



Bayerisches Landesamt
für Wasserwirtschaft



Die Ermittlung der Grundwassereinzugs- gebiete von Trinkwassererschließungen

Ausgewählte Fallbeispiele

Materialien Nr.58 (Juli 1996)

Die Ermittlung der Grundwassereinzugsgebiete von Trinkwassererschließungen

Ausgewählte Fallbeispiele

Herausgeber:

Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft

Bearbeitung:

ORR Th. Grebmayer, RD Dr. J. Mangelsdorf

Druck:

Eigendruck

Für den Druck wurde umweltfreundliches, chlorfrei gebleichtes Papier verwendet

Nachdruck und Wiedergabe - auch auszugsweise - nur mit Genehmigung des Herausgebers

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

		Seite
1	Fallbeispiel 1: Wasserversorgung des Marktes Haag i. OB (Lkr. Mühldorf) Einzugsgebiet Brunnen I (Au)	9
2	Fallbeispiel 2: Wasserversorgung der Stadt Würzburg Erschließungsgebiet Zellinger Becken/Gespring	35
3	Kurzfassung 1: Abgrenzung des Einzugsgebietes der Grundwassererschließung des Marktes Burgpreppach, Lkr. Haßberge	97
4	Kurzfassung 2: Abgrenzung des Einzugsgebietes der Grundwassererschließung der Gemeinde Gilching, Lkr. Starnberg	105
5	Kurzfassung 3: Abgrenzung des Einzugsgebietes der Grundwassererschließung der Stadt Waldsassen, Lkr. Tirschenreuth	111
6	Kurzfassung 4: Abgrenzung des Einzugsgebietes Grundwassererschließung im Grundwassererkundungsgebiet Thannhausen (Kennzahl 15.06), Lkr. Günzburg	117

Anhang

VORWORT

Das Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft hat zwischen 1990 und 1992 auf der Grundlage der "Leitlinien für die Ermittlung der Einzugsgebiete von Grundwassererschließungen" verschiedene Methodik-Studien erstellt, um neben fachlichen und organisatorischen Hinweisen auch konkrete Musterbeispiele für charakteristische hydrogeologische Situationen zur Verfügung stellen zu können.

Die 1989 erstmals erschienenen und 1990 fortgeschriebenen "Leitlinien" wurden 1995 erneut überarbeitet und aktualisiert (Materialien Nr. 52/1995). Hierin sind bereits zahlreiche methodische Hinweise enthalten. Deshalb wurden die im vorliegenden Materialienband vorgestellten Muster-Basisgutachten gestrafft und dafür Fakten und Schlußfolgerungen hervorgehoben.

Insgesamt kamen für die Methodik-Studien 16 Basis-Gutachten zur Ausführung (Tab. im Anhang). Zwei davon werden hier (mit den notwendigen Kürzungen) ausführlicher behandelt:

Das erste Beispiel - Wasserversorgung des Marktes Haag i. OB - demonstriert die Vorgehensweise bei einem Porengrundwasserleiter mit verhältnismäßig geringem Datenbestand.

Mit dem zweiten Mustergutachten - Wasserversorgung der Stadt Würzburg - wird ein Beispiel für ein Erschließungsgebiet mit komplexen hydrogeologischen Verhältnissen (Kluft-/Karst-Grundwasserleiter) gegeben, wobei relativ umfangreiche Informationen zur Verfügung standen.

In Form von Kurzfassungen werden noch weitere Beispiele gegeben für

- einen Kluftgrundwasserleiter (Wasserversorgung des Marktes Burgpreppach, Lkr. Haßberge) ohne dichtes GwMeßstellennetz,
- einen Porengrundwasserleiter (Wasserversorgung der Gemeinde Gilching, Lkr. Starnberg) mit dichtem GwMeßstellennetz,

- eine Quellerschließung (Wasserversorgung der Stadt Waldsassen, Lkr. Tirschenreuth)
- eine Grundwassererkundung im Tertiär des Alpenvorlandes (GwErkundung Thannhausen, Lkr. Günzburg, Kennziffer 15.06).

Das letzte Beispiel beruht nicht auf einem Muster-Basisgutachten, sondern wurde aus den zahlreichen Grundwassererkundungsmaßnahmen zur Ergänzung im Bereich des Tertiärs ausgewählt.

Mit den "Leitlinien für die Ermittlung der Einzugsgebiete von Grundwassererschließungen" (Materialien Nr. 52/1995) und den hier vorgelegten Fallbeispielen sollte ein Instrumentarium bereitgestellt werden, das einer fachlich und rationell gleichermaßen geeigneten Arbeitsmethodik zugute kommt und letztlich auch einer einheitlicheren Schutzgebietsbemessung in Bayern dienen soll.

München, im Juni 1996



Rothascher
Ltd. Baudirektor

1 Fallbeispiel 1

**WASSERVERSORGUNG DES MARKTES HAAG I.OB
(Lkr. Mühldorf)**

Abgrenzung des Einzugsgebietes des Brunnens I (Au)

Hydrogeologisches Basisgutachten

Inhalt

	Seite
1	Problemstellung 15
2	Ergebnis der allgemeinen Erhebungen 15
2.1	Angaben zur Wasserversorgung 15
2.1.1	Träger der Wasserversorgung, Versor- gungsgebiet, betriebliche Verhältnisse 15
2.1.2	Wasserbedarf, Wasserrechtsbescheide 16
2.2	Angaben zu den Wasserfassungen 16
2.2.1	Geographische Lage, naturräumliche Gliederung 16
2.2.2	Beschreibung der Wassergewinnungs- anlage 17
2.3	Landnutzung und Besiedelung im weiteren Umfeld 18
2.4	Quellen, Grundwassermeßstellen und weitere Wasserfassungen im Untersuchungsgebiet 18
2.5	Klimatische und hydrologische Daten 19
2.6	Wasserbeschaffenheit 20
2.6.1	Wassertyp 20
2.6.2	Belastungen 20
3	Geologische Verhältnisse 22
3.1	Gliederung 22
3.1.1	Quartär 22
3.1.1.1	Rißmoräne 23
3.1.1.2	Böden 24
3.2	Lagerungsverhältnisse, Strukturen 24
4	Hydrogeologische Beurteilung 25
4.1	Direkt genutzte und angekoppelte Grundwasserleiter 25
4.2	Grundwasserströmungsverhältnisse 25
4.3	Geohydraulische Kennwerte 26

		Seite
5	Zusammensetzung und Gestaltung des Einzugsgebietes	27
5.1	Fassungsnaher Anstrombereich im genutzten Grundwasserleiter	27
5.2	Besondere Einflüsse geologischer Gegebenheiten	27
5.3	Bedeutung der oberirdischen Wasserscheiden Zuspisungsbereiche	28
5.4	Grundwasserneubildungsraten, Bilanz- kontrolle	28
5.5	Konsistenz von Einzugsgebiet und Grundwasserbeschaffenheit	29
6	Bewertung der Belastungsempfind- lichkeit und der Gefährdungspoten- tiale im Einzugsgebiet	29
7	Weiteres Vorgehen	30
7.1	Sofortmaßnahmen	30
7.2	Bewertung der ermittelten Einzugsgebietsgrenzen	31
7.3	Bewertung des bestehenden Wasserschutzgebietes	31
7.4	Weitere Maßnahmen	32
8	Verzeichnis der verwendeten Unterlagen	33

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Allgemeine Angaben zu Brunnen I	17
Tab. 2:	Technische und hydraulische Angaben zu Brunnen I	19
Tab. 3:	Einige chemische Parameter des Wassers aus Brunnen I	20
Tab. 4:	Geohydraulische Kennwerte	26

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1: Lageplan, vorgeschlagenes
Wasserschutzgebiet

Anlage 2: Geologische Übersicht

1 PROBLEMSTELLUNG

Der Nitratgehalt im erschlossenen Grundwasser ist in den letzten 30 Jahren beständig angestiegen und hat inzwischen den Grenzwert von 50 mg/l erreicht. Außerdem wurden das Herbizid Atrazin und einer seiner Hauptmetabolite, Desethylatrazin, nachgewiesen, und zwar deutlich über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung.

Die Belastungssituation deutet auf einen flächenhaften Eintrag im Einzugsgebiet der Wassergewinnungsanlage hin. Als Grundlage für Sofortmaßnahmen wie auch für ein mittelfristiges Sanierungsprogramm ist zunächst dieses Einzugsgebiet zu ermitteln.

Das vorliegende Basisgutachten bezieht sich auf unmittelbar verfügbare bzw. kurzfristig erhebbare Daten und Informationen sowie auf vorhandene geologische Fachliteratur einschließlich Karten. Soweit im Text hierauf Bezug genommen wird, sind diese in Kap. 8 aufgeführt. Auf die hierbei verwendete Nummerierung beziehen sich die Verweise im Text, z. B. (4).

2 ERGEBNIS DER ALLGEMEINEN ERHEBUNGEN

2.1 Angaben zur Wasserversorgung

2.1.1 Träger der Wasserversorgung, Versorgungsgebiet, betriebliche Verhältnisse

Träger: Marktgemeinde Haag
 Versorgungsgebiet: Gemeindegebiet Haag und Anwesen Au
 Wasserfassungen: 1 Flachbrunnen im Erschließungsgebiet Au
 2 Tiefbrunnen im Rainbachtal

Der Markt Haag i. OB betreibt zu seiner Wasserversorgung zwei Tiefbrunnen (Brunnen II und III) sowie den Flachbrunnen bei Au. Der Brunnen III südlich der B 12 wird als Übergangslösung genutzt, bis die Wasserversorgung anderweitig gesichert werden kann. Ein älterer Tiefbrunnen (ehem. Brunnen I), der sich di-

rekt neben dem Brunnen III befindet, mußte wegen technischer Mängel aufgegeben werden, steht aber noch als Reservebrunnen zur Verfügung. Heute wird der Flachbrunnen bei Au als Brunnen I bezeichnet.

Aus den Brunnen I (Au) und III wird permanent gefördert, Brunnen II wird nach Bedarf zugeschaltet, bisher hauptsächlich nachts. Das Wasser des Brunnen I (Au) gelangt direkt in den Hochbehälter (1.500 m³), wo es sich mit Wasser aus den Brunnen II und III mischt. Die Versorgungsleitung für das Anwesen Au beginnt unmittelbar am Brunnen.

2.1.2 Wasserbedarf, Wasserrechtsbescheide

Wasserförderung nach Angaben

des Wasserwerkes: ca. 120.000 m³/Jahr (1990)
Momentanentnahme bis zu 4,1 l/s

Für den Brunnen wurde am
18.06.1987 beantragt (3):

- Fördermenge: 142.358 m³/Jahr
390 m³/Tag
4,5 l/s (max. Momentanentnahme)
keine Angaben zur monatlichen
Fördermenge

2.2 Angaben zu den Wasserfassungen

2.2.1 Geographische Lage, naturräumliche Gliederung

TK 25: Nr. 7839 Blatt Haag i. OB

Das Erschließungsgebiet liegt am Südrand des weitläufigen riß-eiszeitlichen Moränenhügellandes. Die Riß-Moränen lagern im Norden übergangslos mindeleiszeitlichen Altmoränen auf, nach Süden schließt sich das würmeiszeitliche Jungmoränenhügelland an. Im Grenzbereich zwischen Riß- und Würmmoräne verläuft ein

jungeiszeitliches Schotterband, das nach Osten geneigt ist und auf dem der Rainbach verläuft.

Der Brunnen befindet sich ca. 150 m nordwestlich von Au, Gemeinde Kirchdorf, am Südostrand eines West-Ost verlaufenden Moränenhügels. Die Geländehöhen liegen im Gebiet der landwirtschaftlich genutzten Hochfläche des Hügels zwischen 590 und 620 m ü. NN, im Bereich der Fassungsanlagen bei 590 m ü. NN. Die Hochfläche neigt sich mit 3 - 8 ‰ nach Ost-Südost.

Die Entwässerung der Hochfläche erfolgt ausschließlich unterirdisch, am Rande treten um den ganzen Hügel herum Quellen zwischen 575 und 590 m Höhe ü. NN auf.

Ein Lageplan mit dem vorgeschlagenen Schutzgebiet findet sich in Anlage 1.

Tab. 1 Allgemeine Angaben zu Brunnen I

Baujahr	Geländehöhe m ü. NN	Brunnentiefe m u. GOK	Koordinaten	
			Rechtswert	Hochwert
1966	ca. 590	16,50	45 14 390	53 38 300

2.2.2 Beschreibung der Wassergewinnungsanlagen

Bei der Wasserfassung handelte es sich ursprünglich um eine gefaßte Quelle, die im Jahre 1966 durch einen bis 15,0 m Tiefe verfilterten Bohrbrunnen ersetzt wurde. Das Grundwasser wird mittels Unterwasserpumpen im Dauerbetrieb entnommen und durch das Netz in den Hochbehälter südlich Hamberg gefördert. Detaillierte Daten zu dem Brunnen sind Tab. 2 zu entnehmen.

2.3 Landnutzung und Besiedelung im weiteren Umfeld

Die Brunnenanlage liegt inmitten landwirtschaftlich intensiv genutzter Flächen, welche fast bis an den Zaun des Fassungs-bereiches heranreichen.

Das Gehöft Ranhör befindet sich nur 300 m von der Fassungsanlage entfernt im vorgeschlagenen Schutzgebiet, die Gehöfte Holz, Öd, Au und Wella liegen randlich an den vier Ecken des Schutzgebietes. Die Abwasserentsorgung der genannten Anwesen erfolgt durchwegs über Kleinkläranlagen oder zusammen mit der Gülleverwertung. Zu erwähnen ist noch eine größere militärische Anlage auf dem Kamm des Moränenhügels südwestlich Holz.

Die gesamte gerodete Hochfläche des Hügels wird landwirtschaftlich intensiv genutzt. An den steilen Randlagen herrscht Grünland vor, da hier nicht umgebrochen werden kann. Die genutzten Flächen werden im Osten, Norden und Westen von Wald eingerahmt.

2.4 Quellen, Grundwassermeßstellen und weitere Wasserfassungen im Untersuchungsgebiet

Eine ganze Reihe von Quellen treten an den Hängen des Moränenhügels auf. Die Austrittshöhen reichen von 590 bis 575 m ü. NN, wobei die nördlichen Quellen deutlich geringer und weniger kontinuierlich schütten als die südlichen.

GwMeßstellen wurden bislang nicht eingerichtet, doch könnten evtl. private Hausbrunnen der oben genannten Höfe in weitergehenden Untersuchungen zu GwStandsmessungen herangezogen werden.

2.5 Klimatische und hydrologische Daten

Nach den Daten der Klimastation Haag beträgt der mittlere jährliche Niederschlag (Jahresreihe 1951 - 1980) 1.003 mm. WROBEL (7) beziffert für den Raum Mühldorf den langjährigen mittleren Gebietsniederschlag mit 859 mm und die Verdunstung mit 587 mm, das sind etwa 68 %. Dementsprechend können für das Gebiet Haag etwa 680 mm Verdunstung angenommen werden. Damit stünden bei vollständiger Versickerung rund 320 mm für die GwNeubildung zur Verfügung. Soweit nicht diese gesamte Menge versickern kann, ist der Wert noch um den Anteil des oberirdischen Abflusses zu verringern.

Tab. 2 Technische und hydraulische Angaben zum Brunnen I (Au)

1. Ausbau	
Bohrtiefe (m u. Gel.)	16,5
Endlichtweite der Bohrung (mm)	800
ausgebaute Brunnentiefe (m u. Gel.)	16,5
Ausbaumaterial	Stahl mit PE-Überzug
Nennweite	300
Filterrohre (m u. Gel.)	9,0 - 15,0
Aufsatzrohre (m u. Gel.)	+ 0,2 - 9,0
Sumpfrohr (m u. Gel.)	15,0 - 16,5
Filterkiesschüttung, Körnung 3 - 7 mm von - bis (m u. Gel.)	0,0 - 16,5
2. Absperrung	
Stahlsperrohr (NW mm)	600
von - bis (m u. Gel.)	+ 0,4 - 5,0
Abdichtung zw. Bohrlochwand und Sperrohr durch	Beton
von - bis (m u. Gel.)	4,5 - 5,0
durch	Lehm
von - bis (m u. Gel.)	0,0 - 4,5
3. Hydrologische Angaben	
Ruhewasserspiegel am (m u. Gel.)	08.03.1989 7,01
Pumpversuch:	
Datum	08.03.1989
Pumpdauer (Std.)	5
Entnahme (l/s)	4,17
Absenkung des Wasserspiegels in m u. Ruhewasserspiegel	0,59

Da im Untersuchungsgebiet oberhalb der genannten Quellaustritte zwischen 575 und 590 m ü. NN keine oberirdischen Gewässer auftreten und der Boden zudem als durchlässig anzusehen ist, ergibt sich eine GwNeubildungsrate von $10,1 \text{ l/s*km}^2$. Selbst wenn man einen oberflächennahen Abfluß bzw. Interflow von rund 10 % zugesteht, kann noch mit 9 l/s*km^2 gerechnet werden.

2.6 Wasserbeschaffenheit

2.6.1 Wassertyp

Wie alle quartären Schotterwässer des Alpenvorlandes gehört auch das Grundwasser aus dem Brunnen I zum Typ erdalkalisch-hydrogenkarbonatischer Kalkschotterwässer. Die Erdalkaligehalte (Härtebereich 3) gehen auf die Anlösung des karbonatischen (dolomitischen) Bindemittels zurück. Geogen nicht zu erklären ist der Anstieg des Chlorid-, Sulfat- und Nitratgehalts.

Tab. 3 Einige chemische Parameter des Wassers aus Brunnen I

Labor	Landesuntersuchungsanstalt	Dr. Blasy - Dr. Busse
Datum	Januar 1960	April 1989
Ges. Härte (°dH)	15,5	17,6
pH-Wert	-	7,4
O ₂ gel. (mg/l)	4,6	-
Fe ges. (mg/l)	-	<0,005
Mn ges. (mg/l)	-	<0,005
Cl- (mg/l)	2,1	19,0
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	-	14,0

2.6.2 Belastungen

Die zuerst 1960 (noch Quellfassung) und ab 1978 regelmäßig gemessenen Nitratwerte dokumentieren einen drastischen Anstieg

der anthropogenen Belastung des Grundwassers (Abb. 1): Während 1960 nur 8,8 mg/l Nitrat gemessen wurden, ist nun der Grenzwert von 50 mg/l erreicht. Da die Nitratanalysen bisher nur einmal jährlich durchgeführt wurden, ist allerdings keine Aussage über einen Jahresgang der Nitratbelastung möglich.

Der Nitratgehalt des geförderten Grundwassers liegt mit inzwischen 50 mg/l im Bereich des Grenzwertes nach der TrinkwV (50 mg/l), ein weiterer Anstieg der Nitratbelastung ist nicht auszuschließen.

Brunnen I

Nitrat

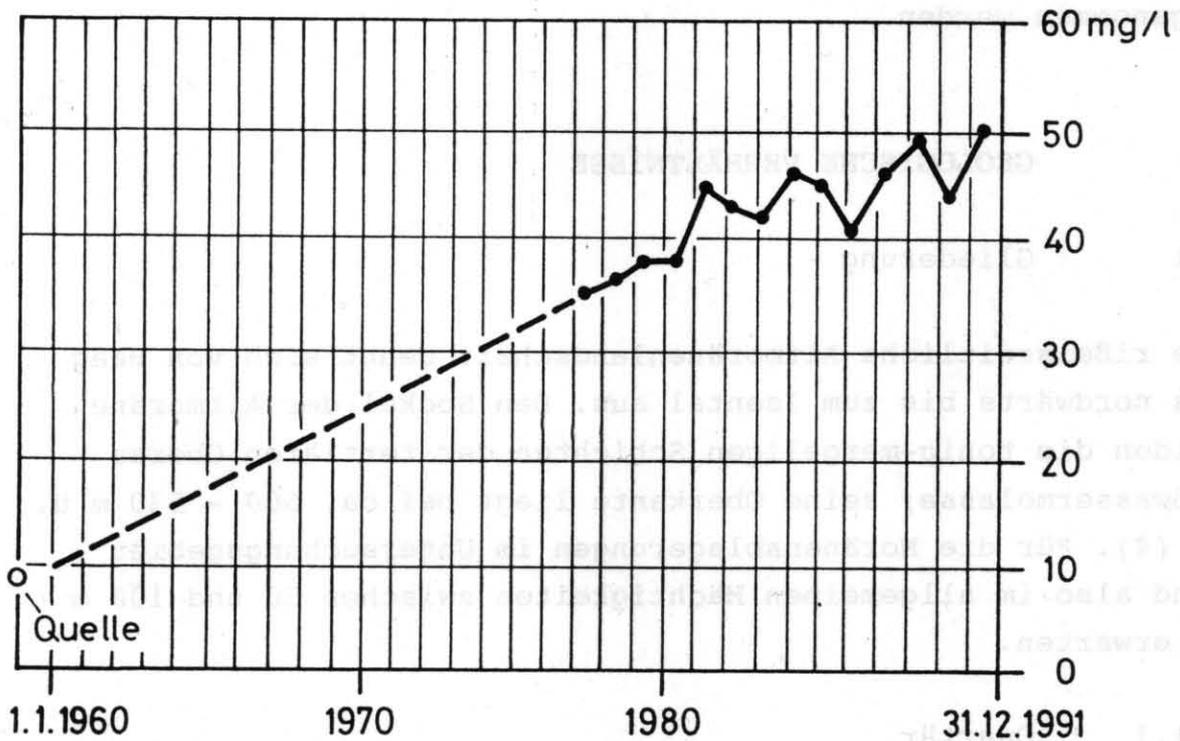


Abb. 1: Entwicklung der Nitratwerte im Brunnen I nach Befunden des Labors Dr.-Blasy-Dr. Busse und der Landesuntersuchungsanstalt

An PBSM wurden inzwischen Atrazin und sein Abbauprodukt Desethylatrazin nachgewiesen. Die Untersuchung im März 1991 zeigte mit 0,24 µg/l Atrazin und 0,31 µg/l Desethylatrazin eine erhebliche Überschreitung des Grenzwertes der TrinkwV von 0,1 (+/-0,05) µg/l.

Das Ausmaß der Belastungen mit Nitrat und PBSM weist in erster Linie auf einen flächenhaft-diffusen Eintrag über den landwirtschaftlich bearbeiteten Boden hin. Beim Nitrat sind zwar auch noch punktuelle Einträge im Bereich der oberstromig gelegenen Siedlungen denkbar (z. B. fehlende Abwasserentsorgung, undichte Abwasserleitungen oder Güllegruben), doch ist die Ursache auch hier vorrangig in der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung im Einzugsgebiet zu suchen. Dabei muß eine langjährige Nährstoffzufuhr über den Pflanzenbedarf hinaus angenommen werden.

3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

3.1 Gliederung

Die rißeiszeitliche Altmoränenlandschaft dehnt sich von Haag aus nordwärts bis zum Isental aus. Den Sockel der Altmoräne bilden die tonig-mergeligen Schichten der tertiären Oberen Süßwassermolasse; seine Oberkante liegt bei ca. 500 - 530 m ü. NN (4). Für die Moränenablagerungen im Untersuchungsgebiet sind also im allgemeinen Mächtigkeiten zwischen 50 und 100 m zu erwarten.

3.1.1 Quartär

Wie aus dem Bohraufschluß und anhand der geologischen Karte (Anlage 2) ersichtlich, sind am Aufbau des GwLeiters ausschließlich Moränenablagerungen der vorletzten Eiszeit beteiligt. Schwerdurchlässige Schichten in tonig-schluffiger Fazies bilden den Stauer des genutzten GwStockwerkes.

Beim Bau des Brunnens wurde folgendes Bohrprofil beschrieben:

- 9,0 m steiniger Lehm
- 15,0 m Kies, wasserführend
- 16,5 m "Moränenboden" (=vermutlich Geschiebelehm)

3.1.1.1 Rißmoräne

Die West-Ost erstreckten Altmoränen wurden während der Rißeiszeit an der Stirnseite des damaligen Inngletschers abgelagert. Ihr sedimentologischer Aufbau kann aufgrund wechselnder Materialzufuhr sowie infolge der Eisrandoszillationen außerordentlich komplex sein; Wechsellagerungen von Kies, Sand und Geschiebelehm mit Ausbildung kleinerer hängender GwVorkommen sind hier möglich. Kiesgruben am Südrand der Moränen und bandförmig angeordnete GwAustritte um den Hügel herum, meist in Form von Quellen, deuten jedoch auf eine insgesamt sandig-kiesige Fazies hin, die von einer flächig ausgedehnten grundwasserstauenden Schicht aus Geschiebelehm unterlagert wird. Nach der Lage der GwAustritte zu urteilen, liegt der GwStauer nicht horizontal, sondern muß nordwestwärts ansteigen, sonst verbliebe z. B. für die Quellen nördlich im Wald kein ausreichendes Einzugsgebiet mehr. Außerdem dürfte eine leicht muldenförmige Ausbildung seiner Oberfläche den GwZustrom zum Brunnen I begünstigen, was dessen Ergiebigkeit erklären würde. Die wasserstauende Sohlschicht wurde beim Brunnen in 15 m Tiefe erbohrt und vom Bohrmeister als "Moränenboden" angesprochen. Es handelt sich dabei wohl um Geschiebelehm im weiteren Sinne. Grundsätzlich wären auch verlehnte Nagelfluhbildungen, schluffiger Seeton oder fossile Verwitterungsböden älterer unterlagernder Moränensedimente denkbar, die flächenhafte Ausdehnung als markanter GwStauer dürfte jedoch auf Grundmoränenmaterial hindeuten. In der Kiesgrube etwa 400 m südlich des Brunnens wird dieses Material sichtbar. Es ist dunkelgrau, schluffig-tonig, dicht gelagert und liegt hier nahezu horizontal. Bei genauer Beobachtung ist die Verbreitung dieser bindigen

Schicht auch an den umliegenden Hügeln an einer leichten Verflachung des Geländes und den an sie gekoppelten Quellaustritten zu erkennen.

3.1.1.2 Böden

Wegen der umgebrochenen Ackerflächen zum Zeitpunkt der Geländebegehung konnte die Bodenansprache weitgehend flächendeckend erfolgen. Die Böden bestehen aus sandigem bis schluffigem Lehm, stellenweise aus schluffigem Feinsand (z. T. Löß), mit einem mehr oder minder hohen Anteil an gut gerundeten Geröllen. Meist liegt eine geringmächtige Variante der Parabraunerde von hoher Durchlässigkeit vor, die laufend durch Pflugarbeiten in aufgelockerten Kulturböden umgewandelt wird. Über lehmig-schluffiger Altmoräne kommt es auch zu Pseudovergleyung. Eine durchgehende mächtigere Lößlehmauflage wie andernorts auf älteren Moränen üblich, ist nicht feststellbar.

3.2 Lagerungsverhältnisse, Strukturen

Die tektonische Geschichte des Untergrundes hat keinen Einfluß auf die Lagerung und insbesondere die Hydrogeologie der betrachteten pleistozänen Sedimente.

Geohydraulische Bedeutung kann hingegen ein mögliches Relief des unterlagernden GwStauers erlangen, wenn sich hieraus deutliche Wechsel in der Transmissivität ergeben (Durchlässigkeit, GwMächtigkeit). Dominierenden Einfluß dürften hier jedoch die internen Ablagerungsstrukturen haben, wie z. B. glazifluviale Rinnenfüllungen, Nagelfluhbildungen oder bindige, seetonartige Bereiche innerhalb des Schotterkörpers; solche Strukturen führen zu ausgeprägten Unregelmäßigkeiten und Anisotropien der GwHydraulik, die allerdings mit vernünftigem Aufwand weder exakt zu lokalisieren noch in ihrer Wirkung vollständig einzuschätzen sind.

4 HYDROGEOLOGISCHE BEURTEILUNG

4.1 Direkt genutzter Grundwasserleiter

Der Brunnen I erschließt das Grundwasser in der quartären Schottermoräne, die hier einen Porengrundwasserleiter mit freiem GwSpiegel bildet. Bindige Grundmoräne im Liegenden des Schotterkörpers, bildet die stauende Sohlschicht des erschlossenen GwStockwerkes. Das GwVorkommen liegt relativ hoch und ist daher lokal auf den Moränenhügel begrenzt. Ankoppelungen weiterer GwLeiter bestehen nicht.

Die Schichtquellen rund um den Hügel sowie die Geländeformen lassen auf den Verlauf der stauenden Grundmoräne schließen. Diese weist aus hydrogeologischen Gründen (s. u.) wahrscheinlich eine leicht nordwestwärts ansteigende Muldenform auf (Anlage 2). Auch ein ausgeprägtes Kleinrelief mit Rinnen und Schwellen ist nicht auszuschließen, doch dürften starke Inhomogenitäten im Internbau des grundwasserführenden Schotterkörpers die bedeutendere Rolle für die GwHydraulik spielen.

4.2 Grundwasserströmungsverhältnisse

Das GwVorkommen hat nur eine relativ geringe Ausdehnung und ist bisher nicht näher untersucht worden. Ein GwGleichenplan liegt nicht vor und dürfte in Anbetracht des inhomogenen Baues des GwLeiters auch problematisch sein. Zur Abgrenzung des Einzugsgebietes ist hier andererseits eine möglichst weitgehende geohydraulische Vorstellung zu entwickeln. Diese sollte allerdings im Rahmen weitergehender Untersuchungen durch ein Nivellement der Quellaustritte und evtl. vorhandener privater Hausbrunnen sowie die Errichtung zweier Vorfeldmeßstellen überprüft werden.

Die GwStrömung orientiert sich hier in erster Linie an Lage und Form des Haupt-GwStauers. Da die Ergiebigkeit des Brunnens - wie schon früher bei der Quelle - auch in Trockenzeiten kaum

nachläßt (4,2 l/s können nach Angaben des Wasserversorgungsunternehmens zu jeder Zeit gefördert werden), ist außer einer günstigen Speicherfunktion des komplex gebauten GwLeiters sowohl ein hinreichendes hydraulisches Gefälle noch im weiteren Vorfeld des Brunnens als auch eine gewisse Sammlungswirkung infolge einer Muldenform des GwStauers zu postulieren. Seinem Einfallen entsprechend dürfte die Haupt-Strömungsrichtung um Südost bis Ost-Südost orientiert sein; das hydraulische Gefälle ist, da es die Neigung des GwStauers kaum unterschreiten kann, mit etwa 1,5 ‰ einzuschätzen. Gegen Norden und Nordwesten sind Verflachungen anzunehmen, bis an einer GwScheide nahe dem Ausbiß des Stauhizontes die GwMächtigkeit fast gegen Null geht. Dasselbe bewirken unterstrom Verstellungen bei Annäherung an die Quellhorizonte.

4.3 Geohydraulische Kennwerte

Aus hydraulischen Feldversuchen (Pumpversuchen) kann der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert des GwLeiters nach DUPUIT-THIEM (korr. nach JACOB) zu $k_f = 0,00077 \text{ m/s}$ bestimmt werden. Dem entspricht bei einer durchschnittlichen GwMächtigkeit von $H = 8,0 \text{ m}$ eine Transmissivität von $T = 0,0058 \text{ m}^2/\text{s}$. Der mittlere durchflußwirksame Hohlraumanteil errechnet sich nach MAROTZ zu $n_f = 14 \text{ ‰}$.

Ungeachtet der flächigen Ausdehnung des vorliegenden Porengrundwasserleiters ist bereichsweise mit erheblichen Inhomogenitäten und Anisotropien zu rechnen, die sich z. B. aus lokalen Unterschieden in der Kornverteilung oder durch Nagelfluhbildungen ergeben. Die ermittelten Parameter können daher nicht als repräsentativ für den gesamten GwLeiter angesehen werden.

Tab. 4 Geohydraulische Kennwerte für Brunnen I

Datum des Pumpversuchs	wirksamer Brunnenrad. r (m)	Entnahme Q (l/s)	Absenk. u. RWsp. s (m)	Nettomächt. d. Aquifers H (m)	Durchlässigkeitsbeiwert k _f (m/s)	Transmissivität T (m ² /s)	spezif. Ergiebigkeit C (m ³ /s)
08.03.1989	0,25	4,17	0,59	8,0	$7,7 \times 10^{-4}$	0,0062	0,0071

5 ZUSAMMENSETZUNG UND GESTALTUNG DES EINZUGSGEBIETES

5.1 Fassungsnaher Anstrombereich im genutzten Grundwasserleiter

Die bisher gewinnbaren Kenntnisse lassen lediglich eine grobe Vorstellung von den GwStrömungsverhältnissen zu. Weitergehende Untersuchungen in vertretbarem Umfang erlauben zwar grundsätzlich noch eine Präzisierung, der jedoch die wahrscheinlich sehr heterogene Internstruktur des GwLeiters wiederum Grenzen setzt. Eine exakte geometrische Beschreibung des anstrombereiches dürfte auch dann noch nicht möglich sein. Die aus den geohydraulischen Parametern ableitbaren Werte für die Entnahmebreite mit knapp 50 m und für die Untere Kulmination mit ca. 8 m haben somit rein formellen Charakter und dürften sich bereits in geringer Entfernung vom Brunnen ändern.

Aus Gründen der GwBilanz (vgl. 5.4) ist anzunehmen, daß sich der Anstrombereich infolge einer Muldenstruktur des GwStauers nach Nordwesten rasch erweitert (Öffnungswinkel zwischen 30 und 40 Grad). Hinzu dürfte noch eine starke Dispersion aufgrund der heterogenen Struktur des GwLeiters kommen, so daß für den qualitativen Einflußbereich mit einem Öffnungswinkel von letztlich bis zu 60 Grad gerechnet werden sollte (siehe hierzu auch 5.4).

5.2 Besondere Einflüsse geologischer Gegebenheiten

Als oberstromige Begrenzung wirkt spätestens der Ausbiß des GwStauers, sofern sich nicht schon kurz vorher eine GwScheide ausgebildet hat. Mit GwScheiden, die durch die Verstellung zu den Quellhorizonten hin bedingt sind, ist im Süden zu rechnen, wo sie - etwa entlang einer West-Ost-Linie durch das Anwesen Wella - den qualitativen Einflußbereich lateral begrenzen. Die andere seitliche Begrenzung dürfte knapp westlich des Anwesens Öd bis etwa zum Waldrand verlaufen, wo der Ausbiß des HauptGwStauers zu vermuten ist. (Wegen der Unwägbarkeit der Ablage-

rungsstrukturen im GwLeiter sollte aber das Anwesen Öd sicherheitshalber noch in das Sanierungsgebiet mit einbezogen werden.)

5.3 Bedeutung der oberirdischen Wasserscheiden, Zuspeisungsbereiche

Da mit keinem nennenswerten oberirdischen Abfluß zu rechnen ist, bleibt auch die topographische Wasserscheide auf der Hügelkuppe ohne maßgebliche Bedeutung für das GwEinzugsgebiet. Desgleichen können - auch wegen der exponierten Lage - keine oberirdischen Zuspeisungsbereiche mit anschließender Versickerung in den GwLeiter zustandekommen.

5.4 Grundwasserneubildungsraten, Bilanzkontrolle

Eine mittlere jährliche Dauerentnahme von 4,2 l/s erfordert bei einer GwNeubildungsrate von 9 l/s*km² (siehe Kap. 2.5) eine Bilanzdeckungsfläche von 0,47 km². Diese Fläche steht zur Verfügung, wenn der Öffnungswinkel des zentralen Anstrombereiches etwa 35 Grad beträgt.

Die zusätzliche Aufweitung infolge der reinen Dispersion (vgl. 5.1) ist zwar hinsichtlich qualitativer Einflüsse erforderlich, aber weitgehend bilanzneutral, da die dispersiv ein- und austretenden Wassermengen sich die Waage halten. Ausgenommen hiervon sind allerdings Zuspeisungen, die über nur örtlich ausgeprägte, nicht statistisch verteilte Aquiferstrukturen (z. B. Schotterstränge) den Anstrombereich erreichen und nicht wieder an analogen Strukturen verlassen. Solche Effekte sind streng genommen also nicht dispersiv; soweit sie geologisch zu erwarten sind, können sie, da meist nicht im einzelnen lokalisierbar, dennoch nur bei der Würdigung der Dispersion mit berücksichtigt werden. Im vorliegenden Falle sind solche strukturbedingten Zuspeisungen von außerhalb des formalen Anstrombereiches nicht auszuschließen.

Das qualitativ bedeutsame GwEinzugsgebiet, wie in 5.1 umrissen, umfaßt eine Fläche von insgesamt etwa 0,8 km².

5.5 Konsistenz von Einzugsgebiet und Grundwasserbeschaffenheit

Die ursprüngliche hydrochemische Prägung des erschlossenen Grundwassers entspricht weitgehend den geochemischen Verhältnissen im ermittelten GwEinzugsgebiet.

Anthropogene Einflüsse kommen außer in der Belastung mit Nitrat und PBSM auch in den mittlerweile erhöhten Chlorid- und Sulfatgehalten zum Ausdruck, die hier vor allem im Zusammenhang mit dem Einsatz von Mineraldüngern zu sehen sind. Die Straßensalzung hat zumindest im größten Teil des Einzugsgebiets keine Bedeutung, da es kaum geteerte Wege gibt; allerdings bleibt noch zu klären, ob im Bereich der militärischen Anlage auf der Kugelkuppe bislang Tausalze eingesetzt wurden.

6 BEWERTUNG DER BELASTUNGSEMPFINDLICHKEIT UND DER GEFÄHRDUNGSPOTENTIALE IM EINZUGSGEBIET

Gut 70 % des abgegrenzten Einzugsgebietes sind landwirtschaftliche Nutzflächen. Die für derartige Schotterkörper typischen Parabraunerden bzw. Ackerparabraunerden zeichnen sich durch eine mittlere bis hohe Durchlässigkeit aus, zumal die sonst übliche Lößbedeckung kaum entwickelt ist.

Der Haupteintrag des Nitrats in das Grundwasser findet mit Sicherheit flächenhaft über die Auswaschung des intensiv gedüngten Bodens statt. Daneben kommen als belastungsrelevante punktuelle Nitratquellen undichte Güllegruben der landwirtschaftlichen Betriebe sowie ggf. Kleinkläranlagen mit anschließender Versickerung der Abwässer im Umfeld in Betracht.

Der Nitratgehalt des im Brunnen I geförderten Wassers setzt sich aus der Summe der flächigen und punktförmigen Einträge im gesamten Einzugsgebiet zusammen. Die Belastung mit PBSM ist ausschließlich auf flächigen Eintrag zurückzuführen. Das Areal der militärischen Anlage einschließlich der Zufahrtswege bedarf noch einer eingehenden Bewertung, nicht nur bezüglich eines etwaigen Chlorideintrages über Tausalze, sondern auch im Hinblick auf Umgang mit sonstigen wassergefährdenden Stoffen.

Die erforderlichen Maßnahmen zur Reduzierung des flächenhaften Nitrat- und PBSM-Eintrags sollten baldmöglichst im gesamten GwEinzugsgebiet in Angriff genommen werden; in Anbetracht seiner begrenzten Ausdehnung ist eine Untergliederung in Maßnahmegebiete unterschiedlicher Dringlichkeit nicht angezeigt. Soweit eine zeitliche Staffelung der Maßnahmen unausweichlich ist, sollte in den fassungsnäheren Bereichen begonnen werden.

7 WEITERES VORGEHEN

7.1 Sofortmaßnahmen

Da die GwBelastungen fraglos hauptsächlich im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Nutzung stehen, muß diese umgehend auf einen Standard gebracht werden, der den Anforderungen des Allgemeinen Gewässerschutzes entspricht.

Es sollte umgehend ein Sanierungskonzept erstellt werden, damit im Einzugsgebiet die notwendigen Sofortmaßnahmen umgesetzt werden können.

Neben den Maßnahmen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sind alle im Einzugsgebiet gelegenen Anwesen sowie die militärische Anlage hinsichtlich einer grundwasserschonenden Abwasserbeseitigung, insbesondere auf etwaige undichte Abwasserleitungen, Klär- und Güllegruben zu untersuchen.

7.2 Bewertung der ermittelten Einzugsgebietsgrenzen

Die GwStrömungsverhältnisse im Einzugsgebiet sind für die Zielsetzung hinreichend bekannt. Eine Präzisierung der Grenzen durch erheblich weitergehende Untersuchungen erscheint nicht notwendig, zumal da mit bisher unerkannten Zuspeisungsbereichen nicht zu rechnen ist. Die Schärfe der Einzugsgebietsgrenzen kann zumindest für effektive Sanierungsmaßnahmen als ausreichend angesehen werden. Bei konsequenter Ausführung der vorgeschlagenen Abhilfemaßnahmen sollte mit einem Rückgang zumindest der Belastungsspitzen innerhalb der nächsten Jahre zu rechnen sein. Der Abbau der längerfristig wirksamen Grundbelastung kann allerdings einen längeren Zeitraum in Anspruch nehmen.

7.3 Wasserschutzgebiet

Der in Anlage 1 wiedergegebene Schutzgebietsvorschlag war Ende 1990 auf der Grundlage der ersten Untersuchungsergebnisse gemacht worden. Hierzu ist noch der Auflagenkatalog der Schutzgebietsverordnung zu konzipieren. Landwirtschaftliche Maßnahmen, von denen eine GwGefährdung ausgehen kann, sollten hierin vom Nachweis eines grundwasserschonenden Vorgehens nach "guter fachlicher Praxis" (vgl. § 1a Düngemittelgesetz, § 6 Abs. 1 Pflanzenschutzgesetz) abhängig gemacht werden.

Echte Einschränkungen in der Landbewirtschaftung erscheinen jedoch grundsätzlich nur dort erforderlich, wo aufgrund einer besonders hohen Belastungsempfindlichkeit der Anbau bestimmter Früchte (Mais, Hackfrüchte) zwangsläufig zu hohen unvermeidbaren Stoffeinträgen ins Grundwasser führt. Sofern solche Nutzungen nicht ohnehin standortgemäß sind und damit der "guten fachlichen Praxis" widersprechen, kommen hier außer Risikoabschlägen von der nach Düngemittelrecht zulässigen Stickstoffmenge im Extremfall Anbauverbote im Wasserschutzgebiet in Betracht. Ertragsminderungen wären dann durch entsprechende Ausgleichszahlungen gemäß den gemeinsamen Bekanntmachungen der

Bayerischen Staatsministerien des Innern und für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Nrn. IIB3-4532.5-0.36 und P1-4500-53, vom 06.06.1988, sowie Nrn. IIB3-4532.5-047/90 und P1-4500-53, vom 12.06.1990, auszugleichen.

7.4 Weitere Maßnahmen

Wenngleich erheblich weitergehende Untersuchungen zur Präzisierung der GwEinzugsgebiete nicht erforderlich erscheinen, sollten doch die vorhandenen Befunde mit relativ geringem Aufwand überprüft werden: Hierzu gehören die Nivellierung aller Quellaustritte und Hausbrunnen sowie die Messung der GwStände an den Hausbrunnen und an ein bis zwei noch einzurichtenden Gwmeßstellen. Letzere empfehlen sich in erster Linie für die Überwachung und Optimierung des Sanierungsprogramms. Sie sollten im Vorfeld

- zwischen Brunnen I und dem Anwesen Ranhör sowie
- zwischen den Anwesen Ranhör und Holz

plaziert werden und den gesamten genutzten GwLeiter erfassen.

Zur Erfolgskontrolle der laufenden Sanierungsmaßnahmen ist ein verdichtetes Meßprogramm zur GwBeschaffenheit erforderlich, in das neben den neuen GwMeßstellen auch alle bestehenden Hausbrunnen einbezogen werden sollten; problematische Bereiche lassen sich dadurch genauer eingrenzen und Abhilfen gezielter konzipieren. Unabhängig davon sollte der Brunnen I zukünftig mindestens monatlich auf Nitrat und die beiden wichtigsten PBSM-Rückstände beprobt werden. Damit werden Aussagen über einen Jahresgang dieser Belastungen und die Beurteilung ihrer Entwicklung möglich.

Zur Detailkonzeption, Organisation und Betreuung der Bohrungen und der vorgeschlagenen Messungen und Untersuchungen wird empfohlen, ein Institut oder Fachbüro einzuschalten.

8 VERZEICHNIS DER VERWENDETEN UNTERLAGEN

Gutachten

- (1) Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft:
Geologisches Gutachten für die Errichtung von Schutzgebieten für die Grund- und Quellwasserversorgung der Marktgemeinde Haag. Zu Nr. G/IV/13164; München 1958
- (2) Ingenieurbüro Hauptmann:
Erläuterungsbericht zum Wasserrechtsverfahren für den Brunnen I in Au bei Kirchdorf, Lkr. Mühldorf; Rosenheim 1987

Schriftverkehr

- (3) Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft:
Schreiben Nr. 4104/2476 vom 22.08.1979 zur Wasserversorgung der Marktgemeinde Haag, Lkr. Mühldorf; München 1979

Regionalgeologische Veröffentlichungen

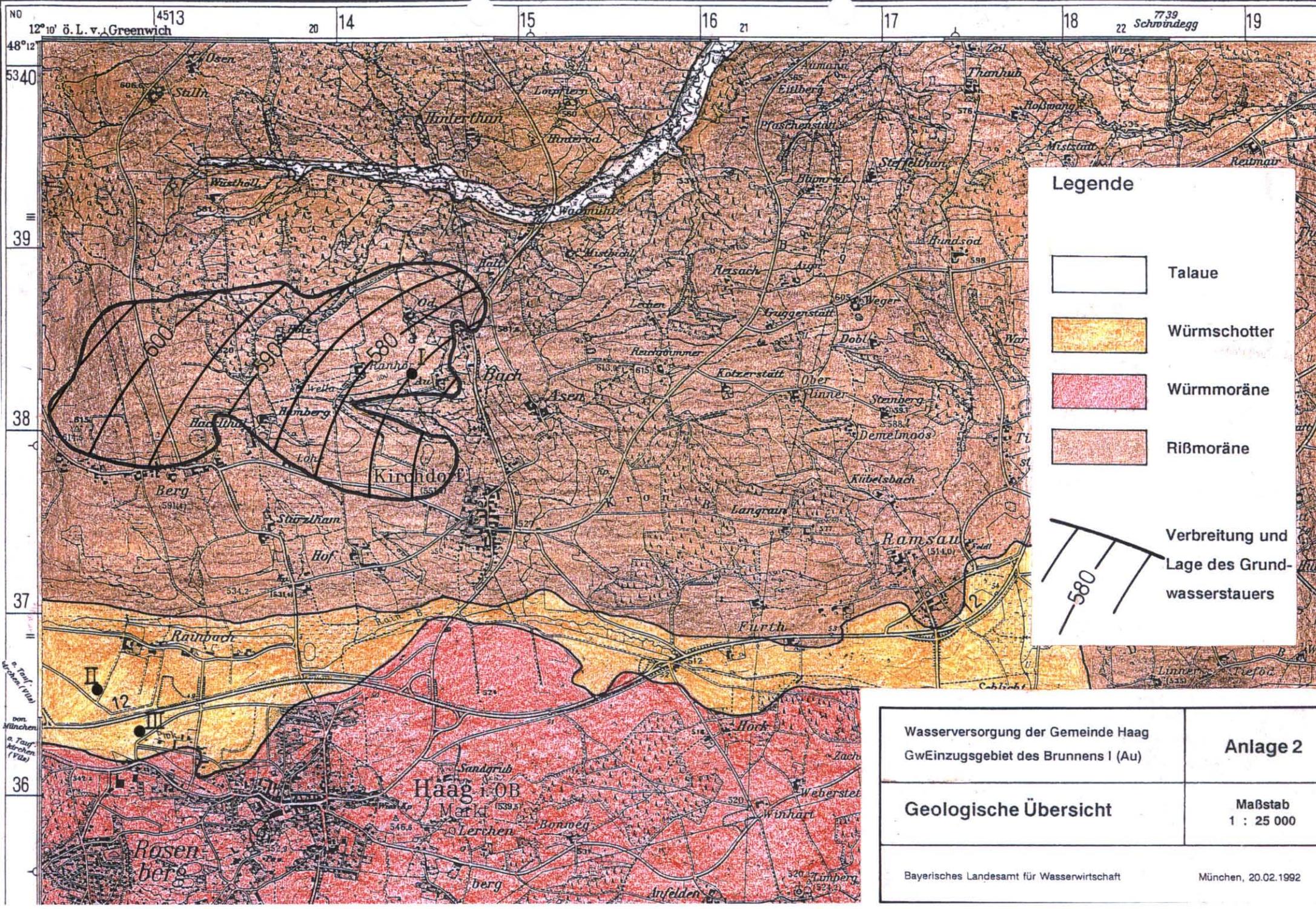
- (4) MÜLLER, M. & UNGER, H.
Das Molasserelief des würmeiszeitlichen Inn-Vorlandgletschers mit Bemerkungen zur Stratigraphie und Paläographie des Pleistozäns. - Geologica Bavarica, 69. 49-88; München 1973
- (5) NEMETH, G.:
Das Verhalten von Sickerfronten in ungesättigten Kiesen der Münchner Schotterebene. - Z. dt. geol. Ges., 134: 657 - 668; Hannover 1983
- (6) TROLL, K.:
Geologisch-morphologische Karte 1: 100.000: Der diluviale Inn-Chiemsee-Gletscher, - Forsch. dt. Landes- u. Volkskunde, 23; Stuttgart 1924
- (7) WROBEL, J.-P.:
Hydrogeologische Karte von Bayern 1: 50.000 Blatt Nr. L 7740. - Erläuterungen zum Blatt Mühldorf am Inn; 6 Karten, 2 Profile; Bayer. Geol. Landesamt, München 1980

Informationsberichte Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft

- (8) Heft 5/87:
Grundwasserentnahme und andere aktuelle Themen der Wasserversorgung. - 254 S.; München 1987
- (9) Heft 5/85:
Trinkwasserschutzgebiete. - 224 S.; München 1985

Anlagen:

- (1) Lageplan mit vorgeschlagenem Wasserschutzgebiet
M : 5.000
- (2) Geologische Übersicht M 1 : 5.000



Legende

- Talaue
- Würmschotter
- Würmmoräne
- Rißmoräne

Verbreitung und Lage des Grundwasserstauers

580

Wasserversorgung der Gemeinde Haag GwEinzugsgebiet des Brunnens I (Au)	Anlage 2
Geologische Übersicht	Maßstab 1 : 25 000
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft	München, 20.02.1992

WASSERVERSORGUNG DER STADT WÜRZBURG

Erschließungsgebiet Zellinger Becken / Gespring

Abgrenzung des Einzugsgebietes der Brunnen Ia - V

Hydrogeologisches Basisgutachten

Inhalt

		Seite
1	Problemstellung	41
2	Ergebnis der allgemeinen Erhebungen	41
2.1	Angaben zur Wasserversorgung	41
2.1.1	Träger der Wasserversorgung, Versorgungsgebiet, betriebliche Verhältnisse	41
2.1.2	Entnahmen, Wasserrechtsbescheide	43
2.2	Angaben zu den Wasserfassungen	45
2.2.1	Geographische Lage, naturräum- liche Gliederung, Lage des Untersuchungsgebietes	45
2.2.2	Beschreibung der Wassergewin- nungsanlagen	46
2.3	Landnutzung und Besiedelung im weiteren Umfeld, GwGefähr- dungsmomente	48
2.4	Quellen, Grundwassermeßstellen und weitere Wasserfassungen im Untersuchungsgebiet	50
2.5	Klimatische und hydrologische Daten	51
2.6	Wasserbeschaffenheit	52
2.6.1	Wassertyp	53
2.6.2	Belastungen	55
3	Ergebnis der geologischen Erhebungen	59
3.1	Schichtenaufbau	59
3.1.1	Oberer Buntsandstein (so)	59
3.1.2	Muschelkalk	59
3.1.2.1	Unterer Muschelkalk (mu)	59
3.1.2.2	Mittlerer Muschelkalk (mm)	60
3.1.2.3	Oberer Muschelkalk (mo)	60
3.1.3	Unterer Keuper (ku)	61

	Seite	
3.1.4	Quartäre Lockergesteine	61
3.1.4.1	Ablagerungen des Mains	61
3.1.4.2	Löß und Lößlehm	61
3.1.4.3	Talfüllungen	62
3.2	Lagerungsverhältnisse, Strukturen	62
3.2.1	Verbiegungen und Störungen	63
3.2.2	Klüftung	67
3.3	Karsterscheinungen	68
4	Hydrogeologische Beurteilung	69
4.1	Direkt genutzte und angekoppelte Grundwasserleiter	69
4.2	Natürliche Grundwasserströ- mungsverhältnisse	71
4.3	Geohydraulische Kennwerte	74
4.3.1	Pumpversuche	74
4.3.2	Markierungsversuche	76
4.4	Geohydraulische und hydrogeo- chemische Variabilität	77
5	Zusammensetzung und Gestalt des Einzugsgebietes	79
5.1	Fassungsnaher Anstrombereich in den genutzten Grundwasserleitern	79
5.2	Abgrenzung anhand von Grundwas- serhöhengleichen	80
5.2.1	Abgrenzung im Grundwasserstock- werk des Mittleren und Oberen Muschelkalks anhand der struk- turellen Gegebenheiten	81
5.2.2	Gesamtes unterirdisches Einzugsgebiet	81
5.3	Besondere Einflüsse geologischer Gegebenheiten	82
5.4	Angekoppelte Grundwasserleiter, Zuspeisungsbereiche	82

		Seite
5.5	Bedeutung der oberirdischen Wasserscheiden	82
5.6	Grundwasserneubildungsraten, Bilanzkontrolle	83
5.7	Konsistenz von Einzugsgebiet und GwBeschaffenheit	85
6	Bewertung der Belastungsempfind- lichkeit und der Gefährdungspo- tentiale im Einzugsgebiet - Gliederung in Maßnahmenbereiche	85
7	Weiteres Vorgehen und Zusatzuntersuchungen	88
7.1	Sofortmaßnahmen	88
7.2	Bewertung der ermittelten Einzugsgebietsgrenzen	89
7.3	Weitere Maßnahmen	89
8	Verzeichnis der verwendeten Unterlagen	90

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Entwicklung der Nitratwerte in den einzelnen Brunnen (nach Auf- zeichnungen der Stadtwerke Würz- burg, ergänzt).	54
Abb. 2:	Gang der Nitrat- und der Sulfat- werte im Zeitraum Juni 1987 bis Oktober 1989 an den Brunnen der Erschließung Zellinger Becken.	57

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Jahresentnahmen aus dem Erschließungsgebiet Zellinger Becken, Anteil am Gesamtverbrauch	44
Tab. 2:	Allgemeine Angaben zu den Brunnen	45
Tab. 3:	Angaben zu den Fördereinrichtungen	46
Tab. 4:	Technische und hydraulische Angaben zu den Brunnen	47
Tab. 5:	Zentrale Abwasserentsorgung der Ortschaften im Untersuchungsgebiet	49
Tab. 6:	Klimatisch-hydrologische Daten	51
Tab. 7:	Auszüge aus Analysen für die Brunnen Ia bis V	55
Tab. 8:	Auswertung der Einzelpumpversuche	75
Tab. 9:	Auswertung der hydraulischen Tests	76
Tab. 10:	Zusammenstellung der Abstandsgeschwindigkeiten	76
Tab. 11:	Berechnung der Durchlässigkeitswerte	77

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 3:	Übersichtslageplan 1 : 25.000, Wasserfassungen/Schutzgebiete, bekannte Karsterscheinungen, GwEinzugsgebiet
Anlage 4:	Lageplan 1 : 2.500
Anlage 5:	Geologische Übersicht 1: 25.000
Anlage 6:	Strukturkarte 1 : 25.000 Isohypsen bezogen auf die Grenze Buntsandstein/Muschelkalk
Anlage 7:	Tektonisch-hydrologische Karte 1 : 25.000 des GwStockwerkes im Mittleren Muschelkalk
Anlage 8:	Hydrologische Modellvorstellung 1 : 25.000 GwOberfläche im Haupt-GwStockwerk

1 PROBLEMSTELLUNG

Der schon zum Zeitpunkt der Erschließung leicht erhöhte Nitratgehalt des Grundwassers liegt seit 1982 bei allen Brunnen über dem Richtwert von 25 mg/l, seit 1987 über 30 mg/l. Mittlerweile haben drei Brunnen die 40 mg-Schwelle erreicht bzw. bereits überschritten. Diese Entwicklung deutet auf einen massiven, langfristigen und flächenhaften Nitrateintrag im GwEinzugsgebiet hin.

2 ERGEBNIS DER ALLGEMEINEN ERHEBUNGEN

2.1 Angaben zur Wasserversorgung

2.1.1 Träger der Wasserversorgung, Versorgungsgebiet, Versorgungssituation, Entwicklung, betriebliche Verhältnisse

Träger: Stadtwerke Würzburg AG

Versorgungsgebiet: Stadt Würzburg, Gemeinden Gerbrunn, Zell und (nach Bedarf) Zellingen;
aus dem Erschließungsgebiet Zellinger Becken wird wegen des gemeinsamen Hochbehälters mit dem Zweckverband Fernwasserversorgung Mittelmain (FWM) indirekt - und rein qualitativ - auch dessen Versorgungsgebiet mitbeliefert

Wasserfassungen: Brunnen Ia, II, III, IV, V im Erschließungsgebiet Zellinger Becken

Neben der Wassererschließung Zellinger Becken stehen den Stadtwerken Würzburg zur Deckung des Wasserbedarfs noch weitere Wassergewinnungsanlagen bzw. Versorgungsmöglichkeiten zur Verfügung:

- Quellgebiet Zell: Mit einem Stollensystem sind zwei benachbarte Quellreihen gefaßt.
- Quellgebiet Bahnhofsquellen: Von den drei gefaßten Verwerfungsquellen wird eine für die Trinkwassergewinnung genutzt.
- Wassergewinnungsanlage Mergentheimer Straße mit
 - a) Anreicherung durch aufbereitetes Mainwasser
 - b) Beileitung der Winterhäuser Quelle.
- Wasserbezug aus dem Erschließungsgebiet Erlach
 - a. Main (FWM).
- Wasserbezug aus dem Erschließungsgebiet Sulzfeld-Marktsteft des Zweckverbandes zur Wasserversorgung Franken (FWF).

Um die Wasserversorgung der Stadt Würzburg sicherzustellen, wurden in den Jahren 1964 - 1966 westlich von Zelllingen im Bereich der sog. Gesprings Quellen die Tiefbrunnen I - V erstellt. Bedingt durch den Bau der neuen Bundesbahnstrecke Hannover-Würzburg, die bereichsweise durch die weitere und engere Schutzzone der Gespringsbrunnen führt, mußte der in unmittelbarer Nähe der Neubaustrecke gelegene Brunnen I aufgelassen werden. Als Ersatz wurde 1979 der Brunnen Ia abgeteuft und in der Folge - nicht zuletzt aufgrund der erheblich erweiterten Erkenntnisse - auch das Trinkwasserschutzgebiet neu konzipiert; das wasserrechtliche Verfahren ist noch nicht abgeschlossen.

Zur Trinkwassergewinnung werden vorrangig die frei ausfließenden Grundwässer der Quellgebiete Würzburg genützt. Die Erschließung Zellinger Becken dient im wesentlichen der Spitzenbedarfsdeckung und dem Ausgleich der wechselnden Quellschüttungen. Der Anteil der Jahresentnahme aus den Brunnen am Gesamtverbrauch hängt wesentlich auch von den Quellschüttungen in den anderen Wassergewinnungsgebieten Würzburgs ab und kann bis zu 30 % erreichen (siehe Tab. 1).

Die Stadtwerke Würzburg AG fördern seit 1969 Trinkwasser aus diesen Brunnen. Zusammen mit dem Wasser aus dem Erschließungsgebiet Erlach a. M. der FWM wird es im zentralen Hochbehälter bei Zellingen gesammelt und durch Fernleitungen in die Versorgungsgebiete gebracht.

2.1.2 Entnahmen, Wasserrechtsbescheide

Mit Bescheid vom 18.03.1969 wurden wasserrechtlich bewilligt:

Jahresentnahme: 4.700.000 m³
 Tagesentnahme: 20.000 m³

Momentanentnahme:	Gesamt	235 l/s	
	Br. I	25 l/s	(entfällt)
	Br. II	35 l/s	
	Br. III	60 l/s	
	Br. IV	45 l/s	
	Br. V	70 l/s	

Für den neuen Brunnen Ia sind 45 l/s beantragt und vom Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft positiv begutachtet (3).

Spitzenentnahmen von bislang bis zu 14.000 m³/d, entsprechend ca. 160 l/s, treten i. a. im Juni/Juli auf, gelegentlich aber auch schon im Mai; sie halten meist nicht länger als ein bis zwei Wochen an.

Tab. 1 Jahresentnahmen aus dem Erschließungsgebiet
Zellinger Becken, Anteil am Gesamtverbrauch

Jahr	Entnahme Zellinger Becken (m ³)	Anteil am Gesamtverbrauch (%)
1970	3.548.455	30,7
1971	3.296.480	25,3
1972	2.916.570	22,8
1973	2.793.030	21,3
1974	2.882.150	22,2
1975	3.443.880	26,1
1976	2.807.800	20,8
1977	2.510.280	20,9
1978	2.700.480	22,0
1979	2.043.383	16,4
1980	2.241.837	18,4
1981	1.248.670	10,8
1982	1.317.092	10,7
1983	724.424	6,0
1984	1.222.239	10,0
1985	1.248.784	10,4
1986	2.028.003	17,2
1987	2.122.854	17,7
1988	1.595.375	13,3
1989	884.211	7,3
1990	1.328.538	11,0
1991	1.577.871	13,1

Langjährige Meßreihen (1939 bis 1964) zu den Schüttungen der Gespringsquellen, deren Wasser heute durch die Tiefbrunnen nahezu vollständig erschlossen werden, ergaben eine mittlere Gesamtschüttung von $MQ = 119 \text{ l/s}$ (15). Dieser Wert stellt zunächst eine Obergrenze für die langfristige Gesamtwasserentnahme dar. Zumindest kurzfristig können aber den Brunnen erheblich höhere Wassermengen entnommen werden, unter anderem, weil die zusätzliche Absenkung durch die Tiefbrunnen die hydraulischen Verhältnisse, insbesondere die Ausdehnung der Zustrombereiche beeinflusst, ggf. auch Ankoppelungs- oder Zuspeisungsmechanismen aktiviert.

2.2 Angaben zu den Wasserfassungen

2.2.1 Geographische Lage, naturräumliche Gliederung, Lage des Untersuchungsgebietes

Das Erschließungsgebiet Zellinger Becken der Stadtwerke Würzburg AG liegt rund 2,5 km westsüdwestlich der Gemeinde Zelllingen im oberen Talbereich des Gespringbaches im Landkreis Würzburg. Kartographisch ist es in der Topographischen Karte von Bayern im Maßstab 1 : 25.000, Blatt Nr. 6124 Remlingen, erfaßt. Die Lage der im Gespring niedergebrachten Bohrungen ist detailliert in Anlage 4 und zusammen mit den bisherigen und den neu vorgeschlagenen Schutzzonen im Übersichtslageplan in Anlage 3 wiedergegeben.

Tab. 2 Allgemeine Angaben zu den Brunnen

Brunnen	Ia	II	III	IV	V
Baujahr	1976/77	1963/64	1964/65	1965/66	1966
Gemarkung	Zelllingen	Zelllingen	Zelllingen	Zelllingen	Zelllingen
Flurstück-Nr.	8904	17333	17331	17434	8909
Rechtswert	3555 906	3556 318	3556 203	3556 058	3555 995
Hochwert	5528 357	5526 168	5528 241	5528 480	5528 643
Ansatzhöhe (m ü.NN)	ca. 239,80	197,50	195,95	208,20	230,78

Das Gebiet um die Wassergewinnungsanlagen gehört zur Landschaft der Marktheidenfelder Muschelkalkplatte, im Maindreieck zwischen Würzburg, Wertheim und Gemünden, einer teils löb-

deckten, teils offen zutage liegenden Muschelkalk-Hochlandschaft. Ihr geographischer Rahmen ist durch den Ausstrich des Buntsandsteins im Westen und Nordwesten, das tief eingeschnittene mittlere Maintal im Nordosten und Osten und den Ausstrich des Keupers im Süden vorgegeben. In einem West-Ost-Profil werden deutlich die Schichtstufen der leicht südostwärts einfallenden geologischen Einheiten des Buntsandsteins, des Muschelkalks und des Keupers sichtbar. Verwitterung und Erosion gliedern diese Landoberfläche zusätzlich in Hügel und Tälchen. Während der quartären Kaltzeiten lagerten starke Winde Löß an den Flanken der Hügel ab. Dieser ist inzwischen zu Lößlehm verwittert und stark in die Täler abgeschwemmt.

Das Untersuchungsgebiet kann beiderseits durch den Main als Talwasserscheide eingegrenzt werden, eine noch engere Begrenzung im Westen kann sich mit dem Ausstrich des Buntsandsteins ergeben, sofern dieser nicht mit dem Muschelkalk hydraulisch interagiert. Die nördliche und südliche Begrenzung ist zunächst weit zu fassen und kann erst nach Bewertung der tektonischen Verhältnisse eingengt werden.

2.2.2 Beschreibung der Wassergewinnungsanlagen

Die technischen und hydraulischen Angaben zu den Brunnen sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

Das Wasser wird mittels Tauchmotorkreiselpumpen aus den Brunnen gefördert und über eine Sammelleitung dem Hochbehälter bei Zellingen zugeleitet. Von hier aus erfolgt die Einspeisung ins Versorgungsnetz der Stadt Würzburg.

Tab. 3 Angaben zu den Fördereinrichtungen

	Br. Ia	Br. II	Br. III	Br. IV	Br. V
Art. des Pumpenaggregates	U-Pumpe	U-Pumpe	U-Pumpe	U-Pumpe	U-Pumpe
Förderleistung (l/s)	45	35	60	45	70
zugehörige Förderhöhe (m)	106	106	124	92	106
Antriebsstärke (kW)	92	65	113	56	93
vorgesehene max. tägl. Betriebsdauer (Std.)	24	24	24	24	24

Tab. 4 Technische und hydraulische Angaben zu den Brunnen

Brunnen	Ia	II	III	IV	V
1. Ausbau					
Bohrtiefe ab Gel.	-92,70 m	-51,50 m	-132,10 m	-44,00 m	-90,00 m
Endlichtweite der Bohrung	700 mm	470 mm	290 mm	700 mm	600 mm
ausgebaute Brunnentiefe ab Gel.	-89,10 m	-40,00 m	-129,00 m	-44,00 m	-87,00 m
Filterrohre	V2A NW 400 mm	Stahl/üb. NW 350 mm	Stahl/üb. NW 350 mm	Stahl/üb. NW 350 mm	Stahl/üb. NW 400 mm
von-bis m ab Gel.	-39,60 bis -66,60 m	-10,00 bis -26,00 m	-24,00 bis -40,00 m	-16,00 bis -25,00 m	-42,00 bis -54,00 m
" " " " "	-81,60 bis -87,60 m	-30,00 bis -38,00 m	-44,00 bis -68,00 m	-29,00 bis -41,00 m	-63,00 bis -86,00 m
" " " " "			Stahl/üb. NW 300 mm		
			-73,00 bis -127,00 m		
Aufsatzrohre	V2A NW 400 mm	Stahl/üb. NW 350 mm	Stahl/üb. NW 400 mm	Stahl/üb. NW 350 mm	Stahl/üb. NW 400 mm
von-bis m ab Gel.	-0,60 bis -39,60 m	0,00 bis -10,00 m	2,00 bis -24,00 m	-1,00 bis -16,00 m	0,50 bis -42,00 m
" " " " "	-66,60 bis -81,60 m	-26,00 bis -30,00 m	-40,00 bis -44,00 m	-25,00 bis -29,00 m	-54,00 bis -63,00 m
" " " " "			-68,00 bis -73,00 m		
Bodenstück Sumpfrohr	V2A NW 400 mm	Stahl/üb. NW 350 mm	Stahl/üb. NW 300 mm	Stahl/üb. NW 350 mm	Stahl/üb. NW 400 mm
von-bis m u. Gel.	-87,60 bis -89,10 m	-38,00 bis -40,00 m	-127,00 bis -129,00 m	-41,00 bis -44,00 m	-86,00 bis -87,00 m
Auffüllung mit Quarzkies					
von-bis m u. Gel.	-88,80 bis -89,10 m	-40,00 bis -51,50 m	---	---	---
Auffüllung mit Betonplombe					
von-bis m u. Gel.	-92,70 bis -89,10 m	---	---	---	---
2. Absperrung					
Stahlsperrohr	NW 700 mm	NW 600 mm	NW 600 mm	NW 600 mm	NW 600 mm
von-bis m u. Gel.	-0,60 bis -19,60 m	-0,5 bis -8,00 m	-0,50 bis -8,00 m	-0,50 bis -6,00 m	-0,50 bis -25,00 m
Abdichtung zw. Bohrlochwand und Sperrohr					
durch Ton					
von-bis m u. Gel.	-0,60 bis -14,60 m	---	-2,00 bis -5,00 m	---	---
durch Beton					
von-bis m u. Gel.	-14,60 bis -19,60 m	-2,00 bis -7,8 m	-5,00 bis -7,80 m	-1,5 bis -5,80 m	-2,0 bis -24,80 m
3. Hydrologische Angaben					
Ruhewasserspiegel am	19.11.79	07.02.64	27.01.65	20.06.66	25.11.66
m ab Gel.	-38,62 m	-6,15 m	-3,15 m	-3,55 m	-27,05 m
Pumpversuch:	19.11. bis	07.02. bis	27.01. bis	20.06. bis	25.11. bis
Datum von-bis	06.12.1979	11.02.1964	31.01.1965	24.06.1966	30.11.1966
Dauer Std.	390 Std.	100 Std.	90 Std.	100 Std.	126 Std.
Entnahme 1/s	20/45/35/20	35	40/50/60	30/40/50	30/50/75
Absenkung des Wasserspiegels	5,5/16,4/12,8/9,1	16,5	12,0/19,3/25,8	9,5/15,5/21,5	5,0/10,0/17,0

2.3 Landnutzung und Besiedlung im weiteren Umfeld, GwGefährdungsmomente

Die Gäuflächen insbesondere des Mittleren Muschelkalks mit seinen tiefergründigen Böden zeichnen sich durch intensiven Ackerbau aus. Ansonsten ist ein ertragreicher Ackerbau vornehmlich an die Lößverbreitung gebunden. Größere Bereiche im Unteren und Oberen Muschelkalk werden forstwirtschaftlich genutzt.

Der Talboden des Gespringsbaches ist im näheren Umfeld der Brunnen im wesentlichen von Grünland und extensiv bewirtschafteten Äckern geprägt. An den Hängen von Hügelspitz, Germanenhügel, Höhe 245, Gespringshöhe und Würzberg sowie am Hausberg westlich Leinach ist extensiver Obstbau verbreitet. Der östliche Hügelspitz trägt einen Weingarten.

Von der Gespringshöhe und der Zellinger Höhe ostwärts bis zum Main bei Zellingen wird intensive Landwirtschaft betrieben. Die landwirtschaftlichen Flächen im Umfeld des Marktes Zellingen reichen nach Norden bis zu den Südabhängen des Steigrains und zum Hügelspitz, nach Westen bis zur Linie Germanenhügel-Glumpberg und stoßen im Süden an die Anbaugebiete der Gemeinde Leinach.

Im Norden und Westen schließt sich ein großer zusammenhängender Waldgürtel an (Himmelstädter Wald - Zellinger Wald - Billingshauser Wald). Westlich davon folgt im Gebiet Duttenbrunn - Urspringen - Billingshausen - Birkenfeld - Remlingen ein breiter Raum intensiv landwirtschaftlich genutzter Flächen mit nur gelegentlich eingestreuten Gehölzen.

Entsprechend der Landnutzung weist das Untersuchungsgebiet ländlichen Charakter mit überwiegend dörflichen Siedlungsstrukturen auf. Anlagen oder Fachbetriebe mit besonderem GwGefährdungspotential sind nicht vorhanden. Die Abwässer werden meist über die örtliche Kanalisation einer Kläranlage zuge-

führt (Tab. 5). Lediglich Stadelhofen und Ansbach entsorgen ihre Abwässer noch über häusliche Kleinkläranlagen mit anschließender Versickerung bzw. bei landwirtschaftlichen Anwesen auch über die Gülleverwertung. Stadelhofen soll 1993 über Rohrbach an die Kläranlage Wiesenfeld angeschlossen werden. In Ansbach ist die Kanalisation bereits fertiggestellt, der Anschluß über Roden an die Kläranlage Marktheidenfeld ist noch für 1992 vorgesehen.

Tab. 5 Zentrale Abwasserentsorgung der Ortschaften im Untersuchungsgebiet

Ortschaften	Vorfluter	Anmerkungen
Billingshausen	Braunbach/Karbach	Erdbecken; Verbesserungsmaßnahmen laufen derzeit
Birkenfeld	Karbach	
Duttenbrunn	Elendsgraben bzw. Kettlichsgraben, nur zeitweise wasserführend	Teiche z. T. undicht; Sanierung läuft. Eine indirekte Verbindung des Grabens mit dem Untergrund ist wegen der benachbarten Subrosionssenken nicht auszuschließen
Hausen/Steinfeld	Mühlbach/Buchenbach	
Urspringen	Mühlgraben/Grummibach	
Waldzell	Zeller Graben	

Im Untersuchungsgebiet westlich von Zellingen befinden sich keine aktuellen Abfalldeponien, doch sind einige ehemalige gemeindliche Müllplätze bekannt:

- Knapp 1 km nördlich Billingshausen am Gansberg sowie 700 m nordwestlich am Edelberg (möglicherweise eine Dolinen-Verfüllung).
- Ca. 1,5 km nordöstlich Duttenbrunn zwischen den Waldstücken Hemmig und Röhling-Holz.
- Ca. 1 km östlich sowie gut 1 km nordöstlich Urspringen.
- Der Altablagerung ca. 2,5 km westlich Zellingen am östlichen Hügelspitz sollte wegen ihre ausgesprochenen Nähe zum Erschließungsgebiet Zellinger Becken besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

2.4 Quellen, Grundwassermeßstellen und weitere Wasserfassungen im Untersuchungsgebiet

In den Jahren 1975 bis 1982 wurden von der Deutschen Bundesbahn entlang der Trasse der Bundesbahn-Neubaustrecke Hannover - Würzburg zahlreiche Aufschlußbohrungen abgeteuft. Alleine in der Umgebung der Brunnen im Zellinger Becken wurden 26 Grundwassermeßstellen sowie 14 Abfang- bzw. Absenkbrunnen eingerichtet (8, 11). Als zusätzlicher Abfangbrunnen fungiert heute der ehemalige Brunnen I der Erschließung Zellinger Becken.

Als benachbarte GwErschließungen sind zu nennen:

Im Südwesten der Brunnen der Gemeinde Birkenfeld, im Westen die Brunnen I und II der Urspringer Gruppe, im Norden die für die Wasserversorgung der Stadt Karlstadt gefaßte Frauenquelle bei Laudенbach und die Feldmühlquelle der Wasserversorgung Himmelstadt, im Osten die Steinbühlquelle des Marktes Zellingen und im Südosten die Quellfassung der Gemeinde Leinach (Anlage 3).

Die Riedbachquelle nördlich des Kirchberges speist ungenutzt den Zellinger Riedbach.

Die hydrogeologische Zuordnung der Wasserfassungen und Quellen ist sehr unterschiedlich (vgl. hierzu Kap. 3): Der Brunnen der Gemeinde Birkenfeld nutzt ausschließlich das GwStockwerk im Unteren Muschelkalk. In den Brunnen I und II der Urspringer Gruppe wird Grundwasser sowohl aus dem Unteren als auch aus dem Mittleren Muschelkalk gewonnen. Während die Frauenquelle bei Laudенbach und die Himmelstädter Feldmühlquelle als Störungsquellen aus dem GwStockwerk in den Schaumkalkbänken des Unteren Muschelkalkes schütten, bezieht die Zellinger Steinbühl-Quelle ihr Wasser vermutlich aus den klüftigen Terebratelbänken des Unteren Muschelkalkes (16). Nahe dem Muldenzentrum der Zellinger Mulde tritt in der Region des Mittleren Zellenkalksteins die Riedquelle zutage. Die Quelle südlich Oberleinach wird aus dem Rötquarzit genährt.

Nach SCHWARZMEIER (16) besitzt die Himmelstädter Feldmühlquelle eine mittlere Schüttung von 17,7 l/s, die Laudenbacher Frauenquelle von durchschnittlich 8,5 l/s und die Zellinger Steinbühlquelle von ca. 9 l/s. Die Riedquelle schüttet im Mittel 25 l/s (2). Für die Brunnen Urspringen I und II ist Wasserrechtlich eine Entnahme von 130.000 m³/a genehmigt, was einer durchschnittlichen Entnahme von 4 l/s entspricht (1).

2.5 Klimatische und hydrologische Daten

Das Untersuchungsgebiet gehört dem Klimabezirk Mainfranken an. Im Zeitraum 1881/1930 betrug die mittlere Lufttemperatur +8 bis +9 Grad und die mittlere Jahrestemperatur der Vegetationsperiode (Mai bis Juli) +15 bis +16 Grad (29).

Nach den Niederschlagsdaten (Jahresreihe 1931 - 1960) für die Kartenblätter Karlstadt, Remlingen, Marktheidenfeld und Lohr a. Main (16,17, 18) liegen die jährlichen Gebietsniederschlagshöhen zwischen 644 und 670 mm (Tab. 6).

Die Ermittlung der reellen Gebietsevapotranspiration erfolgte unter Verwendung der niederschlagsorientierten Formeln von WUNDT (1937) und TURC (1954).

Tab. 6 Klimatisch-hydrologische Daten

	Blatt 6023 Lohr a. Main	Blatt 6024 Karlstadt	Blatt 6024 Marktheidenfeld	Blatt 6124 Remlingen	Durchschnitt
Niederschläge (jährl.Mittel)	656 mm	644 mm	662 mm	670 mm	658 mm
Verdunstung ET _{WUNDT}	435 mm	431 mm	437 mm	440 mm	436 mm
Verdunstung ET _{TURC}	427 mm	424 mm	429 mm	431 mm	428 mm
Abfluß gesamt	221 bis 229 mm	213 bis 220 mm	225 bis 233 mm	230 bis 239 mm	222 bis 230 mm

Die geringe Streuung erlaubt es, als allgemeine Gebietsverdunstung den Mittelwert der Einzelergebnisse anzusetzen.

Bei einer mittleren Niederschlagshöhe für die Muschelkalkareale der o. g. Kartenblätter von ca. 658 mm und einer durchschnittlichen Verdunstungshöhe von ca. 428 mm nach TURC bzw. 436 mm nach WUNDT errechnet sich ein mittlerer Gesamtabfluß von 230 bzw. 222 mm.

Die meisten Oberflächengerinne im Untersuchungsgebiet liegen als Trockentäler vor. Auch nach ergiebigen Regenfällen führen sie nur selten Wasser. Lediglich in den vegetationslosen Jahreszeiten werden bei erhöhter Wasserzufuhr durch starke Regenfälle oder Schneeschmelze größere Wassermengen oberirdisch abgeleitet. Die perennierenden Bachläufe werden überwiegend aus dem Grundwasser gespeist. Für den GwHaushalt des Einzugsgebietes kommt letztlich nur dem Ried-Bach westlich Zellingen größere Bedeutung zu; er hat eine mittlere Wasserführung von 25 l/s; in niederschlagsarmen Zeiten fällt auch er trocken (2). Bringt man für ihn etwa 10 mm/a zum Abzug (bezogen auf die volle Einzugsgebietsfläche, vgl. 5.5), so verbleiben für den unterirdischen Abfluß noch mindestens 210 mm/a. Die mittlere jährliche GwNeubildung, ermittelt aus Evapotranspiration und Niedrigwasserabfluß, ist demnach mit $6,7 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ anzusetzen.

GEORGOTAS (17) gibt für den Bad Kissinger Raum Grundwasserneubildungshöhen von 234 mm/a ($= 7,4 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$) und für den Raum Ostheim-Mellrichstadt von 209 mm/a ($= 6,6 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$) bei vergleichbaren Niederschlagshöhen von 721 bzw. 696 mm an.

2.6 Wasserbeschaffenheit

Zur Hydrochemie des hier geförderten Grundwassers liegt umfangreiches Datenmaterial vor. Ende der siebziger Anfang der achtziger Jahre wurden im Zuge ingenieurgeologischer Untersuchungen Meßreihen erstellt (6 - 12), die seit 1983 von den

Stadtwerken Würzburg durch monatliche Untersuchung der Brunnenwässer hinsichtlich der wichtigsten Parameter fortgeschrieben werden.

2.6.1 Wassertyp

Die geförderten Wässer gehören vorwiegend dem Kalzium-Magnesium-Hydrogenkarbonat-Typ an, mit teilweise auch erhöhtem Sulfatgehalt (Br. III). Seit der Erschließung scheinen - soweit dies nicht meßtechnisch bedingt ist - die Leitfähigkeiten etwas zugenommen zu haben und liegen in den letzten Jahren zwischen 830 und 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$; die pH-Werte schwanken geringfügig knapp oberhalb von 7,0. Mit Gesamthärten zwischen 21 und 29 Grad dH bei einem konstanten Karbonathärteanteil um 18 Grad dH (Br. I knapp 20 Grad dH) sind die Wässer als hart bis sehr hart einzustufen.

Die relativ niedrige Nichtkarbonathärte von 5 - 9 Grad dH läßt auf eine nur noch geringe Gipsführung und somit auf eine bereits weitreichende Auslaugung der salinaren Schichten des Mittleren Muschelkalks schließen. In welchem Umfang die bis 1988 besonders ausgeprägten Schwankungen der Sulfatgehalte auf Einflüsse der landwirtschaftlichen Düngung zurückzuführen sind, läßt sich aufgrund der wechselnden Primärgehalte nicht beurteilen. Augenfällig sind jedoch die erhöhten Sulfatwerte im Sommer 1987 bei gleichzeitig gestiegener Nitratbelastung. Der Anstieg des Chloridgehaltes seit dem Erschließungszeitpunkt um 80 bis 100 % ist geogen kaum erklärbar. Neben der Mineraldüngung liegen Einflüsse aus der Straßensalzung nahe.

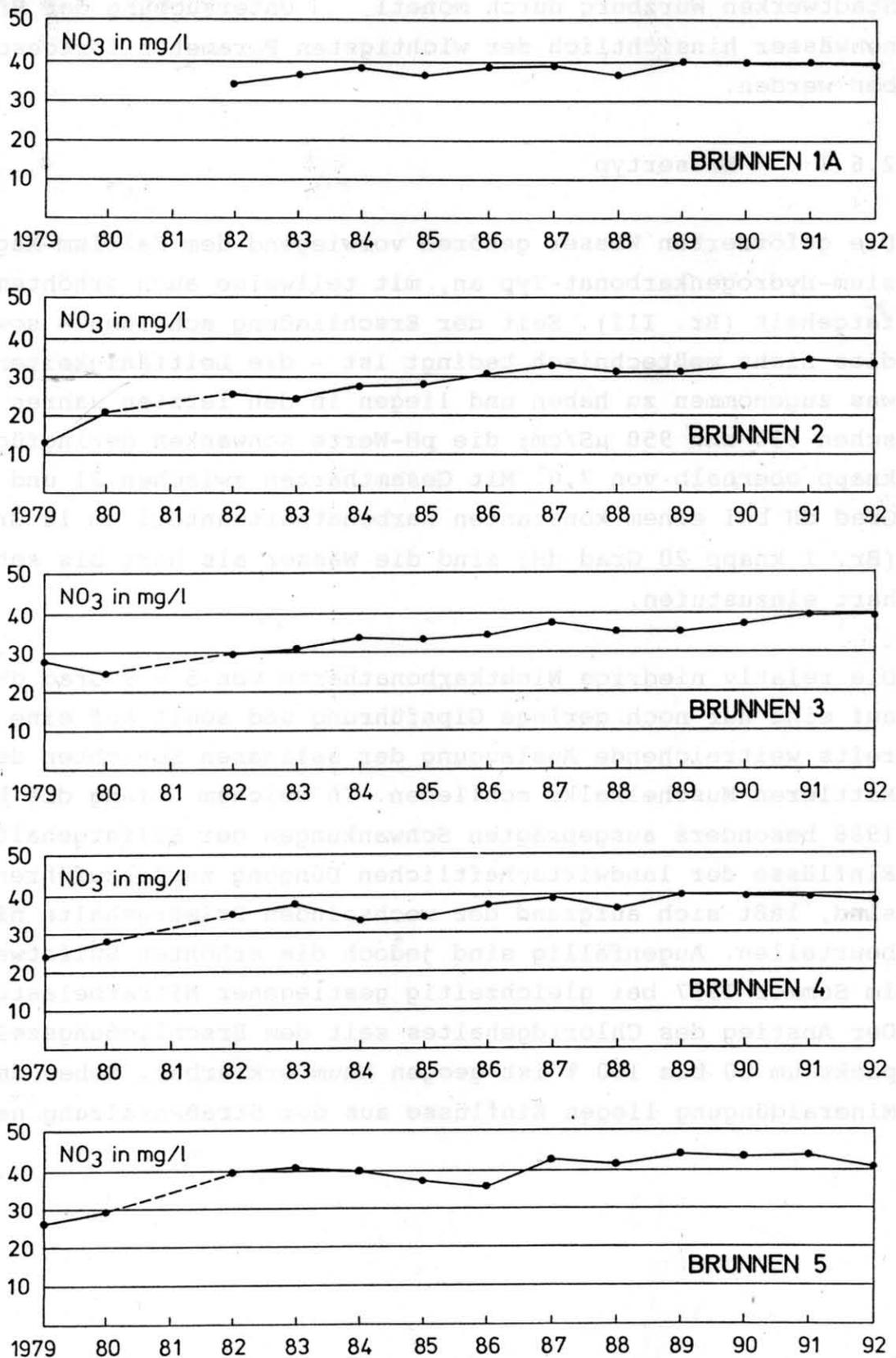


Abb. 1: Entwicklung der Nitratwerte in den einzelnen Brunnen (nach Aufzeichnungen der Stadtwerke Würzburg, ergänzt)

Tab. 7 Auszüge aus Analysen für die Brunnen Ia bis V

Brunnen	Ia	II	III	IV	V
Datum	01.06.92	01.06.92	01.06.92	01.06.92	01.06.92
Wassertemperatur (°C)	10,9	11,3	11,7	12,1	10,9
Leitfähigkeit (uS/cm) bei 25°C	881	855	901	886	890
pH-Wert	7,32	7,39	7,11	7,25	7,31
Säurekapazität (mmol/l) bis pH 4,3	6,3	6,5	6,2	6,3	6,3
Carbonathärte (°dh)	17,64	18,20	17,36	17,64	17,64
Gesamthärte (°dh)	26,0	25,2	26,0	26,3	26,3
Gesamthärte (mmol/l)	4,64	4,50	4,64	4,70	4,70
Ca ²⁺ (mg/l)	144,3	138,3	146,3	144,3	146,3
Mg ²⁺ (mg/l)	25,3	25,5	24,1	26,6	25,4
Na ⁺ (mg/l)	3,4	3,4	3,6	3,5	3,8
K ⁺ (mg/l)	0,6	0,6	0,5	0,8	0,8
Cl ⁻ (mg/l)	36,6	36,0	39,3	36,9	37,2
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	63	47	74	54	67
NO ₃ ⁻ (mg/l)	38,3	33,4	40,8	39,8	41,8

2.6.2 Belastungen

Die 1966 nach Inbetriebnahme der Brunnen gemessenen Nitratwerte liegen zwischen 17 (Br. II) und 28 mg/l (Br. V). Allerdings sind sie (zumindest teilweise) noch als N₂O₅ angegeben, so daß eine Umrechnung noch erheblich niedrigere NO₃-Werte, zwischen 10 und 16 mg/l ergibt. In jedem Falle aber dokumentiert die Entwicklung bis heute einen kontinuierlichen Anstieg der Nitratbelastung des Grundwassers, die in diesem Ausmaß in erster Linie auf die intensive landwirtschaftliche Nutzung zurückzuführen ist (Abb. 1).

Seit Herbst 1989 werden die Nitratuntersuchungen monatlich durchgeführt. Die Ganglinien in Abb. 2 spiegeln den zeitlichen Verlauf der Nitratbelastung bei den einzelnen Brunnen im Zeit-

raum Juni 1987 bis Oktober 1989 wider. Die Streuung könnte auf schubweise Nitrat Auswaschungen hindeuten. Es zeichnet sich eine schwache Abhängigkeit der Nitratgehalte von der Jahreszeit ab, mit mehr oder weniger starken Maxima in den Sommermonaten .

Da sich auch hydrologische Schwankungen auf den Nitratgehalt auswirken (Auswaschung, Verdünnung), muß ein vorübergehendes Absinken der Werte, wie im Sommer 1988, nicht unbedingt auf einen verminderten Eintrag zurückgehen, sondern kann auch mit den geringeren Niederschlägen zusammenhängen.

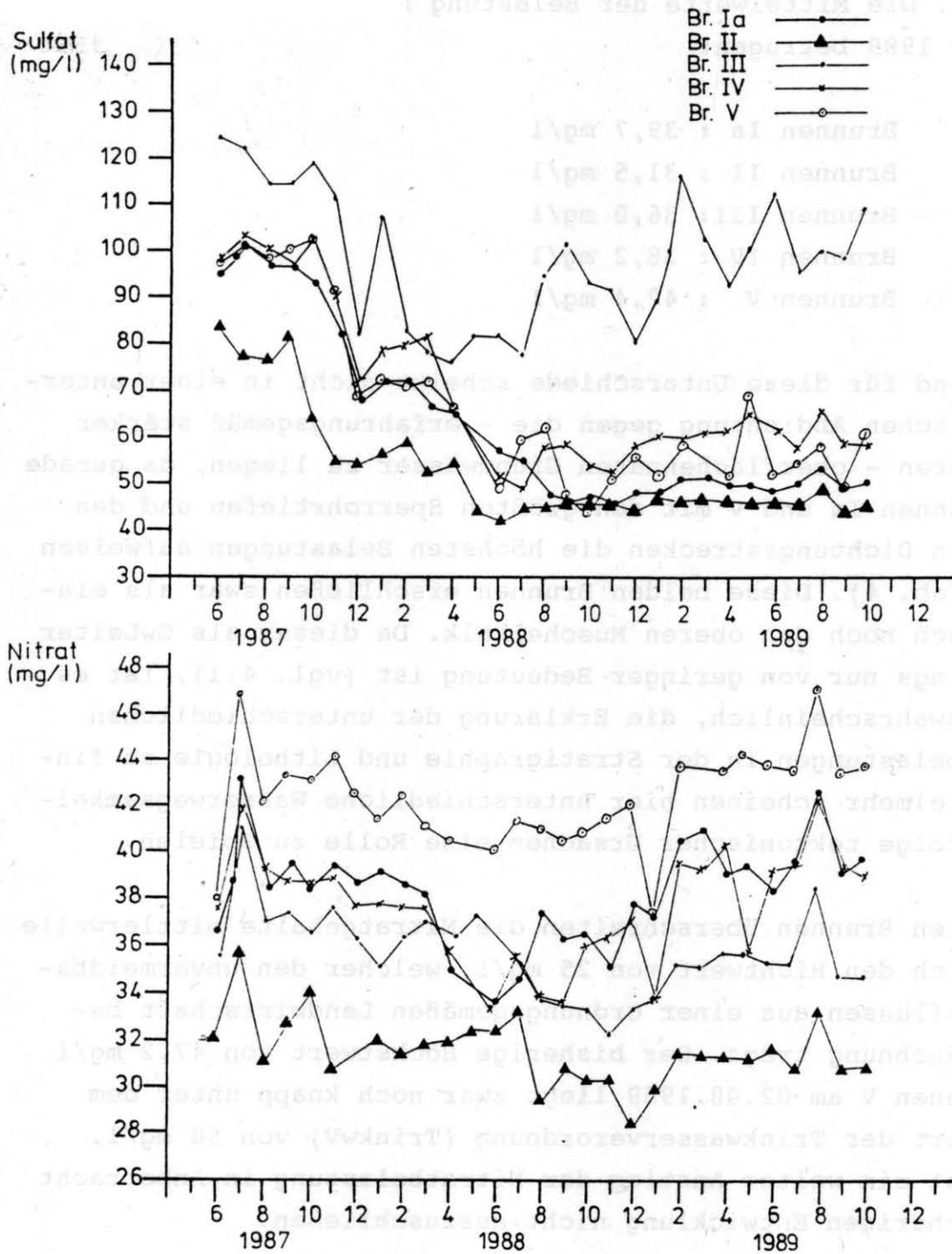


Abb. 2: Gang der Nitrat- und der Sulfatwerte im Zeitraum Juni 1987 bis Oktober 1989 an den Brunnen der Erschließung Zellinger Becken (etwa monatliche Einzelmessungen)

Die Nitratbelastung differiert auch zwischen den einzelnen Brunnen. Die Mittelwerte der Belastung zwischen Juni 1987 und Oktober 1989 betragen:

Brunnen Ia	: 39,7 mg/l
Brunnen II	: 31,5 mg/l
Brunnen III	: 36,0 mg/l
Brunnen IV	: 38,2 mg/l
Brunnen V	: 42,4 mg/l

Der Grund für diese Unterschiede scheint nicht in einer unterschiedlichen Abdichtung gegen die - erfahrungsgemäß stärker belasteten - oberflächennahen Grundwässer zu liegen, da gerade die Brunnen Ia und V mit den größten Sperrohrtiefen und den längsten Dichtungsstrecken die höchsten Belastungen aufweisen (vgl. Tab. 4). Diese beiden Brunnen erschließen zwar als einzige auch noch den oberen Muschelkalk. Da dieser als GwLeiter allerdings nur von geringer Bedeutung ist (vgl. 4.1), ist es eher unwahrscheinlich, die Erklärung der unterschiedlichen Nitratbelastungen in der Stratigraphie und Lithologie zu finden. Vielmehr scheinen hier unterschiedliche Wasserwegsamkeiten infolge tektonischer Ursachen eine Rolle zu spielen.

Bei allen Brunnen überschreiten die Nitratgehalte mittlerweile erheblich den Richtwert von 25 mg/l, welcher den unvermeidbaren Einflüssen aus einer ordnungsgemäßen Landwirtschaft bereits Rechnung trägt. Der bisherige Höchstwert von 47,2 mg/l in Brunnen V am 02.08.1989 liegt zwar noch knapp unter dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) von 50 mg/l, doch ist ein weiter Anstieg der Nitratbelastung in Anbetracht der bisherigen Entwicklung nicht auszuschließen.

Die Kontamination des Grundwassers mit Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln (PBSM) bzw. deren Abbauprodukten hat nur gelegentlich zu nachweisbaren Mengen geführt.

3 ERGEBNIS DER GEOLOGISCHEN ERHEBUNGEN

3.1 Schichtenaufbau

3.1.1 Oberer Buntsandstein (so)

Die Brunnenbohrungen des Erschließungsgebietes Zellinger Becken/Gespring setzen im Mittleren, teils auch noch Oberen Muschelkalk an und erschließen das darunterliegende Muschelkalk-Profil bis zur Basis. Bei Brunnen III wurden noch ca. 2,5 m der Oberen Röttonsteine des Oberen Buntsandsteins angebohrt. Sie bestehen aus rotbraunen, lagigen Tonsteinen, die durch das Auftreten von graugrünen, tonigen, teils kieseligen, teils karbonatischen Zwischenlagen gekennzeichnet sind. Zusammen mit der verstärkt karbonatischen Myophorienbank bilden sie den Übergang zu den auflagernden Gesteinsserien des Muschelkalks.

3.1.2 Muschelkalk

Die besondere, evaporitische Prägung der Sedimente im mittleren Abschnitt dieser karbonatischen Abfolge ermöglicht eine natürliche Gliederung in die drei Abteilungen Unterer-, Mittlerer- und Oberer Muschelkalk. Die Grenzziehung zwischen den Abteilungen ist, ebenso wie die Abgrenzung gegen den liegenden Buntsandstein und den hangenden Keuper, faziesabhängig.

3.1.2.1 Unterer Muschelkalk (mu)

Der Untere Muschelkalk wird wegen seiner fein- bis grobwellig, wulstig bis knollig ausgebildeten Schichten auch "Wellenkalk" genannt. Die rund 90 m mächtige Abfolge ist zu ca. 90 % aus meist dünnplattigen, schwach mergeligen Kalksteinlagen aufgebaut. Die einheitlich ausgebildeten Wellenkalksteinfolgen werden unterbrochen von Schillkalksteinbänken, Kalkgerölle führenden Hartbänken, oolithischen Kalksteinbänken und im ober-

sten Teil von den sogenannten Schaumkalkbänken. Reine Tonlagen von bis zu mehreren dm Mächtigkeit treten nur an der Basis des Wellenkalkes, im Hangenden des sog. Grenzgelbkalksteins auf.

3.1.2.2 Mittlerer Muschelkalk (mm)

Der Mittlere Muschelkalk besteht aus wechselnd stark dolomitischen Kalksteinen, Mergelkalksteinen, Residualtonen und -mergeln, in die saline Bildungen in Form von dünnen Gipsschnüren und -linsen eingelagert sind. Aufgrund fazieller Differenzierungen ist eine weitgehende Untergliederung der Abteilung möglich:

Die Basis des Mittleren Muschelkalkes wird von einer ca. 4 - 6 m mächtigen Abfolge aus gelblich-grauen dolomitischen Kalksteinen gebildet, die von den ebenfalls dolomitisch ausgebildeten Kalklagen des sogenannten Unteren Zellenkalkes überlagert werden. Darüber folgt ein ca. 20 - 30 m mächtiges Schichtenpaket aus graugelben Mergelsteinen und dunkel-blau-grauen Tonsteinen, das lediglich im mittleren Bereich von den kompakten Kalksteinlagen des Mittleren Zellenkalksteins untergliedert wird. Kennzeichnend sind ausgeprägte evaporitische Bildungen wie Gips und Anhydrit bzw. deren Auslaugungsrelikte in Form von Residualtonen und -mergeln. Auf die Auslaugung von Gips- und Anhydrit-Gestein im Untergrund sind die großen Mächtigkeitsschwankungen dieser Schichtfolge zurückzuführen. Den Mittleren Muschelkalk schließen nach oben die dolomitischen Stylolithenkalksteine, eine graugrüne Mergelabfolge mit zwischengeschalteter Hornsteinkalkbank und im Grenzbereich ein weiterer Zellenkalksteinhorizont ab. Die Gesamtmächtigkeit der Schichtenfolge beträgt ca. 40 bis 45 m.

3.1.2.3 Oberer Muschelkalk (mo)

Der obere Muschelkalk bildet den Steilanstieg, der das Erschließungsgebiet von Westen her umgreift, und die anschließenden Hochflächen. In seiner gesamten Mächtigkeit ist er im

Untersuchungsgebiet nur im Bereich des Germanenhügels nordwestlich der Brunnen erhalten. Er ist im wesentlichen aus einer Wechselfolge von plattigen bis bankigen Kalksteinen und einigen Mergel- und Tonsteinhorizonten unterschiedlicher Mächtigkeit aufgebaut.

3.1.3 Unterer Keuper (ku)

Schichten des Unteren Keupers (Lettenkeuper) treten im Untersuchungsgebiet nur in einem isolierten, geringmächtigen Vorkommen am Germanenhügel im Nordwesten des Erschließungsgebietes auf. Es handelt sich hier um eine Wechselfolge von Gelbkalklagen, Schiefertonen und dünnen quarzitischen Platten.

3.1.4 Quartäre Lockergesteine

3.1.4.1 Ablagerungen des Mains

Im Talbogen westlich der Gespringshöhe sind Ablagerungen des pleistozänen Mainlaufes in unterschiedlicher Mächtigkeit und Ausbildung anzutreffen. Sie bestehen im wesentlichen aus Sanden und Schottern mit einem verhältnismäßig hohen Tonanteil. Die Gespringshöhe ist von Hauptterrassenschottern bedeckt. Über die Mächtigkeit der Schotterkörper liegen keine genauen Angaben vor.

3.1.4.2 Löß und Lößlehm

Großflächige Lößvorkommen liegen den flachen Hängen und den Muschelkalkhochflächen auf. Während entlang der Täler auf den nach Osten exponierten Hängen bis über 5 m mächtiger Löß angelagert wurde, erreicht die Lößdecke auf den Hochflächen lediglich eine Mächtigkeit bis zu 2 m. Die Auswaschung des ursprünglichen Kalkgehaltes hat zur weitgehenden Verlehmung der Lößlagen geführt, so daß der überwiegende Teil dieser Vorkommen als Lößlehm zu bezeichnen ist.

3.1.4.3 Talfüllungen

Die Talfüllungen der Nebentäler des Mains bestehen überwiegend aus Lehm, einem Abschwemmprodukt aus den in den zugehörigen Einzugsgebieten verbreiteten Lößlehmdeckschichten und aus den Verwitterungsrückständen der tonigen Partien der Muschelkalkabfolge. Daneben tritt Hangschutt aus steinigem, sandigem und schluffigem Material auf, der nach Erreichen des Talbodens nochmals umgelagert wurde.

3.2 Lagerungsverhältnisse, Strukturen

Das Untersuchungsgebiet gehört dem aus überwiegend triassischen Sedimenten aufgebauten Schichtenstufenland Unterfrankens an und liegt im Rahmen der großtektonischen Gliederung im Sinne von CARLÉ (14) im NW-Teil der Südwestdeutschen Großscholle. In Nordbayern wurde die Südwestdeutsche Großscholle tektonisch mit Verbiegungen und Verwerfungen ausgestaltet.

Das nordwestliche Unterfranken ist Teil der Mitteldeutschen Schwelle, die vor, während und nach der variszischen Orogenese tektonisches Hochgebiet war (13). Während der kimmerischen Gebirgsbildungen wurde die erzgebirgisch (etwa SW-NE) ausgerichtete Spessart-Rhön-Schwelle im Nordwesten des Untersuchungsgebietes herausgehoben, wodurch sich das flach südostwärtige generelle Schichtfallen des mesozoischen Deckgebirges ergab. Parallel dazu differenzierten sich im Südosten kleinere aufsteigende Schwellen, die durch flache Mulden getrennt sind (16). Der starre Sockel der Südwestdeutschen Großscholle zerriß im nordwestlichen Unterfranken an bedeutenden und markanten, herzynisch (etwa NW-SE) streichenden Störungszonen. Diese Störungszonen erlitten mehrphasige pliozäne Zerrungs- und Pressungsbeanspruchungen und zerlegten das Gebirge in Gräben und Horste meist pliozänen Alters. Der tektonische Baustil im Untersuchungsgebiet ist somit germanotyper Natur.

Zwei tektonische Elemente treten im Untersuchungsgebiet deutlich in Erscheinung:

- Die erzgebirgisch streichenden Schichtenverbiegungen in Gestalt des Zellinger Muldenzuges und des herausgehobenen Thüngerseimer Sattels mit den daran gebundenen Abschiebungen.
- Ein System herzynisch streichender Verwerfungen.

Über die tektonischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes liegen umfangreiche Veröffentlichungen vor (16), (17), (18), (19). Die Lagerungsverhältnisse sind auf der Streichlinienkarte der Anlage 6 dargestellt. Als Bezugshorizont dient die Grenze Buntsandstein/Muschelkalk.

3.2.1 Verbiegungen und Störungen

Die Zellinger Mulde nimmt den Zentralbereich des Untersuchungsgebietes ein. Sie stellt eine flache, schüsselförmige Struktur dar, deren Muldenachse etwa SW-NE verläuft. Das bruchtektonisch übertiefte Muldenzentrum, der tektonisch tiefste Punkt des Untersuchungsgebietes, liegt im Erschließungsgebiet, 3 km west-südwestlich Zellinger (16); die vermutete Grenze so/mu liegt bei der Brunnenbohrung V ca. 45 m ü NN. Im Verlauf zwischen dem Erschließungsgebiet und Billinghamen spaltet sich die Muldenachse auf. Der Nebenast verläuft ca. 2 km nach NW. Die Hauptachse zieht in einem leichten, südostwärts gekrümmten Bogen nach SW und hebt an der Birkenfelder Schwelle (s. u.) aus.

Die Flanken der Zellinger Mulde weisen unterschiedliche tektonische Erscheinungsbilder auf. Die Nordwest-Flanke steigt entsprechend dem generell flachen Südost-Fallen relativ gleichförmig an. Herzynisch streichende antithetische Verwerfungen zerlegen die Flanke in eine Reihe schmaler Kippschollen. Die

begrenzenden Randverwerfungen mit Sprunghöhen zwischen 20 und 60 m stellen dabei vermutlich keine einfachen Abschiebungen dar, sondern dürften aus Scharen parallel verlaufender Störungen zusammengesetzt sein.

Die Südost-Flanke der Zellinger Mulde erhebt sich relativ steil zur Aufwölbung des Thüngersheimer Sattels. Als tektonisch am stärksten beanspruchter Bereich ist die Flanke durch mehrere erzgebirgisch (etwa SW-NE) und herzynisch streichende Abschiebungen mit Sprunghöhen von 30 bis 40 m in einzelne Schollen, Streifen und Halbgräben zergliedert und wechselt stark im Einfallen.

Im SW erhebt sich die tektonisch flach ausgeprägte Birkenfelder Schwelle, die allmählich in die NW-Abdachung des Thüngersheimer Sattels übergeht. Sie schnürt den SW-Teil der Zellinger Mulde vom Muldenzentrum ab, was sich maßgeblich auf die Hydrogeologie auswirkt (16).

Von Nordwesten her springt ein markantes Bruchfeld, die Störungszone Rodenbach - Waldzell - Urspringen - Duttenbrunn in das Untersuchungsgebiet vor und klingt im Bereich der Zellinger Mulde aus. Die Fortsetzung der Störungszone nach SE und damit ihr Anschluß an das Störungssystem Würzburg - Rottendorf ist im Unterleinacher Bruchfeld und den Störungen bei Oberleinach zu sehen (16).

Die Störungszone Urspringen - Duttenbrunn wird von zwei Hauptstörungen geprägt. Die Duttenbrunner Störung (a, in Anlage 4) verläuft vom Neu-Berg bei Waldzell mit einem Streichen von 105 bis 135 Grad bis in den Zellinger Wald und weist einen maximalen Schichtenversatz von über 40 m bei Duttenbrunn auf.

Eine flach NE-fallende Parallelstörung im Norden (b) läuft am Heißen-Berg aus. Die Hauptstörung setzt sich in zwei 120 bis 130 Grad gerichteten Störungen (c, d) bis in das Zentrum der Zellinger Mulde fort. Sie bilden einen schmalen, beim Brunnen

V max. 25 m tiefen tektonischen Graben, der für den Erhalt des inselartigen Keupervorkommens am Germanenhügel und für den starken Wasserandrang der Brunnen im Gespring verantwortlich ist (16).

Die zweite Hauptstörung, die bei Urspringen das Untersuchungsgebiet quert, zieht als Urspringer Sprung (e, f; Versatz max. 50 m nach NE) auf 7,5 km Länge mit 120 bis 150 Grad durch Urspringen, an Billingshausen vorbei bis zur Achse der Zellinger Mulde. In Urspringen spaltet sich die Hauptverwerfung für eine kurze Strecke in zwei Äste auf, die eine schmale Scholle begrenzen. Der südliche Ast ist mit knapp 40 m Sprunghöhe der kräftigere (16).

Duttenbrunner Störung und Urspringer Sprung stellen die Randverwerfungen des Duttenbrunner Grabens dar, einer bei Urspringen bis 50 m tief eingesenkten Struktur, die sich, 1,5 bis 2 km breit und über 10 km lang, von Waldzell im NW bis zum Zellinger Wald erstreckt (16).

An der NW-Flanke des Thüngersheimer Sattels gleichen bedeutende, achsenparallele, synthetische Abschiebungen der Störungszone Remlingen - Unterleinach die durch die Aufwölbung hervorgerufene Schichtendehnung und horizontale Einengung weitgehend aus. Die bedeutendste Abschiebung ist der Remlinger Sprung (g), der nördlich Remlingen in das Untersuchungsgebiet eintritt und sich über 9 km Länge mit einem Streichen von 40 bis 50 Grad und einen größten Versatz von 75 m über den Johannishof bis zum Hacksberg hinzieht. Parallel zum Remlinger Sprung verlaufen die gleichsinnigen Störungen h, i, j und k (Anlage 6).

Das Unterleinacher Bruchfeld verdankt seine Entstehung primär der größten Neigung des Thüngersheimer Gewölbes auf engem Raum und sekundär dem Remlinger Sprung sowie herzynischen Strukturen, die sich hier kreuzen. Am Hacksberg verzweigt sich der Remlinger Sprung an einer NW-SE-Störung (l), wobei sich die

Richtungen ändern. Der im Untersuchungsgebiet 5,5 km lange Nordost (m; Versatz max. 50 m) streicht 50 bis 60 Grad und kreuzt am Steingraben den Main. Der wechselnd 30 bis 75 Grad streichende Südost (n; größter Versatz 60 m) wird in seinem Verlauf von der Bruchtektonik stark beeinflusst und vereinigt sich am Steingraben mit dem Nordost (m). Der Westteil wird von mehreren 120 bis 150 streichenden Störungen mit einem größten Versatz von 30 m stark deformiert. Die von ihnen begrenzten Schollen, 25 streichende Störungen (o, p) senken dagegen die Grenze so/mu bis auf 155 m ü. NN ab, zum Unterleinacher Graben. Dieser verläuft mit 25 bis 30 schräg zwischen den Hauptstörungen (m) und (n). Den Nordosten des Bruchfeldes und zugleich die östliche Grabenschulter prägen 25 bis 35 streichende antithetische Abschiebungen nach NW (q, r, s, t).

Den Norden des Untersuchungsgebietes streift eines der markantesten bruchtektonischen Elemente Unterfrankens. Aus dem Spessart kommend, durchschlägt die NW-SE-streichende Störungszone Partenstein - Wiesenfeld - Karlstadt - Retzbach - Rimpar - Kitzingen in mehreren Bündeln die Mainfränkische Muschelkalkplatte. Die mit 120 bis 130 angelegte Schnee-Berg-Störung (u; Versatz max. 45 m) zieht sich vom Steinfelder Berg über 9 km bis Himmelstadt hin. Begleitet von zahlreichen Parallelstörungen bildet sie die Hauptverwerfung des südlichen Astes der Störungszone Wiesenfeld - Karlstadt - Retzbach. Diesen südlichen Ast bauen herzynisch orientierte NE-fallende Abschiebungen auf, an denen einige erzgebirgisch streichende Störungen absetzen, von denen der Sternberg-Bruch (v) synthetisch nach SE einfällt (16).

Die Störungen bei Stadelhofen setzen sich aus einer antithetischen, 30 bis 40 streichenden Abschiebung (w; Versatz max. 15 m) und den bis 10 m verwerfenden Störungen x, y, z zusammen (16).

3.2.2 Klüftung

Die Klüftrosen der Streichlinienkarte (Anlage 6) zeigen, daß sich die Streichrichtungen der Klüfte generell in N-S-, NW-SE- und NE-SW-Richtung häufen. Über die Öffnungsweite der Klüfte liegen keine detaillierten Untersuchungen vor. Es kann jedoch angenommen werden, daß sie infolge der Gebirgsentspannung an der Oberfläche allgemein stärker geöffnet sind als in der Tiefe.

Die Klüftdichte steht im engen Zusammenhang mit der lithologischen Ausbildung des Gebirges. In den dicken und harten Kalksteinbänken ist sie in der Regel geringer als bei dünnen Lagen. Tonig ausgebildete Schichten sind meist von zahlreichen feinen Klüften (Haarrissen) durchzogen, da sie duktil auf die tektonischen Kräfte reagieren.

Die prägnante Klüftung der Kalksteine schuf die Voraussetzung für die weitreichende Verkarstung insbesondere der evaporitisch geprägten Schichten.

In der oberen Kruste Mitteleuropas herrscht rezent ein großräumig relativ konstanter Gebirgsspannungszustand vor, der durch horizontale Spannungen mit annähernd NW-SE (142 ± 20) verlaufender größter Hauptnormalspannungsrichtung charakterisiert ist (27), (30). Die kleinste Hauptnormalspannung liegt bei 52 und die Richtungen der maximalen Scherspannungen bei 7 und 97.

Bei den herzynischen Verwerfungen handelt es sich bezüglich des Gebirgsbaus um ein Querbruchsystem mit Dehnungstendenz und damit relativ erhöhten Trennfugenöffnungsweiten (27, 30). Faltung und Aufwölbung im Grundgebirge parallel der Spessart-Rhön-Schwelle bedingten Druckentlastung und damit Zerrung und Dehnung mit Deckgebirge. Daher sind auch die erzgebirgisch orientierten Längsbrüche parallel der Zellinger Mulde und des Thüngersheimer Sattels als Dehnungsbrüche ausgebildet. Die

rheinisch (etwa N-S) streichenden Bruchstrukturen sind Ausdruck von Scherspannungen und gehören einem Diagonalkluftsystem mit Lateralbewegungstendenz an. Diese Diagonalklüfte neigen in weitaus geringerem Ausmaß zur Trennfugenöffnung. Das Gebirge wird also insbesondere an herzynisch und erzgebirgisch streichenden Strukturen aufgelockert sein und eine höhere Wasserdurchlässigkeit aufweisen.

3.3 Karsterscheinungen

Die Schichtenfolge des Muschelkalks bietet unterschiedliche Voraussetzungen für die Verkarstungsfähigkeit. Der Untere Muschelkalk ist am wenigsten verkarstet. Das Fehlen von porösen, mächtigeren Kalkbänken und die überwiegend geringere Klüftung unterhalb der Schaumkalkregion sind der Verkarstung nicht förderlich.

Bedeutendster Karstwasserleiter des Einzugsgebietes ist wegen seiner besonderen Verkarstungsfähigkeit der Mittlere Muschelkalk. Infolge der weitreichenden Auslaugung der eingelagerten Gipsgesteine wurde der Gesteinsverband gelockert, Hohlräume geschaffen und die Speicherkapazität der Schichtenfolge vielfältigt. Kleinregionale, stockwertartige Karstbezirke treten auch im Oberen Muschelkalk auf.

Im Einzugsgebiet sind im Zellinger Wald, nördlich Duttenbrunn und zwischen Birkenfeld und Johannishof Subrosionssenken ausgebildet.

Dolinen sind hauptsächlich in Wäldern anzutreffen. Das liegt daran, daß sie in landwirtschaftlich genutzten Gebieten (z. B. am Johannishof) sofort verfüllt werden. Dolinen treten nach SCHWARZMEIER (16) in der Zellinger Mulde ausschließlich im Mittleren und Oberen Muschelkalk auf. Während Dolinen im Oberen Muschelkalk generell etwas kleiner ausfallen, schuf die Auslaugung im Mittleren Muschelkalk Hohlräume, nach deren Einsturz an der Oberfläche relativ große Erdfälle entstanden. Die

Dolinen sind meist mit eingespültem Löß überzogen, da sie überwiegend in Tälern liegen. Nennenswerte Dolinen im Oberen Muschelkalk liegen im Himmelstädter Wald im Kastholz und bei der Schweinsgrube, im Zellinger Wald südlich der Straße Zelllingen - Duttenbrunn und im Regental; im Mittleren Muschelkalk sind sie am Augensee, im Greußenheimer Boden-Graben und am Johannishof südöstlich Birkenfeld zu finden (Anlage 1).

Schüsselförmige Hohlformen (Poljen) treten auf:

- Im südlichen Bereich des Einzugsgebietes, am Augensee, am Büchelberg, südlich des Johannishofes und am Altenberg. Ihre Anlage ist auf Karstgerinne zurückzuführen, die auch heute noch, wie die Dolinen im Talgrund zeigen, unterirdisch nach NNE entwässern (16).
- Im Metzenloch westlich des Zellinger Waldes, im oberen Engen-Tal zwischen Lerchen-Berg und Schepperich sowie im Seegraben südöstlich Stadelhofen. Auch sie stellen durch Zusammenwachsen von Senken und Dolinen im Talgrund entstandene Wannen mit unterirdischem Abfluß dar.

4 HYDROGEOLOGISCHE BEURTEILUNG

4.1 Direkt genutzte und angekoppelte Grundwasserleiter

Von den Brunnen im Zellinger Becken erschließen Br. Ia und V den Oberen und Mittleren Muschelkalk, Br. IV ausschließlich den Mittleren Muschelkalk, Br. II den Mittleren und teils noch den Unteren Muschelkalk und Br. III den Mittleren und den gesamten Unteren Muschelkalk.

Die Wasserwegsamkeit der einzelnen Sedimentschichten des Muschelkalkes, der im gesamten Einzugsgebiet der wesentliche Gw-Leiter ist, reicht - je nach ihrer lithologischen Ausbildung - von sehr gut bis sehr schlecht. Daraus ergibt sich hinsicht-

lich des Grundwassers eine vertikale Gliederung in wasserführende und wasserhemmende bzw. wasserstauende Schichten.

Die Wasserführung im Grenzgelbkalkstein an der Basis des Unteren Muschelkalkes ist auf einen Grundwasserstau auf den wasserundurchlässigen Röttonsteinen des liegenden Buntsandsteins zurückzuführen. Die Grenze so/mu stellt somit die Grundwasser-sole unter dem verkarstungsfähigen Muschelkalk dar. Zu einem bedeutenden Karstwasserleiter im Unteren Muschelkalk können lediglich die Schaumkalkbänke im Hangenden werden - dort, wo sie ausreichend zerklüftet sind (16).

Als wichtigster GwLeiter im Untersuchungsgebiet gilt aufgrund seiner ausgeprägten Verkarstung der Mittlere Muschelkalk. Poröse Zellenkalksteine und geklüftete Dolomitschichten machen ihn zu einem bedeutenden Aquifer und Quellhorizont. Die Residualtone über dem Unteren Zellenkalkstein und die Tonmergel im oberen Bereich fungieren nicht nur als Sohlen der darüberliegenden GwLeiter, sondern auch als obere Abdichtung von Karstwasserhorizonten, die gleichwohl stellenweise miteinander kommunizieren, insbesondere über Klüftzonen und Störungen. Die intensive chemische Verwitterung hat, vor allem im Tertiär, die Gipseinlagerungen weitgehend ausgelaugt und an der Oberfläche zu bemerkenswerten Karsterscheinungen geführt (vgl. 3.3). Der Mittlere Muschelkalk besitzt dadurch genügend durchlässige Gesteinsserien, um größere Wassermengen führen und speichern zu können.

Demgegenüber tritt der Obere Muschelkalk als GwLeiter stark zurück. Geringmächtige Tonsteineinlagen fungieren örtlich als Wasserstauer, so daß die hangenden Kalksteinbänke bei ausreichender Klüftung eine schwache Wasserführung ermöglichen (16).

Wegen seiner untergeordneten Bedeutung und wegen der hydraulischen Kommunikation über Klüftzonen und Störungen wird der Obere Muschelkalk im Folgenden mit dem Mittleren Muschelkalk als ein geohydraulisch zusammengehöriges Stockwerk behandelt.

In einem wesentlichen Teil des Untersuchungsgebietes sind aber auch noch Unterer und Mittlerer Muschelkalk hydraulisch miteinander gekoppelt (etwa östlich der Linie Laudenbach - Duttonbrunn - Billingshausen; vgl. Abschnitt 4.2), so daß sie - zumindest von Potentialfeld und Fließrichtungen her - dort als einheitlich betrachtet werden dürfen.

Für die Grundwasserbewegung im Muschelkalk des Untersuchungsgebietes sind im wesentlichen folgende Bereiche von Bedeutung:

- Die oberflächennahe Auflockerungszone, die als Folge der chemischen, physikalischen und biologischen Verwitterung, vor allem aber der Gebirgsentlastung mit unterschiedlicher Mächtigkeit die Landoberfläche begleitet.
- Störungszonen mit gehäuft auftretenden, tektonisch bedingten Trennfugen, deren Reichweite und Öffnungsweite von der petrographischen Beschaffenheit, der Verformbarkeit des Gesteins und der Art der tektonischen Beanspruchung abhängen.
- Karstbereiche mit Lösungshohlräumen und Subrosionerscheinungen, die durch die Lösungswirkung des Grundwassers gebildet werden. Durch die großflächige Auslaugung von Kalk, Dolomit und besonders von Sulfatgesteinen (Gips, Anhydrit) werden die Trennfugen des Gesteins erweitert und so Hohlraumnetze geschaffen, die zu einer erhöhten Wasserwegsamkeit führen.

4.2 Natürliche Grundwasserströmungsverhältnisse

Die Verkarstung der hochliegenden Muschelkalkplatten führt nach FRISCH (23) zu einer Verlagerung des Abflusses in verschiedene wasserführende Stufen des Muschelkalks, je nach Lage des Vorfluters. Die Hochflächen sind daher weitgehend durch Trockentäler gekennzeichnet, das Gewässernetz ist auf wenige tiefliegende Vorfluter beschränkt. Der Main und seine Zuflüsse

Leinacher Bach und Riedbach bilden die Vorfluter im Osten der Marktheidenfelder Muschelkalkplatte; Heinrichsbach, Riedgraben, Kar-Bach und Erlen-Bach sind im Westen der Muschelkalkplatte tief als Vorfluter eingeschnitten.

Die GwFließbewegung wird maßgeblich vom Verkarstungsgrad der generell südostwärts einfallenden drei Haupt-Schichtglieder des Muschelkalks bestimmt. In Abhängigkeit von der Lage der hydraulisch wirksamen Vorfluter sind alle drei Stufen im Vorflutniveau mehr oder weniger verkarstet.

Im Westen des Untersuchungsgebietes stellt der Untere Muschelkalk - von seiner Sohlschicht aus Röttonen des Buntsandsteins an - den Hauptaquifer dar, während die porösen Zellenkalksteine und die geklüfteten Dolomite des Mittleren Muschelkalkes dort ein hängendes GwStockwerk bilden. Südostwärts taucht der Untere Muschelkalk ab und bildet schließlich im NE-Teil der Zellinger Mulde mit dem im Vorflutnahbereich liegenden Mittleren und Oberen Muschelkalk ein gemeinsames, zusammenhängendes Karstwasserstockwerk, wobei die höheren Stockwerke zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Fließrichtung im derart zusammengesetzten Haupt-GwStockwerk ist generell auf die o. g. Vorfluter ausgerichtet. Von Einfluß sind allerdings auch die vertikale Differenzierung des Muschelkalks, die Schichtlagerung und die Bruchtektonik. Hydraulisch besonders wirksame, da verkarstungsfähige Drainagebahnen, stellen vor allem die NW-SE streichenden Störungen dar.

Aus dem Zusammenwirken all dieser Faktoren läßt sich eine Modellvorstellung von der Potentialverteilung im Haupt-GwStockwerk ableiten, die Anlage 8 wiedergibt: Die Potentiallinien zeichnen im groben die GwMorphologie der Grundwassergleichkarte von Bayern 1 : 500.000 nach (23). Differenziert wurde die GwOberfläche durch Berücksichtigung zusätzlicher Vorfluter im Raum Steinfeld, durch den Abgleich mit der Geländemorphologie und vor allem durch die Berücksichtigung der hochdurchlässigen Störungszonen als Drainagekanäle. Eine Plausibilitäts-

prüfung und Eichung der gewonnenen Modellvorstellung ist in gewissem Rahmen anhand von GwAufschlüssen möglich (Brunnen, GwMeßstellen, bedingt auch Quellen). Wegen ihrer geringen Zahl gerade in vorfluterfernen Bereichen verbleiben allerdings dort noch Unschärfen. Unberücksichtigt bleiben muß die Wirkung der NE-SW-orientierten bc-Klüftung, so daß den sich aus dem Potentiallinienbild ergebenden GwScheitelzonen keine uneingeschränkte Wirksamkeit beigemessen werden darf. Gleichwohl von besonderer Bedeutung für die Abgrenzung des Kernbereiches des GwEinzugsgebietes sind

- der GwScheitel zwischen Ansbach im Nordwesten und dem Leinacher Sternberg im Südosten,
- der GwScheitel, welcher sich bogenförmig von Waldzell zum Heißen-Berg und weiter nach Nordosten hinzieht sowie
- der GwScheitel zwischen Heißen-Berg im Westen und Himmelstadt im Osten.

Die Lage der GwOberfläche im Nahbereich der Brunnen und der benachbarten GwMeßstellen wurden im Rahmen ingenieurgeologischer Untersuchungen (6) sowohl in natürlicher Lage als auch bei unterschiedlichen Förderraten der Brunnen gemessen und in entsprechenden Isolinienplänen dargestellt.

Wichtigster GwLeiter des Einzugsgebietes ist wegen seiner Verkarstungsfähigkeit der Mittlere Muschelkalk. Nach Westen zu hebt dieser Aquifer allerdings aus dem Niveau des Haupt-GwLeiters aus - dessen Rolle nunmehr ausschließlich dem Unteren Muschelkalk verbleibt - und scheint ein eigenständiges GwStockwerk auszubilden. Dasselbe gilt für den Bereich südwestlich des Urspringer Sprunges, wo auch die GwFließrichtungen in beiden GwLeitern deutlich differieren dürften, während sie nördlich Urspringen noch weitgehend gleichgerichtet sind (vgl. Anlagen 7 und 8). Erst etwa östlich der Linie Lauenbach - Duttenbrunn - Billingshausen besteht vor allem durch

die die Zellinger Mulde querenden Störungen ein hydraulischer Kontakt zwischen den GwLeitern im Unteren und im Mittleren Muschelkalk. In der nordöstlichen Zellinger Mulde ist daher von einem einheitlichen GwStockwerk auszugehen.

Die Fließrichtung des Grundwassers ausschließlich im Mittleren Muschelkalk ist stark von der Schichtlagerung abhängig. Die von SCHWARZMEIER (16) als Versuch konstruierten Karstwasserhöhengleichen beziehen sich auf die Streichlinien des Mittleren Zellenkalksteins (Anlage 7). Sie enden am Ausstrich der Grenze μ/mm . Dem Schichtfallen folgend, fließen die Grundwässer von der Nordwestflanke der Thüngersheimer Aufwölbung und vom abgesunkenen Schollenstreifen von Duttenbrunn der Zellinger Mulde zu. Dabei ist in der Nähe der einzelnen Störungen, die erfahrungsgemäß von Zonen stärkerer Gebirgsauflockerung begleitet werden, eine stärkere Wasserführung zu erwarten. In der Tiefzone der Zellinger Mulde ist das Grundwasser gespannt, wenn es nach oben durch schwer durchlässige Mergel abgedichtet wird. Wo hydraulisch aktive Störungzonen die morphologisch tiefsten Punkte anschneiden, treten die Grundwässer in Quellen zutage. Die Zellinger Brunnen sind z. T. im Bereich solcher Quellen abgeteuft worden.

4.3 Geohydraulische Kennwerte

4.3.1 Pumpversuche

Es wurden die Daten aus den Hauptpumpversuchen der Einzelbrunnen und aus hydraulischen Versuchen an der gesamten Brunnengalerie herangezogen. In den Jahren 1964 bis 1966, 1976 und 1979 wurden zahlreiche Pumpversuche durchgeführt (2, 3, 6, 11). In Tabelle 8 sind die Ergebnisse von Einzelpumpversuchen an den neu erstellten Brunnen aus den Jahren 1964 bis 1966 bzw. 1979 (Br. Ia) und in Tabelle 9 von hydraulischen Tests an den Brunnen aus dem Jahr 1976 dargestellt. Die rechnerischen Durchlässigkeiten liegen zwischen $2,3 \cdot 10E-5$ und $4,6 \cdot 10E-4$ m/s.

Die relativ großen Schwankungen der Resultate von Brunnen zu Brunnen sind teils auf die heterogenen und anisotropen Verhältnisse im GwLeiter - auch im Bereich des Erschließungsgebietes - zurückzuführen. Allerdings treten insbesondere bei den hydraulischen Tests im Jahre 1976 größere Schwankungen auch von Test zu Test bei ein und demselben Brunnen auf. Schon die Relation von Entnahme zu Absenkung ist bei den Brunnen III und V nicht mehr plausibel, wenn nicht gravierende Änderungen der Randbedingungen angenommen werden. Daher sind dort die jeweils höheren, von den Einzelpumpversuchen erheblich abweichenden Durchlässigkeitswerte unter Vorbehalt zu sehen und sollten bei den weiteren Betrachtungen außer Acht bleiben.

Tab. 8: Auswertung der Einzelpumpversuche

Brunnen	Datum	GwSpiegel (m u. Gel.)	Entnahme Q (m ³ /s)	Absenkung unter Ruhwasserspiegel (m)	Nettomächtigkeit des Gw-Leiters (m)	Durchlässigkeitswert k_r n. DUPUIT (m/s)	spezifische Ergiebigkeit (10 ⁻³ m ² /s)
I*	15.02. bis 19.02.65	Überlauf	0,020 0,025 0,028 0,030	2,7 4,2 5,2 6,6	47,3	1,77·10 ⁻⁴ 1,42·10 ⁻⁴ 1,33·10 ⁻⁴ 1,14·10 ⁻⁴	7,54 6,03 5,64 4,83
II*	07.02. bis 11.02.64	-6,15	0,040	16,45	31,85	1,13·10 ⁻⁴	3,23
III*	27.01. bis 31.01.65	-3,15	0,040 0,050 0,060	12,0 19,2 25,8	123,85	3,11·10 ⁻⁵ 2,51·10 ⁻⁵ 2,31·10 ⁻⁵	3,49 2,81 2,59
IV*	20.06. bis 24.06.66	-3,55	0,030 0,040 0,050	9,5 15,4 21,45	37,95	1,06·10 ⁻⁴ 9,60·10 ⁻⁵ 9,50·10 ⁻⁵	3,57 3,23 3,22
V*	25.11. bis 29.11.66	-27,05	0,030 0,050 0,070	4,8 9,8 17,1	58,95	1,22·10 ⁻⁴ 1,04·10 ⁻⁴ 9,57·10 ⁻⁵	6,46 5,52 5,09
Ia	19.11. bis 06.12.79	-38,62	0,020 0,045 0,035 0,020	7,51 16,35 12,76 9,10	50,5	5,70·10 ⁻⁵ 7,50·10 ⁻⁵ 6,80·10 ⁻⁵ 3,80·10 ⁻⁵	

*) Daten aus (6), Tab. 3, S. 20

Tab. 9: Auswertung der hydraulischen Tests

Brunnen	Datum	Entnahme Q (m ³ /s)	Absenkung unter Ruhwasserspiegel (m)	Nettomächtigkeit des Gw-Leiters (m)	Durchlässigkeitswert (k _r) (m/s) nach DUPUIT (Absenkung)	nach THEIS (Wiederanstieg)
I	01.12. bis 02.12.76	0,0136	---	47,3		2,80 · 10 ⁻⁴
II	23.10. bis 12.11.76	0,0174	---	31,85		2,54 · 10 ⁻⁴
	30.11. bis 01.12.76	0,0176	2,5		2,53 · 10 ⁻⁴	
	09.12..76	0,018	2,36		2,73 · 10 ⁻⁴	
III	18.11. bis 19.11.76	0,0275	---	123,85		3,51 · 10 ⁻⁵
	22.11.76	0,0277	9,02		2,83 · 10 ⁻⁵	
	04.12. bis 06.12.76	0,035	8,93		3,61 · 10 ⁻⁵	
IV	28.10.76.	0,0131	---	37,95		1,41 · 10 ⁻⁴
	14.11. bis 18.11.76	0,0121	3,22		1,14 · 10 ⁻⁴	
V	12.11. bis 19.11.76	0,0145	2,82	58,95	9,82 · 10 ⁻⁵	4,62 · 10 ⁻⁴
	11.12. bis 12.12.76	0,0165	0,67			

4.3.2 Markierungsversuche

Im Oktober und November 1976 wurde eine GwMarkierung am Entnahmebrunnen IV angesetzt (6). Die Lage der Beobachtungsstellen (Brunnen und Quellen) ist Anlage 2 zu entnehmen.

Aus dem Zeitpunkt des jeweils ersten Tracernachweises errechnen sich die in Tab. 10 wiedergegebenen maximalen Abstandsgeschwindigkeiten zwischen Brunnen IV und den einzelnen Beobachtungsstellen.

Tab. 10 Zusammenstellung der Abstandsgeschwindigkeiten

Beobachtungs- stelle	Abstand zur Eingabestelle (m)	Fließzeit (h)	Abstandsgeschwin- digkeit v _a (m/h) (m/d)	
Brunnen I	510	492	1,0	24,9
Brunnen II	405	188	2,2	52,8
Brunnen III	280	193	1,5	36
Brunnen V	175	132	0,75	18,1
Quelle A	405	146	2,8	67,2
Quelle B	330	379	0,9	21,6
Quelle C	385	704	0,5	12,0
Quelle D	525	824	0,6	14,4
Vorflutermeßstelle ca.	500	164	3,0	72

Nach dem DARCY'schen Gesetz kann hieraus der Durchlässigkeitswert zwischen Eingabe- und der jeweiligen Austrittsstelle berechnet werden:

Tab. 11 Berechnung der Durchlässigkeitswerte

Aquiferbereich	v_{es} (m/s)	I	n_r	k_r (m/s)
Br.IV --> Br.II	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$
Br.IV --> Br.III	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^{-5}$
Br.IV --> Quelle A	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$
Br.IV --> Vorfluter	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$
Br.IV --> Br.I	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Br.IV --> Br.V	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
Br.IV --> Quelle B	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
Br.IV --> Quelle C	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Br.IV --> Quelle D	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$

Die so berechneten Durchlässigkeitswerte spannen einen Wertebereich von $9,5 \cdot 10^{-5}$ bis $6,9 \cdot 10^{-4}$ m/s auf und spiegeln ihrerseits die stark heterogenen und anisotropen Verhältnisse im Erschließungsgebiet wider.

4.4 Geohydraulische und hydrogeochemische Variabilität

Die aus den Pumpversuchen und Tests ermittelten Durchlässigkeitswerte schwanken um eine Zehnerpotenz zwischen $2,31 \cdot 10^{-5}$ und $2,73 \cdot 10^{-4}$ m/s. Anhand der k_f -Werte lassen sich die Brunnen in zwei Gruppen einteilen:

- Die Brunnen II, IV, V und der aufgelassene Brunnen I weisen höhere durchschnittliche k_f -Werte von $1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s bis $2,2 \cdot 10^{-4}$ m/s auf.
- Bei den Brunnen Ia und III liegen die durchschnittlichen k_f -Werte mit $5,9 \cdot 10^{-5}$ m/s bzw. $2,7 \cdot 10^{-5}$ m/s weit niedriger als bei der erstgenannten Gruppe.

Diese starke geohydraulische Variabilität läßt sich weder aus der in den Brunnen jeweils erbohrten Schichtfolge ableiten (vgl. Abschn. 4.1) noch ausschließlich brunnenbautechnisch begründen. Vielmehr scheint für die unterschiedlichen Durchlässigkeiten eine lokal stark differenzierte Klüftungsintensität und Verkarstung ausschlaggebend zu sein.

Etwas höhere Durchlässigkeitswerte als bei den Pumpversuchen berechnen sich aus den Ergebnissen der Markierungsversuche (Abschnitt 4.3.2) mit k_f -Werten von $9,5 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $6,5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Dies liegt in erster Linie daran, daß sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Markierungsstoffe durchwegs aus Bewegungen um die tektonische Hauptkluftrichtung ergibt, während die k_f -Werte aus den Pumpversuchen keine Richtungsorientierung beinhalten.

Hydrochemisch unterscheiden sich die Brunnenwässer nur geringfügig voneinander. Deutlichere Unterschiede zeigen sich allenfalls beim Sulfatgehalt; die höchsten Werte weist hier Br. III auf, in dessen Leitfähigkeit auch höchste Gesamtmineralisation zum Ausdruck kommt (vgl. Tab. 7 und Abb. 2). Dies kann in erster Linie so interpretiert werden, daß die die Brunnen jeweils anströmenden Wässer in unterschiedlichem Maße auslaugungsfähige evaporitische Gesteinspartien passieren. Größere Differenzen in ihrer Verweilzeit sind eher unwahrscheinlich.

Insgesamt besteht trotz der unterschiedlichen Brunnentiefe und der verschiedenen erschlossenen stratigraphischen Niveaus nur eine geringfügige hydrogeochemische Variabilität der Brunnenwässer untereinander. Zwar sind auch zeitliche Änderungen einzelner Parameter seit Erschließungsbeginn festzustellen, allerdings in einem Umfang, der auch noch meß- und analysetechnisch bedingt sein kann.

Im Einzugsgebiet der Brunnen scheint demnach ein im großen und ganzen einheitlicher Aquifer zu existieren, der allerdings im Maßstab des Erschließungsgebietes in hydraulischer Hinsicht

starke Inhomogenitäten aufweist. Dies dokumentieren die stark unterschiedlichen Durchlässigkeiten und der wechselnde Einfluß von GwKomponenten aus noch aktiven Auslaugungszonen.

5 ZUSAMMENSETZUNG UND GESTALT DES EINZUGSGEBIETES

Das Einzugsgebiet der Brunnen im Zellinger Becken ist aus mehreren Komponenten zusammengesetzt. Hauptbestandteile sind die Anstrombereiche in den beiden wesentlichen GwStockwerken im Unteren und im Mittleren Muschelkalk. Diese werden abgegrenzt anhand des GwStrömungsfeldes im Bereich des Haupt-GwStockwerks (vgl. Abschnitt 4.2), unter Berücksichtigung der strukturellen Gegebenheiten. Angekoppelt sind ferner die Zuspeisungsbereiche. Das Gesamtgebilde aus allen - auch potentiellen oder zeitlich wechselnden - Komponenten ist in Anlage 1 dargestellt.

5.1 Anstrombereiche in den genutzten Grundwasserleitern

Bei den hier vorliegenden heterogenen und stark anisotropen Verhältnissen kann eine Berechnung des Anstrombereiches nur zur formellen Orientierung dienen:

Die wasserrechtlich genehmigte tägliche Maximalfördermenge von 20.000 m³/d entspricht einer theoretischen Dauerentnahme von ca. 235 l/s. Das führt auf der Basis der Pumpenförderleistung zu folgender Entnahmekonfiguration:

B Ia	:	42 l/s
B II	:	32 l/s
B III	:	55 l/s
B IV	:	42 l/s
B V	:	64 l/s

Unter diesen Annahmen ergeben sich für die Untere Kulmination jeweils Entfernungen bis ca. 200 m; die formelle Entnahmebreite

te erreicht insgesamt gut 4 km. Eine Spezifizierung auf die Teil-Anstrombereiche der einzelnen Brunnen ist nicht sinnvoll. Anhalte können sich allenfalls hinsichtlich des gemeinsamen Absenkfeldes resp. Anstrombereiches ergeben. Zur Ableitung seiner Geometrie aufgrund der örtlichen Verhältnisse sind die strukturellen Gegebenheiten so weit wie möglich zu berücksichtigen, insbesondere wenn es sich um hangende GwVorkommen handelt.

5.2. Abgrenzung anhand von Grundwasserhöhengleichen

Für das Haupt-GwStockwerk im Muschelkalk wurde ein GwGleichensplan erarbeitet (siehe Anlage 8). Bei der konstruktiven Bestimmung der Randstromlinien hieraus ist zusätzlich die Absenkungswirkung der GwEntnahme zu berücksichtigen.

Die anhand des numerisch errechneten Absenktrichters konstruierten Trennstromlinien wurden bis zu den GwScheiden östlich von Billingshausen und südlich von Himmelstadt fortgesetzt. Die Fläche innerhalb dieser Trennstromlinien sowie ihre Fortsetzung innerhalb der genannten Grundwasserscheiden bis zum Ausstrich der stratigraphischen Grenze so/mu bildet zunächst den theoretischen Anstrombereich im gemeinsamen Haupt-GwStockwerk östlich der Linie Laudenbach - Duttenbrunn - Billingshausen sowie im Unteren Muschelkalk im Westen, dessen GwBewegungen dort noch gleichsinnig verlaufen (vgl. Abschnitt 4.2).

Der nach oberstrom wachsenden Unschärfe wird durch eine entsprechend zunehmende Aufweitung des Anstrombereiches Rechnung getragen. Seine hieraus resultierende Begrenzung verläuft

- im Norden entsprechend der nordwestlichen Hauptstörungsrichtung von der Gespringshöhe parallel zur DB Neubau-
strecke Hannover-Würzburg direkt nach Nordwesten zur Gw-
Scheide Heißenberg-Himmelstadt.

- im Süden in südsüdwestlicher Richtung zum Remlinger Sprung (g in Anlage 6), welcher hier mit Sicherheit dränierende Wirkung besitzt.

5.2.1 Abgrenzung im Grundwasserstockwerk des Mittleren und Oberen Muschelkalks anhand der strukturellen Gegebenheiten

Aus den abgeleiteten GwBewegungsrichtungen in Anlage 7 (vgl. auch Abschnitt 4.2) ist zu ersehen, daß das GwEinzugsgebiet im Mittleren und Oberen Muschelkalk zum einen durch den Ausstrich der stratigraphischen Grenze mu/mm, zum anderen durch tektonische Strukturen begrenzt wird:

Dem Ausstrich der stratigraphischen Grenze mu/mm folgt die Einzugsgebietsgrenze südlich von Urspringen, im Tal des Bronnbaches zwischen Birkenfeld und Billingshausen, im Remlinger Grund, am Kahlberg westlich Unterleinach sowie zwischen Unterleinach und Zelllingen (vgl. Anlagen 5 und 3).

Tektonisch begrenzt wird dieses Einzugsgebiet im Südwesten durch die Birkenfelder Schwelle, im Nordwesten durch die Duttenbrunner Störung (a in Anlage 6) und den Urspringer Sprung (e, f), im Nordosten durch den Himmelstädter Sternberg-Bruch (v) und seine Verlängerung sowie durch die Störung y (vgl. Anlagen 6 und 3 sowie Abschnitt 3.2).

5.2.2 Gesamtes unterirdisches Einzugsgebiet

Das anhand der GwHöhengleichen und aufgrund der strukturellen Gegebenheiten ermittelte unterirdische Einzugsgebiet erstreckt sich größtenteils im Bereich des Mittleren und Oberen Muschelkalks. Vom Unteren Muschelkalk, der im Westen und Südwesten die Hauptbedeutung als GwStockwerk gewinnt, trägt lediglich der nordwestlich von Urspringen anschließende Teil bei, in dem

eine gleichsinnige Entwässerung nach Südosten herrscht. Insgesamt ergibt sich ein hydrologisch wirksames Gesamteinzugsgebiet von etwa 76,6 km² Größe (siehe Anlage 3).

5.3 Besondere Einflüsse geologischer Gegebenheiten

Der Muschelkalk ist klüftig und von verschiedenen Störungssystemen durchzogen. Die hydraulisch wirksamste Hauptstörungsrichtung verläuft Nordwest-Südost. Es ist daher anzunehmen, daß sich in dieser Richtung eine Zone besonders hoher Zuspeisungswahrscheinlichkeit erstreckt, die bei den Sanierungsmaßnahmen besondere Vordringlichkeit verdient. Allerdings ist es wegen der vielfältig zusammengesetzten Strukturen problematisch, Zonen geringerer Zuspeisungswahrscheinlichkeit deziert auszuweisen und ggf. bei der Bilanzbetrachtung geringer zu bewerten oder gar zu vernachlässigen, so daß mit einem generalisierten Erschließungsfaktor (siehe 5.6) gearbeitet werden muß.

5.4 Angekoppelte Grundwasserleiter, Zuspeisungsbereiche

Der Bereich zwischen dem Sternberg-Bruch und dem Main an der Himmelstädter Feldmühle einerseits und das Gebiet des Birkenfelder Tiefs nordwestlich von Birkenfeld andererseits weisen vom Einzugsgebiet abgewandtes Schichtfallen auf und entwässern daher wahrscheinlich nicht ins Einzugsgebiet. Für den Mittleren Muschelkalk des westlichen Leinacher Sternberges (Anlage 5) ist aufgrund seines dem Einzugsgebiet zugewandten Schichtfallens eine Ankoppelung an das südöstliche Einzugsgebiet anzunehmen (Anlage 3).

5.5 Bedeutung der oberirdischen Wasserscheiden

Es sind noch die oberirdischen Einzugsgebiete zwischen Ansbach und Urspringen sowie nordwestlich Birkenfeld zu berücksichtigen, aus denen ein oberflächennah abfließender Anteil in das ermittelte Einzugsgebiet hineingelangen kann und dort versik-

kert. Da diese aber vorwiegend in qualitativer, weniger in quantitativer Hinsicht relevant sind (die Zuspeisungswahrscheinlichkeit tritt zurück bzw. ist nur von temporärer Bedeutung), können sie hier als Grundwasserneubildungsfläche vernachlässigt werden.

5.6 Grundwasserneubildungsraten, Bilanzkontrolle

Im vorliegenden Fall wird wegen der Drainagewirkung hydraulisch bedeutsamer Klüfte und Störungen ein für Brunnen im Kluftgrundwasserleiter relativ günstiger Erschließungsfaktor von 0,4 angesetzt. Zudem erfolgt kein nennenswerter GwEntzug durch Quellen.

Der wasserrechtlich genehmigten Entnahmemenge an den Brunnen im Zellinger Becken von 4.700.000 m³/a entspricht eine durchschnittliche Entnahme von 149 l/s. Für die ebenfalls im Einzugsgebiet befindlichen Brunnen Urspringen I und II ist wasserrechtlich eine Entnahme von 130.000 m³/a genehmigt (1), was einer durchschnittlichen Entnahme von ca. 4 l/s entspricht. Nach (2) führt der aus der Riedquelle genährte Riedbach eine mittlere Wassermenge von 25 l/s aus dem Einzugsgebiet ab, während die ebenfalls aus dem Einzugsgebiet gespeiste Steinbühlquelle eine mittlere Schüttung von ca. 9 l/s aufweist. Insgesamt werden dem Einzugsgebiet durch die genannten Brunnen und Quellen damit durchschnittlich 187 l/s entzogen.

Die Einzugsgebiete der Frauenquelle bei Laudenschachen und der Himmelstädter Feldmühlquelle können von dem der Brunnen im Zellinger Becken klar getrennt werden.

Bilanzkontrolle Haupt-GwLeiter:

Größe des ermittelten Einzugsgebiets: 76,6 km²
(ohne oberirdische Zuspeisungsbereiche, vgl. 5.5)

Neubildung unbedeckter Unterer Muschelkalk:

$$5,1 \text{ km}^2 * 6,7 \text{ l/s*km}^2 = 34,2 \text{ l/s}$$

Neubildung Mittlerer und Oberer Muschelkalk:

$$71,5 \text{ km}^2 * 6,7 \text{ l/s*km}^2 = 479,0 \text{ l/s}$$

Gesamtneubildung Muschelkalk: 513,2 l/s

Nutzbare Menge (Erschließungsfaktor 0,4):

$$QN = 513,2 \text{ l/s} * 0,4 = 205,3 \text{ l/s}$$

Dem stehen die genehmigten Entnahmen aus den Brunnen im Zellinger Becken und aus den Brunnen Urspringen sowie Quellschütungen von zusammen 187 l/s (s. o.) gegenüber.

Die überschlägige Bilanzierung zeigt, daß die Größe des ermittelten Einzugsgebietes im Muschelkalk realistisch ist und auch extreme Entnahmesituationen noch abdeckt.

5.7 Konsistenz von Einzugsgebiet und GwBeschaffenheit

Der Chemismus des Grundwassers der Brunnen im Zellinger Becken steht im Einklang mit der geochemischen Beschaffenheit des Gwleiters einerseits und der intensiven landwirtschaftlichen Flächennutzung im ermittelten Einzugsgebiet andererseits.

6 BEWERTUNG DER BELASTUNGSEMPFINDLICHKEIT UND DER GEFÄHRDUNGSPOTENTIALE IM EINZUGSGEBIET - GLIEDERUNG IN MASSNAHMENBEREICHE

Art und Höhe der bestehenden Belastungen des Grundwassers zeigen, daß ihre Ursache in erster Linie in einem flächenhaften Eintrag bei der landwirtschaftlichen Nutzung liegt (vgl. Abschnitt 2.6.2). Daneben kommen auch undichte Abwasserleitungen, Güllegruben und ggf. Feldsilagen als Stickstoffquellen in Frage. Da diese allerdings nur vergleichsweise geringe Masseneinträge liefern können, kommt ihnen lediglich eine untergeordnete Bedeutung für die Gesamtbelastung zu.

Auffallend weit verbreitet sind im Einzugsgebiet flachgründige Böden mit erodierten Bodenprofilen, was mit dem gebietsweise starken Geländere relief, zu einem großen Teil auch mit der intensiven Ackernutzung zusammenhängt (16).

Residualböden aus Unterem, Mittlerem und Oberem Muschelkalk besitzen im Einzugsgebiet die größte flächenmäßige Verbreitung. Während der Untere Muschelkalk (Wellenkalk) vorwiegend flachgründige Rendzina-Böden liefert und örtlich Felsfreistellungen bildet, entstehen aus Mittlerem Muschelkalk mit seinen leichter verwitterbaren, dolomitischen Mergelkalken und Mergeln vorwiegend tiefgründige Böden mit Übergängen zu Kalkbraunerden und Braunerden (16).

Lößablagerungen von stark wechselnder Mächtigkeit bedecken weite Teile des Einzugsgebietes. Die häufigsten Böden aus Löß und Lößlehm sind hier Parabraunerden, vielfach mit einem mehr oder weniger stark erodierten Bodenprofil: Der lehmig-schluffige Oberboden ist teilweise oder ganz abgetragen, der lehmig-tonige Unterboden wird bei der Bodenbearbeitung mit erfaßt. Auf Kuppen und an Oberhängen kann der Bodenabtrag so weit fortgeschritten sein, daß der Rohlöß bis an die Oberfläche reicht und sich Rendzinaböden bilden. Über tonigem Untergrund, wie beispielsweise über Mittlerem und Oberem Muschelkalk im Gebiet zwischen Billingshausen und Urspringen, können die Böden aus Löß und Lößlehm auch pseudovergleyt sein (16).

Die teils lehmigen, teils lehmig-sandigen und steinigen Böden sind z. T. durch Erosion sehr flachgründig und insbesondere bei intensiver Stickstoffdüngung als auswaschungsgefährdet zu betrachten. Grundsätzlich kann aber die gegenwärtige Landnutzung als standortgemäß gelten und dürfte bei Einhaltung bestimmter Regeln viel von ihrem augenblicklichen Gefährdungspotential verlieren.

Nach den vorliegenden hydrogeologischen Befunden weisen folgende Bereiche eine besondere Sensitivität gegenüber flächenhaften Einträgen grundwasserfremder Stoffe auf:

- 1) Der Talboden im näheren Umfeld der Brunnen im Zellinger Becken, ohnehin bereits engere Schutzzone. Zwar bildet das Haupt-GwStockwerk hier einen gespannten Aquifer, doch haben die tonigen Trennschichten nur eine mäßige Abschirmwirkung gegenüber Fremdstoffeinträgen aus dem Nahbereich, so daß bei entsprechenden Druckverhältnissen - insbesondere infolge der GwEntnahme- Stoßbelastungen mit Nitrat möglich werden.

Diese können gedämpft werden, wenn die landwirtschaftliche Nutzung hier deutlich extensiviert wird.

2. Die südlich, westlich und nördlich ans Gespring anschließenden Talflanken und Höhenzüge im Muschelkalk, welche das Gespring bogenförmig umkränzen. Die Fließwege des neugebildeten Grundwassers zu den Brunnen sind hier noch relativ kurz, zudem besteht die Gefahr der Abschwemmung direkt in die Fassungsbereiche der Brunnen. Neben extensiver landwirtschaftlicher Nutzung gibt es hier auch Obstkulturen, die hinsichtlich möglicher Stoffeinträge (Stickstoff-Düngung; PSM-Einsatz) näheres Augenmerk verdienen.
3. Die im Einzugsgebiet bekannten Dolinen, Subrosionssenken, Dolinenfelder und Poljen. Diese Hohlformen wirken, sofern sie nicht durch Lehmabschwemmungen verfüllt wurden, als Schlucklöcher für die Niederschläge. Schadstoffe werden nahezu unfiltriert in den Untergrund verfrachtet und bei hohen Fließgeschwindigkeiten im Karst rasch den Brunnen zugeführt.

Die genannten Gebiete sind somit als vorrangige Maßnahmengebiete zu betrachten. Die Teile des GwEinzugsgebietes, die unter dichtem Waldbestand liegen (z. B. Himmelstadter, Zellinger und Billingshauser Wald), sind hinsichtlich einer anthropogenen Beeinträchtigung der Grundwasserqualität als gering gefährdet einzustufen.

Daneben ist es grundsätzlich möglich, einmal in Abhängigkeit vom Abstand zur Wasserfassung, andererseits aufgrund der strukturellen Gegebenheiten in einzelne Teilbereiche mit unterschiedlicher Einflußwahrscheinlichkeit - resp. Gefährdungspotential - zu differenzieren. Im vorliegenden Fall ist davon auszugehen, daß die quantitative Zuspeisungswahrscheinlichkeit in der West-Nordwestrichtung noch über weitere Entfernung von den Brunnen dominiert, doch darf auch die muldenparallele Zustromkomponente aus Südwesten nicht zu gering bewertet werden. Abseits dieser beiden Vorzugsrichtungen und besonders mit zunehmender Entfernung ist davon auszugehen, daß eine Zuspeisung mit geringerer Wahrscheinlichkeit erfolgt, weil sie mangels Kontinuität oder auch strukturbedingt quantitativ geringer ausfällt. Damit sinkt auch die qualitative Einflußwahrscheinlichkeit dieser Bereiche, so daß sie erst mit zweiter Priorität in das Sanierungsprogramm einbezogen werden können.

7 WEITERES VORGEHEN UND ZUSATZUNTERSUCHUNGEN

7.1 Sofortmaßnahmen

Da die Grundwasserbelastungen größtenteils im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Nutzung stehen, muß diese umgehend auf einen Standard gebracht werden, der den Anforderungen des Allgemeinen Gewässerschutzes entspricht.

Es ist ein geeignetes Fachbüro oder Institut mit der Erstellung eines Sanierungskonzeptes zu beauftragen, damit im Ein

zugsgebiet die erforderlichen Sofortmaßnahmen umgesetzt werden können.

Neben den Maßnahmen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sind alle im Einzugsgebiet gelegenen Ortschaften und Siedlungen hinsichtlich einer geordneten Abwasserbeseitigung sowie auf etwaige undichte Abwasserleitungen oder Güllegruben zu untersuchen.

7.2 Bewertung der ermittelten Einzugsgebietsgrenzen

Die Abgrenzung des Einzugsgebietes der Grundwassererschließung im Zellinger Becken erfolgte anhand der geologisch/tektonischen Gegebenheiten, welche die Wasserwegsamkeiten der einzelnen GwStockwerke determinieren. Die Ost-, Süd- und die Westgrenze des Einzugsgebiets im genutzten Grundwasserleiter kann als weitgehend gesichert gelten. Nicht mit letzter Sicherheit beurteilbar ist die Nordgrenze des Einzugsgebietes.

Eine Präzisierung dieser Grenze durch weitergehende Untersuchungen wäre aber wegen des zu erwartenden unverhältnismäßig hohen Aufwandes nicht angemessen.

Bei konsequenter Ausführung der vorgeschlagenen Abhilfemaßnahmen in den ausgewiesenen Bereichen kann mit einem Rückgang der Belastungsspitzen innerhalb der nächsten Jahre gerechnet werden. Der Abbau der längerfristig wirksamen Grundbelastung wird hingegen einen erheblich größeren Zeitraum in Anspruch nehmen.

7.3 Weitere Maßnahmen

Weitergehende Maßnahmen zur Präzisierung der Einzugsgebietsgrenzen sind, wie bereits dargelegt, in der gegenwärtigen Situation nicht geboten. Auch eine genauere Eingrenzung von Schadstoffquellen mit Hilfe von GwBeschaffenheitsmeßstellen im Vorfeld der Wasserfassungen dürfte angesichts der erforderlichen großen Bohrtiefen und eines relativ hohen Probenahmeauf-

wandes (für eine schlüssige Interpretation sind horizontierte Beprobungen erforderlich) weniger effektiv sein als gleichwertige Investitionen in Informations- und Beratungsmaßnahmen.

Ferner sollten verdichtete Untersuchungen zur Überwachung der Belastung mit Nitrat (mindestens monatlich) und PBSM (zunächst halbjährlich) in Auftrag gegeben werden.

Mit der Durchführung des Maßnahmenprogramms sollte ein geeignetes Institut oder Fachbüro beauftragt werden.

8 VERZEICHNIS DER VERWENDETEN UNTERLAGEN

Gutachten

- (1) Bayer. Landesamt für Wasserversorgung und Gewässerschutz: Schlußgutachten über die durchgeführten Grundwassererschließungen des Zweckverbandes zur Versorgung der Wasserversorgungsgruppe Urspringen, Landkreis Marktheidenfeld. - München, 05.12.1963.
- (2) Bayer. Landesamt für Wasserversorgung und Gewässerschutz: Gutachtliche Äußerung als amtlicher Sachverständiger zu der gemäß §§ 2 und 3 WHG erlaubnis- und bewilligungspflichtigen Entnahme von Grundwasser für die Wasserversorgung der Stadt Würzburg aus dem Erschließungsgebiet im Zellinger Becken, Gemarkung Zellingen, Landkreis Würzburg. - München, 01.02.1968.
- (3) Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft: Gutachten im wasserrechtlichen Verfahren zu der erlaubnis- oder bewilligungspflichtigen Entnahme bzw. Zutageförderung von Grundwasser für die Wasserversorgung der Stadt Würzburg aus dem Ersatzbrunnen IA im Erschließungsgebiet Zellingen. - München, 14.07.1982.

- (4) Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft:
Gutachten im wasserrechtlichen Verfahren zur Neufestsetzung eines Schutzgebietes für die Trinkwassergewinnung der Stadt Würzburg (Erschließung Zelllingen).-
München, 14.07.1988.
- (5) Wasserwirtschaftsamt Würzburg:
Vollzug der Wassergesetze; Grundwassermehrentnahme sowie Neufestsetzung von Schutzgebieten für die Wasserversorgung Brunnen I und II der Urspringer Gruppe in Urspringen, Lkr. Main-Spessart; Würzburg, 15.11.1990.
- (6) IGI Dipl.-Ing. S. Niedermeyer:
Neubaustrecke Hannover-Würzburg, Streckenabschnitt Hessisch/Bayerische Landesgrenze - Würzburg km 250 - 310.
Hydrologische Untersuchungen im Bereich der Gespringbrunnen (Zelllingen) bei NBS-km 294 - 297. - Westheim,
27.01.1978.
- (7) IGI Dipl.-Ing. S. Niedermeyer:
Ersatzbrunnen Ia, WW-Zelllingen, Unterlagen zum Wasserrechtsverfahren. - Westheim, 19.12.1980.
- (8) IGI Dipl.-Ing. S. Niedermeyer:
Neubaustrecke Hannover-Würzburg, Streckenabschnitt Gemeinden-Würzburg, Planfeststellung: Hydrogeologische Stellungnahme Abschnitt Wiesenfeld-Zelllingen km 281,115 - 296,571. - Westheim, 12.02.1982.
- (9) IGI Dipl.-Ing. S. Niedermeyer:
Neubaustrecke Hannover-Würzburg, Planfeststellung: Hydrogeologische Stellungnahme Abschnitt: Zelllingen-Würzburg, km 296,571 - 310,640. - Westheim, 31.03.1982.
- (10) IGI Dipl.-Ing. S. Niedermeyer:
Neubaustrecke Hannover-Würzburg, hydrogeologische Beweissicherung, km 295,00 - 298,00, Teilabschnitt 39.

- (11) IGI Dipl.-Ing. S. Niedermeyer:
 Neubaustrecke Hannover-Würzburg, Planfeststellung Bau-km 290,800 - 296,571 und Bau-km 296,571 - 302,255, Brücke Bartelsgraben und Leinachtal. Wasserwirtschaftlicher Ergebnisbericht über das im Jahre 1982 durchgeführte Aufschlußprogramm im Wasserschutzgebiet der Gespringsbrunnen (Bau-km 293,35 - 297,05) und den Nachweis einer Grundwasserabsenkung zum Schutz der Gespringsbrunnen. - Westheim, 01.06.1983.
- (12) IGI Dipl.-Ing. S. Niedermeyer:
 Neubaustrecke Hannover-Würzburg, Germanenhügel und Brücke Bartelgraben (Wasserschutzgebiet Gespring/Zellingen, Bau-km 293,35 - 297,00). Prognose zur Grundwasserabsenkung zum Schutz der Gesprings-Brunnen bei Niedrigwasserverhältnissen. -
 Teil 1: Statistische Aufbereitung der Grundwasserstandsdaten
 Teil 2: Numerische Berechnung der Grundwasserströmungsverhältnisse.

Regionalgeologische Veröffentlichungen

- (13) Bayerisches Geologisches Landesamt (1981):
 Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 500.000. - 168 S., 29 Abb., 21 Tab., 6 Taf., 1 Beil.; München (BGLA).
- (14) CARLÈ, W. (1955):
 Bau und Entwicklung der Süddeutschen Großscholle. - Beih. Geol. Jb., 16: 272 S., 45 Abb. 4 Taf.; Hannover.

- (15) EBHARDT, G. (1975):
 Statistik und Ganglinienanalyse von Quellschüttungen am
 Beispiel der Muschelkalkquellen von Würzburg (Bay.). -
 Z. dt. geol. Ges., 126: 337 - 347, 9 Abb., 1 Tab.;
 Hannover
- (16) SCHWARZMEIER, J. (1978):
 Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000, Erläuterungen
 zum Blatt Nr. 6024 Karlstadt und zum Blatt Nr. 6124 Rem-
 lingen. - 155 S., 34 Abb., 11 Tab., 5 Beil., 1 Kte.;
 München.
- (17) SCHWARZMEIER, J. (1979):
 Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000, Erläuterungen
 zum Blatt Nr. 6123 Marktheidenfeld. - 174 S., 31 Abb., 9
 Tab., 6 Beil., 1 Kte.; München
- (18) SCHWARZMEIER, J. (1980):
 Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000, Erläuterungen
 zum Blatt Nr. 6023 Lohr a. Main. - 159 S., 23 Abb., 5
 Tab., 6 Beil., 1 Kte.; München
- (19) ULBRICH, R. (1956):
 Tektonik und Grundwasserführung in ihren Beziehungen zu-
 einander aufgrund geologischer Aufnahmen in der Umgebung
 von Würzburg. - Geologica Bavarica, 25: 51-89; München.

Schriftenreihe des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft

- (20) Heft 2: Mittlere jährliche Verdunstungshöhe 1931-1960.
 Karte von Bayern im Maßstab 1 : 500.000 mit
 Erläuterungen. KERN, H. - München 1975.

- (21) Heft 7: Das Mainprojekt. - Hydrogeologische Studien zum Grundwasserhaushalt und zur Stoffbilanz im Main Einzugsgebiet. ANDRES, G. & GEORGOTAS N. - XII + 315 S.; München 1978.
- (22) Heft 13: Das natürliche Grundwasserangebot in Bayern im Vergleich zu den Hauptkomponenten des Wasserkreislaufes, KÖPF, E. & ROTHASCHER, A. - München 1980.
- (23) Heft 20: Grundwassergleichenkarte von Bayern 1: 500.000. ANDRES, G. & WIRTH, H. - 40 S.; München 1985.

Schriftenreihe Wasserwirtschaft in Bayern

- (24) Heft 13: Grundwassererkundung in Bayern. - München 1974.

Informationsberichte Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft

- (25) Heft 5/85: Trinkwasserschutzgebiete. - München 1985.

Fachliteratur

- (26) HÖLTING, B. (1984):
Hydrogeologie - Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. - 370 S., 2. Auflage; Stuttgart.
- (27) HUBER, B. (1991):
Der Einfluß des Trennflächengefüges auf die Grundwasserströmung in Kluftgrundwasserleitern. - Diss. Univ. Würzburg, 282 S.; Würzburg.

- (28) KARRENBERG, H. (1981):
Hydrogeologie der nichtverkarstungsfähigen Festgesteine.
- 284 S., 83 Abb., Wien.
- (29) KNOCH, K. (1952):
Klimaatlas von Bayern. - Bad Kissignen.
- (30) KRAUSE, U. (1990):
Der Maindurchbruch zwischen Steigerwald und Haßbergen -
eine tektonische Analyse. - Diss. Univ. Mainz, 125 S.;
Mainz 1990.
- (31) MATTHESS, G. (1970):
Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbe-
wegung in Festgesteinen. - Abh. hess. L. Amt Boden-
forsch., 58: 105 S., 20 Abb., 18 Tab., 4 Taf.; Wiesbaden
- (32) RICHTER, W. & LILLICH, W. (1975):
Abriß der Hydrogeologie. - 281 S., 96 Abb., 18 Tab.;
Stuttgart.
- (33) WUNDT, W. (1958):
Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die ver-
fügbaren Grundwassermengen. - Forsch. z. dt. Landeskd.,
104.
- (34) WUNDT, W. (1960):
Darstellung der kleinsten mittleren Monatsabflußspenden.
- in: Bayer. Arbeitsgemeinschaft für Raumforschung
(Hrsg.): Übersichtskarte der Grundwässer, Teildruck der
Grundwasserkarte der Bundesrepublik Deutschland 1 :
1.000.000. - Deutscher Planungsatlas, Band V "Bayern";
Bremen-Horn.

Anlagen:

- (3) Übersichtslageplan 1 : 25.000
- (4) Lageplan 1 : 2.500
- (5) Geologische Übersicht 1 : 25.000
- (6) Strukturkarte 1 : 25.000
- (7) Tektonisch-hydrologische Karte 1 : 25.000
des GwStockwerkes in mm
- (8) Hydrologische Modellvorstellung 1 : 25.000
GwOberfläche im Haupt-GwStockwerk

Legende:

- Brunnen
- Quelle
- Oberirdische Wasserscheide

Wasserschutzgebiete
(bei Erschließung Zellinger Vorschlag)

- ⬡ Weitere Schutzzone
- ⬢ Engere Schutzzone

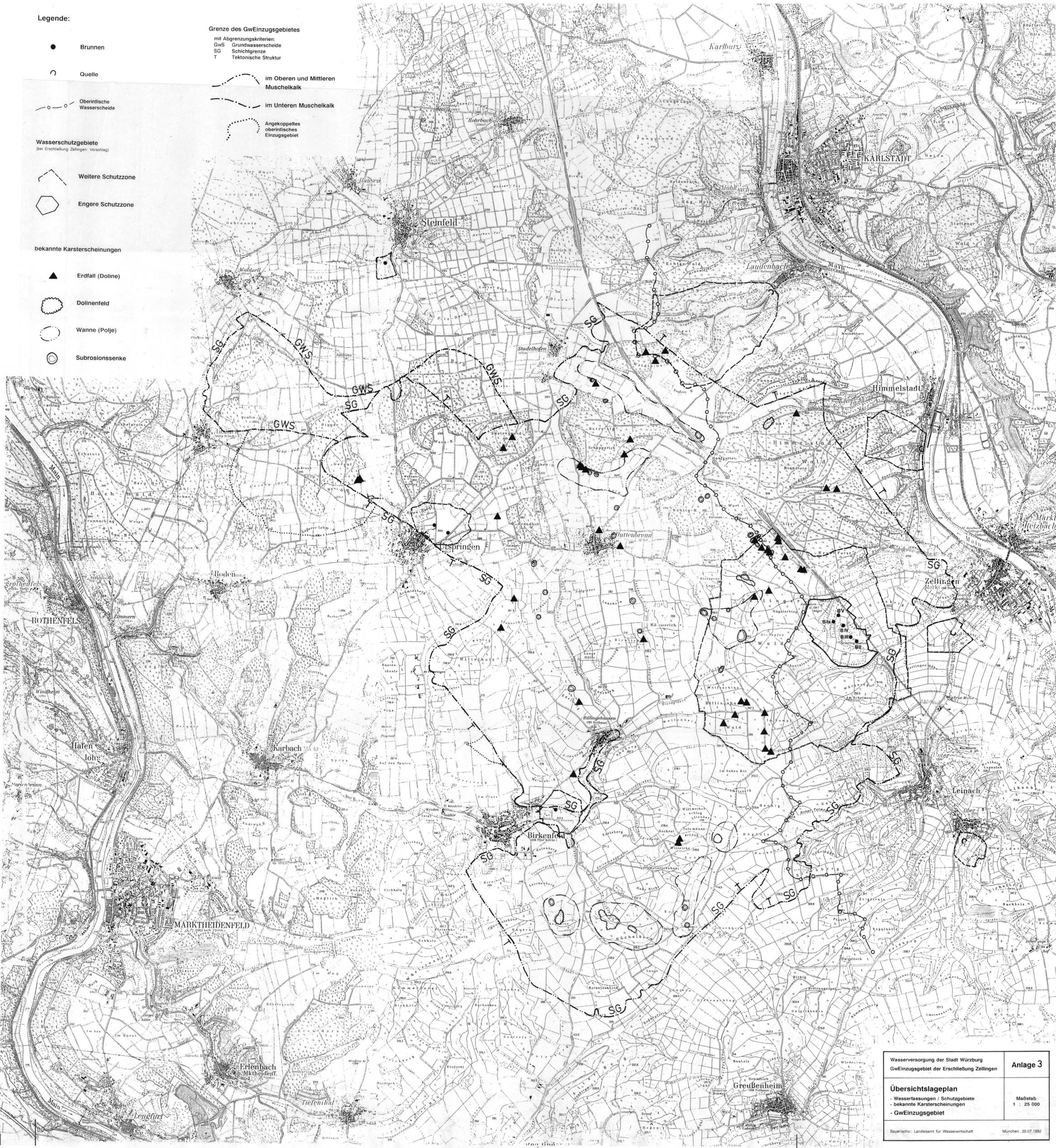
bekannte Karsterscheinungen

- ▲ Erdfall (Doline)
- ⊖ Dolinenfeld
- Wanne (Polje)
- ⊙ Subrosionssenke

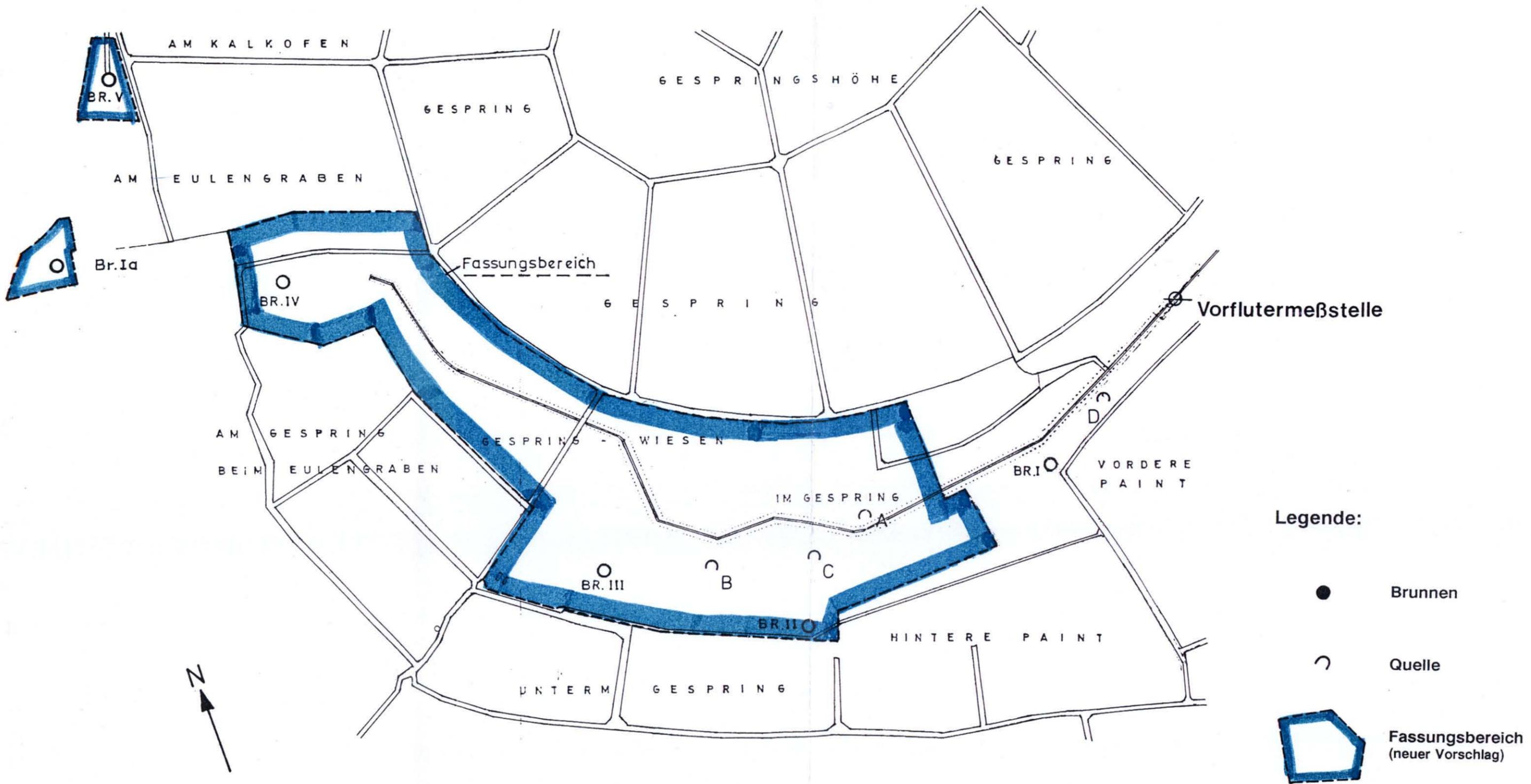
Grenze des GwEinzugsgebietes

- mit Abgrenzungskriterien:
 GwS Grundwasserscheide
 SG Schichtgrenze
 T Tektonische Struktur

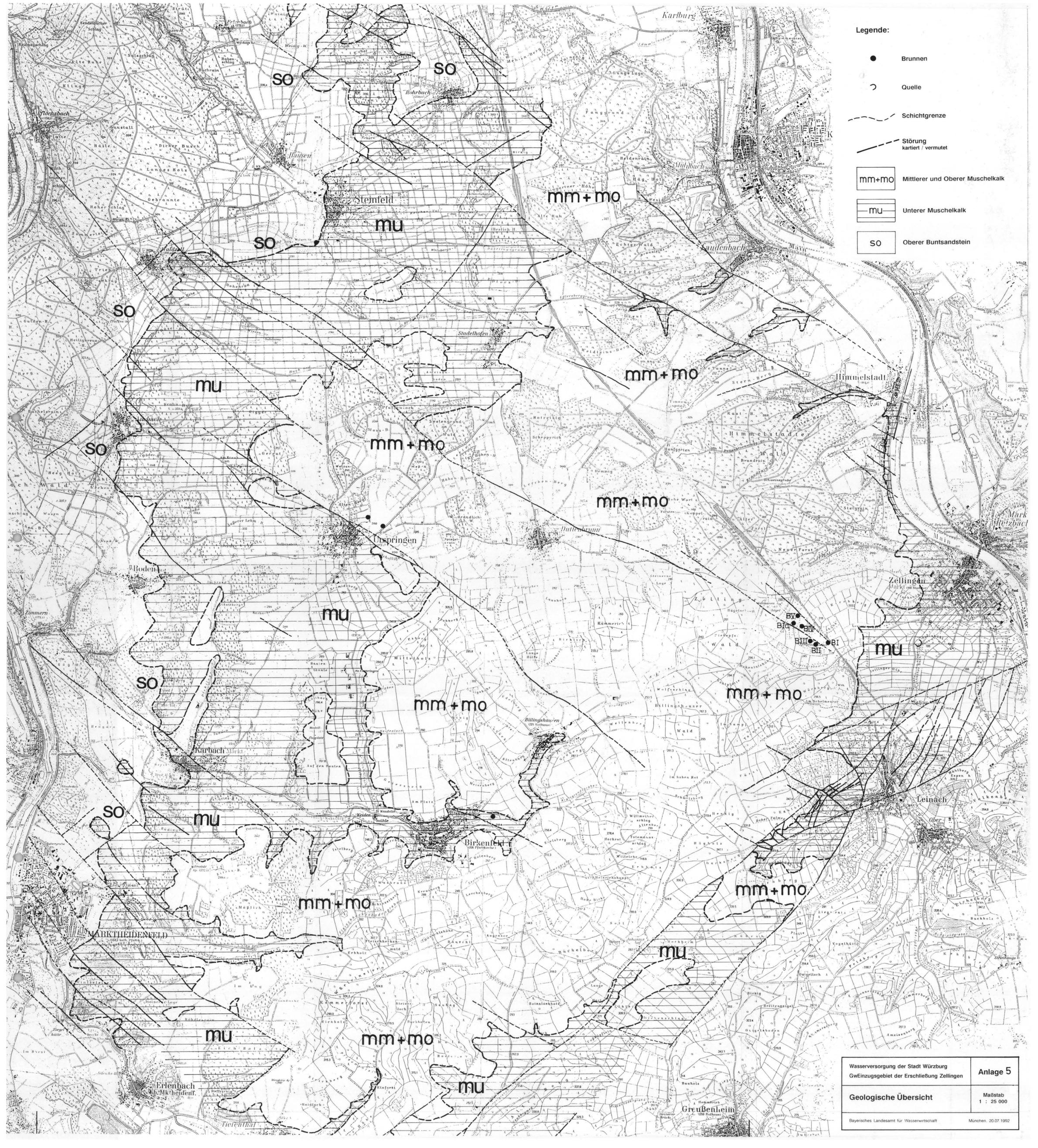
- ⋯ im Oberen und Mittleren Muschelkalk
- ⋯ im Unteren Muschelkalk
- ⋯ Angekoppeltes oberirdisches Einzugsgebiet



Wasserversorgung der Stadt Würzburg GwEinzugsgebiet der Erschließung Zellinger		Anlage 3
Übersichtslageplan		
- Wasserfassungen / Schutzgebiete - bekannte Karsterscheinungen - GwEinzugsgebiet		
		Maßstab 1 : 25 000
Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft		München, 20.07.1992



Wasserversorgung der Stadt Würzburg GwEinzugsgebiet der Erschließung Zellingen	Anlage 4
Lage der Brunnen	Maßstab 1 : 2 500
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft	München, 20.07.1992



Legende:

- Brunnen
- ⤿ Quelle
- - - Schichtgrenze
- - - - - Störung kartiert / vermutet
- mm+mo Mittlerer und Oberer Muschelkalk
- mu Unterer Muschelkalk
- SO Oberer Buntsandstein

Wasserversorgung der Stadt Würzburg GwEinzugsgebiet der Erschließung Zellingen	Anlage 5
Geologische Übersicht	Maßstab 1 : 25 000
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft	München, 20.07.1992

Strukturkarte (nach SCHWARZMAIER 1977)
Isohypsen (m ü.NN) bezogen auf die
Grenze Buntsandstein/Muschelkalk

Maßstab
1 : 25 000

Zugrundegelegte Mächtigkeiten:

Oberer Muschelkalk 75 m
Mittlerer Muschelkalk 40 - 50 m
Unterer Muschelkalk 88 - 95 m
Oberer Buntsandstein 90 m

Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft

München, 20.07.1992

Legende:



Kluffrose



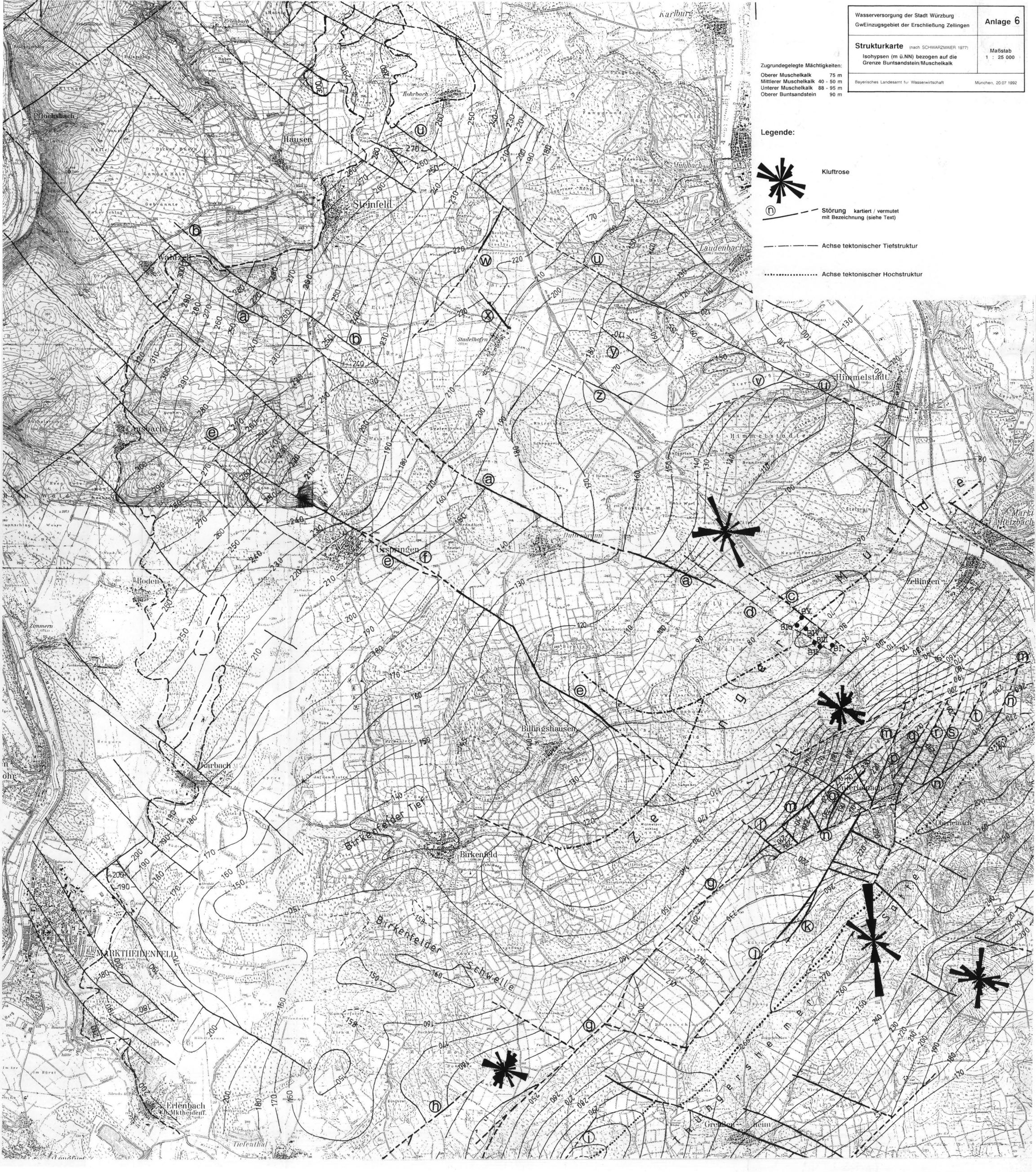
Störung kartiert / vermutet
mit Bezeichnung (siehe Text)



Axe tektonischer Tiefstruktur

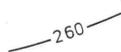


Axe tektonischer Hochstruktur





Legende:

-  Ausstrich der Grenze Mittlerer/Unterer Muschelkalk
-  Streichlinie auf die Oberfläche des Mittleren Zellenkalksteins im Mittleren Muschelkalk
-  Verwerfung
-  Sattelfirst
-  Muldenachse
-  GwBewegungsrichtung aufgrund der tekton. Gegebenheiten

Grundlage: SCHWARZMEIER 1978

Wasserversorgung der Stadt Würzburg GwEinzugsgebiet der Erschließung Zellingen	Anlage 7
Tektonisch-hydrogeologische Karte des GwStockwerkes im Mittleren Muschelkalk	Maßstab 1 : 25 000
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft	München, 20.07.1992

3 Kurzfassung 1

ABGRENZUNG DES EINZUGSGEBIETES

**GwErschließung des Marktes Burgpreppach,
Lkr. Haßberge**

1 ALLGEMEINE ANGABEN

Die 7 Versuchsbohrungen (13 - 80 m tief) liegen im Keuper-Schichtstufenland der nördlichen Haßberge, ca. 30 km NNE' von Bamberg. Aus den geplanten Trinkwasserbrunnen sollen täglich durchschnittlich 10 l/s entnommen werden.

2 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Die geologische Übersicht in Anlage 1 enthält i. w. die Informationen aus der Geologischen Karte von Bayern 1 : 500.000, örtlich anhand der Geol. K. 1 : 25.000 Blatt Nr. 5829 Hofheim bzw. aufgrund einer Ortseinsicht verfeinert. Die im Untersuchungsgebiet zutage tretenden Gesteine umfassen i. w. die Abfolgen des Sandsteinkeupers (oberer Abschnitt des Mittleren Keupers), und zwar vom Mittleren bis in den tiefen Unteren Buntsandstein.

In den Haßbergen ist der Sandsteinkeuper, im Gegensatz zu seiner vorwiegend sandigen Ausbildung südlich des Mains, generell mehr tonig ausgebildet (erste Anklänge an die fazielle Entwicklung des Thüringer Beckens).

3 LAGERUNGSVERHÄLTNISSE

Die nur für einen Teilbereich vorhandene Strukturkarte (Anlage 2) ist weitgehend auch für das übrige Untersuchungsgebiet repräsentativ.

Schichtenlagerung:

- mittlere Schichtneigung 1-2°, lokal Versteilungen auf 10 - 20° möglich;
- Reliefinversion: Baunach schneidet bereichsweise die Sattelstruktur des Haßberge-Höhenzuges an bzw. die Rhätkuppen stellen herauspräparierte Mulden dar.

Störungen:

- Die NW-SE-verlaufende Haßberge-Störung stellt das markanteste Bruchelement dar und bewirkt einen beachtlichen Drainageeffekt.
- Kimmelsbacher Störung mit untergeordneter Bedeutung

Klüftung:

- Klüfte parallel zu den Hauptstörungen mit vermutl. hoher Wasserwegsamkeit
- Klüfte senkrecht zu den Hauptstörungen (bc-Klüftung) und Scherklüfte (hk0-Richtung) mit geringerer Wasserwegsamkeit

Luftbildauswertung (Anlage 11):

- Das Gebiet ist in ein Schollenmosaik zerstückelt
- Gefügerichtungen mit erhöhter Wasserwegsamkeit:
 - * herzynisch (NW-SE)
 - * senkrecht dazu (NE-SW)

4 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSSE**Gw-Leiter:**

- höherer Sandsteinkeuper
- Kluftgrundwasserleiter mit inhomogener Wasserführung.

Hydraulische Kenndaten:

n_f -Wert	k_f -Wert	GwMächtigkeit	GwFlurabstand	GwGefälle
0,01	$8 \cdot 10^{-6}$	30 - 60 m	4 - 18 m	0.003 -
	$1,7 \cdot 10^{-4}$			0.01
	m/s			

GwStrömungsverhältnisse:

- freier GwSpiegel
- Spiegelgefälle wird hier wesentlich bestimmt vom
 - * Geländere relief und Lage der Vorfluter

- * Gefälle und Durchlässigkeit der wasserführenden und -stauenden Schichten
 - * tektonischen Baustil
- Der GwGleichenplan (Anl. 12) beruht aufgrund eines fehlenden GwMeßstellennetzes nicht auf direkten Messungen. Es handelt sich um eine Prinzipdarstellung, die aus den interpretierten geologisch-tektonischen und morphologischen Gegebenheiten entwickelt wurde. Deutlich zum Ausdruck kommt die Vorflutwirkung der Taleinschnitte als Potentialdepression sowie die enge Anlehnung der GwScheiden an die oberirdischen Wasserscheiden, welche größtenteils an geologische Grenzen geknüpft sind.

5 ABGRENZUNG DES EINZUGSGEBIETES

Anstrombereich:

Die Geometrie des entnahmeabhängigen Absenkkfeldes hat hier nur eine untergeordnete Bedeutung. Die entscheidende Rolle für die Anströmung zu den Brunnen spielt das sehr ausgeprägte natürliche Reliege der GwOberfläche.

Abgrenzung anhand von GwHöhengleichen:

Die in Anl. 12 wiedergegebene Vorstellung von den GwStrömungsverhältnissen läßt außer der hauptzustromkomponente aus NW auch einen beidseitigen Randzufluß nahezu senkrecht zur Talachse erkennen. Die entsprechenden Randstromlinien folgen ungefähr den oberirdischen Wasserscheiden, deren Verlauf hier gleichzeitig weitgehend mit der geologischen Begrenzung des Aquifers (Sandsteinkeuper) zusammenfällt.

6 ANGEKOPPELTE GW-LEITER, ZUSPEISUNGSBEREICHE

Die Haßbergstörung (Nordast) dürfte die Ankoppelung des Talgrundwasserleiters im Bereich der Neuerschließung besonders begünstigen. Neben einer weiteren Aktivierung dieser Ankoppe-

lung durch den künftigen Entnahmebetrieb ist auch eine Mobilisierung tieferer Komponenten, in erster Linie aus dem Unteren Buntsandstein, nicht auszuschließen. Diese Mechanismen bleiben hier jedoch ohne Einfluß auf den Umgriff des GwEinzugsgebietes.

7 BILANZKONTROLLE

GwNeubildungsrate: 2,8 l/s*km²

Ermittelte

Einzugsgebietsgröße: 135 km²

Geplante Jahresentnahme: 378.000 m³

Weitere GwEntnahmen im

Einzugsgebiet: 365.000 m³

Gesamtentnahme: 743.000 m³

Erschließungsfaktor: 0,3

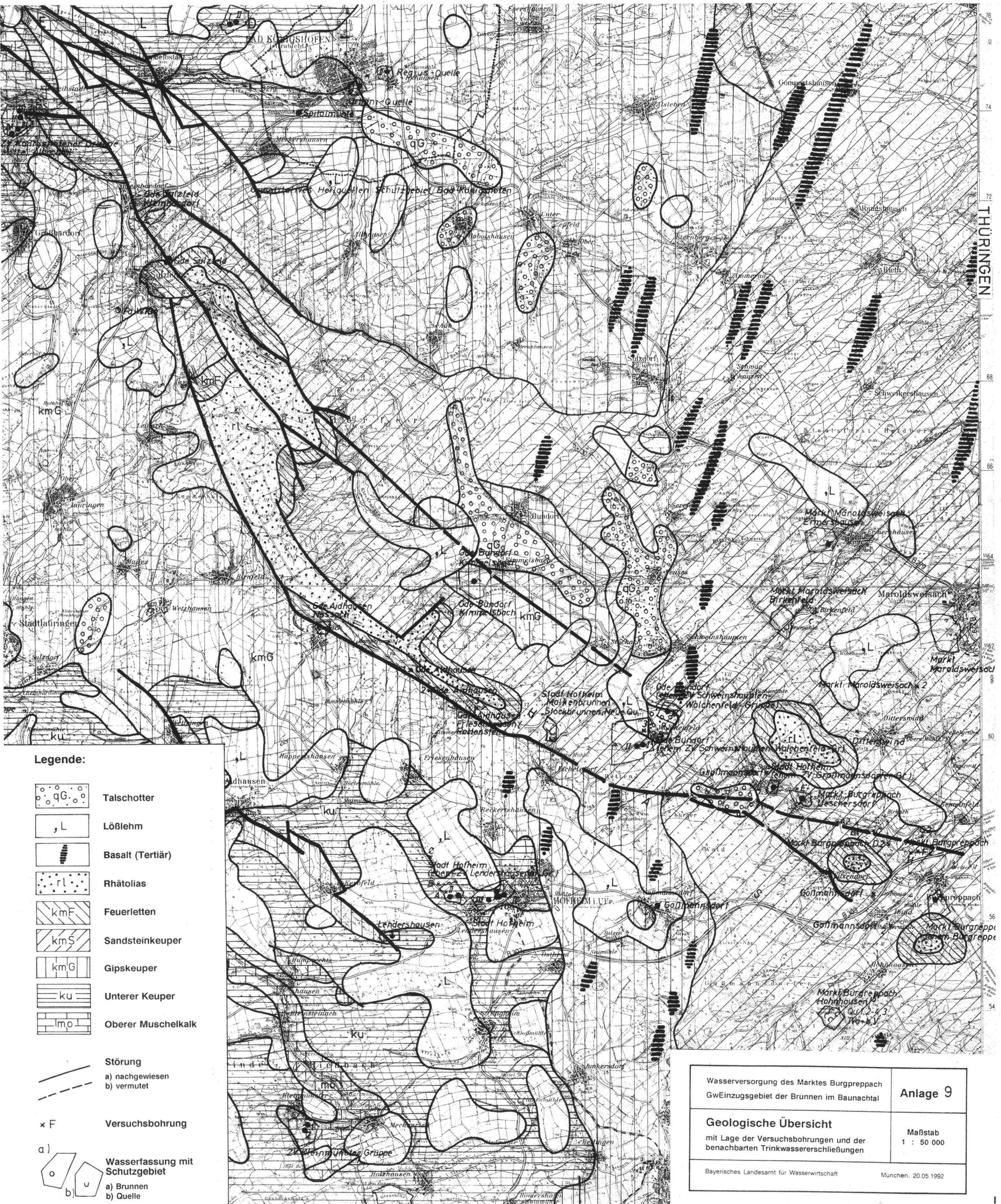
Im Einzugsgebiet wird eine Jahresmenge von 11,9 Mio m³ - ermittelt aus den Niedrigwasserabflüssen - neugebildet (vgl. org. Gutachten vom 20.05.1992). Selbst wenn nur die Hälfte davon im genutzten GwStockwerk verbleibt und die nicht bilanzierbaren Quellabflüsse in derselben Größenordnung wie die GwEntnahmen liegen, ist die GwEntnahmemenge auch bei einem Erschließungsfaktor von 0,3 gedeckt.

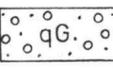
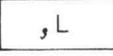
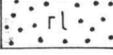
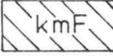
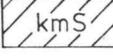
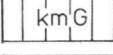
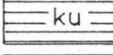
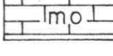
SCHLUSSBEMERKUNG

Das Beispiel zeigt, wie bei einem komplexen Kluftgrundwasserleiter ohne ein GwMeßstellennetz nur aufgrund einer eingehenden Interpretation der hydrogeologischen Gegebenheiten eine plausible Vorstellung über die GwStrömungsverhältnisse bzw. über das GwEinzugsgebiet entwickelt werden kann.

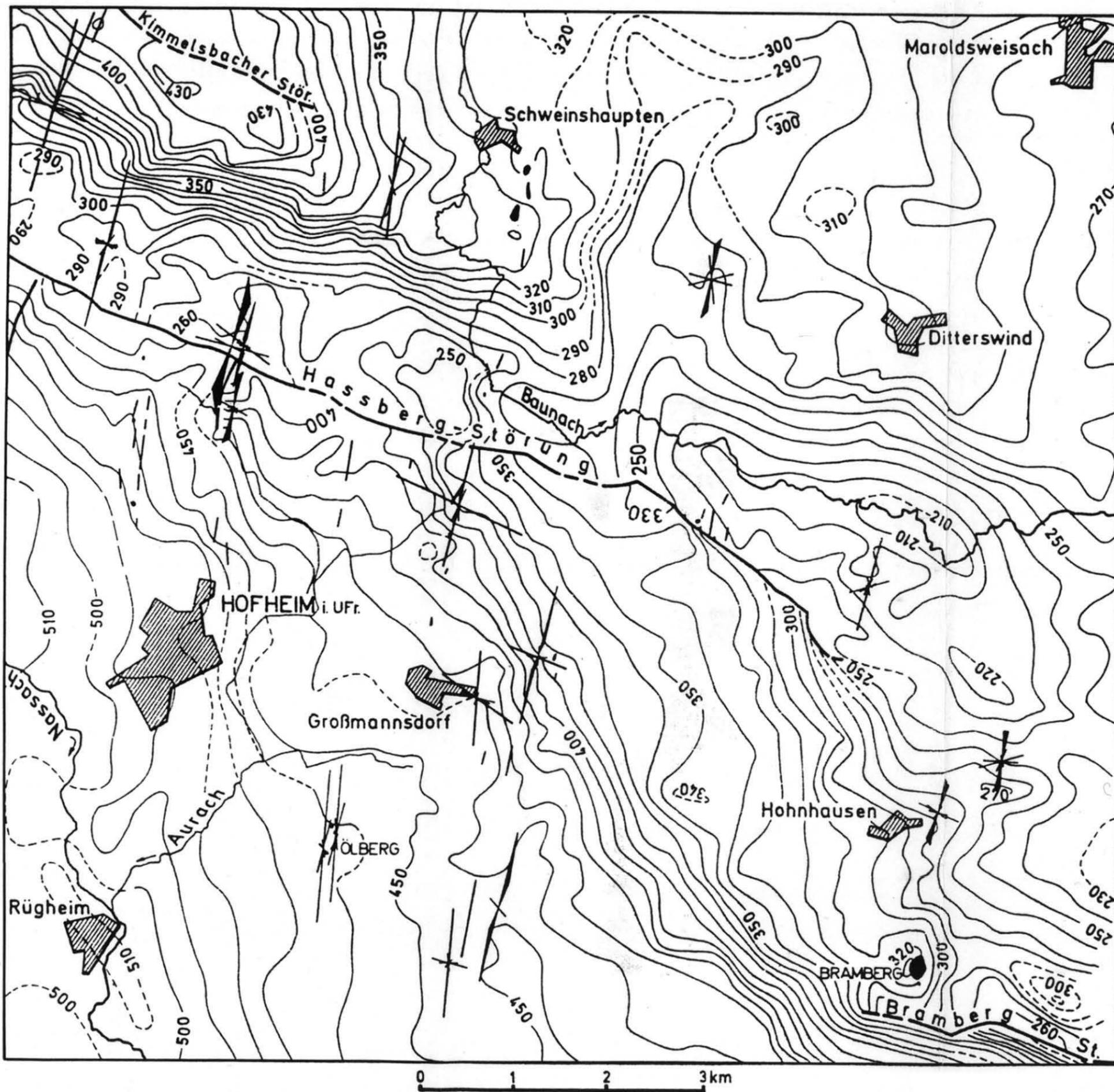
Anlagen:

- (9) Geologische Übersicht 1 : 50.000
- (10) Strukturkarte 1 : 50.000
- (11) Luftbildauswertung 1 : 25.000
- (12) GwStrömungsverhältnisse
 Darstellung des GwEinzugsgebietes 1 : 50.000

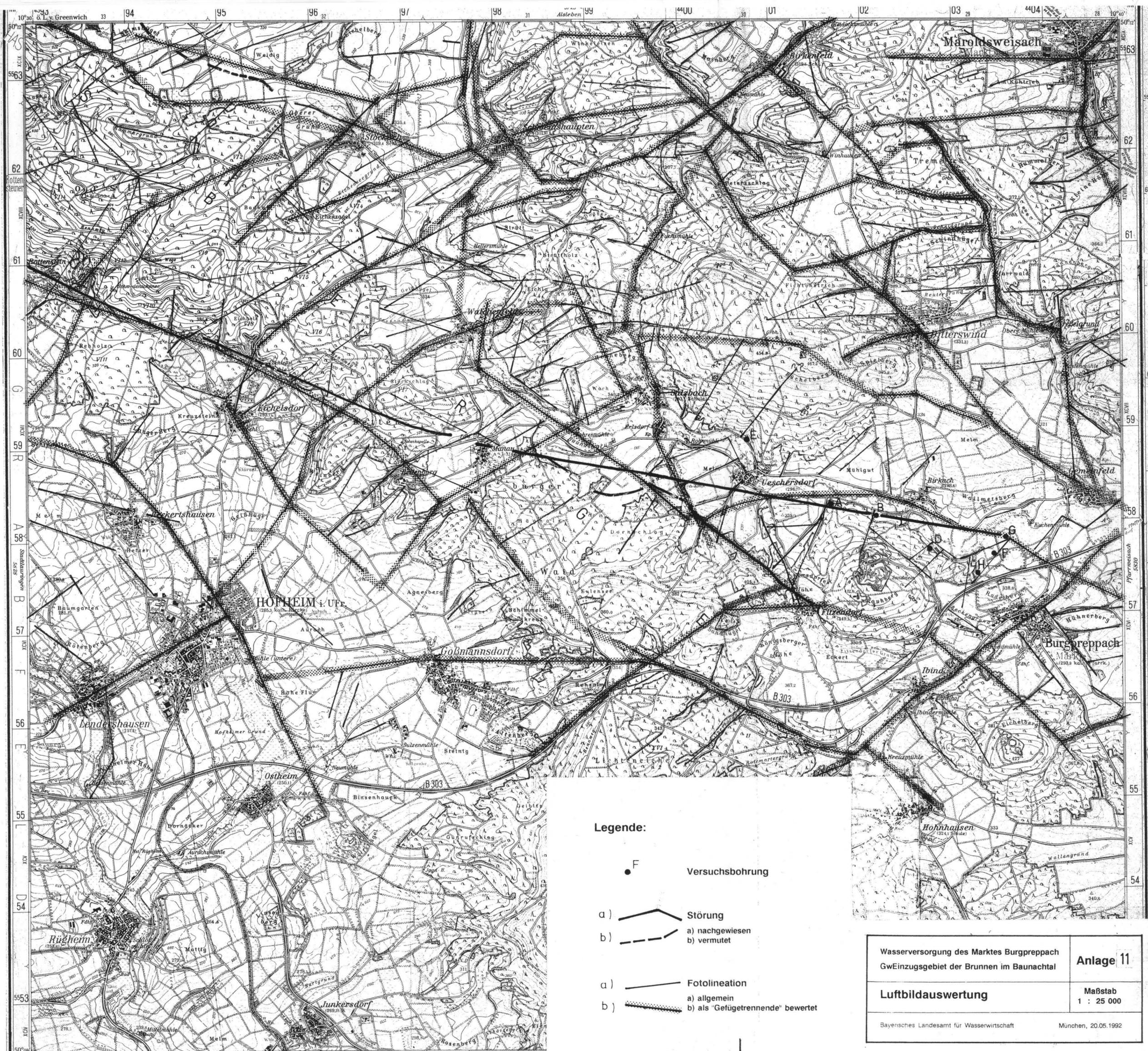


- Legende:**
-  Talschotter
 -  Lößlehm
 -  Basalt (Tertiär)
 -  Rhätolias
 -  Feuerletten
 -  Sandsteinkeuper
 -  Gipskeuper
 -  Unterer Keuper
 -  Oberer Muschelkalk
 -  Störung
 -  a) nachgewiesen
b) vermutet
 -  Versuchsbohrung
 -  Wasserversorgung mit Schutzgebiet
 -  a) Brunnen
 -  b) Quelle

Wasserversorgung des Marktes Burgpreppach GwEinzugsgebiet der Brunnen im Baunachtal	Anlage 9
Geologische Übersicht mit Lage der Versuchsbohrungen und der benachbarten Trinkwasserschließungen	Maßstab 1 : 50 000
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft	München, 20.05.1992



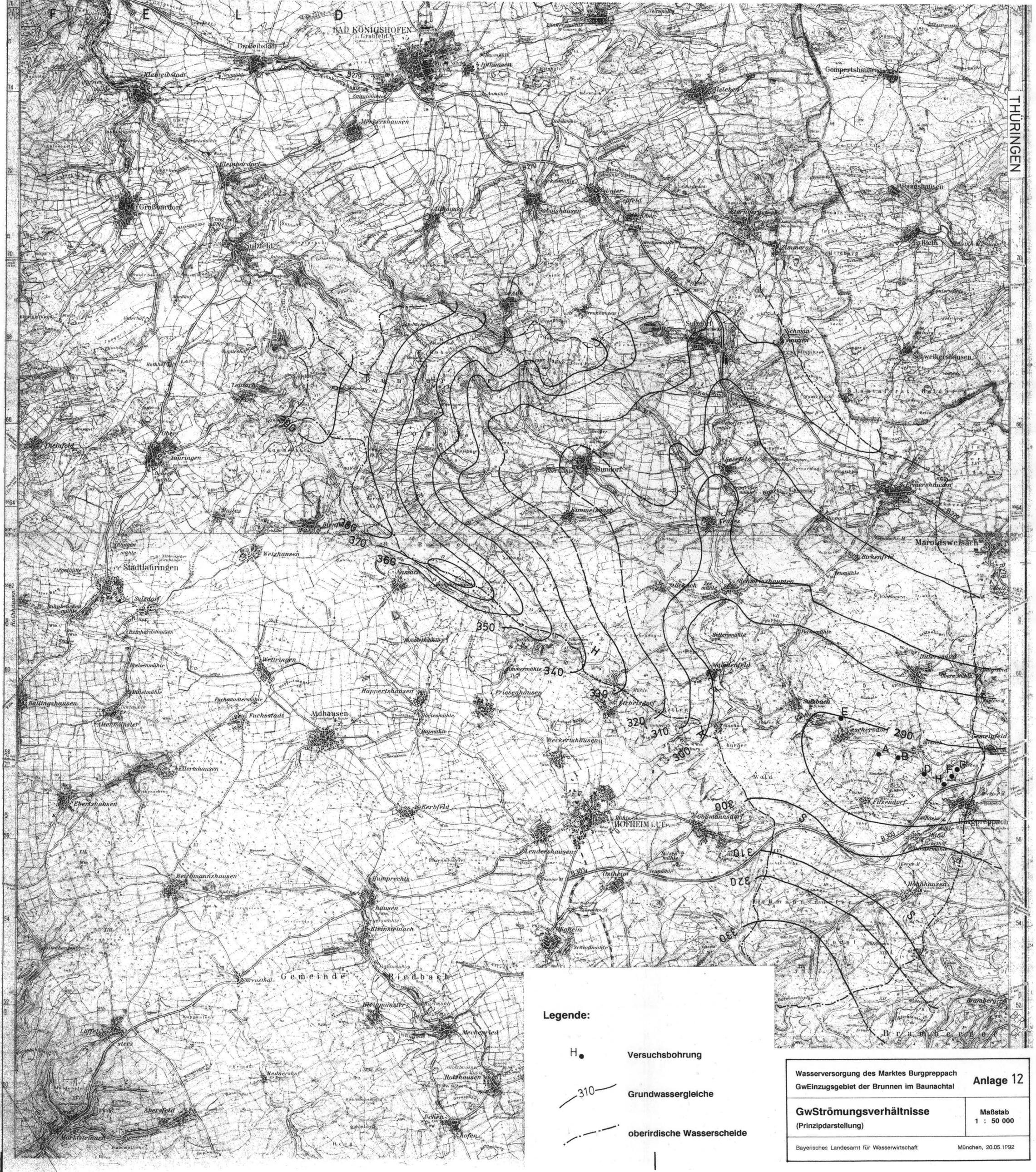
<p>Wasserversorgung des Marktes Burgpreppach GwEinzugsgebiet der Brunnen im Baunachtal</p>	<p>Anlage 10</p>
<p>Strukturkarte (aus SCHRÖDER 1976) Isohypsen bezogen auf die Untergrenze Burgsandstein</p>	<p>Maßstab 1 : 50 000</p>
<p>Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft München, 20.05.1992</p>	



Legende:

- F Versuchsbohrung
- a) Störung
- b) a) nachgewiesen
b) vermutet
- a) Fotolineation
- b) a) allgemein
b) als "Gefügetrennende" bewertet

Wasserversorgung des Marktes Burgpreppach GwEinzugsgebiet der Brunnen im Baunachtal	Anlage 11
Luftbildauswertung	Maßstab 1 : 25 000
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft	München, 20.05.1992



Legende:

- H • Versuchsbohrung
- 310 — Grundwassergleiche
- oberirdische Wasserscheide

Wasserversorgung des Marktes Burgpreppach
 GwEinzugsgebiet der Brunnen im Baunachtal **Anlage 12**

GwStrömungsverhältnisse
 (Prinzipdarstellung) **Maßstab**
 1 : 50 000

4 Kurzfassung 2

ABGRENZUNG DES EINZUGSGEBIETES

GwErschließung der Gemeinde Gilching,

Lkr. Starnberg

1 ALLGEMEINE ANGABEN

Das Erschließungsgebiet der Fassungsanlagen I, II und IV liegt auf einer jungeszeitlichen Schotterflur, ca. 20 km WSW' von München. Aus den drei Brunnen (rd. 33 m tief) werden täglich durchschnittlich etwa 35 l/s entnommen.

2 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE; LAGERUNGSVERHÄLTNISSE, STRUKTUREN

Wie aus der geologischen Karte in der Anlage ersichtlich, sind am Aufbau des Grundwasserleiters Moränenablagerungen und Schmelzwassersedimente verschiedener Eiszeiten beteiligt. Den Grundwasserstauer bilden schwerdurchlässige Ablagerungen des Jungtertiärs.

Die Tektonik spielt für die Hydrogeologie hier keine Rolle.

Geohydraulische Bedeutung haben dagegen

- die Kontakte zwischen Moränen und fluviatilen Schotterkörpern
- das Relief des unterlagernden GwStauers
- interne Ablagerungsstrukturen (z. B. Rinnenfüllungen innerhalb der Schotterkörper)

3 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Gw-Leiter:

- quartäre Schotter
- Porengrundwasserleiter

Hydraulische Kenndaten:

n_f -Wert	k_f -Wert	GwMächtigkeit	Transmissivität	GwGefälle
0,24	0,0071 m/s	17,5 m	0,125 m ² /s	0,004

GwStrömungsverhältnisse:

- freier GwSpiegel
- Den auf der Grundlage mehrerer Stichtagsmessungen erstellten GwGleichenplan zeigt Anlage 13. Die generelle GwBewegungsrichtung wird stark von der Lage und Neigung des tertiären Untergrundes beeinflusst. Sie ist im Nahbereich der Fassungen nach Nord-Nordwest gerichtet. Demgegenüber folgt die GwFließrichtung im weiteren Einzugsgebiet der Neigung der Schotterflur nach Nord-Nordost.

GwScheiden:

- Im Bereich des Flughafens Oberpfaffenhofen teilt sich der GwStrom an einer auch oberirdisch sichtbaren Tertiärauftragung.
- Unter den Würm-Endmoränen biegt die Fließrichtung des Grundwassers scharf in Richtung auf das vom Gletscher ausgeräumte Pilsenseebecken um.
- Im Süden fallen oberirdische und unterirdische Wasserscheiden in etwa zusammen.

4 ABGRENZUNG DES EINZUGSGEBIETES**Anstrombereich:**

Maßgebend für die Ausdehnung des Einzugsgebietes ist hier die Geometrie des Anstrombereiches. Angesetzt wird die max. Momentanentnahme zuzügl. 10 % Bedarfssteigerung, was einer kontinuierlichen Momentanentnahme von 45 l/s entspricht.

Der Verlauf der theoretischen Randstromlinien wurde auf der Grundlage einer Feldberechnung nach THEIS mit Hilfe eines Rechenprogrammes unmittelbar graphisch konstruiert und in die Anlage 13 übertragen.

- Untere Kulmination: 15 m
- Entnahmebreite: 500 m

Abgrenzung anhand von GwHöhengleichen:

Die anhand des Absenkkfeldes konstruierten Randstromlinien wurden in den GwGleichenplan "eingehängt" und nach oberstrom weiterkonstruiert.

Der rechnerische Anstrombereich ist wegen der Inhomogenität des GwLeiters und der Dispersion der GwStrömung beiderseits um einen Sicherheitszuschlag von insgesamt 25° aufzuweiten. Die o. g. GwScheiden sind als sichere Grenzen berücksichtigt, so daß die Aufweitung stellenweise wieder zurückgenommen werden kann.

5 ANGEKOPPELTE GW-LEITER, ZUSPEISUNGSBEREICHE

Der maßgebliche Anstrombereich reicht nach oberstrom bis in den Wurzelbereich der Schotterebene, wo sich Schotter und Moräne verzahnen. eine Ankoppelung eigenständiger Teil-GwLeiter von Süden ist möglich. Kleinere Zuspeisungen, insbesondere aus dem Raum Hadorf finden hier sicher statt.

6 BILANZKONTROLLE

Die Neubildungsmenge wurde über die Wasserhaushaltsgleichung (keine oberirdischen Gewässer), aber differenziert nach den unterschiedlichen am zentralen Anstrombereich beteiligten Neubildungsarealen ermittelt:

Niederterrasse:	$Q \text{ (neu)} = 7,8 \text{ km}^2 * 15 \text{ l/s*km}^2 = 117 \text{ l/s}$
Jungmoräne:	$Q \text{ (neu)} = 1,1 \text{ km}^2 * 9 \text{ l/s*km}^2 = 10 \text{ l/s}$
Altmoräne:	$Q \text{ (neu)} = 1,5 \text{ km}^2 * 3 \text{ l/s*km}^2 = 6 \text{ l/s}$

Gesamt:	$Q \text{ (neu)} = 132 \text{ l/s}$
Jahresentnahme:	$1.100.000 \text{ m}^3 = 35 \text{ l/s}$
Erschließungsfaktor:	$= 0,8$
nutzbares Dargebot:	$0,8 * 132 \text{ l/s} = 106 \text{ l/s}$

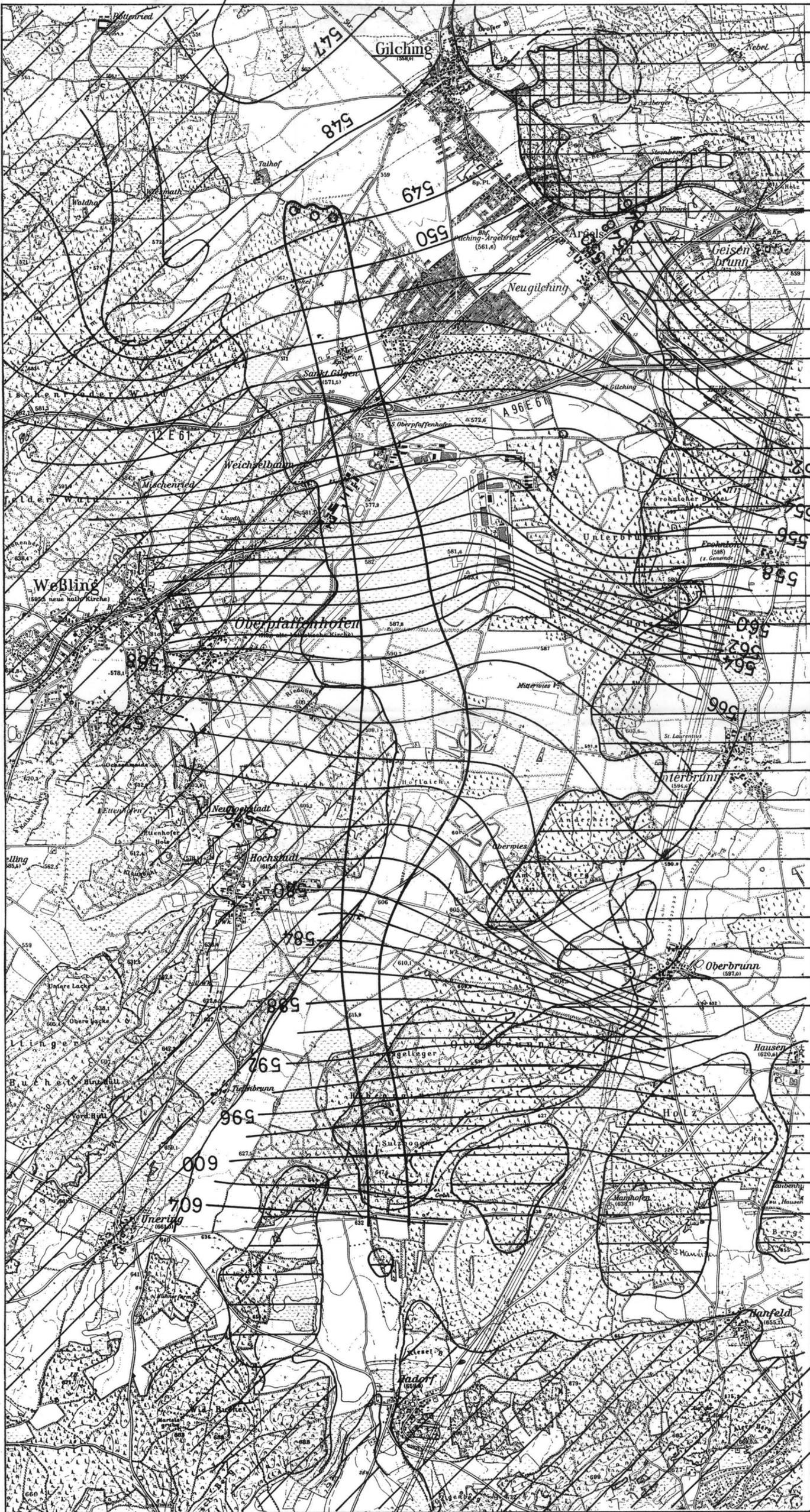
Die Entnahme ist also durch die GwNeubildung derzeit mindestens dreifach gedeckt.

SCHLUSSBEMERKUNG

Das Beispiel zeigt die Vorgehensweise bei einem Porengrundwasserleiter mit einem relativ dichten GwMeßstellennetz.

Anlagen:

(13) Übersichtslageplan mit hydrogeologischer Situation



Legende

-  Terrassenschotter
-  Jungmoränenlandschaft
-  Altmoränenlandschaft
-  Obere Süßwasser-
molasse
-  Wasserscheide
oberirdisch
-  552 — Gw Gleiche
-  Anstrombereich

Anlage 13

Vorhaben: WV Gde. Gilching Ermittlung des Gw-Einzugsgebietes	
Maßstab: 1:25 000	Hydrogeologische Übersicht
DINA 2	
Entwurfsverfasser: Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft 15.03.1990	

5 Kurzfassung 3

ABGRENZUNG DES EINZUGSGEBIETES

GwErschließung der Stadt Waldsassen,

Lkr. Tirschenreuth

1 ALLGEMEINE ANGABEN

Die vier Quellfassungen liegen auf der Südostflanke des sog. Fichtelgebirgssattels, einer Aufwölbung des "Alten Gebirges", rund 4 bzw. 6 km NNW' der Stadt Waldsassen.

Die Durchschnittsentnahme aus allen vier Quellen beträgt derzeit etwa 2 l/s.

2 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Das Untersuchungsgebiet liegt im variscisch geprägten Grundgebirge Nordostbayerns. Der Phyllitmantel, aus dem i. w. auch das Waldsassener Schiefergebirge besteht, ist tiefgründig verwittert. Die lehmig-tonig bis feinsandig vergrusteten Zersatzdecken gehen zum Liegenden allmählich in unverwittertes Festgestein über. In der näheren Umgebung wird die Untergrenze der Verwitterungszone mit rund 60 m angegeben.

Im Pleistozän waren die tertiären Zersatzmassen tiefreichendem Dauerfrost ausgesetzt. Bereits auf flachen Hängen bildeten sich Fließerden und Wanderschutt aus.

3 LAGERUNGSVERHÄLTNISSE

Bedeutendstes Strukturelement ist die variscische Deformation des Gesteinsverbandes zu SW-NE streichenden Großfalten. Schollenbewegungen führten zu teils erheblichen vertikalen und horizontalen Verstellungen, so daß heute ausgeprägte Störungs- und Kluftsysteme vorliegen.

Im weiteren Umfeld der Quellen ist das anstehende Gestein fast durchwegs von tertiärem Zersatz verhüllt. Daher hat die Tektonik hier keine weitere hydraulische Bedeutung.

4 HYDROGEOLOGISCHE BEDEUTUNG

GwLeiter:

- Zersatzzone mit tertiären und pleistozänen Deckschichten
- inhomogener Porengrundwasserleiter

GwStrömungsverhältnisse:

GwHöhe und -Bewegung sind überwiegend durch die Morphologie des Geländes bestimmt, d. h. die GwOberfläche stellt ein mehr oder weniger gedämpftes Abbild des Geländereliefs dar. Die GwBewegung entspricht daher weitestgehend der Oberflächenneigung, der zumindest in Talnähe auch das GwGefälle nahezu gleichkommt.

5 ABGRENZUNG DES EINZUGSGEBIETES

Anstrombereich:

Die Berechnung charakteristischer Punkte der Randstromlinie (untere Kulmination, entnahmebreite) ist mangels konkret ermittelbarer geohydraulischer Kennwerte nicht sinnvoll.

Wegen der Tallage und dem Ausbau der Quellen ist mit der Ausbildung eines kleinen Absenktrichters zu rechnen, so daß auch Grundwasser vom Gegenhang sowie von unterstrom erschlossen wird. Nach oberstrom ist ein fächerförmig aufgeweiteter Anstrombereich etwa symmetrisch zur Talachse anzunehmen.

Abgrenzung anhand von GwHöhengleichen:

Die Fließrichtung und somit auch die Randstromlinie ist in erster Näherung direkt aus den Höhenlinien ableitbar. Aufgrund zu vermutender örtlicher Inhomogenitäten und Anisotropien des Gwleiters ist ein ausreichender Sicherheitszuschlag zu berücksichtigen. Die Randstromlinie wird daher entsprechend weit unterstromig der Fassungen angesetzt und in der Falllinie des

Geländes weiterkonstruiert. Als oberstromige Begrenzung des Einzugsgebietes können die nächstgelegenen oberirdischen Wasserscheiden unmittelbar übernommen werden.

6 ANGEKOPPELTE GW-LEITER, ZUSPEISUNGSBEREICHE

Die geringen und unregelmäßigen Quellschüttungen sind typisch für kleine, ausschließlich oberflächlich gespeiste Einzugsgebiete. Es ist davon auszugehen, daß weder Ankoppelungen von Gw Leitern noch sonstige unterirdische Zuspeisungen vorliegen.

7 BILANZKONTROLLE

GwNeubildungsrate (nach der Wasserhaushaltsgleichung)	3,0 l/s*km ²
Ermittelte Einzugsgebietsgröße	rd. 1,0 km ²
Unterirdischer Gesamtabfluß	2,5 l/s
Erschließungsfaktor	nahe 1

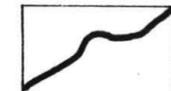
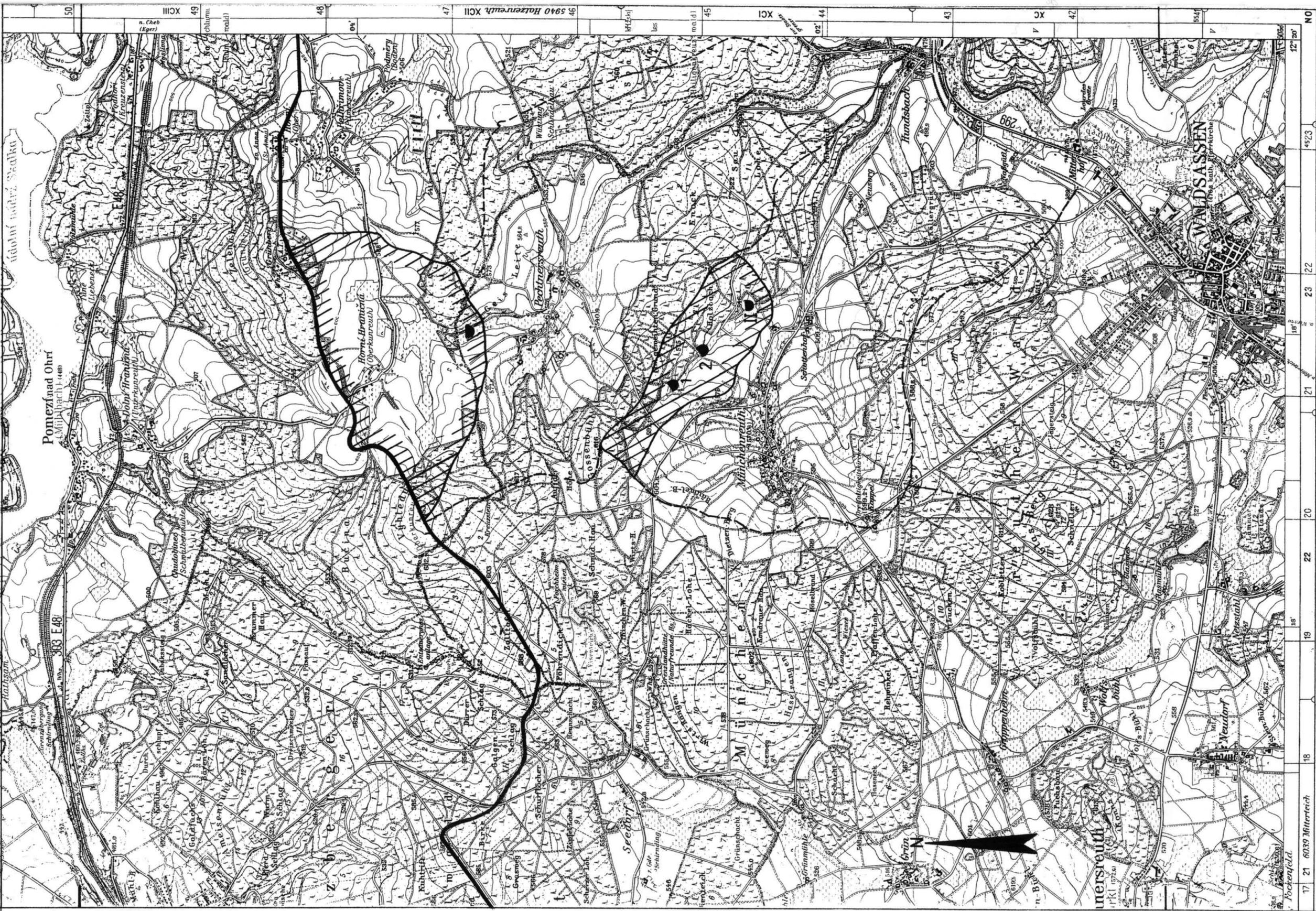
Daraus ergibt sich eine erforderliche Neubildungsfläche von 0,83 km². Die Größe des ermittelten Einzugsgebietes ist damit plausibel.

SCHLUSSBEMERKUNG

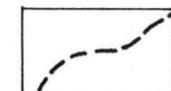
Das Beispiel zeigt, wie bei einer Quellwassererschließung das Einzugsgebiet mangels konkret ermittelbarer hydraulischer Kenndaten nur durch Interpretation der hydrogeologischen und morphologischen Gegebenheiten abgegrenzt werden kann.

Anlage:

- (14) Lageplan mit Grenzen der Grundwassereinzugsgebiete
1 : 25.000



Hauptwasserscheide Eger/Wondreb



Wasserscheiden 2. Ordnung



Grenzen der GwEinzugsgebiete



genutzte Quelfassungen von
Münchenreuth und Pechtnersreuth

Wasserversorgung der Stadt Waldsassen
GwEinzugsgebiete der Quellen Münch-
reuth (1, 2 und II) und Pechtnersreuth

Anlage 14

Grenzen der
Grundwassereinzugsgebiete

Maßstab
1 : 25 000

ABGRENZUNG DES EINZUGSGEBIETES

Grundwassererschließung im

Grundwassererkundungsgebiet Thannhausen

(Kennzahl 15.06)

Lkr. Günzburg

1 ALLGEMEINE ANGABEN

Das Erkundungsgebiet liegt im Mindeltal, etwa 1 km südwestlich des marktes Burtenbach. Es wurden drei rd. 200 m tiefe Bohrungen niedergebracht, die zu Doppelmeßstellen ausgebaut sind sowie zwei Brunnen, die für die öffentliche Wasserversorgung genutzt werden.

2 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE, LAGERUNG, STRUKTUREN

Unter der geringmächtigen alluvialen Talfüllung folgt das Miozän mit Tonen, Sanden und Mergeln der Oberen, Mittleren und Unteren Serie. Die Sedimente wechseln horizontal wie vertikal verhältnismäßig kleinräumig.

Die Lagerung ist mehr oder weniger horizontal, tektonische Strukturen spielen im Grundwasserleiter keine Rolle.

3 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Grundwasserleiter:

Tertiäre Fein- und Mittelsande, überwiegend der Oberen und der Mittleren Serie; ausschließlich Porengrundwasserleiter.

Hydraulische Kenndaten für das Obere GwSystem (OG):

n_f -Wert	k_f -Wert	Transmissivität	GwGefälle
0,15	0,00004	0,001 m ² /s	0,004
	m/s		

Grundwasser-Strömungsverhältnisse:

Gespanntes Grundwasser; das tertiäre GwVorkommen kann in ein Oberes GwSystem (OG) und in ein Tieferes System (TG, Anl. 15) gegliedert werden.

Der GwDruckspiegel des OG liegt mehrere Meter über dem des TG. Über dem Tertiär ist in der Talfüllung ein quartäres GwStockwerk ausgebildet, das lokal mit dem OG hydraulisch in Verbindung steht.

Unabhängig von der GwErkundung wurde für das Landkreisgebiet ein GwGleichenplan erstellt, der naturgemäß auch die Ergebnisse der Erkundung mit einbezieht bzw. Rückschlüsse auf die Verhältnisse im Erkundungsgebiet zuläßt.

Grundlage bildet eine Stichtagsmessung an allen Tertiärbrunnen und Tertiärmeßstellen. Dabei wurde versucht, vor der Messung überall eine möglichst lange Pumpenstillstandszeit (etwa 24 h) einzuhalten. Zudem wurden vorliegende Wasserstandsbeobachtungen und Wasserspiegel während der Bohrungen ausgewertet.

Es konnte für das Obere und für das Tiefere GwSystem jeweils ein eigener GwGleichenplan erstellt werden. Während im OG deutlich eine Ausrichtung auf die S-N fließenden Vorfluter (Mindel) zu erkennen ist, kann das TG nur auf den Hauptvorfluter Donau bezogen werden.

4 ABGRENZUNG DES EINZUGSGEBIETES

Mit den vorliegenden Untersuchungsergebnissen ist es möglich, den unterirdischen Anstrombereich zu ermitteln. Die anhand eines Absenkkfeldes konstruierte Randstromlinie können in den Gleichenplan gewissermaßen eingehängt werden. Eine oberstromige Abgrenzung ist für das TG nur ungefähr möglich. Aufgrund der komplizierten hydraulischen Beziehungen (Leakage) zwischen den drei GwStockwerken kann der für die Qualität des OG und des TG maßgebliche Bereich nur näherungsweise ausgeschieden werden.

GwHaushalts-Überlegungen (Gw-Bilanz) liegen noch nicht vor.

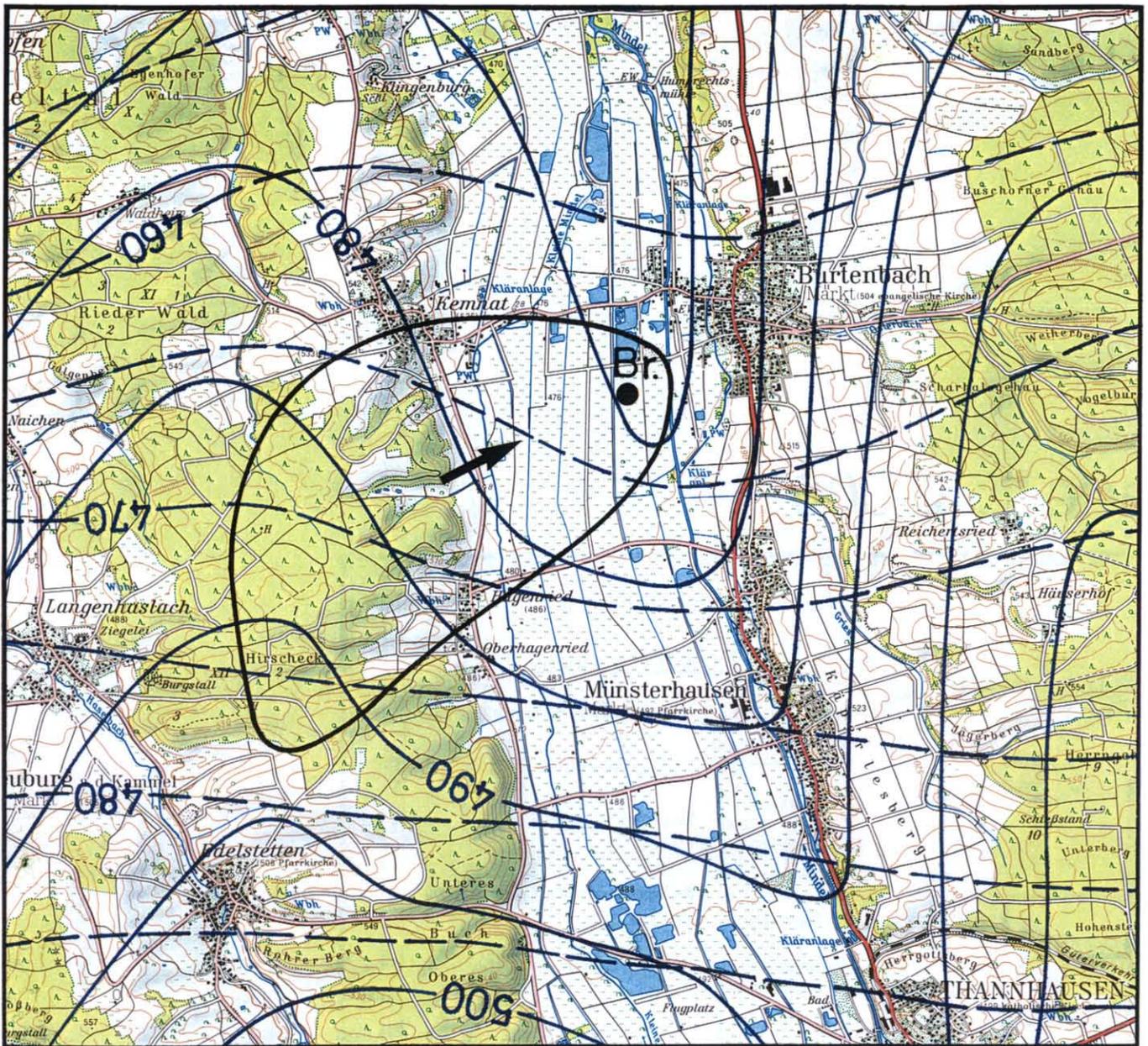
5 ERGEBNIS

Mit hydraulischen Berechnungen läßt sich der unterirdische Anstrombereich (Absenkbereich) ermitteln. Das "qualitative Einzugsgebiet" im Sinne der "Leitlinien" kann mit dem vorliegenden Gutachten nur ungefähr abgegrenzt werden.

Das GwAlter des TG ist pleistozän einzustufen, das Alter des OG ist infolge der Leakage-Effekte ein Mischalter und somit wesentlich jünger.

Anlage:

- (15) Grundwassergleichenplan "Oberes Grundwassersystem" und
"Tieferes Grundwassersystem" mit Anstrombereich
M. 1 : 50.000

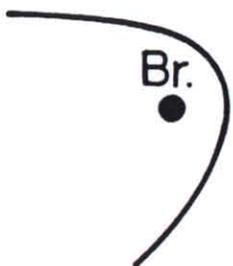


—490—

Gw Gleiche OG

- -470- -

Gw Gleiche TG



Unterirdischer Anstrombereich für einen Brunnen ($Q_{\max} = 9 \text{ l/s}$) im OG

Anlage 15

Gw Erkundungsgebiet Thannhausen

Gw Gleichenplan Tertiär (OG- und TG-System nach Schuler 1993)

Maßstab 1 : 50 000

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 1996

Liste der Methodik-Studien (Muster-Basisgutachten)

Wasserversorgungsunternehmer		Basisgutachten vom ...	TK 25 Blatt	Grundwasserleiter	Geologie
Gde. Lkr.	Ampfing Mühlendorf	18.04.1991	7740	Poren-GwLeiter	Quartär, Niederter.
ZV Lkr.	Auracher Gr. Bamberg	01.03.1990	6131	Kluft-GwLeiter	Sandstein Keuper
Markt Lkr.	Burgpreppach Haßberge	20.05.1992	5728 5729	Kluft-GwLeiter	Sandstein Keuper
Gde. Lkr.	Ettringen Unterallgäu	09.12.1991	7829 7929	Poren-GwLeiter	Quartär, Niederter.
Gde. Lkr.	Gilching Starnberg	25.02.1991	7833 7933	Poren-GwLeiter	Quartär, Niederter.
Markt Lkr.	Haag i. Ob. Mühlendorf	20.02.1992	7839	Poren-GwLeiter	Quartär, Moräne
Gde. Gde. Lkr.	Immenreuth, Kemnach Tirschenreuth	28.11.1990	6037 6137	Kluft-GwLeiter	Buntsandstein
ZV Lkr.	Mettenheimer Gr. Mühlendorf	23.04.1991	7740	Poren-GwLeiter	Quartär, Niederter.
ZV Lkr.	FW Mittelmain Fassung Erlach Main-Spessart	07.12.1992	6023	Kluft-GwLeiter	Buntsandstein
Stadt Lkr.	Mühlendorf a. Inn Mühlendorf	04.06.1991	7741	Poren-GwLeiter	Quartär, Niederter.
ZV Lkr.	Mühlhausener Gr. Würzburg	31.07.1992	6126	Kluft-GwLeiter	Keuper/ Muschelkalk
Gde. Lkr.	Polling Mühlendorf	20.12.1991	7741	Poren-GwLeiter	Quartär, Niederter.
Stadt Lkr.	Töging Mühlendorf	10.06.1991	7741	Poren-GwLeiter	Quartär, Niederter.
Stadt Lkr.	Waldkraiburg Mühlendorf	15.04.1991	7740	Poren-GwLeiter	Quartär, Niederter.
Stadt Lkr.	Waldsassen Tirschenreuth	25.11.1991	5939	inhomogen	Granitzer- satzzone
Stadt Lkr.	Würzburg Erschl.-Geb. Zellinger Becken/ Gespring Main-Spessart	20.07.1992	6024 6124	Kluft-GwLeiter	i. wes. Muschelkalk, z. T. verkarstet