



Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Bayern 1:500 000





Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Bayern 1:500 000

Bearbeiter:

B. Wagner, G. Kus, B. Kainzmaier, T. Spörlein, T. Wilferth,
W. Veit, P. Fritsch, M. Wrobel, W. Lindenthal,
J. Neumann, W. Sprenger

88 Seiten, 24 Abbildungen, 12 Tabellen, Augsburg 2009

Hydrogeologische Karte
UmweltSpezial

Impressum

Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Bayern 1 : 500 000
ISBN: 978-3-936385-33-5

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: (0821) 90 71 - 0
Fax.: (0821) 90 71 55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Redaktion:

LfU, Referat 104, B. Wagner

Bildnachweis:

S. Diemer, Hof: Abb. 2-7, Abb. 2-8;
Dr. E. Geiß, München: Abb. 2-15;
G. Loth, Hof: Abb. 2-3

Druck:

Offsetdruckerei Karl Gramlich GmbH, Karl-Benz-Str. 3, 72124 Plitzhausen

Gedruckt auf Papier aus 100% Altpapier

Stand:

September 2009

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Broschüre auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 5 |
| 2 | Hydrogeologischer Überblick Bayerns | 6 |
| 3 | Hydrogeologische Einheiten und deren Eigenschaften | 27 |
| 4 | Blatt 1: Oberflächennahe Verbreitung der Hydrogeologischen Einheiten | 50 |
| 5 | Blatt 2: Klassifikation der Hydrogeologischen Einheiten | 52 |
| 6 | Blatt 3: Grundwassergleichen bedeutender Grundwasserleiter | 55 |
| 6.1 | Grundwasserleiter | 57 |
| 6.2 | Hinweis zur Verwendung der Karte | 66 |
| 7 | Blatt 4: Mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag (1971–2000) | 67 |
| 7.1 | Methodik | 68 |
| 7.2 | Mittlere Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1971–2000 | 71 |
| 7.3 | Grundwasserneubildung ausgewählter hydrogeologischer Räume | 72 |
| 7.4 | Grundwasserneubildung ausgewählter Nass- und Trockenzeiträume | 76 |
| 7.5 | Hinweis zur Verwendung der Karte | 76 |
| 8 | Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung | 78 |
| 9 | Ausblick | 83 |
| | Literatur | 84 |

1 Einleitung

Der weitaus größte Teil unseres Trinkwassers wird aus Grundwasser gewonnen. Für dessen Erschließung aber auch für viele andere Fragestellungen, wie beispielsweise die Nutzung der Geothermie, ist eine möglichst gute Kenntnis der Grundwasserverhältnisse erforderlich. Detaillierte Informationen finden sich in den Hydrogeologischen Karten 1 : 50 000 (HK50), die bereits für weite Teile Bayerns erhältlich sind. Eine hydrogeologische Übersichtskarte von Bayern ist bislang nicht verfügbar gewesen.

Mit der vorliegenden Hydrogeologischen Karte von Bayern 1 : 500 000 (HK500) wird diese Lücke geschlossen. Die Arbeiten erfolgten am Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) in den Jahren 2006 bis 2009 im Auftrag und mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit (StMUG). Das Kartenwerk ist insbesondere für Übersichtsbetrachtungen geeignet und wendet sich an alle, die am Thema regionaler Grundwasserverhältnisse in Bayern interessiert sind.

In vier Karten werden die Themen hydrogeologische Einheiten, hydrogeologische Klassifikation, Grundwassergleichen der bedeutenden Grundwasserleiter sowie Grundwasserneubildung aus Niederschlag behandelt. Bei der Grundwassergleichenkarte handelt es sich um eine überarbeitete und aktualisierte Fassung der Karte aus dem Jahr 1985 (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1985), alle anderen Karten werden hier erstmals veröffentlicht. Das Blatt Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist das Ergebnis des Projektes „Grundwasserneubildungskarte von Bayern 1 : 200 000 (GwNBK200)“, das in den Jahren 2003 bis 2008 unter Federführung des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft durchgeführt wurde. Die Flächeninformationen werden den Nutzern neben dem Druckwerk im Internet unter www.bis.bayern.de zugänglich gemacht.

Die vorliegende Erläuterung gibt einen gerafften Überblick der Hydrogeologie von Bayern. Die differenzierten hydrogeologischen Einheiten werden in einer Tabelle aufgelistet und kurz textlich sowie qualitativ hinsichtlich ihrer Eigenschaften charakterisiert. In den Kapiteln 4 bis 7 wird insbesondere auf die Methodik der Erstellung der verschiedenen Kartenthemen und Besonderheiten der Darstellung eingegangen. Abschließend wird das Thema Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung behandelt.

2 Hydrogeologischer Überblick Bayerns

Bayern umfasst eine Fläche von etwa 70.500 km² und ist im Wesentlichen in vier hydrogeologische Großräume aufgeteilt: das Schichtstufen- und Bruchschollenland im Nordwesten, das Grundgebirge im Nordosten und mit einem kleinen Bereich im Aschaffener Raum sowie südlich der Donau das Alpenvorland mit den daran anschließenden Alpen (Abb. 2-1). Abbildung 2-2 zeigt die Verteilung der insgesamt 29 hydrogeologischen Teilräume, in die diese Großräume untergliedert werden können (BÜTTNER et al. 2003). In Bayern ist somit eine große Vielfalt an Gesteinseinheiten mit den unterschiedlichsten hydrogeologischen Eigenschaften anzutreffen. Im Folgenden wird ein nach den Großräumen gegliederter Überblick zur Hydrogeologie Bayerns gegeben. Weitergehende Informationen zur Geologie von Bayern finden sich z. B. in BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996).



Abb. 2-1: Hydrogeologische Großräume Bayerns, vereinfacht nach BÜTTNER et al. (2003).

Schichtstufen- und Bruchschollenland

Das Schichtstufen- und Bruchschollenland umfasst nahezu den gesamten Nordwesten Bayerns nördlich der Donau. In diesem Großraum zeigen sich vorwiegend Mittelgebirgslandschaften mit typischem, dem Wechsel harter und weicher Gesteinsfolgen zugrunde liegendem, im Osten durch Tektonik überprägtem Schichtstufenrelief (siehe Abb. 2-3 und Abb. 2-4). Am geologischen Aufbau dieser Landschaften beteiligen sich hauptsächlich mesozoische Sedimente (Festgesteine); die tief eingeschnittenen Täler sind i. d. R. mit quartären Lockergesteinen verfüllt. Südlich der Donau setzen sich die Gesteine des Schichtstufenlands unter dem Molassebecken bis zu den Alpen fort. Vulkanismus (z. B. Rhön) und der bekannte Meteoriteneinschlag im Nördlinger Ries bilden zusammen mit ihrem Gesteinsinventar (Basalte, Auswurfmassen, Tektite etc.) eigene, isolierte Landschaftselemente. In Räumen mit lösungsanfälligen Gesteinsfolgen (z. B. Fränkische Alb, Main-



Abb. 2-2: Hydrogeologische Teilräume Bayerns.

fränkische Platten, vgl. Abb. 2-4) bereichern Verkarstungsphänomene (Dolinen, Ponore, Erdfälle) das Landschaftsbild. Sie sind lokal auch hydrogeologisch von Belang.

Hydrogeologisch ist das Schichtstufen- und Bruchschollenland durch den vielfachen horizontalen sowie vertikalen Wechsel unterschiedlicher Sedimentfolgen charakterisiert. Die Bandbreite an lithologisch unterscheidbaren Gesteinen ist aufgrund der vielfältigen Ablagerungsbedingungen sehr groß. So finden sich z. B. fein- und grobklastische Sedimente eines kontinental geprägten Ablagerungsraums (z. B. Ton- und Schluffsteine, Sandsteine und Konglomerate), marine Bildungen (z. B. Kalksteine, Mergelsteine, Dolomitsteine) und als Besonderheit zudem Evaporite (Salzlager, Gips, Anhydrit), die in küstennahen Bereichen unter Eindampfung salzhaltiger Wässer entstanden sind.

In unregelmäßiger Folge wechseln sich Grundwasser leitende und gering leitende Schichtglieder ab (siehe Abb. 2-4 und 2-5). Die Lagerung der Schichten ist weitgehend flach geneigt bis söhllich. Dies sind die beiden Grundvoraussetzungen für die Bildung des für das Schichtstufen- und Bruchschollenland typischen hydrogeologischen Stockwerksbaus (siehe Abb. 2-5). Durch Änderungen im lithologischen und strukturellen Inventar (Fazieswechsel, Bruchtektonik) löst sich die Stockwerkstrennung sowohl lokal als auch regional in Teilen auf. Dies gilt in besonderem Maße für das Bruchschollenland.



Abb. 2-3: Blick über das Schichtstufenland vom Staffelberg in Richtung Bad Staffelstein. Die Kalkgesteine des Malms treten als Härtinge im Vordergrund markant hervor. Im Hintergrund sind die Erhebungen des Keuper-Berglands zu erkennen.

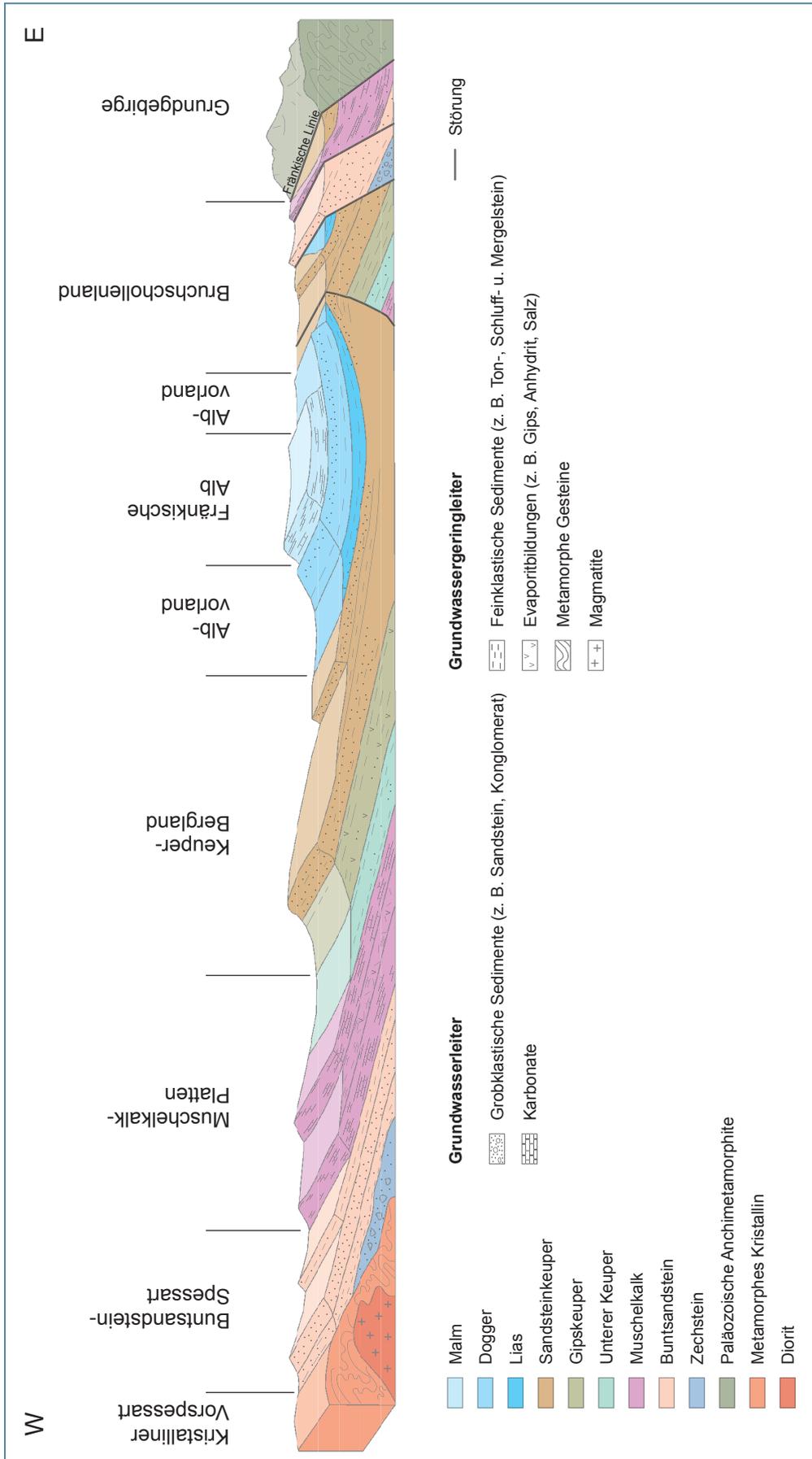


Abb. 2-4: Geologisch-hydrogeologisches Schemaprofil des Schichtstufen- und Bruchschollenlands, modifiziert nach GEYER & SCHMIDT-KALER (2009).

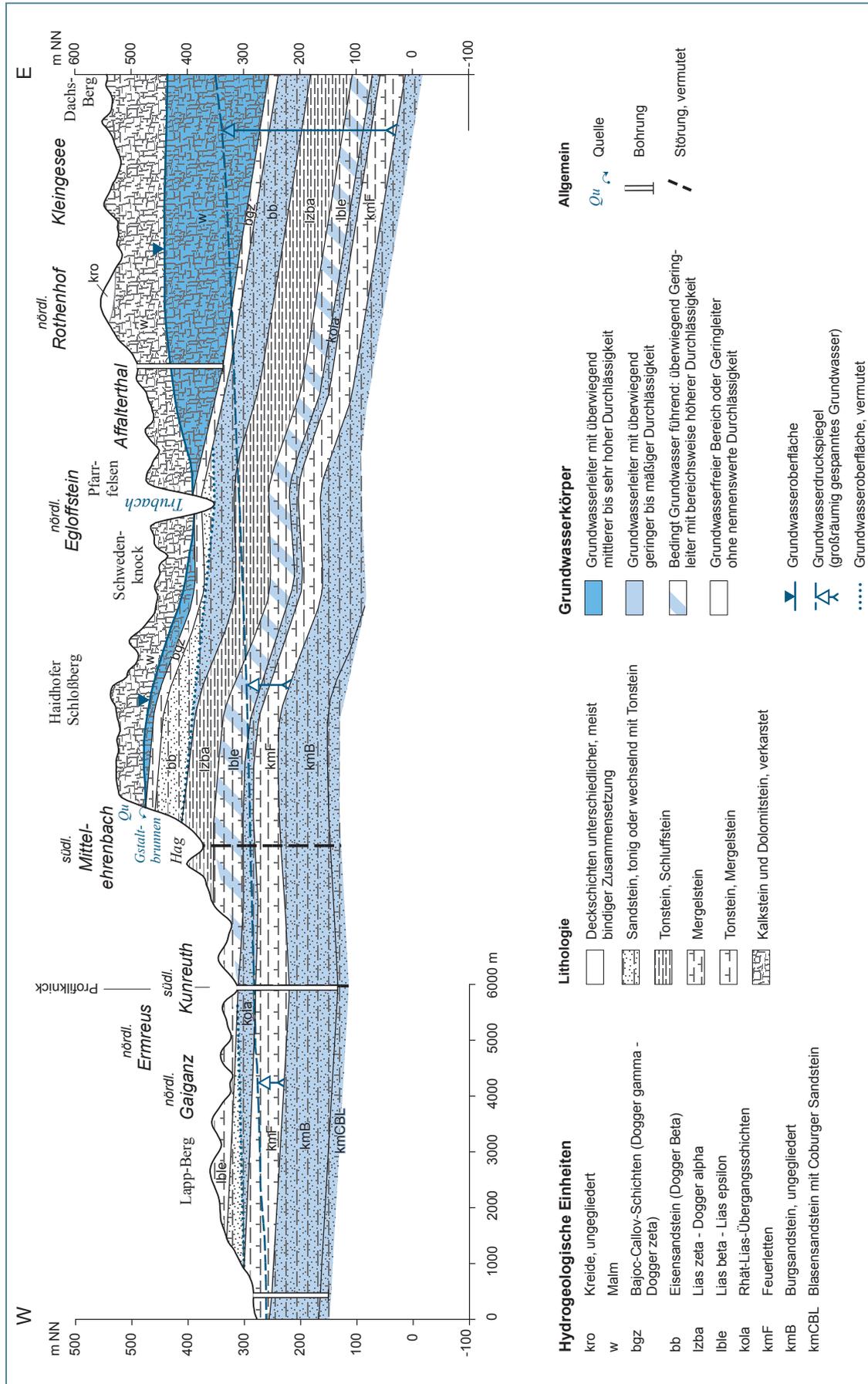


Abb. 2-5: Hydrogeologischer Profilschnitt durch das Schichtstufenland im Bereich Haidhofer Schlossberg nach Kus et al. (2007). Gut zu erkennen ist der ausgeprägte Grundwasserstockwerksbau mit der horizontalen Abfolge von Grundwasserleitern und -geringleitern.

Anhand überregional bedeutender Grundwasserstockwerke und stellenweise auch struktureller Besonderheiten differenziert sich der Großraum in die in Abbildung 2-2 dargestellten hydrogeologischen Teilräume (siehe auch Abb. 2-4). Die hydrogeologisch bedeutendsten sind von Westen nach Osten folgend die Buntsandsteingebiete Spessart-Rhönvorland-Odenwald und Fulda-Werra-Bergland, die Muschelkalk-Platten, das Keuper-Bergland, das Albvorland und die Fränkische und Schwäbische Alb, das Bruchschollenland mit dem Hahnbacher Sattel sowie die Bodenwöhrer Bucht. Aufgrund besonderer geologischer Umstände weichen die Teilräume Kuppen- und Lange Rhön (Vulkanismus) sowie das Nördlinger Ries (Meteoriteneinschlag) vom generellen hydrogeologischen Schema ab. Mit seinen mächtigen und für die Grundwassergewinnung wichtigen Schotter- und Sandfüllungen nimmt der Teilraum Hanauer-Seligenstädter Senke eine Sonderrolle ein.

Die Muschelkalk-Platten und Fränkische Alb zeichnen sich durch mächtige zur Verkarstung neigende karbonatische Abfolgen aus. In den verkarsteten und klüftigen Bereichen können sich sehr ergiebige, wasserwirtschaftlich bedeutsame Grundwasservorkommen bilden. Der Münnerstädter Graben oder die Zeller Stollen (Würzburg) im Muschelkalk sowie die Hollfelder Mulde im Jura der Fränkischen Alb liefern hierzu anschauliche Beispiele. Typisch sind auch stark schüttende Karstquellen, die entweder als natürlicher Überlauf oder als Vorflut die Karstwasservorkommen drainieren (siehe Abb. 2-6). In den Gesteinsabfolgen der Muschelkalk-Platten sind im Mittleren Muschelkalk Evaporitbildungen hydrogeologisch auffällig. Falls ausgelaugt, sind sie vielerorts (z. B. südliches Maindreieck) mitentscheidend für die guten Wasserwegsamkeiten, darüber hinaus sind sie jedoch auch oft die Ursache erhöhter Mineralgehalte im Grundwasser.

In den weiteren Teilräumen herrschen mit wenigen Ausnahmen (Vulkanische Rhön, Nördlinger Ries) Wechselfolgen aus fein- (Ton- und Mergelsteine) und grobklastischen (Sandsteine, Konglomerate) Sedimenten vor. Die Grundwässer zirkulieren dort bevorzugt in den offenen Klüften von Sandsteinen, in einigen Fällen auch von Kalk- und Dolomitsteinen. Die Ton- und Mergelsteinlagen verhalten sich überwiegend Grundwasser gering leitend. Bei entsprechender Mächtigkeit und Verbreitung stellen die von Sandsteinen dominierten Abfolgen ergiebige Grundwasserreservoirs dar. Bedeutende Sandstein-Grundwasserleiter sind z. B. der Mittlere und Untere Buntsandstein im Spessart, Odenwald und Kulmbacher Raum, der Sandsteinkeuper und Benker Sandstein im Keuper-Bergland sowie die Kreide- und Trias-Sandsteine in der Bodenwöhrer Bucht. Einige Einheiten führen horizontgebundene Evaporite, die sich hydrogeologisch meist im erhöhten Mineralisierungsgrad der Grundwässer zeigen. Darunter sind insbesondere die Sulfatlager im Oberen Buntsandstein und Mittleren Keuper zu nennen.

Mit wenigen Ausnahmen werden alle Teilräume von größeren Flusstälern durchzogen. Hervorzuheben sind die Täler des Mains, der Regnitz und Pegnitz sowie der Altmühl. Die quartären Lockergesteins-Füllungen (Schotter, Sande) dieser Täler stellen z. T. ergiebige Poren-Grundwasserleiter dar, deren Grundwasserabstrom über die als Vorfluter fungierenden Flüsse erfolgt. Die meisten Talfüllungen sind überdies wichtige hydraulische Entlastungszonen für die umrahmenden Festgesteins-Grundwasserleiter.



Abb. 2-6: Schichtquelle über Ornatenton an der Basis des Malmkarsts im Siebenquellental südwestlich Thalheim.

Im Schichtstufen- und Bruchschollenland werden aufgrund der großen Bandbreite an Gesteinen Grundwässer mit sehr unterschiedlichen hydrogeochemischen Eigenschaften angetroffen. Bei den Grundwässern in den Festgesteinen reicht die Palette von gering mineralisierten Wässern in austauscharmen quarzitischen Sandsteinen (z. B. Buntsandstein) über normal mineralisierte Wässer bis – wie oben bereits erläutert – hin zu höher mineralisierten Wässern in den evaporitisch geprägten Gesteinseinheiten. Darüber hinaus finden sich bei tieferen Grundwassererschließungen auch Austauschwässer, seltener Salzwässer. Im Lockergestein der Talfüllungen zeigen sich wegen der vielfältigen Einflüsse (Randzustrom aus dem Festgestein, anthropogener Eintrag etc.) häufig Mischformen.

Grundgebirge

Das Grundgebirge steht in weiten Bereichen Ost- und Nordostbayerns entlang der Grenze zu Tschechien in einem ca. 35–50 km breiten und ca. 285 km langen, ungefähr NNW–SSE verlaufenden Streifen als westlicher Rand der Böhmisches Masse an. Ein weiteres relativ kleines Vorkommen findet sich im Nordwestteil des Spessarts im Raum Aschaffenburg (Kristalliner Vorspessart). Das Grundgebirge bildet landschaftlich überwiegend ein flachwelliges bis hügeliges Mittelgebirge (siehe Abb. 2-7). Größere Höhen werden im Südosten im Bayerischen Wald entlang der Grenze zu Tschechien erreicht; höchste Erhebung ist hier der Große Arber mit 1456 m NN.

Das ostbayerische Grundgebirge ist Teil des variszischen Orogens und umfasst Einheiten des Saxothuringikums und Moldanubikums. Es beinhaltet die Bereiche paläozoischer und älterer Gesteine mit unterschiedlich starker metamorpher Überprägung und magmatische Gesteine (vorwiegend variszische Granite). Im Kristallinen Vorspessart treten vorwiegend Glimmerschiefer, Gneise und dioritische Magmatite zu Tage. Nach Süden und Osten lagern diesen diskordant paläozoische und mesozoische Sedimentgesteine des Deckgebirges auf. Nach Westen begrenzt der tektonische Graben der Hanauer-Seligenstädter Senke das Kristallin, nach Norden setzt sich der Teilraum nach Hessen fort.

Der ostbayerische Anteil des Grundgebirges wird untergliedert in die Teilräume Paläozoikum des Frankenwaldes (Teilraum Ostthüringischer-fränkischer-vogtländischer Synklinalbereich und Antiklinalbereich des thüringischen Schiefergebirges), Münchberger Gneismasse, Fichtelgebirgs-Erzgebirgs-Paläozoikum, Fichtelgebirgs-Tertiär sowie Oberpfälzer-Bayerischer Wald.

Das Paläozoikum des Frankenwaldes wird aus nicht metamorphen bis schwach metamorphen kambrischen bis unterkarbonen Sedimentgesteinen aufgebaut, vorwiegend Tonschiefern, Grauwacken, Konglomeraten sowie untergeordnet Kalksteinen, denen synsedimentäre basische Vulkanite (Diabase) eingeschaltet sind. Die SW–NE streichenden Sattel- und Muldenstrukturen mit zum Teil steil einfallenden, sich tektonisch wiederholenden paläozoischen Einheiten setzen sich im Norden nach Thüringen fort. Die Abgrenzung nach SW zu dem aus mesozoischen Sedimenten aufgebauten und hydrogeologisch durch Stockwerksbau gekennzeichneten Bruchschollenland erfolgt markant an der Fränkischen Linie (siehe Abb. 2-4 bzw. 2-10). Im Bereich des Stockheimer Rotliegendbeckens liegen permische Sedimente diskordant über dem älteren Paläozoikum. Nach SE schließen sich, ebenfalls durch Störungen begrenzt, die Münchberger Gneismasse sowie das Fichtelgebirge an.

Die Münchberger Gneismasse bildet einen Deckenstapel aus verschiedenen faziell und lithologisch unterschiedlichen Teildecken. Mittel- bis hochdruckmetamorphe Gesteine (Amphibolite, Gneise, Eklogite) werden hierbei von schwach- bis anchimetamorphem Paläozoikum und Phylliten umrahmt. Die Münchberger Masse ist allseitig durch Störungen gegen die umgebenden weniger metamorphen paläozoischen Gesteine abgegrenzt, im SW bildet die NW–SE streichende Fränkische Linie die Grenze zum Bruchschollenland.



Abb. 2-7: Grundgebirgslandschaft, Blick vom Ochsenkopf (Fichtelgebirge) in Richtung Kösseine.

Das Fichtelgebirgs-Paläozoikum liegt zwischen dem schwach metamorphen Frankenwald und den höher metamorphen bzw. magmatischen Gesteinen des Oberpfälzer Walds und stellt eine großräumige, SW–NE streichende und nach SW verkippte Sattelstruktur dar. Es wird überwiegend aus paläozoischen Metasedimenten (vorwiegend Phyllite und Schiefer) und Gneisen aufgebaut, die von variszischen Graniten und dioritischen Gesteinen („Redwitzite“) durchsetzt werden. Im SW stößt es, durch Störungen begrenzt, an das Bruchschollenland. Hydrogeologisch von besonderem Interesse ist der steil einfallende, bis 200 m mächtige Wunsiedler Marmorzug.



Abb. 2-8: Weißmainquelle („Fürstenquelle“) am Osthang des Ochsenkopfes (Fichtelgebirge). Typisch für das Grundgebirge ist die mäßige Wasserführung des Quellaustritts.

Die Gesteine des Oberpfälzer-Bayerischen Waldes werden überwiegend aus mittel- bis hochgradig metamorphen Gesteinen, v. a. Paragneisen mit Einlagerungen von Metabasiten, Kalksilikategesteinen, Marmor und Orthogneisen sowie zwischengeschalteten Intrusivgesteinen aufgebaut, wobei hier Granite, Granodiorite und Diorite überwiegen.

Basische magmatische und metamorphe magmatische Gesteine dominieren in der Gabbro-Amphibolitmasse bei Neukirchen b. Hl. Blut. Die hydrogeologische Einheit Oberpfälzer-Bayerischer Wald erstreckt sich von der tschechischen Grenze im Osten bis an die Grundgebirgs-Randstörungskomplexe im Westen (Fränkische Linie, Keilbergstörung, Randstörungen der Bodenwöhrer Senke, Luhe-Linie). Im Norden wird sie durch die Erbdorfer Linie vom Fichtelgebirgssattel abgegrenzt. Im Süden stößt sie an den Donaurandbruch. Nach Osten erfolgt die Fortsetzung nach Tschechien und im äußersten SE nach Österreich. Eine weitere Besonderheit ist der Pfahl; hierbei handelt es sich um eine NW-streichende Scherzone mit Myloniten (z. T. „Pfahlschiefer“ genannt) und Kataklasiten in der Randzone und dem Pfahlquarz im Zentralbereich, der als Härtling morphologisch prägnant hervortritt.

Die anchimetamorphen Gesteine des Frankenwaldes sowie die metamorphen bzw. magmatischen Ausgangsgesteine des restlichen Grundgebirges enthalten in ungeklüftetem und unverwittertem Zustand keine oder nur sehr geringe Wassermengen und sind letztlich als Grundwassergeringleiter anzusprechen. In weiten Bereichen liegt jedoch im oberflächennahen Bereich ein während der post-variszischen Heraushebung des Grundgebirges tektonisch oder durch Intrusionen bzw. deren Abkühlung und Entlastung angelegtes Trennflächengefüge vor. Generell wird die Grundwasserführung von der Ausbildung und Dichte des Kluftnetzes (z. B. Bruchtektonik, Entlastungsklüfte; siehe Abb. 2-9) bestimmt. Speicherkapazität und Durchlässigkeit des Untergrundes variieren dabei stark mit der Ausbildung dieses Trennflächengefüges und sind insgesamt von erheblichen lokalen Unterschieden und Anisotropien gekennzeichnet. Die Gesteine bilden dann überwiegend einen Kluft-Grundwasserleiter mit in der Regel nur geringer Ergiebigkeit; lediglich beim Auftreten von spröderen Ausgangsgesteinen z. B. mit Quarzit- oder Diabasvorkommen können höhere Durchlässigkeiten festgestellt werden. Die Häufigkeit dieser wasserwegsameren Trennflächen nimmt generell mit zunehmender Tiefe ab, im Regelfall ist unterhalb von 100 bis 150 m Tiefe keine nennenswerte Wasserführung mehr zu erwarten. Ausnahmen bilden Bereiche in der Nähe bedeutenderer Störungs- oder Zerrüttungszonen, wo eine deutliche Grundwasserführung auch bis in einige hundert Meter Tiefe beobachtet werden kann.



Abb. 2-9: Grundgebirgslandschaft bei Flossenbürg. Die Verwitterung der Granite entlang der vorgegebenen Kluftstrukturen ist hier gut zu erkennen.

Die Gesteine unterlagen zudem vor allem im Tertiär einer zum Teil tiefgründigen Verwitterung. Die dadurch entstandene Verwitterungsdecke ist hinsichtlich Mächtigkeit und Zusammensetzung sehr heterogen ausgebildet und kann je nach Ausgangsgestein und Verwitterungsintensität sandig-grusige (Granite), lehmig-sandige (Phyllite) oder auch tonige Verwitterungsbildungen (z. B. Kaolinisierung) umfassen. Generell bewegen sich die Mächtigkeiten der Verwitterungsdecken im wenige Zehnermeterbereich, selten über hundert Meter. Die Zersatzdecke bildet je nach Zusammensetzung einen Poren-Grundwasserleiter bzw. einen Kluft-Poren-Grundwasserleiter mit unterschiedlicher Durchlässigkeit über dem unverwitterten, z. T. noch geklüfteten Ausgangsgestein. Eine scharfe Trennung der Zersatzzonen und des unterlagernden Kristallins ist kaum möglich; die Einheiten gehen vielmehr sowohl vertikal als auch lateral kontinuierlich ineinander über. Die

weitgehend klufffreie Zone des Kristallins im tieferen Untergrund bildet die Grundwassersohle des Kristallin-Grundwasserstockwerks.

In kleineren lokalen Vorkommen von Marmoren und Kalksilikaten können aufgrund der Erweiterung des vorhandenen Trennflächengefüges durch Lösungsverwitterung Verkarstungserscheinungen verbunden mit einer erhöhten Durchlässigkeit und Speicherfähigkeit auftreten. So zum Beispiel beim steil einfallenden, bis 200 m mächtigen Wunsiedler Marmorzug, der aufgrund dieser Verkarstung einen wichtigen Kluff-Karst-Grundwasserleiter mit mittlerer Durchlässigkeit darstellt.

Nennenswerte quartäre Flussablagerungen mit Kiesen und Sanden überlagern das Grundgebirge nur im Verlauf der größeren Flusstäler wie Regen, Naab und deren Zuflüsse und bilden dort nur begrenzt ergiebigere Poren-Grundwasserleiter mit geringer bis mittlerer Durchlässigkeit.

Aufgrund der vorherrschend niedrigen Speicherfähigkeiten und der meist geringen Durchlässigkeiten ist das Grundgebirge prinzipiell als Grundwassermangelgebiet einzustufen. Auffällig für den Großraum ist die ausgesprochen hohe Quellendichte, wobei die Quellen überwiegend geringe Schüttungen aufweisen (siehe Abb. 2-8). Viele der früher gefassten Quellen sind heute aufgelassen; in weiten Bereichen wird die Wasserversorgung durch Fernwasser aus dem benachbarten Schichtstufenland bzw. aus Trinkwassertalsperren (z. B. Mauthaus, Frauenau) gewährleistet.

Zwischen Fichtelgebirge und Oberpfälzer-Bayerischem Wald liegt das Tertiärgebiet des Fichtelgebirges und der nördlichen Oberpfalz („Mitterteicher Becken“) als teilweise bereits erodiertes, inselartiges (Rest-)Vorkommen eines ursprünglich weiter verbreiteten tertiären Sedimentationskörpers in der westlichen Fortsetzung des Egergrabens. Es handelt sich dabei um kleinräumig wechselnde Vorkommen von Tonen, Sanden und Kiesen mit Einschaltungen von Braunkohlen sowie tertiären Vulkaniten, Basaltdecken und Tuffen (GALADI-ENRÍQUEZ et al. 2009). Die tertiären fluviatilen und limnischen Lockergesteine unterscheiden sich in ihren hydrogeologischen Eigenschaften deutlich vom unterlagernden und umgebenden Grundgebirge und zeigen im Hinblick auf ihre Grundwasserführung heterogene Eigenschaften: in Bereichen mit vorwiegend schluffig-tonigen Ablagerungen stellen sie einen Grundwassergeringleiter dar, in den eher sandig-kiesigen Bereichen bilden sie einen Poren-Grundwasserleiter mit mäßiger bis geringer Durchlässigkeit. Die tertiären Vulkanite besitzen eine relativ geringe räumliche Erstreckung und bilden generell einen Kluff-Grundwasserleiter mit eher geringer Durchlässigkeit. Dieses Tertiärgebiet ist wasserwirtschaftlich nur von geringer lokaler Bedeutung; die Nutzung erfolgt vorwiegend über Quelfassungen.

Wegen der insgesamt geringen Gesteinslöslichkeit der metamorphen und magmatischen, meist silikatischen Ausgangsgesteine sind die Grundwässer des Grundgebirges überwiegend gering mineralisiert und weisen niedrigere elektrische Leitfähigkeiten als die Grundwässer der meisten Deckgebirgseinheiten auf (WAGNER et al. 2003). Niedrige Gehalte an Erdalkalien bedingen die häufig geringe Gesamthärte der Grundwässer im Grundgebirge, gleichzeitig sind sie wegen der geringen Pufferkapazität der Gesteine versauerungsempfindlich und weisen oft pH-Werte im schwach sauren bis sauren Bereich auf. Die Grundwässer aus den Marmoren und Kalksilikatfelsen besitzen eine etwas höhere Mineralisierung und Gesamthärte bei neutralen pH-Werten.

Im Zusammenhang mit dem tertiären Vulkanismus treten in der nördlichen Oberpfalz und im Fichtelgebirge, vornehmlich gebunden an die tektonischen Grenzen des Egergrabens, auch höher mineralisierte sowie Kohlensäure bzw. Radon führende Grundwässer auf, die als Mineralwasser gewonnen oder balneologisch genutzt werden.

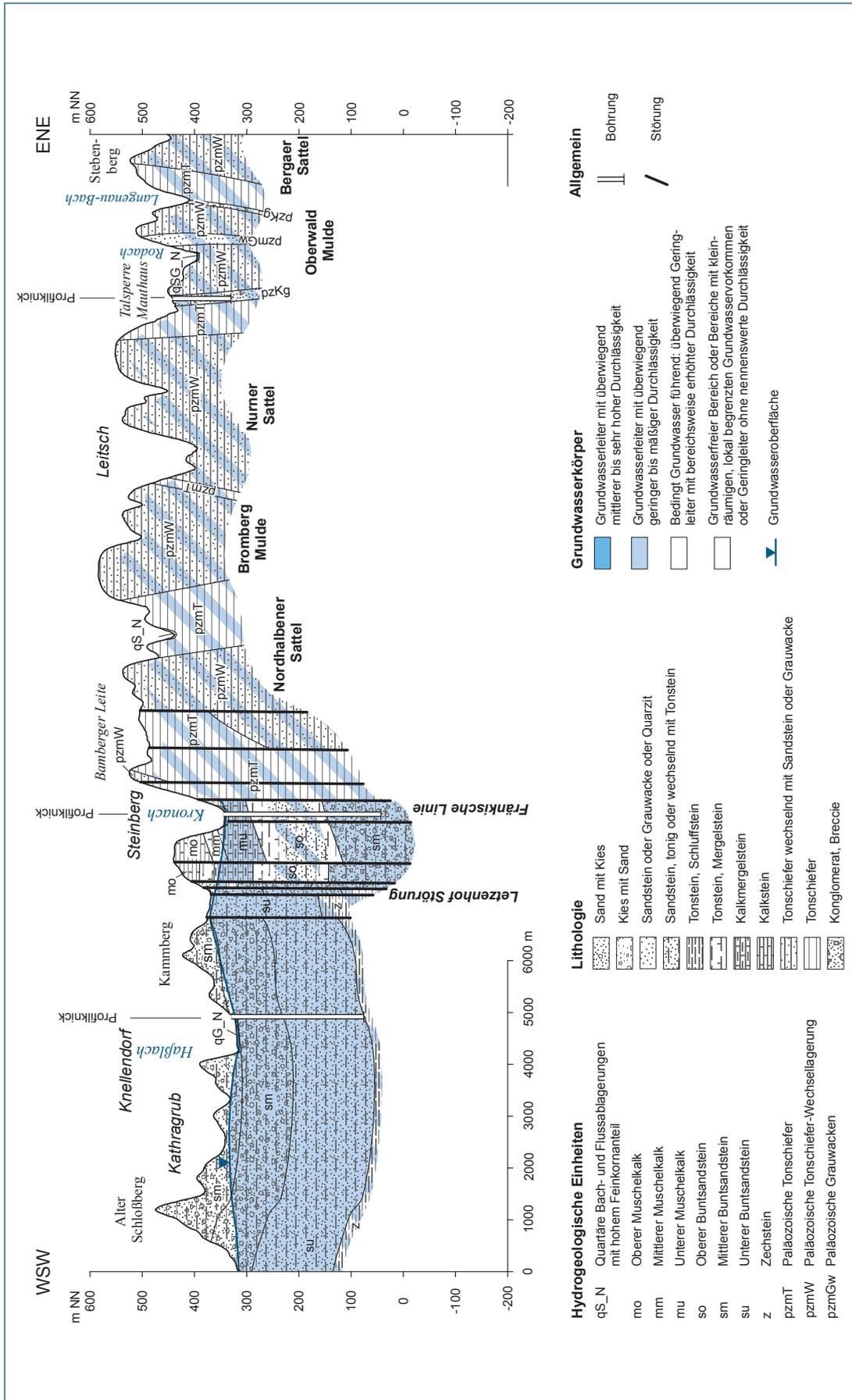


Abb. 2-10: Hydrogeologischer Profilschnitt am Übergang vom Schichtstufen- und Bruchschollenland (westlich der Fränkischen Linie) zum Grundgebirge (Paläozoikum des Frankenwaldes zwischen Steinberg und Mauthaus) nach Kus et al. (2007). Dargestellt ist der Stockwerksbau im Bereich Schichtstufen- und Bruchschollenland und die bedingte Grundwasserführung im Grundgebirge, das hier durch einen lebhaften Wechsel steil stehender schwach metamorpher Einheiten geprägt ist.

Alpenvorland

Das Alpenvorland reicht von der Donau im Norden bis zur Alpenfront im Süden und umfasst den Ablagerungsbereich des Molassebeckens, das im Tertiär den Abtragungsschutt des sich auffallenden Alpengebirges aufnahm. Unterlagert wird der Bereich des Molassebeckens durch die nach Süden abtauchende Malmtafel. Die Schichtmächtigkeiten weisen somit von Norden nach Süden zunehmende Mächtigkeiten von mehreren Zehner bis zu mehreren tausend Metern auf. Westlich des Lechs und im südlichen Teil werden die tertiären Schichten in weiten Bereichen von quartären Sedimenten überlagert, die im Zuge des eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Sedimentationsgeschehens entstanden und aus unterschiedlich ausgedehnten Schotterkörpern, Moränen- und Seeablagerungen bestehen, die das heutige abwechslungsreiche Landschaftsbild aus Höhenrücken, Kuppen, Terrassen und Tälern prägen. In den Ausräumungsbereichen der ins Alpenvorland reichenden Gletscher haben sich nach deren Abschmelzen die großen südbayerischen Seen wie der Chiemsee, Starnberger See und der Ammersee gebildet. Zahlreiche kleinere Seen und Weiher entstanden im Bereich von Toteislöchern. Als morphologische Besonderheit sind glaziale Bildungen wie Drumlins, Oser, Kames und Tumuli zu nennen (siehe Abb. 2-11). Charakteristisches Kennzeichen sind weiterhin ausgedehnte Moorflächen vor allem in den Verlandungsbereichen der Seen. Im nordöstlichen Bereich des Molassebeckens hat die erodierende Wirkung zahlreicher Fließgewässer ein kleinräumiges Landschaftsbild von Tälern und einer Vielzahl von Hügeln und Höhenrücken geschaffen, das Tertiär-Hügelland.

Die hydrogeologischen Verhältnisse im Alpenvorland werden durch die quartären glazialen und nacheiszeitlichen sowie tertiären, unter marinen, brackischen, limnischen und fluviatilen Bedingungen abgelagerten Lockergesteine bestimmt. Die quartären Ablagerungen bestehen aus teils sehr ausgedehnten und mächtigen Kies- und Schotterkörpern mit sehr ergiebigen Grundwasservorkommen, teils aus Grundwasser gering leitenden bindigen Moränen- und Seeablagerungen sowie einem kleinräumigen Wechsel von fein- bis grobkörnigen Sedimenten mit lokaler Grundwasserführung in den kiesbetonten Anteilen. Charakteristisch für die tertiären Ablagerungen ist eine starke vertikale wie horizontale fazielle Verzahnung von fein- bis grobkörnigen Sedimentfolgen.



Abb. 2-11: Tumuli des Quartärs im Süddeutschen Moränenland am Hirschberg östlich Pähl mit Blick auf die Nördlichen Kalkalpen im Hintergrund.

Ergiebige Grundwasservorkommen sind vor allem in den sandig-kiesigen Horizonten der jüngeren Molasseeinheiten zu finden. Durch Zwischenschaltung Grundwasser gering leitender Schichten sowohl in den quartären als auch tertiären Grundwasser führenden Schichten sind vielfach sehr heterogene hydrogeologische Verhältnisse gegeben, wobei einzelne Grundwasserstockwerke über hydraulische Fenster miteinander verbunden sein können.

Der Großraum Alpenvorland wird in vier hydrogeologische Teilräume gegliedert (siehe Abb. 2-2). Im zentralen und östlichen Teil wird das Tertiär-Hügelland vom Teilraum Iller-Lech-Schotterplatten im Westen unterschieden. Der südliche Bereich wird vom Süddeutschen Moränenland dominiert, während die Fluvioglazialen Schotter in allen Teilen des Großraums vorkommen.

Der Teilraum Fluvioglaziale Schotter enthält die quartären Ablagerungen (Schotter, sandige Kiese) der großen Flüsse, wie Iller, Mindel, Wertach, Lech, Donau, Isar, Inn und Salzach sowie angrenzende Schotterterrassen (z. B. Münchener Schotterebene). Dort finden sich die ergiebigsten und für die Trinkwasserversorgung regional bis überregional bedeutendsten Grundwasservorkommen in Bayern. Teilweise stehen diese in hydraulischem Kontakt mit den darunter liegenden, bereichsweise kiesig ausgebildeten tertiären Molassesedimenten. Die Oberflächengewässer im Bereich der Talschotter bilden in der Regel die Vorfluter für das Grundwasser.

Im Tertiär-Hügelland werden die hydrogeologischen Verhältnisse von den mehrere hundert Meter mächtigen Wechselfolgen von Kiesen, Sanden, Schluffen und Tonen bestimmt. Für die Trinkwasserversorgung bedeutend sind die bis zu 250 m mächtigen, recht ergiebigen Schotter und Kies-sande der Mittleren Oberen Süßwassermolasse. Bereichsweise werden diese von den feinkörnigeren und somit geringer durchlässigen Sedimenten der Jüngeren Oberen Süßwassermolasse überlagert, in der zahlreiche lokal begrenzte Grundwasservorkommen von unterschiedlicher, meist geringer Ergiebigkeit ausgebildet sind, die häufig über Schichtquellen entwässert werden (siehe Abb. 2-12 und 2-13). Diese Grundwasservorkommen werden in der Regel nur von privaten Einzelversorgern genutzt.



Abb. 2-12: Quellaustritt im Alpenvorland: Schichtquelle im Tertiärhügelland bei Landshut.

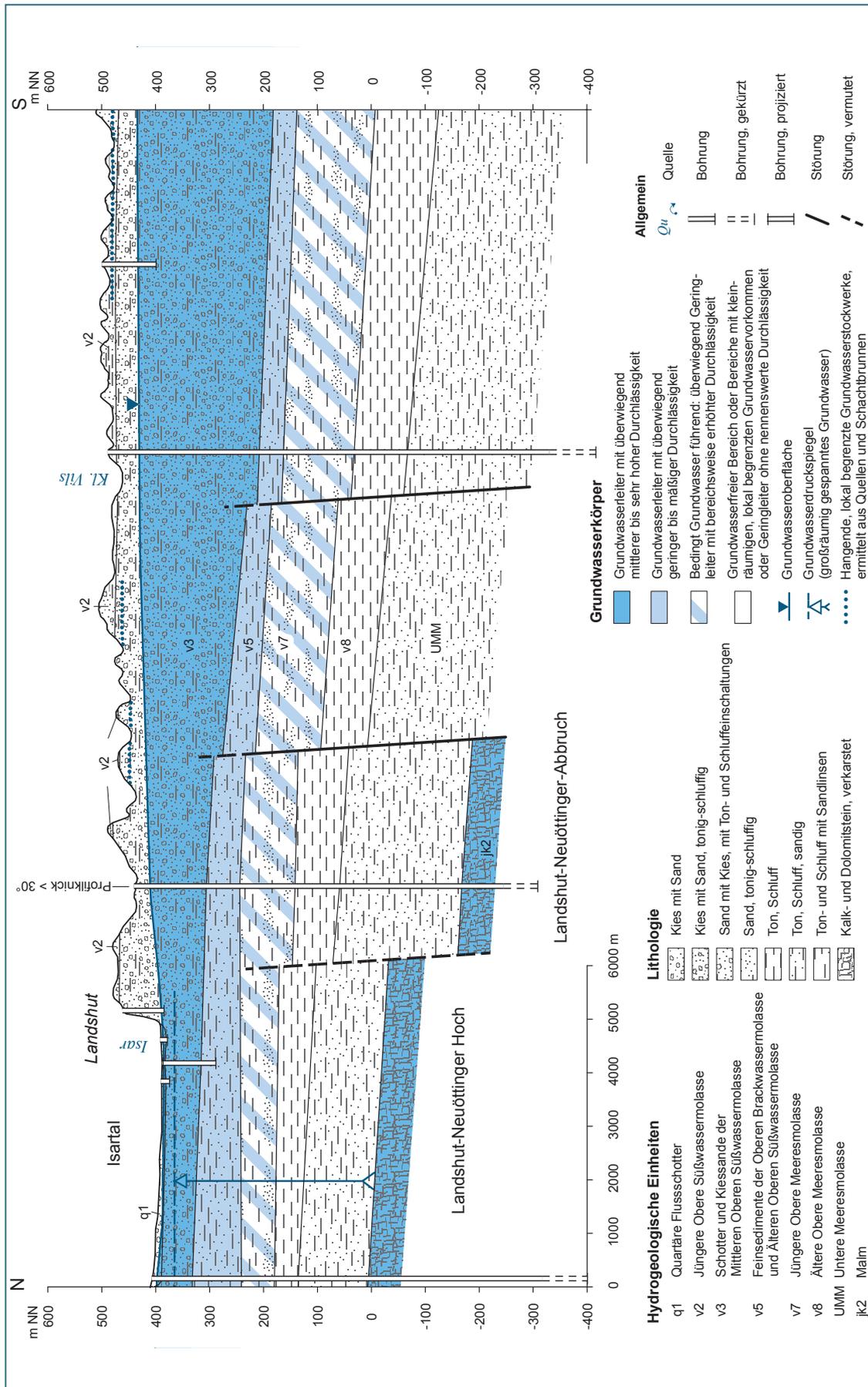


Abb. 2-13: Hydrogeologischer Profilschnitt durch die Molasse bei Landshut nach KAINZMAIER et al. (2007). Als Hauptgrundwasserleiter fungieren hier die Nördlichen Vollsotter der Mittleren Obere Süßwassermolasse; an der Basis der Molasse sind die Grundwasser führenden Schichten des Malms zu erkennen.

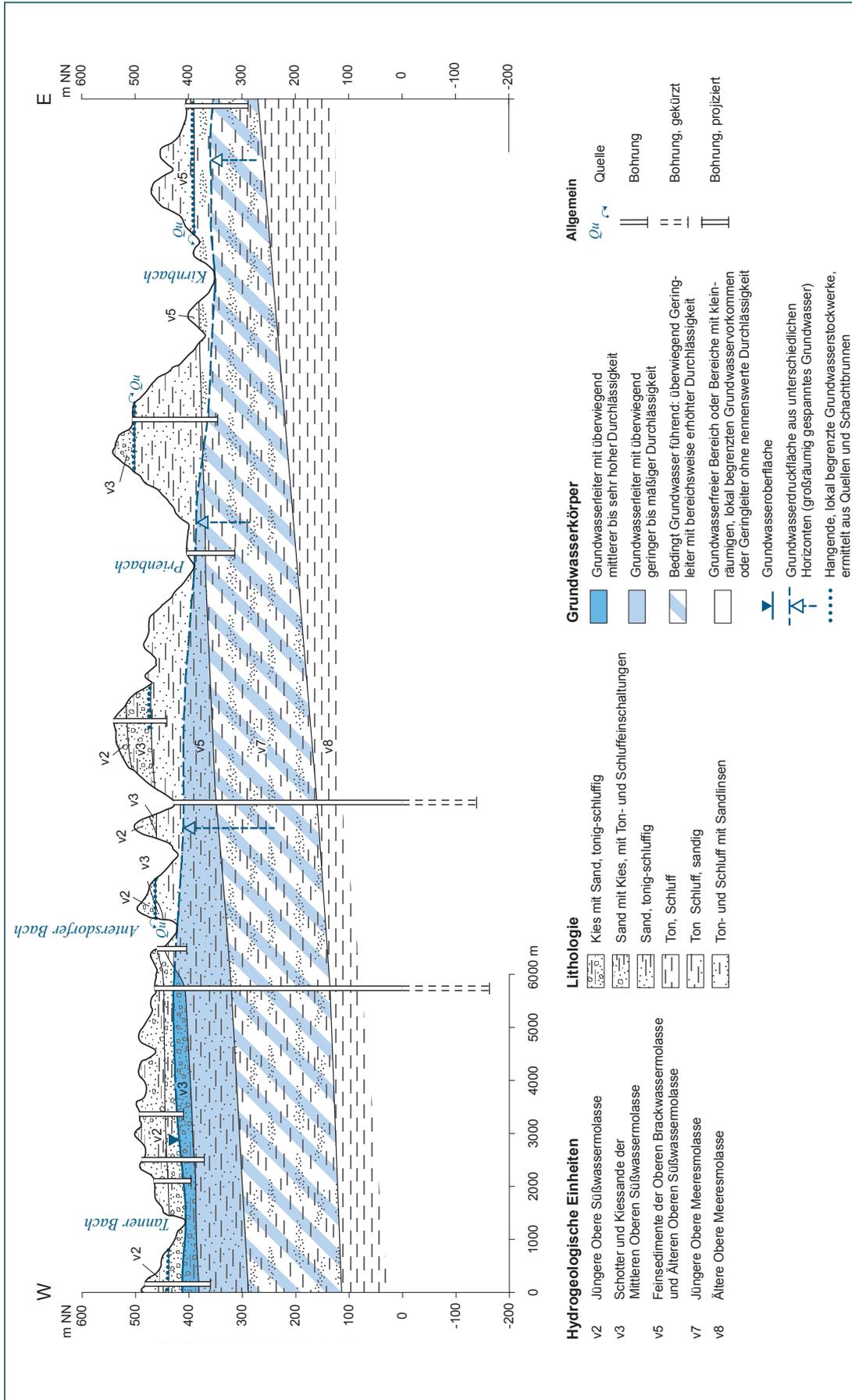


Abb. 2-14: Hydrogeologischer Profilschnitt durch die Ostmolasse nordöstlich Simbach a. Inn nach KAINZMAIER et al. (2007). Gut zu erkennen ist das Ausstreichen der Feinsedimente der Oberen Brackwassermolasse und Älteren Obere Süßwassermolasse sowie der geringer Grundwasser führenden Einheiten der Oberen Meeresmolasse im Osten.

Die im äußersten Nordwesten des Tertiär-Hügellands und östlich Pfarrkirchen an der Oberfläche anstehenden älteren Einheiten der Molasse (Obere Brackwassermolasse und Ältere Obere Süßwassermolasse bis Obere Meeresmolasse) sind durch einen zunehmenden Feinkornanteil und kleinräumige Wechsellagerungen von Schluff, Ton sowie Sand und vereinzelt Kies gekennzeichnet. Die an die sandigen und vereinzelt kiesigen Zwischenlagen gebundene Grundwasserführung ist hier für die Trinkwasserversorgung nur lokal von Bedeutung (siehe Abb. 2-14).

Im westlich an das Tertiär-Hügelland angrenzenden hydrogeologischen Teilraum Iller-Lech-Schotterplatten bestehen ähnliche hydrogeologische Verhältnisse. Hier bilden die insgesamt feinkörniger ausgebildeten Sande der Älteren bis Mittleren Oberen Süßwassermolasse zusammen mit den Schottern und Kiessanden der Mittleren Oberen Süßwassermolasse einen wasserwirtschaftlich regional bedeutenden Grundwasserleiter. Auf den Einheiten der Molasse befinden sich hier in den Hochlagen quartäre (Rest-)Deckenschotter, die nach Süden zunehmend Grundwasser führend sind und dort lokal genutzt werden.

Das Süddeutsche Moränenland ist durch einen kleinräumigen Wechsel von quartären mittel bis hoch durchlässigen fluvioglazialen Kiesen und Sanden, gering bis mäßig durchlässigen Moränenablagerungen und sehr gering durchlässigen Seeablagerungen gekennzeichnet, die sich horizontal wie vertikal verzahnen. Durch den häufigen Wechsel von Grundwasser leitenden und gering leitenden Horizonten kommen teils mehrere übereinander liegende Grundwasserstockwerke mit bereichsweise gespannten Verhältnissen vor. Für die Grundwasserführung bedeutend sind in die Moränen eingelagerte lokal begrenzte quartäre Schotterkörper und -rinnen sowie kiesbetonte Moränenbereiche unterschiedlicher Ausbreitung und Mächtigkeit, die zum Teil sehr ergiebige Grundwasservorkommen enthalten können. Häufig entwässern diese Schotterkörper über Verengungsquellen (siehe Abb. 2-15).



Abb. 2-15: Quellaustritt im Alpenvorland: Quelltopf der Blauen Gumpe südlich des Großen Ostersees bei Iffeldorf (Süddeutsches Moränenland).

Hydrogeochemisch sind die Grundwässer des Alpenvorlands meist als normal mineralisiert, erdalkalisch, überwiegend hydrogenkarbonatisch zu bezeichnen. In den Grundwässern der Tertiärsedimente treten häufig Eisen- und Manganwerte auf, die eine Aufbereitung für Trinkwasserzwecke erfordern. Bereichsweise werden in größeren Tiefenlagen der Molasse Austauschwässer angetroffen, die bei den Kationen eine überwiegend alkalische Komponente aufweisen (Natrium-Hydrogenkarbonat-Wässer).

Alpen

Die Alpen grenzen südlich an die ungefaltete Molasse des Alpenvorlands an. Der Großraum umfasst den bayerischen Anteil der Nördlichen Kalkalpen zusammen mit der Helvetikum-Flyschzone und der Faltenmolasse. Landschaftlich treten die Alpen in einen eindrucksvollen Gegensatz zu den hügeligen Formen des Alpenvorlands. Ihre junge Heraushebung und eiszeitliche Überprägung sowie der tektonische Decken- und Faltenbau bedingen das heute sichtbare markante Relief. Darin zeichnen sich die Faltenmolasse und Helvetikum-Flyschzone durch weiche und runde, meist von dichter Vegetation bedeckte Höhenzüge aus. Das mittelgebirgsähnliche Erscheinungsbild geht im Wesentlichen auf die tonig-sandige Ausbildung der Gesteine und die tektonische Stellung der Decken bzw. Falten zurück. Die Nördlichen Kalkalpen hingegen zeigen überwiegend alpines Gelände mit schroffen und felsigen, von mächtigen Karbonatfolgen aufgebauten Gipfelfluren (siehe Abb. 2-16). Einige Gebirgsketten (z. B. Berchtesgadener Alpen, Karwendel, Wetterstein) erreichen bereits Hochgebirgscharakter mit ausgedehnten vegetationsarmen Felsarealen. Markante Schichtköpfe,



Abb. 2-16: Blick auf das Karwendelgebirge. Im Vordergrund Buckelwiesen bei Klais nördlich Mittenwald.

glazial ausgeformte und mit z. T. mächtigen Lockersedimenten aufgefüllte Täler und Kare, klammartige Einschnitte, vielgestaltige Karstformen sowie postglaziale Massenbewegungen prägen die alpine Landschaft.

Die hydrogeologischen Verhältnisse sind in den Alpen komplex und über weite Bereiche uneinheitlich. Ein Großteil der vorkommenden Festgesteine bietet nur eingeschränkt zusammenhängende Hohlräume für die Speicherung größerer Grundwasservorkommen. In der Regel erreicht das Grundwasser in den Festgesteinen nur lokale wasserwirtschaftliche Bedeutung. Die Nutzung erfolgt überwiegend durch Quelfassungen.

Die hydrogeologischen Eigenschaften lassen sich im Wesentlichen auf den geologisch-tektonischen Bau der einzelnen Teilräume zurückführen. Die Faltenmolasse erfasst die in die alpidische Faltung einbezogenen Schichten des Molassebeckens. Hauptgesteine sind Sandsteine, Mergelsteine und Konglomerate. Die Helvetikum-Flyschzone stellt bereits die tektonisch tieferen Decken des Alpenorogens dar. In einem größtenteils eng gespannten Faltenbau erfolgt in horizontaler Erstreckung meist ein rascher Wechsel zwischen kontinental geprägten feinklastischen (Ton-, Schluff-



Abb. 2-17: Höllentalklamm südlich Grainau mit Wasserfall nach Quellaustritt aus Wettersteinkalk, -dolomit.

und Mergelsteine) und grobklastischen (Sandsteine, Konglomerate) Ablagerungen sowie stärker karbonatischen Einschaltungen (Kalk- und Kalkmergelsteine). Im Helvetikum treten zudem mächtigere Kalksteinfolgen (z. B. Schrattenkalk) auf. Die tektonisch höheren Decken gehören zu den Nördlichen Kalkalpen. Mit ihren mächtigen mesozoischen, bankig bis massig ausgebildeten, z. T. verkarstungsfähigen Karbonatfolgen bilden sie einen scharfen Kontrast zur nördlich vorgelagerten Helvetikum-Flyschzone und Faltenmolasse. Bei den Gesteinen handelt es sich vielfach um marine Ablagerungen (z. B. Wettersteinkalk, Plattenkalk, Hauptdolomit), seltener um klastische Sequenzen mit kontinentalem Einfluss (z. B. Raibler Schichten). Eine besondere hydrogeologische Stellung nehmen die glazial übertieften Täler ein. Ihre Schotterfüllungen können überregional bedeutende Grundwasservorkommen (z. B. Loisachtal) enthalten.

Die Faltenmolasse und die Helvetikum-Flyschzone verhalten sich über weite Strecken hydrogeologisch ähnlich. Die Zirkulation und Speicherung von Grundwasser wird durch den Wechsel Grundwasser leitender und gering leitender Schichtglieder sowie durch den oftmals eng gepressten Faltenbau eingegrenzt. Soweit vorhanden erfolgt der unterirdische Abfluss in den Klüften der Sandstein- und Karbonatsteinbänke (z. B. Reiselsberger Sandstein bzw. Reiselsberg-Formation) sowie in der Lockergesteinsauflage (z. B. Hangschutt, glaziale Schotter); die tonig-mergeligen Schichten (z. B. Zementmergelerde respektive Kalkgraben-Formation) verhalten sich dabei überwiegend gering leitend. Talzuschub, Hangzerreißen und mächtigere Lockergesteinsauflagen (z. B. Moränen, Hangschutt) bieten in Kombination mit kompetenten Schichtfolgen (z. B. Sandsteine, Kalksteine) offensichtlich günstige Voraussetzungen für unterirdischen Abfluss und mit Einschränkungen auch für die Speicherung von Grundwasser. Dort finden sich i. d. R. die meisten und ergiebigsten Quellfassungen. Hiervon ausgenommen sind die dickbankigen helvetischen Kalksteine (z. B. Schrattenkalk, Seewerkalk), die meist tiefgründig verkarstet sind. Sie speisen Karstquellen mit hohen, jedoch gleichsam stark schwankenden Schüttungen (z. B. Karstquellen am Hohen Ifen und Grünten, Allgäu).

Die Nördlichen Kalkalpen sind hydrogeologisch primär durch den Schuppen- und Deckenbau gegliedert. Zur tektonischen Gliederung der Alpen siehe SCHWERD (1996). Die Einheiten Kalkalpine Randschuppe und Allgäuer Decke verhalten sich mit wenigen Ausnahmen hydrogeologisch ausgesprochen heterogen, da wegen der engen Faltung und Schuppung ein sehr rascher, aber unregelmäßiger Wechsel zwischen Grundwasser leitenden und gering leitenden Gesteinseinheiten erfolgt. In den Kalk- und Dolomitsteinfolgen (z. B. Wettersteinkalk, Hauptdolomit) bilden sich meist kleinräumige, schnell auslaufende Karst- und Kluftwasservorkommen. Anders verhält es sich innerhalb der südlich anschließenden höheren tektonischen Decken (z. B. Lechtaldecke). Aufgrund des weiter gespannten Faltenbaus erreichen die einzelnen hydrogeologischen Einheiten dort eine wesentlich größere räumliche Ausdehnung. In den klüftigen Dolomitgesteinen und verkarsteten Kalkgesteinen können sich daher grundsätzlich größere Grundwasservorkommen bilden. Darunter fallen z. B. die Karstwasservorkommen im Plattenkalk des Estergebirges und Vorkarwendels oder des Wettersteinkalks im Wettersteingebirge (siehe Abb. 2-17). In den Berchtesgadener Alpen sind größere Karstwasservorkommen vor allem im Dachsteinkalk bekannt (z. B. Reiteralm, Watzmann, Hoher Göll). Die weit verbreiteten dolomitisch geprägten Gesteinseinheiten (z. B. Hauptdolomit, Ramsadolomit) sind zwar intensiv geklüftet, führen aber nur stellenweise nennenswerte Grundwasservorkommen (z. B. Reit im Winkl, Bad Reichenhall). Die tonig-mergeligen Gesteinsfolgen können durchwegs als Grundwasser gering leitend bezeichnet werden. Zu ihnen zählen z. B. das Haselgebirge, die Partnach-Schichten, das Liegende der Raibler Schichten, die Kössener Schichten, die Allgäu-Schichten oder die Schrambachschichten. An ihnen erfolgt häufig die hydraulische Trennung einzelner Grundwasservorkommen. Vernässungen oder Quellaustritte sind hierfür typische Kennzeichen (z. B. Sieben Quellen am Breitenberg, Fischbachau). Siliziklastische Sedimente (z. B. Alpiner Buntsandstein) treten nur vereinzelt auf und sind daher hydrogeologisch weitgehend

unbedeutend. Als hydrogeologische Besonderheit sind die salinaren Bildungen im permischen Havelgebirge (Berchtesgadener Land) und in den im gesamten bayerischen Alpenbereich verbreiteten Raibler Schichten zu sehen. Sie führen einerseits zu Auslaugungshohlräumen, andererseits erhöhen sie den Mineralisierungsgrad der Grundwässer deutlich (z. B. Bad Reichenhall).

Wasserwirtschaftlich haben die glazial übertieften Täler den höchsten Stellenwert, da sie ergiebige Mengen an Grundwasser führen können. Die quartären Talfüllungen enthalten sowohl Schotter als auch feinkörnige Ablagerungen (z. B. Seetone) und erreichen oft sehr hohe Mächtigkeiten bis in den Hundertmeterbereich. Horizontbeständige feinkörnige Lagen können dort zu einem hydraulischen Stockwerksbau führen (z. B. Loisachtal, Oberau).

Bei den Grundwässern der Alpen handelt es sich aufgrund der hohen Durchsatzraten und damit geringen Grundwasseralter meist um relativ mineralarme Kalkwässer. Höhere, kalkreiche Mineralisierungen finden sich in den quartären Schottern und Moränen. In der Faltenmolasse und Helvetikum-Flyschzone treten gelegentlich Mineralwässer auf (z. B. Bad Adelholzen, Bad Tölz, Bad Heilbrunn). Die Wässer der salinaren Gesteinseinheiten weisen die höchsten Mineralgehalte mit sulfatischen oder chloridischen Komponenten auf. Die natürlichen Solen werden intensiv genutzt (z. B. Bad Reichenhall).

3 Hydrogeologische Einheiten und deren Eigenschaften

In Tabelle 3-8 sind die insgesamt 78 hydrogeologischen Einheiten der HK500 aufgelistet. Sie enthält stichpunktartig Angaben zur Lithologie, Mächtigkeit sowie eine hydrogeologische Kurzbeschreibung. Ergänzend sind die Einheiten mit Kürzeln hydrogeologisch charakterisiert. Eine Erläuterung der Kürzel findet sich in den Tabellen 3-1 bis 3-7.

Zur besseren Orientierung wurde die Spalte Hydrogeologische Einheit nach der Zugehörigkeit zu den Großräumen farblich hinterlegt (Schichtstufen- und Bruchschollenland: orange, Grundgebirge: rot, Quartär: grau, Alpenvorland: gelb, Alpen: braun). Zusätzlich wurde der Leitercharakter der hydrogeologischen Einheiten (Tab. 3-2) durch die Farbgebung blau (Grundwasserleiter), hellblau (Mischtyp Grundwasserleiter/-geringleiter) und weiß (Grundwassergeringleiter) dargestellt.

Tab. 3-1: Hydrogeologische Klassifikation.

| Hydrogeologische Klassifikation | Kürzel |
|---|----------|
| Lockergesteine | 1 |
| Poren-Grundwasserleiter | 1.1 |
| Poren-Grundwasserleiter mit hohen bis sehr hohen Durchlässigkeiten | 1.1.1 |
| Poren-Grundwasserleiter mit mäßigen bis mittleren Durchlässigkeiten | 1.1.2 |
| Poren-Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen Durchlässigkeiten oder Poren-Grundwasserleiter/Grundwassergeringleiter mit (stark) variablen Durchlässigkeiten | 1.1.3 |
| Grundwassergeringleiter | |
| Lockergesteins-Grundwassergeringleiter ohne nennenswerte Durchlässigkeiten | 1.2 |
| Festgesteine | 2 |
| Kluft-Karst-Grundwasserleiter | 2.1 |
| Kluft-Karst-Grundwasserleiter mit mäßigen bis mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten | 2.1.1 |
| Kluft-(Karst-)Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten oder Kluft-(Karst-)Grundwasserleiter/Grundwassergeringleiter mit (stark) variablen Gebirgsdurchlässigkeiten | 2.1.2 |
| Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter des Deckgebirges und der Alpen | 2.2 |
| Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter mit mäßigen bis mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten | 2.2.1 |
| Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten oder Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter/Grundwassergeringleiter mit (stark) variablen Gebirgsdurchlässigkeiten | 2.2.2 |
| Kluft-Grundwasserleiter des Grundgebirges | 2.3 |
| Kluft-Grundwasserleiter/Grundwassergeringleiter mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten – Magmatite | 2.3.1 |
| Kluft-Grundwasserleiter/Grundwassergeringleiter mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten – Metamorphite | 2.3.2 |
| Grundwassergeringleiter | |
| Festgesteins-Grundwassergeringleiter ohne nennenswerte Gebirgsdurchlässigkeiten | 2.4 |

Tab. 3-2: Leitercharakter.

| Leitercharakter | Kürzel |
|--|---------|
| Grundwasserleiter | GWL |
| Mischtyp Grundwasserleiter/-geringleiter | GWL/GWG |
| Grundwassergeringleiter | GWG |

Tab. 3-3: Durchlässigkeit.

| Durchlässigkeit | Wertebereich [m/s] | Kürzel |
|---------------------------|--------------------|--------|
| sehr hoch | $>10^{-2}$ | 1 |
| hoch | $10^{-3}-10^{-2}$ | 2 |
| mittel | $10^{-4}-10^{-3}$ | 3 |
| mäßig | $10^{-5}-10^{-4}$ | 4 |
| gering | $10^{-7}-10^{-5}$ | 5 |
| sehr gering | $10^{-9}-10^{-7}$ | 6 |
| äußerst gering | $<10^{-9}$ | 7 |
| hoch bis sehr hoch | $>10^{-3}$ | 8 |
| mäßig bis mittel | $10^{-5}-10^{-3}$ | 9 |
| äußerst gering bis gering | $<10^{-5}$ | 10 |
| stark variabel | | 11 |
| gering bis mäßig | $10^{-6}-10^{-4}$ | 12 |

Tab. 3-4: Gesteinsart.

| Gesteinsart | Kürzel |
|-------------|--------|
| Sediment | S |
| Metamorphit | Me |
| Magmatit | Ma |

Tab. 3-5: Verfestigung.

| Verfestigung | Kürzel |
|------------------------------|--------|
| Lockergestein | L |
| Mischtyp Locker-/Festgestein | L/F |
| Festgestein | F |

Tab. 3-6: Hydrogeochemischer Gesteinstyp.

| Hydrogeochemischer Gesteinstyp | Kürzel |
|--------------------------------------|--------|
| silikatisch | s |
| silikatisch mit organischen Anteilen | s/o |
| silikatisch/karbonatisch | m |
| karbonatisch | k |
| organisch | o |
| sulfatisch | g |
| sulfatisch/halitisch | g/h |
| halitisch | h |

Tab. 3-7: Hohlraumart.

| Hohlraumart | Kürzel |
|-------------|--------|
| Poren | P |
| Kluft/Poren | K/P |
| Kluft | K |
| Kluft/Karst | K/Ka |
| Karst | Ka |

Tab. 3-8: Hydrogeologische Legendeinheiten der HK500 und deren Eigenschaften.

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|---|--------------------------|--|---|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| SCHICHTSTUFEN- UND BRUCHSCHOLLENLAND | | | | | | | | | | |
| Tertiär | | | | | | | | | | |
| t | Tertiäre Vulkanite | basaltischer Vulkanit (Basalt, Tuff), sandig-tonige Sedimente mit Kohleführung | Grundwasserleiter oder gering durchlässige Kluff-Grundwasserleiter (klüftige Basalte) mit eingeschränkter Grundwasserführung, wegen morphologischer Hochlage und kleinräumiger Verbreitung wasserwirtschaftlich unbedeutend, größerflächige Basaltdecken (Rhön) z. T. ganzjährig Grundwasser führend mit schwach schüttenden Quellen am Übergang zu stauenden Tuffen und sandig-tonigen Sedimenten, im Bereich stauender Turflagen häufig ausgedehnte, einen wesentlichen Anteil des Gesamtabflusses der basaltischen Hochgebiete kontrollierende Hochmoorflächen | 2.2.2 | GWL/GWG | 5 | Ma, S | L/F | K | s |
| Jura, Kreide | | | | | | | | | | |
| jk1 | Oberkreide | Sand- und Kalksandsteine, z. T. entfestigt, Sand, Ton- und Mergelstein, lokal Konglomerat; Vilssecker Mulde und Bodenwöhrer Bucht bis 200 m, Parkstein-Hessenreuther-Scholle bis 350 m mächtig | faziell stark gegliederte, gering bis mäßig durchlässige Kluff-Poren-Grundwasserleiter mit tonig-mergeligen Trennhorizonten (z. B. Elbrunner Mergel, Pflanzenton, Cardienton) und Grundwasserführung in den sandigen und lokal konglomeratischen Schichten (z. B. Bausand, Reinhausener Schichten, Knollensand, lokal Albenreuther Schotter), bei größerer Verbreitung und Mächtigkeit ergiebige, regional bedeutende Grundwasserleiter (Bodenwöhrer Bucht, Freihölser Senke, Vilssecker Mulde), ansonsten wasserwirtschaftlich eher unbedeutend Grundwasserstockwerke über triassischen bzw. jurassischen Grundwasserleitern, stellenweise hydraulische Verbindungen zu liegenden Grundwasserleitern (z. B. im Bereich der Vilssecker Mulde, Parkstein-Hessenreuther Scholle oder Bodenwöhrer Bucht), lokal mehrfacher Stockwerksbau möglich | 2.2.1 | GWL | 12 | S | L/F | K/P | m |

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|--------|--|---|--|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| jk2 | Malm | Kalk- und Dolomitstein, z. T. stark verkarstet, mit mergelsteinreichen Abschnitten; Nördliche Frankenalb bis 200 m, Südliche Frankenalb östlicher Teil bis 400 m und westlicher Teil bis 600 m mächtig | geschichtet bis massig ausgebildete, überregional bedeutende, durchwegs karbonatisch ausgeprägte Kluff-Karst-Grundwasserleiter mit mäßigen bis mittleren, je nach Verkarstung örtlich auch stark wechselnden Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, nordwestlich der Wiesent-Riffschranke und westlich des Nördlinger Rieses Ausbildung der mergelreicheren Schwäbischen Fazies mit geringeren Durchlässigkeiten im unteren Drittel der Einheiten, hydraulische Stauereffekte innerhalb der Schichtenfolgen im Bereich eingeschalteter Mergellagen (z. B. Platynotamergel, Crussoliensis-Mergel) möglich | 2.1.1 | GWL | 11 | S | F | K/Ka | k |
| jk3 | Dogger Beta bis Zeta (Eisensandstein bis Ornatenon) | Sandstein, tonig oder kalkig gebunden, eisenhaltig, z. T. stark entfestigt bzw. mürbe, mit Tonsteinlagen durchsetzt, nach Osten karbonatische Bindemittel und Tonlagen abnehmend, Eisenerzflöze zunehmend mächtiger, zum Hangenden kalkiger bzw. mergeliger; Eisensandstein bis 100 m, in Schwellenbereichen bis 40 m, Oberer Dogger bis 30 m mächtig | bankig ausgebildete, lokal bis regional bedeutende Kluff-(Poren-)Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, bei zunehmender Entfestigung der Sandsteine Erhöhung des speicherwirksamen Hohlraumanteils, zum Hangenden, vor allem im Bereich Ornatenon, ton- und mergelsteinreicher mit Tendenz zu Grundwassereringleitern, bei Ausdünnung dieser Trennschichten verstärkte Zuckering aus dem Malm bzw. Ausbildung hydraulischer Fenster möglich | 2.2.2 | GWL/ GWG | 12 | S | F | K/P | m |
| jk4 | Lias Delta bis Dogger Alpha (Amaltheenton bis Opalinuston) | Mergelstein, Pyrit führender organischer Tonstein, vereinzelt Einschaltungen von gering mächtigen Kalksteinbänken im Lias, zum Beckenrand im Südosten auch sandig; Dogger alpha (Opalinuston) 100 m mächtig, Lias von 80 m im Nordwesten bis auf wenige Meter im Südosten kontinuierlich abnehmend | stark mergelig-tonige, regional wirksame Grundwassereringleiter, hydraulisch wirksame Trennschichten zwischen jurassischen und triassischen Grundwasserleitern, geringe, jedoch stets unbedeutende Grundwasserführung in Lias-Kalksteinbänken möglich | 2.4 | GWG | 10 | S | F | K | k, (o) |
| Keuper | | | | | | | | | | |
| k1 | Keuper, ungeschichtet | Sand-, Ton- und Mergelstein | unbedeutende, i. d. R. an Störungen gebundene kleinräumige Schollen mit variierender hydrogeologischer Funktion im lokalen Maßstab | 2.2.2 | GWL/ GWG | 5 | S | F | K/P | s |

| k2 | Rhät bis Lias Gamma | Rhät bis einschließlich Arietenschichten: Sand- und Tonstein mit karbonatischen Einschaltungen; Mächtigkeiten von 75 m im Nordwesten bis auf wenige Meter im Südosten abnehmend; Lias beta bis Lias gamma: Ton- und Mergelstein, vereinzelt mit Kalkstein, nach Südosten zunehmend sandiger; Mächtigkeiten von etwa 25 m im Nordwesten bis auf wenige Meter im Südosten abnehmend | 2.2.2 | GWL/ GWG | 12 | S | F | K/P | s, (m) |
|----|---|---|-------|-------------|----|---|---|-----|-----------|
| k3 | Feuerfellen | Ton- und Schluffstein mit dolomitischen und sandigen Einschaltungen; Mächtigkeiten von etwa 60 m im Nordwesten bis auf 10 m im Südosten abnehmend | 2.4 | GWG | 10 | S | F | K | s |
| k4 | Sandsteinkeuper (Burgsandstein, sandig bis tonig) | Sandstein-Tonstein-Wechselfolge, teils mit kompakten dolomitischen Bänken, zum Liegenden und nach Nordwesten tonig-mergelige Ausbildung; Mächtigkeiten 120 bis 150 m | 2.2.2 | GWL/ GWG | 5 | S | F | K/P | s, (m, g) |
| k5 | Sandsteinkeuper (Burgsandstein, sandig) | Sandstein mit Tonsteinlagen, gelegentlich dolomitische Einschaltungen; Mächtigkeiten um 80 m | 2.2.1 | GWL | 12 | S | F | K/P | s |

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|--------|--|---|---|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| k6 | Sandsteinkeuper (Coburger- und Blasensandstein) | Sandstein-Tonstein-Wechselfolge, gelegentlich dolomitische Einschaltungen und Gips, im Nordwesten tonig-mergelige Ausbildung; Mächtigkeiten 30 bis 60 m | regional bedeutende Kluff-(Poren-)Grundwasserleiter mit stark variierenden, in sandig betonten Bereichen überwiegend geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, nach Nordwesten zunehmend tonig mergelige Ausbildung und Gips ringleitern; lokal hydraulische Verzahnung mit hangenden Grundwasserleitern k4 und k5 und etwa südlich der Linie Ansbach-Erlangen-Bayreuth mit liegendem, zunehmend sandig ausgebildetem Gipskeuper (k7) | im S 2.2.1 im N 2.2.2 | GWL/GWG | 12 | S | F | K/P | s, (m, g) |
| k7 | Gipskeuper, sandig (Benker Sandstein) | Sandstein mit Tonsteinlagen; Mächtigkeiten 75 bis 100 m | regional bedeutende Kluff-(Poren-)Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen, lokal auch mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, im Keuper-Bergland etwa südlich der Linie Ansbach-Nürnberg meist als zweites Grundwasserstockwerk wasserwirtschaftlich bedeutsam, im Bruchschollenland stellenweise mit Liegendem hydraulisch verzahnt | 2.2.1 | GWL | 12 | S | F | K/P | s |
| k8 | Gipskeuper, sandig bis tonig | Sandstein-Tonstein-Wechselfolge mit dolomitischen Einschaltungen, im Nordosten Gips führend, nach Südosten zunehmend sandig; Mächtigkeiten 50 bis 100 m | auf das Bruchschollengebiet beschränkte Einheiten mit je nach toniger oder sandiger Ausbildung sehr geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten; hydraulisch generell als Trennhorizont oder südlich Bayreuth auch als Fenster zwischen Sandsteinkeuper (k6) und Benker Sandstein (k7) fungierend | 2.2.2 | GWL/GWG | 10 | S | F | K/P | s, (m, g) |
| k9 | Gipskeuper (Schiffsandstein bis Lehrbergschichten) | Sandstein-Tonstein-Wechselfolge, zum Hangenden Tonstein mit Gips- und Dolomitsteineinschaltungen; Mächtigkeiten 30 bis 90 m | zum Liegenden gering bis mäßig durchlässige, generell gering ergeibige, in ihrer räumlichen Ausdehnung stark variable Kluff-Grundwasserleiter mit häufig kleinräumigen und isolierten Grundwasservorkommen; zum Hangenden Gips führende, hydraulisch wirksame Grundwasserergingleiter, gelegentlich mit unbedeutender Grundwasserführung in Auflockerungszonen und im Bereich dolomitischer Einschaltungen | 2.2.2 | GWL/GWG | 10 | S | F | K/P | m, g |
| k10 | Gipskeuper (Myophorien- und Estherienschichten) | Ton- und Mergelstein mit Gips und dolomitischen Einschaltungen; Mächtigkeiten bis 140 m | überregional wirksame Grundwasserergingleiter zwischen den Grundwasserstockwerken im Mittleren und Unteren Keuper; im Bereich mächtiger Sulfatlager starke Auslaugung mit Ausbildung lokaler, häufig über ergiebigere Quellen entwässernder Karstwasservorkommen möglich | 2.4 | GWG | 11 | S | F | K/Ka | m, g |

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|--|--|-------|-------------|----|---|---|------|--------|
| k11 | Unterer Keuper, karbonatisch (Grenzdolomit) | Dolomitstein, gelegentlich sulfatische Einlagerungen; Mächtigkeiten 0,5 bis 5 m | gering bis mäßig, örtlich auch höher durchlässige, aufgrund geringer Mächtigkeiten jedoch wenig ergiebige Kluff-Grundwasserleiter, stellenweise Verkarstungen möglich | 2.1.2 | GWL | 12 | S | F | K | k |
| k12 | Unterer Keuper, ungliedert (Bruchschollenland) | Sandstein-Tonstein-Wechselfolge, nach Südosten abnehmende karbonatische Einschaltungen; Mächtigkeiten bis 30 m | auf das Bruchschollengebiet beschränkte Einheit mit geringeren Gebirgsdurchlässigkeiten, hydraulische Wirkung als Trennschicht zwischen Benker Sandstein (k7) und Muschelkalk (m2), aufgrund geringer Mächtigkeiten und nach Südosten zunehmend sandiger Ausbildung vermutlich nicht durchgängig als Trennschicht wirksam | 2.2.2 | GWL/ GWG | 12 | S | F | K/P | s, (m) |
| k13 | Unterer Keuper, siliziklastisch/karbonatisch | Tonstein mit Sand- und Dolomitsteinlagen; Mächtigkeiten 30 bis 40 m | Grundwasserleiter (Ton-, Mergelstein) mit meist geringen Gebirgsdurchlässigkeiten und unbedeutender Grundwasserführung in Sand- und Dolomitsteinlagen | 2.2.2 | GWL/ GWG | 5 | S | F | K | m |
| k14 | Unterer Keuper, siliziklastisch (Werksandstein) | Sandstein mit Schluiffstein; Mächtigkeiten bis 20 m | bankig ausgebildete, in ihrer Mächtigkeit und Grundwasserführung stark variable Kluff-(Poren-)Grundwasserleiter mit meist geringen Gebirgsdurchlässigkeiten, häufig kleinräumige, isolierte Grundwasservorkommen | 2.2.2 | GWL | 12 | S | F | K/P | s |
| Muschelkalk | | | | | | | | | | |
| m1 | Muschelkalk, ungliedert, karbonatisch | Kalkstein mit tonig-mergeligen Zwischenlagen, vereinzelt Dolomitstein und Sulfatlager | lokal bedeutende, durchwegs karbonatisch ausgeprägte, im mittleren Abschnitt Gips führende Kluff-(Karst-)Grundwasserleiter mit stark variablen Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, Stockwerksbau und eingeschränkte Verkarstung durch vielfache Zwischenschaltung gering leitender Ton- und Mergelsteinlagen | 2.1.2 | GWL | 11 | S | F | K/Ka | k |
| m2 | Muschelkalk, ungliedert, siliziklastisch | Sandstein mit tonigen Zwischenlagen, stellenweise Karbonat führend, Anteil toniger und karbonatischer Lagen nach Südosten abnehmend; Mächtigkeiten 100 bis 120 m (Weiden-Grabenwöhr) bzw. 0 bis 20 m (Bodenwöhrer Senke) | auf das südliche Bruchschollengebiet beschränkte Kluff-(Poren-)Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, hydrogeologischer Bau nach Südosten einheitlicher durch Zurücktreten der tonigen Zwischenlagen | 2.2.1 | GWL | 12 | S | F | K/P | s, (m) |
| m3 | Oberer Muschelkalk, dickbankig (Quaderkalk) | Kalkstein, dickbankig mit tonig-mergeligen Zwischenlagen; Mächtigkeiten bis 16 m | nur im Nordwesten vorkommende, dickbankig ausgebildete, relativ einheitlich geklüftete, lokal verkarstete Kluff-(Karst-)Grundwasserleiter mit je nach Kluffweiten oder Verkarstung mäßigen bis hohen Durchlässigkeiten, aufgrund lokaler Verbreitung und geringer Mächtigkeiten weniger ergiebige, meist unbedeutende Grundwasserführung | 2.1.1 | GWL | 11 | S | F | K/Ka | k |

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|--------|--------------------------|--|---|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| m4 | Oberer Muschelkalk | Kalkstein in Wechsellagerung mit Ton- und Mergelstein, horizontabhängige Dickbankbereiche; Mächtigkeiten 70 bis 100 m | mit m5 regional bedeutende Klufft-(Karst-) Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten im Bereich klüftiger bzw. teilverkarsteter Kalksteinbänke, durch vielfache Zwischenschaltung gering leitender Ton- und Mergelsteinhorizonte lokal auch eingeschränkte Grundwasserführung, häufig Quellhorizonte im Niveau der Cycloidesbank (Stockwerksbau), stellenweise hydraulisch mit liegendem Grundwasserstockwerk m5 verzahnt | 2.1.2 | GWL | 4 | S | F | K/Ka | k |
| m5 | Mittlerer Muschelkalk | Mergel-, Ton-, Kalk- und Dolomitstein mit Sulfat- und Steinsalzlagern; Mächtigkeiten 40 bis 70 m, in Salinarfazies bis 105 m | mit m4 regional bedeutende, Evaporit führende Klufft-(Karst-)Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen, bei Verkarstung örtlich auch mittleren bis hohen Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, wesentliche Grundwasserführung in zellig-porösen, stellenweise karbonösen Dolomiten und Kalksteinen, höhere Wasserwegsamkeiten insbesondere in durch Sulfatung nachbrechenden Schichten (Zellenkalk und Stylolithenkalk), Residualtone sowie mergelbetonte Schichten gering leitend | 2.1.2 | GWL/ GWG | 11 | S | F | K/Ka | k, g/h |
| m6 | Unterer Muschelkalk | Kalk- und Kalkmergelstein mit tonig-mergeligen Abschnitten; Mächtigkeiten 80 bis 100 m | regional bedeutende, relativ kompakte, bei mechanischer Beanspruchung durchwegs spröde reagierende Klufft-(Karst-)Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen, in tektonisch beanspruchten Gebieten entlang von Großklüften auch höheren Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, Verkarstungsneigung vor allem in mächtigeren Kalksteinbänken (Schaumkalkbänke), mit Zunahme tonig-mergeliger Anteile lokal auch Tendenz zu Grundwassergeringleitern, Orbicularis-Mergel fungieren bereichsweise als hydraulisch wirksame Trennschicht zum hangenden Stockwerk m5 | 2.1.2 | GWL/ GWG | 12 | S | F | K/Ka | k |

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|--------------|---|---|---|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| s5 | Rotliegend | Sandstein-Tonstein-Wechselfolge mit Konglomerat, vulkanischem Tuff und Kohliagen; Mächtigkeiten bis 150 m im Spessart bzw. bis über 1000 m im Bruchschollenland (ausgenommen einzelne Schollen) | überwiegend auf das Bruchschollengebiet beschränkte, lokal bis regional bedeutende Kluff-(Poren-)Grundwasserleiter mit meist geringen, seltener mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, insbesondere im Unteren Rotliegend auch höhere Anteile gering leitender Schichten (Tonstein, Tufflagen, Kohle), im Stockheimer Becken eigenständige Grundwasserleiter; südlich Bayreuth stellenweise hydraulisch mit hantgendem Grundwasserleiter (s1) verzahnt | 2.2.2 | GWL/ GWG | 5 | S | F | K/P | s |
| s6 | Trias, ungegliedert (Bodenwöhrer Bucht) | Sandstein und Arkose, gelegentlich Tonsteinlagen; Mächtigkeiten bis 220 m (Schwandorf) | lokal bedeutende Kluff-(Poren-)Grundwasserleiter im Bereich der Bodenwöhrer Senke mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten | 2.2.2 | GWL | 12 | S | F | K/P | s |
| GRUNDGEBIRGE | | | | | | | | | | |
| Frankenwald | | | | | | | | | | |
| fw1 | Vulkanite | fein- bis mittelkörniger Rhyolit, Diabas, Diabasmandelstein, Diabastuff oder Diabas-Tuffbreccie mit Karbonatinseln, untergeordnet auch Keratophyr; regional mit relativ tiefgründiger Verwitterung | unverwitterter und ungeklüfter Diabas und Vulkanit generell Grundwassergeringleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluff-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungsstellen Wasserführung auch bis in größere Tiefen | 2.3.1 | GWL/ GWG | 5 | Ma | F | K | s |
| fw2 | Paläozoische Metapelite | niedrig metamorphe paläozoische Sedimente und Anchimetamorphite (Kambrium bis Unterkarbon), überwiegend Tonstein bis Tonschiefer, untergeordnet Grauwacke, Quarzit und Vulkanit; kleinräumige tektonische Wiederholung der steil einfallenden Metasedimente | Tonstein bzw. Tonschiefer primär sehr undurchlässiges Gestein (Grundwassergeringleiter); Grundwasserführung erfolgt lediglich auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, mit der Tiefe abnehmend (Kluff-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer bis sehr geringer Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungsstellen Fortsetzung der Wasserführung auch bis in größere Tiefen; auf den Hochflächen lokale Ausbildung von Verwitterungsdecken mit Staunässe und Quellaustritten | 2.4 | GWG | 10 | S | F | K | s |

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|---|---|-------|-------------|----|----|---|---|---|
| fw3 | Paläozoische Metapsammite | niedrig metamorphe paläozoische Sedimente und Anchimetamorphite (Ordovizium bis Unterkarbon), neben Tonstein und Tonschiefer auch Grauwacke, Quarzit und Vulkanit sowie Karbonate (Ockerkalk, Kohlenkalk oder Flaserkalk); kleinräumige tektonische Wiederholung der steil einfallenden Metasedimente | primär sehr undurchlässige Ausgangsgesteine (Grundwassergingleiter); in Abhängigkeit von der Lithologie und tektonischer Beanspruchung erfolgt eine gewisse Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, mit der Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung bis in größere Tiefen; auf den Hochflächen Ausbildung von Verwitterungsdecken mit Staunässe und Quellaustritten; kleinere Vorkommen von Karbonaten bilden begrenzte Kluft-Grundwasserleiter mit geringer Durchlässigkeit und z. T. Verkarstung | 2.2.2 | GWL/ GWG | 5 | S | F | K | m |
| Münchberger Gneismasse | | | | | | | | | | |
| mg1 | Metabasite | vorwiegend Amphibolit, Serpentin, Eklogit, Hornblendeandergneis und basischer Metamagmatit | unverwittertes und ungeklüftetes Kristallin generell Grundwassergingleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung bis in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.2 | GWG | 10 | Me | F | K | s |
| mg2 | Metamorphite, sauer bis intermedial | saurer bis intermedialer epi- bis mesozonaler Metamorphit, vorwiegend Gneis | unverwitterter und ungeklüfter Gneis generell Grundwassergingleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.2 | GWG | 10 | Me | F | K | s |

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|----------------|--------------------------|--|---|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| mg3 | Phyllit | vorwiegend Phyllit, Glimmerschiefer, Quarzit sowie saurer Metamagmatit | unverwitterter und ungeklüfteter Phyllit und Glimmerschiefer generell Grundwassereringleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung in größere Tiefen; bei Vorliegen tiefergründiger Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.2 | GWG | 10 | Me | F | K | s |
| Fichtelgebirge | | | | | | | | | | |
| fg1 | Tertiäre Vulkanite | vorwiegend Basalt und Nephelinit | unverwitterter und ungeklüfteter Basalt generell Grundwassereringleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung in größere Tiefen; bei Vorliegen tiefergründiger Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.1 | GWL/ GWG | 5 | Ma | F | K | s |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------------------------------------|--|--|-------|-------------|----|----|---|---|---|
| fg2 | Granit | Granit | unverwitterter und ungeklüfteter Granit generell Grundwasseringleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.1 | GWL/ GWG | 5 | Ma | F | K | s |
| fg3 | Paläozoische Metasedimente | Quarzit, Phyllit, Glimmerschiefer, Frauenbachquarzit und Frauenbachschiefer (Wechsellagerung Quarzit/Phyllit oder Glimmerschiefer) der Frauenbachschichten | unverwittertes und ungeklüftetes Kristallin generell Grundwasseringleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.2 | GWL/ GWG | 10 | Me | F | K | s |
| fg4 | Metamorphite, sauer bis intermedial | Gneis, Glimmerschiefer, Phyllit | unverwitterter und ungeklüfteter Gneis und Glimmerschiefer generell Grundwasseringleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.2 | GWL/ GWG | 10 | Me | F | K | s |

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|----------------------------------|------------------------------------|---|---|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| fg5 | Magmatite, intermedial bis basisch | Redwitzit | unverwitterter und ungeklüfter Redwitzit generell Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.2 | GWL/ GWG | 5 | Ma | F | K | s |
| fg6 | Wunsiedler Marmorzug | Wunsiedler Marmorzug, Kalk- und Dolomitmarmor; Schichtmächtigkeiten ca. 100 bis 200 m | Kluft-Karst-Grundwasserleiter mit stark variabler, örtlich sehr hoher Trenntugendurchlässigkeit und Ergiebigkeit; im Vergleich zum umgebenden metamorphen Nebengestein stark erhöhte Durchlässigkeitswerte, bei Verkarstung 10^{-4} m/s bis 10^{-3} m/s; aufliegende Deckschicht | 2.1.2 | GWL | 3 | Me | F | K/Ka | k |
| Oberpfälzer und Bayerischer Wald | | | | | | | | | | |
| bw1 | Vulkanite | Rhyolit | unverwitterter und ungeklüfter Rhyolit generell Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.1 | GWL/ GWG | 5 | Ma | F | K | s |

| | | | | | | | | | | |
|-----|----------------------------------|--|--|-------|-------------|----|----|---|---|---|
| bw2 | Paläozoische Metasedimente | Phyllit | unverwitterter und ungeklüfteter Phyllit generell Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung bis in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.2 | GWL/ GWG | 10 | Me | F | K | s |
| bw3 | Magmatite, sauer bis intermedial | Granit, fein- bis mittelkörnig, z. T. porphyrisch, untergeordnet Granodiorit, Diorit und Tonalit | unverwitterter und ungeklüfteter Granit generell Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung bis in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.1 | GWL/ GWG | 5 | Ma | F | K | s |
| bw4 | Metamorphite, sauer | Gneis, Migmatit, z. T. meta-/diatektisch | unverwitterter und ungeklüfteter Gneis und Migmatit generell Grundwasseringeleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung bis in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit (Zersatz) mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.2 | GWL/ GWG | 10 | Me | F | K | s |

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|------------|--------------------------|--|--|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| bw5 | Metamorphite, basisch | Amphibolit, untergeordnet Metabasit (Gabbroamphibolitmassiv) | unverwitterter und ungeklüfteter Amphibolit generell Grundwasserleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.2 | GWL/ GWG | 10 | Me | F | K | s |
| bw6 | Magmatite, basisch | Gabbro, Norit und Metagabbro (Gabbroamphibolitmassiv, z. B. Hoher Bogen) | unverwittertes und ungeklüftetes Kristallin generell Grundwasserleiter; bei tektonischer Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung bis in größere Tiefen; bei Vorliegen tieferer Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.1 | GWL/ GWG | 5 | Ma | F | K | s |
| Scherzonen | | | | | | | | | | |
| | Pfahl-Quarz | brecciierte Quarzgänge, teils wieder verheilt, teils in toniger Verwitterungsmatrix (z. B. Bayerischer Pfahl) | Kluft-Grundwasserleiter mit geringer bis mäßiger Kluftdurchlässigkeit und Ergiebigkeit | 2.3.1 | GWL | 9 | Me | F | K | s |
| p | Pfahl-Schiefer | mechanisch stark beanspruchte Gesteine in Scherzonen; Mylonite, Kataklaste und tektonische Breccien (z. B. Bayerischer Pfahl und Rundinger Zone) | Grundwasserleiter ohne nennenswerte Poren- bzw. Trennfugendurchlässigkeit; angrenzende Gesteinsformation i. d. R. stärker geklüftet; in der überlagernden Zersatzzone stark wechselnde Kluft-Porendurchlässigkeit | 2.4 | GWG | 7 | Me | F | K | s |

| Kristalliner Vorpessart | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|---|---|-------|-------------|----|----|-----|---|-----|
| kv1 | Magmatite, sauer bis intermedial | Granit, Diorit und Granodiorit | unverwitterter und ungeklüfteter Granit generell Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung bis in größere Tiefen; bei Vorliegen tiefergründiger Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.1 | GWL/ GWG | 5 | Ma | F | K | s |
| kv2 | Metamorphite | Glimmerschiefer, Gneis und Quarzit | unverwitterter und ungeklüfteter Gneis generell Beanspruchung oberflächennahe Grundwasserführung auf Klüften und anderen Trennflächen im Zehnermeterbereich, zur Tiefe abnehmend (Kluft-Grundwasserleiter mit i. d. R. geringer, lokal mäßiger Durchlässigkeit und Ergiebigkeit); im Bereich von bedeutenderen Störungs- und Zerrüttungszonen auch Fortsetzung der Wasserführung bis in größere Tiefen; bei Vorliegen tiefergründiger Verwitterungs- oder Zersatzdecken auch Ausbildung eines Kluft-Poren-Grundwasserleiters mit stark wechselnder Mächtigkeit und Durchlässigkeit mit Übergang zum unverwitterten Ausgangsgestein | 2.3.2 | GWL/ GWG | 10 | Me | F | K | s |
| Miozän des Rieskraters | | | | | | | | | | |
| ri1 | Bunte Trümmermassen mit parautochthonen Schollen | heterogen zusammengesetzte Auswurfmassen der Meteoritenkrater (Ries, Steinheimer Becken): schollenartige Trümmermassen aus impaktmetamorphem Grund- und Deckgebirge, Ries-Trümmermassen, Bunte Breccie, dislozierte Schollen und Kristallinschollen, Suevit | meist Festgesteins-Grundwasserleiter mit äußerst geringer bis geringer Durchlässigkeit oder Grundwassergeringleiter; in Bereichen mit Sand- oder Kalksteinschollen Auftreten begrenzter Grundwasservorkommen | 2.2.2 | GWL/ GWG | 10 | Me | F | K | s |
| ri2 | See-Sedimente des Ries-Sees | tertiäre bis quartäre limnische und fluviatile Lockergesteine des Ries-Sees: meist Mergel, Braunkohle führender Ton, Tonmergel und Süßwasserkalk mit eingeschalteten sandigen Lagen und Geröllen, in der Randfazies auch Seekalk und Konglomerat | in den tonig-mergeligen Bereichen (Beckenfazies) Grundwassergeringleiter, bei Auftreten von Sandlinsen oder Karbonat-Hartbänken Poren- bzw. Kluft-Poren-Grundwasserleiter mit mäßigen Durchlässigkeiten | 1.1.3 | GWL/ GWG | 10 | S | L/F | P | s/o |

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|------------------------|--|--|---|--------------------------------|-----------------|-------------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| Quartär/Tertiär | | | | | | | | | | |
| qt | Altquartäre/(jung-)tertiäre Ablagerungen, z. T. Braunkohlentertiär | tertiäre bis quartäre limnische und fluviatile Lockergesteine, Mergel, z. T. mit Braunkohle-Einlagerungen | Poren-Grundwasserleiter mit geringer bis mäßiger Durchlässigkeit oder Grundwassergeringleiter | 1.1.2 | GWL/ GWG | 12 | S | L | P | s/o |
| QUARTÄR | | | | | | | | | | |
| q1 | Quartäre Flussschotter | sandiger Kies; Mächtigkeiten der Flusstalfüllungen bis 20 m | in Südbayern Poren-Grundwasserleiter mit hohen bis sehr hohen Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten und in Nordbayern mit mäßigen bis mittleren Porendurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten | im S 1.1.1 im N 1.1.2 | GWL | im S 8 im N 9 | S | L | P | m |
| q2 | Quartäre Flussschotter und -sande | sandiger Kies bis Sand mit höherem Feinkornanteil; Mächtigkeiten im Einer bis Zehnermeterbereich | in Südbayern Poren-Grundwasserleiter mit mäßigen bis mittleren Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten und in Nordbayern mit geringen bis mäßigen Porendurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten | im S 1.1.2 im N 1.1.3 | GWL | im S 9 im N 12 | S | L | P | m |
| q3 | Fluvioglaziale Ablagerungen (Schmelzwasserschotter) | sandiger Kies, z. T. schluffig, z. T. konglomeriert (z.B. Münchener Schotterebene); Mächtigkeiten bis 90 m | Poren-Grundwasserleiter mit hohen bis sehr hohen Porendurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten mit regionaler bis überregionaler Bedeutung, bereichsweise durch bindige Zwischenschichten hydraulisch in Stockwerke getrennt | 1.1.1 | GWL | 8 | S | L | P | k |
| q4 | Moränenablagerungen | unterschiedlich sandiger, schluffiger oder toniger Kies (Diamikt, u.a. Geschiebemergel) im kleinräumigen Wechsel, z. T. konglomeriert; Mächtigkeiten stark schwankend, bis mehrere Zehnermeter | kleinräumiger Wechsel von Poren-Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern mit variablen Durchlässigkeiten, nur lokale Grundwasserführung in kiesbetonten Moränenanteilen, Grundwasserleiter bilden häufig von Moränenablagerungen überdeckte fluvioglaziale Schotter mit mittleren bis hohen Porendurchlässigkeiten | 1.1.3 | GWL/ GWG | 11 | S | L | P | m |
| q5 | Seeablagerungen | glaziale Beckenablagerungen, Schluff, Ton, Feinsand, Seekreide; Mächtigkeiten bis über 250 m | Grundwassergeringleiter ohne nennenswerte Durchlässigkeiten und Grundwasserführung | 1.2 | GWG | 6 | S | L | P | m |

| VORLANDMOLASSE | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---|--|-------|-------------|----|---|-----|-----|---|
| v1 | Oberer Süßwassermolasse, unegliedert | Sand, Schluff und Ton, nach Osten zunehmend auch Kies, alpenrandnah verfestigt; Mächtigkeiten bis mehrere hundert Meter | je nach Feinkornanteil Poren-Grundwasserleiter bis Grundwassergeringleiter mit geringen, bei höherem Kiesanteil mit mäßigen Durchlässigkeiten, alpenrandnah Kluff-Poren-Grundwasserleiter bis Grundwassergeringleiter mit insgesamt sehr geringen bis geringen Durchlässigkeiten | 1.1.3 | GWL/ GWG | 11 | S | L/F | K/P | m |
| v2 | Jüngere Obere Süßwassermolasse | Sand, Schluff und Ton, nach Osten zunehmend auch Kies, nach Norden und Osten nur noch reliktartige Verbreitung auf Höhenrücken und Kuppen (Hangendserie, Mischserie, Moldanubische Serie); Mächtigkeiten bis rund 100 m | Poren-Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen, bei höherem Feinkornanteil mit geringeren Durchlässigkeiten, zahlreiche lokal begrenzte hangende Grundwasservorkommen mit unterschiedlichen Ergiebigkeiten | 1.1.2 | GWL | 12 | S | L | P | m |
| v3 | Schotter und Kiessande der Mittleren Oberen Süßwassermolasse | Kies und Sand mit Schluff- und Toneinschlaltungen (Südlicher Vollschotter, Geröllsandserie, Quarzrestschotter, Nördliche Vollschotter-Abfolge); Mächtigkeiten bis über 250 m | Poren-Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen, bei höherem Anteil von Kiesen und Sanden mit mittleren Durchlässigkeiten, überregional bedeutende Grundwasservorkommen mit hohen Ergiebigkeiten, mächtige Schluff- und Toneinschlaltungen bereichsweise hydraulisch wirksame Trennhorizonte bildend, in höheren Lagen lokal begrenzte hangende Grundwasservorkommen mit unterschiedlichen Ergiebigkeiten, großteils hydraulischer Kontakt mit Grundwasserkörpern der größeren quartären Talfüllungen wie Donau, Lech, Isar und Inn sowie mit liegenden Grundwasserleitern (v4, v5) | 1.1.2 | GWL | 12 | S | L | P | m |
| v4 | Sande der Älteren bis Mittleren Oberen Süßwassermolasse | Sand mit Schluff- und Toneinschlaltungen, im Osten untergeordnet sandiger Kies (Fluviatile Untere Serie, Fluviatile Süßwasserschichten); Mächtigkeiten bis 100 m | Poren-Grundwasserleiter mit mäßigen, in feinkörnigen Bereichen mit geringen Durchlässigkeiten und mäßigen bis mittleren Ergiebigkeiten, im Westen zusammen mit v3 regional bedeutende Grundwasservorkommen, im Osten durch gröberkörnige Ausbildung (Hoisberger Rinne) lokal bedeutendes Grundwasservorkommen; großteils hydraulischer Kontakt mit hangendem (v3) und liegendem Grundwasserleiter (v5) | 1.1.2 | GWL | 12 | S | L | P | m |
| v5 | Feinsedimente der Oberen Brackwassermolasse und Älteren Oberen Süßwassermolasse | Schluff und Ton mit Feinsand in Wechsellagerung (Limnische Untere Serie, Limnische Süßwasserschichten, Oncophoraschichten); Mächtigkeiten bis ca. 100 m | Wechsellagerung von Poren-Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern mit insgesamt geringen Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, Grundwasserführung gebunden an sandige Zwischenschichten, für die Trinkwasserversorgung nur lokale Bedeutung | 1.1.3 | GWL/ GWG | 5 | S | L | P | m |

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|---------------|--|---|---|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| v6 | Schotter der Oberen Brackwassermolasse und Älteren Oberen Süßwassermolasse | sandiger Kies (Ortenburger Schotterabfolge); Mächtigkeiten bis 40 m | Poren-Grundwasserleiter mit mittleren Porendurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, im nördlichen überdeckten Bereich zwischen Straubing und Forstharter Rücken aufgrund hoher Ergiebigkeiten bedeutendes Grundwasservorkommen, in südlich des Vistales anstehenden Bereichen nur wenige lokal begrenzte Grundwasservorkommen | 1.1.2 | GWL | 3 | S | L | P | m |
| v7 | Jüngere Obere Meeresmolasse | Sand in Wechsellagerung mit Schluff und Ton (Glaukonitsande und Blättermergel); Mächtigkeiten bis mehrere hundert Meter | Wechselfolge von gering ergiebigen Poren-Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern mit geringen, bei höheren Sandanteilen mit mäßigen Durchlässigkeiten, Grundwasserführung gebunden an unregelmäßig auftretende sandige Anteile unterschiedlicher Mächtigkeiten, für die Trinkwasserversorgung nur lokale Bedeutung | 1.1.3 | GWL/ GWG | 5 | S | L | P | m |
| v8 | Ältere Obere Meeresmolasse | Schluff und Ton mit Sandeinschlüssen v.a. im basalen Bereich, teilweise Festgesteinscharakter (Neuhofener Schichten); Mächtigkeiten bis mehrere hundert Meter | Grundwassergeringleiter oder gering ergiebige Grundwasserleiter mit geringen, bei höheren Sandanteilen bzw. in klüftigen Bereichen mit mäßigen Durchlässigkeiten, Grundwasservorkommen in meist an der Basis sowie in unterschiedlichen Höhenlagen und Mächtigkeiten auftretenden Sandlagen sowie in Klüften der verfestigten Feinsedimente | 1.1.3 | GWL/ GWG | 5 | S | L | P | m |
| ALPEN | | | | | | | | | | |
| Faltenmolasse | | | | | | | | | | |
| a1 | Falten- und aufgerichtete Vorlandmolasse | Sandstein und Konglomerat im Wechsel mit Mergelsteinlagen, nach Osten zunehmender Pelitanteil, im Osten Kohle führend | von Westen nach Osten zunehmend eingeeigte Klüft-(Poren-)Grundwasserleiter mit meist geringen, bei aufgelockerten Gesteinsverbänden selten mäßigen Geringdurchlässigkeiten und Ergiebigkeiten, Grundwasserführung jedoch nur vereinzelt lokal von Bedeutung, nach Osten Tendenz zu Grundwassergeringleitern, insgesamt uneinheitlicher hydrogeologischer Bau durch Falten- und Schuppenbau, bereichsweise als Grundwassersohle für quartäre Grundwasserstockwerke wirksam, lokal aufsteigende Mineralwässer (z. B. Bad Heilbrunn) | 2.2.2 | GWL/ GWG | 5 | S | F | K/P | s, (m) |

| Kürzel | Hydrogeologische Einheit | Lithologie, Mächtigkeit | Hydrogeologische Kurzbeschreibung | Hydrogeol. Klassifikation | Leitercharakter | Durchlässigkeit | Gesteinsart | Verfestigung | Hohlraumart | Hydrogeochem. Gesteinstyp |
|--------|--|---|---|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------------------|
| a6 | Nördliche Kalkalpen mit höherem Ton-, Mergelsteinanteil (z. B. Partnachschichten, Kössener Schichten, Jura-Gesteinsfolgen in Beckenfazies) | Ton- und Mergelstein mit Kalkstein und sandigen Einschaltungen, vereinzelt kieselig | überregional wirksame, relativ mächtige mergelbetonte Grundwasserleiter, bei aufgelockertem Gesteinsverband auch Kluff-Grundwasserleiter mit geringen Gebirgsdurchlässigkeiten, jedoch i. d. R. unbedeutender Grundwasserführung auf Klüften kompetenter Kalk- und Mergelsteinbänke, Grundwassersole oder Überdeckung bedeutender Karst-Grundwasserleiter (z. B. Partnachschichten unter Wettersteinkalk am Breitenberg, Hinterstufen oder Benediktenwand; Kössener Schichten über Plattenkalk im Bereich des Synklinoriums) | 2.4 | GWG | 10 | S | F | K | k |
| a7 | Nördliche Kalkalpen, kalkig (z. B. Wettersteinkalk, Plattenkalk, Dachsteinkalk, Jura-Gesteinsfolgen in Schwellenfazies) | überwiegend bankig, stellenweise auch massig ausgebildeter Kalkstein, lokal Mergel- oder Dolomitstein | mächtige, z. T. intensiv verkarstete, häufig Gipfel bildende Kluff-Karst-Grundwasserleiter mit stark variablen, bei Verkarstung sehr hohen Gebirgsdurchlässigkeiten, insbesondere im Verbreitungsgebiet der Lechtal-Decke im Westen und der Staufen-Höllengebirgs- und Berchtesgadener Decke östlich des Inntals größere zusammenhängende Karstwasservorkommen im Wettersteinkalk, Plattenkalk und Dachsteinkalk möglich, als Karstwasserspeicher grundsätzlich überregional, für die Trinkwasserversorgung lokal (z. B. Berchtesgaden) bedeutend, nicht selten gekennzeichnet durch stark schüttende Karstquellen mit typisch saisonalem bzw. episodischem Abfluss (z. B. Partnachursprung, Hammerquelle am Laubenstein, Sieben Quellen am Breitenstein, Wasserloch im Staufengebirge, Kuhflucht im Estergebirge, Schwarzbachloch an der Reiteralm etc.) | 2.1.1 | GWL | 11 | S | F | K/Ka | k |

| | | | | | | | | | | |
|----|--|--|--|------------------|-------------|----|---|---|------|----------|
| a8 | Nördliche Kalkalpen, dolomitsch, kalkig, kieselig (z. B. Alpiner Muschelkalk, Haupt-, Ramsaudolomit) | überwiegend bankig ausgebildeter Dolomit- und Kalkstein, z. T. bituminös, kieselig, lokal Ton-, Schluffstein | bankige, intensiv geklüftete, z. T. sehr mächtige und häufig Gipfel bildende Kluff-Grundwasserleiter mit geringen, im Bereich offener Spalten auch höheren Gebirgsdurchlässigkeiten, insbesondere im Hauptdolomit meist Mehrfachporosität durch Klein-, Großklüfte und Spalten, die entlang von Störungen und im Bereich kalkhaltiger Abschnitte korrosiv erweitert sein können, Grundwasserspeicherung vorwiegend in der Kleinklüftung, Großklüfte und Spalten dränierend, dolomitsche Gesteinsfolgen (z. B. Haupt- und Ramsaudolomit) sind aufgrund geringerer Durchlässigkeiten für angrenzende Karstwasservorkommen (z. B. Estergebirge, Reiteralm, Jachental), Hauptdolomit und Ramsaudolomit hinsichtlich Grundwasserführung lokal bedeutend | 2.2.2 | GWL/ GWG | 5 | S | F | K | k |
| a9 | Nördliche Kalkalpen mit salinarem Anteil (z. B. Haselgebirge, Raibler Schichten) | Ton-, Schluff-, Sand-, Dolomit- und Kalkstein, Rauhwacke, Gips, Anhydrit, Steinsalz | faziell stark differenzierte, tektonisch nicht selten reduzierte, lokal Sulfat oder Steinsalz führende Grundwassergeringleiter, im Bereich mächtigerer Raibler Karbonate (Rauhwacke, Kalk- und Dolomitstein) Kluff-(Karst-)Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen, bei Verkarstung auch höheren Gebirgsdurchlässigkeiten (z. B. Barmsee), aufgrund der Salzführung lokal (z. B. Bad Reichenhall), ansonsten als Geringleiter angrenzender Grundwasserleiter auch regional von Bedeutung | 2.1.2 bzw 2.4 | GWL/ GWG | 11 | S | F | K/Ka | m, (g/h) |

4 Blatt 1: Oberflächennahe Verbreitung der Hydrogeologischen Einheiten

Auf Blatt 1 des Kartenwerks zur Hydrogeologischen Karte von Bayern 1 : 500 000 ist die oberflächennahe Verbreitung der hydrogeologischen Einheiten dargestellt. Bezugsebene für die Abgrenzung der Einheiten ist das Ausstreichen der Einheiten an der Oberfläche unabhängig von ihrer Grundwasserführung, wobei geologische Einheiten, die als Deckschichten anzusehen sind, abgedeckt wurden. Deckschichten sind hierbei als oberflächennahe hydrogeologische Einheiten oberhalb des ersten zusammenhängenden Grundwasserkörpers definiert, die in ihrer Gesamtheit kein nennenswertes Grundwasser enthalten. Die Darstellungsebene entspricht damit dem Thema 1.3 „Hydrogeologische Einheiten ohne Deckschichten“ der Hydrogeologischen Kartieranleitung, 1. Fortschreibung (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE 2009). Die Farbgebung der Einheiten erfolgte in Anlehnung an die Geologische Karte von Bayern 1 : 500 000 (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1996).

Als Grundlage für die Karte diente der digitale Layer der Hydrogeologischen Übersichtskarte von Deutschland im Maßstab 1 : 200 000 (HÜK200). Dieses Kartenwerk wurde in den Jahren 2000 bis 2003 am damaligen Bayerischen Geologischen Landesamt auf Basis der Geologischen Übersichtskarte von Deutschland 1 : 200 000 (GÜK200) erarbeitet. Das Projekt wurde als eine Gemeinschaftsarbeit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und der Geologischen Dienste der Länder durchgeführt (siehe auch BÜTTNER et al. 2003).

Für die Darstellung der Hydrogeologischen Übersichtskarte 1 : 500 000 wurden die Einheiten der HÜK200 in sinnvoller Weise aggregiert und anschließend die Geometrien auf den Maßstab 1 : 500 000 angepasst. Die 188 hydrogeologischen Einheiten der HÜK200 in Bayern wurden dabei auf die insgesamt 78 Einheiten der Tabelle 3-8 reduziert. Während sich in der Gliederung der Einheiten der HÜK200 noch weitgehend der Detailgrad der GÜK200 widerspiegelt, wurde bei der Aggregation für die hier vorgelegte Übersichtskarte die hydrogeologische Funktion der Einheiten in den Vordergrund gestellt. Auf diese Weise wurden Einheiten, die zwar geologisch differenzierbar sind und daher in der GÜK200 als unterschiedliche Einheiten ausgewiesen sind, die jedoch in ihrer hydrogeologischen Funktion zusammen mit anderen geologischen Einheiten hinsichtlich der hydrogeologischen Eigenschaften als weitgehend homogen anzusehen sind, zusammengefasst. Beispiele hierfür sind der Malm in der Fränkischen Alb, der auf Blatt 1 als eine hydrogeologische Einheit ausgewiesen ist, oder die Moränen im Süddeutschen Moränenland, die hier nicht mehr nach unterschiedlichen Eiszeitaltern gegliedert sind. Auch im Bereich der Nördlichen Kalkalpen wurden die Einheiten nach ihren hydrogeologischen Eigenschaften deutlich zusammengefasst. Während dort in der HÜK200 noch 23 Einheiten differenziert wurden, erfolgt die hydrogeologische Gliederung in der HK500 nach den wesentlichen Baueinheiten in tonig-mergelig, siliziklastisch, kalkig, dolomitisch oder salinar betonte Schichtpakete. Gleichzeitig sind in der HK500 jedoch Einheiten, die in der GK500 zusammengefasst sind, differenziert, wenn sie eine entsprechend unterschiedliche hydraulische Funktion aufweisen. Beispiele hierfür sind im Schichtstufen- und Bruchschollenland die Differenzierung des Burgsandsteins in die tonig ausgebildete Heldburgfazies und die sandigere Nürnberger Fazies oder die Aufteilung des Gipskeupers in eine sandige und eine sandig-tonige Fazies.

Hinsichtlich der Störungen wurde nicht auf die in der GÜK200 dargestellten Störungen zurückgegriffen, da diese auf den verschiedenen Kartenblättern nicht immer in der gleichen Auflösung vorhanden sind, so dass in der bayernweiten Darstellung Brüche entstanden wären. Daher wurden für die HK500 die in der GK500 dargestellten Störungen übernommen und dort modifiziert, wo neue

Erkenntnisse vorlagen oder Anpassungen an die Geometrien der hydrogeologischen Einheiten notwendig waren. Hinsichtlich der hydraulischen Funktion der Störungen können jedoch aus der Kartendarstellung keine Aussagen abgeleitet werden.

Die dargestellten Profile wurden von der vorliegenden GK500 übernommen und entsprechend der Umsetzung und Aggregation der geologischen Einheiten zu hydrogeologischen Einheiten angepasst sowie die zugehörigen Kürzel der Kartenlegende bzw. textliche Beschreibungen eingefügt.

Die Legendeneinheiten sind nach den hydrogeologischen Großräumen Schichtstufen- und Bruchschollenland, Grundgebirge, Alpenvorland (hier aufgegliedert nach Quartär und Vorlandmolasse) und Alpen gegliedert und sind am Kartenrand so angeordnet, dass die Legendeneinheiten in möglichst großer Nähe zu den Vorkommen in der Karte dargestellt sind. Einen Sonderfall bilden die beiden Quartäreinheiten Quartäre Flussschotter und Quartäre Flussschotter und -sande, die in allen Großräumen angetroffen werden können.

In der digitalen Version der Karte liegen zu allen Einheiten qualitative Informationen bezüglich deren Eigenschaften vor (i. e. hydrogeologische Klassifikation, Leitercharakter, Durchlässigkeit, Gesteinsart, Verfestigung, Hohlraumart und hydrogeochemischer Gesteinstyp), die in GIS-Systemen als eigene Kartenthemen dargestellt werden können. Die Karte 2 „Klassifikation der hydrogeologischen Einheiten“ stellt somit eine weitere Informationsebene aus der Grundkarte der hydrogeologischen Einheiten dar. Durch den Abgleich zwischen diesen beiden Karten kann zu jeder hydrogeologischen Einheit auf Blatt 1 die zugehörige Klassifikation auf Blatt 2 ermittelt werden.

5 Blatt 2: Klassifikation der Hydrogeologischen Einheiten

Blatt 2 des Kartenwerks zur Hydrogeologischen Karte von Bayern 1 : 500 000 beinhaltet die hydrogeologische Klassifikation der oberflächennah vorkommenden hydrogeologischen Einheiten, deren Lage und Verbreitung auf Blatt 1 dargestellt ist. Basierend auf Hohlraumart (Poren, Klüfte, Karsthohlräume) und Durchlässigkeit der Einheiten werden verschiedene Lockergesteins- und Festgesteins-Aquifertypen bzw. Geringleiter unterschieden. Die Farbgebung orientiert sich an international üblichen Darstellungen (z. B. in STRUCKMEIER & MARGAT 1995).

Die Karte enthält in erster Linie Informationen über grundlegende hydrogeologische Sachverhalte, auf denen unter anderem die Abgrenzung einzelner Grundwasserleiter beruht. Die Farbgebung der Einheiten ist dabei nur als genereller Hinweis auf die potenzielle Grundwasserführung zu werten; zum Beispiel sind morphologisch höher liegende Teile der Einheiten in der Regel grundwasserfrei. Eine gesonderte Darstellung des oberflächennahen Auflockerungsbereiches, in dem auch die ansonsten gering durchlässigen Festgesteine in begrenztem Maße Grundwasser führen, ist aus Maßstabsgründen nicht möglich.

Im Folgenden werden die verschiedenen Grundwasserleiter- bzw. Grundwassergeringleitertypen kurz erläutert und bedeutende hydrogeologische Einheiten mit flächenhafter Verbreitung in Bayern als Beispiele genannt. In Tabelle 3-8 sind für alle hydrogeologischen Einheiten detaillierte Beschreibungen zu Grundwasserleitertyp und Durchlässigkeit bzw. Ergiebigkeit und Grundwasserführung zu finden.

Lockergesteine

Poren-Grundwasserleiter

Die von Lockergesteinen aufgebauten Poren-Grundwasserleiter sind entsprechend ihrer Durchlässigkeit, Mächtigkeit des grundwassererfüllten Raums und Ergiebigkeit in drei Klassen eingeteilt, die durch blaue Flächenfarben in drei Abstufungen dargestellt sind. Poren-Grundwasserleiter dominieren das Alpenvorland im südlichen Teil von Bayern.



Poren-Grundwasserleiter mit hohen bis sehr hohen Durchlässigkeiten und hohen Ergiebigkeiten werden in dunklem Blau dargestellt. Sie bestehen überwiegend aus fluviatilen sandigen Kiesen der quartären Flusstalfüllungen in Südbayern, wie zum Beispiel von Donau, Isar, Inn und Lech sowie den voralpinen Schotterflächen, wie zum Beispiel der Münchener Schotterebene.



Poren-Grundwasserleiter mit mäßigen bis mittleren Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten sind in einem mittleren Blauton gekennzeichnet und umfassen die von Kiesen und Sanden dominierten tertiären Lockersedimente der Oberen Süßwassermolasse, der Oberen Brackwasser- und Älteren Oberen Süßwassermolasse sowie der quartären Flussschotter in Nordbayern wie zum Beispiel in den Tälern von Main und Naab.



Poren-Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten bzw. Wechsellagerungen von Poren-Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern bzw. Einheiten mit kleinräumigen, lokal begrenzten, nicht zusammenhängenden Grundwasservorkommen und somit mit (stark) variablen Durchlässigkeiten und Ergiebigkeiten werden in einem hellen Blauton dargestellt. Zu dieser Klasse gehören u. a. die Feinsedimente der Oberen Brackwasser- und Älteren Oberen Süßwassermolasse sowie die

insgesamt feinkörnig ausgebildete Obere Meeresmolasse. Die Grundwasserführung ist dort an die sandig ausgebildeten Einschaltungen und Lagen gebunden. Im Bereich der unterschiedlich durchlässigen Moränenablagerungen am Nordrand der Alpen treten Grundwasservorkommen nur lokal in kiesbetonten Moränenbereichen und in den häufig von den Moränen überdeckten fluvioglazialen Schotterrinnen und -körpern auf.

Lockergesteins-Grundwassergeringleiter



Lockergesteine ohne nennenswerte Durchlässigkeiten werden als Lockergesteins-Grundwassergeringleiter angesprochen und in hellbrauner Farbe wiedergegeben, so die überwiegend aus glazialen Beckenablagerungen, Schluffen, Tonen und Feinsanden bestehenden Seeablagerungen im südlichen Voralpenland.

Festgesteine

Kluft-Karst-Grundwasserleiter

Die Kluft-Karst-Grundwasserleiter sind entsprechend ihrer Gebirgsdurchlässigkeiten in zwei Klassen eingeteilt. Die Gebirgsdurchlässigkeit ist hier maßgeblich von den Kluftverhältnissen und der Verkarstung des Gesteins abhängig. Kluft-Karst-Grundwasserleiter sind typischerweise an Karbonatgesteine wie Kalke und Dolomite gebunden. In Bayern sind dies vorwiegend die Schwäbische und Fränkische Alb, die Muschelkalk-Platten sowie die Nördlichen Kalkalpen.



Kluft-Karst-Grundwasserleiter mit mäßiger bis mittlerer Gebirgsdurchlässigkeit werden in dunkelviolettem Farbton dargestellt, wie zum Beispiel die Kalk- und Dolomitgesteine des Malm der Schwäbischen und Fränkischen Alb sowie Wetterstein- und Dachsteinkalk der Nördlichen Kalkalpen. Die unterschiedliche Verkarstung bewirkt eine örtlich stark wechselnde, meist mittlere bis mäßige Gebirgsdurchlässigkeit und beeinflusst auch die Grundwasserführung.



Kluft-Karst-Grundwasserleiter mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten bzw. Kluft-(Karst-)Grundwasserleiter/Grundwassergeringleiter mit (stark) variablen Gebirgsdurchlässigkeiten werden in einem helleren Violetton gekennzeichnet. In diese Kategorie gehören beispielsweise die aus Mergel-, Ton-, Kalk- und Dolomitsteinen aufgebauten Wechselfolgen des Muschelkalks im Nordwesten Bayerns und die durch einen kleinräumigen Wechsel aus Ton-, Schluff-, Sand-, Dolomit- und Kalkstein gekennzeichneten salinar geprägten Einheiten der Nördlichen Kalkalpen (z. B. Raibler Schichten).

Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter des Deckgebirges und der Alpen

Bei den Kluft-(Poren-)Grundwasserleitern handelt es sich um klastische sedimentäre Gesteinseinheiten, die in unterschiedlichem Umfang Porenhohlräume aufweisen, deren Gebirgsdurchlässigkeiten jedoch vorwiegend von den Kluftverhältnissen abhängen. Typische Gesteine für diese Aquiferklasse sind Sandsteine und Tonsteine sowie Wechselfolgen aus diesen Gesteinen.



Die Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter mit mäßigen bis mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten sind mit einem dunklen Grünton eingefärbt. Beispiele hierfür sind die Sandsteinfolgen des Unteren und Mittleren Buntsandsteins des Schichtstufenlands im Nordwesten Bayerns und die Sandsteinfolgen bzw. Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen des Sandsteinkeupers, insbesondere der sandig ausgebildete Burgsandstein und aufgrund von Faziesübergän-

gen zu tonigerer Ausprägung nach Norden der südliche Teil des Coburger- und Blasen-sandsteins.



Die Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter des Deckgebirges und der Alpen mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten bzw. die Kluft-(Poren-)Grundwasserleiter/Grundwassergeringleiter mit (stark) variablen Gebirgsdurchlässigkeiten werden durch einen helleren Grünton gekennzeichnet. Diese umfassen im Schichtstufenland im Wesentlichen die sandig-tonige Fazies der Keupereinheiten, wie die Abfolge des Gipskeupers von Schilfsandstein bis Lehrbergschichten, die sandig-tonige Fazies des Burgsandsteins sowie den toniger ausgebildeten nördlichen Teil des Coburger- und Blasen-sandsteins im Sandsteinkeuper und die Tonsteine mit Sand- und Dolomitsteinlagen des siliziklastisch/karbonatisch geprägten Unteren Keupers. Grundwasservorkommen sind häufig an die sandigen bzw. kalkig/dolomitischen Einschaltungen und Lagen gebunden. Dies gilt ebenso für den Oberen Buntsandstein im Nordwesten Bayerns. Weiterhin sind diesem Aquifertyp die paläozoischen Metapsammite des Frankenwaldes im Nordosten Bayerns zuzurechnen. Die massig oder bankig ausgebildeten Dolomit- und Kalksteinfolgen mit lokalen Ton- und Schluffstein-Einschaltungen der dolomitisch-kalkig-kieseligen Einheiten der Nördlichen Kalkalpen wie der Hauptdolomit oder der Ramsaudolomit sind ebenfalls dieser Kategorie zuzuordnen.

Kluft-Grundwasserleiter des Grundgebirges

Die Magmatite und Metamorphite des Grundgebirges in Ostbayern sowie des kristallinen Vorpessarts werden als Kluft-Grundwasserleiter/Grundwassergeringleiter mit geringen bis mäßigen Gebirgsdurchlässigkeiten angesprochen und in zwei unterschiedlichen roten Farbtönen dargestellt. Das Grundwasser bewegt sich hauptsächlich in Klüften, deren Anteil mit der Tiefe abnimmt. Die Gesteinseinheiten sind häufig mit einer mehr oder weniger ausgeprägten, sandig-lehmigen bis sandig-grusigen Zersatzzone (Verwitterungsdecke) unterschiedlicher Mächtigkeit bedeckt. Die Zersatzzone kann oberflächennah als Lockergestein angesehen werden, weist aber reliktsch vorhandene Kluftsysteme auf und wirkt daher hydraulisch eher wie ein Kluft-Poren-Grundwasserleiter (RAUM 2002).



Die Unterscheidung beruht auf den Gesteinsarten Magmatit und Metamorphit, die sich durch unterschiedliche Klüftungsintensitäten (Kluftverhältnisse) auszeichnen. Die Magmatite (dunkelrot), überwiegend Granite des Fichtelgebirges, Oberpfälzer und Bayerischen Waldes, sind im Allgemeinen stärker geklüftet und somit durchlässiger als die in weiten



Teilen des Grundgebirges auftretenden Metamorphite (hellrot), wie zum Beispiel Gneise, Glimmerschiefer, Phyllite und Amphibolite (APEL & FAUTH 1977, STÖBER 1995 u. a.).

Festgesteins-Grundwassergeringleiter



Festgesteins-Grundwassergeringleiter ohne nennenswerte Gebirgsdurchlässigkeiten sind in dunkelbrauner Farbe gekennzeichnet. Die Ton-, Schluff- und Mergelsteine des Feuerletten und die tonig-mergelig ausgebildeten Myophorien- und Estheriensichten des Gipskeupers im Schichtstufenland sowie der Bereich der Nördlichen Kalkalpen mit höherem Ton- und Mergelsteinanteil, wie beispielsweise die Kössener Schichten, sind in diese Kategorie einzustufen.

6 Blatt 3: Grundwassergleichen bedeutender Grundwasserleiter

Zur Beschreibung der Grundwasserströmungsverhältnisse in einem Grundwasservorkommen bilden Grundwassergleichenpläne eine wichtige Grundlage. Sie stellen die Grundwasseroberfläche von freiem bzw. die Druckfläche von gespanntem Grundwasser dar und erlauben damit Aussagen über die generelle Grundwasserfließrichtung, das Grundwassergefälle sowie die Beziehung zu den Vorflutern im betrachteten Grundwasserleiter.

Grundlage für die Erstellung dieser Pläne ist die Kenntnis von Grundwasserständen in Bohrungen, Brunnen, Grundwassermessstellen und Quellen sowie an oberirdischen Gewässern, die unter Berücksichtigung hydrogeologischer und hydraulischer Gegebenheiten zu Linien gleicher Höhe, den Grundwassergleichen, interpoliert werden.

Ungenauigkeiten bei der Konstruktion der Grundwassergleichen resultieren insbesondere aus der ungleichmäßigen Verteilung der Aufschlusspunkte. So liegt in der Regel in den Flusstälern mit vergleichsweise geringen Mächtigkeiten der Grundwasserleiter eine hohe Messstellendichte vor, die in den Hochlagen und in tieferen Grundwasservorkommen deutlich geringer wird. Bei der Interpretation der Daten ist auch der Ausbau der Brunnen bzw. der Messstellen zu beachten, da je nach Art der Verfilterung die Zuordnung der gemessenen Wasserspiegel zum betrachteten Grundwasserleiter erschwert wird (z. B. Mischpotenziale aus mehreren Grundwasserstockwerken). Bei genutzten Brunnen ist zwischen den Ruhe- und den Betriebswasserspiegeln zu unterscheiden.

Eine weitere Ursache für Ungenauigkeiten liegt in der Wasserspiegelmessung selbst. So sollten die Messungen möglichst Mittelwerte aus längeren Zeiträumen darstellen bzw. zeitgleich gemessen sein (Stichtagsmessungen). Diese Voraussetzung ist für die hier dargestellten großräumigen Grundwassergleichen häufig nicht gegeben. Dies bedingt örtliche Ungenauigkeiten, die in der Nähe von Vorflutern mit deren weitgehend konstanten Wasserspiegellagen gering sind, mit zunehmender Entfernung von den Vorflutern steigen und im Bereich der Grundwasserscheiden ein Maximum erreichen, da dort die niederschlagsbedingten Grundwasserschwankungen am größten sind. Beispiele unterschiedlicher Grundwasserschwankungen zeigen die Ganglinien von Grundwasserständen in Abbildung 6-1.

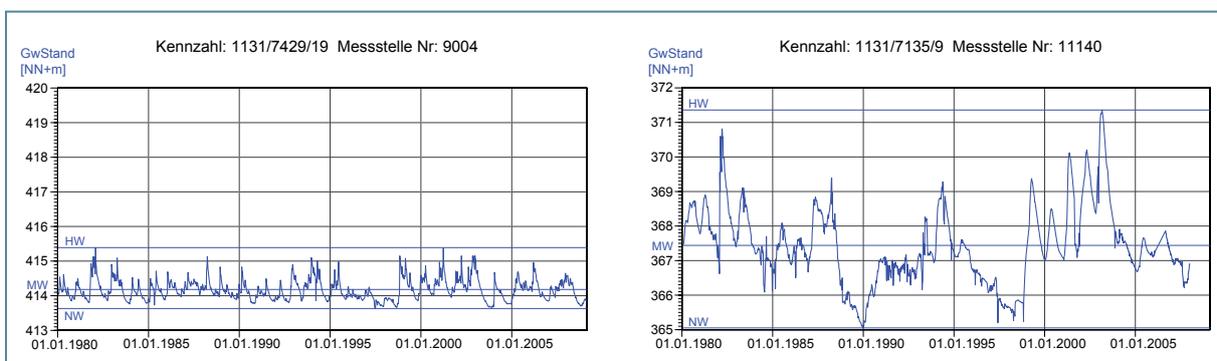


Abb. 6-1: Typische Ganglinien von Grundwasserständen mit geringen Schwankungen im Donautal (links), mit großen Schwankungen im Malm (rechts).

Gegenüber einer reinen Interpolation von Messwerten bietet der integrierende Ansatz in Grundwasserströmungsmodellen eine verbesserte Grundlage zur Konstruktion von Grundwassergleichen. Durch die gleichzeitige Berücksichtigung der Grundwasserpotenziale und der im System enthaltenen Grundwassermengen liefern diese Modelle eine gute Möglichkeit zur Verifizierung der hydrogeologischen Vorstellungen des Bearbeiters, insbesondere auch bei den hier vorliegenden großräumigen Betrachtungen. Soweit Ergebnisse von Grundwassermodellen vorlagen, wurden diese daher bei der Erstellung der Grundwassergleichenkarte mit berücksichtigt.

Bei fehlenden Messdaten beruht die Konstruktion der Grundwassergleichen auf der Bewertung der hydrogeologischen und geohydraulischen Gegebenheiten (Tektonik, Anbindung an Vorfluter etc.) und der daraus entwickelten hydrogeologischen Modellvorstellung.

Trotz der vorgenannten Einschränkungen bezüglich der Messdaten war es möglich, eine großräumige Grundwassergleichenkarte für Bayern zu erstellen. Sie wurde mit einer Erläuterung zu den Grundwasserverhältnissen (geologischer Aufbau, hydrogeologische Gegebenheiten, Grundwassergleichen und ihre Interpretation) veröffentlicht (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1985). Diese Grundwassergleichenkarte wurde nunmehr auf der Basis neu verfügbarer Daten und erweiterter Erkenntnisse fortgeschrieben und ist als Blatt 3 dem Kartenwerk zur Hydrogeologischen Karte 1:500 000 beigelegt. Soweit Grundwassergleichenpläne aus Untersuchungen und Gutachten Dritter vorlagen, wurden diese einer kritischen Prüfung unterzogen und, soweit verwendbar, in die Karte eingearbeitet.

Für die aktuelle Grundwassergleichenkarte wurden als Hintergrund die hydrogeologischen Einheiten aus Blatt 1 vereinfachend zu größeren Einheiten zusammengefasst. Dies verbessert die Lesbarkeit und ermöglicht die Zuordnung der Grundwassergleichen zu den jeweils maßgebenden bedeutenden Grundwasserleitern. Die Grundwassergleichen für die obersten zusammenhängenden, flächenhaft ausgebildeten Grundwasservorkommen sind in der Farbe der zugehörigen Grundwasserleiter als durchgezogene Linien dargestellt. Wird ein solches Vorkommen durch einen Grundwassergeringerleiter oder einen nur örtlich bedeutenden Grundwasserleiter überdeckt, wird dies durch eine entsprechend aufgehellte Farbgebung gekennzeichnet und in der Legende erläutert. Bei Überdeckung des Vorkommens sind die betrachteten Grundwassergleichen gestrichelt dargestellt. Als Abstufung der Grundwassergleichen wurden in der Regel 10 m gewählt. Bei zu enger Scharung musste bereichsweise auch auf Linienabstände über 10 m ausgewichen werden. Im Quartär wurden bei geringem Grundwassergefälle die Grundwassergleichen örtlich auf 5 m verdichtet.

Um die vertikale Abfolge der Grundwasserstockwerke zu verdeutlichen sind analog zu Blatt 1 auch auf dieser Karte hydrogeologische Profilschnitte enthalten. Im Unterschied zu der Profildarstellung der hydrogeologischen Einheiten auf Blatt 1 sind hier die Grundwasserleiter entsprechend der Gliederung in der Kartenlegende zusammengefasst dargestellt. Bei der Überdeckung der Grundwasserleiter und bei Einheiten ohne vorliegende Grundwassergleichen wurde in den Profilschnitten auf die Farbabstufung verzichtet.

Im Folgenden sind nur die vorgenommenen Aktualisierungen der Grundwassergleichenpläne beschrieben. Detaillierte Aussagen hierzu finden sich in den für die Grundwassergleichenpläne verwendeten Untersuchungen und Gutachten, die in Tabelle 6-1 und Abbildung 6-2 zusammengestellt sind.

6.1 Grundwasserleiter

Quartär

Das Alpenvorland wird von den Flusstälern der großen Flüsse Iller, Wertach, Lech, Donau, Isar, Inn und Salzach durchzogen, deren Talfüllungen ergiebige Grundwasservorkommen enthalten. Aufgrund ihrer großen Ausdehnung ist auch die Münchener Schotterebene als bedeutendes Grundwasservorkommen zu nennen. In Nordbayern ist das einzige größere zusammenhängende quartäre Grundwasservorkommen in der Untermainebene zu finden. Im Bereich der Planungsregion Oberfranken West liegen für die quartären Talfüllungen des Mains und der Regnitz detaillierte Grundwassergleichenpläne von Kus et al. (2007) vor. Maßstabsbedingt konnten diese für die vorliegende Karte nicht eingearbeitet werden.

Donautal

Die ausgedehnten quartären Grundwasservorkommen im Donautal lassen sich in zwei markante Abschnitte aufteilen, das Donautal zwischen Neu-Ulm und Neustadt a. d. Donau und das Donautal zwischen Regensburg und Vilshofen.

Im Abschnitt Neu-Ulm bis Neuburg a. d. Donau wurde für die Überarbeitung der Grundwassergleichen auf eine Studie zum Kiesabbau im Donautal (UDLUFT et al. 2000) zurückgegriffen. Für den anschließenden Abschnitt bis Neustadt a. d. Donau wurde der Grundwassergleichenplan aus der Hydrogeologischen Landesaufnahme in der Planungsregion Ingolstadt (BÜTTNER et al. 2002) verwendet und der Linienverlauf für die vorliegende kleinermaßstäbliche Karte generalisiert.

Basis der Grundwassergleichen für den Donauabschnitt zwischen Regensburg und Vilshofen bilden die Ergebnisse der Hydrogeologischen Landesaufnahme in der Planungsregion Donau-Wald (ZOSSEDER 2007), die einen Großteil der Fläche abdeckt. Innerhalb des noch verbleibenden, im Nordwesten angrenzenden Gebietes wurden die Grundwassergleichen anhand der verfügbaren Daten von Grundwassermessstellen ergänzt.

Unteres Illertal

Da für das Grundwasservorkommen in diesem Gebiet infolge zahlreicher Untersuchungen eine gute Datenbasis vorliegt, konnte diese für die Konstruktion der Grundwassergleichen direkt genutzt werden (TGU 1992, 1995 und 2002).

Lech- und Wertachtal

Grundlage für die Beschreibung der quartären Grundwasserströmung im Lech- und Wertachtal sind die Ergebnisse einer für die Region Schwaben erarbeiteten Studie (GEOTECHNISCHES BÜRO 1996). Neben der hydrogeologischen Beschreibung enthält die vorgenannte Studie Grundwassergleichenpläne im Maßstab 1 : 50 000, die zwischenzeitlich durch neuere Stichtagsmessungen und ergänzende Untersuchungen (HYDROCONSULT 2003b) fortgeschrieben wurden. Auch in dem für die Wasserversorgung sehr bedeutenden Gebiet der Lechmündung wurden im Auftrag des Zweckverbandes zur Wasserversorgung des Fränkischen Wirtschaftsraums aktuelle Untersuchungen (KOBUS & PARTNER 2007) durchgeführt. Diese Informationen wurden für die vorliegende Grundwassergleichenkarte zusammengeführt. Anhand der Daten verfügbarer Grundwassermessstellen wurde die Plausibilität der Konstruktion überprüft, wobei insbesondere auf die Anbindung der Grundwassergleichen an die Vorfluter Lech und Wertach geachtet wurde.

Roth, Günz und Mindel

Für die Konstruktion der Grundwassergleichen in den Tälern der Roth, Günz und Mindel müssen wegen der geringen Anzahl an Messstellen deutliche Einschränkungen hingenommen werden. Gegenüber der früheren Grundwassergleichenkarte (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1985) konnte jedoch eine Verbesserung erzielt werden, da bereichsweise Daten aus neu errichteten Grundwassermessstellen zur Interpretation der Grundwasserströmungsverhältnisse genutzt werden konnten. Die Grundwassergleichen sind hier jedoch – entsprechend der vorhandenen Datenlage – nur in 10 m Abständen dargestellt.

Unteres Isartal, Vilstal

Für das Grundwasservorkommen in diesen quartären Flusstälern liegen aktuelle und sehr detaillierte Daten vor, die im Rahmen der Hydrogeologischen Landesaufnahme in den Planungsregionen Donau-Wald (ZOSSEDER 2007) und Landshut (KAINZMAIER et al. 2007) erhoben und zu Grundwassergleichenplänen ausgewertet wurden. Der Verlauf der Grundwassergleichen in diesen Plänen wurde lediglich für den vorliegenden Kartenmaßstab generalisiert.

Unteres Mangfalltal

Zwischen Feldkirchen und der Mangfallmündung in den Inn bei Rosenheim stützt sich die Überarbeitung weitgehend auf neuere wasserwirtschaftliche Detailuntersuchungen mit Grundwassermodellen. Neben Planungsgrundlagen für den Hochwasserschutz konnte auf Planungen zur regionalen Trinkwasserversorgung zurückgegriffen werden (BJÖRNSEN 2008 und IGWU 2007).

Salzachtal

Aufgrund der geringen seitlichen Ausdehnung der quartären Flussschotter ist dieses Grundwasservorkommen vergleichsweise klein. Die dargestellten Grundwassergleichen stammen aus einer Umweltverträglichkeitsstudie (WASSERWIRTSCHAFTSAMT TRAUNSTEIN 2002), die im Rahmen der Sanierung der Unteren Salzach erarbeitet wurde.

Inntal

Entlang der Fließstrecke des Inns lassen sich zwei Abschnitte unterscheiden. Für die quartären Flussschotter zwischen den Inn-Staufstufen Oberaudorf/Ebbs und Feldkirchen liegen Grundwasserstandsdaten aus dem Messnetz des Kraftwerksbetreibers vor, die zur Konstruktion der Grundwassergleichen verwendet wurden.

Auf der weiteren Fließstrecke des Inns unterhalb Gars a. Inn weitet sich das Tal und geht nordöstlich der Moränenablagerungen in eine ausgedehnte Terrassenlandschaft über. Während sich die Grundwassergleichen im Bereich der Inn-Niederterrasse bis zur Salzachmündung auf eine Vielzahl von Messdaten stützen – bereichsweise lagen aktuelle Stichtagsmessungen vor – sind die Grundwasserverhältnisse in den höher gelegenen Terrassen zwischen Inn und Alz nur durch wenige Aufschlüsse belegt und entsprechend unsicher.

Unterhalb der Salzachmündung bis zur Mündung der Rott gibt es im Inntal noch ein ausgedehntes quartäres Grundwasservorkommen. Die dargestellten Grundwassergleichen entlang dieses Flussabschnittes basieren auf den Daten der Hydrogeologischen Landesaufnahme in der Planungsregion Landshut (KAINZMAIER et al. 2007) sowie auf einer älteren Grundwassermodelluntersuchung zur Pockinger Heide (WATEC 1991).

Münchener Schotterebene

Das ausgedehnte und sehr ergiebige quartäre Grundwasservorkommen der Münchener Schotterebene hat eine große Bedeutung für die Wasserversorgung der Stadt München und der umliegenden Gemeinden. Durch die hohe Besiedlungsdichte und zahlreiche infrastrukturelle Nutzungen bestehen zusätzliche Einflüsse auf das Grundwasserregime. Demzufolge liegen für dieses Grundwasservorkommen zahlreiche Untersuchungen vor, die eine gute Beschreibung der Strömungsverhältnisse erlauben.

Ausgehend von großräumigen Untersuchungen (BJÖRNSEN 1982, 1986) wurde die frühere Grundwassergleichenkarte (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1985) anhand aktueller Daten bereichsweise angepasst. Für den zentralen Bereich der Schotterebene liegt eine detaillierte Stichtagsmessung der Stadt München von 2003 vor. Im Norden der Münchener Schotterebene wurden u. a. Ergebnisse aus den Planungen zum Flughafen München berücksichtigt (BLASY & ØVERLAND 2007). Auch für den Südosten der Münchener Schotterebene existiert eine Reihe von Detailgutachten zur Wasserversorgung der Gemeinden, deren Ergebnisse in die Konstruktion mit einfließen.

Im südlichen Bereich stützt sich die Karte noch weitgehend auf frühere Auswertungen; Anpassungen anhand neuerer Grundwassermessstellen waren nur bereichsweise möglich. Insbesondere in den Teilflächen der Münchener Schotterebene, die durch Moränen überdeckt sind (im Osten bei Poing sowie in den südlichen Randlagen des Moränengürtels), liegen in der Regel keine Messdaten zu den tief liegenden, aber durchhaltenden Kieshorizonten vor. Die Grundwassergleichen sind hier entsprechend vorsichtig zu interpretieren.

Oberes Illertal, Loisachtal, Oberes Isartal

Für diese kleinräumigen Grundwasserleiter liegen ebenfalls Grundwassergleichenpläne vor. So stellen z. B. die quartären Kiese im Loisachtal einen sehr ergiebigen Grundwasserleiter dar, der für die Sicherung der Wasserversorgung der Stadt München eine wichtige Rolle spielt. Für den Darstellungsmaßstab 1 : 500 000 sind diese Grundwasserleiter allerdings vernachlässigbar und daher keine Grundwassergleichen dargestellt.

Untermaineebene

Für dieses Gebiet liegt ein Grundwassergleichenplan vor, der im Zuge der Rahmenuntersuchung zu den Grundwasserverhältnissen im bayerisch-hessischen Mainingebiet (REGIERUNG VON UNTERFRANKEN & REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT 1999) erstellt wurde. Er basiert auf einer Anfang Oktober 1997 durchgeführten Stichtagsmessung an 683 Messpunkten (Brunnen, Grundwassermessstellen, Baggerseen). Die verwendeten Grundwasseraufschlüsse reichen teilweise bis in das Tertiär. Da aber hydraulische Trennschichten zwischen Quartär und Tertiär in der Regel fehlen und keine nennenswerten Unterschiede der hydraulischen Potenziale in den beiden Grundwasserstockwerken vorliegen, ergeben sich dadurch keine Auswirkungen auf das ermittelte Fließbild.

Tertiär

Im Molassebecken liegen durch die stark wechselnden Sedimentationsbedingungen und den damit verbundenen Wechsel von fein- und grobkörnigen Ablagerungen sehr heterogene Grundwasserverhältnisse vor. Der hier dargestellte Grundwassergleichenplan stellt die grundsätzlichen Potenzialverhältnisse im ersten weiträumig verbreiteten Grundwasserleiter (Hauptgrundwasserstockwerk) dar, welcher in vielen Bereichen zur Trinkwasserversorgung genutzt wird. Hierbei handelt es sich

meist um die Druckfläche eines gespannten Grundwasservorkommens. Eine Differenzierung der Gebiete mit (artesisch) gespannten und freien Grundwasseroberflächen konnte maßstabs- und datenbedingt nicht erfolgen. Über diesem Hauptgrundwasserstockwerk liegen oftmals bis zu mehrere Quadratkilometer Ausdehnung erreichende schwebende Grundwasserstockwerke, die nur von kleineren Trinkwassergewinnungsanlagen genutzt werden. Diese schwebenden Grundwasserstockwerke werden maßstabsbedingt und wegen zu geringer Datendichte nicht in der Karte dargestellt. Der Grundwassergleichenplan stellt somit nicht zwangsläufig die Oberfläche des ersten Grundwasserstockwerks dar. Im Osten des bayerischen Molassebeckens, im Bereich um Fürstentzell, konnten aufgrund des heterogenen Untergrundaufbaus (zahlreiche Kristallinauftragungen und Störungen) keine Grundwassergleichen dargestellt werden. Östlich Kelheim, im Bereich des überdeckten Malms, beschreiben die dargestellten Grundwassergleichen die hydraulische Situation in der Überdeckung aus Kreide- und Tertiärsedimenten. Hier bildet der Malm das Hauptgrundwasserstockwerk.

Die vorliegenden detaillierten und aktuellen Grundwassergleichenpläne der Hydrogeologischen Landesaufnahme im Maßstab 1 : 50 000 wurden in das Blatt 3 der HK500 eingearbeitet. Dies betrifft die Planungsregionen Ingolstadt (BÜTTNER et al. 2002) und Landshut (KAINZMAIER et al. 2007). Im Bereich Landshut handelt es sich um die Auswertung einer Stichtagsmessung vom Mai 2004, im Bereich Ingolstadt wurden die Ruhewasserspiegel der relevanten Brunnen und Grundwassermessstellen nach Bohrungsausbau ausgewertet. Nähere Informationen zur Methodik und weiterführende hydrogeologische Informationen können den Erläuterungen der entsprechenden o. g. hydrogeologischen Kartenwerke entnommen werden.

Im Bereich Augsburg wurde auf eine umfangreiche vom Wasserwirtschaftsamt Donauwörth in Auftrag gegebene Grundwasserstudie zurückgegriffen (HYDROCONSULT 2003b). Hier wurden im Wesentlichen die dort aufgeführten Stützpunkte des „Oberen Hauptgrundwasserstockwerks“ (Ruhewasserspiegel der relevanten Brunnen und Grundwassermessstellen nach Bohrungsausbau), ergänzt um Messwerte von neueren Grundwasseraufschlüssen, verwendet.

Im übrigen Gebiet wurden die Mittelwasserstände der langjährig beobachteten Grundwassermessstellen des Landesmessnetzes Grundwasserstand des LfU verwendet sowie die digital in dessen Datenbanken verfügbaren Bohrwasserspiegel von Brunnen und Grundwassermessstellen, die das Hauptgrundwasserstockwerk erschließen. Die letztgenannten Daten sowie die Wasserstände in den Vorflutern lagen jedoch nicht immer exakt eingemessen auf m NN vor. Hier wurde die Höhenlage der Stützpunkte anhand des Digitalen Geländemodells (DGM25) der Bayerischen Vermessungsverwaltung ermittelt.

Insgesamt wurden für die Interpolation knapp 3000 Stützpunkte verwendet. In Teilgebieten, insbesondere westlich der Mindel und in den Talbereichen mit quartären Grundwasservorkommen, waren jedoch nicht ausreichend Messdaten vorhanden, so dass hier der Verlauf der Grundwassergleichen entsprechend unsicher ist.

Malm

Nicht überdeckter Malm

Für den unbedeckten bzw. oberflächennahen Malm wurde weitgehend ein neuer Grundwassergleichenplan erstellt, der sich auf folgende Quellen stützt:

Im Bereich der Nördlichen Frankenalb wurde der Grundwassergleichenplan aus der Hydrogeologischen Landesaufnahme für die Planungsregion Oberfranken West (Kus et al. 2007) und, unter Berücksichtigung von SCHULZE (2007), der Grundwassergleichenplan aus APEL & BÜTTNER (1995) übernommen. In der Südlichen Frankenalb fand westlich des Main-Donau-Kanals der Grundwassergleichenplan aus der Hydrogeologischen Landesaufnahme für die Planungsregion Ingolstadt (BÜTTNER et al. 2002) Verwendung. Westlich der Wörnitz wurde die frühere Grundwassergleichenkarte (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1985) auf der Grundlage neuer Bohrungen modifiziert. Im Bereich Schwandorf wurde auf den Grundwassergleichenplan von DICKOPF & DIEPOLDER (1997) zurückgegriffen.

Für die Mittlere Frankenalb bis zur Planungsregion Ingolstadt sowie für die Südliche Frankenalb westlich der Planungsregion Ingolstadt bis zur Wörnitz wurde der Grundwassergleichenplan neu konstruiert. Dies erfolgte anhand von Quellen, Brunnen, Grundwassermessstellen und sonstigen Bohrungen mit verwertbaren Angaben zum Grundwasserstand, Höhenlagen der Vorfluter, Ergebnissen von Karstwassermarkierungsversuchen, Berücksichtigung des Verlaufs der zahlreichen Trockentäler sowie der Tiefenlage der Malmoberkante der präriesischen Erosionsrinne östlich der Wörnitz, die von Donauwörth über Kaisheim und Mohnheim bis Treuchtlingen verläuft. Der aus diesen Informationen erarbeitete detaillierte Grundwassergleichenplan wurde zu der vorliegenden kleinmaßstäblichen Karte generalisiert.

Überdeckter Malm

Etwa südlich des Verlaufs der Donau taucht der Malm im Bereich des Molassebeckens unter die tertiären Schichten ab und erreicht am Nordrand der Alpen Tiefen von bis zu 5000 m unter Gelände. Bedingt durch diese Tiefenlage ist die Datenbasis für einen großräumigen Grundwassergleichenplan natürlich stark eingeschränkt. Für die Überarbeitung des Grundwassergleichenplanes (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1985) konnte jedoch auf Ergebnisse aus zahlreichen neueren Bohrungen und Untersuchungen zurückgegriffen werden.

Das Grundwasservorkommen im überdeckten Malm wird seit längerem balneologisch als Heilwasser und zu Badezwecken genutzt. In neuerer Zeit wird es auch, bei Temperaturen von 70 °C bis über 100 °C, geothermisch zur Wärmeabgewinnung und bei ausreichender Temperatur zur Verstromung verwendet. Die in diesem Grundwasservorkommen auftretenden sehr unterschiedlichen Druck- und Temperaturverhältnisse erschweren allerdings die Auswertung der vorliegenden Messungen zu einem gemeinsamen Grundwassergleichenplan erheblich. Je nach Art der durchgeführten Messung müssen die Potenzialwerte zuvor temperaturkorrigiert werden.

Im zentralen Bereich liegen die Ergebnisse der Hydrogeologischen Landesaufnahme der Planungsregion Ingolstadt (BÜTTNER et al. 2002) vor. Für den östlichen Bereich, das niederbayerisch-oberösterreichische Grenzgebiet, wurde im Rahmen der gemeinsamen Nutzung des Thermalwasservorkommens im Malm eine detaillierte Studie erarbeitet (GEOTECHNISCHES BÜRO 1998), die zusammen mit den Ergebnissen aus neueren Bohrungen zu einer Neuinterpretation der bisher angenommenen Grundwasserströmungsverhältnisse führte. Eine Überarbeitung der bisherigen Grundwassergleichen musste auch im Großraum München vorgenommen werden. Die Messungen in den neuen Entnahme- und Reinjektionsbohrungen für geothermische Anlagen zeigen ein vergleichsweise tiefes Niveau der Malmpotenziale im Bereich München, das der bisher angenommenen Strömungsrichtung des Thermalwassers nach Norden zur Donau hin widerspricht. Hier ist im Rahmen der für die nächsten Jahre geplanten Dubletten mit weiteren Erkenntnissen zu rechnen.

Sandsteinkeuper

Das Grundwasserstockwerk des Sandsteinkeupers besteht stratigraphisch vereinfacht aus dem Blasensandstein i.w.S. und dem Burgsandstein. Er stellt in weiten Teilen des Mittelfränkischen Beckens, im Rednitz-Rezat-Gebiet und im oberfränkischen Maintal das wichtigste Grundwasserstockwerk dar und steht vor allem westlich der Achse Rednitz-Regnitz und dem Main zwischen Bamberg und Lichtenfels über Tage an. Östlich dieser Achse sowie südlich der Linie Hilpoltstein und Wassertrüdingen taucht der Sandsteinkeuper unter den überlagernden Feuerletten, den Rhätolias sowie die Schichten des Juras ab. Östlich der Fränkischen Alb tritt er im Raum Kulmbach-Bayreuth im Bereich des Bruchschollenlands wieder zu Tage.

Die Grundwasserführung im Sandsteinkeuper ist überwiegend an das Vorhandensein von Gesteinsklüften von meist mittlerer Wasserwegsamkeit gebunden (Kluft-Grundwasserleiter). In den nach Westen zunehmend zertalten Ausstrichbereichen der Blasensandsteinstufe ist das Grundwasserangebot nur gering. Der anstehende Sandsteinkeuper hat generell einen freien Grundwasserspiegel. Nach dem Abtauchen unter das Alvorland, die Frankenalb und das Molassebecken, wo er im Süden durch die Vindelizische Schwelle begrenzt wird, treten gespannte Grundwasserdruckverhältnisse auf (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1985).

Wie auch im Grundwassergleichenplan von BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985) werden in der vorliegenden aktualisierten Version die zum Teil hydraulisch getrennten Schichtglieder des Sandsteinkeuper-Grundwasserleiters nicht in individuelle Legendeneinheiten differenziert. Die Grundwassergleichen beziehen sich jedoch westlich und nördlich des Obermains ausschließlich auf den Burgsandstein, in allen übrigen Bereich gelten sie für den Grundwasserleiter Sandsteinkeuper als Ganzes.

Die Überarbeitung und Aktualisierung wurde auf Grundlage von in jüngerer Zeit gewonnenen Erkenntnissen aus Grundwasserstudien bzw. Grundwassermodellen sowie neueren Bohrungen vorgenommen. In Gebieten, in denen detaillierte und aktuelle Grundwassergleichenpläne im Maßstab 1 : 50 000 der Hydrogeologischen Landesaufnahme vorlagen, wurden diese weitgehend unverändert übernommen (Kus et al. 2007). Weitere wichtige Datenquellen waren die Grundwassergleichenkarten der Stadt Nürnberg (UMWELTAMT NÜRNBERG 2000) und der Hydrogeologischen Karte HK50 Blatt Ansbach (DIEPOLDER 1996) sowie Grundwassergleichenpläne im östlichen Landkreis Roth (IFU 2003), im Einzugsgebiet des Baunachtals (HEEMSKERK & PITSCHKA 2002) sowie für die Grundwässer im überdeckten Sandsteinkeuper im südlichen Mittelfranken (HG 2003).

Benker Sandstein

Neu in der Karte ist die Darstellung der Grundwassergleichen im Benker Sandstein, einem faziell abgegrenzten Grundwasserleiter innerhalb der Myophorienschichten des Gipskeupers (sandige Randfazies). Durch die verbreitete Nutzung im südlichen Bereich Mittelfrankens wird die Betrachtung in der Grundwassergleichenkarte als sinnvoll erachtet.

Der Benker Sandstein ist ein Tiefengrundwasserleiter, der flächig vom regionalen Hauptgrundwasserleiter des Sandsteinkeupers überdeckt wird. Im Liegenden sind die Ton- und Mergelsteine des Unteren Keupers ausgebildet. Der Kluft- bzw. Kluft-Poren-Grundwasserleiter liegt in gespanntem Zustand vor. Mit einer Mächtigkeit von über 100 m ist er ergiebig und regional bedeutsam. Die Grundwasserneubildung erfolgt als maßgebende Zuflussgröße im Betrachtungsgebiet überwiegend

durch vertikale Zusickerung aus dem hangenden Grundwasserstockwerk des Sandsteinkeupers nach dem Leakage-Prinzip.

Hauptvorfluter für die Grundwasserströmung sind die Regnitz und die Rednitz. Es besteht jedoch an keiner Stelle ein unmittelbarer hydraulischer Kontakt zwischen dem Benker Sandstein und den Vorflutern. Der natürliche Grundwasserabfluss erfolgt nach dem Leakage-Prinzip über die hydraulische Trennschicht. Im Bereich Ansbach–Gunzenhausen ist eine regionale Grundwasserscheide ausgebildet, die das Neubildungsgebiet des Benker Sandsteins bezogen auf den Großraum Nürnberg im Südwesten begrenzt.

Grundlage für die Darstellung der Grundwassergleichen bilden im Wesentlichen die durch das ehemalige Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft in Auftrag gegebenen Untersuchungen und großräumigen Grundwassermodelle über den gesamten Betrachtungsraum (HG 1993 und 1996) sowie Erkenntnisse aus neueren Bohrungen und kleinräumigen Grundwassermodellen.

Muschelkalk

Für den Muschelkalk wurden die Grundwassergleichen der Grundwassergleichenkarte in BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985) unverändert übernommen. Im Zuge der Hydrogeologischen Landesaufnahme wird eine grundlegende Überarbeitung erfolgen, in der insbesondere auch auf die Stockwerkstrennung innerhalb des Muschelkalks eingegangen wird.

Buntsandstein

Bruchschollenland

Im Bereich Oberfranken West, nördlich von Kulmbach, wurde der Grundwassergleichenplan aus der Hydrogeologischen Landesaufnahme für die Planungsregion Oberfranken West (Kus et al. 2007) übernommen, südlich davon die frühere Grundwassergleichenkarte aus BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985).

Odenwald, Spessart und Rhön

Im Odenwald enthielt die Karte des BAYERISCHEN LANDESAMTS FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985) keine Grundwassergleichen, daher wurden diese für die vorliegende Neuauflage erstmalig konstruiert. Aufgrund der geringen Anzahl von Grundwasseraufschlüssen sind vor allem im Bereich der Hochflächen größere Unsicherheiten vorhanden.

Die Grundwassergleichen im Spessart und in der Rhön wurden unverändert aus der Grundwassergleichenkarte des BAYERISCHEN LANDESAMTS FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985) übernommen.

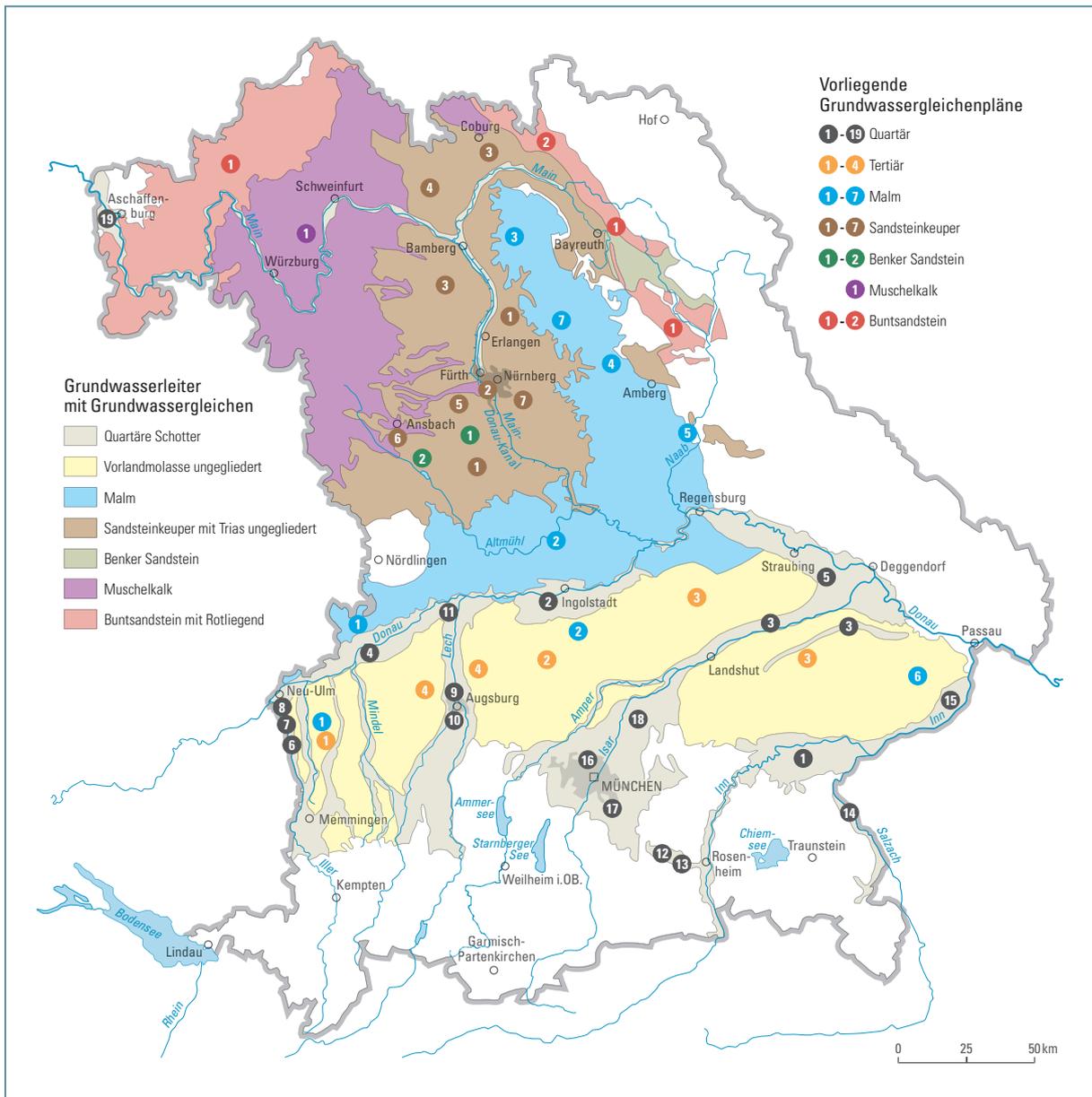


Abb. 6-2: Überarbeitung der Grundwassergleichenkarte von Bayern 1:500 000 (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1985) anhand von vorliegenden Grundwassergleichenplänen (Nummerierung gemäß Tabelle 6-1).

Tab. 6-1: Überarbeitung der Grundwassergleichenkarte von Bayern 1:500 000 (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1985) anhand von vorliegenden Grundwassergleichenplänen (Räumliche Zuordnung siehe Abbildung 6-2).

| Gw-Leiter | Nr. | Autor | Kurzbeschreibung |
|-----------|-----|---|--|
| Quartär | 1 | BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985) | Grundwassergleichenkarte 1:500 000 |
| | 2 | BÜTTNER et al. (2002) | Hydrogeologische Karte HK100 Planungsregion Ingolstadt |

| Gw-Leiter | Nr. | Autor | Kurzbeschreibung | |
|------------------------|----------------|--|---|--------------------------------------|
| | 3 | KAINZMAIER et al. (2007) | Hydrogeologische Karte HK100 Planungsregion Landshut | |
| | 4 | UDLUFT et al. (2000) | Schwäbisches Donautal | |
| | 5 | ZOSSEDER (2007) | Hydrogeologische Karte HK100 Planungsregion Donau-Wald (Entwurf) | |
| | 6 | TGU (1992) | Unteres Illertal | |
| | 7 | TGU (1995) | Wasserschutzgebiet Illeraue | |
| | 8 | TGU (2002) | Entwicklungskonzept Iller | |
| | 9 | GEOTECHNISCHES BÜRO (1996) | Fachplanung Lech | |
| | 10 | HYDROCONSULT (2003a) | Grundwassermodell Königsbrunn | |
| | 11 | KOBUS & PARTNER (2007) | Grundwassermodell Genderkingen/Oberndorf | |
| | 12 | BJÖRNSEN (2008) | Polder Feldolling | |
| | 13 | IGwU (2007) | Unteres Mangfalltal | |
| | 14 | WASSERWIRTSCHAFTSAMT TRAUNSTEIN (2002) | Salzach-Studie | |
| | 15 | WATEC (1991) | Pockinger Heide | |
| | 16 | BJÖRNSEN (1982) | Münchener Schotterebene | |
| | 17 | BJÖRNSEN (1986) | Südöstliche Münchener Schotterebene | |
| | 18 | BLASY & ØVERLAND (2007) | Flughafen München | |
| | 19 | REGIERUNG VON UNTERFRANKEN & REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT (1999) | Studie bayerisch-hessisches Maingebiet | |
| | Tertiär | | | |
| | | 1 | BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985) | Grundwassergleichenkarte 1 : 500 000 |
| 2 | | BÜTTNER et al. (2002) | Hydrogeologische Karte HK100 Planungsregion Ingolstadt | |
| 3 | | KAINZMAIER et al. (2007) | Hydrogeologische Karte HK100 Planungsregion Landshut | |
| 4 | | HYDROCONSULT (2003b) | Tertiärstudie Augsburg | |
| Malm | | | | |
| | 1 | BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985) | Grundwassergleichenkarte 1 : 500 000 | |
| | 2 | BÜTTNER et al. (2002) | Hydrogeologische Karte HK100 Planungsregion Ingolstadt | |
| | 3 | Kus et al. (2007) | Hydrogeologische Karte HK100 Planungsregion Oberfranken-West | |
| | 4 | APEL & BÜTTNER (1995) | Nördliche Frankenalb | |
| | 5 | DICKOPF & DIEPOLDER (1997) | Hydrogeologische Karte HK50 Blatt L6738 Schwandorf | |
| | 6 | GEOTECHNISCHES BÜRO (1998) | Detailmodell Thermalwasservorkommen | |
| | 7 | SCHULZE (2007) | Hydrogeologische Karte HK50 Blatt L6334 Pegnitz (Entwurf) | |
| Sandsteinkeuper | | | | |
| | 1 | BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985) | Grundwassergleichenkarte 1 : 500 000 | |
| | 2 | UMWELTAMT NÜRNBERG (2000) | Grundwasserbericht 2000 Umweltamt Nürnberg | |

| Gw-Leiter | Nr. | Autor | Kurzbeschreibung |
|-------------------------|-----|---|---|
| | 3 | Kus et al. (2007) | Hydrogeologische Karte HK100 Planungsregion Oberfranken-West |
| | 4 | HEEMSKERK & PITSCHEK (2002) | Baunacheinzugsgebiet - Haßberg, Rhön-Grabfeld |
| | 5 | HG (2003) | Grundwasserstudie überdeckter Sand- steinkeuper im südlichen Mittelfranken |
| | 6 | DIEPOLDER (1996) | Hydrogeologische Karte HK50 Blatt L6728 Ansbach |
| | 7 | IFU (2003) | Grundwassermodell östlicher Landkreis Roth |
| Benker Sandstein | | | |
| | 1 | HG (1993) | Grundwassermodell Benker Sandstein |
| | 2 | HG (1996) | Grundwassermodell Benker Sand- stein, 1. Fortschreibung |
| Muschelkalk | | | |
| | 1 | BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985) | Grundwassergleichenkarte 1 : 500 000 |
| Buntsandstein | | | |
| | 1 | BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1985) | Grundwassergleichenkarte 1 : 500 000 |
| | 2 | Kus et al. (2007) | Hydrogeologische Karte HK100 Planungsregion Oberfranken-West |

6.2 Hinweis zur Verwendung der Karte

Bereits in den vorigen Kapiteln wurde erläutert, dass zur Erstellung einer Grundwassergleichenkarte aus hydrogeologischen und hydrologischen Gründen zahlreiche Vereinfachungen zu treffen sind. Der Bearbeitungsmaßstab einer Grundwasseruntersuchung spielt eine wesentliche Rolle für die resultierenden Aussagen. Die in der vorliegenden Karte zusammengestellten Grundwassergleichen basieren z. T. auf detaillierten Studien mit entsprechend großmaßstäblich erarbeiteten Grundwassergleichenplänen. Diese mussten für das vorliegende Kartenwerk im Maßstab 1 : 500 000 generalisiert und an die vereinfachten Geometrien der Gewässer und der hydrogeologischen Einheiten angepasst werden. Für andere Gebiete, in denen lediglich geringe Informationen zur Grundwassersituation existieren, kann das Blatt 3 nur eine orientierende Aussage zur Grundwasserströmung im betrachteten Grundwasserleiter darstellen. Aus diesen Gründen wird darauf hingewiesen, dass die Karte für eine Übersichtsbetrachtung gedacht ist und nicht für Detailaussagen zur Grundwassersituation verwendet werden darf. Dazu geben die Literaturangaben entsprechende Hinweise.

7 Blatt 4: Mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag (1971–2000)

Die Grundwasserneubildung GwN wird gemäß DIN 4049-3 (1994) als „Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser“ definiert. Zur Grundwasserneubildung trägt großräumig vor allem aus Niederschlag gebildetes Sickerwasser bei („Grundwasserneubildung aus Niederschlag“). Als residuale Komponente der Wasserbilanz stellt die Grundwasserneubildung den um die Verdunstung ET_a und schnelle Abflusskomponenten Q_D reduzierten Anteil der Niederschlagshöhe N dar. Auf der Skala von Jahreswerten entspricht sie näherungsweise dem aus dem Grundwasserspeicher stammenden Anteil der Gesamtabflusshöhe Q , der als Basisabfluss Q_B den Vorfluter auch noch in niederschlagsarmen Zeiten speist (Trockenwetterabfluss). Die Grundwasserneubildung ist ein wichtiges Maß für die „natürliche Regenerationsfähigkeit“ der Grundwasserressourcen. Dieser Aspekt ist von besonderem wasserwirtschaftlichem Interesse, da in Bayern mehr als 92 % des gewonnenen Trinkwassers aus dem Grundwasser stammen.

Die beschriebenen Zusammenhänge sind in den nachfolgenden Bilanzgleichungen und in Abbildung 7-1 dargestellt:

$$GwN = N - ET_a - Q_D \quad (\text{in mm/a})$$

$$\text{bzw. } GwN = Q - Q_D \quad (\text{in mm/a})$$

$$\text{bzw. } GwN = Q_B \quad (\text{in mm/a})$$

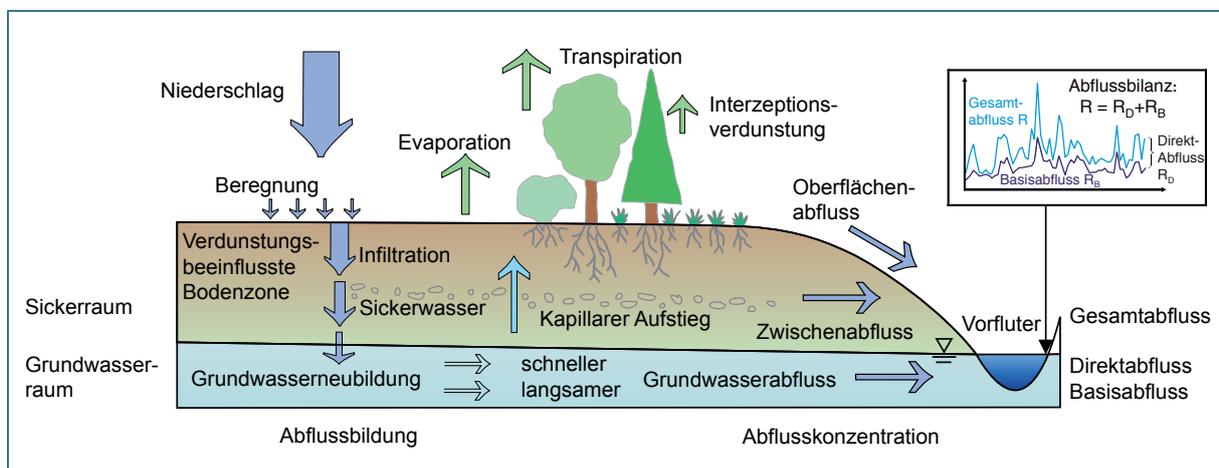


Abb. 7-1: Schematische Darstellung neubildungsrelevanter Bilanzzusammenhänge des Gebietswasserhaushalts – Einflussfaktoren auf Abflussbildung und -konzentration (JANKIEWICZ et al. 2005).

Für die Trinkwasserversorgung ist nicht nur die Grundwasserneubildung, sondern vor allem das Grundwasserdargebot entscheidend. Zum Grundwasserdargebot kann neben der in der Karte dargestellten Grundwasserneubildung aus Niederschlag auch der Zustrom von Uferfiltrat und Grundwasser aus angekoppelten Grundwasserleitern beitragen. Andererseits gibt es auch Bereiche mit hohen klimatisch bedingten Grundwasserneubildungsraten, aber geringem Speichervermögen und demzufolge raschem Grundwasserumsatz, die wasserwirtschaftlich weniger bedeutend sind. Die Grundwasserneubildung kann daher nicht zwangsläufig mit dem Grundwasserdargebot gleichgesetzt werden.

7.1 Methodik

Die Grundwasserneubildung in Bayern wurde bisher flächendeckend über eine vereinfachte Niedrigwasseranalyse an ausgewählten Abflusspegeln der oberirdischen Gewässer ermittelt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1980, 1987) und als Mittelwerte für Einzugsgebiete dargestellt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1996). Während die bisherigen Auswertungen einzugsgebietsbezogen waren, zeigt das Blatt 4 der HK500 erstmals bayernweit räumlich differenzierte Ergebnisse. Die ermittelten Werte beziehen sich auf den oberen Grundwasserleiter, der über die oberflächennahe ungesättigte Zone gespeist wird.

Die entwickelte Vorgehensweise wurde auf den betreffenden Maßstabsbereich 1 : 500 000 und die verfügbaren Modelldaten abgestimmt. Ausgehend von der mittleren jährlichen Abflusshöhe als Ergebnis einer Bodenwasserhaushaltsmodellierung erfolgte in einem weiteren Schritt die räumlich differenzierte Berücksichtigung der relevanten Direktabflussanteile mit Hilfe des Baseflow-Index BFI. Dabei gilt folgender Zusammenhang:

$$\text{GwN} = Q \cdot \text{BFI} \quad \text{mit BFI} = Q_B/Q$$

Die gesamte Vorgehensweise orientiert sich an der obigen Gleichung und wird im weiteren Verlauf näher beschrieben.

Tatsächliche Verdunstung und mittlere jährliche Abflusshöhe

Die Modellierung des Bodenwasserhaushalts und Ermittlung der tatsächlichen Verdunstung mit ihren Komponenten Interzeption, Evaporation und Transpiration wurde mit dem Einschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell GWN–BW (Weiterentwicklung des Modells TRAIN–GWN) durchgeführt, das in ARMBRUSTER (2002) bzw. MORHARD (2009) ausführlich beschrieben ist. Für die Simulation wurden in Bayern mit Hilfe von Boden- und Landnutzungsattributen 105.000 Einzelflächen auf Vektorbasis ausgewiesen. Grundwassernahe Bereiche mit kapillarem Aufstieg wurden auf Rasterbasis gesondert berücksichtigt. Die bayernweiten Modellierungsergebnisse für die Verdunstung wurden anschließend auf das Modellraster des Baseflow-Index übertragen. Die für die weitere Modellierung der Grundwasserneubildung benötigte mittlere Gesamtabflusshöhe ergibt sich dabei aus der Differenz von Niederschlag und simulierter Verdunstung. Tabelle 7-1 zeigt die für die Bodenwasserhaushaltsmodellierung verwendeten Eingangsdaten und -parameter.

Tab. 7-1: Eingangsdaten der Bodenwasserhaushaltsmodellierung.

| Datentyp | Bezeichnung | Parameter | Differenzierung | Herkunft |
|-------------------------------------|--|----------------------------------|----------------------------|---------------|
| Meteorologische Eingangsdaten | Regionalisierte Niederschläge (REGNIE) | Niederschlag, unkorrigiert | 1 km-Raster, Tagesschritte | DWD |
| | Stationsdaten | Temperatur | Zeitreihen, Tagesschritte | DWD, LfU, LfL |
| | | Relative Feuchte | | |
| | | Windgeschwindigkeit | | |
| | | Globalstrahlung | | |
| Sonnenscheindauer | | | | |
| Sonstige flächenhafte Eingangsdaten | Bodendaten BÜK1000 | Nutzbare Feldkapazität | Vektorflächen | BGR |
| | Landnutzung CORINE | Nutzungsklassen | Vektorflächen | UBA |
| | Digitales Geländemodell DGM25 | Hangneigung, Höhe, Exposition | 50 m-Raster | LVG |
| | GwFlurabstand | Mittlerer Grundwasserflurabstand | 200 m-Raster | LfU |

DWD: Deutscher Wetterdienst

LfU: Bayerisches Landesamt für Umwelt

LfL: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

BGR: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

UBA: Umweltbundesamt

LVG: Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation

Baseflow-Index

Um neben der Verdunstung auch Verluste durch schnelle Abflusskomponenten wie Oberflächenabfluss oder Interflow zu berücksichtigen, wird der rasterbezogen ermittelte Baseflow-Index als Reduktionsfaktor auf die Gesamtabflusshöhe angewendet. Dem Baseflow-Index liegt die Annahme zu Grunde, dass er als Mehrjahreswert weitgehend unabhängig von der kurzfristigen Witterungs- und Abflussdynamik ist und primär von zeitlich vergleichsweise invarianten Einflussfaktoren wie Hydrogeologie, Boden, Landnutzung oder Relief geprägt wird. Die Ermittlung des Baseflow-Index orientiert sich methodisch an der in Atlastafel 5.5 „Mittlere jährliche Grundwasserneubildung“ des Hydrologischen Atlas Deutschland (NEUMANN & WYCISK 2003) zum Einsatz gekommenen Vorgehensweise. Sie basiert auf einer in ausgewählten Einzugsgebieten durchgeführten multiplen linearen Regressionsanalyse, bei der den gebietsbeschreibenden Größen die am Pegel ermittelten Baseflow-Indizes als Zielgrößen gegenübergestellt werden (NEUMANN 2005).

Für die vorliegende Karte wurden 158 repräsentative Einzugsgebiete in Bayern näher untersucht. Zur Ermittlung des Baseflow-Index wurde der pegelbezogene Basisabfluss Q_B in Anlehnung an das Verfahren von KILLE (1970) aus dem Gesamtabfluss Q abgeleitet. Um den verfügbaren Eingangsdaten und heterogenen Naturraumbedingungen in Bayern gerecht zu werden, wurden

zwei eigenständige Teilmodelle mit abweichenden Parametrisierungen für den nördlichen und den südlichen Teilraum verwendet. Die Grenze der Teilräume entspricht ungefähr der Nordgrenze des Süddeutschen Moränenlands. Die im Einzugsgebietsmaßstab ermittelten Regressionsbeziehungen zwischen Baseflow-Index und den Gebietskenngößen wurden zur Regionalisierung auf das Modellraster übertragen. Siedlungsräume liegen außerhalb des zulässigen Anwendungsbereichs der Regressionsbeziehungen, so dass hier eine pauschale Reduktion des Baseflow-Index über den Versiegelungsgrad vorgenommen werden musste (mittlere Versiegelung: Faktor 0,6; starke Versiegelung: Faktor 0,2). Die verwendeten Eingangsdaten und die ermittelten Regressionsgleichungen sind nachfolgend dargestellt.

Tab. 7-2: Eingangsdaten der Regressionsanalysen zur Ermittlung des Baseflow-Index.

| Datentyp | Bezeichnung | Parameter | Differenzierung | Herkunft |
|-----------------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|----------|
| Hydrologische Eingangsdaten | Pegeldaten Stationsdaten | Gesamtabfluss (Q) Basisabfluss (Q _B) | Zeitreihen, Tagesschritte | LfU |
| Flächenhafte Eingangsdaten | Bodendaten BÜK1000 | Feldkapazität (FK ₁₀), Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzel- raums (nFKWe) | Vektorflächen | BGR |
| | Landnutzung CORINE | Nutzungsklassen Grün- land (C _G), Acker (C _A), Wald (C _W) | Vektorflächen | UBA |
| | Digitales Ge- ländemodell DGM25 | Hangneigung (α), Höhe (H), Exposition (ε) | 50 m-Raster | LVG |
| | GwFlurab- stand | Grundwasserflurabstand, klassifiziert (AG _{w_{kl}}) | 200 m-Raster | LfU |
| | Gewässernetz DLM1000W | Gewässernetzdichte (d _G) | 200 m-Raster | BKG |
| | REGNIE | Verhältnis Sommer-/Win- terniederschlag (N _{S/W}) | 200 m-Raster | DWD |
| | Hydrogeologie HÜK200 | Hydraulische Leitfähig- keit, klassifiziert (kf _{kl}), 7 Klassen (kf _{kl1} -kf _{kl7}), Trans- missivität (T) | Vektorflächen | LfU |

LfU: Bayerisches Landesamt für Umwelt

BGR: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

UBA: Umweltweltbundesamt

LVG: Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation

BKG: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

DWD: Deutscher Wetterdienst

Regressionsgleichung 1 für den nördlichen Teilbereich (Fluvioglaziale Schotter, Tertiär-Hügelland, Iller-Lech-Schotterplatten, Schichtstufen- und Bruchschollenland, Grundgebirge) – Bedeutung der Indizes siehe Tabelle 7-2:

$$BF_{I1} = 0,0104 \cdot \alpha - 0,0001 \cdot FK_{10} - 0,0947 \cdot kf_{kl} + 0,0023 \cdot kf_{kl6} + 0,043 \cdot AG_{w_{kl}} - 0,0673 \cdot d_G - 0,001 \cdot C_G + 0,404 \cdot \ln(N_{S/W}) + 0,688$$

Regressionsgleichung 2 für den südlichen Teilbereich (Alpen, Süddeutsches Moränenland) – Bedeutung der Indizes siehe Tabelle 7-2:

$$BFI_2 = -0,1106 \cdot \ln(\alpha) - 0,0008 \cdot FK_{10} + 0,00095 \cdot kf_{kl} + 8,29 \cdot 10^{-8} \cdot T + 0,239 \cdot AGW_{kl} - 0,020 \cdot d_G - 0,0015 \cdot C_G + 0,437$$

7.2 Mittlere Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1971–2000

Die Karte (Blatt 4) zeigt die mittlere jährliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag für den Zeitraum 1971–2000 als Rasterdarstellung in der Auflösung 200 m x 200 m. Das Wertespektrum reicht von < 25 mm/a in Unterfranken bis > 1000 mm/a in Südbayern. Das bayernweite arithmetische Mittel aller Rasterzellen beträgt etwa 217 mm/a und liegt damit gut ein Drittel höher als der vergleichbare Wert von Deutschland.

Betrachtet man die für die HK500 ermittelten Rasterwerte, so ergibt sich für Bayern folgende mittlere Wasserbilanz 1971–2000 (vgl. Abb. 7-1):

| | | | | | | |
|----------|---|----------|---|-----------------|---|----------------|
| GwN | = | N | – | ET _a | – | Q _D |
| 217 mm/a | = | 939 mm/a | – | 517 mm/a | – | 205 mm/a |

Die Bilanzwerte zeigen, dass in Bayern immerhin ca. 55 % des Niederschlags wieder verdunsten und somit lediglich 45 % abflusswirksam sind (Q = 422 mm/a). Davon gehen weitere 22 % durch Direktabfluss verloren, so dass letztlich nur noch 23 % des Niederschlags effektiv zur Grundwasserneubildung beitragen. Da es sich hierbei um Mittelwerte handelt, sind regional deutliche Abweichungen möglich, wie bereits an den Bilanzen für Nord- und Südbayern (bzw. nördlich/südlich der Donau) erkennbar ist:

| | | | | | | | | |
|-------------|----------|-----|-----------|---|----------|-----------------|----------|----------------|
| | | GwN | = | N | – | ET _a | – | Q _D |
| Nordbayern: | 159 mm/a | = | 801 mm/a | – | 480 mm/a | – | 162 mm/a | |
| Südbayern: | 288 mm/a | = | 1110 mm/a | – | 563 mm/a | – | 259 mm/a | |

Die räumliche Differenzierung der Grundwasserneubildung in Bayern spiegelt den Einfluss der Zwischenergebnisse „Gesamtabfluss“ (Abb. 7-2) und „Baseflow-Index“ (Abb. 7-3) wider. Bei der Gesamtabflusshöhe werden die kleinräumigen, primär boden- und landnutzungsabhängigen Auswirkungen der Verdunstung deutlich von der Niederschlagsverteilung überprägt. So treten die niederschlagsreichen Mittelgebirge und der alpine/voralpine Raum ebenso klar hervor wie die niederschlagsarmen Regionen in Unter- und Mittelfranken. Diese großräumigen hydrometeorologischen Einflüsse werden im Kartenbild der Grundwasserneubildung zum Teil durch die räumlichen Muster der hydrogeologischen Einheiten bzw. des Baseflow-Index verwischt. Insgesamt ist festzustellen, dass sich im Gegensatz zu Niederschlag und Hydrogeologie alle weiteren Größen wie Hangneigung, Flurabstand, Böden, Landnutzung usw. deutlich kleinräumiger auswirken. Als anschauliche Beispiele wird auf Waldstandorte in Mittelfranken (z. B. Reichswald), aber auch Siedlungsbereiche (z. B. München) hingewiesen. Stellt man die rasterbasierten Modellergebnisse den aus Pegelwerten abgeleiteten Basisabflüssen gegenüber, so zeigt sich insgesamt eine gute Übereinstimmung (Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,82$). Ausgewählte hydrogeologische Räume bzw. Teilräume werden im folgenden Kapitel näher beschrieben.

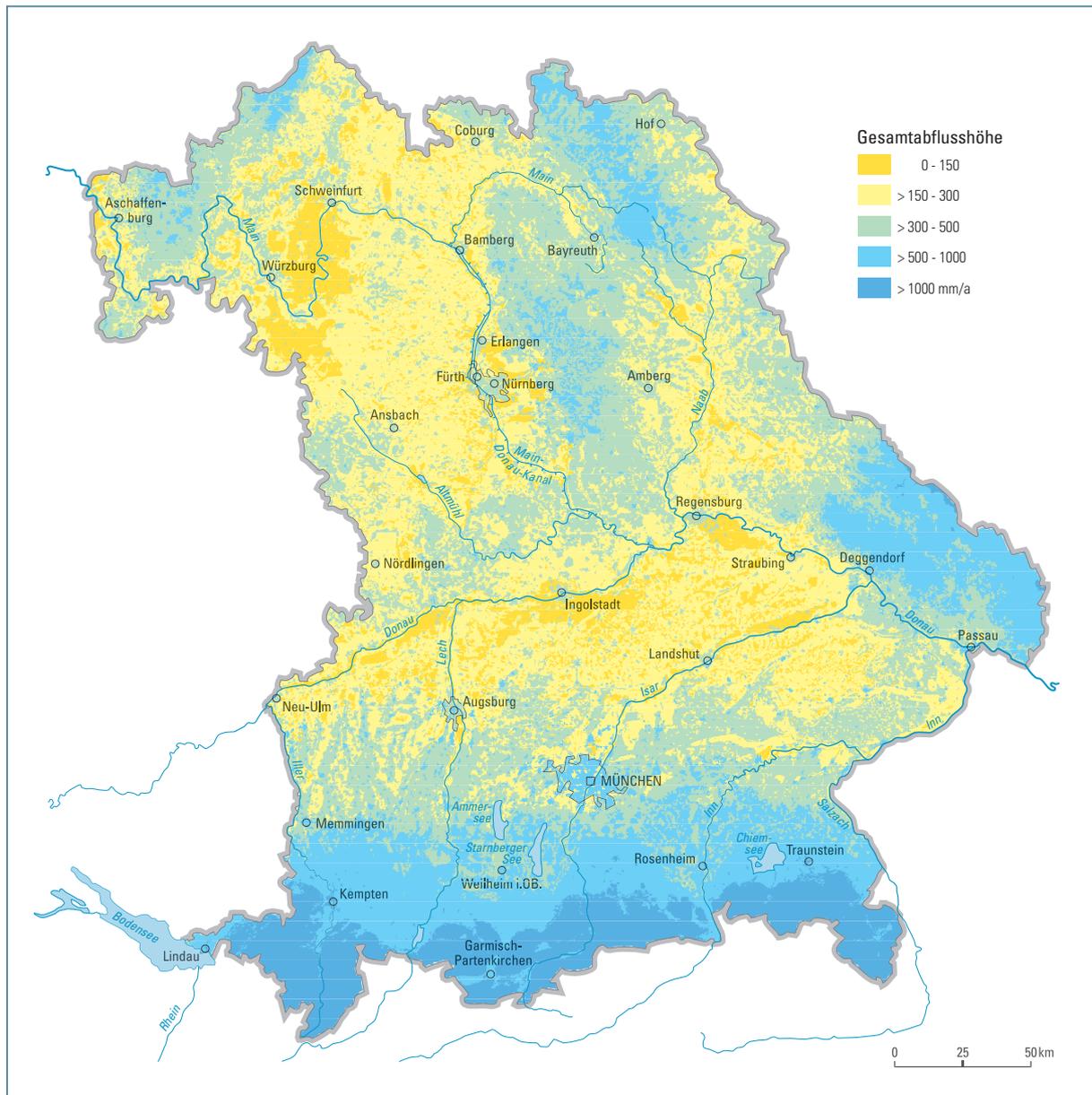


Abb. 7-2: Übersichtsdarstellung der mittleren Gesamtabflusshöhe in Bayern (1971–2000) – Angaben in mm/a.

7.3 Grundwasserneubildung ausgewählter hydrogeologischer Räume

Schichtstufen- und Bruchschollenland

Ein charakteristischer Teilraum ist die **Fränkische Alb**, die sich bei verhältnismäßig geringen Niederschlägen durch überdurchschnittliche Neubildungsraten auszeichnet. Im Mittel tragen hier etwa ein Drittel des Niederschlags bzw. fast 80 % der Gesamtabflusshöhe direkt zur Grundwasserneubildung bei. Dies ist auf die meist nur geringmächtigen Böden und die hohen Durchlässigkeiten der darunter liegenden, häufig verkarsteten Kalksteine des Malms zurückzuführen. Die günstigen Versickerungsbedingungen im Bereich der Fränkischen Alb kommen auch durch das weitgehend fehlende Gewässernetz und die zahlreichen Trockentäler deutlich zum Ausdruck. Die ergiebigen Grundwasservorkommen sind für die regionale Wasserversorgung von großer Bedeutung, wobei

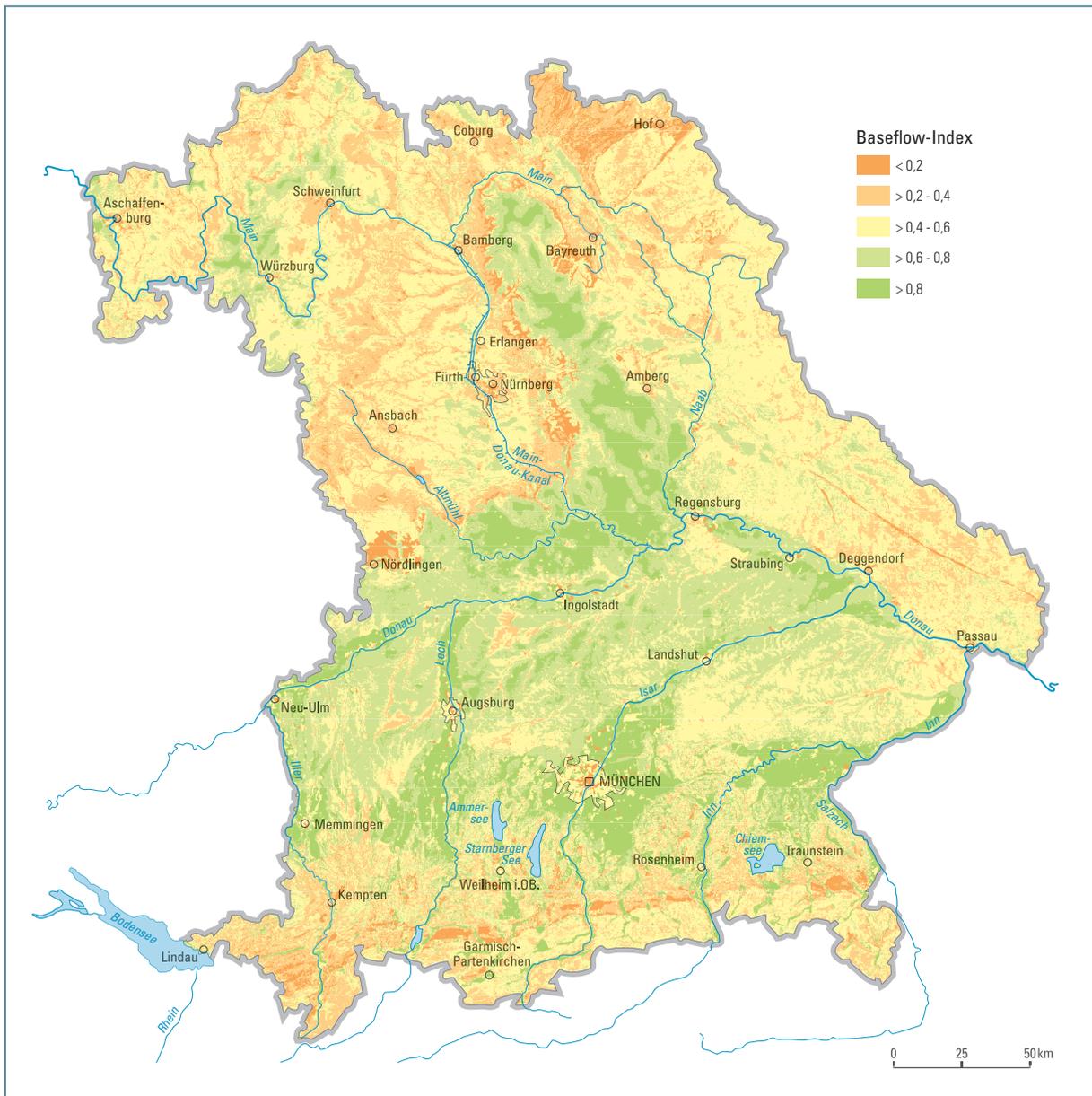


Abb. 7-3: Übersichtsdarstellung des Baseflow-Index in Bayern.

sich die hohe Durchlässigkeit und damit verbundene geringe Filterwirkung der Grundwasserüberdeckung negativ auf die Qualität des Grundwassers auswirken kann.

Westlich angrenzend an die Fränkische Alb zeichnet sich der Bereich von **Keuper und Alvorland** durch die bayernweit niedrigsten Grundwasserneubildungsraten aus. Mittlere Niederschlagssummen von ca. 700 mm/a haben hier in Verbindung mit gering durchlässigen Deckschichten Grundwasserneubildungsraten von weniger als 100 mm/a im mehrjährigen Mittel zur Folge. Auf Kiefernwaldstandorten in Mittelfranken werden aufgrund der dort erhöhten Verdunstung die niedrigsten Werte beobachtet. Die Gesteine des Keupers sind häufig tonig ausgebildet, z. T. im Wechsel mit sandigen Lagen, und wirken daher in der Regel entweder als Grundwasserstauer oder -geringleiter. Insgesamt sind die hydraulischen Verhältnisse kompliziert, mit schwebenden Grundwasservorkom-

men, die über Quellen entwässert werden, und zusammenhängenden tieferen Grundwasservorkommen in den sandigen Abfolgen, die bevorzugt für die Wasserversorgung genutzt werden.

Im Bereich des **Muschelkalks** wirkt sich vor allem das ungünstige Wasserdargebot mit weit unterdurchschnittlichen Niederschlägen (650 mm/a) limitierend auf die Grundwasserneubildung aus. Da die neubildungsrelevanten Eigenschaften der Grundwasserüberdeckung hier insgesamt etwas günstiger als im Bereich des Keupers einzuschätzen sind, werden jedoch keine niedrigeren Grundwasserneubildungsraten verzeichnet. Die Gesteine des Muschelkalks zeichnen sich durch einen kleinräumigen Wechsel von teilweise verkarstungsfähigen Kalksteinen im Wechsel mit tonigen Zwischenlagen aus. Die Ergiebigkeit und wasserwirtschaftliche Bedeutung der Grundwasservorkommen im Muschelkalk kann demzufolge regional stark schwanken.

Die Wasserbilanz im **Buntsandstein**, einem wichtigen Kluft-Poren-Grundwasserleiter, ist durch mäßige bis unterdurchschnittliche Niederschläge gekennzeichnet. Infolge des ausgeprägten Reliefs und der zum Teil bindigen Böden werden erhöhte Direktabflussanteile verzeichnet. Der hohe Waldanteil führt zudem zu hohen Verdunstungsraten. Demzufolge liegt die Grundwasserneubildung unter den entsprechenden Durchschnittswerten für Bayern. Obgleich die hydrogeologischen Verhältnisse hier vergleichsweise homogen sind, können die Nutzungsbedingungen kleinräumig doch sehr unterschiedlich sein. Wasserwirtschaftlich von Bedeutung sind die sandigen Abfolgen insbesondere des Unteren und Mittleren Buntsandsteins.

Grundgebirge

Das Kristallin im **Oberpfälzer Wald**, **Bayerischen Wald** und **Fichtelgebirge** zeichnet sich niederschlagsbedingt durch eine hohe Grundwasserneubildung aus. Durch den insgesamt geringen Hohlräumanteil sind die Grundwasservorkommen allerdings nur wenig ergiebig und bleiben auf das Kluftsystm der Granite und Gneise mit ihren Zersatzzonen sowie auf die Lockergesteine der Talfüllungen beschränkt. Das tatsächlich nutzbare Grundwasserdargebot liegt daher deutlich niedriger als die ermittelte Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Die Grundwasservorkommen im Kristallin sind lediglich von lokaler wasserwirtschaftlicher Bedeutung und können wegen des schnellen Grundwasserumsatzes meist nur durch kleinere Quellwasserversorgungen genutzt werden.

Im Bereich des thüringisch-bayerischen **Schiefergebirges** tragen die hohen Niederschläge nur zu etwa 10–15 % zur Grundwasserneubildung bei. Ursachen dafür sind die gering wasserdurchlässigen Böden und das ausgeprägte Relief, welche zu einem erhöhten Oberflächenabfluss führen. Nur die überlagernden geringmächtigen Schutt- und Verwitterungsdecken zeigen ein etwas höheres Speichervermögen und begünstigen die zeitlich leicht verzögerte Bildung von Zwischenabfluss. Die Schiefergesteine des Frankenwaldes selbst stellen Kluft-Grundwasserleiter dar und sind durch niedrige hydraulische Leitfähigkeiten und sehr geringe Ergiebigkeiten charakterisiert. Wasserwirtschaftlich interessant können lokale Quellwasservorkommen sein, die in der Regel an Klüfte bzw. bereichsweise an Verwitterungsdecken gebunden sind.

Alpenvorland

Die **Fluvioglazialen Schotter** des Alpenvorlands zeichnen sich durch die ergiebigsten Grundwasservorkommen in Bayern aus. Hohe Niederschläge in Verbindung mit guten Durchlässigkeiten der Grundwasserüberdeckung und einem schwach ausgeprägten Relief haben Grundwasserneubildungsraten von bis zu 500 mm/a zur Folge. Durch den nach Süden hin zunehmenden Niederschlag

ist ein Nord-Süd-Gradient bei der Grundwasserneubildung erkennbar. Regionale Unterschiede sind auch auf die unterschiedlichen Flurabstände zurückzuführen. So treten z. B. im Donautal bereichsweise durch kapillaren Aufstieg erhöhte Verdunstungsraten auf, während sich die südliche Münchener Schotterebene bei größeren Flurabständen durch deutlich höhere Neubildungsraten auszeichnet. Das Grundwasserdargebot ist im Donautal deutlich höher als die Grundwasserneubildung aus Niederschlag, da aus dem verkarsteten Malm der Schwäbischen und Fränkischen Alb sowie Lockergesteinen des Tertiärs zusätzlich Grundwasser in die hoch durchlässigen fluviatilen Schotter zuströmt. Die Grundwasservorkommen sind von überregionaler Bedeutung für die nord- und ostbayerischen Mangelgebiete. So wird Grundwasser aus dem Lechmündungsgebiet in den Fränkischen Wirtschaftsraum und Grundwasser aus dem Isarmündungsgebiet in den Bayerischen Wald übergeleitet.

Das **Tertiär-Hügelland** ist durch mittel bis mäßig durchlässige Lockergesteine des Tertiärs gekennzeichnet. Da die bindigen Deckschichten zur Folge haben, dass ein großer Teil des Niederschlags direkt wieder verdunstet, ist die Grundwasserneubildung hier vergleichsweise niedrig. Die oberflächennahen Grundwasservorkommen mit meist geringer Ergiebigkeit sind für die Wasserversorgung nur in Einzelfällen von Interesse. Die tiefer liegenden Grundwasservorkommen der Oberen Süßwassermolasse sind wasserwirtschaftlich von größerer Bedeutung. Der Bereich der **Iller-Lech-Schotterplatten** (südlich und südwestlich von Augsburg) ist gezeichnet durch deutlich höhere Niederschläge, welche aber nur unwesentlich zu einem höheren Grundwasserdargebot in der darunter liegenden Oberen Süßwassermolasse beitragen. Die hier im Grenzbereich zwischen den Schottern und der unterlagernden Molasse austretenden, z. T. ergiebigen Quellen sind ebenfalls für die Wasserversorgung von Bedeutung.

Das **Süddeutsche Moränenland** zeichnet sich durch einen kleinräumigen Wechsel unterschiedlich durchlässiger glazialer Lockergesteine aus. Die Grundwasserneubildung ist hier trotz weit überdurchschnittlicher Niederschläge geringer als in den angrenzenden fluvioglazialen Schottern, da die überwiegend feinkörnig ausgebildeten Sedimentgesteine nur unzureichende Wasserwegsamkeiten bieten. Durch die heterogenen hydrogeologischen Verhältnisse können Kiesvorkommen mit ergiebigen Grundwasservorkommen auftreten, obwohl keine großräumig zusammenhängenden oberflächennahen Grundwasservorkommen anzutreffen sind. Für die Wasserwirtschaft sind vor allem die aus lokal eingelagerten Sanden und Kiesen austretenden Quellen interessant.

Alpen

Die Niederschläge in den bayerischen Alpen liegen im Mittel etwa doppelt so hoch wie der landesweite Durchschnitt, so dass für die Grundwasserneubildung prinzipiell günstige klimatische Voraussetzungen bestehen. Infolge des ausgeprägten Reliefs und der zum Teil geringen Durchlässigkeiten haben jedoch die schnellen Abflusskomponenten als Bilanzgröße eine sehr große Bedeutung. Die höchsten Grundwasserneubildungsraten werden in den quartären Talfüllungen sowie den verkarsteten Bereichen der **Nördlichen Kalkalpen** verzeichnet. Wasserwirtschaftlich interessant sind aufgrund der hohen Ergiebigkeiten insbesondere die Grundwasservorkommen der Talräume. Hier spielt neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag auch der randliche Zustrom aus dem Festgesteinsbereich eine wichtige Rolle.

7.4 Grundwasserneubildung ausgewählter Nass- und Trockenzeiträume

Die Grundwasserneubildung ist eine räumlich und zeitlich dynamische Wasserhaushaltsgröße. Betrachtet man die Extreme innerhalb einer 30-jährigen Periode, fällt selbst bei Mehrjahreszeiträumen noch eine hohe Variabilität auf. Zur Veranschaulichung dieser Variabilität bzw. möglicher Bandbreiten der Grundwasserneubildung sind auf Blatt 4 zusätzlich je ein ausgewählter Nass- und Trockenzeitraum (Dreijahresmittel) im Maßstab 1 : 2 500 000 dargestellt. Die entsprechenden Wasserbilanzen zeigen, dass Abweichungen von $\pm 30\text{--}40\%$ vom dreißigjährigen Mittelwert möglich sind, wobei Einzeljahre noch größere Schwankungen zeigen. Bemerkenswert ist, dass die mittlere Grundwasserneubildungsrate extremer Trockenzeiträume in Bayern immer noch im Bereich des dreißigjährigen Mittelwertes für Deutschland liegt.

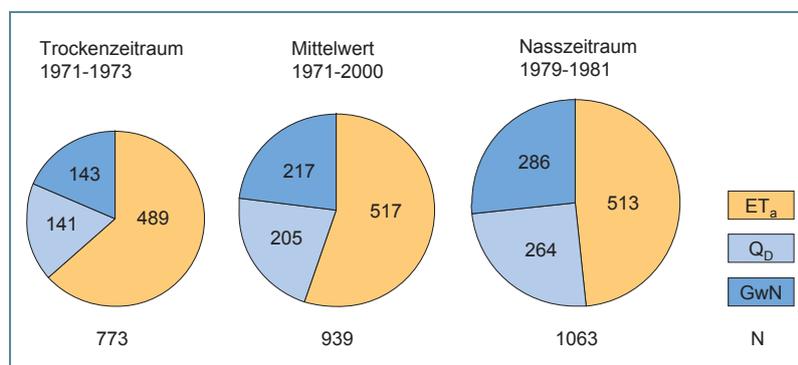


Abb. 7-4: Darstellung der mittleren Wasserbilanzanteile des Nasszeitraumes (1979–1981) und des Trockenzeitraumes (1971–1973) im Vergleich zum langjährigen Mittelwert (1971–2000). Die Flächen der Kreisdiagramme sind proportional zur jeweiligen Niederschlagshöhe (Angaben in mm/a). ET_a=Verdunstung, Q_D=Direktabfluss, GwN=Grundwasserneubildung.

In Bayern hat eine Änderung des Niederschlags von etwa $\pm 15\%$ eine mehr als doppelt so große Bandbreite der Grundwasserneubildung zur Folge. In trockenen Regionen, wie z. B. in Unterfranken, sind in Einzeljahren sogar Abweichungen bis zu 100 % und damit auch negative Wasserbilanzen möglich. Für diese Bereiche, die häufig auch durch geringe Ergiebigkeiten der Grundwasservorkommen charakterisiert sind, ist die Kenntnis der Variabilität der Grundwasserneubildung wasserwirtschaftlich noch bedeutsamer als die Kenntnis langjähriger Mittelwerte.

7.5 Hinweis zur Verwendung der Karte

Die in der Karte dargestellten Grundwasserneubildungsraten sind das Ergebnis einer Modellierung mit qualitativ unterschiedlichen Eingangsdaten. Die Auswahl dieser Daten erfolgte mit dem Ziel, die beste bayernweit verfügbare Datengrundlage zu verwenden, um flächendeckend möglichst einheitliche Aussagen treffen zu können. Das hat zur Folge, dass Datensätze aus unterschiedlichen Maßstabsbereichen gemeinsam zur Modellierung verwendet wurden. Als Beispiele sei einerseits auf die stark generalisierte Bodenkundliche Übersichtskarte im Maßstab 1 : 1 000 000, und andererseits auf das detaillierte digitale Geländemodell im 50 m-Raster hingewiesen. Weiterhin wurde mit Daten gearbeitet, die zum Teil auch regional deutliche Qualitätsunterschiede aufweisen können. Dies betrifft den Grundwasserflurabstand ebenso wie die regionalisierten Stationsdaten der verschiedenen Klimaparameter.

In Kenntnis dessen stellt das Kartenblatt „Mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag (1971–2000)“ eine großräumige Übersichtsabbildung dar und ermöglicht eine dem Maßstab 1:500 000 angemessene Beschreibung der regionalen Verhältnisse. Eine Verwendung der rasterbezogenen Einzelwerte für Detailaussagen ist methodisch nicht zulässig.

8 Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung

Für die Beurteilung der potenziellen Gefährdung des Grundwassers durch mögliche Schadstoffeinträge von der Erdoberfläche kommt der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung eine entscheidende Bedeutung zu. Als Grundwasserüberdeckung wird der Boden- und Gesteinskörper oberhalb der Grundwasseroberfläche des obersten zusammenhängenden flächenhaft ausgebildeten Grundwasservorkommens von wasserwirtschaftlicher Bedeutung verstanden. Die Geologischen Dienste von Deutschland (SGD) haben ein einheitliches Bewertungsverfahren für die Ermittlung und Darstellung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung in Karten entwickelt (HÖLTING et al. 1995), das auch in Bayern angewandt wird (DIEPOLDER 1995).

Das Verfahren beruht auf einer qualitativen Abschätzung der Sickerwasser-Verweilzeit, die anhand einer Punktbewertung erfolgt (siehe Tab. 8-1). Die Punktwerte orientieren sich, unter Berücksichtigung der Schichtmächtigkeiten, bei Böden an der nutzbaren Feldkapazität, bei Lockergesteinen am Feinkornanteil und bei Festgesteinen an der Gesteinsart und der Klüftung. Zudem werden die Sickerwasserrate und vorliegende schwebende Grundwasservorkommen bzw. artesische Verhältnisse berücksichtigt. Die Berechnung des Punktwerts der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung erfolgt nach der folgenden Gleichung:

$$S = (B + \sum_{i=1}^n G_i \cdot m_i) \cdot W + Q + D$$

| | |
|-------|---|
| S | Gesamtschutzfunktion in Punkten (dimensionsloser Relativwert) |
| B | Schutzfunktion des Bodens in Punkten (dimensionsloser Relativwert) |
| G_i | Gesteinsspezifische Schutzfunktion der Einheit i in Punkten (dimensionsloser Relativwert) |
| m_i | Mächtigkeit der Einheit i in Meter |
| W | Faktor für die Sickerwasserrate (zwischen 0,25 und 1,75) |
| Q | Zuschlag für schwebendes Grundwasserstockwerk |
| D | Zuschlag für artesische Druckverhältnisse im Grundwasserleiter |

Die resultierende Gesamtpunktzahl wird nach dem Hölting-Verfahren in 5 Klassen mit den Klassengrenzen 500, 1000, 2000 und 4000 Punkte dargestellt. Aufgrund von Analogievergleichen werden die Gesamtpunktzahlen von DIEPOLDER (1995) mit den Sickerwasserverweilzeiten in der ungesättigten Zone nach Tabelle 8-1 korreliert.

Tab. 8-1: Korrelation von Punktezah nach Hölting mit der Verweildauer des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung.

| Gesamtschutzfunktion | Gesamtpunktzahl S | Größenordnung Verweildauer Sickerwasser in der Grundwasserüberdeckung |
|----------------------|-------------------|---|
| sehr hoch | > 4000 | > 25 Jahre |
| hoch | 2000–4000 | 10–25 Jahre |
| mittel | 1000–2000 | 3–10 Jahre |
| gering | 500–1000 | mehrere Monate bis ca. 3 Jahre |
| sehr gering | < 500 | wenige Tage bis etwa 1 Jahr |

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie fordert eine Charakterisierung der Deckschichten im Hinblick auf den Grundwasserschutz. Entsprechend wurde nach den Vorgaben der LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (2003) von den Staatlichen Geologischen Diensten Deutschlands (SGD) eine deutschlandweite Karte der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung erarbeitet (STAATLICHE GEOLOGISCHE DIENSTE 2005), die aus den Zulieferungen der Karten der geologischen Dienste der einzelnen Bundesländer zusammengesetzt wurde. Das Ergebnis des bayerischen Beitrags dieser Karte der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung ist in Abbildung 8-1 dargestellt.

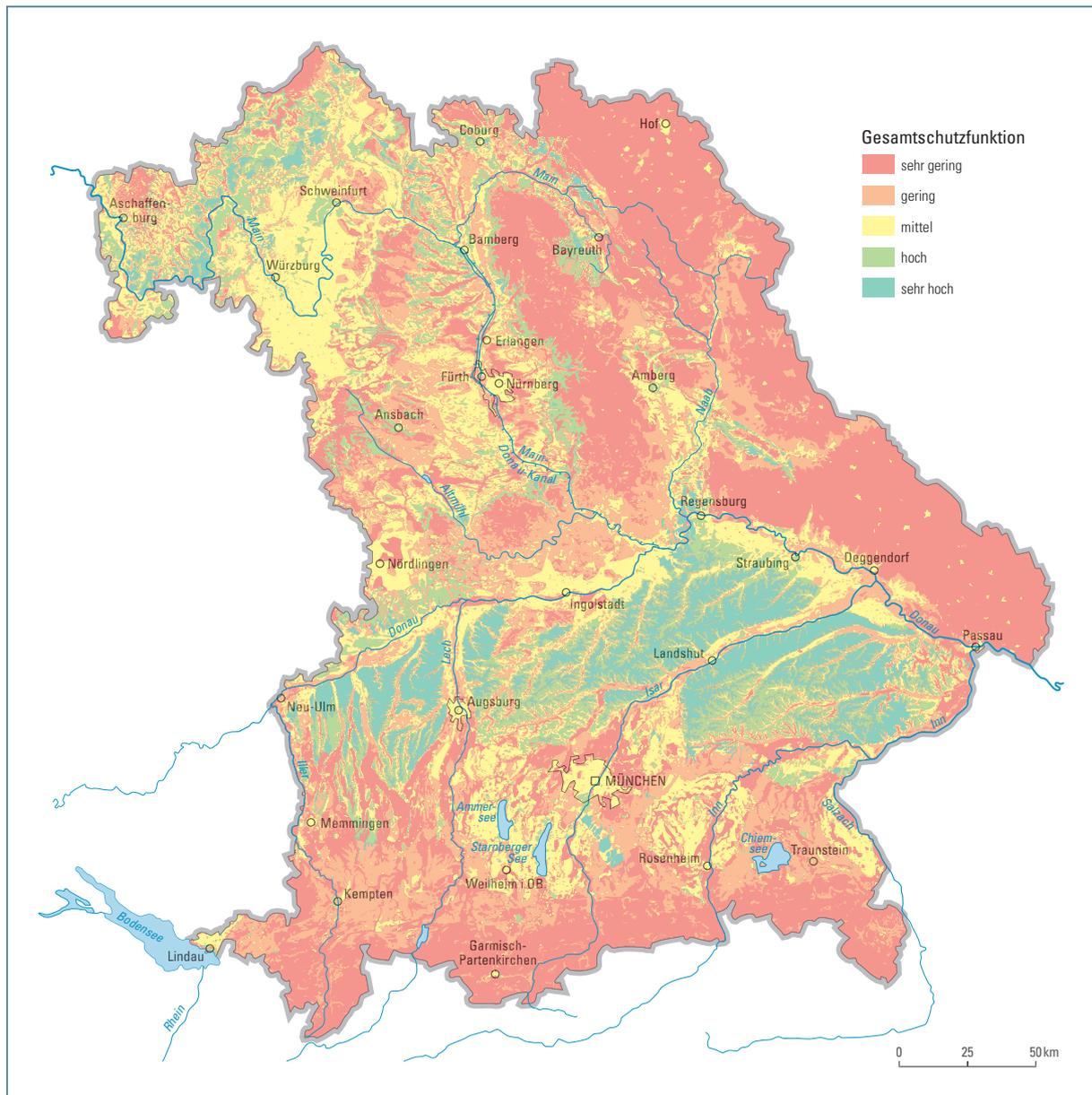


Abb. 8-1: Überblicksdarstellung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung in Bayern.

Für Bayern wurde das Hölting-Verfahren in einem rasterbasierten Ansatz verwendet. Als Rasterzellengrößen wurden 200 x 200 m gewählt, was für den vorgesehenen Übersichtsmaßstab und in Anbetracht methodischer Unschärfen als ausreichende Auflösung anzusehen ist. Die Berechnung erfolgte in ArcGIS.

Grundlage der Karte war für den Aufbau des tieferen Untergrundes die Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland 1:200 000 (HÜK200) (DÖRHÖFER et al. 2001) und für den Boden die Bodenübersichtskarte von Deutschland 1:1 000 000 (HARTWICH et al. 1995). Die benötigte Sickerwasserrate wurde aus der bayernweit vorliegenden Karte des Gesamtabflusses des Deutschen Wetterdienstes (DEUTSCHER WETTERDIENST 1996) abgeleitet. Um daraus den unterirdischen Abfluss zu erhalten, ist der Gesamtabfluss um den Oberflächenabfluss zu reduzieren. Dies erfolgte durch einen pauschalen Abzug des Gesamtabflusses für Acker- und Grasland um 10 %. Bei Wäldern wird der unterirdische Abfluss dem Gesamtabfluss gleichgesetzt.

Der Flurabstand und damit die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung als dem neben der Gesteinsausbildung wichtigsten Parameter zur Bestimmung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung wurde in Bereichen, in denen Grundwassergleichenpläne des oberen Grundwasserstockwerks vorlagen, mittels einer Verschneidung der Geländeoberfläche auf Basis des DGM25 mit der Grundwasseroberfläche errechnet. In Bereichen, die über keine großflächig zusammenhängenden Grundwasserstockwerke verfügen, wie z. B. das Grundgebirge, das Süddeutsche Moränenland oder die Festgesteinsbereiche der Alpen, wurden pauschale Grundwasserflurabstände anhand einer statistischen Auswertung der Angaben zu Grundwasserstandshöhen in der Bohrdatenbank des LfU angesetzt.

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick der Charakteristik der Schutzfunktion für die hydrogeologischen Großräume Bayerns gegeben. Für lokale Fragestellungen verwendbare Karten der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung sind den Kartenwerken zur Hydrogeologischen Karte von Bayern 1:50 000 (HK50) und 1:100 000 (HK100) des LfU zu entnehmen.

Schichtstufen- und Bruchschollenland

Entsprechend den stark unterschiedlichen Gesteinsausprägungen und den sehr unterschiedlichen Grundwasserverhältnissen ist im Schichtstufen- und Bruchschollenland ein lebhafter Wechsel der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung von sehr gering bis sehr hoch zu beobachten. Der obere Grundwasserleiter wird außerhalb der quartären Talfüllungen überwiegend im Festgestein angetroffen. Hierbei handelt es sich um Kluft-, Kluft-Poren- sowie Kluft-Karst-Grundwasserleiter. Festgesteins-Grundwasserleiter weisen in der Regel geringe Verweilzeiten und nur eine geringe Filterfunktion auf. Wo diese Grundwasserleiter an der Oberfläche austreichen, liegt die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung im Bereich sehr gering bis gering. Die geringste Schutzwirkung kommt dabei den Kluft-Karst-Grundwasserleitern zu (Malm der Frankenalb, Muschelkalk). Sandsteine weisen als Kluft-Poren-Grundwasserleiter je nach Bodenausbildung, tektonischer Beanspruchung und Grundwasserflurabstand geringe bis hohe Verweilzeiten auf. Dadurch werden im Buntsandstein Nordwestbayerns sowie im Sandsteinkeuper Mittel- und Oberfrankens bei höheren Flurabständen auch höhere Schutzfunktionen der Grundwasserüberdeckung erreicht. Der Bereich höherer Schutzfunktion in der Kreide der Bodenwöhrer Bucht ist ebenfalls auf flurferne Grundwasserstände des oberen Grundwasserleiters zurückzuführen.

Grundwasser gering leitende Gesteinshorizonte der Festgesteinsabfolge des Schichtstufen- und Bruchschollenlands wie z. B. Tonsteine und Mergelsteine tragen zu einer erhöhten Schutzfunktion

bei, wenn sie die Grundwasserüberdeckung des oberen Grundwasserleiters bilden. Dies gilt z. B. für die Ausstriche des Opalinustons, des Feuerletten oder auch des Burgsandsteins in der sandig-tonigen Heldburg-Fazies. In diesen Bereichen liegt eine hohe bis sehr hohe Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung vor.

Im Schichtstufen- und Bruchschollenland werden bereichsweise Lockergesteins-Deckschichten angetroffen, die zu einer lokal erhöhten Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung beitragen. Hierzu zählen z. B. die Albdecklehme in der Frankenalb und die in Nordbayern verbreiteten Löss- und Flugsande. Die Grundwasservorkommen der quartären Talräume sind wegen der Nähe zum Vorfluter und der damit geringen Flurabstände in Abhängigkeit von der Ausbildung der Talfüllung und des Bodens überwiegend nur sehr gering bis gering geschützt.

Grundgebirge

Im Grundgebirge sind überwiegend Kluft-Grundwasserleiter mit flurnahen Grundwasservorkommen und in der Regel relativ geringmächtigen Deckschichten anzutreffen, so dass meist eine sehr geringe bis geringe Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung vorliegt. Hinsichtlich der Lithologie unterscheiden sich die nur gering metamorphen Gesteine des Frankenwaldes (überwiegend anchimetamorphe Tonschiefer, Phyllite und Grauwacken) deutlich vom restlichen Grundgebirge mit seinen höher metamorphen Gesteinen (vorwiegend Gneise) und Plutoniten (meist Granite). Es liegt kein ausgeprägter Grundwasserstockwerksbau vor, sondern die obere Gesteinseinheit bildet in der Regel den oberen Grundwasserleiter und zur Tiefe hin im Zuge abnehmender Klüftung auch die Sohlschicht. Die Grundwasserflurabstände sind im Grundgebirge überwiegend gering; in den vorfluterfernen Bereichen der Höhenlagen werden Flurabstände im Bereich weniger Zehnermeter festgestellt, die sich zu den Vorflutern hin auf wenige Meter reduzieren. Die Grundwasserführung der Gesteine ist in Abhängigkeit von der Klüftung und dem Verwitterungsgrad der Gesteine sehr heterogen, so dass keine großflächig zusammenhängenden Grundwasservorkommen ausgewiesen werden können. Entsprechend lassen sich die Grundwasserflurabstände nicht mittels eines Gleichenplans flächenhaft ermitteln. Bei der Berechnung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung wurde daher für das Festgestein im Grundgebirge auf pauschale Flurabstandshöhen zurückgegriffen.

Eine höhere Schutzfunktion in der Klasse mittel bzw. teilweise auch hoch wird lediglich in Bereichen mit mächtigeren Deckschichten (vorwiegend Fließerdern) erreicht sowie im Fichtelgebirgs-tertiär und im Braunkohlentertiär. Diese Einheiten verfügen als Lockergesteine mit feinkörnigerer Ausbildung im Bereich der Grundwasserüberdeckung über eine höhere Schutzfunktion als die Festgesteine, wobei auch hier nur relativ geringe Flurabstände vorliegen. Die quartären Grundwasserleiter der größeren Täler weisen wie in den anderen Großräumen auch aufgrund der geringen Flurabstände nur eine sehr geringe bis geringe Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung auf.

Alpenvorland

Die hinsichtlich der Grundwasserführung sehr ergiebigen Quartärschotter verfügen aufgrund der grobkörnigen Gesteinsausbildung nur über ein geringes Rückhaltevermögen für Schadstoffe. Bei gleichzeitig in der Regel geringen Flurabständen ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung hier meist nur als sehr gering bis gering einzustufen. Eine höhere Schutzfunktion wird durch den Einfluss des Bodens im Bereich bindiger Horizonte erreicht.

Ähnliche Verhältnisse herrschen im Süddeutschen Moränenland, wobei hier die geringste Schutzfunktion im Bereich der Quartärschotter vorliegt und eine höhere Schutzfunktion im Bereich der feinkörniger ausgebildeten Moränen. Wo bindige Deckschichten, z. B. in Form von Seetonen, angetroffen werden, kann eine hohe bis sehr hohe Schutzfunktion bestehen.

Im Bereich der Iller-Lech-Schotterplatten und des Tertiären Hügellands werden in den morphologischen Höhenlagen hohe Flurabstände im Bereich mehrerer Zehnermeter bis über hundert Meter erreicht. Hier bilden die tertiären Lockergesteine der Molasse den oberen Grundwasserleiter. Aufgrund der überwiegend feinkörnigen Ausbildung der Gesteinsabfolgen ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung dort hoch bis sehr hoch. Entsprechend stellen die tertiären Ablagerungen des Molassebeckens die größten zusammenhängenden Flächen in Bayern mit hoher bis sehr hoher Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung.

Alpen

Als Kluft- bzw. Kluft-Karst-Grundwasserleiter weisen die Alpen trotz teils sehr hoher Flurabstände bei weitgehend fehlenden bindigen Deckschichten weitflächig nur eine sehr geringe Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung auf. Da jedoch in den Alpen nur geringe anthropogene Stoffeinträge vorliegen, sind die Grundwässer dennoch nur sehr gering anthropogen beeinflusst. Eine höhere Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung liegt überall dort vor, wo die Festgesteine von mächtigeren Lockergesteinsauflagen bedeckt sind. Dies sind im Wesentlichen quartäre Ablagerungen wie Moränen, Schwemmfächer, Schuttkegel oder Hangschutt.

9 Ausblick

Das vorliegende Kartenwerk der HK500 gibt einen Überblick der Hydrogeologie von Bayern nach momentanem Kenntnisstand. Höher aufgelöste hydrogeologische Kartenunterlagen werden am LfU im Rahmen der Hydrogeologischen Landesaufnahme in den Maßstäben 1 : 50 000 und 1 : 100 000 erstellt. Im Jahr 1996 wurde die Hydrogeologische Landesaufnahme in großem Umfang mit dem Ziel begonnen, bis 2015 Bayern flächendeckend im Maßstab 1 : 50 000 zu kartieren. Die Bearbeitung erfolgt in Projekten innerhalb der Planungsregionen in Bayern. Von den fertig gestellten Planungsregionen werden jeweils Übersichtskarten als Inselkarten im Maßstab 1 : 100 000 mit einem Erläuterungsband gedruckt.

Derzeit liegen die Planungsregionen Oberfranken West (KUS et al. 2007), Ingolstadt (BÜTTNER et al. 2003) und Landshut (KAINZMAIER et al. 2007) vor. In Endbearbeitung befinden sich die Planungsregionen Oberfranken Ost und Donau-Wald. In derzeit laufenden Projekten werden die Planungsregionen Oberpfalz-Nord, Industrieregion Mittelfranken, Westmittelfranken, Augsburg Nord, Regensburg, Oberland Ost und Südostoberbayern bis Ende 2011 bearbeitet.

Nach den gegenwärtigen Planungen kann die flächendeckende Hydrogeologische Landesaufnahme in Bayern im Jahr 2015 wie vorgesehen abgeschlossen werden. Damit stehen dann über die hier vorgelegte Überblicksdarstellung hinaus für ganz Bayern detaillierte hydrogeologische Kartengrundlagen zur Verfügung. Der aktuelle Stand der Hydrogeologischen Landesaufnahme kann im Internetauftritt des LfU unter „Geologie >> Forschung und Projekte >> Hydrogeologische Landesaufnahme >> Projektstand“ abgerufen werden.

Literatur

- AD-HOC ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE [Hrsg.] (2009): Hydrogeologische Kartieranleitung – Erste Fortschreibung: Bausteine für ein Fachinformationssystem Hydrogeologie. – Geol. Jb., Hannover (in Druckvorbereitung).
- APEL, R. & BÜTTNER, G. (1995): Nördliche Frankenalb – Hydrogeologie. – 119 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- APEL, R. & FAUTH, H. (1977): Hydrogeologische Verhältnisse. – in: BAUBERGER, W.: Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7046 Spiegelau und zum Blatt Nr. 7047 sowie zu den nördlichen Anteilen der Blätter Nr. 7146 Grafenau und Nr. 7147 Freyung. – Nationalpark Bayerischer Wald: 137–153, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- ARMBRUSTER, V. (2002): Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg. – Freiburger Schriften zur Hydrologie, **17**: 141 S, Freiburg.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1996): Geologische Karte von Bayern 1:500 000. – Mit Erläuterungen, 4. Aufl.: 329 S., München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT [Hrsg.] (1980): Das natürliche Grundwasserdargebot in Bayern im Vergleich zu den Hauptkomponenten des Wasserkreislaufs. – Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, **13**: 13 S., München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT [Hrsg.] (1985): Grundwassergleichenkarte von Bayern 1:500 000. – Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, **20**: 40 S., München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT [Hrsg.] (1987): Die Grundwasserneubildung in Bayern. Berechnet aus den Niedrigwasserabflüssen der oberirdischen Gewässer. – Informationsberichte Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, **3/87**: 86 S., München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT [Hrsg.] (1996): Die Grundwasserneubildung in Bayern. Berechnet aus den Niedrigwasserabflüssen der oberirdischen Gewässer. – Informationsberichte Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, **5/96**: 65 S., München.
- BJÖRNSEN (1982): Untersuchung der Grundwasserverhältnisse in der Münchener Schotterebene. – Gutachten Dr.-Ing. G. Bjørnsen, Koblenz (unveröff.).
- BJÖRNSEN (1986): Grundwasserverhältnisse und Grundwassernutzung im südöstlichen Teil der Münchener Schotterebene. – Gutachten Dr.-Ing. G. Bjørnsen, Koblenz (unveröff.).
- BJÖRNSEN (2008): Hochwasserschutz Unteres Mangfalltal – Hochwasserrückhaltebecken Feldolling Entwurfsplanung – Grundwassermodell. – Gutachten Bjørnsen Beratende Ingenieure GmbH, Koblenz (unveröff.).
- BLASY & ØVERLAND (2007): Fortschreibung des Hydrogeologischen Modells und Numerischen Modells – Flughafen München GmbH. – Gutachten Dr. Blasy & Dr. Øverland, Beratende Ingenieure GmbH, Eching am Ammersee (unveröff.).

- BÜTTNER, G., DIEPOLDER, G.W., DOBNER, A., FRITZER, T., PUKOWIETZ, C., SETTLES, E., SPÖRLEIN, T. & WAGNER, B. (2002): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 10 Ingolstadt – Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte 1:100 000. – 127 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BÜTTNER, G., PAMER, R. & WAGNER, B. (2003): Hydrogeologische Raumgliederung von Bayern. – GLA-Fachberichte, **20**: 85 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1996): Agrar- und Umweltklimatologischer Atlas von Bayern 1:1 000 000. – o. S., Weihenstephan.
- DICKOPF, B. & DIEPOLDER, G.W. (1997): Hydrogeologische Karte 1:50 000 – Blatt L6738 Schwandorf. – München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DIEPOLDER, G.W. (1995): Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Grundlagen – Bewertung – Darstellung in Karten. – GLA-Fachberichte **13**: 5–79, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DIEPOLDER, G.W. (1996): Hydrogeologische Karte 1:50 000 – Blatt L6728 Ansbach. – München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DIN 4049-3 (1994): Hydrologie – Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. – 81 S., Berlin (Beuth).
- DÖRHÖFER, G., HANNAPPEL, S. & VOIGT, H.-J. (2001): Die hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland (HÜK200). – Z. angew. Geol., **47**: 153–159, Hannover.
- GALADI-ENRIQUEZ, E., KROEMER, E., LOTH, G., PÜRNER, T., RAUM, G., TEIPEL, U. & ROHRMÜLLER, H. (2009): Erdgeschichte des Oberpfälzer Waldes – Geologischer Bau, Gesteine, Sehenswürdigkeiten. – 110 S., Augsburg (Bayerisches Landesamt für Umwelt).
- GEOTECHNISCHES BÜRO (1996): Fachplanung Lech/Teil1: Darstellung der Grundwasserverhältnisse – Grundwasserstandsänderungen links des Lechs zwischen Staustufe 19 und 23 und ihre Ursachen. – Gutachten Geotechnisches Büro Prof. Dr. Schuler und Dr.-Ing. Gödecke, Augsburg (unveröff.).
- GEOTECHNISCHES BÜRO (1998): Detailmodell zur Bilanzierung des Thermalwasservorkommens im niederbayerisch-oberösterreichischen Molassebecken – Hydrogeologisches Modell und Thermalwasserströmungsmodell. – Gutachten Geotechnisches Büro Prof. Dr. Schuler und Dr.-Ing. Gödecke, Augsburg (unveröff.).
- GEYER, G. & SCHMIDT-KALER, H. (2009): Den Main entlang durch das Fränkische Schichtstufenland. – Wanderungen durch die Erdgeschichte, **23**: 208 S., München (Pfeil-Verlag).
- HARTWICH, R., BEHRENS, J., ECKELMANN, W., HAASE, G., RICHTER, A., ROESCHMANN, G. & SCHMIDT, R. (1995): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1 000 000 (BÜK1000). – Erläuterungen und Textlegende (Beiheft zur Karte), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- HEEMSKERK, K. & PITSCHKA, B. (2002): Hydrogeologisch-hydrochemische Untersuchungen im Baunacheinzugsgebiet – Haßberg, Rhön-Grabfeld. – Gutachten, Schweinfurt (unveröff.).

- HG (1993): Grundwasserbilanzen im Mittelfränkischen Sandsteinkeuper. Hydrogeologische Untersuchungen und numerisches Grundwassermodell für den Benker Sandstein. – Gutachten HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Lich (unveröff.).
- HG (1996): Grundwasserbilanz im Benker Sandstein. Hydrogeologische Untersuchungen zur Fortschreibung des GwModells Benker Sandstein (1. Fortschreibung (1994/1995)). – Gutachten HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Lich (unveröff.).
- HG (2003): Studie zur Nutzung von Grundwässern aus dem überdeckten Sandsteinkeuper im südlichen Mittelfranken – Grundwassermodell. – Gutachten HG Büro für Hydrogeologie und Umweltfragen GmbH, Gießen (unveröff.).
- HÖLTING, B., HAERTLE, T., HOHBERGER, K.-H., NACHTIGALL, K.H., VILLINGER, E., WEINZIERL, W., & WROBEL, J.-P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. – Geol. Jb., **C63**: 5–24, Hannover.
- HYDROCONSULT (2003a): Grundwasserströmungsmodell Königsbrunn. – Gutachten HydroConsult Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Geohydraulik und Geothermie GmbH, Augsburg (unveröff.).
- HYDROCONSULT (2003b): Tertiärgrundwasserstudie im Raum Augsburg – Studie zur Grundwasserbilanzierung. – Gutachten HydroConsult Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Geohydraulik und Geothermie GmbH, Augsburg (unveröff.).
- IFU (2003): Grundwassermodell östlicher Landkreis Roth; Teilbereich Hydrogeologisches Modell, Ergänzung zur Basisstudie vom 30.04.1998. – Gutachten, Institut für Umweltschutz Boden-Wasser-Luft GmbH, Schwaig (unveröff.).
- IGwU (2007): Hydrogeologisches Modell für den Bereich des Unteren Mangfalltales zwischen Vagen und Pullach. – Gutachten IGwU GmbH Ingenieurbüro für Grundwasser und Umweltfragen, Markt Schwaben (unveröff.).
- JANKIEWICZ, P., NEUMANN, J., DUIJNISVELD, W.H.M., WESSOLEK, G., WYCISK, G. & HENNINGS, V. (2005): Abflusshöhe, Sickerwasserrate, Grundwasserneubildung – Drei Themen im Hydrologischen Atlas von Deutschland. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, **49/1**: 2–13, Koblenz.
- KAINZMAIER, B., THOM, P., WROBEL, M., PUKOWIETZ, C., LISCHIED, G. & PAMER, R. (2007): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 13 Landshut – Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte 1:100 000. – 232 S., Augsburg (Bayerisches Landesamt für Umwelt).
- KILLE, K. (1970): Das Verfahren MoMnQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. – Z. Dt. Geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrochem.: 89–95, Hannover.
- KOBUS & PARTNER (2007): Grundwassermodell Genderkingen/Oberndorf. – Gutachten Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner – KUP GmbH, Stuttgart (unveröff.).
- KUS, G., SIEBLITZ, S., WILFERTH, T., PUKOWIETZ, C., LISCHIED, G. & PAMER, R. (2007): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 4 Oberfranken West – Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte 1:100 000. – 224 S., Augsburg (Bayerisches Landesamt für Umwelt).

- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (2003): Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. – 139 S., <http://www.lawa.de/pub/download.html>.
- MORHARD, A. (2009): Kurzbeschreibung des Modells GWN-BW und Erweiterungen in Version 2.0. – Unveröffentlichte Beilage zur aktuellen Programmversion: 25 S., GIT HydroS Consult GmbH, Freiburg.
- NEUMANN, J. (2005): Flächendifferenzierte Grundwasserneubildung von Deutschland – Entwicklung und Anwendung des Verfahrens HAD-GWNeu. – Diss. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg: 137 S., Halle.
- NEUMANN, J. & WYCISK, P. (2003): Atlastafel 5.5 Mittlere Jährliche Grundwasserneubildung. – in: BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT [Hrsg.] (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD), 3. Lieferung, Bonn.
- RAUM, K.D. (2002): Markierungstechnische, bruchtektonisch-gefügekundliche und fotogeologische Untersuchungen zur Ermittlung der Grundwasserfließverhältnisse in der Verwitterungszone kristalliner Gesteine in Quellgebieten des Oberpfälzer/Bayerischen Waldes (Ost-Bayern/Deutschland). – Diss. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg: 239 S., Erlangen.
- REGIERUNG VON UNTERFRANKEN & REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT (1999): Rahmenuntersuchung zu den Grundwasserverhältnissen im bayerisch-hessischen Maingebiet. – Würzburg, Darmstadt.
- SCHULZE, M. (2007): Hydrogeologische Karte 1 : 50 000 – Blatt L6334 Pegnitz (Entwurf). – Augsburg (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (unveröff.).
- SCHWERD, K. (1996): Alpen. – in: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.] (1996): Geologische Karte von Bayern 1 : 500 000. – Mit Erläuterungen, 4. Aufl.: 266–279, München.
- STAATLICHE GEOLOGISCHE DIENSTE (2005): Europäische Wasserrahmenrichtlinie – Charakterisierung der Deckschichten. – https://www.bgr.de/_FISHy_BGR/.
- STOBER, I. (1995): Die Wasserführung des kristallinen Grundgebirges. – 191 S., Stuttgart (Enke).
- STRUCKMEIER, W.F. & MARGAT, J. (1995): Hydrogeological Maps: A Guide and a Standard Legend. – Int. Con. Hydrogeology, **17**: 177 S., Hannover.
- TGU (1992): Grundwasserverhältnisse im unteren Illertal – Untersuchungen mit einem mathematischen Modell. – Gutachten TGU Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH, Koblenz (unveröff.).
- TGU (1995): Wasserschutzgebiet „Illeraue“ – Modellgestützte Untersuchungen der Grundwasserströmungsverhältnisse. – Gutachten TGU Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH, Koblenz (unveröff.).
- TGU (2002): Wasserwirtschaftlich-ökologische Entwicklung der Iller Fl. km 9.242 bis 17.000 – Grundwasserhydraulische Untersuchungen. – Gutachten TGU Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH, Koblenz (unveröff.).

- UDLUFT, P., BÜHLMEIER, C., SCHÄFER, U., WIMMER, M., KUS, G., AULBACH, E. & WINTER, J. (2000): Das Grundwasser im schwäbischen Donautal. – Schriftenreihe der Bayer. Sand- und Kiesindustrie, **11/2000**: 102 S., München.
- UMWELTAMT NÜRNBERG (2000): Grundwasserbericht 2000: Boden- und Grundwasserschutz in Nürnberg. – Umweltamt Stadt Nürnberg, Nürnberg (unveröff.).
- WAGNER, B., TÖPFNER, C., LISCHIED, G., SCHOLZ, M., KLINGER, R. & KLAAS, P. (2003): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns. – GLA-Fachberichte, **21**: 250 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WASSERWIRTSCHAFTSAMT TRAUNSTEIN (2002): Sanierung Untere Salzach: Umweltverträglichkeitsstudie – Materialband – Arbeitspapiere zur Umweltverträglichkeitsstudie. – Gutachten, Traunstein (unveröff.).
- WATEC (1991): Hydrogeologisches Gutachten für die Pockinger Heide. – Gutachten WATEC Ingenieurgesellschaft für Hydrogeologie und Hydrochemie, Markt Schwaben (unveröff.).
- ZOSSEDER, K. (2007): Grundwassergleichenplan Donauquartär für die Hydrogeologische Karte 1 : 100 000 Planungsregion 12 Donau-Wald (Entwurf). – Augsburg (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (unveröff.).

Die Hydrogeologische Karte von Bayern 1 : 500 000 gibt einen Überblick der hydrogeologischen Eigenschaften der Gesteine Bayerns, deren Grundwasserführung und –dynamik sowie der Grundwasserneubildung aus Niederschlag im langjährigen Mittel.

Bayern ist aus hydrogeologischer Sicht in vier Großräume zu gliedern:

- Im Nordwesten liegt das **Schichtstufen- und Bruchschollenland**, das überwiegend aus mesozoischen Sedimentgesteinen aufgebaut ist. Die Vielzahl unterschiedlicher Gesteinslagen sorgt für den dort typischen hydrogeologischen Stockwerksbau.
- Im **Grundgebirge** in Ost- und Nordostbayern sowie im Spessart dominieren metamorphe und magmatische Gesteine, die kaum Grundwasser führen. Vorwiegend in den Verwitterungszonen und entlang der Flusstäler sind größere Grundwasservorkommen zu finden.
- Das **Alpenvorland** zwischen dem Alpenrand und der Donau ist überwiegend von Lockergesteinen aus dem Tertiär und Quartär geprägt. Kiesige und sandige Gesteinshorizonte enthalten hier häufig ergiebige Grundwasservorkommen.
- Die **Alpen** mit ihrem komplizierten geologischen Bau bieten auf engem Raum sehr unterschiedliche hydrogeologische Verhältnisse. Besondere Bedeutung haben die mächtigen Grundwasser führenden Talfüllungen der Haupttäler.