einheit in ppm (mg/kg)

Element	Min.-Wert	Max.-Wert	50-Perz./ Median	90-Perz.	97,5-Perz.	N
As	3,7	27,9	7,4	17,7	/	20
Ba	61,0	481,3	270,4	405,9	/	20
Be	0,3	4,4	1,9	3,3	/	20
Bi	0,1	0,9	0,3	0,6	/	20
Cd	0,0	0,9	0,1	0,3	/	20
Ce	7,3	174,3	61,1	110,3	/	20
Co	1,6	37,1	13,3	29,8	/	20
Cr	7,1	81,3	51,6	74,8	/	20
Cs	0,9	17,8	10,5	15,1	/	20
Cu	3,8	32,2	17,0	30,6	/	20
Hg	/	/	/	/	/	/
La	5,5	64,9	31,1	61,6	/	20
Li	3,5	135,9	37,0	73,8	/	20
Mo	0,1	8,6	0,5	2,4	/	20
Ni	6,0	66,1	34,5	58,5	/	20
Pb	1,7	36,5	18,7	29,3	/	20
Rb	8,7	159,1	107,2	146,0	/	20
Sb	0,4	2,0	1,0	1,6	/	20
Sc	2,9	21,0	10,9	16,5	/	19
Sn	0,2	5,9	3,5	5,5	/	20
Sr	27,2	640,8	96,3	189,3	/	20
Th	0,8	19,5	10,5	17,4	/	20
Tl	0,1	1,2	0,5	1,1	/	20
U	0,3	7,7	2,3	5,9	/	20
V	12,0	147,7	74,7	127,4	/	20
Y	4,6	61,8	24,4	56,9	/	20
Zn	4,0	168,9	73,4	162,9	/	20



*Tabelle 5 a:* Tabellarische Aufstellung mittlerer Spurenelementgehalte in den wichtigsten Vertretern magmatischer und sedimentärer Gesteine (geochemische Hauptgruppen) weltweit (ppm bzw. mg/kg) nach FIEDLER & RÖSLER (1987, 1993)

Element	Ultrabasite	Basite	Diorite	Granite	Tonige Gesteine	Schwarzschiefer	Sandsteine	Kalksteine
	„ultrabasisch“	„basisch“	„intermediär“	„sauer“				
As	0,50	2,00	2,40	1,50	6,60	n.g.	1,00	1,00
Ba	1,00	300,00	650,00	830,00	800,00	800,00	x,00	10,00
Be	0,20	0,40	1,80	5,50	3,00	1,00	0,x	0,x
Bi	0,001	0,007	0,010	0,010	0,010	n.g.	n.g.	n.g.
Cd	0,05	0,19	n.g.	0,10	0,30	n.g.	0,0x	0,04
Ce	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Co	200,00	45,00	10,00	5,00	20,00	70,00	0,30	0,10
Cr	2000,00	200,00	50,00	25,00	100,00	200,00	35,00	11,00
Cs	0,10	1,00	n.g.	5,00	12,00	n.g.	0,x	0,x
Cu	20,00	100,00	35,00	20,00	57,00	310,00	x	4,00
Hg	0,01	0,09	0,07	0,04	0,27	n.g.	0,03	0,04
La	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Li	0,50	15,00	20,00	40,00	60,00	n.g.	15,00	5,00
Mo	0,20	1,40	0,90	1,00	2,00	170,00	0,20	0,40
Ni	2000,00	160,00	55,00	8,00	95,00	425,00	2,00	20,00
Pb	0,10	8,00	15,00	20,00	20,00	28,00	7,00	9,00
Rb	2,00	45,00	100,00	200,00	200,00	n.g.	60,00	3,00
Sb	0,10	1,00	0,20	0,26	2,00	n.g.	0,0x	0,20
Sc	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Sn	0,50	1,50	n.g.	3,00	10,00	n.g.	0,x	0,x
Sr	10,00	440,00	800,00	300,00	450,00	180,00	20,00	610,00
Th	0,005	3,000	7,000	18,000	11,000	n.g.	1,700	1,700
Tl	0,01	0,20	0,50	1,50	1,00	n.g.	0,82	0,0x
U	0,003	0,500	1,800	3,500	3,200	n.g.	0,450	2,200
V	40,00	200,00	100,00	40,00	130,00	1200,00	20,00	20,00
Y	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Zn	30,00	130,00	72,00	60,00	80,00	400,00	15,00	20,00

n.g.: keine Angaben;  $1 \leq x \leq 9$

*Tabelle 5 b:* Tabellarische Aufstellung mittlerer Spurenelementgehalte in sedimentären Gesteinen (geochemische Hauptgruppen) weltweit (ppm bzw. mg/kg) nach WEDEPOHL (1969–1978)

Element	Karbonatgesteine	Tonige Gesteine	Sandsteine
As	n.g.	10,0	n.g.
Ba	n.g.	550,0	310,0
Be	n.g.	n.g.	n.g.
Bi	n.g.	1,0	0,3
Cd	n.g.	1,4	0,01
Ce	6,5	90,0	33,0
Co	n.g.	n.g.	n.g.
Cr	n.g.	155,0	57,0
Cs	1,0	5,0	1,0
Cu	6,9	40,0	13,0
Hg	n.g.	n.g.	n.g.
La	4,1	45,0	17,0
Li	n.g.	n.g.	n.g.
Mo	0,4	n.g.	0,3
Ni	n.g.	n.g.	n.g.
Pb	n.g.	23,0	n.g.
Rb	45,0	150,0	46,0
Sb	n.g.	1,5	n.g.
Sc	1,0	15,0	1,0
Sn	n.g.	n.g.	n.g.
Sr	n.g.	n.g.	n.g.
Th	n.g.	n.g.	n.g.
Tl	n.g.	n.g.	n.g.
U	n.g.	n.g.	n.g.
V	n.g.	n.g.	n.g.
Y	n.g.	n.g.	n.g.
Zn	n.g.	100,0	n.g.

n.g.: keine Angaben

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 20. 9. 1999.

# Untersuchungen zur Ermittlung der ubiquitären Hintergrundbelastung von organischen Problemstoffen an ausgewählten Böden Bayerns – Ergebnisse eines Forschungsvorhabens

Von MICHAEL JONECK, RAIMUND PRINZ, ARTHUR REISCHL und MICHAEL WITTENBECHER

Mit 7 Abbildungen und 9 Tabellen

**Schlüsselworte:** Boden-Grundinventur – vorsorgender Bodenschutz – Hintergrundgehalte für PCDD/F, PCB, PAK und AOX – mobilisierbare Schwermetalle

**Kurzfassung:** Im Rahmen der bayerischen Boden-Grundinventur und mit dem Ziel, die Datenbasis im vorsorgenden Bodenschutz zu verbessern, hat das Bayerische Geologische Landesamt im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen ein umfangreiches Forschungs- und Entwicklungsvorhaben durchgeführt. Dabei wurden ca. 1000 Bodenproben aus 196 über ganz Bayern verteilten Forststandorten entnommen und auf zahlreiche anorganische und organische Problemstoffe analysiert. Die Qualität und der große Stichprobenumfang der erhobenen Daten erlauben die Ableitung von horizont- und regionsspezifischen Hintergrundwerten.

Aus der Vielzahl der gewonnenen Erkenntnisse werden hier lediglich die abgeleiteten Hintergrundwerte für einige ausgewählte organische Problemstoffe in Böden vorgestellt. Es handelt sich dabei um horizontbezogene Hintergrundwerte für polychlorierte Dibenzodioxine und polychlorierte Dibenzofurane (PCDD/F), polychlorierte Biphenyle (PCB), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und adsorbierte organische Halogene (AOX). Außerdem werden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen zwischen den Schwermetallen Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, As und Se und den genannten organischen Problemstoffen vorgestellt. Am gleichen Probenkollektiv wurde im Rahmen eines ergänzenden Vorhabens der Parameter mobilisierbare Schwermetalle nach DIN 19730 erfaßt.

## Research on ubiquitous background values for harmful organic substances (incl. PCDD/F) in selected forest soils of Bavaria

**Keywords:** Preliminary soil studies – preventive soil protection – background values for PCDD/F, PCB, PAH and AOX – mobility of heavy metals

**Abstract:** In reference to the Bavarian preliminary soil studies and in purpose of serving the preventive soil protection by offering broad and updated data, an extensive research and development project was carried out by the Bavarian Geological Survey on behalf of the Bavarian State Ministry for State Development and Environmental Affairs. Approximately 1000 soil samples were drawn from 196 forest locations, distributed across the whole of Bavaria and were finally analyzed in regard to various harmful inorganic and organic substances.

High quality and quantity of the scrutinized data allow determination of background values for specific soil layers and various regions. This paper displays the results of background values for polychlorinated dibenzodioxins and polychlorinated dibenzofurans (PCDD/F), polychlorinated biphenyls (PCB), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and adsorbed organohalogens (AOX). Furthermore the results of correlation analysis between heavy metals such as Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, As and Se and the above

---

Anschriften der Verfasser: Dr. MICHAEL JONECK, Dr. ARTHUR REISCHL und Dr. MICHAEL WITTENBECHER, Bayerisches Geologisches Landesamt, Außenstelle Marktredwitz, Leopoldstr. 30, D-95615 Marktredwitz; RAIMUND PRINZ, Wasserwirtschaftsamt Schweinfurt, Alte Bahnhofstr. 29, D-97422 Schweinfurt.

mentioned organic substances are presented. Exposed data also seemed to be suitable to determine the mobility of heavy metals in soils by means of using the German standard extraction procedure DIN 19730.

## Inhalt

1. Einführung und Zielsetzung .....	432
2. Material und Methoden .....	433
2.1. Analysemethoden .....	435
2.2. Datenaufbereitung .....	437
2.3. Statistische Analyseverfahren .....	437
3. Ergebnisse .....	439
3.1. Dioxine und Furane(PCDD/F) .....	439
3.1.1. Deskriptive Statistik und Hintergrundwerte .....	439
3.2. Polychlorierte Biphenyle (PCB) .....	440
3.2.1. Deskriptive Statistik und Hintergrundwerte .....	440
3.3. Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) .....	443
3.3.1. Deskriptive Statistik und Hintergrundwerte .....	445
3.4. Absorbierte organisch gebundene Halogene (AOX) .....	446
3.4.1. Deskriptive Statistik und Hintergrundwerte .....	447
3.5. Anorganische Leitparameter für organische Problemstoffe .....	448
3.5.1. Korrelationen zwischen Organika und Schwermetallen in Auflagehorizonten .....	449
3.6. Ammoniumnitratmobilisierbare Schwermetalle .....	452
3.6.1. Deskriptive Statistik und Hintergrundwerte .....	453
3.6.2. Korrelationsuntersuchungen .....	454
4. Literatur .....	455

## 1. Einführung und Zielsetzung

Im Laufe der (in Deutschland vorwiegenden quartären) Bodenentwicklung fand, meist ausgehend vom undifferenzierten Gestein, eine mehr oder weniger deutlich ausgeprägte Profilentwicklung statt, die sich durch Ausbildung bestimmter charakteristischer Horizonte manifestiert.

In Abhängigkeit vom Ausgangssubstrat und dem Grad der fortgeschrittenen Pedogenese können die daraus entstandenen Bodenformen unterschiedliche, natürliche bodenimmanente Funktionen wie z. B. Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften wahrnehmen. Dabei unterscheiden sich die Böden aufgrund ihres Stoffbestandes, der jeweiligen Horizontabfolge und -ausbildung, hinsichtlich ihrer Eignung für die verschiedenen Funktionen. So sind z. B. organische Auflagehorizonte nicht nur das typische Resultat einer Bodenentwicklung unter Forst, sie übernehmen aufgrund ihrer stoffspezifischen Eigenschaften auch eine herausragende Funktion im Hinblick auf die Sorptionskapazität gegenüber den meisten organischen Problemstoffen. Auch bei der hochaktuellen Frage der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen steht v. a. das Rückhaltevermögen unterschiedlicher Böden und ihrer Horizonte gegenüber Schadstoffen im Vordergrund.

Die Bedeutung der Böden und ihre Funktionen für den Menschen wird durch die Verabschiedung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) hervorgehoben. Zentrale Aufgabe des Gesetzes ist einerseits die Regelung des Umganges mit vorhandenen stofflichen Bodenbelastungen, andererseits – im Sinne des Vorsorgeprinzips – die Begrenzung und Vermeidung

neuer, potentiell schädlicher Stoffeinträge. Zur Entwicklung von Bewertungskriterien und Maßnahmenkonzepten ist jedoch die Kenntnis des allgemeinen Boden-Istzustandes unterschieden nach geogenen, anthropogenen und nutzungsbedingten Einflüssen notwendig. Im Zuge der länderspezifischen Umsetzung des BBodSchG gewinnt darüber hinaus die Ableitung regionsspezifischer Hintergrundwerte an Bedeutung.

Durch die Ausweisung regionsspezifischer Hintergrundwerte sollen sowohl natürlich (geogen) erhöhte wie auch siedlungsbedingte (anthropogene) Stoffgehalte berücksichtigt werden. So sind z. B. die geogenen, natürlichen Cadmiumgehalte in Böden aus Kalkgestein i. d. R. höher als solche aus Molassesanden. Ebenso gibt es in Bayern Regionen mit anthropogen ubiquitär weiträumig erhöhten organischen Problemstoffgehalten in Böden. Durch die Ausweisung von Hintergrundwerten können Böden solcher Regionen gekennzeichnet werden. Die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) definiert Hintergrundgehalte und -werte wie folgt: Hintergrundgehalte von Böden setzen sich zusammen aus dem geogenen Grundgehalt (lithogener Stoffanteil), den durch pedogenetische Prozesse hervorgerufenen Stoffumverteilungen und den ubiquitären diffusen Einträgen.

Dabei kommt der lithogene Stoffanteil vor allem bei den anorganischen Problemstoffen zum Tragen, während sich die Bodengehalte organischer Problemstoffe in erster Linie aus luftgetragenen, diffusen Einträgen ergeben. Die Hintergrundwerte sind repräsentative Werte (statistische Kenngrößen) der Hintergrundgehalte eines Stoffes im Boden. Dabei finden die standort- sowie nutzungsspezifischen Verhältnisse Berücksichtigung.

Für anorganische Problemstoffe liegen in Bayern bereits substrat-, horizont-, nutzungs- und regionsspezifische Hintergrundwerte vor (vgl. SUTTNER et al. 1998).

Ziel der Arbeiten an diesem Probenkollektiv war es, die ubiquitäre Hintergrundbelastung für organische Problemstoffe in Waldböden zu quantifizieren. Um ausschließlich immissionsbedingte Schadstoffgehalte in Böden zu erfassen, wurden die Bodenproben aus mindestens 80jährigen Fichtenstandorten entnommen. Es kann mit wenigen Ausnahmen (z. B. Lindan zur Bekämpfung der Borkenkäfer) davon ausgegangen werden, daß die Schadstoffeinträge unter Forst i. d. R. über den Luftpfad erfolgen.

Als Hintergrundwert wird das 90%-Perzentil der ausreißerbereinigten Daten angegeben. Er kennzeichnet als repräsentativer Wert die Obergrenze des Problemstoffgehaltes im Boden, der sich aufgrund von ubiquitären Einträgen ergibt.

Um räumlich differenzierte Strukturen der Problemstoffgehalte in den Auflagen und Oberböden aufzudecken, wurde als geostatistische Analyse das „Kriging“-Verfahren verwendet (s. Kap. 2.3.).

Die Ergebnisse dieser umfangreichen Untersuchung wurden Mitte 1998 in einem Endbericht dem Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen übermittelt.

## 2. Material und Methoden

Im Rahmen des F+E-Vorhabens „Untersuchung zur Ermittlung der ubiquitären Hintergrundbelastung von organischen Problemstoffen (inkl. PCDD/PCDF) an ausgewählten Böden Bayerns unter normierten Standortbedingungen“ wurden bayernweit von 196 Fichtenstandorten der Altersklasse IV (> 80 Jahre) 941 flächen- und volumenbezogene Bodenproben entspre-

chend BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1992) durch ein externes Institut entnommen. Die Beprobungsstandorte sind in der Abbildung 1 zu ersehen. Für die Untersuchung der anorganischen Problemstoffe und Bodenparameter wurde bis zum Cv-Horizont beprobt. Aus Kostengründen wurde die Bodenprobenentnahme respektive die Analytik für die organischen Problemstoffe auf die oberen Horizonte bis einschließlich des ersten Unterbodenhorizontes bzw. für die Dioxine ausschließlich auf Auflagen und Oberböden begrenzt. Eine Ausnahme bilden die 16 „Bilanzierungsstandorte“. An ihnen erfolgte die Beprobung und die organische Analytik (ohne Dioxine) i. d. R. bis zum Cv-Horizont.

Die Erarbeitung von regionsspezifischen Hintergrundwerten sollte auf der Basis zahlreicher Stichproben liegen, weshalb mit dem vorliegenden Datensatz diesbezügliche Aussagen hier nur eingeschränkt möglich sind. Der Versuch einer Regionalisierung kann allenfalls unter Ausnutzung von Interpolationsverfahren, deren Qualität mit Anzahl der Datenpunkte zunimmt, auf kleinstmöglichem Maßstab erfolgen. Vorliegende Regionalisierungs-Ergebnisse sind als erster Ansatz zur Ableitung von Hintergrundwerten zu verstehen.

Für die im Text genannten organischen Stoffe sowie eine Reihe weitere Begriffe werden folgende Abkürzungen gebraucht:

ACN	Acenaphten	EGW	Einwohnergleichwerte
ACNYL	Acenaphthylen	EPA-PAH	NAP+ACNYL+ACN+FLUO+PHE +ANT+ FLA+PYR+BAA+CHR
ANT	Anthracen		+BBF+BKF+BAP+IND+DBAHA
As	Arsen		+BGHIP nach Environmental Protec- tion Agency
AOX	Adsorbierte organisch gebundene Halogene		
$\alpha$ -HCH	alpha Hexachlorcyclohexan	FLA	Fluoranthen
BAA	Benz(a)anthracen	FLUO	Fluoren
BAP	Benzo(a)pyren	GC-MS	Gaschromatograph-Massenspektro- meter
BBF	Benzo(b)fluoranthen	$\gamma$ -HCH	gamma Hexachlorcyclohexan
BEP	Benzo(e)pyren	GLA	Bayerisches Geologisches Landesamt
BGA	Bundesgesundheitsamt	GLA-PAH	PHE+ANT+FLA+PYR+BAA+CHR +BBF+BKF+BAP+BEP+PEYL +IND+DBAHA+BGHIP nach GLA
BGA-TEq	Toxizitätsäquivalent bezogen auf 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin; Berechnung nach BGA (ng/kg)	HCB	Hexachlorbenzol
BGHIP	Benzo(g,h,i)perylene	ICP-MS	Inductively coupled plasma-Massen- spektrometer
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz	I-TEq	Toxizitätsäquivalent bezogen auf 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin; Berechnung nach NATO/CCMS (ng/kg)
$\beta$ -HCH	beta Hexachlorcyclohexan	IND	Indeno(1,2,3-cd)pyren
BJF	Benzo(j)fluoranthen	IUPAC	International union of pure and app- lied chemistry
BKF	Benzo(k)fluoranthen	LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
CCMS	Committee on challenges of modern society	Max	Maximum
Cd	Cadmium	mg	Milligramm ( $10^{-3}$ g)
CHR	Chrysen	Min	Minimum
CKW	Chlor-Kohlenwasserstoff	n	Stichprobenumfang
Cr	Chrom	NAP	Naphthalin
Cu	Kupfer	ng	Nanogramm ( $10^{-9}$ g)
dB	Lagerungsdichte ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		
DBAHA	Dibenz(a,h)anthracen		
DDE	Dichlor-diphenyl-dichlorethen		
DDD	Dichlor-diphenyl-dichlorethan		
DDT	Dichlor-diphenyl-trichlorethan		
$\delta$ -HCH	delta Hexachlorcyclohexan		

Ni	Nickel	PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
n.n.	nicht nachweisbar	PEYL	Perylen
OCDD	Octachlordibenzodioxinkonzentration (ng/kg)	PeCB	Pentachlorbenzol
OCDF	Octachlordibenzofurankonzentration (ng/kg)	PHE	Phenanthren
o-DTB	ortho-Dimethoxytetrachlorbenzol	pp-DDE	para, para-Dichlor-diphenyl-dichlor-ethen
op-DDE	ortho, para-Dichlor-diphenyl-dichlo- rethen	pp-DDD	para, para-Dichlor-diphenyl-dichlor- ethan
op-DDD	ortho, para-Dichlor-diphenyl-dichlo- rethan	pp-DDT	para, para-Dichlor-diphenyl-trichlor- ethan
op-DDT	ortho, para-Dichlor-diphenyl-trichlo- rethan	PYR	Pyren
PAH	Polyzyklische aromatische Kohlen- wasserstoffe	SBF	Summe Benzofluoranthene
Pb	Blei	Se	Selen
PCB	Polychlorierte Biphenyle	S-DDT	op-DDE+pp-DDE+op-DDD+pp- DDD+opDDT+pp-DDT
PCB 28	Polychloriertes Biphenyl mit der IUPAC-Nr. 28	S-PCB	Polychlorierte Biphenyle mit den IUPAC-Nr. 28,52,101,138,153 und 180
PCB 52	Polychloriertes Biphenyl mit der IUPAC-Nr. 52	StMLU	Staatsministerium für Landesent- wicklung und Umweltfragen
PCB 101	Polychloriertes Biphenyl mit der IUPAC-Nr. 101	TTPHE	Triphenylen
PCB 138	Polychloriertes Biphenyl mit der IUPAC-Nr. 138	TVO-PAH	FLA+BBF+BKF+BAP+IND +BGHIP nach Trinkwasserverord- nung
PCB 153	Polychloriertes Biphenyl mit der IUPAC-Nr. 153	TS	Trockensubstanz
PCB 180	Polychloriertes Biphenyl mit der IUPAC-Nr. 180	UBA	Umweltbundesamt
PCDD	Polychlorierte Dibenzodioxine	VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaft- licher Untersuchungs- und For- schungsanstalten
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine und Polychlorierte Dibenzofurane	Zn	Zink
		µg	Mikrogramm (10 <sup>-6</sup> g)

## 2.1. Analysenmethoden

Nachfolgend sind die für das vorliegende Probenkollektiv angewandten Analysenmetho-  
den beschrieben.

Zu den durchgeführten bodenchemischen und bodenphysikalischen Grund-  
parametern gehörten die Bestimmung der effektiven Austauschkapazität nach MEIWES et al.  
(1984) unter Verwendung des gesiebten Feinbodens (< 2 mm), ferner die Bestimmung des C-,  
N-, S- und Humusgehaltes bezogen auf gemahlene Feinboden (< 0,1 mm) nach DIN ISO  
10694, des CaCO<sub>3</sub>-Gehaltes nach DIN 19684, des pH nach DIN 19684 anhand des gesiebten  
Feinbodens und schließlich die Korngrößenbestimmung nach KÖHN (DIN 19683, Teil 2)  
bezogen auf gesiebten Feinboden.

Die geochemische Untersuchung umfaßt die Elementbestimmung an gemahlene  
Proben (< 0,1 mm) mittels Totaldruckaufschluß mit Flußsäure (HF), Perchlorsäure (HClO<sub>4</sub>)  
und Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) nach RUPPERT (1987). Die Analyse erfolgte mittels ICP-MS.

Die Arsen- (As) und Selengehalte (Se) wurden mittels AAS-Hydrid-Technik (Bestim-  
mungsgrenzen: As: 0,5 mg/kg TS, Se: 2,5 mg/kg TS) gemessen.



Abb. 1. Lage der Untersuchungsstandorte.

Die mobilisierbaren Schwermetalle wurden nach Extraktion mit Ammoniumnitrat gemäß DIN 19730 an gesiebttem Feinboden mittels ICP-MS bestimmt. Näheres ist Kapitel 3.6. zu entnehmen.

Die organische Analytik erfolgte an den 600 feldfrischen, bei  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  gelagerten Bodenproben nach Siebung auf  $< 2\text{ mm}$  in Anlehnung an VDLUFA Methodenbuch, Band VII. Folgende Stoffe wurden im Rahmen der organischen Problemstoffe mittels GC-MS analysiert:

- PAH: ACN, ACNYL, ANT, BAA, BAP, BEP, BGHIP, DBAHA, FLA, FLUO, IND, NAP, PEYL, PHE, SBF
- CKW: DDD, DDE, DDT, HCB,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\delta$ -,  $\gamma$ -HCH, PCB, PeCB

Zusätzlich wurden an allen 941 Proben die AOX-Gehalte nach DIN 38414 S18 bestimmt. Genaueres zur analytischen Vorgehensweise ist Kapitel 3.4. zu entnehmen.

Bis auf die PCDD/F wurde die gesamte anorganische und organische Analytik an der Außenstelle des Bayerischen Geologischen Landesamtes durchgeführt.



Die Untersuchungen von 450 Bodenproben auf PCDD/F wurden vom Institut für Wasserforschung des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft durchgeführt. Die PCDD/F-Bestimmung erfolgte nach DIN-Entwurf 38414, Gruppe S, an gemahlenem Feinboden mittels GC-MS.

## 2.2. Datenaufbereitung

Für die problemorientierte Auswertung war eine Aufbereitung der erhobenen Daten notwendig. Diese wurde nach folgend genannten Konventionen durchgeführt.

Berücksichtigung nicht nachweisbarer Stoffgehalte (n. n.) bei statistischen Auswertungen:

Bezüglich der unterschiedlichen Aspekte zur Behandlung von nicht nachweisbaren Stoffgehalten im Rahmen statistischer Auswertungen wird auf HAGENMEIER & LINDIG (1992) und JONECK & PRINZ (1994) verwiesen. Im vorliegenden Bericht wurden nicht nachweisbare Stoffgehalte durch den Zahlenwert 0,00 ersetzt.

Zusammenfassung von Bodenhorizonten innerhalb eines Profilbereiches:

Die Ableitung von Hintergrundwerten für bestimmte Profilbereiche wie etwa Auflagen und Oberböden und ihre räumliche Differenzierung setzt einheitliche Datenkollektive voraus. Daher war es notwendig, die Einzelhorizonte gleicher Profilbereiche (z. B. bei Oberböden: Aeh, Ahe ..., bei Unterböden: Bv1, Bv2 ... etc.) unter Berücksichtigung der jeweiligen Lagerungsdichten und Horizontmächtigkeiten nach folgender Formel zusammenzufassen:

$$C(\mu\text{g}/\text{kg}) = \frac{mB_{H1} \cdot C_{H1} + mB_{H2} \cdot C_{H2} + \dots + mB_{Hn} \cdot C_{Hn}}{\sum_{i=1}^n mB_i}$$

Dabei bedeuten: C: Stoffkonzentration ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), mB: Bodenmasse ( $\text{kg}/\text{m}^2$  und Horizontmächtigkeit) unter Verwendung der angegebenen Lagerungsdichte ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

H1–Hn: ausgewiesene Horizonte im Profilbereich.

Nach der Zusammenfassung aller in Frage kommender Profilbereiche ergaben sich für die Auswertung somit nachfolgend „aggregierte Bodenproben“:

- 194 Auflagehorizonte
- 188 Oberböden und
- 181 Unterböden

## 2.3. Statistische Analyseverfahren

Die vorliegenden Datensätze sind i. d. R. nicht normalverteilt. Dies hat zur Folge, daß alle angewandten Testverfahren verteilungsunabhängig sein müssen und daß zur Charakterisierung der Datenkollektive Medianwerte und Perzentile den Mittelwerten vorgezogen werden.

Folgende statistische Analyseverfahren wurden im Rahmen der Datenauswertung eingesetzt:

### Ausreißertest

Zur Eliminierung von Extremwerten aus dem Datenkollektiv werden die Daten einer Ausreißeranalyse unterzogen. Zur Kennzeichnung von Ausreißern wurde der „4-Sigma-Bereich ( $\bar{x} \pm 4 \sigma$ ) gewählt (vgl. SACHS 1992).

### Deskriptive Statistik

In den Ergebnistabellen der statistischen Kenngrößen sind überwiegend folgende deskriptive Parameter aufgeführt:

- Stichprobenumfang (n)
- Minimum (Min)
- Maximum (Max)
- Prozentanteil kleiner Nachweisgrenze ( $\% < N_g$ )
- arithmetischer Mittelwert ( $\bar{x}$ )
- Standardabweichung (S) (als  $\sigma$  n-1 berechnet)
- Zentralwert (Median [Med])
- 90 %-Perzentil

### Signifikanztests

Um die Schadstoffgehalte auf einem möglichst differenzierten Niveau angeben zu können bzw. um bei Korrelationen sog. Inhomogenitätskorrelationen zu vermeiden, ist es notwendig zu prüfen, inwieweit Daten derselben oder unterschiedlichen Grundgesamtheiten angehören. Als statistisches Verfahren für den Vergleich mehrerer verteilungsunabhängiger Stichproben (Auflagen, Ober- u. Unterböden, Cv-Horizonte) fand der H-Test von KRUSKAL und WALLIS (vgl. SACHS 1992) Anwendung.

### Korrelationsanalysen

Das Bestehen korrelativer Zusammenhänge zwischen den einzelnen Untersuchungsparametern wurden mit der verteilungsunabhängigen Rangkorrelationsanalyse nach SPEARMAN überprüft (s. SACHS 1992).

### Geostatistisches Analyseverfahren (Kriging)

Für die statistische Bearbeitung raumbezogener Daten reichen die Methoden der klassischen Statistik nicht mehr aus, wenn die relativen Lagebeziehungen der räumlichen Bezugseinheiten zueinander von Bedeutung sind. Dies erfordert die Anwendung geostatistischer Analyseverfahren, wie z. B. Kriging. Im Unterschied zu den konventionellen Verfahren setzen diese Verfahren keine stochastische Unabhängigkeit des Geophänomens voraus, sondern berücksichtigen die für räumliche Prozesse charakteristischen distanz- und richtungsabhängigen Nachbarschaftseffekte. Detaillierte Informationen zum Kriging-Verfahren können CRESSIE (1990) und MYERS (1997) entnommen werden.

Im vorliegenden Fall soll das Kriging-Verfahren helfen, räumliche Strukturen der Problemstoffgehalte in den Auflagen und Oberböden von Forststandorten aufzudecken. Durchgeführt wurden das Kriging mit dem Programm „Surfer“ Version 6 der Golden Software, Inc. Colorado, USA.

### 3. Ergebnisse

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse in Kapitel 2 genannter Problemstoffe stoffspezifisch vorgestellt. Dabei werden zunächst die horizontbezogenen statistischen Kenngrößen sowie Hintergrundwerte tabellarisch und anschließend die räumlich differenzierten Hintergrundwerte für die organischen Auflagehorizonte graphisch dargestellt.

#### 3.1. Dioxine und Furane (PCDD/F)

Unter dem Begriff „Dioxin“ wird in der Öffentlichkeit die gesamte Stoffklasse der polychlorierten Dibenzodioxine mit insgesamt 75 Isomeren verstanden. Meist werden die polychlorierten Dibenzofurane (mit 135 Isomeren) dazugerechnet. Spätestens seit dem Seveso-Unfall im Juli 1976 erlangte dieses starke, von Menschenhand hergestellte Umweltgift traurige Berühmtheit. Dioxine sind außerordentlich stabile Verbindungen, die vorwiegend bei industriellen Prozessen entstehen. Sie entstehen aber auch als Nebenprodukte vieler thermischer Prozesse, so z. B. bei Müllverbrennungsanlagen, Waldbränden und beim Kraftfahrzeugverkehr und unterliegen potentiell somit einer ubiquitären Verbreitung. Durch Inkrafttreten neuer Grenzwerte für Abluft in Müllverbrennungsanlagen und des Verbotes von bleihaltigem Normalbenzin wurden die Dioxinmissionen deutlich verringert. Zur Bewertung vorliegender Bodengehalte können die Maßnahmenwerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung herangezogen werden: Kinderspielflächen: 100 ng I-TEq/kg TS; Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen: 1000 ng I-TEq/kg TS; Industrie- und Gewerbegrundstücke: 10 000 ng I-TEq/kg TS.

##### 3.1.1. Deskriptive Statistik und Hintergrundwerte

In Tabelle 1 sind die statistischen Kenngrößen und die durch das 90%-Perzentil der ausreißerbereinigten Daten charakterisierten Hintergrundwerte der PCDD/F in den Auflagen und Oberböden bayerischer Waldstandorte zusammengefaßt und ergeben folgendes Bild:

Die hier abgeleiteten Hintergrundwerte für Auflagen (36 ng I-TEq/kg TS bzw. 37 ng BGA-TEq/kg TS) stimmen mit den Daten der Erhebungen aus den Jahren 1989–1990 (90%-Perzentile: 30 ng I-TEq/kg TS bzw. 33 ng BGA-TEq/kg TS) gut überein.

Auch die Hintergrundwerte der Oberböden liegen mit 4,6 ng I-TEq/kg TS bzw. 4,4 ng BGA-TEq/kg TS in der Größenordnung, wie sie für bayerische Oberböden bereits in LABO (1995) angegeben werden (3,3 bzw. 4,6 ng I-TEq/kg TS).

Die räumliche Differenzierung der Schadstoffgehalte in Auflagen hat zum Ziel, Regionen mit höheren Dioxingehalten von denen mit niedrigeren Gehalten zu trennen und sie durch „regionale“ Hintergrundwerte zu charakterisieren. Die insgesamt geringe Datendichte erlaubt die ermittelten Ergebnisse allerdings lediglich als erste Hinweise zu interpretieren.

Durch die Anwendung des Kriging-Verfahrens können die räumlich differenzierten PCDD/F-Gehalte für Auflagen in Abbildung 2 dargestellt werden. Dabei sind erhöhte Werte v. a. im nordöstlichen Bayern (Hof–Coburg–Bayreuth) zu erkennen. Da die Dioxineinträge an den Untersuchungsstandorten ausschließlich über den Luftpfad erfolgen, gibt die Karte darüber hinaus einen Hinweis auf die Dioxin-Immissionssituation in Bayern.

### 3.2. Polychlorierte Biphenyle (PCB)

PCB sind chlorierte aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen anthropogenen Ursprungs. Aufgrund ihrer hohen Viskosität, ihres hohen Siedepunktes, ihrer thermischen Stabilität und schweren Brennbarkeit findet diese hydrophobe, wenig wasserlösliche Substanzklasse vielseitige Verwendung (z. B. Isolier- und Kühlmittel oder auch als Hydraulikflüssigkeit). Da PCB nur in geschlossenen Systemen angewendet werden dürfen, sind häufige Emissionsquellen Leckagen, von wo aus die Ausbreitung in die Umwelt über den Luft- und Wasserweg erfolgt.

Die Bodenschutzverordnung gibt beim Wirkungspfad Boden–Mensch PCB-Prüfwerte an, die zwischen 400 µg/kg TS für Kinderspielflächen und 40 mg/kg TS bei Industrie- und Gewerbeflächen variieren.

Die hier vorgestellten PCB-Gehalte in Auflagen, Oberböden und Unterböden bayerischer Waldstandorte ergeben sich durch Addition der PCB mit den IUPAC-PCB-Nr. 28, 52, 101, 138, 153 und 180 (entspricht dem in der Literatur häufig verwendeten Begriff der „Ballschmitter-PCB“).

#### 3.2.1. Deskriptive Statistik und Hintergrundwerte

In Tabelle 2 sind die PCB-Gehalte in den Auflagen, Oberböden und Unterböden bayerischer Forststandorte zusammengefaßt.

Tabelle 1: Statistische Kenngrößen für PCDD/F (ng/kg TS) in Waldböden Bayerns

	Auflagen		Oberböden	
	I-TEq <sup>9</sup>	BGA-TEq <sup>10</sup>	I-TEq	BGA-TEq
n <sup>1</sup>	191	192	149	149
Min <sup>2</sup>	1,7	1,8	0,28	0,28
Max <sup>3</sup>	68	77	8,0	9,6
% < Ng <sup>4</sup>	–	–	–	–
$\bar{x}$ <sup>5</sup>	19	21	2,3	2,3
S <sup>6</sup>	12	13	1,7	1,8
Med <sup>7</sup>	17	18	1,8	1,9
90 % <sup>8</sup>	36	37	4,6	4,4

Symbole:  
n<sup>1</sup>: Stichprobenumfang  
Min<sup>2</sup>: Minimum  
Max<sup>3</sup>: Maximum  
% < Ng<sup>4</sup>: Prozentanteil kleiner Nachweisgrenze  
 $\bar{x}$ <sup>5</sup>: arithmetischer Mittelwert  
S<sup>6</sup>: Standardabweichung ( $\sigma$  n-1)  
Med<sup>7</sup>: Median (= 50%-Perzentil)  
90 %<sup>8</sup>: 90%-Perzentil (Hintergrundwert)  
I-TEq<sup>9</sup>: Toxizitätsäquivalent berechnet mittels NATO/CCMS-Koeffizienten  
BGA-TEq<sup>10</sup>: Toxizitätsäquivalent berechnet mittels BGA-Koeffizienten

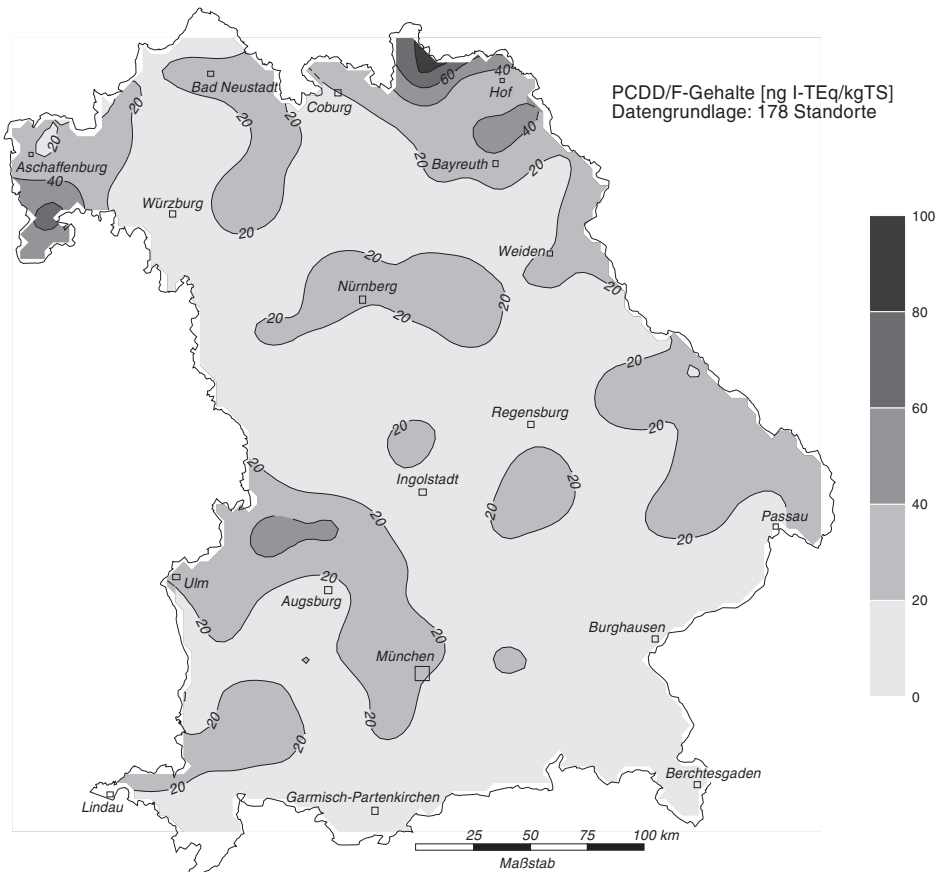


Abb. 2. Räumlich differenzierte Dioxin-Gehalte (I-TEq) in Auflagen bayerischer Fichtenstandorte.

Beim Vergleich der arithmetischen Mittelwerte der Auflagen sowie Ober- und Unterböden fällt auf, daß die Gehalte mit zunehmender Tiefe je Profilbereich etwa um den Faktor 20 kleiner werden. Die mittleren Gehalte der Auflagen liegen bei  $43 \mu\text{g}/\text{kg TS}$ , die der Oberböden bei  $2,2 \mu\text{g}/\text{kg TS}$ , während in den Unterböden nur mehr  $0,1 \mu\text{g}/\text{kg TS}$  nachzuweisen waren. In den Oberböden liegt der Prozentanteil nicht nachweisbarer Stoffgehalte bei 31 %, in den Unterböden bei 91 %.

Vergleicht man die hier ermittelten Kenngrößen mit den länderspezifischen Gehalte für Forststandorte der LABO (1995) und den PCB-Gehalte an den Boden-Dauerbeobachtungsflächen Baden-Württembergs (arithmetischer Mittelwert der Auflagen) (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG 1995), liegen diese durchaus in gleicher Größenordnung.

Bezüglich der Hintergrundwerte können die hier erhobenen Daten lediglich mit eigenen, älteren Erhebungen sowie mit den Erhebungen aus Baden-Württemberg (LABO 1995) verglichen werden.

Während der Median in den Auflagen Baden-Württembergs und Bayerns nahezu identisch ist, liegt das 90%-Perzentil in Bayern mit 71 µg/kg TS niedriger als das in Baden-Württemberg mit 107 µg/kg TS. Dabei ist allerdings der um den Faktor 3 höhere Stichprobenumfang der bayerischen Erhebungen zu berücksichtigen.

Der Hintergrundwert im Oberboden bayerischer Waldstandorte liegt bei 6,1 µg/kg TS. Bei den Oberbodenkonzentrationen sind die Diskrepanzen zwischen den in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten deutlicher ausgeprägt. Während der Mediangehalt der Oberbodenhorizonte in Baden-Württemberg knapp doppelt so hoch liegt wie in Bayern, weist das 90%-Perzentil Baden-Württembergs einen vierfach höheren Gehalt auf (24 µg/kg TS). Der Hintergrundwert des Unterbodens liegt unterhalb der Nachweisgrenze, da bei 91 % aller Bodenproben keine PCB nachweisbar waren (vgl. Tab. 2). Vergleichswerte zu den PCB-Unterbodengehalten liegen derzeit nicht vor.

Die räumlich differenzierten PCB-Hintergrundwerte in Auflagen sind der Abbildung 3 zu entnehmen.

Mit Hilfe des geostatistischen Flächeninterpolationsverfahrens können Regionen mit erhöhten PCB-Gehalten v. a. im Bereich um München, Ingolstadt, Augsburg und Neu-Ulm sowie um Nürnberg und Aschaffenburg dargestellt werden (vgl. Abb. 3).

Tabelle 2: Statistische Kenngrößen für PCB (µg/kg TS) in Waldböden Bayerns

	Auflagen	Oberböden	Unterböden
	PCB <sup>9</sup>	PCB	PCB
N <sup>1</sup>	188	183	88
Min <sup>2</sup>	5,2	<Ng	<Ng
Max <sup>3</sup>	115	17	4,2
% < Ng <sup>4</sup>	–	31	91
$\bar{x}$ <sup>5</sup>	43	2,2	0,1
S <sup>6</sup>	21	3,2	0,53
Med <sup>7</sup>	39	1,2	<Ng
90 % <sup>8</sup>	71	6,1	<Ng

Symbole:  
n<sup>1</sup>: Stichprobenumfang  
Min<sup>2</sup>: Minimum; Ng = Nachweisgrenze  
Max<sup>3</sup>: Maximum  
% < Ng<sup>4</sup>: Prozentanteil kleiner Nachweisgrenze  
 $\bar{x}$ <sup>5</sup>: arithmetischer Mittelwert  
S<sup>6</sup>: Standardabweichung ( $\sigma$  n-1)  
Med<sup>7</sup>: Median (= 50%-Perzentil)  
90 %<sup>8</sup>: 90%-Perzentil (Hintergrundwert)  
PCB<sup>9</sup>: Summe polychlorierter Biphenyle mit den IUPAC-Nr.: 28+52+101+138+153+180

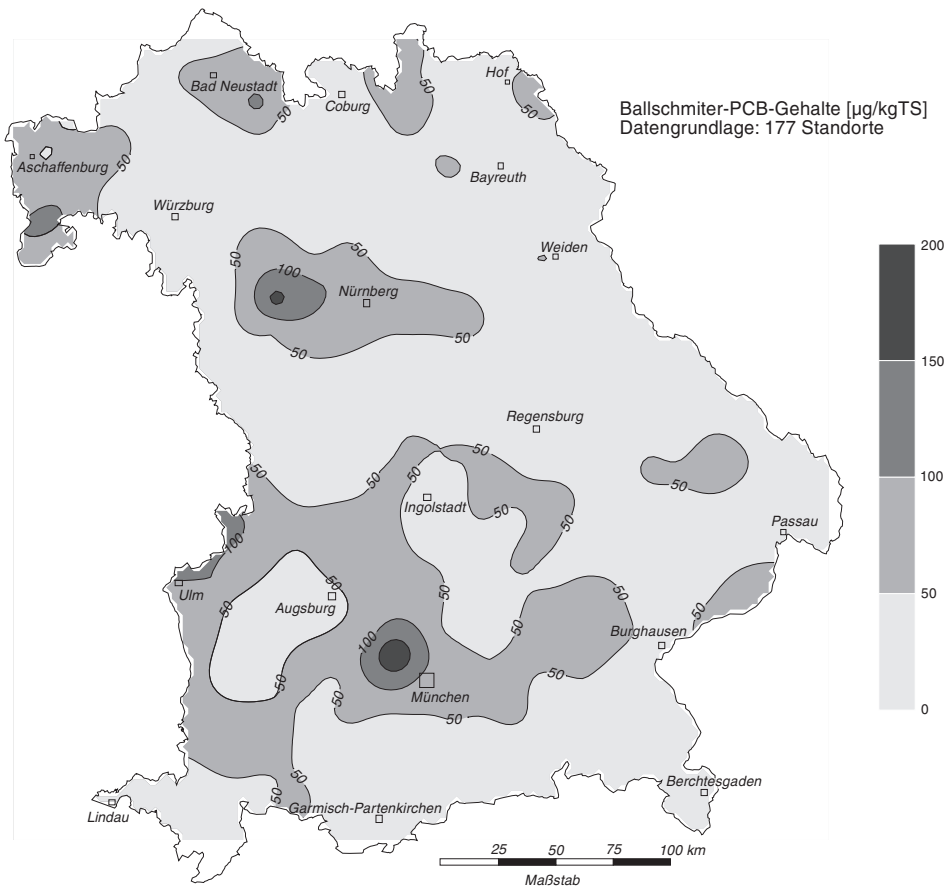


Abb. 3. Räumlich differenzierte PCB-Gehalte in Auflagen bayerischer Fichtenstandorte.

### 3.3. Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)

Bei den PAH handelt es sich um eine Stoffklasse mit weit über 100 Einzelverbindungen. Diese heterogenen Verbindungen bestehen aus drei oder mehr kondensierten aromatischen Ringen, die unterschiedlich angeordnet sein können. Auch hier stellen thermische Prozesse bei unvollständiger Verbrennung fossiler Energieträger (Holz, Kohle, Öl, Benzin, Diesel) die Hauptemissionsquelle dar. Aber auch Mikroorganismen können für die Entstehung von PAH verantwortlich sein. Die Ausbreitung der PAH erfolgt großenteils nach Bindung an Staubpartikel über die Luft.

Die Verordnung des Bundes-Bodenschutzgesetzes gibt für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser einen Prüfwert von  $0,20 \mu\text{g}/\text{l}$  für EPA-PAH in Sickerwässern an. PAH-Bodengehalte sind in der Verordnung nicht aufgeführt.

Aus der Vielzahl der vorliegenden Einzelverbindungen wurden für die statistische Auswertung die Summenparameter EPA-PAH, GLA-PAH und das als Leitparameter ausgewiesene Benzo(a)pyren (BAP) ausgewählt. Die räumliche Differenzierung der PAH-Gehalte und ihre kartographische Darstellung wird auf die EPA-PAH beschränkt (s. Abb. 4).

Der Parameter EPA-PAH umfaßt die aufaddierten Konzentrationen von 16 Einzelverbindungen. Diese 16 Verbindungen beinhalten auch die 4 leichter flüchtigen PAH Naphthalin (NAP), Acenaphthylen (ACNYL), Acenaphten (ACN) und Fluoren (FLUO), die einen Siedepunkt kleiner als 300 °C aufweisen. Die Flüchtigkeit dieser Verbindungen stellt für den Summenparameter EPA-PAH daher die Reproduzierbarkeit der Bodenprobennahme in Frage, sofern nicht spezielle Maßnahmen gegen das Ausgasen getroffen werden und eine Probenbehandlung nach den Vorgaben für die Untersuchung leichtflüchtiger Verbindungen erfolgt. Da dies aber bei der Probenentnahme (vgl. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 1997) und der Probenaufbereitung für die Untersuchung auf (mäßig flüchtige) organische Problemstoffe i. d. R. nicht erfolgt (vgl. auch DIN ISO 14507, Entwurf 1997), ist die Verwendung des Summenparameters EPA-PAH kritisch zu betrachten.

Zur Umgehung dieses Problems wird vergleichend der Parameter „GLA-PAH“ eingeführt, der nur Verbindungen mit > 300 °C berücksichtigt und sich aus folgenden Verbindungen zusammensetzt: Phenanthren (PHE), Anthracen (ANT), Fluoranthren (FLA), Pyren (PYR), Benz(a)anthracen (BAA), Chrysen (CHR), Benzo(b)fluoranthren (BBF), Benzo(j)fluoranthren (BJF), Benzo(k)fluoranthren (BKF), Benzo(e)pyren (BEP), Benzo(a)pyren (BAP), Perylen (PEYL), Dibenz(a,h)anthracen (DBAHA), Indeno(1,2,3-cd)pyren (IND) und Benzo(g,h,i)-perylene (BGHIP).

Tabelle 3: Statistische Kenngrößen für PAH (µg/kg TS) in Waldböden Bayerns

	Auflagen			Oberböden			Unterböden		
	BAP <sup>9</sup>	EPA-PAH <sup>10</sup>	GLA-PAH <sup>11</sup>	BAP	EPA-PAH	GLA-PAH	BAP	EPA-PAH	GLA-PAH
N <sup>1</sup>	191	192	192	185	185	185	88	88	88
Min <sup>2</sup>	<Ng	278	268	<Ng	3,1	3,1	<Ng	<Ng	<Ng
Max <sup>3</sup>	458	8621	9526	249	4326	4679	96	1284	1423
%<N <sup>4</sup>	1	–	–	1	–	–	67	12	12
$\bar{x}$ <sup>5</sup>	130	2718	3023	26	454	506	1,8	34	38
S <sup>6</sup>	88	1757	1959	34	542	597	10	138	153
Med <sup>7</sup>	108	2229	2542	15	298	335	<Ng	9,5	10
90% <sup>8</sup>	259	5397	5995	58	970	1105	2,8	83	92
Symbole: n <sup>1</sup> : Stichprobenumfang Min <sup>2</sup> : Minimum; Ng = Nachweisgrenze Max <sup>3</sup> : Maximum % < Ng <sup>4</sup> : Prozentanteil kleiner Nachweisgrenze $\bar{x}$ <sup>5</sup> : arithmetischer Mittelwert S <sup>6</sup> : Standardabweichung ( $\sigma$ n-1) Med <sup>7</sup> : Median (= 50%-Perzentil) 90% <sup>8</sup> : 90%-Perzentil (Hintergrundwert) BAP <sup>9</sup> : Benzo(a)pyren EPA-PAH <sup>10</sup> : NAP+ACNYL+ACN+FLUO+PHE+ANT+FLA+PYR+BAA+CHR+BBF+BKF+BAP+DBAHA+IND+BGHIP GLA-PAH <sup>11</sup> : PHE+ANT+FLA+PYR+BAA+CHR+BBF+BJF+BKF+BEP+BAP+PEYL+DBAHA+IND+BGHIP									



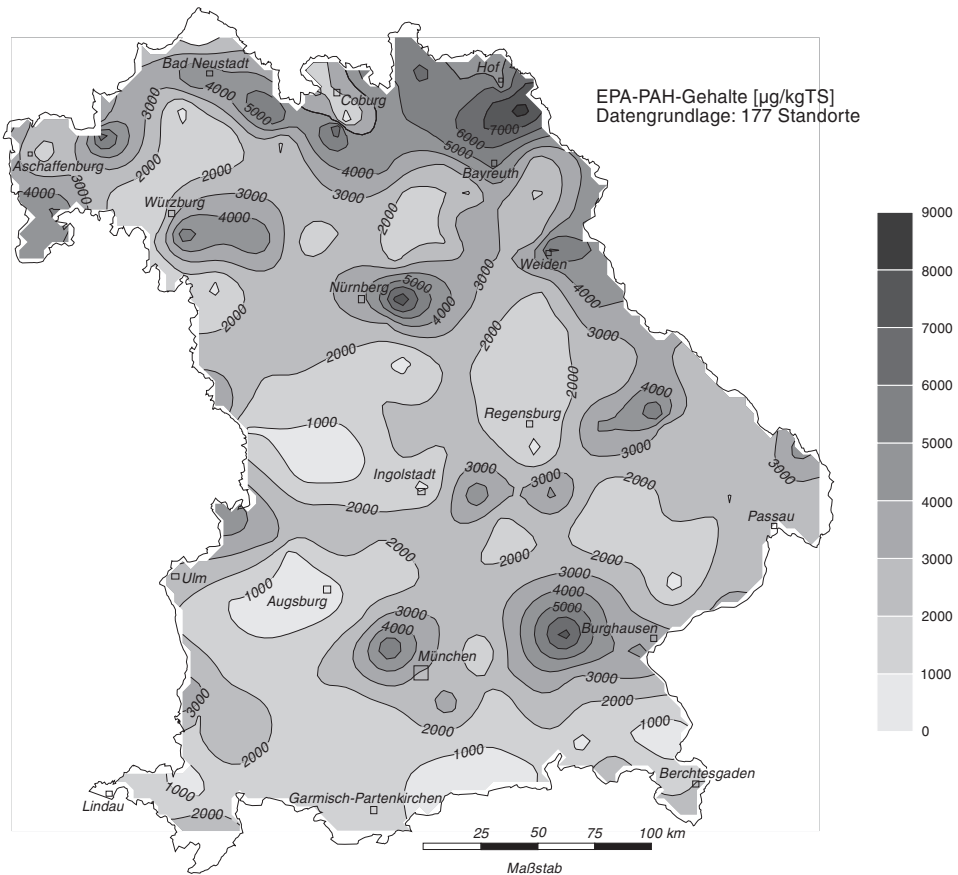


Abb. 4. Räumlich differenzierte EPA-PAH-Hintergrundgehalte in Auflagen bayerischer Fichtenstandorte.

### 3.3.1. Deskriptive Statistik und Hintergrundwerte

Für die PAH können die deskriptiven statistischen Parameter der organischen Auflagen sowie der Ober- und Unterbodenhorizonte der Tabelle 3 entnommen werden.

Mittels eigener, älterer Erhebungen (JONECK & PRINZ 1993) können Vergleiche mit Benzo(a)pyren (BAP) in Auflagen und Oberböden angestellt werden. Dabei stimmen die Mittelwerte von  $100 \mu\text{g}/\text{kg TS}$  in den Auflagen bzw.  $17 \mu\text{g}/\text{kg TS}$  in den Oberbodenhorizonten recht gut mit diesen Erhebungen ( $130 \mu\text{g}/\text{kg TS}$  in Auflagen und  $26 \mu\text{g}/\text{kg TS}$  in den Oberböden) überein.

Der Mittelwert der Unterbodenhorizonte liegt bei  $1,8 \mu\text{g}/\text{kg TS}$  (vgl. Tab. 3), kann aber mittels eines Vergleiches nicht verifiziert werden.

Gegenüber den vorliegenden Mediangehalten bayerischer Forstböden ( $15 \mu\text{g}/\text{kg TS}$  in den Oberböden und  $108 \mu\text{g}/\text{kg TS}$  in den Auflagehorizonten) gibt die LABO (1995) mittlere BAP-Gehalte in Waldböden Deutschlands von  $24 \mu\text{g}/\text{kg TS}$  für die Oberböden und  $120 \mu\text{g}/\text{kg TS}$  für Auflagen an.

Für die EPA-PAH ergibt ein Vergleich folgendes Bild. In Baden-Württemberg weisen die Auflagenhorizonte mediane Gehalte von 1147 µg/kg TS auf, in Bayern liegen die Konzentrationen etwa um den Faktor 2 höher (2229 µg/kg TS). Im Gegensatz dazu liegen die EPA-PAH-Gehalte in Waldoberböden mit 254 µg/kg TS in Baden-Württemberg und 298 µg/kg TS in Bayern in der gleichen Größenordnung. Forst-Oberböden in Brandenburg weisen dagegen für EPA-PAH einen Mediangehalt aus, der unterhalb der Nachweisgrenze liegt. Die Höhe der jeweiligen Nachweisgrenzen ist jedoch nicht bekannt (LABO 1995).

Für die Hintergrundwerte der Auflagen gegenüber jenen der Ober- und Unterböden ist unabhängig vom Parameter eine deutliche Abnahme der Gehalte mit zunehmender Profiltiefe zu beobachten. Während das 90%-Perzentil zwischen Auflagen und Oberböden um den Faktor 5 abnimmt, steigert sich die Reduzierung zwischen Oberböden und Unterböden um eine Zehnerpotenz. Die räumlich differenzierten Hintergrundgehalte sind für die EPA-PAH der Abbildung 4 zu entnehmen.

Hinweise auf erhöhte EPA-PAH-Gehalte treten vorwiegend im nord- bzw. nordöstlichen Raum Bayerns entlang der Achse Aschaffenburg–Coburg–Hof–Bayreuth–Weiden auf. Die ausgewiesenen lokalen, inselartigen Erhöhungen im Bereich der Großstädte Würzburg, Nürnberg, München und Burghausen sind aufgrund der Datendichte als Artefakte zu betrachten.

### 3.4. Adsorbierte organisch gebundene Halogene (AOX)

Der Parameter AOX nach DIN 38414 S18 (= adsorbierte organisch gebundene Halogene) für Schlämme und Sedimente hat einen engen Bezug zur Wasseranalytik und wird auch als Erweiterung der AOX-Analytik für Wasser (Adsorbierbare organisch gebundene Halogene – DIN 38409 H 14) verstanden (BESLER & LASCHKA 1991). Nachgewiesen wird nach Verdrängung der anorganischen Halogenverbindungen und Verbrennung der Probe v. a. der Gehalt an Chlor und Brom; die Stoffangabe erfolgt als Chlor.

Die Bestimmung des AOX-Gehaltes erfolgt meist unter Verwendung von mikrocoulometrischen Nachweismethoden, d. h., die als Chlor angegebenen Werte beinhalten möglicherweise zumindest auch bromhaltige organische Verbindungen.

AOX ist ein Summenparameter, der als Maß für den Eintrag halogenierter organischer Verbindungen in die Umwelt dienen soll und in vielen wissenschaftlichen Arbeiten auf seine Aussagefähigkeit und Grenzen untersucht wurde (HOFFMANN et al. 1988; NKUSI & MÜLLER 1994). Allerdings sind nur beschränkt gültige Zusammenhänge zwischen Einzelstoffen und dem Summenparameter in Schlämmen oder mit Klärschlamm beaufschlagten Böden gefunden worden. Grundsätzlich gilt, daß nur ein sehr geringer Anteil der Einzelsubstanzen, die den Parameter AOX laden, bislang identifiziert wurde.

Die in bayerischen Klärschlämmen und Sedimenten ermittelten AOX-Gehalte liegen in mittlerem bis hohem ppm-Bereich (s. Tab. 4), während die standardmäßig analysierten halogenierten Einzelsubstanzen im unteren bis mittleren ppb-Bereich angesiedelt sind.

Die Möglichkeit der landwirtschaftlichen Nutzung von Klärschlamm in Verbindung mit dem Aspekt des vorsorgenden Bodenschutzes machte die Einführung des Parameters AOX im Rahmen der Klärschlammverordnung notwendig (BESLER & LASCHKA 1991). Zum einen wird dadurch die „summarische“ Quantifizierung der Stoffbelastung mit halogenhaltigen organischen Verbindungen im Klärschlamm ermöglicht. Zum anderen wird durch die Festlegung

eines AOX-Grenzwertes ein Maßstab für die qualitative Anforderung an landwirtschaftlich verwertbare Klärschlämme gesetzt.

Allerdings entstehen auch in augenscheinlich nicht unmittelbar anthropogen beeinflussten Regionen und Umweltkompartimenten durch natürliche Prozesse halogenhaltige organische Verbindungen, was durch viele neuere Untersuchungen nachgewiesen wurde (GRIMVALL & DE LEER 1995). Es ist somit notwendig, die Eignung des Parameters AOX als Zeiger für anthropogen verursachte Belastungen zu überprüfen. Das bedeutet, daß der Umfang der natürlichen Grundgehalte herausgearbeitet werden muß.

*Tabelle 4:* Typische AOX-Gehaltsbereiche in Klärschlämmen sowie Flußsedimenten (mg/kg TS)

Kommunale Klärschlämme*	ca. 200–600
Grundbelastung Klärschlämme**	ca. 60–70
Kläranlagen < 10 000 EGW „normal“***	ca. 200–400
Spitzenwerte Klärschlämme**	ca. 1600–3000
Mainsedimente*	ca. 60–100

\*HOFFMANN et al. 1988; \*\*BOJE-HADERER & MACH 1991

Die Nachweisgrenze des Bestimmungsverfahrens liegt bei 0,5 µg Chlor absolut. Obwohl die Analysen bis zum Cv-Horizont durchgeführt wurden, werden vor allem die Ergebnisse für Auflagen und Oberböden angegeben, da die Werte zum Untergrund hin deutlich abnehmen.

### 3.4.1. Deskriptive Statistik und Hintergrundwerte

In Tabelle 5 sind die statistischen Kenngrößen der AOX-Gehalte in den Auflagen und Oberböden bayerischer Waldböden zusammengefaßt. Erstmals können für Auflagen und Oberböden Hintergrundwerte für AOX in bayerischen Forststandorten angegeben werden. Beim Vergleich der Gehalte in den unterschiedlichen Profilbereichen kann eine Abnahme der Konzentrationen von den Auflagen zu den Oberböden hin verzeichnet werden, die etwa den Faktor 3 beträgt (vgl. Mediangehalte in Tab. 5).

Der arithmetische Mittelwert beträgt bei den Auflagen 159 mg/kg TS, während die Oberböden 50 mg/kg TS aufweisen. Länderspezifische Erhebungen, wie sie für diverse organische Problemstoffe in der LABO (1995) zusammengefaßt werden, liegen für AOX-Gehalte nicht vor. Ein Vergleich mit Daten aus der Literatur ist generell nur eingeschränkt möglich. Öberg & Gron (1998) geben für einen Fichtenbestand in Dänemark Bodengehalte (Entnahmetiefe bis 60 cm) zwischen 67 und 180 mg/kg TS an.

Erste Hinweise einer räumlichen Differenzierung der AOX-Hintergrundwerte für Auflagehorizonte und Oberböden sind den Abbildungen 5 und 6 zu entnehmen.

In Abbildung 5 werden Regionen ausgewiesen, deren AOX-Gehalte sich in den Auflagen deutlich voneinander unterscheiden. Erhöhte AOX-Konzentrationen in Auflagehorizonten sind v. a. im ostbayerischen Raum, aber auch im Bereich der Städte Aschaffenburg, Ingolstadt und S München zu beobachten.

Auch bei den Oberböden können räumlich differenzierte AOX-Gehalte ausgewiesen werden. Die höchsten Gehalte sind vor allem im ostbayerischen Raum zu verzeichnen. Daran schließen sich Flächen W Nürnberg und im Raum Aschaffenburg an (vgl. Abb. 6).

*Tabelle 5: Statistische Kenngrößen für AOX (mg/kg TS) in Waldböden Bayerns*

	Auflagen	Oberböden
N <sup>1</sup>	192	185
Min <sup>2</sup>	32	13
Max <sup>3</sup>	364	135
% < Ng <sup>4</sup>	–	–
$\bar{x}$ <sup>5</sup>	159	50
S <sup>6</sup>	55	24
Med <sup>7</sup>	153	46
90 % <sup>8</sup>	232	81
Symbole: n <sup>1</sup> : Stichprobenumfang Min <sup>2</sup> : Minimum Max <sup>3</sup> : Maximum % < Ng <sup>4</sup> : Prozentanteil kleiner Nachweisgrenze $\bar{x}$ <sup>5</sup> : arithmetischer Mittelwert S <sup>6</sup> : Standardabweichung ( $\sigma$ n-1) Med <sup>7</sup> : Median (= 50%-Perzentil) 90 % <sup>8</sup> : 90%-Perzentil (Hintergrundwert)		

### 3.5. Anorganische Leitparameter für organische Problemstoffe

Das Auftreten anthropogen eingetragener, organischer bzw. anorganischer Problemstoffe muß nicht zwangsläufig zur getrennten Betrachtung führen. Abgesehen von der potentiellen Identifizierung von Quellen ist es sinnvoll zu prüfen, ob es für die aufwendig zu bestimmten organischen Problemstoffe in Böden kostengünstiger zu ermittelnde, anorganische Leitparameter (z. B. Schwermetalle) gibt. Das vorliegenden Datenkollektiv der Auflagen und Oberböden ist besonders geeignet, dieser Fragestellung nachzugehen, da an diesen Standorten die luftgetragenen Stoffeinträge die Schadstoffgehalte der Böden bestimmen.

Zur Überprüfung eines Zusammenhanges zwischen organischen und anorganischen Problemstoffen wird als statistische Methode die verteilungsunabhängige SPEARMANSche Rangkorrelation herangezogen. Der Rangkorrelationskoeffizient  $r_s$  gibt dabei die Güte der Beziehung für die vorliegende Stichprobe an ( $r_s = 1$ : perfekte Beziehung;  $r_s = 0$ : keine Beziehung). Das Signifikanzniveau ist ein Maß für die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Beziehung. Signifikante Beziehungen mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 95 % werden durch „\*“, hoch signifikante (Eintrittswahrscheinlichkeit 99 %) durch „\*\*“ und höchst signifikante Beziehungen (Eintrittswahrscheinlichkeit 99,9 %) durch „\*\*\*“ gekennzeichnet (vgl. Tab. 6).

Der vorliegende Datensatz bietet weit über 300 Verschneidungsmöglichkeiten. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird hier die Darstellung der Korrelationsergebnisse auf folgende Problemstoffe beschränkt werden:

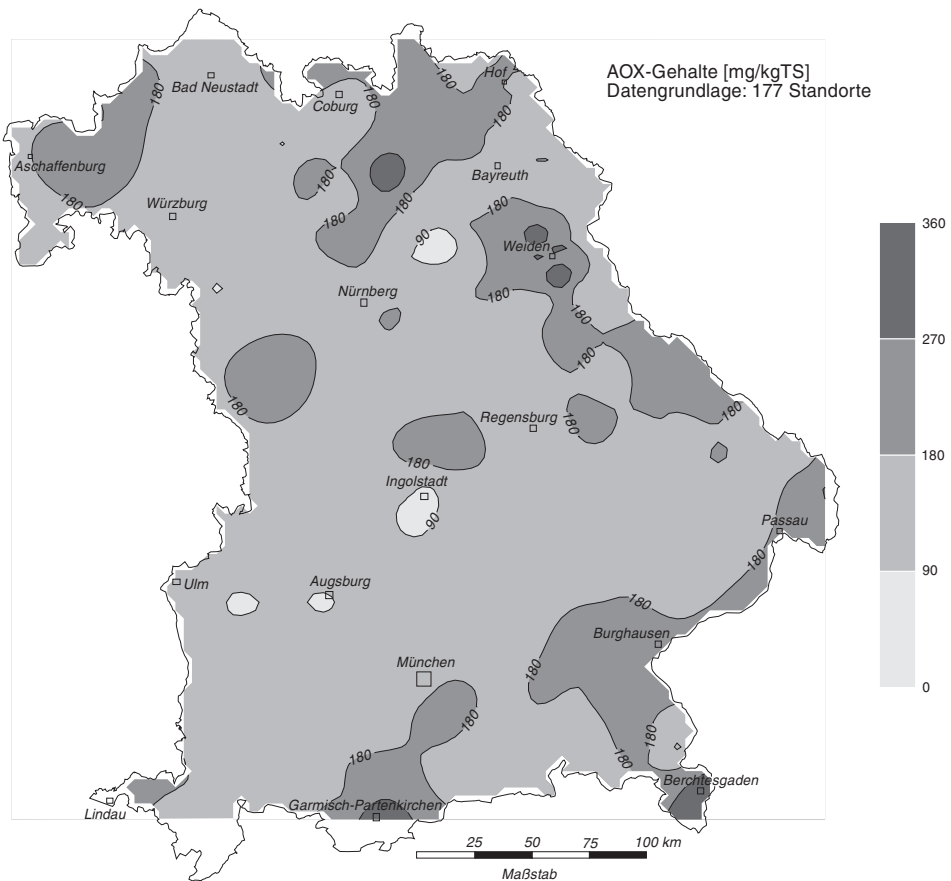


Abb. 5. Räumlich differenzierte AOX-Hintergrundgehalte in Auflagen bayerischer Fichtenstandorte.

- Organika: EPA-PAH, GLA-PAH, BAP, PCDD/F, PCB
- Anorganika: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, As, Se

### 3.5.1. Korrelationen zwischen Organika und Schwermetallen in Auflagehorizonten

Tabelle 6 zeigt die Rangkorrelationskoeffizienten für Schwermetalle und organische Problemstoffe in den Auflagen. Koeffizienten  $> 0,58$  sind durch Unterstreichung markiert.

Ausschließlich für Blei und Selen konnten Korrelationen zu den organischen Problemstoffen mit  $r_s = 0,58^{***}$  ermittelt werden. Dabei wurden die höchsten Korrelationskoeffizienten für Blei und Selen jeweils mit den EPA- und GLA-PAH berechnet. Die Korrelationen sind ausnahmslos signifikant, aber durchweg relativ niedrig.

Die Verschneidung der EPA-PAH- mit den Bleigesamtgehalten (s. Abb. 7) ergibt mit  $r_s = 0,58^{***}$  eine hoch signifikante, wenn auch nicht sehr deutlich ausgeprägte Beziehung. Die Korrelation weist hier Standorte auf, an denen erhöhte Blei- bzw. EPA-PAH-Gehalte gemessen wurden, die aber nicht entsprechend korrespondieren. Die Ursache hierfür dürfte in punktuell erhöhten PAH-Immissionen zu suchen sein.

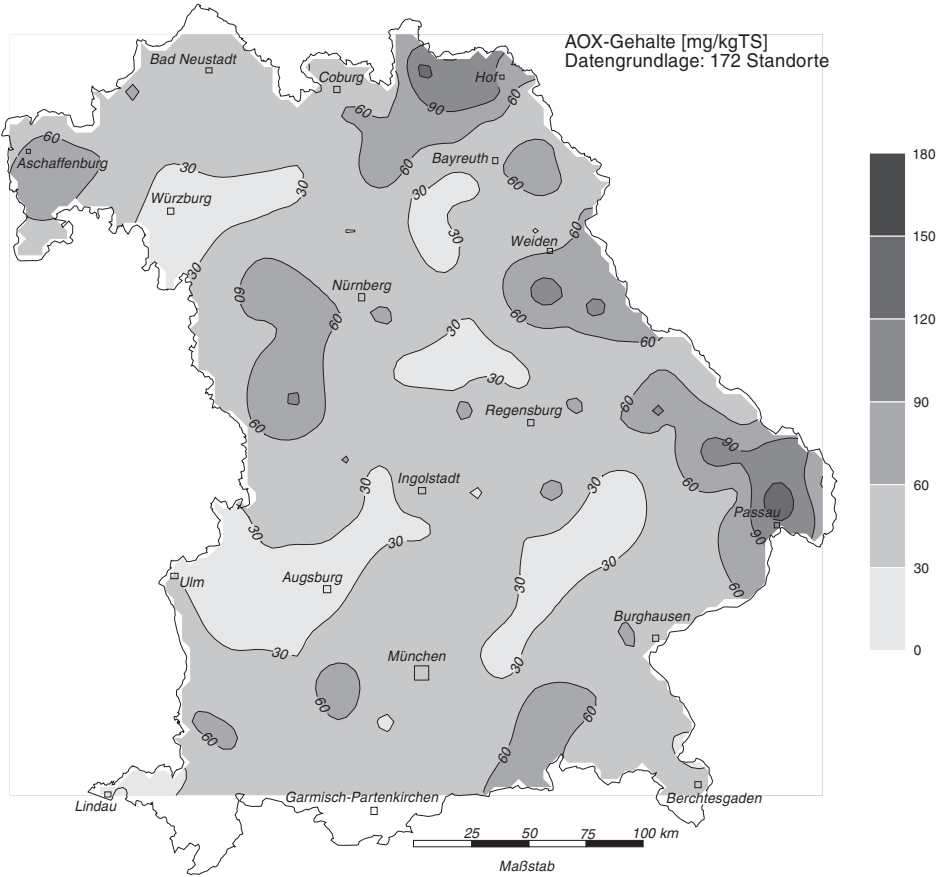


Abb. 6. Räumlich differenzierte AOX-Hintergrundgehalte in Oberböden bayerischer Fichtenstandorte.

Tabelle 6: Korrelationsmatrix (Rangkorrelation nach SPEARMAN) für Schwermetalle und ausgewählte organische Problemstoffe in Auflagen bayerischer Forststandorte

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Se
EPA-PAH	-0,03	-0,03	0,28***	0,06	0,58***	0,06	0,40***	0,58***
GLA-PAH	-0,02	-0,03	0,28***	0,05	0,58**	0,05	0,40**	0,59***
BAP	-0,08	-0,05	0,27***	-0,07	0,53***	0,00	0,34***	0,53***
I-TEq	-0,06	0,08	0,32***	0,10	0,47***	0,08	0,16*	0,39***
BGA-TEq	-0,08	0,07	0,32***	0,09	0,47***	0,05	0,15*	0,39***
PCB	0,21**	0,20**	0,14	-0,1	0,31***	0,22**	-0,08	0,15

Symbole:

\*: signifikant auf dem 95%-Signifikanzniveau

\*\* : signifikant auf dem 99%-Signifikanzniveau

\*\*\*: signifikant auf dem 99,9%-Signifikanzniveau

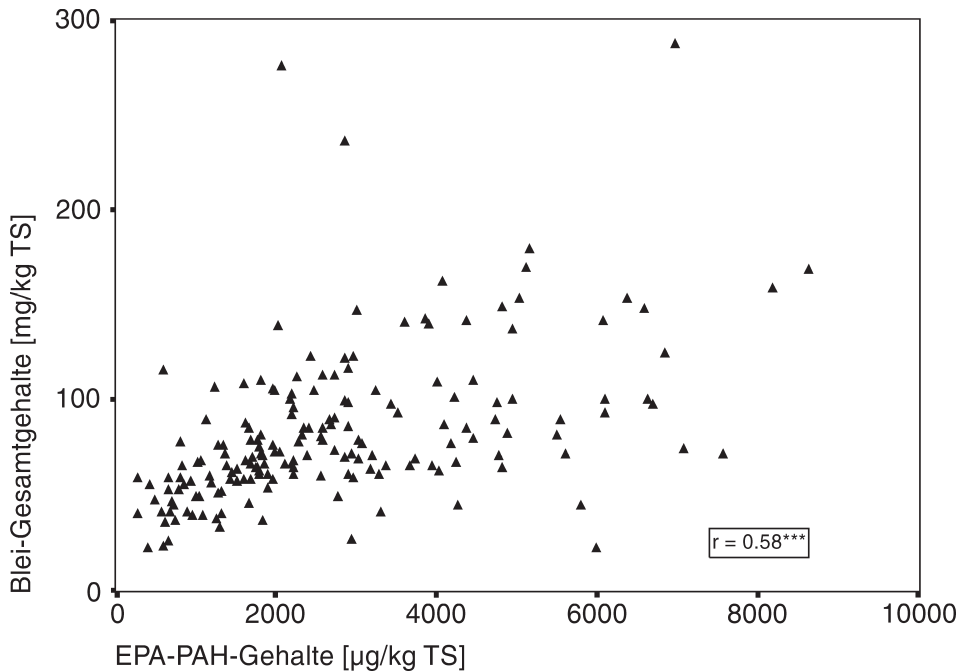


Abb. 7. Korrelation zwischen Blei und EPA-PAH in Auflagen (Fichtenstandorte).

Die Rangkorrelationskoeffizienten für die Problemstoffgehalte in den Oberböden sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Die Korrelationskoeffizienten liegen im Vergleich zu den Auflagen deutlich niedriger. Die höchsten signifikanten Koeffizienten wurden zwischen Blei und den GLA-PAH errechnet (0,50\*\*\*).

Tabelle 7: Korrelationsmatrix (Rangkorrelation nach Spearman) für Schwermetalle und ausgewählte organische Problemstoffe in Oberböden bayerischer Forststandorte

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Se
EPA-PAH	0,13	0,09	0,37***	0,24***	0,49***	0,30***	0,37***	0,43***
GLA-PAH	0,13	0,09	0,37***	0,24***	0,50***	0,30***	0,37***	0,44***
BAP	0,15	0,10	0,36***	0,27***	0,46***	0,32***	0,35***	0,40***
I-TEq	0,17*	0,26**	0,38***	0,29***	0,42***	0,23**	0,24**	0,39***
BGA-TEq	0,17*	0,25**	0,38***	0,29***	0,41***	0,23**	0,24**	0,37***
PCB	0,18*	0,13	0,32***	0,32***	0,31***	0,26***	0,25***	0,28***

Symbole:  
 \*: signifikant auf dem 95%-Signifikanzniveau  
 \*\*: signifikant auf dem 99%-Signifikanzniveau  
 \*\*\*: signifikant auf dem 99,9%-Signifikanzniveau

Wie im Kollektiv der Auflagen liegen auch hier Standorte vor, an denen erhöhte Blei-Gehalte nicht mit adäquat erhöhten PAH-Gehalten in Beziehung stehen. Auch hier ist anzunehmen, daß es sich um punktuell erhöhte Immissionen handelt.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, daß die Problemstoffgehalte in den Auflagen zum einen durch punktuelle, stoffspezifische Immissionen, zum anderen durch ubiquitäre Einträge verursacht werden. Ferner ist aber auch die hohe Sorptionskapazität der organischen Auflagen für zahlreiche Schadstoffe zu berücksichtigen.

An Hand der vorliegenden Datenbasis lassen sich v. a. aufgrund der unterschiedlichen (punktuellen und ubiquitären) Immissionssituation keine anorganischen Leitparameter für organische Problemstoffe ableiten.

### 3.6. Ammoniumnitratmobilisierbare Schwermetalle

In Böden vorkommende Schwermetalle können in Abhängigkeit der standortspezifischen Bedingungen, wie z. B. pH-Wert, Redoxpotential und Wasser/Boden-Verhältnis, mobil sein. Über den Grundwasserpfad oder den Weg über die Pflanze in die Nahrungskette kann beträchtlicher Schaden entstehen. Zur Gefahrenabwehr in Problemgebieten (z. B. Altlasten) und für Vorsorgemaßnahmen im Bereich des Bodenschutzes steht daher die Frage nach der Mobilisierbarkeit von Schwermetallen im Vordergrund, die wesentlich von der jeweiligen Bindungsform der Elemente abhängt.

Detaillierte Untersuchungen mit verschiedenen Extraktionsmitteln zu den Bindungsformen der Schwermetalle, wie von ZEIN & BRÜMMER (1989) und TESSIER et al. (1979) durchgeführt, mögen im Einzelfall sinnvoll sein, sind jedoch in der Routineuntersuchung großer Probenkollektive zu zeitaufwendig. Für die Praxis muß der komplexe Sachverhalt der Mobilität von Schwermetallen möglichst auf ein Verfahren reduziert werden. Bislang lieferte eine Vielzahl angewandter Untersuchungsverfahren (BRÜMMER et al. 1986; DÜRETH-JONECK 1992; FÖRSTNER 1983; KÖSTER & MERKEL 1982; THIELE & BRÜMMER 1993) verschiedene, nicht vergleichbare Ergebnisse.

Die Anwendung eines normierten Verfahrens war daher überfällig. Mit der Einführung eines DIN-Verfahrens (DIN 19730), das eine Extraktion mit Ammoniumnitrat vorschreibt, steht eine normierte Methode zur Bestimmung eines leicht mobilisierbaren Anteils an Schwermetallen zur Verfügung, welche auch Eingang in das Bundes-Bodenschutzgesetz gefunden hat. Ziel der durchgeführten Untersuchungen war es, einen Überblick über die durch Ammoniumnitrat mobilisierbaren Schwermetalle in den untersuchten Böden zu gewinnen, da für diese Untersuchungsmethode bisher kaum größere Probenkollektive landesweit untersucht wurden.

In die Untersuchungen wurden die Profilbereiche Oberboden, Unterboden und das verwitterte Ausgangsmaterial einbezogen. Die Extraktion wurde gemäß DIN 19730 durchgeführt. Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine Schüttelextraktion: 20 g Feinboden (< 2 mm) werden mit 50 ml 1-molarer Ammoniumnitratlösung versetzt und zwei Stunden im Überkopfschüttler geschüttelt. Anschließend werden die Proben in teflonbeschichteten Edelstahl-druckbehältern unter Druck filtriert und das Filtrat nach Zwischenverdünnung gemessen. Die Bestimmung der Spurenelemente erfolgte mit der ICP-MS.



### 3.6.1. Deskriptive Statistik und Hintergrundwerte

Um einen Überblick über Höhe und Verteilung der ammoniumnitratlöslichen Schwermetallgehalte zu gewinnen, wurden die Ergebnisse differenziert nach Oberböden, Unterböden und Ausgangsmaterial einer statistischen Auswertung unterzogen.

Für Werte unterhalb der Nachweisgrenze wurde hier der Wert der halben Nachweisgrenze eingesetzt. Des Weiteren wurden Ausreißer – im Sinne von Extremwerten – mit dem Statistikpaket SPSS (Anwendungssoftware) aussortiert. Die ermittelten statistischen Parameter der untersuchten Elementgehalte sind in Tabelle 8 dargestellt.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die höchsten mobilisierbaren Gehalte ergeben sich in allen untersuchten Profilmereichen für die Elemente Pb und Zn. Die 90%-Perzentile nehmen innerhalb aller Profilmereichen in der Reihenfolge: Zn > Pb > Ni > Cu > Cr > Cd ab.

Tabelle 8: Statistische Parameter ammoniumnitratlöslicher Schwermetalle in µg/kg

Oberböden						
Element	Anzahl	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Perzentile	
					90 %	95 %
Cd	217	30	26	20	57	72
Cr	219	43	40	33	87	101
Cu	211	63	52	45	133	156
Ni	214	389	346	286	752	944
Pb	215	2076	1898	1582	4044	4988
Zn	214	2490	2444	1572	4487	5562
Unterböden						
Element	Anzahl	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Perzentile	
					90 %	95 %
Cd	347	14	11	10	28	35
Cr	352	25	17	23	61	70
Cu	306	52	32	51	123	170
Ni	325	242	268	268	676	816
Pb	347	595	622	622	1379	1963
Zn	349	566	493	493	1317	1556
Ausgangsmaterial						
Element	Anzahl	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Perzentile	
					90 %	95 %
Cd	129	10	7	10	25	32
Cr	131	15	12	13	34	42
Cu	115	49	22	60	158	187
Ni	112	119	39	152	428	483
Pb	128	218	88	297	723	978
Zn	130	277	188	305	761	871

Für alle untersuchten Elemente – mit Ausnahme von Cu – nehmen die Mediane und die 90%- und 95%-Perzentile mit zunehmender Profiltiefe ab. Dieser Trend könnte z. B. auf die Freisetzung von Schwermetallen mit der Verwitterung des geogenen Anteils zurückgeführt werden. Er entspricht jedoch ebenfalls dem Pfad des Eintrags luftbürtiger, anthropogener Schadstoffe. Die Schwermetalle können in beiden Fällen an Tonminerale und organische Substanz gebunden sein. Eine direkte Unterscheidung zwischen geogener und anthropogener Herkunft der Schwermetalle kann die Ammoniumnitratextraktion jedoch nicht leisten.

### 3.6.2. Korrelationsuntersuchungen

Innerhalb der verschiedenen Profilbereiche wurden Korrelationsrechnungen zwischen den ammoniumnitratmobilisierbaren Schwermetallgehalten und dem pH-Wert des Bodens, als einer wesentlichen Einflußgröße für die Mobilität von Schwermetallen, durchgeführt. Die Ergebnisse der SPEARMANSchen Rangkorrelation sind in Tabelle 9 dargestellt, wobei für  $r = 0,6$  (in Tab. 9 unterstrichen) von einem signifikanten statistischen Zusammenhang ausgegangen wird.

Tabelle 9: Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN von ammoniumnitratmobilisierbaren Schwermetallgehalten und Boden-pH

Oberböden (n = 201)						
	pH-Wert	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
Cd	-0,14	–	–	–	–	–
Cr	-0,16	0,27	–	–	–	–
Cu	-0,03	0,15	0,47	–	–	–
Ni	-0,08	0,49	<u>0,62</u>	0,44	–	–
Pb	<u>-0,70</u>	0,37	0,39	0,35	0,33	–
Zn	-0,48	<u>0,73</u>	0,40	0,28	<u>0,62</u>	<u>0,67</u>
Unterböden (n = 281)						
	pH-Wert	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
Cd	-0,19	–	–	–	–	–
Cr	-0,58	0,34	–	–	–	–
Cu	-0,35	0,26	0,34	–	–	–
Ni	-0,14	0,55	0,39	0,48	–	–
Pb	<u>-0,76</u>	0,25	0,54	0,40	0,31	–
Zn	<u>-0,72</u>	0,44	0,54	0,36	0,25	<u>0,62</u>
Ausgangsmaterial (n = 105)						
	pH-Wert	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
Cd	-0,62	–	–	–	–	–
Cr	-0,21	0,11	–	–	–	–
Cu	-0,41	0,39	0,21	–	–	–
Ni	-0,39	0,53	0,29	0,33	–	–
Pb	-0,78	0,59	0,23	0,48	0,43	–
Zn	-0,81	0,58	0,25	0,32	0,31	0,70

Zwischen den ammoniumnitratmobilisierbaren Pb-Gehalten und dem Boden-pH besteht eine negative Korrelation in allen Profilbereichen; d. h., saure Böden weisen hohe mobilisierbare Pb-Gehalte auf. Für Zn zeigt sich ein ähnlicher Zusammenhang in den Unterböden und den Ausgangsmaterialien. Innerhalb der Oberböden korreliert Zn nur schwach mit dem pH-Wert ( $r = -0,48$ ). Für Cd besteht ein statistischer Zusammenhang mit dem Boden-pH nur innerhalb der Gruppe der Ausgangsmaterialien. Die Elemente Cr und Cu, die mit 90%-Perzentilen von unter 160  $\mu\text{g}/\text{kg}$  – gemessen an ihren Gesamtgehalten – kaum mobilisiert werden, weisen i. d. R. auch keine oder nur eine schwache Korrelationen mit dem pH-Wert auf. Ähnlich verhält sich Ni. Auffallend ist die gute Korrelation von Pb und Zn in allen Profilbereichen.

Die hohen Gehalte der ammoniumnitratmobilisierbaren Schwermetalle Pb und Zn werden auf den niedrigen pH-Wert der untersuchten Böden zurückgeführt. Bei pH-Werten  $< 3-4$  werden organische Komplexe aufgespalten und die gebundenen Metallkationen freigesetzt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989). Da in die Untersuchung ausschließlich Forststandorte einbezogen wurden, lassen sich die ermittelten Daten nicht mit den im Bundes-Bodenschutzgesetz festgelegten Grenzwerten, die für anderweitige Nutzungen ermittelt wurden, vergleichen.

#### 4. Literatur

- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1992): Merkblatt für die Anlage von Bodenmeßnetzen zur Bodenbeobachtung und Beweissicherung bei Problemstoffemittenten. – 22 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN [Hrsg.] (1997): Probenahme von Boden und Substraten zur Erfassung des Bodenzustandes und der Untersuchung kontaminierter Standorte. – Material., **129**: 76 S., München (Bayer. Staatsmin. L.-Entwickl. Umweltfrag.).
- BESLER, W. & LASCHKA, D. (1991): AOX in Schlamm – Methode, Anwendungsbereich und Ergebnisse. – Münchener Beitr. Abwasser-, Fischerei- u. Flußbiol., **45**: 214–227, München.
- BOJE-HADERER, R. & MACH, R. (1991): Organische Schadstoffe und Klärschlammverordnung. – Umwelt-Technol., **4**: 6-11, Darmstadt.
- BRÜMMER, G.W., GERH, J. & HERMS, U. (1986): Heavy metal species, mobility and availability in soils. – Z. Pflanzenernähr. Bodenkde., **149**: 382–398, Weinheim.
- CRESSIE, N. A. C. (1990): The origins of kriging. – Math. Geol., **22**: 239–252, New York.
- DÜRETH-JONECK, S. (1992): Entwicklung eines naturnahen, praxisorientierten Mobilitätstests für Schwermetalle und Arsen in kontaminierten Böden. – Diss. Univ. Karlsruhe, **ISWW 66**: 127 S., Karlsruhe.
- FÖRSTNER, U. (1983): Bindungsformen von Schwermetallen in Sedimenten und Schlämmen: Sorption/Mobilisierung, chemische Extraktion und Bioverfügbarkeit. – Fresenius Z. Anal. Chemie, **316**: 604–611, Berlin.
- GRIMVALL, A. & LEER, W. B. DE (1995): Naturally-produced organohalogenes. – Dordrecht (Kluwer Acad. Publ.).
- HAGENMEIER, H. & LINDIG, C. (1992): Abschlußbericht zum Modellversuch „Laborexterner Ringversuch zur analytischen Qualitätssicherung (AQS) in Dioxin-Laboratorien“, Teil II: Dioxinbestimmung in Klärschlämmen. – Inst. Org. Chem. Univ. Tübingen: 42–43, Stuttgart.
- HOFFMANN, H.-J., BÜHLER-NEIENS, G. & LASCHKA, D. (1988): AOX in Schlämmen und Sedimenten – Bestimmungsverfahren und Ergebnisse. – Vom Wasser, **71**: 125–134, Weinheim.

- JONECK, M. & PRINZ, R. (1993): Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns. Chlorierte Kohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und N-Herbizide in Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionssituation. – GLA-Fachber., **9**: 155 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- JONECK, M. & PRINZ, R. (1994): Hintergrundbelastung bayerischer Böden mit organischen Problemstoffen. Eine Basis für die Ableitung bodenbezogener Richt- und Grenzwerte und zur Beurteilung von Bodenuntersuchungen im Rahmen bodenschutzrelevanter Vorsorge- und Vollzugsmaßnahmen. – GLA-Fachber., **12**: 55 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- KÖSTER, W. & MERKEL, D. (1982): Beziehungen zwischen den Gehalten an Zink, Cadmium, Blei und Kupfer in Böden und Pflanzen bei Anwendung unterschiedlicher Bodenuntersuchungsmethoden. – Landwirtsch. Forsch., **39**: 245–254, Frankfurt a. Main.
- LABO (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ) (1995): Hintergrund- und Referenzwerte für Böden. – 151 S., München (Bayer. Staatsmin. L.-Entwickl. Umweltfrag.).
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg. – Material. Bodenschutz, **2**: 33 S., Karlsruhe.
- MYERS, J. C. (1997): Geostatistical error management. Quantifying uncertainty for environmental sampling and mapping. – 210 S., New York (Van Nostrand).
- MEIWES, K. J., KÖNIG, N., KHANNA, P. K. & ULRICH, B. (1984): Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralböden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. – Ber. Forsch.-Zentr. Waldökosyst./Waldböden, **7**: 1–67, Göttingen.
- NKUSI, G. & MÜLLER, G. (1994): Natürliche organische Halogenverbindungen in der Umwelt. – GIT Fachz. Lab., **6**: 647–649, Darmstadt.
- ÖBERG, G. & GRON, C. (1998): Sources of Organic Halogens in Spruce Forest Soil. – Environ. Sci. Technol., **32**: 1573–1579, Washington D. C.
- RUPPERT, H. (1987): Bestimmung von Schwermetallen im Boden sowie die ihr Verhalten beeinflussenden Bodeneigenschaften. – GLA-Fachber., **2** (Beil.): 73 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SACHS, L. (1992): Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden. – 546 S., Berlin (Springer).
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. – 12. Aufl.: 491 S., Stuttgart (Enke).
- SUTTNER, T., AUSSENDORF, M. & MARTIN, W. (1998): Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns. – GLA-Fachber., **16**: 70 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- TESSIER, A., CHAMBELL, P. G. & BISSON, M. (1979): Sequential extraction procedure for the specification of particulate trace metals. – Anal. Chem., **51**: 844–851, Washington D.C.
- THIELE, S. & BRÜMMER, G. W. (1993): Bestimmung der mobilen Fraktionen ausgewählter Elemente (Cd, Ni, Co, Cr, As) in Oberböden durch CaCl<sub>2</sub>- und NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Extraktion. – Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., **72**: 1313–1316, Oldenburg.
- ZEIEN, H. & BRÜMMER, G. W. (1989): Chemische Extraktionen zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen. – Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., **59** (1): 505–510, Oldenburg.

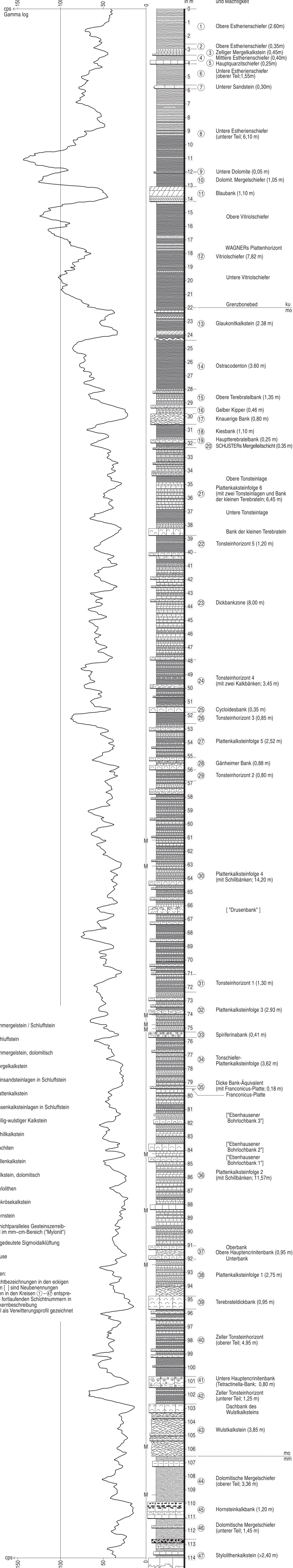




# Bohrlochbild der Forschungsbohrung Ebenhausen bei Bad Kissingen (1998)

Unterer Keuper, Oberer Muschelkalk, Mittlerer Muschelkalk

Auftraggeber: Bayerisches Geologisches Landesamt  
 Bohrfirma: Ost-West Bohr Equipment, Herbertsfelden  
 Bohrkernaufnahme: U. Hoffmann  
 Geophys. Bohrlochmessung: K. Estermeier  
 Lage der Bohrung: TK-Blatt Nr. 5826 Bad Kissingen Süd  
 R-Wert 3580602  
 H-Wert 5554533  
 Ansatzhöhe 314,0 m ü. NN



**Legende**

- Tonmergelstein / Schluffstein
- Schluffstein
- Tonmergelstein, dolomitisch
- Mergelkalkstein
- Feinsandsteinlagen in Schluffstein
- Plattenkalkstein
- Linsenalksteinlagen in Schluffstein
- wellig-wulstiger Kalkstein
- Schillkalkstein
- Trochiten
- Zellenkalkstein
- Kalkstein, dolomitisch
- Styloolithen
- Gekrösekalkstein
- Hornstein
- schichtparalleles Gesteinszerreißel im mm-cm-Bereich ("Mylonit")
- andedeutete Sigmoidalklüftung
- Druse

**Anmerkungen:**

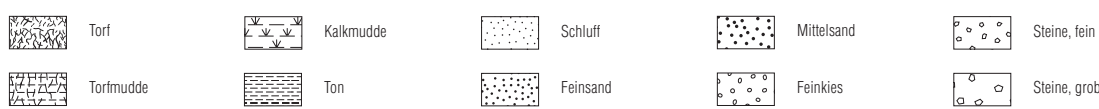
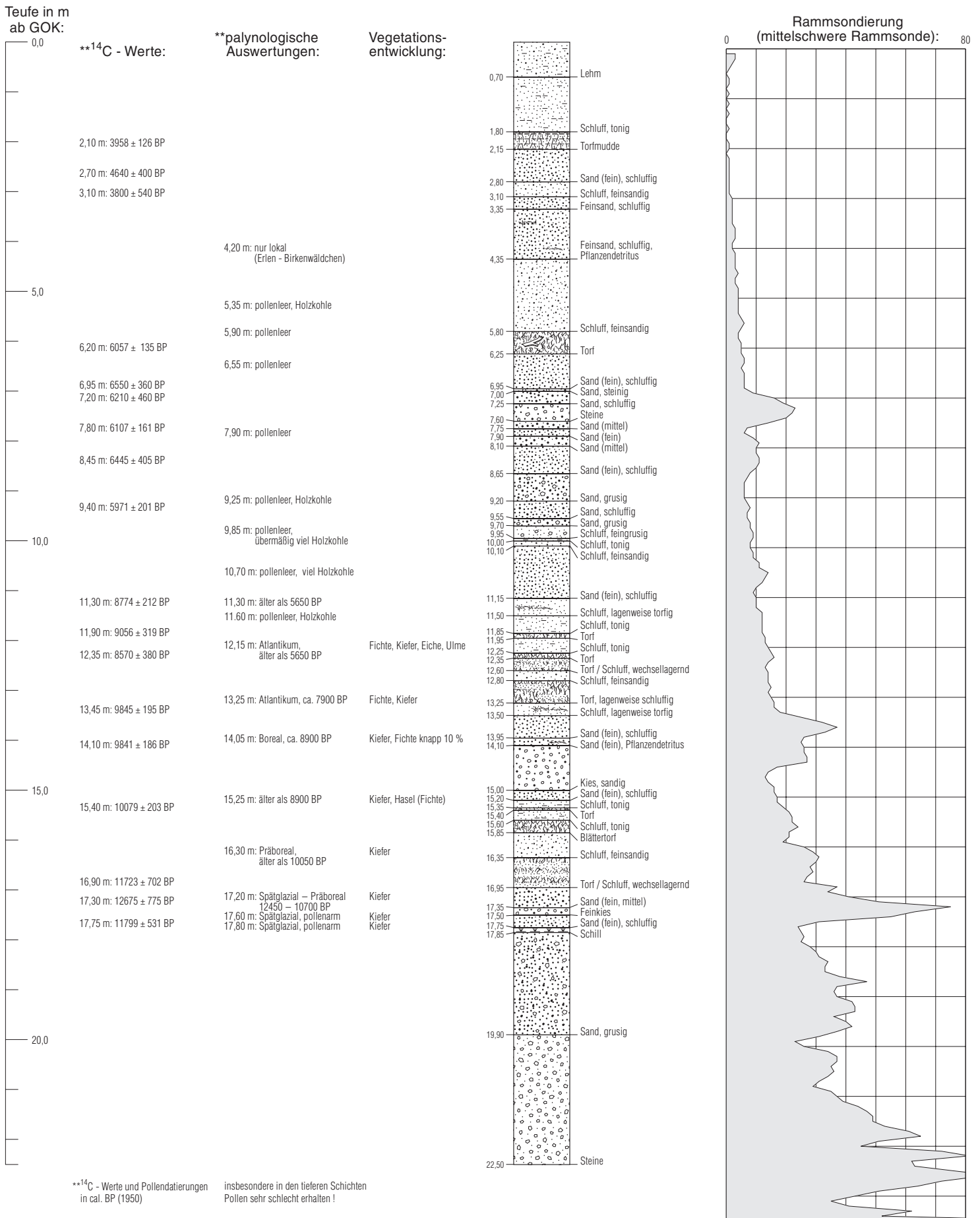
- 1) Die Schichtbezeichnungen in den eckigen Klammern [ ] sind Neubenennungen
- 2) Die Zahlen in den Kreisen (1) - (47) entsprechen den fortlaufenden Schichtnummern in der Bohrkernbeschreibung
- 3) Bohrprofil als Verwitterungsprofil gezeichnet

# FORSCHUNGSBOHRUNG M-F01 GRAFENASCHAU

R 4434700, H 5278900, Ansatzpunkt: 634,50 m ü. NN

10.09.1996

Schichtenprofil mit Altersdatierung (<sup>14</sup>C, Pollen) sowie Profil einer parallel dazu durchgeführten Rammsondierung. – Entwurf: Th. Schneider, Zeichnung: T. Richtmann



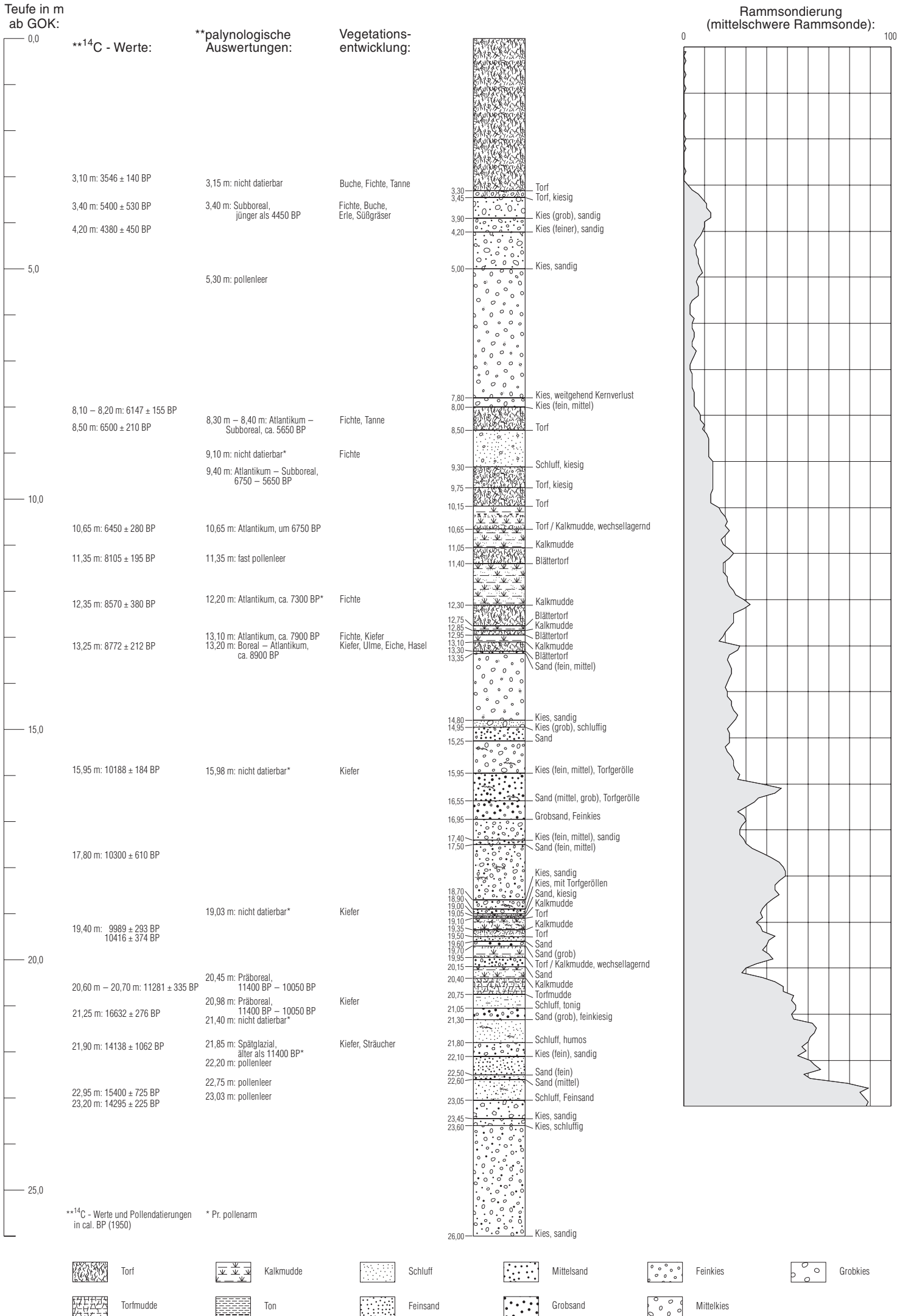


# FORSCHUNGSBOHRUNG M-F02 ESCHENLOHE

R 4437260, H 5273360, Ansatzpunkt: 630,10 m ü. NN

11.09.1996

Schichtenprofil mit Altersdatierung (<sup>14</sup>C, Pollen) sowie Profil einer parallel dazu durchgeführten Rammsondierung. – Entwurf: Th. Schneider, Zeichnung: T. Richtmann



Die Ressourcen der Erde sind begrenzt. Nur mit fundiertem Wissen über Aufbau und Entstehung unseres Planeten sowie die Dynamik seiner Veränderungen sind Vorhersagen zur weiteren Entwicklung unseres natürlichen Lebensraumes möglich. Mit modernen Methoden durchgeführte Grundlagenforschung ist daher auch in Zukunft unverzichtbar. Die Geowissenschaften haben die Verpflichtung, Wege zum Ausgleich zwischen dem Erhalt der Natur und der Entwicklung der für die Industriegesellschaft notwendigen Infrastruktur aufzuzeigen. Zur Erfüllung dieser Aufgaben ist zunehmend fächerübergreifendes, ganzheitliches Denken im Dialog mit anderen Fachdisziplinen geboten.

Das Bayerische Geologische Landesamt ist die zentrale geowissenschaftliche Fachbehörde des Freistaates Bayern. Grundlage der Tätigkeit und Kernaufgabe des Amtes ist die geowissenschaftliche Landesaufnahme vor allem auf den Gebieten Geologie, Bodenkunde, Rohstoffe, Hydrogeologie, Ingenieurgeologie, Geophysik und Geochemie. Die Auswertung der Ergebnisse orientiert sich dabei vor allem an den praktischen Anforderungen, die von Gesellschaft, Wirtschaft und Politik an die Geowissenschaften gestellt werden.

Im Jahre 1850 gründete der bayerische König Maximilian II. mit der Einrichtung der “geognostischen Landesdurchforschung” den ersten staatlichen geologischen Dienst in Deutschland. Das daraus hervorgegangene Bayerische Geologische Landesamt würdigt das 150jährige Jubiläum mit einem Festband seiner Publikationsreihe *Geologica Bavarica*.

Einleitende Beiträge des Bandes behandeln die Situation und Vorgänge bei der Gründung des geologischen Dienstes in Bayern und seiner weiteren, wechselvollen Geschichte. Im Hauptteil liefert die Schrift wissenschaftliche Beiträge aus dem aktuellen Aufgabenspektrum des Bayerischen Geologischen Landesamtes, zu Konzepten und Arbeitsmethoden, zu Ergebnissen und ihrer Verwendung. Besonders betont wird die anwendungsbezogene geowissenschaftliche Grundlagenforschung als gesellschaftliche Verpflichtung der Wissenschaften von der Erde, im Umfeld konkurrierender Ansprüche an das Geosystem Gestein–Boden–Wasser Wege zu seiner nachhaltigen Nutzung wie zum Schutz dieser natürlichen Lebensgrundlagen aufzuzeigen.