

Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau

Titelbild: Karte der Hydrogeologischen Einheiten in Baden-Württemberg (Legende vgl. S. 12: Tab. 2.1-1).



Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg

Bearbeitung:

HANS PLUM, JORIS ONDREKA & VOLKER ARMBRUSTER

Mit Beiträgen der

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Referats 94,
Abteilung 9, Regierungspräsidium Freiburg:
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau

LGRB-Informationen	20	106 S.	79 Abb.	21 Tab.	1 Kt.	Freiburg i. Br. März 2008
--------------------	-----------	--------	---------	---------	-------	------------------------------



ISSN 1619-5329 LGRB-Informationen

Herausgeber: REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG – Abteilung 9
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
Albertstraße 5, 79104 Freiburg i. Br.
Telefon: (07 61) 208-30 00
Telefax: (07 61) 208-30 29
E-Mail: abteilung9@rpf.bwl.de
Internet: <http://www.rp-freiburg.de>

Bearbeitung: Dr. HANS PLUM, JORIS ONDREKA & Dr. VOLKER ARMBRUSTER

Mit Beiträgen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Referats 94, Abteilung 9
(alle RPF-LGRB)

Redaktion: Dipl.-Ing. (FH) Bettina Schmücking (RPF-LGRB)

Graphik: Dr. VOLKER ARMBRUSTER, JORIS ONDREKA und BETTINA SCHMÜCKING (alle RPF-LGRB)

DTP: BRIGITTE WOLF (RPF-LGRB)

Druck: e. kurz + co Gmbh, Kernerstraße 5, 70182 Stuttgart

Ausgabe: März 2008

© Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Übersetzung, Nachdruck, Vervielfältigung auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.



Vorwort

Die geologische Vielfalt des Untergrundes von Baden-Württemberg spiegelt sich auch in den hydrogeologischen Verhältnissen wider. Neben den eiszeitlich geformten, ergiebigen Porengrundwasserleitern im Oberrheingraben und im Alpenvorland gibt es ausgedehnte Kluftgrundwasserleiter im Schichtstufenland Württembergs und Nordbadens sowie mächtige Karstgrundwasserleiter, beispielsweise in den Gesteinen des Oberjuras der Schwäbischen Alb. Daneben sind in weiten Teilen des Landes Grundwassergeringleiter verbreitet, so im Schwarzwald und im Odenwald.

Im Rahmen der hydrogeologischen Landesaufnahme und Beratungstätigkeit hat das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Abteilung 9 des Regierungspräsidiums Freiburg) in der Vergangenheit eine Fülle von Daten und Informationen über die hydrogeologischen Verhältnisse in allen Landesteilen zusammengetragen, regionalisiert und ausgewertet. Neben den charakteristischen, individuellen Eigenschaften der einzelnen Grundwasservorkommen treten bei der landesweiten, synoptischen Betrachtung auch deren Gemeinsamkeiten deutlich hervor.

Die vorliegende Übersicht hat zum Ziel, diese charakteristischen Eigenschaften der verschiedenen Gesteine in der Gesamtschau zu dokumentieren. Die modernen digitalen Arbeits- und Auswertetechniken waren dabei eine unersetzliche Hilfe, um die Fülle der Erkenntnisse systematisch zu erschließen und landesweit auszuwerten.

Angesichts der großen Bedeutung, die dem Grundwasser in Baden-Württemberg als Trink-, Mineral- und Heilwasser zukommt, und der möglichen Gefährdungen durch verschiedenartige Landnutzungen an der Erdoberfläche ist die Erforschung des Untergrundes und der darin zirkulierenden Grundwässer ein unverzichtbarer Bestandteil einer langfristigen und nachhaltigen Daseinsvorsorge.

Prof. Dr. Ralph Watzel
Abteilungsleiter





Inhalt

1	Einleitung	9
2	Hydrogeologische Einheiten	11
2.1	Definition	11
2.2	Karte der hydrogeologischen Einheiten	13
2.3	Beschreibung der hydrogeologischen Einheiten: Methodik	13
	<i>Literatur</i>	14
	Weiterführende Informationen	14
3	Beschreibung der hydrogeologischen Einheiten	20
3.1	Quartäre und jungtertiäre Deckschichten (Hy 1)	20
3.1.1	Definition, Verbreitung	20
3.1.2	Geologie	20
3.1.3	Hydrogeologie	23
	<i>Literatur</i>	24
3.2	Quartäre Beckensedimente, Moränensedimente und tiefgründig verwitterte Deckenschotter (Hy 2)	24
3.2.1	Verbreitung	24
3.2.2	Geologie	24
3.2.3	Hydrogeologie	25
	<i>Literatur</i>	26
3.3	Quartäre/Pliozäne Kiese und Sande im Oberrheingraben (Hy 3)	26
3.3.1	Verbreitung	26
3.3.2	Geologie	26
3.3.3	Hydrogeologie	29
3.3.4	Hydrologie	31
3.3.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	32
	<i>Literatur</i>	33
3.4	Fluvioglaziale Kiese und Sande im Alpenvorland (Hy 4)	33
3.4.1	Verbreitung	33
3.4.2	Geologie	34
3.4.3	Hydrogeologie	35
3.4.4	Hydrologie	37
3.4.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	38
	<i>Literatur</i>	38
3.5.	Jungquartäre Flusskiese und -sande (Hy 5)	38
3.5.1	Verbreitung	38
3.5.2	Geologie	39
3.5.3	Hydrogeologie	39
3.5.4	Hydrologie	41
3.5.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	42
	<i>Literatur</i>	42



3.6	Junge Magmatite (Hy 6)	42
3.6.1	Verbreitung	42
3.6.2	Geologie	42
3.6.3	Hydrogeologie	42
	<i>Literatur</i>	43
3.7	Tertiär im Oberrheingraben (Hy 7)	43
3.7.1	Verbreitung	43
3.7.2	Geologie	44
3.7.3	Hydrogeologie	44
	<i>Literatur</i>	45
3.8	Obere Meeresmolasse (Hy 8)	45
3.8.1	Verbreitung	45
3.8.2	Geologie	46
3.8.3	Hydrogeologie	47
3.8.4	Hydrologie	47
3.8.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	48
	<i>Literatur</i>	48
3.9	Übrige Molasse (Hy 9)	49
3.9.1	Verbreitung	49
3.9.2	Geologie	49
3.9.3	Hydrogeologie	50
	<i>Literatur</i>	50
3.10	Oberjura, schwäbische Fazies (Hy 10)	50
3.10.1	Verbreitung	50
3.10.2	Geologie	50
3.10.3	Hydrogeologie	52
3.10.4	Hydrologie	57
3.10.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	59
	<i>Literatur</i>	59
3.11	Oberjura, raurazische Fazies (Hy 11)	60
3.11.1	Verbreitung	60
3.11.2	Geologie	60
3.11.3	Hydrogeologie	61
3.11.4	Hydrologie	61
	<i>Literatur</i>	62
3.12	Oberjura, helvetische Fazies (Hy 12)	62
3.12.1	Verbreitung	62
3.12.2	Geologie	62
3.12.3	Hydrogeologie	63
	<i>Literatur</i>	63
3.13	Mittel- und Unterjura (Hy 13)	63
3.13.1	Verbreitung	63
3.13.2	Geologie	64
3.13.3	Hydrogeologie	65
3.13.4	Hydrologie	66
3.13.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	66
	<i>Literatur</i>	66



3.14	Oberkeuper und oberer Mittelkeuper (Hy 14)	67
3.14.1	Verbreitung	67
3.14.2	Geologie	67
3.14.3	Hydrogeologie	68
3.14.4	Hydrologie	69
3.14.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	70
	<i>Literatur</i>	71
3.15	Gips- und Unterkeuper (Hy 15)	71
3.15.1	Verbreitung	71
3.15.2	Geologie	72
3.15.3	Hydrogeologie	72
3.15.4	Hydrologie	73
3.15.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	74
	<i>Literatur</i>	74
3.16	Oberer Muschelkalk (Hy 16)	74
3.16.1	Verbreitung	74
3.16.2	Geologie	75
3.16.3	Hydrogeologie	77
3.16.4	Hydrologie	79
3.16.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	80
	<i>Literatur</i>	80
3.17	Mittlerer Muschelkalk (Hy 17)	81
3.17.1	Verbreitung	81
3.17.2	Geologie	81
3.17.3	Hydrogeologie	82
	<i>Literatur</i>	82
3.18	Unterer Muschelkalk (Hy 18)	83
3.18.1	Verbreitung	83
3.18.2	Geologie	83
3.18.3	Hydrogeologie	84
3.18.4	Hydrologie	84
3.18.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	85
	<i>Literatur</i>	85
3.19	Oberer Buntsandstein (Hy 19)	85
3.19.1	Verbreitung	85
3.19.2	Geologie	85
3.19.3	Hydrogeologie	85
3.19.4	Hydrologie	86
	<i>Literatur</i>	87
3.20	Mittlerer und Unterer Buntsandstein (Hy 20)	87
3.20.1	Verbreitung	87
3.20.2	Geologie	88
3.20.3	Hydrogeologie	88
3.20.4	Hydrologie	90
3.20.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	90
	<i>Literatur</i>	91



3.21	Paläozoikum, Kristallin (Hy 21)	91
3.21.1	Verbreitung	91
3.21.2	Geologie	92
3.21.3	Hydrogeologie	92
3.21.4	Hydrologie	93
3.21.5	Geogene Grundwasserbeschaffenheit	94
	<i>Literatur</i>	95
3.22	Trias, ungegliedert (Hy 22)	95
3.22.1	Verbreitung	95
3.22.2	Geologie	95
3.22.3	Hydrogeologie	95
4	Ergiebigkeiten der hydrogeologischen Einheiten	96
4.1	Einführung	96
4.1.1	Langfristige Ergiebigkeit	96
4.1.2	Technische Ergiebigkeit	96
4.1.3	Transmissivität	96
4.1.4	Betrachtungsmaßstab	97
4.1.5	Saisonale und langfristige Schwankungen	97
4.1.6	Fazit	97
4.2	Methodik	98
4.3	Regionale Bewertung	99
	<i>Literatur</i>	99
5	Geogene Grundwassertypen	101
5.1	Einführung	101
5.2	Grundlagen und Methoden	101
5.2.1	Datenauswahl	101
5.2.2	Hydrogeochemische Klassifikation	102
5.3	Karteninhalt	103
5.4	Hinweise zur Nutzung der Karte	105
	<i>Literatur</i>	105
	Abkürzungen	106



1 Einleitung

Die Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg (HGK) „Grundwasserlandschaften“ aus dem Jahr 1985 gab zum ersten Mal eine Übersicht über die hydrogeologischen Verhältnisse des Landes (HGK 1985). Die Grundwasserlandschaft wurde damals als „ein Gebiet mit geologisch-morphologisch einheitlichem Charakter“ definiert, dessen „hydrogeologische Eigenschaften von einem oder mehreren gleichartigen, oberflächennahen Grundwasserleitern und den diese voneinander trennenden Nicht- oder Geringleitern geprägt werden“. Kriterien für die Abgrenzung waren u. a. die petrographische Ausbildung der Gesteine, die Art der Grundwasserleiter (Poren-, Kluft-, Karstgrundwasserleiter), die geohydraulischen Gegebenheiten, die hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer sowie ihre Empfindlichkeit gegen anthropogene Belastungen. Grundwasserlandschaften in diesem Sinne sind Naturräume, die jeweils charakteristische geologische, hydrogeologische und hydrologische Eigenschaften besitzen.

Weitere landesweite hydrogeologische Übersichtsdarstellungen wurden im Jahr 1996 als Grundlage zur Aktualisierung des Landschaftsrahmenplans in Baden-Württemberg erstellt (GLA 1996, CD-ROM Geowissenschaftliche Übersichtskarten von Baden-Württemberg 1 : 350 000, 1998). Zu den bearbeiteten Themen gehören u. a. die „Durchlässigkeit der oberen grundwasserführenden hydrogeologischen Einheiten“, die „Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung“ sowie „Hydrogeologische Einheiten und zugehörige gesteinsgebundene Grundwasserbeschaffenheit“. Im Anschluss an dieses Projekt wurde noch eine Karte erstellt, die die „Ergiebigkeit der hydrogeologischen Einheiten“ zeigt. Alle Darstellungen basieren auf den Geometrien der digitalen Geologischen Übersichtskarte 1 : 500 000 (GÜ 500) und zeigen die Gesteine bzw. Gesteinseigenschaften im Ausbiss.

Eine erneute Überarbeitung erfolgte in den Jahren 2000, 2001 und 2002 (LGRB im Auftrag und mit finanzieller Unterstützung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, UVM). Anlass war die Veröffentlichung der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rats „zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“ im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften im Januar 2000. Ziele dieser sogenannten EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) sind, bezogen auf das Grundwasser, die Erhaltung und in Problemgebieten die Wiederherstellung eines guten qualitativen und quantitativen Grundwasserzustands. Landesweite

hydrogeologische Informationen wurden sowohl bei der Erstbeschreibung der Grundwasserkörper als auch bei der weitergehenden Beschreibung der Problemgebiete benötigt.

Die bisher letzte Ausarbeitung behandelt die Grundwasserhöflichkeit der hydrogeologischen Einheiten in Baden-Württemberg im Rahmen des Projekts „Hydrogeologische Grundlagen für eine Optimierung der Wasserversorgung aus Grundwasser“ (LGRB 2005).

Neben diesen landesweiten Auswertungen wurden in den letzten Jahren im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierungen und Hydrogeologischen Erkundungen (Abb. 1-1) große Anstrengungen unternommen, die hydrogeologischen Grundlagendaten systematisch in Datenbanken zu erfassen. So sind mittlerweile die Pumpversuchsergebnisse weitgehend digital archiviert und ermöglichen repräsentative statistische Auswertungen. Bei ausreichender Datendichte (im Oberrheingraben) ist die Konstruktion von räumlichen Verteilungen der Durchlässigkeit möglich. Mit der digitalen Archivierung der Markierungsversuche und der Ermittlung der geogenen hydrochemischen Hintergrundwerte wurde begonnen. Eine weitere wichtige Informationsquelle ist die hydrogeologische Beratungstätigkeit des LGRB und dort insbesondere die mehr als 1 500 Gutachten zur Abgrenzung von Wasserschutzgebieten, die seit 1989 erstellt wurden.

Parallel zu diesen Aktivitäten wurde das Konzept der hydrogeologischen Landesaufnahme erweitert. Während bisher die Sicht auf den Untergrund überwiegend zweidimensional war und die Verhältnisse an der Erdoberfläche dargestellt wurden, sieht die neue Konzeption eine dreidimensionale Modellierung der Untergrundstrukturen vor, wie sie für das Verständnis hydrogeologischer Zusammenhänge letztlich erforderlich ist. Des Weiteren ersetzen digitale Werkzeuge und Darstellungsmethoden (Datenbanken, Geographische Informationssysteme, Graphikprogramme) zunehmend die analogen Medien.

Der Kenntnisstand hat sich gegenüber der Beschreibung der Grundwasserlandschaften im Jahr 1985 zwischenzeitlich so stark erweitert, dass es gerechtfertigt erscheint, eine neue Übersicht über die hydrogeologischen Einheiten Baden-Württembergs vorzulegen. Ein besonderes Anliegen dabei ist, diese auch Laien verständlich zu machen.

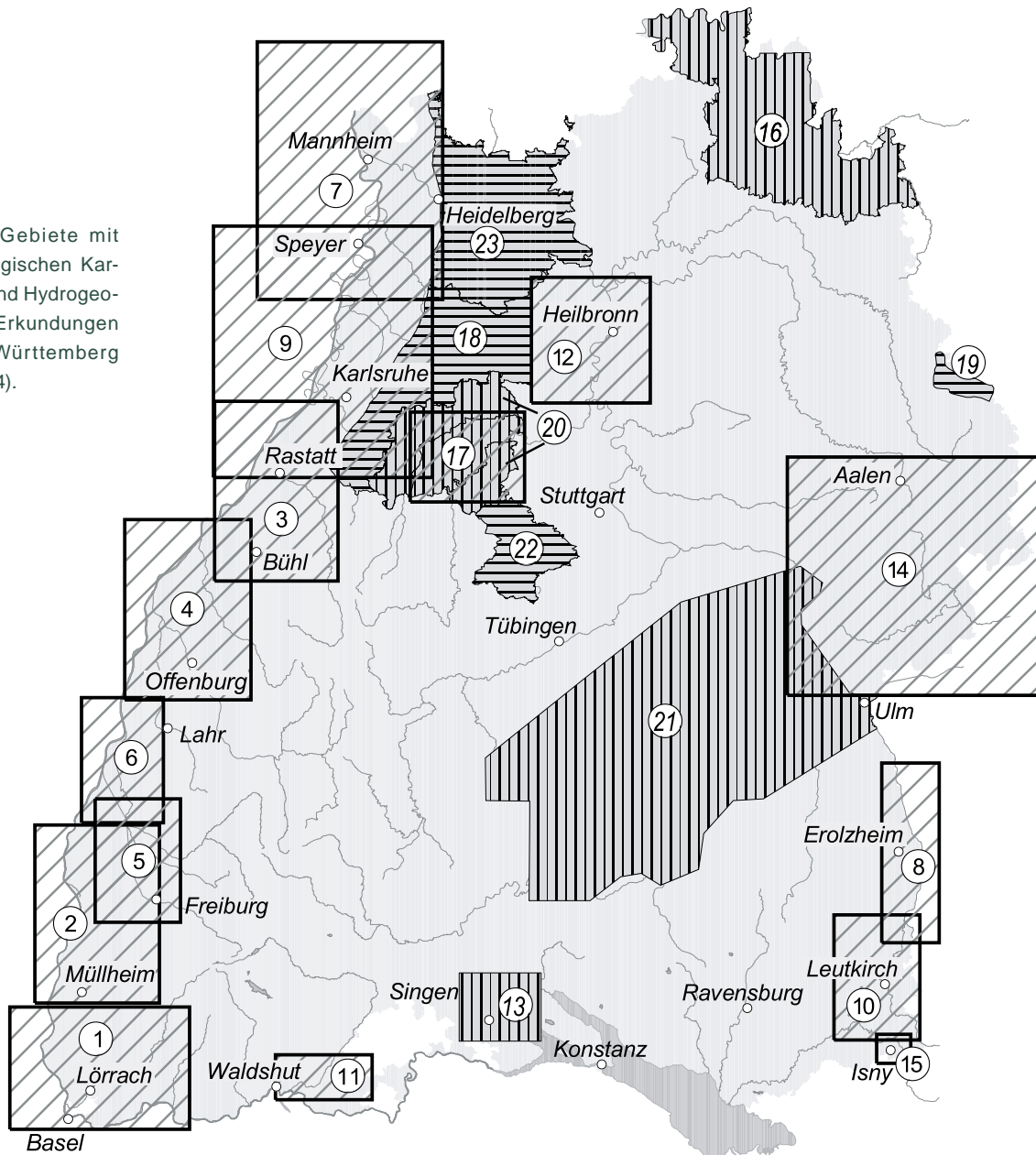
Die hydrogeologischen Verhältnisse in Baden-Württemberg werden anhand von drei Übersichtskarten erläutert. Die Karte der hydrogeologischen Einheiten steht im Zentrum der Betrachtung und wird

ergänzt durch eine steckbriefartige Beschreibung der einzelnen Einheiten. Gesondert betrachtet und in eigenen Karten dargestellt werden die Ergiebigkeit der hydrogeologischen Einheiten und die geogenen Grundwassertypen.

Die Grundlagen anderer Fachbereiche (wie der Geologie) sind zum Verständnis dieser Erläuterungen ebenfalls hilfreich. So enthält das Verzeichnis der

Geologischen Einheiten, der „Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg“, die zur stratigraphischen Einordnung in den Texten erwähnten geologischen Einheiten und Kürzel. Die „Farbtafel Geologische Übersicht der Schichtenfolge in Baden-Württemberg“ bietet eine Übersicht der Geologischen Schichtenfolge in Baden-Württemberg. Hinweise zu weiterführenden Informationen auf den Internetseiten des LGRB sind im Schlussteil von Kap. 2 (S. 14) zu finden.

Abb. 1-1 Gebiete mit Hydrogeologischen Kartierungen und Hydrogeologischen Erkundungen in Baden-Württemberg (Stand 2004).



Hydrogeologische Kartierung (HGK)

bisher erschienen

Hydrogeologische Erkundung (HGE)

bisher erschienen in Bearbeitung

- | | | |
|---|--|---|
| 1 Dinkelberg-Hochrhein (1975) | 9 Karlsruhe-Speyer (1988) | 17 Enztal-Pforzheim - Mappe 1 (1999),
Mappe 2 (2002), Mappe 3 (2004) |
| 2 Kaiserstuhl-Markgräflerland (1978) | 10 Leutkircher Heide (1990) | 18 Kraichgau |
| 3 Raum Rastatt (1978) | 11 Klettgau (1992) | 19 Rotach-/Gerbachtal |
| 4 Bühl-Offenburg (1979) | 12 Heilbronner Mulde (1994) | 20 Enzkreis - Mappe 1 (2004) |
| 5 Freiburger Bucht (1979) | 13 Singen - Mappe 1 (2005) | 21 Mittlere Alb - Mappe 1 (2003) |
| 6 Raum Lahr (1980) | 14 Ostalb (2002) | 22 Würm-Schwippe |
| 7 Rhein-Neckar-Raum - Stufe 1 (1980)
- Stufe 2 (1987) - Stufe 3 (1999) | 15 Isny | 23 Odenwald/nördl. Kraichgau |
| 8 Erolzheimer Feld (1979) | 16 Taubertal - Mappe 1 (2000),
Mappe 2 (2003), Mappe 3 (2005) | |



2 Hydrogeologische Einheiten

2.1. Definition

Die Verbreitung von Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern im Untergrund und ihre hydrogeologischen Eigenschaften werden unter dem Begriff Hydrogeologischer Bau zusammengefasst und mit Hilfe eines hydrogeologischen Strukturmodells beschrieben. Der hydrogeologische Bau bildet den Rahmen für das regionale Vorkommen von Grundwasser.

Bausteine des hydrogeologischen Strukturmodells sind die hydrogeologischen Einheiten. Als hydrogeologische Einheit wird nach der Hydrogeologischen Kartieranleitung (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie 1997) „ein Gesteinskörper bezeichnet, der aufgrund seiner Petrographie, Textur oder Struktur im Rahmen einer festgelegten Bandbreite einheitliche hydrogeologische Eigenschaften aufweist und durch Schicht- und Faziesgrenzen, Erosionsränder oder Störungen begrenzt ist. Die Bandbreite, innerhalb welcher ein Gesteinskörper als homogen betrachtet wird, ist in starkem Maße vom Bearbeitungs- und Darstellungsmaßstab abhängig“.

Für die Festlegung der hydrogeologischen Einheiten wurde die Gesteinsfolge in Baden-Württemberg nach hydrogeologischen Gesichtspunkten gegliedert (Abb. 2.1-1). Kriterium für die Abgrenzung war in erster Linie die Litho-

fazies, die sowohl hydrogeologische als auch geochemische Eigenschaften der Gesteine einschließt. Ausgangspunkt bildet die Legende der Geologischen Übersichtskarte 1 : 500 000 (GÜ 500). Da die in der GÜ 500 dargestellten Ausbissgrenzen für die vorliegende Ausarbeitung verwendet wurden, müssen sich die hier beschriebenen hydrogeologischen Einheiten aus den geologischen Einheiten der GÜ 500 ableiten lassen.

Bei der Umwidmung der rund 50 geologischen Einheiten der GÜ 500 in hydrogeologische Einheiten stand eine Differenzierung der Grundwasserleiter im Vordergrund, wohingegen die Grundwassergeringleiter zu größeren Einheiten zusammengefasst wurden. Quartär und Oberjura wurden außerdem noch weiter nach faziellen Aspekten regional untergliedert.

Die in diesem Übersichtsmaßstab abgegrenzten 22 hydrogeologischen Einheiten (Tab. 2.1-1) sind bei näherer Betrachtung häufig wiederum eine Abfolge von Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern.

Legende

- GWL, Lockergestein
- GWL, Festgestein
- GWL/GWG, Festgestein
- GWG



Abb. 2.1-1 Klassifikation der hydrogeologischen Einheiten nach Gebirgsdurchlässigkeit (in Anlehnung an Tab. 2.1-1, Abkürzungen s. dort).

Tab. 2.1-1 Hydrogeologische Einheiten 1 : 500 000 in Baden-Württemberg und Klassifikation nach der Gebirgsdurchlässigkeit.

Kürzel, Farbe	Bezeichnung der hydrogeologischen Einheit	Klassifikation nach Gebirgsdurchlässigkeit
Hy 1	Quartäre und jungtertiäre Deckschichten ¹	GWG
Hy 2	Quartäre Beckensedimente, Moränensedimente und tiefgründig verwitterte Deckenschotter	GWG
Hy 3	Quartäre / Pliozäne Kiese und Sande (Oberrheingraben)	GWL
Hy 4	Fluvioglaziale Kiese und Sande (Alpenvorland)	GWL
Hy 5	Jungquartäre Flusskiese und -sande	GWL
Hy 6	Junge Magmatite	GWG
Hy 7	Tertiär im Oberrheingraben	GWG
Hy 8	Obere Meeresmolasse	GWL / GWG
Hy 9	Übrige Molasse	GWG
Hy 10	Oberjura, schwäbische Fazies	GWL
Hy 11	Oberjura, rauracische Fazies	GWL
Hy 12	Oberjura, helvetische Fazies ²	GWG
Hy 13	Mittel- und Unterjura	GWG
Hy 14	Oberkeuper und oberer Mittelkeuper	GWL / GWG
Hy 15	Gipskeuper und Unterkeuper	GWL / GWG
Hy 16	Oberer Muschelkalk	GWL
Hy 17	Mittlerer Muschelkalk	GWG
Hy 18	Unterer Muschelkalk	GWL
Hy 19	Oberer Buntsandstein	GWG / GWL
Hy 20	Mittlerer und Unterer Buntsandstein	GWL
Hy 21	Paläozoikum, Kristallin	GWG
Hy 22	Trias, ungegliedert	GWG / GWL
GWL	Grundwasserleiter ($k_f > 10^{-5}$ m/s); blau: Porengrundwasserleiter, dunkelgrün: Kluft-, Karstgrundwasserleiter	
GWG	Grundwassergeringleiter ($k_f < 10^{-5}$ m/s); braun	
GWL / GWG	Wechselagerung zwischen Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern oder Gebirgsdurchlässigkeit um 10^{-5} m/s und nicht eindeutig zuzuordnen; hellgrün	

¹ Abgedeckte Karte: Deckschichten sind nicht dargestellt

² In Baden-Württemberg ausschließlich unter mächtiger Molasse-Überdeckung, Alpenvorland (vgl. Abb. 2.2-1)



2.2 Karte der hydrogeologischen Einheiten

Ausgangspunkt für die Darstellung der hydrogeologischen Einheiten in Kartenform ist die GÜ 500. Mit Hilfe der getroffenen Zuordnung von geologischen Einheiten der GÜ 500 und der genannten hydrogeologischen Einheiten wurde eine generalisierte Darstellung erzeugt, die die Verbreitung der hydrogeologischen Einheiten an der Erdoberfläche zeigt.

Als nächster Bearbeitungsschritt wurden die Deckschichten abgedeckt. Als Deckschichten werden quartäre und tertiäre geringdurchlässige Lockergesteine bezeichnet, welche die grundwasserführenden hydrogeologischen Einheiten überlagern, jedoch selbst kein oder nur schwebendes Grundwasser führen, d. h. vollständig im Bereich der ungesättigten Zone liegen (vgl. Beschreibung Hy 1). Anschließend wurden die hydrogeologischen Einheiten in den abgedeckten Bereichen ergänzt.

Im Alpenvorland (vgl. Abb. 2.2-1) wurden grundwasserführende Kiesvorkommen unter Moränen und Beckensedimenten im Maßstab 1 : 50 000 abgegrenzt und in die Übersichtskarte übernommen (zu Hy 4, s. Kap. 3.4).

Die so erstellte Hydrogeologische Übersichtskarte (HÜ 500) zeigt die Verbreitung der hydrogeologischen Einheiten an der Erdoberfläche ohne Deckschichten (Abb. auf Titelblatt). Die hydrogeologischen Einheiten lassen sich für kleinmaßstäbliche Betrachtungen zu Großräumen zusammenfassen (Abb. 2.2-1).

2.3 Beschreibung der hydrogeologischen Einheiten: Methodik

Neben der Verbreitung der hydrogeologischen Einheiten an der Erdoberfläche, die in der Karte dargestellt ist, gibt es für jede Einheit eine hydrogeologische Beschreibung. Diese Steckbriefe enthalten Informationen zur Geologie (Petrographie, Mächtigkeit), Hydrogeologie, Hydrologie und gegebenenfalls zur geogenen Grundwasserbeschaffenheit. Im Vordergrund steht die hydrogeologische Charakterisierung der Einheiten weniger davon abweichende lokale Besonderheiten. Auch die wasserwirtschaftliche Nutzung wird nicht behandelt.



Abb. 2.2-1 Hydrogeologische Großräume in Baden-Württemberg:

1. Oberrheingraben inklusive Vorbergzone (v. a. Ausstrich von Hy 3, Hy 7 und Hy 22).
2. Süddeutsches Schichtstufen- und Bruchschollenland einschließlich Südwestdeutschem Grundgebirge (v. a. Ausstrich von Hy 5, Hy 10 bis Hy 21).
3. Alpenvorland (v. a. Ausstrich von Hy 2, Hy 4, Hy 8 und Hy 9).

In die Beschreibung eingeflossen sind landesweit oder nur regional zusammengestellte und ausgewertete Daten. Naturgemäß liegen für wichtige Grundwasserleiter des Landes umfangreiche Informationen vor, während die Grundwassergeringleiter im Allgemeinen nur spärlich hydrogeologisch untersucht wurden. Die unterschiedliche wasserwirtschaftliche Bedeutung und der unterschiedliche Erkundungsstand spiegeln sich in der Länge der Beschreibungen wieder. Eine tabellarische Kurzfassung der Beschreibungen der hydrogeologischen Einheiten enthält Tab. 2.2-1.

Um die Informationsquellen transparenter zu machen, ist die wichtigste zugehörige Literatur jeweils bei den einzelnen Beschreibungen aufgeführt.

Literatur

Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie [Hrsg.] (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung. – Geol. Jb. **G 2**: 3 – 157, 15 Abb., 6 Tab., 10 Anl.; Hannover.

GLA (1996): Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans Baden-Württemberg – Erstellung landesweiter Grundlagenkarten. – Abschlußber. zum Teilprojekt Hydrogeol., AZ 4458.01/95-4763: 14 S., 5 Abb., 7 Tab.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

HGK (1985): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg Grundwasserlandschaften: 12 S., 2 Kt.: 1 : 600 000, 6 Beil.; Freiburg i. Br.

LGRB (2000): Abgrenzung von Grundwassereinheiten in Baden-Württemberg. – 20 S., 8 Abb., 8 Tab., 10 Kt.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

— (2001): Erhebung räumlicher Geometrien und hydraulische Beschreibung von Grundwassereinheiten in Baden-Württemberg: 24 S., 1 Abb., 9 Tab., 20 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

— (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

— (2005): Hydrogeologische Grundlagen für eine Optimierung der Trinkwasserversorgung aus Grundwasser. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 26 S., 3 Abb., 5 Tab., 1 Kt., 10 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

Weiterführende Informationen

REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG –
Abteilung 9: Landesamt für Geologie,
Rohstoffe und Bergbau

<http://www.lgrb.uni-freiburg.de>

<http://www.rp-freiburg.de> → *Abteilungen* →
Abteilung 9

Fachbereich Hydrogeologie

[http://www.lgrb.uni-freiburg.de/
lgrb/fachbereiche/hydrogeologie](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/fachbereiche/hydrogeologie)

[http://www.lgrb.uni-freiburg.de/
lgrb/fachbereiche/hydrogeologie/grundlagen](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/fachbereiche/hydrogeologie/grundlagen)

Geologische Regelwerke

[http://www.lgrb.uni-freiburg.de/
lgrb/fachbereiche/geologie/fachberatung/
geologische_regelwerke](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/fachbereiche/geologie/fachberatung/geologische_regelwerke)

→ Geologische Übersicht der Schichtenfolge
in Baden-Württemberg

→ Symbolschlüssel Geologie – Verzeichnis
Geologischer Einheiten

→ Lithostratigraphische Übersichten

Veröffentlichungen LGRB-Mitarbeiter

[http://www.lgrb.uni-freiburg.de/
lgrb/service/veroeffentlichungen/
publ_uebersicht](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/service/veroeffentlichungen/publ_uebersicht)

Geotouristische Ziele

[http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/service/
geotourismus_uebersicht](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/service/geotourismus_uebersicht)

Produkte des LGRB

*Bezug von Karten – speziell auch der hier
beschriebenen Karten –, Daten und Schriften
möglich:*

<http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/produkte>

[http://www.lgrb.uni-freiburg.de/
lgrb-mapserver/mapserver](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb-mapserver/mapserver)



Tab. 2.2-1 Kurzbeschreibung der hydrogeologischen Einheiten in Baden-Württemberg nach EU-WRRL.

Nr.	Stratigraphie HÜ 500	Lithologie, Mächtigkeit	Hydrogeologie	Hohlraumart	Verfestigung	k _r -Klasse	geochem. Gesteinstyp	Gesteinsart
Hy 1	Quartäre und jungtertiäre Deckschichten	Moorbildungen, Löss, Lösslehm, Hangschutt, Fließerden, Feuersteinlehm, Bunte Breckie; bereichsweise Beckenton, Geschiebemergel, Molasse	Grundwasserleiter als Deckschichten	P	L	5.1	s, (k), (o)	S
Hy 2	Quartäre Beckensedimente, Moränensedimente und tiefgründig verwitterte Deckenschotter	Ton, Schluff, Feinsand (Beckensedimente); matrix- und komponentengestützte Diamikte (Moränensedimente)	Grundwasserleiter; geringe Wasserführung in komponentengestützten Diamikten	P	L	5.2	s, k	S
Hy 3	Quartäre/Pliozäne Kiese und Sande im Oberfließgraben	Oberes Kieslager bzw. jüngere Schotter: sandiger Kies, Sand- und Schlufflagen und -linsen; nördlich Karlsruhe 10 – 60 m, südlich Karlsruhe undifferenziert 15 bis 120 m Mittlere sandig-kiesige Abfolge: sandiger Kies in Wechsellagerung mit Sand- und Schlufflagen und -linsen; 50 bis 200 m (nördlicher Oberfließgraben) Untere sandig-kiesige Abfolge, Altquartär, Pliozän: sandiger Kies in Wechsellagerung mit Feinsand, Schluff und Ton; bis > 300 m (nördlicher Oberfließgraben) Breitgangeschichten: dicht gelagerter, sandig-schluffiger Kies mit stellenweise geringmächtigen Schlufflinsen; Kies bereichsweise stark verwittert; bis ca. 100 m (südlicher Oberfließgraben)	In Stockwerke gegliederter, vor allem im oberen Teil sehr ergiebiger Porengrundwasserleiter; Grundwasser im Bereich der Rheinaue und in tiefen Stockwerken gespannt	P	L	2.2	s, k	S
Hy 4	Fluvioglaziale Kiese und Sande im Alpenvorland	Sandiger Kies, Sand, z. T. schluffig, z. T. Nagelfluh; bis rund 40 m Deckentuff	Porengrundwasserleiter, bereichsweise durch eingeschaltete bindige Zwischenschichten hydraulisch in Stockwerke getrennt	P	L	2.2	s, k	S
Hy 5	Jungquartäre Flusskiese und -sande	Sandiger Kies, Sand, z. T. schluffig, tonig, steinig; bereichsweise mit Schluff- und Tonlagen und -linsen; bis rund 50 m; Talfüllungen im Schichtstufenland, Schwarzwald und Odenwald	Je nach Anteil an Feinbestandteilen Grundwasserleiter bis Grundwasserleiter; hydraulische Wechselwirkung mit angrenzendem Festgestein und Fließgewässern	P	L	2.2	s, k	S
Hy 6	Junge Magmatite	Basalt, Nephelinit, Tephrit, Limburgit, Phonolith, Karbonatit, Essexit, Deckentuff	Grundwasserleiter; lokal geringe Grundwasserführung auf Klüften und Störungen	K	F	5.2	s, (k)	M
Hy 7	Tertiär im Oberfließgraben	Tonmergelstein, Mergelstein mit Sandstein- und Kalksteinbänken; lokal Gips und Anhydrit; bis > 1000 m	überwiegend Grundwasserleiter ohne nennenswerte Grundwasserführung	K	F	5.2	s, k, g	S
Hy 8	Obere Meeresmolasse	Sand-, Schluff-, Tonmergelstein, Konglomerat, lokal grobporiger Kalkstein (Randengrobkalk); bis 350 m	Kluft-Porengrundwasserleiter und Grundwasserleiter; mäßige Grundwasserführung in den Baltringen-Schichten und Heidenlöcherschichten sowie lokal im klüftigen Randengrobkalk	K, P	L, F	4.2	s, k	S

Nr.	Stratigraphie HÜ 500	Lithologie, Mächtigkeit	Hydrogeologie	Hohlraumart	Verfestigung	k _r -Klasse	geochem. Gesteinstyp	Gesteinsart
Hy 9	Übrige Molasse	Obere Süßwassermolasse: Tonmergelstein, glimmerreicher Feinsandstein, Schluffstein; verkitteter sandiger Kies, Konglomerat; Kalkstein, gebankt, bereichsweise verkarstet; bis 1000 m Brackwassermolasse: Grobsand und Feinkies, glimmerreicher Feinsand und Tonmergel, Krusten- und Knollenkalk; bis 40 m Untere Süßwassermolasse: Tonmergelstein, Sandstein, Schluffstein, Süßwasseralk; bis 2500 m Untere Meeressmolasse: Tonmergel- und Mergelstein, Schluffstein, untergeordnet Fein- und Mittelsandstein, an der Basis mit Kalksteinlagen; Mergelstein- und Konglomeratlagen; bis 300 m	Grundwasseringleiter; geringe bis mittlere Grundwasserführung lokal in den Erozions-Sanden, den Grobsandschichten und den Süßwasseralken der Oberen Süßwassermolasse sowie in den Grimmelingen-Schichten (Graupensande) und im Alstein der Brackwassermolasse; geringe Grundwasserführung in Kalk- und Sandsteinbänken der Unteren Süßwassermolasse und Unteren Meeressmolasse	K,† P,† (Ka)	L, F	5.2	s, k	S
Hy 10	Oberjura, schwäbische Fazies	Hangende und Liegende Bankkalk-Formation, Obere und Untere Feisenkalk-Formation, Massenkalk-Formation: Kalkstein, gebankt, mit Mergelzwischenlagen (Bankkalkfazies) und nicht gebankter Schwamm-Algen-Kalkstein (Massenkalkfazies); massive, z. T. löchrige Gesteine (Lochfels) mit wechselnd starker Verkarstung; bis > 300 m Zementmergel-Formation: Mergel-, Kalkmergel- und Kalkstein, z. T. dünnplattig, bankig, lokal verschwammt; bis 170 m Lacunosamergel-Formation: Mergelstein mit Kalk- und Kalkmergelsteinbänken; 10 bis 75 m Wohlgeschichtete Kalk-Formation: Kalkstein, gebankt, mit Mergelfugen, z. T. verkarstet; 10 bis 100 m Impressamergel-Formation: Mergelstein und Kalkstein; 25 bis 125 m	Kluft-/Karstgrundwasserleiter; Zementmergel-Formation, Lacunosamergel-Formation und v. a. Impressamergel-Formation überwiegend Grundwasseringleiter	K, Ka	F	4.1	k	S
Hy 11	Oberjura, raurazische Fazies	Kalkstein, im unteren Teil der Schichtenfolge Korallenkalk, bereichsweise verkarstet, mit Mergelzwischenlagen	Kluft-, bereichsweise Karstgrundwasserleiter	K, Ka	F	4.1	k	S
Hy 12	Oberjura, helvetische Fazies	Kalk-, Kalkmergel-, Mergelstein	Grundwasseringleiter	K	F	6.1	k	S
Hy 13	Mittel- und Unterjura	Mitteljura: Tonstein mit kalkigen Feinsandstein-, Kalkstein- und Eisenoolithbänken; eisenschüssiger Feinsandstein in Wechselagerung mit meist sandflaserigem Tonstein, gebietsweise mit oolithischen Eisenerzflözen, Tonstein, sandigem Mergelstein und kalkigem Sandstein; schluffiger Tonstein, z. T. schwach feinsandig mit Kalkmergelsteinbänken, z. T. bituminös; bis 400 m Unterjura: Tonmergelstein mit Kalk- und Mergelstein; Wechsellagerung von Kalk- und Tonmergelstein mit Tonstein; Tonstein und Feinsandstein mit Tonsteinlagen und Kalkstein- und kalkigen Sandsteinbänken, z. T. bituminös; bis 200 m	Grundwasseringleiter; in Ostwürttemberg lokal in der Eisensandstein-Formation (Mitteljura) geringe bis mittlere, im Bereich von Störungszonen gute Grundwasserführung auf geklüfteten Sandsteinbänken; mäßige Grundwasserführung auf klüftigen Kalkstein-, Kalkmergelstein- und Kalksandsteinbänken im Unterjura	K	F	6.1	s, k, (o)	S



Nr.	Stratigraphie HÜ 500	Lithologie, Mächtigkeit	Hydrogeologie	Hohlraumart	Verfestigung	K _r -Klasse	geochem. Gesteinstyp	Gesteinsart
Hy 14	Oberkeuper und oberer Mittelkeuper	<p>Oberkeuper: Feinsandstein, z. T. verkieselt, und Tonstein, z. T. feinsandig; bis 25 m</p> <p>Oberer Mittelkeuper: Knollenmergel-Formation: Mergelstein mit Kalkknollen; 10 bis 50 m</p> <p>Stubensandstein-Formation: Mittel- bis Grobsandstein mit Tonzwischenlagen, Mergelstein- und Sandsteinbänken; bis 130 m</p> <p>Bunte Mergel-Formation: Tonmergelstein mit Mergelsteinbänken, Tonstein; Fein- bis Grobsandstein, verkieselt, Dolomitsteinbänke; bis 80 m</p> <p>Schilfsandstein-Formation: geringmächtiger, sandiger Tonstein (Normalfazies), verzahnt mit z. T. mächtigem Feinsandstein (Flutfazies); < 10 bis 25 m</p>	<p>Wechselfolge von Grundwassergeringleitern und KlufftGrundwasserleitern:</p> <p>Oberkeuper: Grundwassergeringleiter (Tonstein) in lateraler Verzahnung mit wenig ergiebigen KlufftGrundwasserleitern (langgestreckte, klüftige, z. T. poröse Sandsteinkörper)</p> <p>Oberer Mittelkeuper: Knollenmergel-Formation: Grundwassergeringleiter</p> <p>Stubensandstein-Formation: Schichtig gegliederter KlufftGrundwasserleiter;</p> <p>Grundwasserführung in den Sandsteinhorizonten, bei Verwitterung Übergang zu Porengrundwasserleiter</p> <p>Bunte Mergel-Formation: Überwiegend Grundwassergeringleiter mit geringer Wasserführung auf geklüfteten Sandstein- und Dolomitsteinbänken; in Ostwürtemberg KlufftGrundwasserleiter in den Kieselsandsteinschichten</p> <p>Schilfsandstein-Formation: Bei Ausbildung in Normalfazies Grundwassergeringleiter, bei Ausbildung in Flutfazies wenig ergiebiger KlufftGrundwasserleiter</p>	K, P	F	4.2	s, k	S
Hy 15	Gipskeuper und Unterkeuper	<p>Gipskeuper: Ton- und Mergelstein, einzelne dolomitische Mergelstein und Dolomitsteinbänke, Gips in Knollen und Bänken; an der Basis mächtiges Gipslager mit maximal 165 m; bei Auslaugung Residualgesteine, z. T. verstimmt und Zellenkalk</p> <p>Unterkeuper: Wechselfolge von Kalk-, Dolomit-, Sand-, Mergel- und Tonstein; rund 20 m</p>	<p>Wechselfolge von Grundwassergeringleitern und KlufftGrundwasserleitern:</p> <p>Gipskeuper: Im unverwitterten und unausgelaugten Zustand Grundwassergeringleiter, im verwitterten und ausgelaugten Zustand schichtig gegliederter Grundwasserleiter;</p> <p>Grundwasserführung bevorzugt oberhalb des Gipspegels, wenn dieser in den Grundgips-schichten verläuft, sowie im Bochingen-Horizont und im Weinsberg-Horizont (Bleiglanz-bankschichten)</p> <p>Unterkeuper: geklüfteter, z. T. zellig poröser, schichtig gegliederter KlufftGrundwasserleiter; Grundwasserführung im oberen Teil der Schichtenfolge überwiegend auf Dolomitsteinbänken (Grenzdolomit, Linguladolomit), im unteren Teil im lokal mächtigen Haupt-sandstein</p>	K, P, (Ka)	F, (L)	4.2	s, k, g	S

Nr.	Stratigraphie HÜ 500	Lithologie, Mächtigkeit	Hydrogeologie	Hohlraumart	Verfestigung	k _r -Klasse	geochem. Gesteinstyp	Gesteinsart
Hy 16	Oberer Muschelkalk	Kalkstein mit überwiegend geringmächtigen Tonstein- und Tonmergelsteinlagen, Dolomitstein, Schalenrümmerkalk; in der Unteren Hauptmuschelkalk-Formation mächtigere Mergelsteinerschichtungen (Haßmersheim-Schichten); ca. 60 bis 100 m	Kluft- und Karstgrundwasserleiter zusammen mit den Oberen Dolomiten des Mittleren Muschelkalks, bereichsweise schichtig gegliedert, regional verkarstet; Gebietsweise Stockwerkgliederung durch die Haßmersheim-Schichten; schwebende Grundwasservorkommen über stauenden Mergellagen; geringes Speicher- und Retentionsvermögen; Abstandsgeschwindigkeiten 20 bis 400 m/h; Quellschüttungen bis 50 l/s, vereinzelt > 100 l/s bei HQ bis > 1000 l/s	K, Ka	F	4.1	k	S
Hy 17	Mittlerer Muschelkalk	Oberer Dolomit-Formation: Dolomitstein, dolomitischer Kalkstein, Mergelstein; 10 bis 25 m Salinar-Formation: Steinsalz, Anhydrit, Gips, Dolomitstein; Residualgesteine (Tonstein, Schluffstein, untergeordnet Ton und Schluff); 20 bis 90 m je nach Auslaugung Geislingen-Formation: Wechselfolge von Mergel-, Tonmergel-, Dolomit- und Kalkstein mit Schalenrümmerkalk; < 10 m	Grundwassergeringleiter; Obere Dolomit-Formation zusammen mit dem Oberen Muschelkalk Kluft- und Karstgrundwasserleiter; ansonsten nur geringe Grundwasserführung auf Dolomitsteinbänken	K, (P)	F, (L)	5.2	k, g	S
Hy 18	Unterer Muschelkalk	Mikritischer Kalkstein (Wellenkalk), Dolomitstein, untergeordnet Tonstein, Mergelkalkstein und poröser bioklastischer Kalkstein (Schaumkalk); rund 50 bis 70 m	geklüfteter, schichtig gegliederter, z. T. verkarsteter Kluftgrundwasserleiter mit überwiegend geringer, bei Verkarstung märsiger bis mittlerer Grundwasserführung in Kalksteinen, Schaumkalkbänken und im Wellenkalk	K, i (Ka)	F	4.2	k	S
Hy 19	Oberer Buntsandstein	Rötton-Formation: Ton- und Schluffstein; 4 bis 8 m Plattensandstein-Formation: Feinsandstein, Mittelsandstein, z. T. verkieselt (Rötquarzit); Wechsellagerung von Sand- und Schluffstein; Mächtigkeiten des Oberen Buntsandsteins schwanken durch Schwellen- und Troglage im Ausstrichsbereich zwischen 10 und 70 m	Wechselfolge von Grundwassergeringleitern und Kluftgrundwasserleitern; schwebendes Grundwasservorkommen im Rötquarzit der Plattensandstein-Formation; die Sandsteine im unteren Teil der Plattensandstein-Formation sind dem Kluftgrundwasserleiter des Mittleren Buntsandsteins zuzurechnen	K	F	5.1	s	S
Hy 20	Mittlerer und Unterer Buntsandstein	Mittlerer Buntsandstein: Mittel- und Grobsandstein, z. T. geröllführend, dickbankig Unterer Buntsandstein: Wechselfolge von Sand- und Schluffstein; Mächtigkeiten des Mittleren und Unteren Buntsandsteins schwanken durch Schwellen- und Troglage im Ausstrichsbereich zwischen 20 und 400 m	Kluftgrundwasserleiter; gute Grundwasserführung im Mittleren Buntsandstein, insbesondere in den konglomeratischen Lagen, in der Buntsandstein-Formation unmittelbar über der Eckstein-Formation sowie im Bereich von Auflockerungszonen (Störungen, Tälern); Brunnenereignisse meist zwischen 10 bis 30 l/s, maximal 50 l/s; Quellschüttungen bis 20 l/s, vereinzelt > 100 l/s	K	F	4.2	s	S



Nr.	Stratigraphie HÜ 500	Lithologie, Mächtigkeit	Hydrogeologie	Hohlraumart	Verfestigung	k _r -Klasse	geochem. Gesteinstyp	Gesteinsart
Hy 21	Paläozoikum, Kristallin	Zechstein: Tigersandstein-Formation: feldspatreicher Sandstein, sonst Feinsandsteine mit Schluffsteinlagen, feinsandige bis schluffige Tone; 0 bis > 135 m Rotliegendes: Arkose, Fanglomerat, Schluff-, Tonstein, Tuffit; 0 bis > 700 m Devon, Karbon: Grauwacke, Konglomerat, Arkose, Sandstein, Ton-schiefer, z. T. kohleführend, Pyroklastit Kristallin: Granit, Granodiorit, Rhyolith, Lamprophyr, Ganggesteine Gneis und vergneiste Gesteine: Anatexit, Diatexit, Marmor, Kalksilikatfels, Amphibolith, Seretinit, Kataklastit, metamorphe Schiefer	Grundwassergeringleiter; im nicht metamorphen Paläozoikum geringe schichtgebundene Grundwasserführung; im Kristallin geringe Grundwasserführung auf Klüften und Störungen; die Sandsteine der Tigersandstein-Formation sind dem Kluffgrundwasserleiter des Mittleren und Unteren Buntsandsteins zuzu-rechnen	K	F	5.2	s	S, M
Hy 22	Trias, ungliedert	Kalkstein, Sandstein, Tonstein, Mergelstein in tektonisch stark ge-störten Bereichen	Je nach Petrographie Grundwasserleiter bis Grundwassergeringleiter; meist geringe Ergie-bigkeit aufgrund kleinräumlicher Strukturen	K	F	5.1	s, k	S

Erläuterung zur Tabelle

Nr.	Nummer der hydrogeologischen Einheit	Verfestigungsgrad	Verfestigungsgrad des Gesteins
Stratigraphie HÜ 500	Stratigraphische Einstufung	L	Lockergestein
Lithologie, Mächtigkeit	Lithologische Beschreibung und Angaben zur Mächtigkeit	F	Festgestein
Hydrogeologie	Hydrogeologische Kurzbeschreibung:	k_r-Klasse	Durchlässigkeitsklasse nach Hydrogeologische Kartieranleitung (1977):
	Porengrundwasserleiter (k _r -Klassen 2.2 bis 4.2)	2.2	3 • 10 ⁻³ bis 1 • 10 ⁻³ [m/s]
	Kluft- und Karstgrundwasserleiter (k _r -Klassen 2.2 bis 4.2)	3.1	1 • 10 ⁻³ bis 3 • 10 ⁻⁴ [m/s]
	Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter in Wechsellagerung bzw. nicht eindeutig zuzuordnen (k _r -Klassen 4.2 bis 5.1)	3.2	3 • 10 ⁻⁴ bis 1 • 10 ⁻⁴ [m/s]
	Grundwassergeringleiter (k _r -Klassen 5.1 bis 6.1)	4.1	1 • 10 ⁻⁴ bis 3 • 10 ⁻⁵ [m/s]
	Art der Hohlräume im Gestein, die für die Grundwasserbewegung relevant sind:	4.2	3 • 10 ⁻⁵ bis 1 • 10 ⁻⁵ [m/s]
P	Poren	5.1	1 • 10 ⁻⁵ bis 1 • 10 ⁻⁶ [m/s]
K	Klüfte	5.2	1 • 10 ⁻⁶ bis 1 • 10 ⁻⁷ [m/s]
Ka	Karsthohlräume	6.1	1 • 10 ⁻⁷ bis 1 • 10 ⁻⁸ [m/s]
Hohlraumart		s	silikatisch
		k	karbonatisch
		g	sulfatisch
		o	organisch
		S	Sediment
		M	Migmatit, Metamorphit
		Angaben in ()	Merkmal untergeordnet ausgebildet

3 Beschreibung der hydrogeologischen Einheiten

3.1 Quartäre und jungtertiäre Deckschichten (Hy 1)

3.1.1 Definition, Verbreitung

Als Deckschichten (Hy 1) werden quartäre und tertiäre geringdurchlässige Lockergesteine bezeichnet, die die grundwasserführenden hydrogeologischen Einheiten überlagern und selbst kein Grundwasser oder nur in geringem Umfang schwebendes Grundwasser führen, d.h. vollständig im Bereich der ungesättigten Zone liegen. Durch sie kann das Grundwasser vor Schadstoffeinträgen von der Erdoberfläche geschützt werden.

Deckschichten sind landesweit verbreitet. Sie sind allerdings nicht überall in gleichem Umfang geologisch kartiert, da sich die Kartierkriterien im Laufe der Zeit geändert haben.

Folgende Einheiten der GÜ 500¹ sind als Deckschichten definiert und wurden für die Konstruktion der HÜ 500² abgedeckt:

- Anthropogene Bildung (y)
- Moorbildung (qht)
- Seesediment (qse)
- Moränensediment (qpm)
- Altwassersediment (hm)
- Hochwassersediment (fh)
- Umlagerungssediment (qum)
- Lösssediment (los)
- Flugsandsediment (fss)
- Rückstandsbildung (qvr)
- Impakt-Formation (tX)
- Feuersteinlehm (tFL)
- Molasse (reliktisch über Oberjura der Schwäbischen Alb) (tOM)

Die obengenannten Einheiten der GÜ 500 werden für den Datensatz der Hydrogeologischen Übersichtskarte Baden-Württembergs als quartäre und jungtertiäre Deckschichten (Hy 1) zusammengefasst. Berücksichtigt wurde außerdem ihre

Lage über einem Grundwasserleiter. Von den in Abb. 3.1-1 dargestellten Flächen erfüllen die dunkleren dieses Kriterium; nur sie sind im Sinne der Definition echte Deckschichten.

3.1.2 Geologie

Bei den Deckschichten handelt es sich um Gesteine ganz unterschiedlicher Zusammensetzung und Entstehung:

Anthropogene Bildungen

Als anthropogene Bildungen werden einerseits Abfalldeponien und -ablagerungen bezeichnet, mehr oder weniger humose Akkumulationen von Müll, Bauschutt usw., andererseits Aufschüttungen aus natürlichem Material unterschiedlichster Beschaffenheit, meist mit Hilfe von Maschinen umgelagert (Dämme, Halden, Aufschüttungen).

Moorbildungen

Moorbildungen entstehen an Standorten mit eingeschränktem Abfluss und/oder hohen Grundwasserständen (Abb. 3.1-2, oben). Auch Überschwemmungen können zur Moorbildung beitragen. Im Donauried steht die Moorbildung in Zusammenhang mit aufsteigendem Karstgrundwasser, welches aufgrund der morphologischen Situation über Quellen an die Erdoberfläche gelangt und sich über bindigen Deckschichten des Donautals staut. Die Moorbildungen sind Akkumulationen organischer Substanz (Masse organische Substanz > 30 %), die Mächtigkeiten bis 5 m und mehr erreichen. Bereichsweise sind die Moorkörper jedoch durch Abtorfung abgebaut.

Seesediment

Die limnisch abgelagerten Seesedimente bestehen aus feingeschichteten tonigen bis stark tonigen Schluffen mit einem Sandgehalt etwa zwischen 0 und 40%. Sie entstanden u. a. in Eisrandstauseen. Dort, wo sie als Überlagerung von pleistozänen Kiesen und Sanden auftreten, haben sie Deckschicht-Funktion (z. B. in der Klettgaurinne).

Moränensediment

Moränensedimente sind Gletscherablagerungen. Grundmoränen werden an der Basis des Gletschers sedimentiert und bestehen überwiegend aus matrixgestützten Diamikten, d.h. wenig sortierten kiesigen Lehmen mit vergleichsweise hohem Feinkornanteil, die durch die Gletscherauflast stark verdichtet sind (Abb. 3.1-2, unten). Die Endmorä-

¹ GÜ 500 = Geologische Übersichtskarte 1 : 500 000

² HÜ 500 = Hydrogeologische Übersichtskarte 1 : 500 000

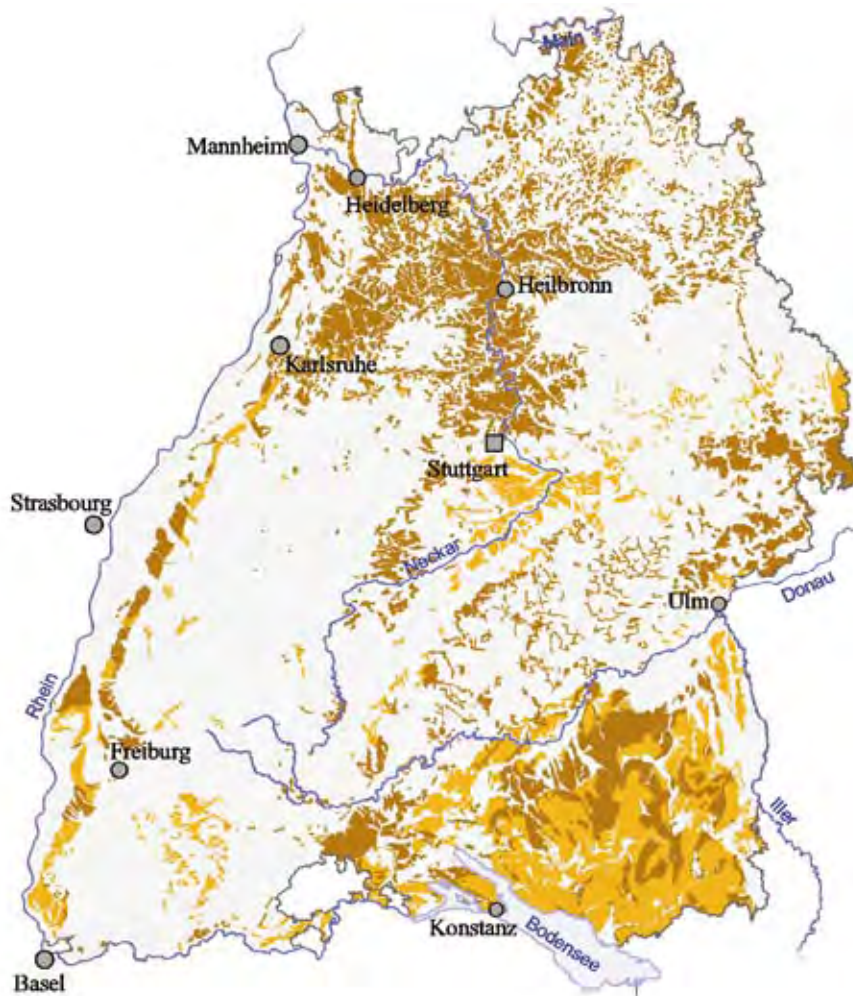


Abb. 3.1-1 Verbreitung quartärer und jungtertiärer Deckschichten (Hy 1) farbig, über Grundwasserleiter dunkler. Die Becken- und Moränensedimente (Hy 2) werden ebenso zu den Deckschichten gezählt.

nen sind Material-Akkumulationen am äußeren Gletscherrand. Sie bilden sich im Stadium der größten Gletscherverbreitung und im Verlauf einzelner Rückzugsstadien. In den Endmoränen dominieren locker gelagerte, komponentengestützte Diamikte, die im Vergleich zu den matrixgestützten Diamikten einen deutlich größeren Kiesanteil aufweisen. Randlich verzahnen sich die Endmoränen mit den Kiesfeldern im Vorland und überlagern diese bereichsweise (z.B. äußere Jugendmoräne und Kiesvorkommen des Sattenbeurer Feldes, Oberschwaben).

Altwassersediment

Altwassersedimente sind fluviatil durch Verlandung von Flussaltarmen entstanden. Es handelt sich um schwach humose Sande, Schluffe und Tone, die in Stillwasserbereichen bei überwiegend ruhigen Sedimentationsbedingungen abgelagert wurden.

Hochwassersediment

Die quartären Flussbettseimente in den Tälern sind über weite Bereiche von Hochwassersedimenten bedeckt (Abb. 3.1-3, oben). Dazu gehören – je nach petrographischer Zusammensetzung – Auenlehm, toniger Auenlehm, Auenmergel und Auensand. Gemeinsames Merkmal der Auensedimente ist ihre Entstehung bei Hochwasserereignissen im Überflutungsbeereich. Bei stärkerer Strömung enthalten die Auensedimente auch Kies und Steine. Die ursprüngliche Feinschichtung ist meist durch starke Bioturbation weitgehend aufgelöst. Die Mächtigkeit liegt in der Regel zwischen 0,5 und 2 m.

Umlagerungssediment

Zu den Umlagerungsbildungen werden die Verschwemmungssedimente, die Massenverlagerungsbildungen und die Frostbodenbildungen gerechnet. Diese Gesteine sind durch Umlagerung unter Schwerkrafteinfluss entstanden. Verschwemmungssedimente bestehen überwiegend aus feinkörnigem Lockermaterial (Ton, Schluff, Sand), das durch flächenhaft abfließendes Niederschlagswasser

von den Hängen abgespült und in Senken oder am Hangfuß abgelagert wurde. Hangschutt und Rutschmassen sind Akkumulationen von Gestein, welche durch Kriech-, Gleit- und Sturzvorgänge an Hängen entstanden sind und häufig an den Talrändern die Flussbettsedimente überlagern. Hangschutt besteht aus steinigem, mehr oder weniger lehmigem Lockergestein, das auch andere Umlagerungssedimente enthalten kann (z.B. Fließerde, Schwemmschutt). Mehr als 25 Vol.-% sind meist Grus, Kies, Steine und Blöcke.

Die Rutschmassen sind petrographisch sehr uneinheitlich zusammengesetzt, für bestimmte Ausgangsgesteine jedoch typisch. Die Frostbodenbildungen sind im Periglazial durch Solifluktion im Auftaubereich von Permafrostböden entstanden (Abb. 3.1-3, unten). Es handelt sich um aufbereitetes Boden- und Gesteinsmaterial mit breitem Körnungsspektrum (Ton, Schluff, Sand, Steine).



Abb. 3.1-2 Moorbildung über tertiärem Bohnerzton: Rauhe Wiese bei Böhlenkirch/Göppingen (**oben**) und Rißzeitliche Grundmoräne über Rißkiesen, Kiesgrube südlich von Baltringen/Biberach (**unten**).

Abb. 3.1-3 Hochwassersediment über Kiesen: Jagstau bei Krauthelm/Hohenlohekreis (**oben**) und verwürgte Böden aus Keuper-Fließerdern: Böschung/Rhein-Neckar-Kreis (**unten**).

Lösssediment

Löss wurde in den Kaltzeiten entsprechend der Hauptwindrichtung vorzugsweise aus Westen angeweht und hauptsächlich im Windschatten des Oberflächenreliefs als äolisches Sediment abgelagert. In ostexponierten Lagen reichen die Mächtigkeiten bis 20 m, an den windzugewandten, westexponierten Hängen sind die Lösssedimente geringmächtig oder fehlen ganz. Der Löss besitzt eine relativ einheitliche Korngröße von 0,02 bis 0,06 mm und besteht aus Quarz, Feldspat und Kalk. In der heutigen Landschaft steht meist jedoch nicht Löss sondern Lösslehm an der Erdoberfläche an. Die tonigen Lösslehme sind sekundär durch Zersetzung des Feldspats und Entkalkung des Lösses entstanden. Ihre Mächtigkeit beträgt im Allgemeinen etwa 1 m, kann stellenweise jedoch auch 10 m und mehr erreichen.

Flugsandsediment

Flugsandsedimente sind im Pleistozän äolisch entstanden. Es handelt sich um Fein- bis Mittelsande (Schluffgehalt meist < 10 % oder fehlend), die z. T. als Dünen abgelagert wurden. Vor allem im Oberrheingraben bedecken sie stellenweise die quartären Terrassenkiese (Abb. 3.1-4, oben).

Rückstandsbildung

Der Begriff Rückstandsbildung umfasst Gesteine, die aus verwitterungsresistenten, meist größeren Gesteinsresten (z. B. Residualschotter aus kieseligem Material) bestehen, die nach Lösung, Ausspülung und Ausblasung als Relikte übriggeblieben sind.

Impakt-Formation

Zur Impakt-Formation gehören Trümmergesteine (Bunte Brekzie, Suevit), Auswurfmassen der Meteoro-



ritenkrater des Nördlinger Rieses und des Steinheimer Beckens, die in Ostwürttemberg im Auswurfbereich der Meteoriteneinschläge verbreitet sind. Es handelt sich um unsortierte Brekzien, die in ihrer Zusammensetzung lokal stark wechseln. Sie bestehen aus verschiedenen Gesteinskomponenten (Grundgebirge, Trias, Jura, Tertiär) und beinhalten vom Feinkorn bis zu mehrere 100 bis 1 000 m³ große Blöcke und Schollen (HGK 2002, Abb. 3.1-4 unten).

Feuersteinlehm

Der Feuersteinlehm ist als Relikt der Kalksteinverwitterung auf der Schwäbischen Alb verbreitet. Es handelt sich um rote und ockerfarbene, überwiegend umgelagerte Lehme mit Kieselknollen (Feuersteine). Diese Lehme können eine Mächtigkeit von >30 m erreichen.



Abb. 3.1-4 Windsediment (pw): Sandhausener Düne / Rhein-Neckar-Kreis (**oben**) und Gestein der Impact-Formation (tX), Steinheimer Becken: Hanganschnitt am Galgenberg/Steinheim, Landkreis Heidenheim (**unten**).

Molasse (reliktisch über Oberjura der Schwäbischen Alb)

Molasse ist in Form von Erosionsresten im Bereich der teilweise Überdeckten Zone des Tiefen Oberjura-Karsts (Begriffe vgl. Hy 10) nördlich der Donau auf der Schwäbischen Alb verbreitet. Die Obere Süßwassermolasse setzt sich aus weißgrauen Süßwasserkalken, grünlichen Mergeln, gelbbraunen bis grünlichen Sanden und grauer Juranagelfluh zusammen. Die Obere Meeresmolasse besteht aus gelbbraunen, teilweise grünlichen mittelkörnigen, bereichsweise grobkörnigen Sanden, grünlichgrauen tonigen Sanden, plattigen Mergeln und Sandmergeln. Bei der Unteren Süßwassermolasse handelt es sich um ockergelbe bis grünliche Tone, gelbbraune Sande, sandige Mergel und Süßwasserkalke. Rötliche bis rotbraune Farben sind auf verschwemmten Feuersteinlehm zurückzuführen.

3.1.3 Hydrogeologie

Die **Deckschichten** sind definitionsgemäß überwiegend Grundwassergeringleiter, z. T. auch nur geringer durchlässig im Vergleich zu den unterlagernden Grundwasserleitern (z. B. Flugsandsedimente über quartären Kiesen).

Die hydrogeologische Bedeutung der Deckschichten ergibt sich in erster Linie aus ihrer Funktion als Zwischenspeicher für das in den Untergrund eindringende Niederschlagswasser und den daraus resultierenden Schutz des Grundwassers vor Schadstoffeinträgen.

Die Deckschichten können sich wie folgt auf das darunter liegende Grundwasser auswirken:

- Höheres Grundwasseralter infolge zeitlicher Verzögerung der Grundwasserneubildung
- Geringere Schadstofffracht im Grundwasser infolge Abbau und Retardation von Schadstoffen in den Deckschichten
- Größere Härte des Grundwassers in karbonatfreien Grundwasserleitern infolge Aufhärtung des Sickerwassers durch Karbonatlösung in den Deckschichten (z. B. Löss über Buntsandstein oder Kristallin)
- Geringere Grundwasserneubildungsrate aufgrund höherer aktueller Verdunstung als Folge des Zusammenwirkens von oberflächennaher Wasserspeicherung und kapillarem Aufstieg

Das Eindringen von persistenten Schadstoffen wie beispielsweise Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) oder viele Pflanzenschutzmittel (PSM), oft auch Nitrat, in den Untergrund wird durch Deckschichten allerdings nur verzögert.

Deckschichten können lokal auch kleinere schwebende Grundwasservorkommen enthalten, die sich auf geringer durchlässigen Schichten bilden. Dieses Grundwasser ist häufig nur zeitweise verfügbar. Zu den Einheiten, die selbst eine nennenswerte Wasserführung aufweisen können, gehören die Moränensedimente, die Umlagerungsbildungen und die Molasse. Die Lösssedimente zeichnen sich durch ein großes Speichervermögen, aber ein sehr geringes Leitvermögen aus (LUFT 1980).

Moränensediment

Sowohl in der Grundmoräne als auch in der Endmoräne kommen kiesige Diamikte vor, die lokal weitgehend eigenständige schwebende Grundwasservorkommen enthalten können. So sind z. B. die rißzeitlichen Schotter von Eichen/Alleshausen von einer Grundmoräne überlagert, die ein Kiesband mit eigenständigem Grundwasservorkommen enthält. Ein weiteres Beispiel sind kleinere Grundwasserkörper, die an Kiesvorkommen in der würmzeitlichen Endmoräne bei Bad Schussenried gebunden sind und auf der Innenseite der Endmoräne über Quellen entwässern.

Umlagerungsbildung

Von den Umlagerungsbildungen besitzt in erster Linie der Hangschutt bei hartem, verwitterungsresistentem Ausgangsgestein eine größere Durchlässigkeit. Für schichtgebundenes Grundwasser, das in höherer Position am Hang aus dem Festgestein austritt, wirkt der Hangschutt in vielen Fällen als Drainage, der das Schichtwasser abführt, bevor es in tieferen Hanglagen in Hangschuttquellen zu Tage tritt. Die dabei beobachteten Fließgeschwindigkeiten können beträchtlich sein. So wurde bei einem Markierungsversuch im Enzkreis für eine Hangschuttquelle im Buntsandstein eine maximale Abstandsgeschwindigkeit von $v_{\max} = 37,6$ m/h und eine dominierende Abstandsgeschwindigkeit von $v_{\text{Cmax}} = 27,5$ m/h bei einer Fließstrecke von rund 100 m gemessen (HGE 2004).

Impakt-Formation

In der Bunten Brekzie treten lokal über Oberjura schwebende Grundwasservorkommen auf, die über schwach schüttende Quellen entwässern. Beispiele dafür sind der Karlsbrunnen bei Dischingen-Trugenhofen und die Fürstenquelle bei Dischingen-Eglingen.

Molasse (reliktisch über Oberjura der Schwäbischen Alb)

Die Süßwasserkalke in der Oberen und Unteren Süßwassermolasse und die sandigen Horizonte in der Oberen Meeresmolasse können im Bereich des teilweise überdeckten Karsts auf grundwasserstauenden Horizonten lokal schwebende Grund-

wasservorkommen enthalten. Diese entwässern über ständig oder nur episodisch schüttende Quellen (meist $Q < 1$ l/s) am Rand der Molasse-Inseln. Die Quellabflüsse versinken dann meist nach kurzer Fließstrecke in den Karstgrundwasserleiter (HGK 2002).

Literatur

GLA (1992): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Klettgau: 70 S., 28 Abb., 14 Tab., 11 Kt., 4 Anl.; Freiburg i. Br.

HGE (2004): Hydrogeologische Erkundung Enztal-Pforzheim – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mappe 3: 40 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Kt., 3 Anl.; Freiburg i. Br., Pforzheim, Freudenstadt.

HGK (2002): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Ostalb: 66 S., 23 Abb., 20 Tab., 10 Kt.; Freiburg i. Br.

LUFT, G. (1980): Abfluß und Retention im Löß, dargestellt am Beispiel des hydrologischen Versuchsgebiets Rippach – Ostkaiserstuhl. – Verl. Beitr. zur Hydrol., Sonderheft 1; Kirchzarten.

3.2 Quartäre Beckensedimente, Moränensedimente und tiefgründig verwitterte Deckenschotter (Hy 2)

3.2.1 Verbreitung

Die hydrogeologische Einheit Hy 2 umfasst geringdurchlässige Sedimente, die im Einflussbereich der Alpengletscher abgelagert wurden. Ihre Verbreitung ist im Wesentlichen auf das Molassebecken und die westlich angrenzenden, glazial geprägten Gebiete (Hegau, Klettgau) beschränkt. Sie streicht auf rund 2340 km² aus (Abb. 3.2-1). Obwohl sie Bestandteil der Deckschichten (Hy 1) ist, wird sie wegen ihrer Bedeutung für die Struktur der quartären Sedimente in Alpenvorland als eigene Einheit geführt.

3.2.2 Geologie

Gemeinsam ist den Sedimenten der hydrogeologischen Einheit Hy 2 ein hoher Anteil an Feinbestandteilen. Genetisch handelt es sich jedoch um vollkommen unterschiedliche Gesteine.



Beckensedimente (qpb) sind limnische kaltzeitliche Feinsedimente, die in glazialen Becken abgelagert wurden. Petrographisch bestehen sie aus feingeschichtetem tonigem Schluff mit einem Feinsandgehalt zwischen 0 und 40% (HGK 1992).

Moränensedimente (qpm) sind das Ergebnis einer glazigenen Deposition. Grundmoränen werden an der Basis des Gletschers sedimentiert und bestehen überwiegend aus matrixgestützten Diamikten, d. h. aus wenig sortierten kiesigen Lehmen mit vergleichsweise hohem Feinkornanteil, die durch die Gletscherauflast stark verdichtet sind. Im Gegensatz zu den Grundmoränen sind Endmoränen Material-Akkumulationen am äußeren Gletscherrand. Sie bilden sich im Stadium der größten Gletscherverbreitung und im Verlauf einzelner Rückzugsstadien. In den Endmoränen dominieren locker gelagerte komponentengestützte Diamikte, welche – im Vergleich zu den matrixgestützten Diamikten – einen deutlich größeren Kiesanteil aufweisen.

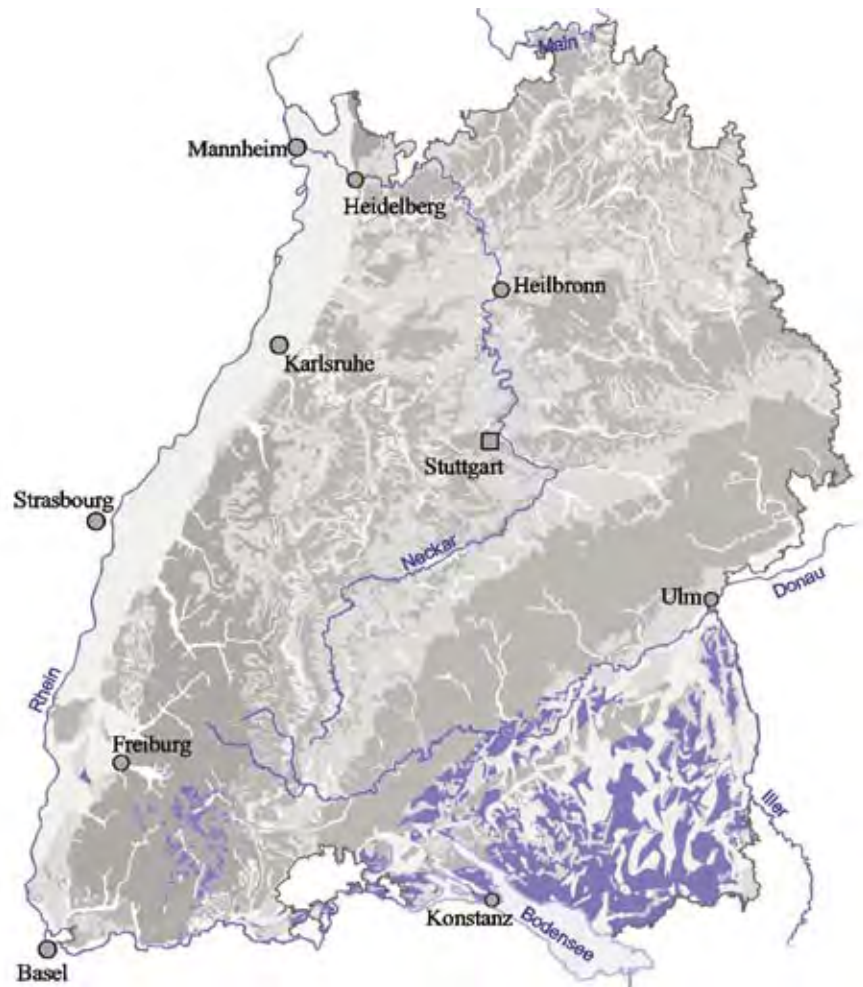


Abb. 3.2-1 Ausstrich der quartären Beckensedimente, Moränensedimente und tiefgründig verwitterten Deckenschotter (Hy 2) farbig.

Die ältesten Deckenschotter mit biber-, donau- und günzzeitlichem Alter (Bg, Dg, Gg) liegen überwiegend tiefgründig verwittert vor. Beim Verwitterungsprozess werden die Schotter entkalkt und die Kiesgerölle zerfallen. Der resultierende lehmige Grus besitzt nur noch eine geringe Durchlässigkeit. Derartige Sedimente finden sich als isolierte Vorkommen auf Molasserücken im Iller-/Rißgebiet im Nordosten des Molassebeckens. Die maximale Mächtigkeit des Biber-Donau-Komplexes beträgt 25 m, die des Günz-Komplexes 50 m.

3.2.3 Hydrogeologie

Quartäre Beckensedimente, Moränensedimente und tiefgründig verwitterte Deckenschotter sind als Grundwassergeringleiter einzustufen.

Die Durchlässigkeit und Grundwasserführung der Beckensedimente wurde im Zusammenhang mit der Prüfung ihrer Eignung als Deponieuntergrund

erkundet (Geotechnisches Institut 1991). Die horizontale Durchlässigkeit liegt in einem Wertebereich von $k_f = 1 \cdot 10^{-7}$ bis $k_f = 1 \cdot 10^{-10}$ m/s, die vertikale Durchlässigkeit bei $k_f = 1 \cdot 10^{-9}$ bis $k_f = 1 \cdot 10^{-10}$ m/s. Auch aufgrund ihrer vergleichsweise großen Homogenität gehören sie zu den Gesteinen mit günstigen Barriereigenschaften in Baden-Württemberg.

Die Moränensedimente – insbesondere die komponentengestützte Diamikte, die vorzugsweise in den Endmoränen vorkommen – sind in geringem Umfang grundwasserführend. Sie speisen kleinere Quellen und werden stellenweise durch Brunnen mit geringer Ergiebigkeit für die lokale Wasserversorgung genutzt. Im Zusammenhang mit hydrogeologischen Arbeiten im Singener Becken wurde für matrixgestützte Diamikte eine Durchlässigkeit von $k_f = 8 \cdot 10^{-6}$ m/s und für komponentengestützte Diamikte von $k_f = 1,2 \cdot 10^{-5}$ m/s ermittelt (GLA 1997). Untersuchungen im Gebiet von Ostrach ergaben für Grundmoränensedimente Werte zwischen $k_f = 5 \cdot 10^{-5}$ und $k_f = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s und für Geschiebemergel der Endmoräne Werte zwischen $k_f = 3 \cdot 10^{-7}$

und $k_f = 5 \cdot 10^{-11}$ m/s (Geotechnisches Institut 1991). Vorflut für die Grundwässer in den Moränensedimenten sind die pleistozänen Kiesrinnen (Hy 4), welche die Moränengebiete drainieren.

Die tiefgründig verwitterten Deckenschotter sind Grundwassergeringleiter und damit wasserwirtschaftlich unbedeutend. Sie waren bisher nicht Gegenstand näherer hydrogeologischer Untersuchungen.

Literatur

Geotechnisches Institut (1991): Bericht über die dritte Phase der hydrogeologischen Untersuchungen für eine Reststoffdeponie in Hüttenreute, Lkr. Ravensburg: 58 S., 11 Anl.; Weil am Rhein. – [unveröff.]

GLA (1997): Grundwasserbewirtschaftungskonzept Singen – Teilbericht Grundwasserströmungsmodell „Singer Becken“: 96 S., 15 Tab., 20 Anl.; Freiburg i. Br.

HGK (1992): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Klettgau: 70 S., 28 Abb., 14 Tab., 4 Anl., 11 Kt.; Freiburg i. Br.

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

3.3 Quartäre/Pliozäne Kiese und Sande im Oberrheingraben (Hy 3)

3.3.1 Verbreitung

In Baden-Württemberg sind die quartären/pliozänen Kiese und Sande im Oberrheingraben von der Landesgrenze nach Hessen im Norden bis nach Basel im Süden verbreitet (Abb. 3.3-1). Im Osten ist das Vorkommen entlang der Randstörungen des Oberrheingrabens zum Odenwald, zur Kraichgaumulde, zum Schwarzwald sowie zum Hochrheintal begrenzt. Im Norden und Westen setzen sich die Kiesvorkommen nach Hessen und unter dem Rhein hindurch nach

Rheinland-Pfalz und Frankreich fort. Die Abgrenzung erfolgte nach den Ergebnissen hydrogeologischer Kartierungen im Oberrheingraben (HGK 1980, 1987, 1988, 1999 und 2007).

Morphologisch gliedert sich der Oberrheingraben in die Rhein-parallel verlaufende, holozäne Rheinaue (Tiefgestade) sowie die im südlichen Oberrheingraben bis rund 15 m, im nördlichen Teil etwa 6 bis 7 m höher gelegene, jungpleistozäne Niederterrasse (Hochgestade). Die charakteristischen Höhenbeziehungen können durch Neotektonik überprägt sein.

3.3.2 Geologie

Bei Karlsruhe bildet der präquartäre Untergrund eine Schwellenregion. Nördlich davon besteht die Lockergesteinsfüllung des Oberrheingrabens aus einer Sand-Kiesfolge, die durch aushaltende Ton-Schluffhorizonte (Zwischenhorizonte) vertikal in verschiedene Kieskörper gegliedert ist. Von oben



Abb. 3.3-1 Verbreitung der quartären/pliozänen Kiese und Sande im Oberrheingraben (Hy 3) farbig, Ausstrich dunkel.



Abb. 3.3-2 Kiese und Sande der Neuenburg-Formation (qN): Kiesgrube nordöstlich von Auggen/Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald.

nach unten folgen die Obere kiesig-sandige Abfolge (OksA, früher OKL; Jungquartär), der Obere Zwischenhorizont (OZH), die Mittlere sandig-kiesige Abfolge (MskA, früher MKL; Jungquartär), der Untere Zwischenhorizont (UZH) und die Untere sandig-schluffige Abfolge (UssA, früher UKL; Altquartär, Pliozän). Südlich von Karlsruhe sind bindige Zwischenschichten zunehmend lückenhaft verbreitet. Im südlichen Oberrheingraben (etwa ab Rastatt) wird die Kiesfolge in einen oberen Abschnitt aus unverwitterten sandigen Kiesen (Neuenburg-Formation, qN; Jungquartär; Abb. 3.3-2) und einen tieferen, schluffigen Abschnitt mit stärker verwittertem Material (Breisgau-Formation, qBS; Altquartär; Abb. 3.3-3) gegliedert.

Generell zeichnet sich im Oberrheingraben mit zunehmender Transportlänge von Süden nach Norden eine Abnahme der Korngröße der quartären Ablagerungen ab. Unter den Bedingungen des im Pleistozän im Oberrheingraben vorherrschenden Sedimentationsmilieus lagerten sich Sand- und Kieskörper und -rinnen unterschiedlicher Zusammensetzung neben- und übereinander ab. Daraus resultiert eine ausgeprägte vertikale und horizontale Anisotropie der Sedimentzusammensetzung.

Im Holozän wurden OksA bzw. Neuenburg-Formation in der Rheinaue bis in eine Tiefe von 10 bis 15 m umgelagert.

Im nördlichen Oberrheingraben bestehen die quartären/ pliozänen Lockergesteine aus sandigen Kiesen und kiesigen Sanden mit unterschiedlichen Anteilen von Ton- und Schlufflagen und -linsen.

In der OksA überwiegen sandige Kiese, in die nur vereinzelt Ton- und Schlufflinsen eingelagert sind. Lediglich im Raum Heidelberg ist in der OksA ein zusammenhängender, rund 2 m mächtiger Schluffhorizont verbreitet. In der MskA und UssA nehmen die Ton- und Schlufflagen sowie -linsen gegenüber der OksA einen deutlich größeren Anteil an der Gesamtfolge ein.

Der limnisch entstandene OZH stellt den Abschluss einer zunehmend feinkörnigeren Sedimentation dar. Er besteht aus Tonen, Schluffen, z. T. auch aus Fein- und Mittelsanden sowie bereichsweise aus einer Wechsellagerung von Sand, Schluff und Ton. Die Mächtigkeit beträgt 10 bis 25 m, maximal 40 m. Bereiche, in denen der OZH nicht vorhanden bzw. kiesig ausgebildet ist, sind erosiv vor Ablagerung der OksA entstanden oder beruhen auf lokalen Faziesunterschieden des OZH. Sie treten u. a. südlich von Mannheim-Rheinau und im Bereich des Bürstetter Waldes auf.

Im nördlichen und mittleren Oberrheingraben sind Sedimente mit hohen Gehalten an organischem Material weit verbreitet, vor allem am östlichen Grabenrand im Bereich der Kinzig-Murg-Rinne.

Die Basis der quartären Sedimente ist vom Rhein nach Osten zur Vorbergzone hin geneigt. Dementsprechend nimmt die Mächtigkeit der einzelnen Einheiten von Westen nach Osten zu, die der OksA z. B. von etwa 15 bis 20 m in Rhein-Nähe auf maximal 60 m im Raum Heidelberg.

Im südlichen Oberrheingraben besteht die Neuenburg-Formation aus grauen bis rötlichgrauen Kiesen mit wechselnden Sand- und geringen Schluffanteilen. Stellenweise sind in die Kiese Stein- und Blocklagen eingeschaltet. Mit Annäherung an den Gebirgsrand nimmt der Anteil an harten Geröllen alpiner Herkunft (u. a. Granit, Gneis, Kalkstein) ab und es dominiert weiches und stärker verwittertes Schwarzwaldmaterial (u. a. Buntsandstein). Die Sortierung nimmt zum Grabenrand hin ab. Die Sandfraktion besteht in den Rheinkiesen überwiegend aus Fein- bis Mittelsand. Innerhalb der Kiesabfolge sind linsenartig sandige Bereiche ausgebildet, die lateral allerdings nur über kurze Entfernungen parallelisiert werden können.

Bereichsweise lässt sich die Neuenburg-Formation lithofaziell in eine obere Abfolge (Obere Neuenburg-Schichten) und in eine untere Abfolge (Untere Neuenburg-Schichten) unterteilen. An der Basis dieser Abfolgen liegt jeweils eine Groblage aus locker gelagerten, grauen, sandigen Kiesen und Steinen (bis zu 20 cm Durchmesser) überwiegend alpiner Herkunft (Abb. 3.3-3).

Am Nordrand des Kaiserstuhls ist in der Neuenburg-Formation, etwa 15 bis 20 m u. Gel., eine mehrere Meter mächtige Schwemmlösslage aus feinsandigem Schluff (Riegeler Horizont) eingeschaltet, die vom Nordhang des Kaiserstuhls in die Niederterrasse umgelagert wurde.

Die Neuenburg-Formation erreicht am Rhein südwestlich Rust ihre maximale Mächtigkeit von 60 m, nordwestlich Niederhausen und östlich Weisweil noch 55 m. Am östlichen Grabenrand (bei Kenzingen) beträgt die Mächtigkeit zwischen 0 und 50 m. Im Durchschnitt ist die Neuenburg-Formation etwa 40 m mächtig.

Unter der Neuenburg-Formation folgt die Breisgau-Formation. Diese besteht aus unterschiedlich dicht gelagerten, sandig-schluffigen Kiesen, die stellenweise geringmächtige Schlufflinsen enthalten. Die Gerölle stammen sowohl aus den Alpen (Rheineinzugsgebiet) als auch aus dem Schwarzwald (lokale Komponenten). Die Kristallingerölle sind z. T. frisch, z. T. mäßig bis stark verwittert. Sie zerfallen dann zu Mittel- bis Grobsand. Allgemein nehmen der Zeretzungsgrad und die Lagerungsdichte mit der Tiefe zu. Nach Norden nimmt der Anteil an zersetzten Kristallingeröllen an der Zusammensetzung

der Breisgau-Formation ab. Dies erschwert dort die lithologische Grenzziehung zwischen Neuenburg- und Breisgau-Formation. Hydraulisch wirksame Trennschichten innerhalb der Breisgau-Formation fehlen.

Aufgrund der lithologischen Ausbildung und einer stellenweise vorhandenen Groblage in der oberen Hälfte kann auch die Breisgau-Formation bereichsweise in eine mittel bis hoch durchlässige obere Abfolge (Obere Breisgau-Schichten) und in eine mittel durchlässige untere Abfolge (Untere Breisgau-Schichten) unterteilt werden (Abb. 3.3-3).

Die Breisgau-Formation erreicht ihre maximale Mächtigkeit in Rheinnähe. Sie wird nördlich Wyhl und westlich Rheinhausen 120 m sowie nordwestlich Rust 100 m mächtig. Im Osten hat sie eine Mächtigkeit von 30 bis 40 m. Im Durchschnitt ist die Breisgau-Formation 60 m mächtig.

In der Nähe des östlichen Grabenrands sowie im Umfeld des Kaiserstuhls liegt über den quartären Kiesen und Sanden bis > 10 m Löss und Lösslehm. Außerdem wird die Niederterrasse bereichsweise von Flugsand bedeckt. In der Rheinniederung sind 1 bis 2 m geringdurchlässige Auensedimente über den Kiesen verbreitet.

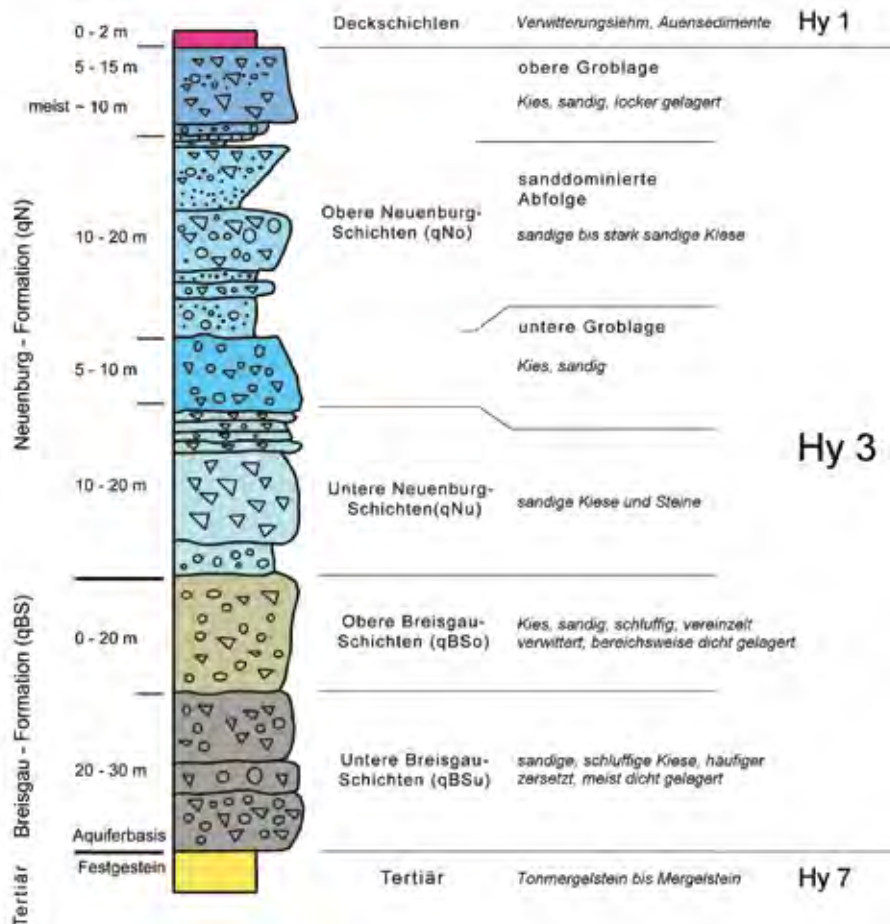


Abb. 3.3-3 Schematische Schichtenfolge der quartären/ pliozänen Sande und Kiese (Hy3) im südlichen Oberrheingraben mit Angaben zu Stratigraphie, Mächtigkeiten und Lithologie (RPF-LGRB 2006).



3.3.3 Hydrogeologie

Die quartäre und jungtertiäre Lockergesteinsfüllung des Oberrheingrabens bildet einen lateral zusammenhängenden, bereichsweise in mehrere Stockwerke gegliederten Porengrundwasserleiter mit einer wasserwirtschaftlich überregionalen Bedeutung.

Da südlich Karlsruhe durchhaltende Trennschichten fehlen, ist die Stockwerksgliederung weitgehend aufgehoben. Allerdings gibt es im südlichen Oberrheingraben Hinweise auf eigenständige Grundwasservorkommen in den Schichten der Neuenburg-Formation (OGWL) und den unmittelbar darunter

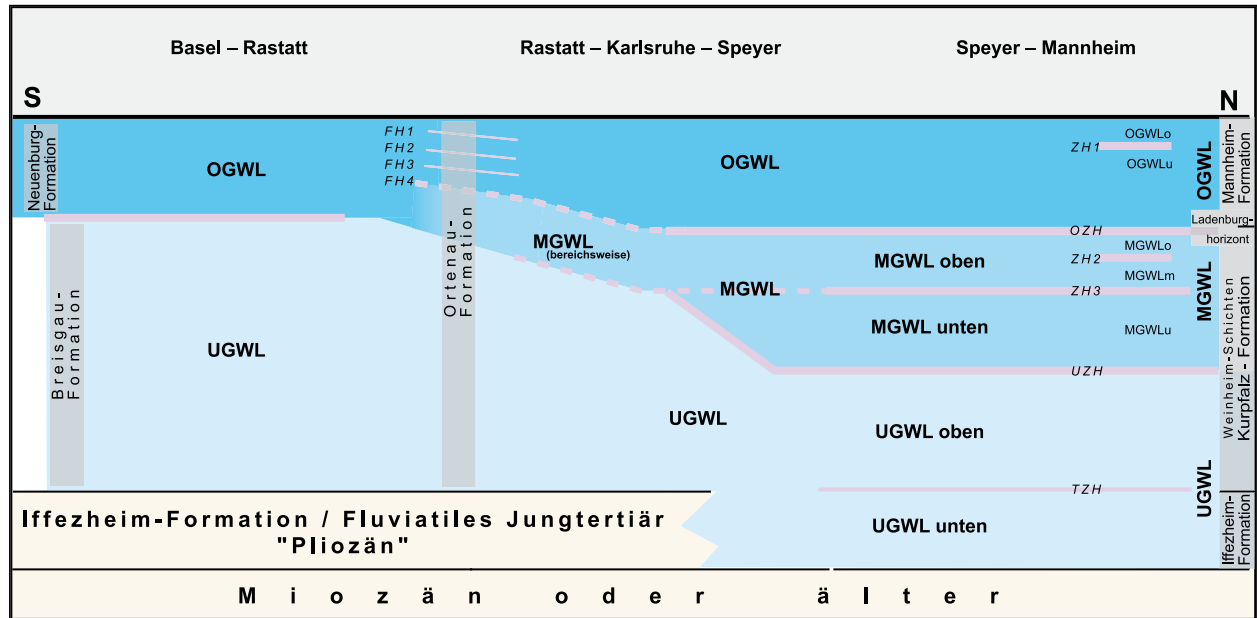


Abb. 3.3-4 Hydrostratigraphisches Korrelationsschema für die Lockergesteinsfüllung des Oberrheingrabens zwischen Basel und Mannheim (RPF-LGRB 2007); Erläuterungen im Text.

Die Basis der grundwasserführenden Lockergesteine ist meist geringdurchlässiges Tertiär, auf den Hoch- und Randschollen lokal auch Mesozoikum. Ein direkter hydraulischer Kontakt besteht in der Freiburger Bucht zum unterlagernden Kluft-/Karstgrundwasserleiter des Muschelkalks.

Bezüglich der vertikalen Gliederung gibt es deutliche Unterschiede im Oberrheingraben. Nördlich der Schwellenregion bei Karlsruhe ist die Sand-Kiesfolge durch aushaltende Ton-Schluffhorizonte in unterschiedliche Grundwasserstockwerke gegliedert. Obere kiesig-sandige Abfolge (OksA), Mittlere sandig-kiesige Abfolge (MskA) und Untere sandig-schluffige Abfolge (UssA) bilden weitgehend hydraulisch getrennte Porengrundwasserleiter: Oberer Grundwasserleiter (OGWL), Mittlerer Grundwasserleiter (MGWL) und Unterer Grundwasserleiter (UGWL). Durch Zwischenhorizonte (ZH2, ZH3) sind bereichsweise weitere Untergliederungen möglich (Abb. 3.3-4). Der Mittlere Grundwasserleiter sowie das Altquartär/Pliozän (Unterer Grundwasserleiter) sind tiefe Grundwasserstockwerke.

liegenden Breisgau-Formation (UGWL), obwohl sie hydraulisch miteinander verbunden sind (Abb. 3.3-4; LGRB 2002 b, RPF-LGRB 2007).

Die quartären/pliozänen Kiese und Sande des Oberrheingrabens besitzen eine hohe mittlere Durchlässigkeit von $k_f = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$, die mittlere Transmissivität liegt bei $T = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (geometrische Mittelwerte, Abb. 3.3-5).

Entsprechend der Abnahme der Korngröße von Süden nach Norden ist auch eine generelle Abnahme der Durchlässigkeit in diese Richtung zu beobachten. Von Westen nach Osten wird die Durchlässigkeitsverteilung insbesondere im südlichen Oberrheingraben durch den Wechsel von hochdurchlässigen Rinnenablagerungen, zu denen u.a. auch die Ostrheinrinne am Ostrand des Kaiserstuhls gehört, und weniger durchlässigen Kieskörpern geprägt (Abb. 3.3-6). Auch die Verteilung von harten, unverwitterten alpinen Kiesen im Westen und stärker verwittertem Schwarzwaldmaterial im Osten spiegelt sich in der Durchlässigkeitsverteilung wieder.

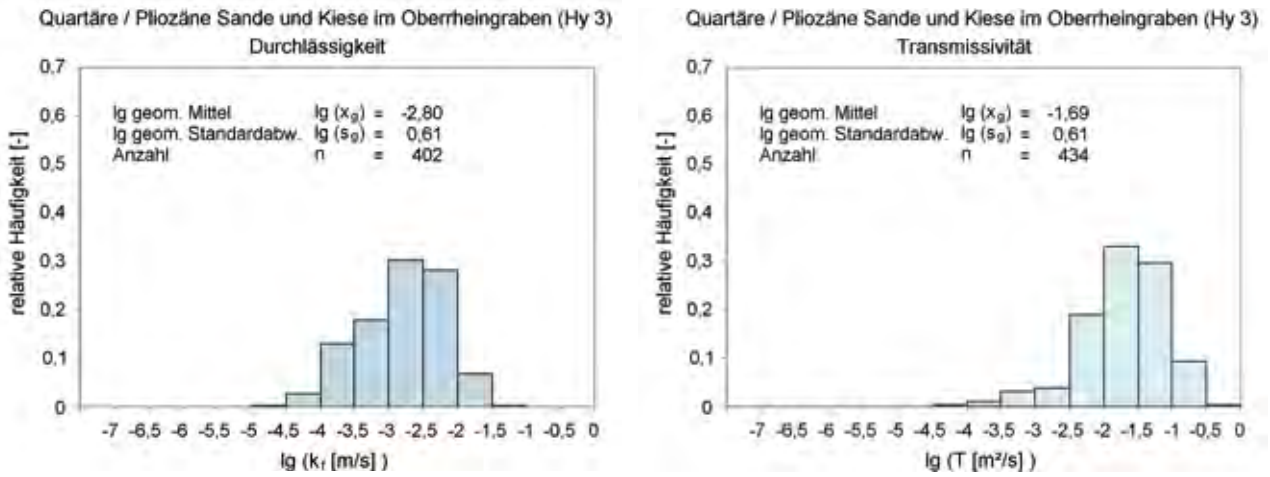


Abb. 3.3-5 Statistische Verteilung der Durchlässigkeitswerte (links) (geometrisches Mittel $k_r = 1,6 \cdot 10^{-3}$ m/s) und der Transmissivitätswerte (rechts) (geometrisches Mittel $T = 2,0 \cdot 10^{-2}$ m²/s) für die quartären/pliozänen Sande und Kiese im Oberrheingraben (LGRB 2002a).

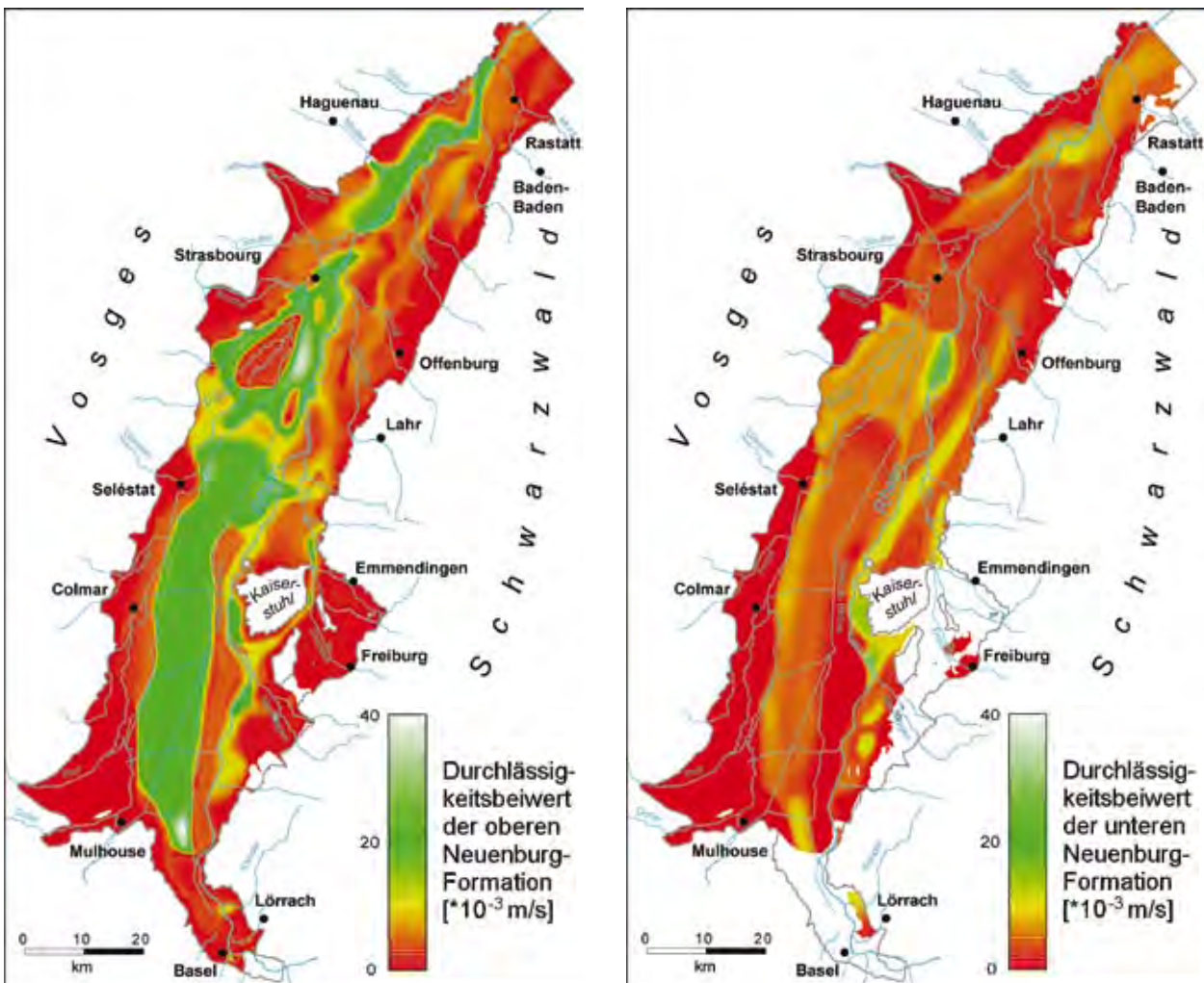


Abb. 3.3-6 Durchlässigkeitsverteilung in der oberen (links) und unteren Neuenburg-Formation (rechts) im südlichen Oberrheingraben (RPF-LGRB 2007).



Schließlich ist auch eine vertikale Differenzierung der Durchlässigkeiten erkennbar. So liegen die Durchlässigkeiten im MGWL in der Regel um den Faktor 10 niedriger als im OGWL. Auch innerhalb der Neuenburg-Formation (Abb. 3.3-6) sowie zwischen Neuenburg-Formation ($k_f = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ bis $k_f = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) und Breisgau-Formation ($k_f = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$) besteht ein deutlicher Durchlässigkeitskontrast. Besonders hohe Durchlässigkeiten finden sich in den locker gelagerten Kiesen in der Rheinaue (Raum Whyll: $k_f = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$).

Für die oberen Grundwasserleiter liegt der Quotient aus vertikaler und horizontaler Durchlässigkeit zwischen etwa $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{5}$ (HGK 1987, 1988). Der nutzbare Porenraum beträgt rund 15%.

3.3.4 Hydrologie

Die aus Niederschlag erfolgende Grundwasserneubildung beträgt im Bereich des Oberrheingrabens im langjährigen Mittel (Periode 1961 – 1990) $G_m = 7,6 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$, das sind – bezogen auf die Fläche von 2813 km^2 – $G_f = 21,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Eine verstärkte Sickerung findet auf der Hochterrasse im Verbreitungsgebiet von Flug- und Dünen sanden statt.

Randliche Zuflüsse von Osten aus dem angrenzenden Festgestein (Schwarzwald, Odenwald, Kraichgau) wurden für den Grabenabschnitt Rastatt – Heidelberg auf rund 6 l/s pro Kilometer Grabenrand bilanziert (EINSELE et al. 1976).

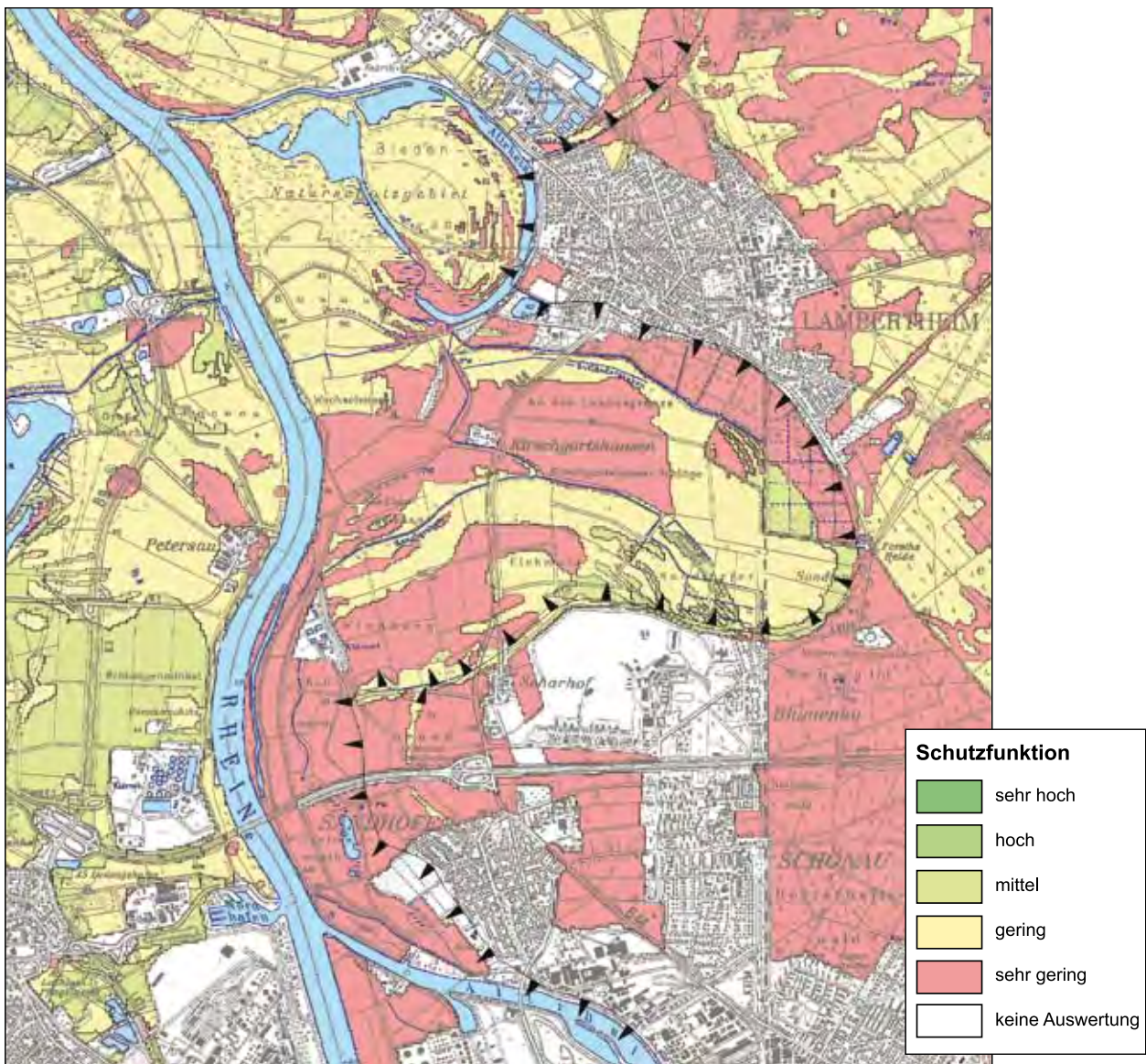


Abb. 3.3-7 Karte der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung für den nördlichen Oberrheingraben. Ausschnitt nordwestlich Mannheim: HGK 1999 (Methode nach HÖLTING et al. 1995).

Schließlich tragen die Flüsse aus Schwarzwald und Odenwald zur Grundwasserneubildung bei, da sie beim Übertritt in den Oberrheingraben ihr Wasser teilweise oder vollständig in den Untergrund verlieren. Natürliche Tracer für Infiltrationsvorgänge sind hydrochemische und isopenphysikalische Parameter. Auch der Rhein wirkt auf weiten Fließstrecken infiltrierend.

Neben den Fließgewässern kommunizieren auch die stehenden Gewässer (im Oberrheingraben überwiegend Baggerseen) mit dem Grundwasser. Die Aufenthaltszeit des Grundwassers in einem See beträgt je nach den Eigenschaften des Sees (Morphologie, Grad der Kolmation, Dichteschichtung) und des Grundwasserleiters (vertikale Durchlässigkeitsverteilung) $t < 1$ a bis $t = 9$ a (LGRB 2001). Wichtigste Parameter für den Nachweis von Baggerseewasser im Grundwasser sind die Isotope ^{18}O und ^2H des Wassers, die im See durch Verdunstungseffekte einer Fraktionierung unterliegen.

In den tiefen Grundwasserleitern erfolgt die Grundwasserneubildung durch Zusickerung aus den oberen Stockwerken, insbesondere im Bereich hydraulischer Fenster. In geringem Umfang tragen auch Randzuflüsse aus dem Festgestein zur Neubildung bei. Die Neubildungsrate beträgt unter natürlichen hydraulischen Bedingungen nur wenige Liter pro Sekunde und Quadratkilometer. Sie erhöht sich jedoch bei Druckentlastung in tiefen Stockwerken infolge Grundwasserrentnahme.

Im rechtsrheinischen Oberrheingraben erfolgt der Grundwasserabstrom generell von Südosten nach Nordwesten. Während im östlichen Grabenbereich eine abwärts gerichtete Grundwasserströmung vorherrscht, befindet sich in der Nähe des Rheins, der überregionaler Vorfluter ist, das Austrags-Gebiet mit aufwärtsgerichtetem Gradienten.

Die Grundwasserstandsschwankungen liegen in der Größenordnung von wenigen Dezimetern bis Metern. Der Flurabstand beträgt in der Rheinaue meist weniger als 2 m, das Grundwasser ist hier unter dem Auenlehm gespannt. Auf der Niederterrasse herrschen freie Grundwasserverhältnisse bei Flurabständen von 6 bis 8 m. In den tiefen Grundwasserstockwerken ist das Grundwasser durch die geringdurchlässigen Zwischenschichten gespannt.

Das Grundwasser in den quartären Kiesen und Sanden ist in weiten Bereichen des Oberrheingrabens nur gering gegen Verunreinigungen von der Erdoberfläche geschützt. Auf der Niederterrasse besteht die Grundwasserüberdeckung meist aus einem rund 1,5 m mächtigen lehmigen Verwitterungsboden und 4 bis 6 m sandigem unverwittertem Kies, eventuell

überlagert noch von einigen Metern Flugsand. In diesen Fällen ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung gering bis sehr gering (Abb. 3.3-7). Ähnliches gilt wegen der geringen Flurabstände für die Rheinaue. Nur wo Löss und Lösslehm in größerer Mächtigkeit verbreitet sind, ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung mittel bis hoch.

3.3.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Aufgrund des großen Anteils an karbonatischen Geröllen in den quartären Kiesen und Sanden überwiegen hydrogenkarbonatisch-erdalkalische Süßwasser (Ca-HCO_3 -Typ). Charakteristisch ist ein Lösungsgehalt von etwa 500 mg/l. Nur in den östlichen Randbereichen des Oberrheingrabens, in denen die Kiese weitgehend aus Schwarzwaldmaterial bestehen und weiches Oberflächenwasser aus dem Schwarzwald infiltriert, ist Grundwasser mit geringem Lösungsinhalt verbreitet.

Typisch für das Grundwasser im Oberrheingraben ist, mit Ausnahme des Markgräfler Landes, ein geringer Sauerstoffgehalt (LfU 2001), verursacht durch die bereichsweise hohen Gehalte an organischem Material im Gestein.

Das reduzierende Milieu im Grundwasser ist u. a. an einem niedrigen, z. T. negativen Redox-Potenzial, einem erhöhten DOC-Gehalt, niedrigen Sauerstoffgehalten sowie erhöhten Konzentrationen von Eisen, Mangan und Nitrit bzw. Ammonium erkennbar. Die Herkunft erhöhter Konzentrationen von Arsen und Zink ist bisher nicht eindeutig geklärt. Beide Parameter zeigen jedoch in ihrer räumlichen Verteilung ein hohes Maß an Übereinstimmung mit der Verteilung der DOC-Gehalte im Grundwasser (LfU 2001).

Durch die Randzuflüsse und die Einspeisung aus oberirdischen Gewässern wird der Grundwasserchemismus weiter modifiziert. Das Wasser, das im Bereich des Kristallins und Buntsandsteins über den östlichen Grabenrand als Oberflächenwasser oder oberflächennahes Grundwasser dem Oberrheingraben zuströmt, ist gering mineralisiert und isotopisch markiert. Im Oberrheingraben zeigt die Verbreitung von Wasser dieses Typs den Grundwasserzustrom aus dem Grundgebirge und die Infiltration aus den Schwarzwald- und Odenwaldflüssen.

Neben dem gering mineralisierten Wasser lässt sich in der Nähe des Grabenrandes lokal auch der Zustrom höher mineralisierten Grundwassers nachweisen. Die hohe Mineralfracht kann einerseits aus einer tief reichenden Zirkulation im Grundgebirge herrühren, andererseits auch aus



dem Kontakt mit leicht löslichen Mineralien mesozoischer Gesteine in der Vorbergzone.

Das Uferfiltrat des Rheins ruft im Grundwasser in einem uferparallelen Streifen von wechselnder Breite in der Neuenburg-Formation bzw. in der OksA hydrochemische und isotopephysikalische Veränderungen hervor. Hydrochemisch unterscheidet sich das Rheinwasser vom Grundwasser durch eine geringere Gesamtmineralisation sowie erhöhte Gehalte an anthropogenen Substanzen, isotopephysikalisch vor allem durch eine größere Konzentration leichter Isotope von Sauerstoff und Wasserstoff.

Verantwortlich für die Salzfahnen im Grundwasser südlich Breisach sind die Abraumhalden des ehemaligen Kalibergbaus in diesem Gebiet. Eine Ablaugung der Steinsalz-Diapire bei Buggingen und Heitersheim trägt eventuell ebenfalls in geringem Umfang zu den erhöhten Natrium- und Chloridkonzentrationen im südlichen Oberrheingraben bei (LGRB 2002b).

Die dichte Besiedlung und die intensive landwirtschaftliche Nutzung im Oberrheingraben führen zu einer vielfältigen anthropogenen Überprägung der geogenen Grundwasserbeschaffenheit.

Literatur

EINSELE, G. et al. (1976): Hydrogeologische Untersuchungen zur Frage der Einspeisung von Grundwasser aus dem Festgesteinsbereich in die Oberrheinebene zwischen Rastatt und Heidelberg: 66 S., 55 Anl.; Tübingen. – [unveröff.]

HGK (1980): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum. Analyse des Ist-Zustands: 71 S., 12 Abb., 10 Tab., 14 Kt.; Stuttgart, Wiesbaden, Mainz.

— (1987): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum. Situation heute: Möglichkeiten und Grenzen zukünftiger Entwicklungen: 107 S., 42 Abb., 16 Tab., 12 Kt.; Stuttgart, Wiesbaden, Mainz.

— (1988): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Raum Karlsruhe – Speyer. Analyse des Ist-Zustands: 111 S., 23 Abb., 9 Tab., 13 Kt.; Freiburg i. Br.

— (1999): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum. Fortschreibung 1983 – 1998: 155 S., 71 Abb., 23 Tab., 18 Kt.; Stuttgart, Wiesbaden, Mainz.

— (2007): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Raum Karlsruhe – Speyer. Fortschreibung 1986 – 2005: 90 S., 30 Abb., 2 Tab., 13 Kt.; Stuttgart, Mainz.

HÖLTING, B. & HAERTLÉ, T., HOHBERGER, K.-H., NACHTIGALL, K.H., VILLINGER, E., WEINZIERL, W., WROBEL, J.-P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. – Geol. Jb. **C63**: 5 – 24, 5 Tab.; Hannover.

LfU (2001): Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg: 124 S.; Karlsruhe.

LGRB (2001): Wechselwirkung zwischen Baggerseen und Grundwasser. – LGRB-Inform., **10**: 64 S., 42 Abb., 15 Tab.; Freiburg i. Br.

— (2002a): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

— (2002b): Interreg II: Grenzüberschreitende Erkundung des tiefen rheinnahen Grundwasserleiters zwischen Fessenheim und Breisach. – Endbericht: 172 S.; Freiburg i. Br.

RPF-LGRB (2007): Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben (Baden-Württemberg). Bearbeiter: WIRSING, G. & LUTZ, A. et al. – LGRB-Inform., **19**: 130 S., 118 Abb., 12 Tab., Freiburg i. Br.

3.4 Fluvioglaziale Kiese und Sande im Alpenvorland (Hy 4)

3.4.1 Verbreitung

Unter dem Begriff „Fluvioglaziale Kiese und Sande im Alpenvorland“ werden Kies- und Sandvorkommen im Einflussbereich der Alpengletscher und ihres unmittelbaren Vorlandes zusammengefasst, die unter glazialen oder fluvioglazialen Bedingungen im Pleistozän abgelagert wurden (Hy 4, Abb. 3.4-1). Es handelt sich um zahlreiche, häufig durch Molasse (Hy 8, Hy 9) bzw. Becken- oder Moränensedimente (Hy 2) getrennte Einzelvorkommen. Die fluvioglazialen Kiese und Sande sind auf 2013 km² verbreitet. Sie werden auf 990 km² von Deckschichten überlagert (Hy 1), überwiegend von Moränensedimenten. Im Norden werden noch die alten, kiesverfüllten Donaurinnen sowie das Donautal einschließlich des Langenauer Donaurieds mit einbezogen, im Westen die überwiegend mit pleistozänen Kiesen gefüllte Klettgaurinne.



Abb. 3.4-1 Verbreitung der fluvio-glazialen Kiese und Sande im Alpenvorland (Hy 4) farbig, Ausstrich dunkel, bei Überdeckung mit Deckschichten (Hy 1) hell.

3.4.2 Geologie

Folgende Typen von Kies- und Sandvorkommen lassen sich im Hinblick auf ihre hydrogeologischen Eigenschaften unterscheiden:

- Deckenschotter (Haslach/Mindel)
- Jung-/mittelpleistozäne Kiese und Sande, abgelagert in:
 - Rinnen/Flusstälern
 - Becken
 - Eiszerfallslandschaften

Bei den **Deckenschottern** des Haslach-Mindel-Komplexes handelt es sich um sandige Kiese mit geringem Schluffgehalt. Sie liegen meist als isolierte Vorkommen auf Molasse, die an der Basis der Kiese ein wenig ausgeprägtes Relief aufweist. Die Deckenschotter des Haslach-Mindel-Komplexes sind tiefgründig, jedoch nicht vollständig verwittert

und bereichsweise durch kalte Zementation zu Nagelfluh verbacken.

Die Deckenschotter sind besonders im Iller-/Rißgebiet außerhalb der Verbreitung der riß- und würmzeitlichen Gletscher zu finden, jedoch auch weiter im Südwesten in Resten erhalten.

Die Mächtigkeit der Deckenschotter des Haslach-Mindel-Komplexes kann bis 100 m betragen.

Jung- und mittelpleistozäne (riß-/würmzeitliche) Sande und Kiese lagerten sich einerseits als fluvio-glaziale Sedimente in den Tälern der Schmelzwasserflüsse ab. Man findet sie heute als Terrassenablagerungen (Hoch-, Niederterrasse) in Flusstälern und in verlassenen Talzügen ehemaliger pleistozäner Flüsse.

Petrographisch handelt es sich überwiegend um gut sortierte sandige Kiese mit wechselnden Feinsand- und Schluffgehalten (Schluffanteil etwa zwischen 5 und 25%, Abb. 3.4-2). Feinsand und Schluff kommen vereinzelt auch in Lagen und Linsen vor. Das Material ist ganz überwiegend alpiner

Herkunft mit viel dunklem Kalkstein, Kieselgestein und Kristallin. In der Klettgaurinne wurden dafür Anteile von 65 bis 75%, 15 bis 20% und 5 bis 10% ermittelt (HGK 1992). In Abhängigkeit vom Liefergebiet und den Transportlängen dürfte die Verteilung der Komponenten jedoch stark schwanken. Die Kieskörper sind z. T. durch Diamiktlagen, fossile Böden oder Beckensedimente gegliedert. Im Übergangsbereich zwischen den Kiesen und dem unterlagernden Gestein ist in der Regel ein wenige Meter mächtiger Aufarbeitungshorizont aus lokalem Material entwickelt. Besonders in jungen Talauen kann auch organisches Material in den Kiesen angereichert sein.

Die Jung- und mittelpleistozänen Kiese und Sande finden sich weiterhin in Beckenstrukturen, die insbesondere im Bodenseeraum verbreitet sind. Sedimentologischen Untersuchungen zufolge sind die



Abb. 3.4-2 Rißzeitliche Kiese und Sande: Kiesgrube Scholthehaus/Biberach-Warthausen.

tiefen Becken im Zuge der Vergletscherung durch folgende Vorgänge entstanden (HGE 2005):

- Erosion durch subglaziale und unter hohem hydrostatischem Druck stehende Schmelzwässer (angezeigt durch Grobsedimentlagen)
- Gletscherüberfahrten und damit verbundene Erosionsphasen (angezeigt durch deformierte und überkonsolidierte Sedimente)
- Neotektonik (vermutlich)

Die meisten der Becken sind nach dem Eisrückzug wieder verfüllt worden. Die Beckenfüllungen bestehen aus z.T. subglazial abgelagerten Kieskörpern, Becken- und Moränensedimenten, wobei die Schichtenfolge sowohl horizontal als auch vertikal stark gegliedert ist. An Lithofaziesseinheiten kommen Feinsedimente, Sande und Geröllsande, Diamikte, Schotter und Blocksedimente vor (HGE 2005).

Schließlich findet man jung- und mittelpleistozäne Kiese und Sande auch in sogenannten Eiszerfalllandschaften. So werden Gebiete hinter der Jungendmoräne bezeichnet, in denen sich beim Gletscherrückzug durch das abschmelzende Eis subglazial Sedimentakkumulationen bildeten. Die Ablagerungen sind durch eine große horizontale und vertikale Heterogenität gekennzeichnet. Neben Beckensedimenten und Diamikten wurden auch kleinere, unregelmäßig begrenzte Kieskörper abgelagert, die durch bindige Sedimente wiederum vielfältig gegliedert sein können.

An der Basis der jung- und mittelpleistozänen Sande und Kiese folgen in Oberschwaben die Mo-

lasse, ältere Diamikte oder Beckensedimente, im nördlichen Randbereich des Molassebeckens (u. a. Langenauer Donauried, vgl. Hy 10) und im Hegau bereichsweise auch der Oberjura. In der Klettgaurinne stehen mesozoische Gesteine an der Kiesbasis an. Überlagert werden die Kiese stellenweise von Geschiebemergel, lokal auch von Seesedimenten (Klettgaurinne). In den Talniederungen sind wenige Meter mächtige, z. T. humose Auenlehme verbreitet. Bei hohen Grundwasserständen – beispielsweise im oberen Rißtal und im Langenauer Donauried – haben sich ausgedehnte Niedermoor-Torfe gebildet.

Die jung- und mittelpleistozänen Ablagerungen der Riß- und Würmeiszeit können speziell in den Beckenstrukturen über 300 m mächtig werden.

3.4.3 Hydrogeologie

Hydrogeologisch bilden die fluvioglazialen Kiese und Sande im Alpenvorland eine größere Anzahl Porengrundwasserleiter, die durch Grundwassergeringleiter hydraulisch getrennt und häufig vertikal in Stockwerke gegliedert sind.

Die unverwitterten Abschnitte der Deckenschotter des Haslach-Mindel-Komplexes sind hochgelegene, überwiegend ungegliederte Porengrundwasserleiter. In Bereichen mit Nagelfluhbildung fließt das Grundwasser z. T. auf Schichtfugen und Klüften.

Die in den Rinnenstrukturen glazio-fluviatil abgelagerten riß- und würmzeitlichen Kiese sind bei nicht zu großem Feinkornanteil hoch durchlässige, bereichsweise in Stockwerke gegliederte Porengrundwasserleiter. Dort, wo an der Basis Oberjura oder Oberer Muschelkalk anstehen, sind die Porengrundwasserleiter mit dem unterlagernden Kluft-/Karstgrundwasserleiter hydraulisch verbunden.

Für die Gliederung der Beckenfüllungen im Bodenseeraum wurden die Ablagerungen mit guter Wasserdurchlässigkeit zusammengefasst, deren Hauptkomponenten aus Fein- bis Grobkies bestehen. Dazu gehören Blocksedimente, Geröllsande und Sande. Letztere bestehen in der Regel aus Mittel- bis Grobsand. Diese Lithofaziesseinheiten bilden die Grundwasserleiter. Zu den Grundwassergeringleitern werden die Sedimente gezählt, die hauptsächlich aus den Komponenten Schluff, zum Teil auch Ton- oder Feinsand bestehen. Aufgrund der wechselnden Milieubedingungen während der Gletschervorstoß- und abschmelzphasen liegen oft Sedimentkörper unterschiedlicher Beschaffenheit in enger Nachbarschaft. Hydrogeologisch ergibt sich dadurch eine vielfache Stockwerksgliederung,

wobei die einzelnen Stockwerke über hydraulische Fenster untereinander verbunden sein können (Grundwasserbewirtschaftungskonzept Singen 1997, HGE 2005).

Die Kiesvorkommen in den Eiszerfallslandschaften bilden kleinräumige und aufgrund der schnell wechselnden Verhältnisse schwer zu erkundende, heterogen aufgebaute Grundwasserleiter. Die eingeschalteten Grundwassergeringleiter bewirken häufig eine Stockwerksgliederung (RPF-LGRB 2006).

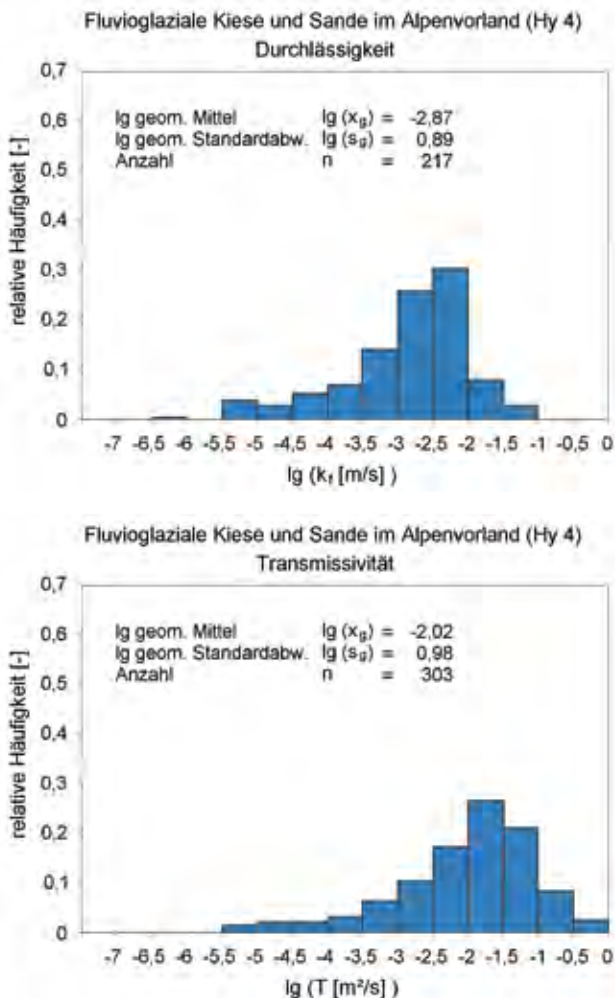


Abb. 3.4-3 Statistische Verteilung der Durchlässigkeitswerte (**oben**) (geometrisches Mittel $k_f = 1,3 \cdot 10^{-3}$ m/s) und der Transmissivitätswerte (**unten**) (geometrisches Mittel $T = 9,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s) für die fluvioglazialen Kiese und Sande im Alpenvorland (LGRB 2002).

Für die fluvioglazialen Kiese und Sande im Alpenvorland beträgt der (geometrische) Mittelwert der Durchlässigkeit $k_f = 1,3 \cdot 10^{-3}$ m/s (bei $n = 217$) und der Transmissivität $T = 9,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s (bei $n = 303$, Abb. 3.4-3). Die Variationsweite der T- und k_f -Werte ist größer als die der quartären Kiese und Sande im Oberrheingraben, wobei vor allem die z. T. höheren Anteile von Feinsediment mit Übergängen zu komponentengestützten Diamikten eine größere Bandbreite der k_f - und T-Werte hervorrufen dürften (LGRB 2002).

In der vertikalen Abfolge wechseln vielfach Lagen hoher und geringerer Durchlässigkeit einander ab. Bevorzugte Wasserwegsamkeiten bilden Rollkieslagen mit guter Sortierung und nur geringen Anteilen von Feinbestandteilen. Geringere Durchlässigkeiten treten in Horizonten mit höheren Gehalten an Sand und Schluff sowie im Bereich von Nagelfluhbildungen auf.

Für die Beurteilung des effektiven Porenvolumens gibt es bisher nur vergleichsweise wenige Bestimmungen. Die Werte schwanken etwa zwischen $n_e = 10$ und 15%. Sie betragen in Einzelfällen auch $n_e > 20\%$. Die wenigen Werte für die kinetische Porosität liegen meist etwas niedriger (etwa bei $n_f = 7$ bis 12%).

Markierungsversuche wurden im Rahmen verschiedener hydrogeologischer Kartierungen durchgeführt (HGK 1982, 1989, 1992). Die maximalen Abstandsgeschwindigkeiten reichen bis 252 m/d, die dominierenden Abstandsgeschwindigkeiten bis

Tab. 3.4-1 Ergebnisse von Markierungsversuchen in den fluvioglazialen Kiesen und Sanden im Alpenvorland (HGK 1982, 1989 und 1992).

Grundwasserleiter	Markierungsversuch	v_{max} [m/d]	v_{cmax} [m/d]	D_L [m ² /h]	α_L [m]
Leutkircher Heide/ Aitrachtal	Leutkirch-Unterzeil1976	54	21		
	Herlatzhofen-Urlauer Tal 1986	252	60		
Klettgaurinne	TB 3 Klettgau 1998	144	24	13	13
Erolzheimer Feld/ Illertal	Tannheim1972	113	21	35	30
	Tannelesäcker1972	96	16	13	15
	Erolzheim II1979/1980	94	32	30	46
	Unteropfingen1979/1980	100	24	38	73

v_{max} max. Abstandsgeschwindigkeit v_{cmax} dominierende Abstandsgeschwindigkeit D_L longitudinale Dispersion α_L longitudinale Dispersivität



60 m/d. Aus den Versuchen ergaben sich longitudinale Dispersionen zwischen 13 und 38 m²/h und longitudinale Dispersivitäten zwischen 13 und 73 m (Tab. 3.4-1).

3.4.4 Hydrologie

Die Neubildung des oberflächennahen Grundwassers erfolgt in den Kiesvorkommen einerseits durch Infiltration von Niederschlag. Die Neubildungsrate beträgt im Verbreitungsgebiet der fluvioglazialen Kiese und Sande (ohne moränenüberdeckte Bereiche) im langjährigen Mittel (Periode 1961 bis 1990) $G_m = 11,7 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$ und bei Überdeckung mit Geschiebemergel $G_m = 7,8 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$. Bezogen auf die Fläche von 2 013 km² ergibt sich langfristig ein Grundwasserdargebot aus der Infiltration von Niederschlag von $G_f = 18,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Während die Infiltration aus Niederschlag für die Deckenschotter die einzige positive Bilanzkomponente ist, werden die Grundwasserkörper in den jungquartären Kiesen und Sanden zusätzlich durch randliche Zuflüsse aus den angrenzenden Moränen- oder Festgesteinsgebieten gespeist. Außerdem tragen hier auch die Flüsse (u. a. Donau, Iller, Riß) durch Infiltration zur Grundwasserneubildung bei.

Am Nordrand des Molassebeckens (Langenauer Donauried, z. T. Donautal, alte Donaurinnen, Hegau), wo ein hydraulischer Kontakt zwischen Oberjura und quartären Kiesgrundwasserleitern besteht, strömt Karstgrundwasser in die Porengrundwasserleiter und erhöht dadurch deren Grundwasserdargebot teilweise beträchtlich. Ein Abstrom von Porengrundwasser zurück in den Karstgrundwasserleiter wird in vielen Fällen (Langenauer Donauried, Hegau, z. T. Donautal) durch die Druckverhältnisse und die weiter südlich zwischen Quartär und Oberjura eingeschaltete Molasse eingeschränkt. Nur die alten Donaurinnen und stellenweise das Donautal werden von Karstgrundwasser durchströmt. In der Klettgaurinne fließt westlich der Wutacheinmündung Karstgrundwasser aus dem Oberen Muschelkalk zu. Eine Übersicht über das Grundwasserdargebot bedeutender Grundwasservorkommen in quartären Kiesen und Sanden im Alpenvorland gibt Tab. 3.4-2.

In den tiefen Grundwasserstockwerken erfolgt die Grundwasserneubildung durch Zusickerung aus den oberflächennahen Grundwasserleitern, insbesondere im Bereich hydraulischer Fenster. Zum Teil trägt auch ein Randzufluss oder im südlichen Molassebecken ein Aufstieg von Grundwasser aus der Molasse zur Neubildung der tiefen Grundwasservorkommen bei.

Tab. 3.4-2 Grundwasserdargebot bedeutender Grundwasservorkommen in fluvioglazialen Kiesen und Sanden im Alpenvorland (LGRB 2005).

Grundwasservorkommen	Grundwasserdargebot [m ³ /s]
Leutkircher Heide	≈ 2,3
Erolzheimer Feld	≈ 1,6
Oberes Rißtal	> 0,5
Argen-Aach-Rinne und Isnyer Becken	≈ 1,2
Alte Donaurinne mit Ablachrinne	≈ 0,7
Singener Kiesfeld	= 0,5
Argendelta	≈ 0,2
Illertal	> 2,0
Klettgaurinne (ohne Zufluss aus der Schweiz)	= 0,25
Langenauer Donauried	≈ 3,5

Die Deckenschotter entwässern über Schichtquellen, die an der Grenze zur Molasse austreten. Die Quellschüttung beträgt meist $Q < 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$, kann jedoch $Q = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ erreichen. Auch die Grundwasservorkommen in den rißzeitlichen Kieskörpern können Quellen speisen, wenn das Grundwasser in den Rinnen durch die Erosion angeschnitten ist (z. B. Vorkommen von Eichen/Alleshausen, Wolfental). Wurden eiszeitliche Rinnen auch während der Würmzeit durchflossen, bilden Hoch- und Niederterrassenkiese häufig einen gemeinsamen zusammenhängenden Grundwasserleiter (z. B. Klettgaurinne, Rißtal, Argental, HGK 1992, 2006). In den würmzeitlichen Kiesen wirken die hydraulisch angeschlossenen Fließgewässer generell als Vorfluter. Davon abweichende Verhältnisse gibt es im östlichen Teil der Klettgaurinne, wo nur eine Infiltration aus hoch über dem Grundwasserspiegel verlaufenden oberirdischen Gewässern stattfindet (HGK 1992).

Die Grundwasserstände schwanken in den Porengrundwasserleitern in Oberschwaben im Jahresgang in der Größenordnung von einigen Dezimetern bis wenigen Metern. Eine abweichende Gangliniencharakteristik zeigt sich in vorfluternahen Grundwassermessstellen, wo die größeren und kurzfristigen Wasserstandsschwankungen der Vorfluter den jahreszeitlichen Grundwassergang überprägen. Größere Grundwasserstandsschwankungen bis >10 m können die Grundwassermessstellen in den Kiesvorkommen in unmittelbarem Kontakt zu unterliegenden Kluft- und Karstgrundwasserleitern zeigen.

Wegen der vorfluternen Situation ergeben sich im östlichen Teil der Klettgaurinne besondere Verhältnisse, wo ein ausgeprägter Jahresgang von rund 2 m mehrjährige Schwankungen von >10 m Amplitude überlagert (HGK 1992).

Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung ist für die Grundwasserkörper in den Kiesen und Sanden im Alpenvorland in starkem Maße vom Vorkommen schützender Deckschichten abhängig. Die anstehenden Kiese besitzen lehmige Kiesverwitterungsbildungen, deren Mächtigkeit für die rißzeitlichen Kiese etwa 2 bis 2,5 m und für die würzeitlichen Kiese 1 bis 1,5 m beträgt. Größere Verwitterungsmächtigkeiten sind bei den Deckenschottern entwickelt. Insgesamt ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung bei fehlender Überlagerung durch Deckschichten gering. Nur dort, wo über den Kiesen noch Moränen- oder Beckensedimente liegen, ist das Schutzpotenzial der Grundwasserüberdeckung mittel bis hoch.

3.4.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Aufgrund des großen Anteils an karbonatischen Geröllen findet man in den fluviatilen Kiesen und Sanden im Alpenvorland als geogene hydrochemische Grundwassertypen nahezu ausschließlich hydrogenkarbonatisch-erdalkalische Süßwässer. Nur im nördlichen Teil der Klettgaurinne bildet sich durch Zufluss von sulfatreichem Gipskeupergrundwasser aus dem Bereich des Rechberg-Hallau-Rückens eine Sulfat-Fahne aus, die bis nach Lauchringen verfolgt werden kann. Dort überlagert sie sich mit sulfatreichen Zuflüssen aus dem Südschwarzwald, die aus dem Salinar des Mittleren Muschelkalks stammen (HGK 1992).

Die mittleren Konzentrationen liegen für die überwiegend aus der Karbonatlösung stammenden Inhaltsstoffe Calcium bei 85 mg/l, Magnesium bei 15 mg/l und Hydrogenkarbonat bei 320 mg/l. Nahezu ausschließlich über das Sickerwasser gelangen Natrium, Kalium, Chlorid und Sulfat in das Grundwasser. Die mittlere Konzentration der gesamten gelösten Stoffe beträgt 480 mg/l (GLA 1996).

Lokal erhöhte Gehalte an organischer Substanz im Gestein bewirken reduzierende Verhältnisse im Grundwasser, die mit erhöhten Eisen- und Mangankonzentrationen einhergehen.

Der jeweilige geogene geochemische Charakter wird zusätzlich noch in vielfältiger Weise anthropogen überprägt.

Literatur

- GLA (1996): Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans Baden-Württemberg. Erstellung landesweiter Grundlagenkarten. – Abschlußbericht zum Teilprojekt Hydrogeologie, AZ 4458.01/95-4763: 14 S., 5 Abb., 7 Tab.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- Grundwasserbewirtschaftungskonzept Singen (1997): Teilbericht Grundwasserströmungsmodell "Singener Becken": 96 S., 15 Tab., 20 Anl.; Freiburg i. Br.
- HGE (2005): Hydrogeologische Erkundung Baden-Württemberg – Singen. – Mappe 1: 23 S., 2 Abb., 3 Tab., 8 Kt., 2 Anl.; Freiburg i. Br.
- HGK (1982): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Erolzheimer Feld/Illertal: 100 S., 47 Abb., 19 Tab., 11 Kt.; Freiburg i. Br.
- (1989): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Leutkircher Heide und Aitrachtal: 122 S., 45 Abb., 19 Tab., 10 Kt.; Freiburg i. Br.
- (1992): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Klettgau: 70 S., 28 Abb., 14 Tab., 11 Kt.; Freiburg i. Br.
- (2006): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Isny; Freiburg i. Br. – [in Vorb.]
- LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- (2005): Hydrogeologische Grundlagen für eine Optimierung der Trinkwasserversorgung aus Grundwasser. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 26 S., 3 Abb., 5 Tab., 1 Kt., 10 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- RPF-LGRB (2006): Geologisch-hydrogeologisches Systemmodell Bad Waldsee. – LGRB-Ber. i. A. der Stadt Bad Waldsee: 39 S. 1 Abb., 34 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- SCHLOZ, W. (1988): Aquifersystem des Langenauer Donaurieds. – Jh. GLA, **30**: 441 – 455, 7 Abb.; Freiburg i. Br.

3.5 Jungquartäre Flusskiese und -sande (Hy 5)

3.5.1 Verbreitung

Im Ausstrichgebiet der Festgesteine sind in den Flusstälern größerer Flüsse, z. T. auch in verlassenen Flussschleifen, jungpleistozäne Kies- und Sandvorkommen verbreitet. Besonders in tektonischen Senkungsgebieten können diese Sedimente beachtliche Mächtigkeiten erreichen. Die



Abb. 3.5-1 Ausstrich und Verbreitung der jungquartären Flusskiese und -sande (Hy 5) farbige.

gesamte Ausstrichs- und Verbreitungsfläche der hydrogeologischen Einheit Hy 5 beträgt 1797 km² (Abb. 3.5-1). Die kleinräumige Verbreitung der jungquartären Flusskiese und -sande wird im Übersichtsmaßstab 1 : 500 000 nur bedingt wiedergegeben.

3.5.2 Geologie

Die jungen Talsedimente sind fluviatiler Entstehung. Ihre petrographische Zusammensetzung ist eng mit der Dynamik der jeweiligen Fließgewässer, der Talmorphologie sowie der Zusammensetzung der Festgesteine im Liefergebiet verknüpft. Charakteristisch sind zeitlich und räumlich wechselnde Sedimentationsbedingungen in Abhängigkeit vom Verlauf des Stromstrichs (KOBLE 1988).

Mächtiger Kiesablagerungen finden sich in erster Linie in den Tälern der größeren Flüsse. Es handelt sich um Kiese, kiesige Sande und Sande mit

wechselnden Schluff- und Steingehalten, gelegentlich mit organischen, stark tonigen Altarmfüllungen. Die Talablagerungen der kleineren Nebenflüsse sind vergleichsweise lehmig und bestehen vorwiegend aus Schluff, Ton und Sand mit wechselnden Kies- und Steingehalten (HGK 1995, 2002 und HGE 2002, 2003, LRA Waldshut 2001).

Überlagert werden die Talablagerungen in der Regel von einer nur wenige Meter mächtigen, häufig humosen Auenlehmdecke, an den Talflanken von Hangschutt. Über den älteren Talkiesen (Niederterrasse) finden sich vereinzelt Lösssedimente in größerer Mächtigkeit. Im Ausgangsbereich der Seitentäler verzahnen sich die Kiese mit den Sedimenten der Schwemmfächer der Nebenflüsse.

Die Mächtigkeit der Talablagerungen liegt bei kleineren Flüssen in der Größenordnung von einigen Metern und übersteigt in Ausnahmefällen auch 10 m. In den Tälern größerer Flüsse und in tek-

tonischen Senkungsgebieten können die jungquartären Flusskiese und -sande mehr als 50 m mächtig werden (HGK 1995).

3.5.3 Hydrogeologie

Die jungquartären Flusskiese und -sande bilden dort, wo sie eine größere Mächtigkeit aufweisen und wenig verlehmt sind, ergiebige Porengrundwasserleiter (Tab. 3.5-1). In den Tälern kleinerer Flüsse sind die Talfüllungen demgegenüber deutlich geringer durchlässig, und eine Grundwasserführung ist an einzelne ausgewaschene Rinnen oder Grobkieslagen gebunden. Eine Stockwerksgliederung gibt es in den meisten Fällen nicht.

In Ausnahmefällen sind ältere Kiese als Nieder- oder Hochterrasse an den Talrändern erhalten. Sie gewinnen in der Heilbronner Mulde wasserwirtschaftliche Bedeutung, da sie dort wegen der

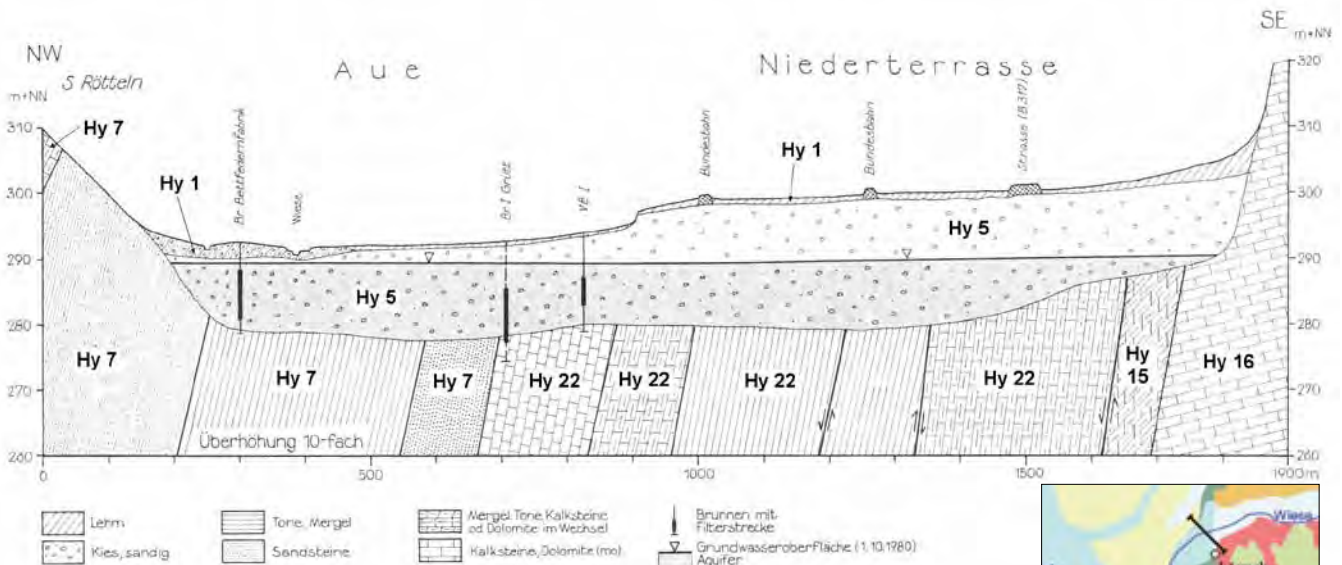


Abb. 3.5-2 Hydrogeologischer Querschnitt durch das Wiesetal beim Wasserwerk „Im Grütt“ / Südschwarzwald. Der Porengrundwasserleiter steht mit potenziellen Festgesteinsgrundwasserleitern in Kontakt. Hy 22: Trias, Hy 15: Gips- und Unterkeuper, Hy 16: Oberer Muschelkalk (GLA 1994).

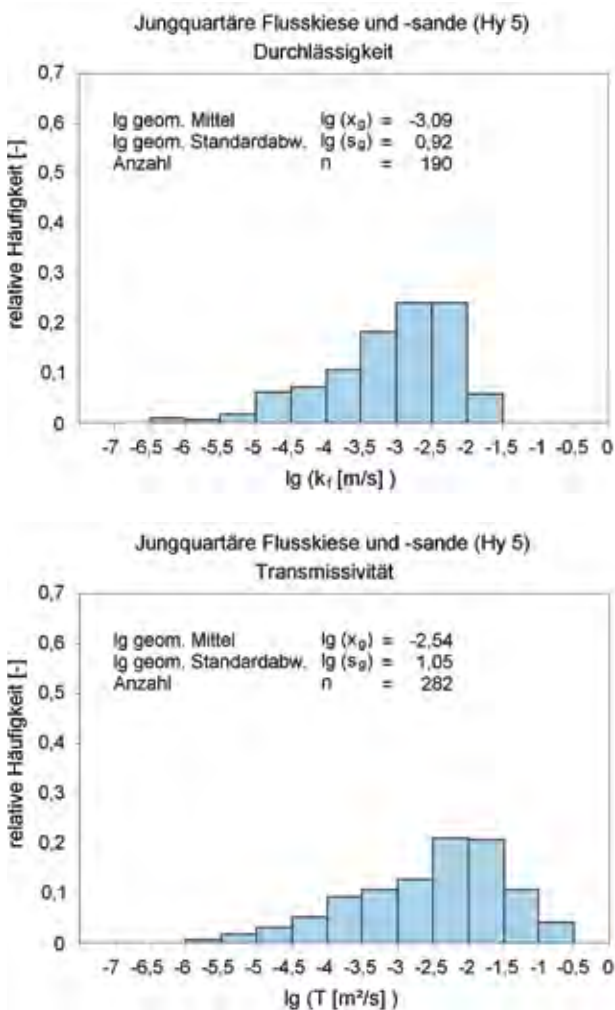


Abb. 3.5-3 Statistische Verteilung der Durchlässigkeitswerte (oben) (geometrisches Mittel $k_f = 8,1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$) und Transmissivitätswerte (unten) (geometrisches Mittel $T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) für die jungquartären Flusskiese und -sande (LGRB 2002).

geologischen Einsenkung in größerem Umfang grundwassererfüllt sind (HGK 1995).

Basis der grundwasserführenden Lockergesteine können je nach geologischer Situation sowohl Kluft- und Karstgrundwasserleiter (u. a. Buntsandstein und Oberer Muschelkalk, Oberjura) als auch Grundwassergeringleiter (z. B. Kristallin, Unter- und Mitteljura) sein (Abb. 3.5-2). Bei einem direkten Kontakt zu unterlagernden Festgesteinsgrundwasserleitern sind die Talablagerungen mit diesen hydraulisch verbunden.

Der landesweite geometrische Mittelwert der Durchlässigkeit der jungquartären Flusskiese und -sande beträgt $k_f = 8,1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ ($n=190$), der Transmissivität $T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ($n=282$, Abb. 3.5-3), die Variation der T- und k_f -Werte reicht über fünf Zehnerpotenzen. Hohe Transmissivitäten und Durchlässigkeiten finden sich in wenig verlehnten Ablagerungen der großen Flüsse, die kleineren Werte in den Talsedimenten der kleineren Nebenflüsse und Bäche.

Auch räumlich ist eine beträchtliche Variation der Durchlässigkeiten festzustellen. Höhere Durchlässigkeiten sind an ausgewaschene Rinnen gebunden, die sich im Laufe der Zeit ständig verlagerten, während die außerhalb des Stromstrichs gelegenen Bereiche einen höheren Feinkornanteil aufweisen und deshalb geringer durchlässig sind.



Tab. 3.5-1 Übersicht über Täler mit kiesigen Flussbettsedimenten (getrennt nach überwiegendem Rahmengestein).

Überwiegendes Rahmengestein	Talstrecken
Kristallin	Bregtal bei Furtwangen, Aitrachtal, Kinzigtal, Gutachtal bei Neustadt, Zartener Becken, oberes Wiesetal, Hochrheintal östlich Wallbach bis Dogern
Buntsandstein	Unterlauf der Tauber, Neckartal im Odenwald
Muschelkalk	Enztal, Kochertal, Jagsttal, Taubertal, Neckartal, Unterlauf der Murr, Unterlauf der Rems, unteres Wiesetal, Ammertal, Hochrheintal westlich Wallburg sowie zwischen Dogern und östlich Koblenz, Schweiz
Unterkeuper und Gipskeuper	Wutachtal, Donauried bei Donaueschingen, Remstal westlich Schorndorf, Jagsttal bei Jagstzell, Neckartal zwischen Rottenburg und Tübingen, Neckartal bei Stuttgart Bad Cannstadt, Neckartal bei Heilbronn
oberer Mittelkeuper und Oberkeuper	Neckartal, Jagsttal, Kochertal, Rottal
Unterjura und Mitteljura	Echaztal, Ermstal, Lautertal, Filstal, Hochrheintal zwischen Rietheim und Hohentengen
Oberjura	Schmiechtal, oberes Filstal, Fehltal, Lautertal, Egautal, Brenztal, Achtal, Blautal, Albtal, Hochrheintal bei Hohentengen
Talfüllungen im Tertiär	Hochrheintal östlich Hohentengen

3.5.4 Hydrologie

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag beträgt im Verbreitungsgebiet der quartären Talsedimente im langjährigen Mittel (Periode 1961 bis 1990) $G_m = 9,0 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, das sind, bezogen auf die Fläche von 1797 km^2 , $G_f = 16,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Zur Grundwasserbildung tragen neben dem Niederschlag außerdem randliche Zuflüsse aus dem umgebenden Festgestein bei. Handelt es sich um Grundwassergeringleiter, erfolgen die Zuflüsse überwiegend an der Erdoberfläche oder oberflächennah, bei Kluft- und Karstgrundwasserleitern auch als Grundwasserzufluss. Schließlich speisen auch die Fließgewässer durch Infiltration bereichsweise in die Talgrundwasserleiter ein. Ex- und infiltrierende Bedingungen wechseln entlang der Fließstrecke in Abhängigkeit von den Durchlässigkeitsverhältnissen, der Geometrie des Talquerschnitts und eventuellen Regulierungsmaßnahmen.

Der Grundwasserabstrom erfolgt weitgehend talparallel, ist jedoch bei Niedrig- und Mittelwasser auf das oberirdische Fließgewässer als Vorflut ausgerichtet. Bei Hochwasser herrschen dagegen meist exfiltrierende Bedingungen. Steht der Talgrundwasserleiter in direktem Kontakt mit einem Festgesteinsgrundwasserleiter, ist auch eine Durchströmung des Kieskörpers mit Wiedereinspeisung von Grundwasser in das Festgestein möglich. Eine Besonderheit stellen die kiesigen Talfüllungen eini-

ger Täler der Schwäbischen Alb dar, die als Folge großer Schwankungen der Karstwasserstände nur zeitweise grundwassererfüllt sind. Stark modifiziert wird der natürliche Grundwasserabstrom durch Stauhaltungen und Regulierungen der Vorfluter und Grundwasserentnahmen in den Talsedimenten.

Das Grundwasser ist in der Regel im Bereich der Talauen unter dem Auenlehm gespannt. Die Grundwasserstandsschwankungen sind bei Flurabständen von wenigen Dezimetern bis Metern gering und werden in Abhängigkeit von der Entfernung zum Vorfluter mehr oder weniger deutlich durch kurzfristige Wasserstandsänderungen im Fließgewässer beeinflusst. Charakteristisch sind neben den kurzfristigen Variationen ein nur mäßig ausgeprägter Jahresgang und praktisch keine langfristigen Schwankungen. Nur in größerer Entfernung zur Vorflut und wenn keine hydraulische Ankopplung zwischen Grundwasser und Fließgewässer besteht, ergeben sich Abweichungen von dieser generellen Gangliniencharakteristik.

Aufgrund der geringen Flurabstände ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung im Bereich der Talauen gering. Nur dort, wo über den Niederterrassenkiesen noch Löss und Lösslehm oder randlich bindiger Hangschutt in größerer Mächtigkeit liegt, ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung höher (HGE 2004, 2005).

3.5.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Die Ermittlung der anthropogen unbeeinflussten Grundwasserbeschaffenheit in den Talgrundwasserleitern gestaltet sich schwierig, da wegen der starken Nutzung der Talauen anthropogen nicht oder gering beeinflusster Grundwässer selten sind.

Nach den hydrogeologischen Verhältnissen ist davon auszugehen, dass die Grundwässer in den jungen Talfüllungen keine einheitliche Beschaffenheit aufweisen. So wird der Lösungsinhalt einerseits durch die Infiltration von Flusswasser mit meist geringerer Härte, andererseits durch den Zustrom von Grundwasser unterschiedlicher Zusammensetzung aus dem angrenzenden Festgestein beeinflusst. Dies können geringmineralisierte, saure Wässer, hydrogenkarbonatische Wässer oder sulfatische Wässer sein. Schließlich besitzen auch die Talsedimente selbst keine einheitliche petrographische Zusammensetzung (GLA 1996).

Ein gemeinsames Merkmal sind die in weiten Bereichen erhöhten Anteile an organischem Material im Sediment. Daraus resultieren vielfach reduzierende Verhältnisse mit erhöhten Eisen- und Mangankonzentrationen im Grundwasser.

Literatur

- GLA (1994): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1 : 25000 – Blatt 8311 Lörrach. – 2. Aufl., Erl. 3. Aufl. – Normaldruck mit Erl.; Stuttgart (LVBW).
- (1996): Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans Baden-Württemberg – Erstellung landesweiter Grundlagenkarten. – Abschlußbericht zum Teilprojekt Hydrogeologie, AZ 4458.01/95-4763: 14 S., 5 Abb., 7 Tab.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- HGE (2002): Hydrogeologische Erkundung Enztal-Pforzheim – Hydrogeologischer Bau. – Mappe 2: 20 S., 1 Abb., 4 Tab., 9 Kt., Anh., CD-ROM; Freiburg i. Br., Pforzheim, Freudenstadt.
- (2003): Hydrogeologische Erkundung Taubertal – Hydrogeologischer Bau. – Mappe 2: 25 S., 1 Tab., 6 Kt., Anh., CD-ROM; Freiburg i. Br., Pforzheim, Freudenstadt.
- (2004): Hydrogeologische Erkundung Enztal-Pforzheim – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz – Mappe 3: 40 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Kt.; 3 Anl., Freiburg i. Br., Pforzheim, Freudenstadt.
- (2005): Hydrogeologische Erkundung Taubertal – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt,

Grundwasserschutz. – Mappe 3: 47 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Anl.; Freiburg i. Br.,

HGK (1995): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Heilbronner Mulde: 121 S., 54 Abb., 21 Tab., 13 Kt.; Freiburg i. Br.

— (2002): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Ostalb: 66 S., 23 Abb., 20 Tab., 10 Kt.; Freiburg i. Br.

KOBLE, H.-U. (1988): Das Grundwasser im Kiesaquifer des Neckartals zwischen Neckartailfingen und Plochingen. – Jh. GLA, **30**: 263 – 276, 7 Abb.; Freiburg i. Br.

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

LRA Waldshut (2001) [Hrsg.]: Erkundung der Grundwasserleiter und Böden im Hochrheintal. – Abschlußber. Interreg II-Progr. Grundwasserleiter Hochrhein: 101 S., 27 Abb., 16 Tab., 9 Kt.; Waldshut-Tiengen.

3.6 Junge Magmatite (Hy 6)

3.6.1 Verbreitung

Der Begriff Junge Magmatite fasst magmatische Gesteine aus der Zeit der Oberkreide bis zum Miozän zusammen. Sie kommen im Hegau, in der Mittleren Alb, im Kaiserstuhl, im Breisgau und Südschwarzwald sowie im Odenwald und Kraichgau vor. Ihre Ausstrichsfläche, die in etwa ihrer Verbreitungsfläche entspricht, ist mit 124 km² gering und sie verteilt sich auf viele Einzelvorkommen (Abb. 3.6-1).

3.6.2 Geologie

Die Jungen Magmatite umfassen eine große Palette unterschiedlicher Gesteine. Dazu gehören Basalt, Essexit, Theralith, Karbonatit, Limburgit, Ledmorit, Olivinnephelinit und Phonolith sowie Tuffe und subvulkanische Brekzien. Am Aufbau des Kaiserstuhls, des größten Vorkommens Junger Magmatite in Baden-Württemberg, sind Tephrite, Olivinnephelinite, Limburgite, Essexit, Phonolith sowie Carbonatit beteiligt (LGRB 2002).

3.6.3 Hydrogeologie

Junge Magmatite sind ganz überwiegend Grundwassergeringleiter und aufgrund ihrer kleinräumigen Verbreitung wasserwirtschaftlich ohne Bedeutung.



Abb. 3.6-1 Ausstrich der Jungen Magmatite (Hy 6) dunkelgrau.

Im Kaiserstuhl gibt es kleinere oberflächennahe Grundwasservorkommen einerseits in der Auflockerungszone, andererseits in den darüber liegenden Deckschichten (Löss, Lösslehm, Hangschutt, Talfüllungen), deren Beschaffenheit meist durch die petrographische Zusammensetzung der Lockergesteine bestimmt wird. Diese Grundwasservorkommen entwässern über eine Vielzahl kleiner Quellen mit einer mittleren Schüttung von meist < 2 l/s. Die Schüttungsquotienten NQ/HQ liegen üblicherweise zwischen 0,1 und 0,25. Das ausgeglichene Schüttungsverhalten resultiert aus der Speicherwirkung der tangierten Lockergesteine.

Die größeren Basalttuff-Schlote des miozänen Vulkanismus der Mittleren Schwäbischen Alb weisen kleine, schwebende Grundwasservorkommen mit Quellschüttungen meist unter 0,5 l/s, vereinzelt bis 2 l/s auf. Sie waren besonders für die frühe Besiedlung der Albhochfläche von Bedeutung. Im Randecker

Maar führen die Seesedimente über dem Basalttuff ein eigenes Grundwasservorkommen, das früher durch Tiefbrunnen genutzt wurde.

Eine tief reichende Grundwasserbewegung in den Magmatiten ist an Klüfte und Störungen gebunden. Diese Zirkulationssysteme speisen kleine aufsteigende Quellen (z. B. Badquellen, Kaiserstuhl). Für diese Quellwässer sind erhöhte Temperaturen typisch (bis $T = 20$ °C). Auffällig sind außerdem hohe pH-Werte (um 7,5), hohe F- und SiO_2 -Konzentrationen (0,3 bis 0,6 mg/l bzw. 20 bis 25 mg/l) sowie eine geringe anthropogene Belastung (LfU 2001, WIRSING 2003).

Literatur

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

LfU (2001): Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg: 124 S., Karlsruhe.

WIRSING, G. (2003): Hydrogeologische Verhältnisse. – In: Geologische Karte von Baden-Württemberg Blatt Kaiserstuhl. – LGRB [Hrsg.]: 210 – 228, 2 Abb., 6 Tab.; Freiburg i. Br.

3.7 Tertiär im Oberrheingraben (Hy 7)

3.7.1 Verbreitung

Tertiäre Sedimente sind im Oberrheingraben in großer Mächtigkeit verbreitet. Auf den Randschollen ist das Tertiär oberflächennah zu finden oder auch an der Erdoberfläche aufgeschlossen, ansonsten durch mächtiges Quartär überlagert. Die Ausstrichfläche fällt mit 237 km² klein aus (Abb. 3.7-1).



Abb. 3.7-1 Ausstrich des Tertiärs im Oberrheingraben (Hy 7) farbig.

3.7.2 Geologie

Die tertiären Gesteine im Oberrheingraben bestehen aus Tonmergelsteinen und Mergelsteinen mit eingeschalteten Sand- und Kalksteinbänken



Abb. 3.7-2 Melettaschichten, Graue Mergel-Formation: Tongrube westlich von Rauenberg (links) und Küstenkonglomerat-Formation, Steinbruch bei Pfaffenweiler/Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald (rechts).

(Abb. 3.7-2, links). Lokal kommen weiterhin Gips, Anhydrit, Steinsalz und Kalisalze vor. Die Mächtigkeit erreicht >3000 m.

Als einzige geologische Einheit besitzt die Küstenkonglomerat-Formation (tK) eine gewisse hydrogeologische Bedeutung (Abb. 3.7-2, rechts) Es handelt sich dabei um eine Randfazies, die am Ostrand des mittleren Oberrheingraben (Raum Lahr) vorkommt und stratigraphisch etwa der Lymnänenmergel- und Streifige Mergel-Formation entspricht (unteres Oligozän).

3.7.3 Hydrogeologie

Hydrogeologisch sind die tertiären Sedimente im Oberrheingraben als Grundwassergeringleiter zu bewerten. Lediglich in der Küstenkonglomerat-Formation ist eine gewisse Grundwasserbewegung auf Poren und Klüften möglich. Wegen der kleinräumigen Verbreitung ist die wasserwirtschaftliche Bedeutung jedoch gering.

In tieferen Bereichen der tertiären Sedimente des Oberrheingraben kommen hochmineralisierte Wässer vor. In einzelnen Bohrungen treten Ergiebigkeiten von >5 l/s auf.



Literatur

Commission of the European Communities (1979)
[Hrsg.]: Geothermische Synthese des Oberrhein-
grabens (Bestandsaufnahme). – GLA & Service
Géologique Régional Alsace: 51 S., 4 Beil., 23 Anl.
(Kt. und Schnitte); Freiburg i. Br., Strasbourg (Wie-
deraufl. auf CD-ROM: RPF-LGRB 2005).

3.8 Obere Meeresmolasse (Hy 8)

3.8.1 Verbreitung

Im gesamten Molassebecken ist die Obere Meeresmolasse (tOM) bis zur Kliff-Linie des burdigalen¹ Meeres verbreitet. Vorkommen, welche nördlich des gekennzeichneten Ausstrichbereichs dem Oberjura lückenhaft aufliegen, werden jedoch nicht zu Hy 8, sondern zu den Deckschichten (Hy 1) gerechnet (vgl. Abb. 3.8-1 und -2).

Nördlich der Linie Meersburg – Bad Waldsee – Illertissen (zu Ortsangaben vgl. Abb. 3.8-2) ist die Obere Meeresmolasse vom Albstein (Brackwassermolasse) überdeckt. Nur in der rund 10 km breiten Graupensandrinne wurde der Albstein vor Ablagerung der Oberen Süßwassermolasse erodiert und ist deshalb nicht mehr vorhanden.

Die jüngere Graupensandrinne (Brackwassermolasse, tBM) ist erosiv in die Sedimente der tOM eingeschnitten. Ihre Sedimente überlagern im Bereich der erweiterten Graupensandrinne die Sedimente der tOM-Beckenfazies, dazwischen sind die

Sedimente der tOM-Grobsandfazies erhalten. Nördlich der Graupensandrinne sind vereinzelt die Reste küstennah abgelagerter Schillkalke zu finden (tOM-Nordrandfazies), im Nordosten fein- bis grobsandige Sedimente mit Muschelschillbänken (Abb. 3.8-3).

Nördlich der Steilküste (Kliff-Linie) des burdigalen Meeres fehlt die Obere Meeresmolasse. Im Bereich der tOM-Beckenfazies nimmt die Mächtigkeit der Überdeckung zum Beckeninnern (Raum Lindau – Isny) stetig zu. Südöstlich davon streichen in der Folge die steil aufgestellten konglomeratischen Gesteine der tOM-Südrandfazies aus (GEYER & GWINNER 1991, MALL 1968).



Abb. 3.8-1 Verbreitung der Oberen Meeresmolasse (Hy 8) im Alpenvorland farbig, Ausstrich dunkel; Kliff-Linie der Steilküste des burdigalen Meeres: gezahnte Linie.

¹ Das Burdigalium (20,5 bis 16,4 Mio. Jahre) ist eine Einheit des jungtertiären Miozäns (23,8 bis 5,3 Mio. Jahre)

3.8.2 Geologie

In Baden-Württemberg lassen sich in der Oberen Meeresmolasse von Nordwesten nach Südosten vier Faziestypen unterscheiden, deren Verbreitungsgrenzen etwa parallel zu ihrem Ausstrich verlaufen (Abb. 3.8-2):

- **Nordrandfazies mit Randengrobkalk** (Raum Engen Tengen)
- **Grobsandfazies** im Bereich der Graupensandrinne mit sogenanntem Grobsandzug
- **Beckenfazies** mit der weitesten Verbreitung
- **Südrandfazies** im alpinen Raum mit mächtigen Konglomeraten und Nagelfluh



Abb. 3.8-3 Obere Meeresmolasse (tOM): Sandgrube bei Rammingen/Alb-Donau-Kreis.

Innerhalb der Beckenfazies treten im Profil der Oberen Meeresmolasse vertikal zwei Sedimentationszyklen auf. Von unten nach oben folgen übereinander:

Der über der Oberen Meeresmolasse folgende 1 bis 2 m mächtige und häufig gemeinsam durch Brunnen erschlossene Albstein der Brackwassermolasse (tBM) ist ein Krustenkalk (Exsudationskalk).

1. Sedimentationszyklus (~ 100 bis >300 m mächtig)

Heidenlöcherschichten

Überwiegend wenig, gebietsweise auch karbonatisch verfestigte und lokal schluffige Grob- bis Mittelsandsteine, an der Basis auch konglomeratisch

Sandschiefer

Schluffsteine, schluffige Sandsteine, Feinsandsteine und Mergelsteine, bereichsweise mit zwei bis drei Muschelsandsteinlagen

2. Sedimentationszyklus (~ 10 bis >40 m mächtig)

Baltringen-Schichten

Überwiegend schwach verfestigter Grob- und Mittelsandstein

Deckschichten

schluffige Feinsand- und Schluffsteine

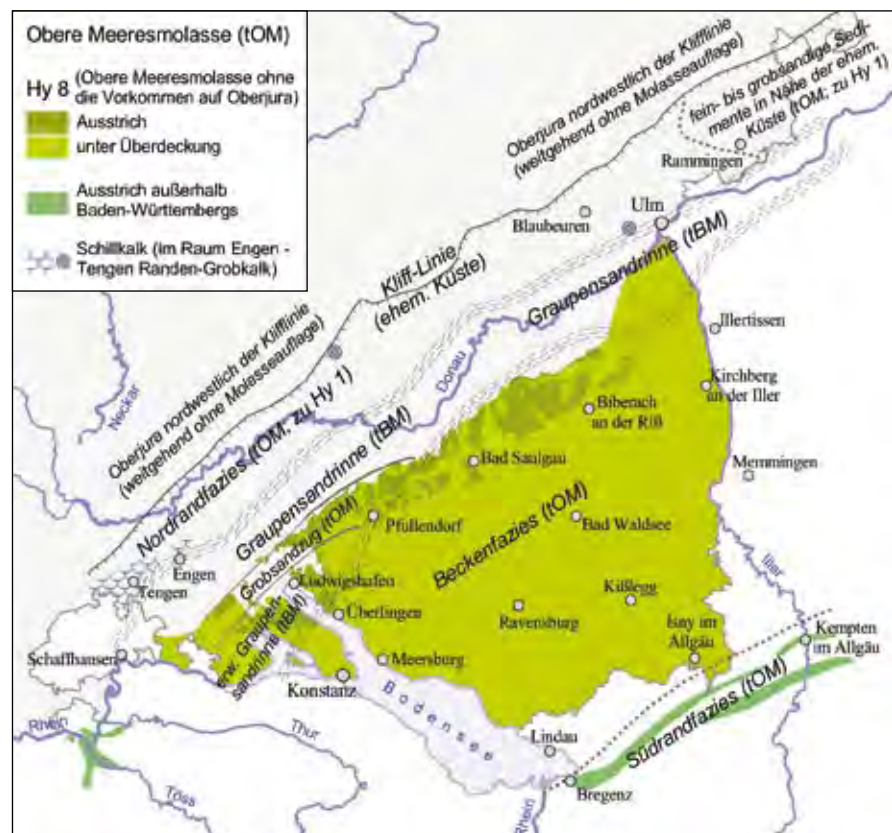


Abb. 3.8-2 Faziesverteilung der Oberen Meeresmolasse (tOM). Von Nordwesten nach Südosten folgen: Nordrandfazies, Grobsandfazies im Bereich der Graupensandrinne, Beckenfazies und Südrandfazies (außerhalb Baden-Württembergs).



Im Bereich der Vorlandmolasse fallen die Schichten flach nach Südosten ein, im Osten mit 1 bis 1,5° und im Westen mit 2 bis 3°. Nach einer rund 10 km breiten Zone mit flacher Lagerung im Beckentiefsten im Raum Lindau – Isny steigen die Schichten der Oberen Meeresmolasse wieder auf und streichen im Allgäu steil aus. Die Schichtlagerung ist von zahlreichen tektonischen Störungen mit Versatzbeträgen von z. T. über 100 m betroffen.

Die Mächtigkeit der Oberen Meeresmolasse nimmt von 100 bis 125 m im nördlichen Ausstrichbereich auf über 350 m am Alpennordrand zu. Bereiche mit lokal erhöhter Mächtigkeit sind die Gebiete zwischen Überlingen und Konstanz, nordwestlich von Bad Waldsee sowie westlich von Memmingen.

Die Heidenlöcherschichten (Bestandteil des 1. Sedimentationszyklus) besitzen entlang der Linie Ludwigshafen – Pfullendorf – nördlich Biberach – Kirchberg eine Mächtigkeit von etwa 10 m, die nach Süden allmählich zunimmt und im Gebiet zwischen Überlinger See und Bad Waldsee – Kißlegg Werte von >50 m erreicht. Die maximalen Mächtigkeiten mit Werten bis 90 m kommen am westlichen Bodensee zwischen Konstanz und Überlingen vor. Von dort nimmt die Mächtigkeit nach Süden wieder schnell auf Werte um 30 m ab.

Die Baltringen-Schichten (Bestandteil des 2. Sedimentationszyklus) sind im größten Teil des Molassebeckens 5 bis 15 m mächtig. Westlich Ravensburg und im Raum Bad Waldsee können die Baltringen-Schichten die doppelte Mächtigkeit erreichen. Der größte Wert wurde mit 35 m in Ravensburg gemessen. Am östlichen Bodensee liegt die Mächtigkeit bei 30 m.

3.8.3 Hydrogeologie

Die beiden sandigen Folgen der Oberen Meeresmolasse, die Heidenlöcherschichten und die Baltringen-Schichten, bilden zwei getrennte, mäßig ergebige Kluft-/Porengrundwasserleiter, die durch Grundwassergeringleiter im Hangenden und Liegenden hydraulisch begrenzt sind. Ein vertikaler, stockwerkübergreifender Grundwasseraustausch ist über Störungen möglich. Im Ausbiss der Oberen Meeresmolasse können ihre grundwasserführenden Horizonte mit quartären Grundwasserleitern im direkten Kontakt stehen.

Der Albstein im Hangenden der Baltringen-Schichten besitzt ebenfalls eine geringe Grundwasserführung, gebunden an Poren und Klüfte.

Der geometrische Mittelwert der Transmissivität für die Obere Meeresmolasse ist $T = 5,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bei einer Schwankungsbreite von rund vier Zehnerpotenzen (Abb. 3.8-4). Der Stichprobenumfang der Untersuchung beträgt $n = 20$ (LGRB 2002). In der Oberen Meeresmolasse nehmen Durchlässigkeit und Transmissivität von Nordwesten nach Südosten allmählich ab, was möglicherweise auf eine größere Kompaktion der Sedimente im Innern des Molassebeckens zurückzuführen ist. Während im Norden im Bereich des Ausstrichs Werte um $T \geq 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ gemessen wurden (Dietenheim, westlich Illertissen), gehen die Werte im Süden auf $T = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Bad Waldsee) und $T = 8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (Kißlegg) zurück.

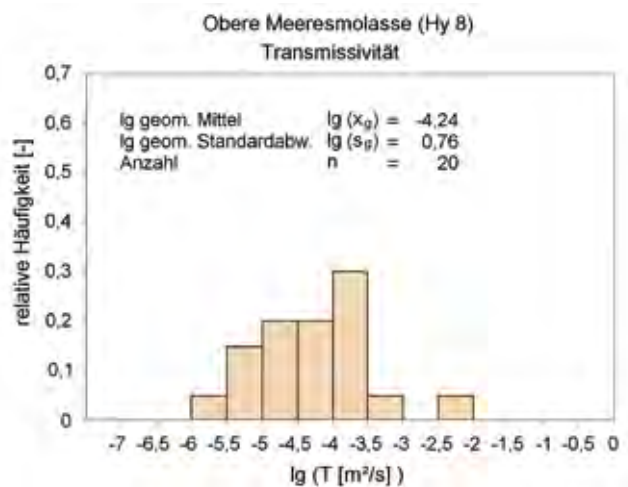


Abb. 3.8-4 Häufigkeitsverteilung der Transmissivitätswerte für die Obere Meeresmolasse: landesweite Auswertung (geometrisches Mittel $T = 5,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, LGRB 2002).

Bei getrennter Auswertung der Transmissivität beider Aquifere der Oberen Meeresmolasse wurden in Bad Waldsee und Kißlegg für die Baltringen-Schichten Werte von $T = 4,4 \cdot 10^{-5}$ bzw. $5,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und für die Heidenlöcherschichten Werte von $T = 1,4 \cdot 10^{-4}$ bzw. $3,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ermittelt.

3.8.4 Hydrologie

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag beträgt im Ausstrichbereich der Oberen Meeresmolasse im langjährigen Mittel (Periode 1961 bis 1990) $G_m = 5,0 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, das sind, bezogen auf die Ausstrichfläche von 403 km^2 , $G_f = 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Unter Quartär erfolgt die Grundwasserneubildung durch vertikale Zusickerung, bei Überlagerung durch Moränen- oder Beckensedimente stark verzögert.

Im Beckeninneren – unter zunehmend mächtigerer Oberer Süßwassermolasse (tOS) – erfolgt eine Grundwasserneubildung durch eine äußerst geringe, vertikale Zusickerung, die allerdings auf die nördlichen Gebiete mit abwärts gerichtetem Potenzialgefälle beschränkt ist. Die Neubildungsrate wird für den Raum Bad Waldsee auf $0,2 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ geschätzt.

Im überdeckten Bereich ist das Grundwasser in der Oberen Meeresmolasse gespannt, im Raum Überlingen – Konstanz artesisch gespannt. Auch in Ravensburg wurde ein Überdruck von 32 bar gemessen.

Zwischen den beiden grundwasserführenden Horizonten in der Oberen Meeresmolasse bestehen Druckunterschiede. Während im nördlichen Verbreitungsgebiet (Bad Waldsee) der piezometrische Druck in den Baltringen-Schichten größer ist als in den Heidenlöcherschichten, d.h. das Potenzialgefälle abwärts gerichtet ist, ist es im südlichen Bereich (Kißlegg) aufwärts gerichtet.

Die Entwässerung der tOM-Grundwasservorkommen erfolgt im Ausstrichbereich bei entsprechend tief eingeschnittener Vorflut z.T. über kleinere Quellen oder in angrenzende quartäre Kiesgrundwasserleiter. Außerdem findet im Norden eine geringe flächenhafte Aussickerung durch die unterlagernde Untere Süßwassermolasse (tUS) in den Oberjura-Grundwasserleiter statt. Auf der Linie Bad Saulgau – Memmingen zeichnet sich in der Grundwasserdruckfläche der Oberen Meeresmolasse eine Grundwasserscheide ab. Südlich der Grundwasserscheide strömt das Grundwasser nach Süden bis Südsüdwesten, wobei das Grundwassergefälle im westlichen Beckenteil mit rund 12‰ mehr als doppelt so groß ist wie im östlichen Teil (0,8 bis 5‰). Der Bodensee wirkt in den Gebieten Überlingen und Bregenz für einen Teil des Grundwassers als Vorflut, er wird jedoch auch unterströmt. Die Vorflut für diesen Grundwasserstrom findet sich im Schweizer Mittelland, wo die Obere Meeresmolasse in den Tälern von Thur und Töss ausstreicht. Nördlich der Grundwasserscheide zwischen Bad Saulgau und Memmingen fließt das Grundwasser vermutlich nach Nordosten.

Die Auswirkungen großer Störungen im Molassebecken auf die Grundwasserbewegung in der Oberen Meeresmolasse sind bisher nicht näher untersucht.

Das Grundwasser in der Oberen Meeresmolasse ist in weiten Teilen durch überlagernde Schichten gut gegen Einflüsse von der Erdoberfläche geschützt. Insbesondere im Süden, wo die geringdurchlässige Obere Süßwassermolasse verbreitet ist, ist der

Schutz besonders wirksam. Aber auch geringdurchlässiges Quartär (Moränen und Beckensedimente, Hy 1 und Hy 2) üben eine gute Schutzfunktion aus. Nur dort, wo die Grundwasserleiter der Oberen Meeresmolasse hydraulisch mit quartären Grundwasserleitern kommunizieren oder an der Erdoberfläche anstehen, kann oberflächennahes Grundwasser bzw. Niederschlagswasser vergleichsweise schnell in die Obere Meeresmolasse einsickern.

3.8.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Die Temperatur an der Basis der Baltringen-Schichten steigt von 10°C im Ausbiss bis auf 35°C im Raum Lindau – Kißlegg – Isny an und nimmt weiter nach Süden wieder ab. In den Heidenlöcherschichten werden die höchsten Temperaturen mit 50°C im Raum Isny erreicht (RV Bodensee-Oberschwaben 2005).

Im nördlichen Randbereich im oder nahe am Ausstrich führt die Obere Meeresmolasse ein Ca-Mg- HCO_3 -Süßwasser. Weiter nach Süden geht dieser Wassertyp in ein Na- HCO_3 -Süßwasser über, eine typische Verschiebung als Folge von Ionenaustauschprozessen. Im Übergangsbereich kommen Wässer vom Typ Ca-Na-Mg- HCO_3 -Süßwasser (Nußdorf, südöstlich Überlingen) bzw. Mg-Na-Ca- HCO_3 -Süßwasser (Dreieck zwischen Biberach, Bad Saulgau und Bad Waldsee) vor.

Nur im Beckeninnern wurde in den Heidenlöcherschichten eine erhöhte Chloridkonzentration gemessen (Kißlegg). Eine Zunahme ist hier ebenfalls bei Sulfat und Fluorid festzustellen. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit des Gebirges und der dadurch bedingten großen Verweilzeit des Wassers im Untergrund entwickelt sich das tOM-Grundwasser bezüglich der Redoxverhältnisse mit zunehmender Fließstrecke von einem sauerstoffhaltigen zu einem sauerstofffreien, reduzierten Grundwasser (BERTLEFF & WATZEL 2002).

Der gelöste Feststoffgehalt der Grundwässer in den Baltringen-Schichten liegt im Norden bei 300 mg/l und erreicht im Raum südlich Kißlegg über 700 mg/l . Er ist generell niedriger als in den Heidenlöcherschichten, in denen die 1000 mg/l -Mineralisationsgrenze im Beckeninnern überschritten wird (Kißlegg: 1450 mg/l).

Literatur

BERTLEFF, B. & WATZEL, R. (2002): Tiefe Aquifersysteme im südwestdeutschen Molassebecken. – Abh. LGRB, **15**: 73 – 88, 6 Abb.; Freiburg i. Br.



GEYER, O.F. & GWINNER, M.P. (1991): Geologie von Baden-Württemberg. – 4. Aufl.: 482 S., 255 Abb., 26 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).

GLA (1996): Fortschreibung des Landschaftsrahmens Baden-Württemberg – Erstellung landesweiter Grundlagenkarten. – Abschlußbericht Teilprojekt Hydrogeologie., AZ 4458.01/95-4763: 14 S., 5 Abb., 7 Tab.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

MALL, W. (1968): Die Geologie der Blätter Dettingen am Albbuch und Giengen an der Brenz 1:25 000 (Schwäbische Alb). – Arb. Geol.-Paläont. Inst. (Diss. Univ. Stuttg.), N.F., 54: 210 S., 24 Abb., 5 Tab., 6 Taf.; Stuttgart.

RV Bodensee-Oberschwaben [Hrsg.] (2005): Die Nutzung der Erdwärme in der Region Bodensee-Oberschwaben. – Kt. mit Erl., CD-ROM; Ravensburg.

Die Untere Süßwassermolasse (tUS) (Abb. 3.9-2, oben) setzt sich aus Tonmergelsteinen, Sandsteinen, Schluffsteinen und Süßwasserkalken zusammen. Ihre Mächtigkeit kann 2500 m erreichen.

Die auf den nördlichen Teil des Molassebeckens begrenzte Brackwassermolasse (tBM) umfasst Grobsande und Feinkies (Grimmelfingen-Schichten), glimmerreiche Feinsande und Tonmergel (Kirchberg-Schichten) sowie Krusten- und Knollenkalksteine (Albstein). Der Albstein ist ein Exsudationskalk, der auch weiter im Inneren des Molassebeckens verbreitet ist. Die Schichten der Brackwassermolasse werden etwa 40 m mächtig.

Die Obere Süßwassermolasse (tOS) (Abb. 3.9-2, unten) besteht aus Tonmergelsteinen, glimmerreichen Feinsandsteinen, Schluffsteinen, verkitteten sandigen Kiesen, Konglomeraten (Grobsandschichten, Erolzheim-Sande) und in der nördlichen Randfazies auch aus Süßwasserkalken, die bereichsweise verkarstet sein können. Die Mächtigkeit der Oberen Süßwassermolasse kann 1000 m betragen.

3.9 Übrige Molasse (Hy 9)

3.9.1 Verbreitung

Untere Meeresmolasse, Untere Süßwassermolasse, Brackwassermolasse und Obere Süßwassermolasse sind zur hydrogeologischen Einheit Hy 9 „Übrige Molasse“ zusammengefasst. Sie ist im Alpenvorland nördlich der Donau relictisch über Oberjura und südlich der Donau im Molassebecken flächenhaft in zunehmender Mächtigkeit verbreitet. Sie streicht auf einer Fläche von 1154 km² an der Erdoberfläche aus (Abb. 3.9-1).

3.9.2 Geologie

Die nur im Molassebecken unter Überdeckung verbreitete Untere Meeresmolasse (tUM) besteht aus Tonmergel- und Mergelsteinen, Schluffsteinen, untergeordnet Fein- und Mittelsandsteinen sowie Mergelstein- und Konglomeratlagen. An der Basis kommen Kalksteinlagen vor. Die Mächtigkeit der Unteren Meeresmolasse reicht bis 300 m.

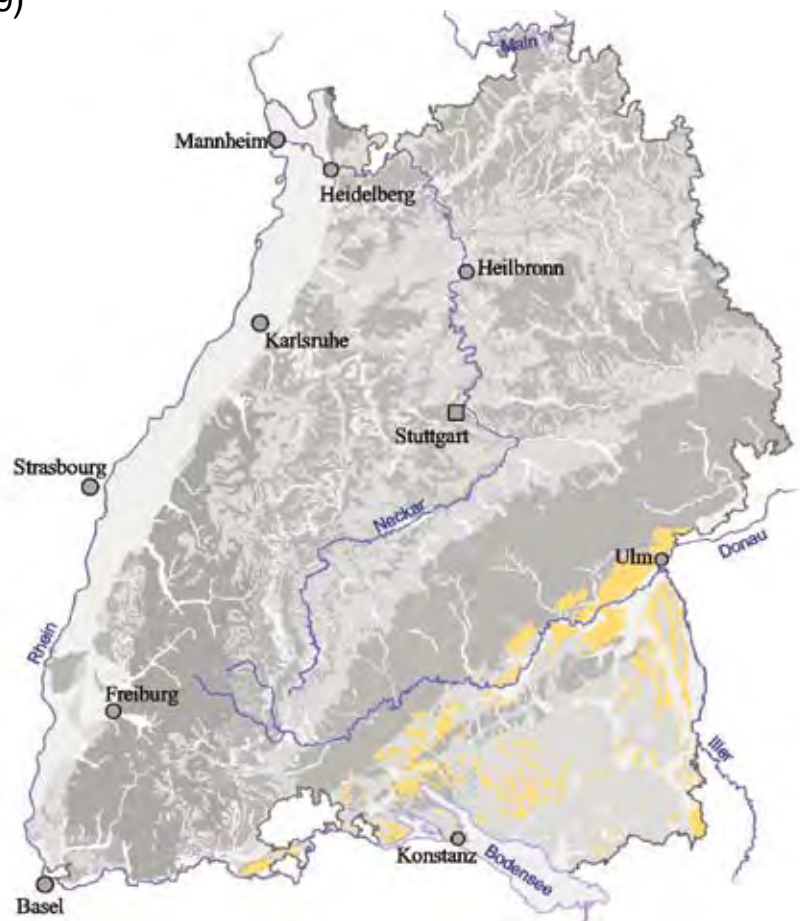


Abb. 3.9-1 Ausstrich der Übrigen Molasse (Hy 9) farbig.



wassermolasse Kluft-/Karstgrundwasserleiter und besitzen eine geringe, stellenweise auch mittlere Grundwasserführung. In der Brackwassermolasse kommen in den Graupensanden und im Albstein (meist zusammen mit den Baltringen-Schichten der tOM erschlossen) kleinere Grundwasserkörper vor. In den Feinsandsteinen, Mergelsteinen und Tonmergelsteinen findet sich hingegen nur eine sehr geringe Grundwasserführung in der oberen Auflockerungszone (LGRB 2002).

Reliktische Molassevorkommen auf Oberjura im Bereich der Schwäbischen Alb werden als Deck-schichten behandelt (vgl. Hy 1).

Literatur

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt. 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]



3.10 Oberjura, schwäbische Fazies (Hy 10)

3.10.1 Verbreitung

Der Oberjura in schwäbischer Fazies (Hy 10) baut die Schwäbische Alb und den kleinen und großen Randen auf und findet sich weiterhin im nördlichen und mittleren Molassebecken (Abb. 3.10-1). Im südlichen Molassebecken geht die schwäbische in die helvetische Fazies (Hy 12) über, im Oberrheingraben ist der Oberjura in raurazischer Fazies (Hy 11) ausgebildet.

3.10.2 Geologie

Der Oberjura in schwäbischer Fazies ist charakterisiert durch die Vergesellschaftung von Gesteinen in gebankter Fazies und in Massenkalk-Fazies (Abb. 3.10-2) sowie innerhalb der gebankten Fazies durch einen Wechsel hochreiner Kalksteine und stärker mergeliger Abfolgen. Die Massenkalk-Fazies wird durch riffartige Sedimentkörper geprägt, die unter Beteiligung kalkig erhaltener Kieselschwämme entstanden sind (Abb. 3.10-2). In der Massenkalk-Fazies treten dolomitische Bereiche auf. Durch Rekalzitisierung (Dedolomitisierung) entsteht hydrogeologisch bedeutsamer Lochfels. Zementmergel¹, Lacunosamergel und Impressamergel bestehen aus Mergel-, Kalkmergel- und Kalkstein.

Abb. 3.9-2 Untere Süßwassermolasse: Mergelgrube südwestlich von Mengen (**oben**) und Obere Süßwassermolasse: Steinbruch südlich von Gauingen/Landkreis Reutlingen (**unten**).

3.9.3 Hydrogeologie

Hydrogeologisch sind die Schichten der Unteren Meeresmolasse, der Unteren Süßwassermolasse, der Brackwassermolasse und der Oberen Süßwassermolasse als Grundwassergeringleiter zu charakterisieren. Lokal sind die Erolzheimer Sande und die Gesteine der Grobsandstufe Porengrundwasserleiter, die Süßwasserkalke der Oberen Süß-

¹ Die geologischen Einheiten der Formationsebene werden z. T. nicht explizit als solche bezeichnet (vgl. Tab. 3.10-1 und -2)



Abb. 3.10-1 Verbreitung des Oberjuras in schwäbischer Fazies (Hy 10) farbig, Ausstrich dunkel..

Die Massenkalk-Fazies findet sich vorwiegend auf der Mittleren Alb und der Ostalb. Sie ersetzt dort vielerorts die gebankten Gesteine der Unteren Felsenkalk bis einschließlich der Hangenden Bankkalk. In der Westalb ist dieser Faziestyp schon ab den Impressamergeln präsent und wird nach der Typlokalität als Lochen-Formation bezeichnet. Einen Vergleich der Verhältnisse in den verschiedenen Teilen der Schwäbischen Alb zeigen die Tabellen 3.10-1 und -2.

Eine lokale Ausbildung ist der Brenztal-Trümmerskalk (BTK) der Ostalb, dessen bis zu > 50 m mächtige klastische Kalksteine örtlich die Normalausprägungen der Liegenden Bankkalk und der Zementmergel ersetzen.

Die Lacunosamergel bilden den obersten nahezu durchhaltenden Horizont im Oberjura in gebankter Fazies. Alle höher gelegenen Grenzflächen sind aufgrund häufigen Fazieswechsels zwischen Bank- und Massenkalken und den dadurch hervorgerufe-

nen starken Mächtigkeitschwankungen nur sehr unsicher lithostratigraphisch parallelisierbar.

Die Gesteine des Oberjuras sind in unterschiedlichem Maß verkarstet. Randbedingungen für die lokale und regionale Karstentwicklung sind:

- Lithologie der Gesteine (Karbonat- und Tongehalt, Dolomitisierung, Rekalzitisierung mit Lochfelsbildung)
- Schichtlagerung, tektonische Beanspruchung und Entlastung
- Wasserhaushalt, Vorflutsituation und Landschaftsentwicklung
- Deckschichten, Vegetation, Eintrag von Kohlendioxid

Die stärkste Verkarstung findet sich in den Massenkalken und dort in den dolomitischen und rekalzitisierten Lochfelszonen (Zuckerkornbereiche). Eine ebenfalls hohe Verkarstung tritt in gebankten Kalksteinen in der Auflockerungszone

bis in Tiefen von etwa 100 m auf sowie in größerer Tiefe, gebunden an Großklüfte, Spalten und Störungen. Die stark schüttenden Karstquellen am Südrand der Schwäbischen Alb (u. a. Blautopf) werden aus großen Einzugsgebieten mit hochdurchlässigen gerinne- und teilweise höhlenartigen Karstsystemen gespeist.

Wenn eine Gesteinsporosität weitgehend fehlt und die Öffnungsweite der Trennflächen mit zunehmender Tiefe unter Gelände abnimmt, endet die Verkarstung z. T. oberhalb der potenziellen lithologischen Verkarstungsbasis. Dies hat zur Folge, dass das Hauptverkarstungsniveau mit dem Einfallen der Oberjuraschichten nach Süden zunehmend in stratigraphisch jüngeren Horizonten liegt.

Im Molassebecken nimmt die Verkarstung mit zunehmender Überdeckung allmählich ab, was durch die Abnahme der Transmissivität und der Spülungsverluste beim Bohren belegt ist (STOBER & VILLINGER 1997).



Abb. 3.10-2 Oberjura der Schwäbischen Alb in Massenkalkfazies bei Aalen-Waldhausen (**oben**) und in gebankter Fazies bei Steinweiler (**unten**).

Die Gesamtmächtigkeit des Oberjuras beträgt bis >500 m. Die Mächtigkeiten einzelner Schichtglieder sind aus Tab. 3.10-1 und -2 ersichtlich.

3.10.3 Hydrogeologie

Die Oberjurakalksteine bilden einen großräumig zusammenhängenden Kluft- und Karstgrundwasserleiter. Innerhalb der Schichtenfolge sind Hangende und Liegende Bankkalke, Obere und Untere Felsenkalke, Wohlgeschichtete Kalke und Massenkalken Grundwasserleiter, Zementmergel, Lacunosamergel und Impressamergel überwiegend Grundwassergeringleiter (Tab. 3.10-1 und -2). Davon abweichend können die Zementmergel oberflächennah schwach verkarstet sein, ebenso bei Ausbildung in kalkiger Fazies. Die Lacunosamergel sind, wo sie oberflächennah anstehen, ebenfalls als Grundwas-

serleiter zu betrachten. Auch die kalkigen oberen Impressamergel (Bimammatusschichten) können grundwasserleitend sein.

Die Grundwasserbewegung erfolgt ganz überwiegend auf Trennfugen (Klüfte, Störungen) und in Karsthohlräumen. Eine hohe Grundwasserführung ist an eine intensive Verkarstung gebunden.

Über die Schwäbische Alb läuft die kontinentale Karstgrundwasserscheide Rhein/Donau. Sie ist strukturell durch die Vorfluter, den Rheinzubringer Neckar einerseits und die Donau andererseits, vorgeprägt (Abb. 3.10-3).

Die Karstlandschaft der Schwäbischen Alb lässt sich von Nordwesten (Neckar-, Rheineinzugsgebiet) nach Südosten (Donaeinzugsgebiet) nach den hydrogeologischen Verhältnissen wie folgt gliedern (VILLINGER 1972, Abb. 3.10-4):

Seichter Karst

Der Seichte Karst ist charakterisiert durch die Lage der Grundwasserleiterbasis über dem Vorflutniveau. Derartige Verhältnisse finden sich am Nordrand der Schwäbischen Alb (Albtrauf). Die Basis des Grundwasserleiters liegt hier im oberen Bereich der Impressamergel, die durch Erosion der Neckarzuflüsse angeschnitten sind. Die Lacunosamergel sind infolge offener Klüftung und z. T. auch Verkarstung durchlässig. Trotz vereinzelt saisonal oder episodisch auftretender Schichtquellen aus den Unteren Felsenkalke gibt es deshalb über den Lacunosamergeln kein eigenständiges Grundwasserstockwerk. Stattdessen entwässert der Oberjura-Aquifer im Seichten Karst typischerweise über Schichtquellen, die an der Grenze Wohlgeschichteter Kalke/Impressamergel entspringen oder über tiefer liegende Hangschuttquellen.

Tiefer Karst

Im Tiefen Karst liegt die Basis des Grundwasserleiters unter dem Vorflutniveau. An vielen Stellen ist seine Grenze zum Seichten Karst mit dem Verlauf der Karstgrundwasserscheide Rhein/Donau deckungsgleich. In südöstlicher Richtung rückt die Grundwasserleiterbasis mit zunehmender Überdeckung an die Oberfläche der Lacunosamergel. Dazwischen sind zwei Situationen denkbar:

- Die Felsenkalke bilden zusammen mit den Wohlgeschichteten Kalken ein gemeinsames Grundwasserstockwerk; die Lacunosamergel haben keine trennende Wirkung
- Die Felsenkalke bilden ein oberes, die Wohlgeschichteten Kalke ein unteres Grundwasserstockwerk. Diese werden durch die Lacunosamergel getrennt



Tab. 3.10-1 Hydrogeologische Gliederung der Oberjuragesteine der gebankten Fazies.

Oberjura in gebankter Fazies (früher auch Schichtfazies genannt)				
Kürzel	Stratigraphie	Lithologie	Mächtigkeit [m]	hydrogeologische Beschreibung
ti1	Hangende Bankkalk-Formation	Kalkstein, gebankt, mit Mergelfugen	bis 200	Kluft- und Karstgrundwasserleiter
ki5	Zementmergel-Formation	Mergel-, Kalkmergel- und Kalkstein; z. T. dünnplattig, bankig; lokal verschwammt	bis 170	Grundwassergeringleiter; in kalkiger Fazies (Zwischenkalke) Kluftgrundwasserleiter
ki4	Liegende Bankkalk-Formation	Kalkstein, gebankt, mit Mergelfugen	10 – 150	Kluft- und Karstgrundwasserleiter
ki3	Obere Felsenkalk-F.	Kalkstein, gebankt, mit dünnen Mergelfugen und Kieselknollen, z. T. verkarstet	10 – 40	
ki2	Untere Felsenkalk-F.	Kalkstein, gebankt, mit dünnen Mergelfugen und Kieselknollen, z. T. verkarstet	20 – 60	
ki1	Lacunosamergel-Formation	Mergelstein mit Kalk- und Kalkmergelsteinbänken	10 – 75	überwiegend Grundwassergeringleiter
ox2	Wohlgeschichtete Kalk-Formation	Kalkstein, gebankt, mit Mergelsteinfugen, z. T. verkarstet	10 – 150	Kluft- und Karstgrundwasserleiter
ox1	Impressamergel-Formation	Mergelstein mit Kalk- und Kalkmergelsteinbänken	10 – 125	Grundwassergeringleiter

grün = Festgesteinsgrundwasserleiter braun = Grundwassergeringleiter

Tab. 3.10-2 Hydrogeologische Gliederung der Oberjuragesteine der Massenkalk-Fazies.

Oberjura in Massenkalk-Fazies (auch Schwamm- oder Rifffazies)					
Kürzel	Stratigraphie	Lithologie	Mächtigkeit [m]	hydrogeologische Beschreibung	
Gesamte Schwäbische Alb					
joMo	joM	Oberer Massenkalk	Massenkalk-F.	Massige Schwammkalksteine; massiger Dolomitstein, bei Rekalzitisierung löchrig (Lochfels), mit wechselnd starker Klüftung und Verkarstung. Ersetzt die gebankten Gesteine von ki2 bis ki4	
joMu		Unterer Massenkalk			bis > 100
Westalb					
joLOo	joLO	Obere Lochen-Schichten	Lochen-Formation	Im Bereich der Westalb tritt vielerorts die massige Lochen-Formation an die Stelle der gebankten Gesteine von ox1 bis ki1. Sie ist verkarstungsfähig und wird daher als Grundwasserleiter angesprochen. Im Bereich der Mittleren Alb und der Ostalb treten in diesen Einheiten nur lokal in kleinerem Umfang, oft nur schicht- oder lagenweise, Schwammwachstum und Riffbildung auf. Diese verändern die Mächtigkeit und die hydrogeologischen Eigenschaften gegenüber der ausschließlich gebankten Fazies nicht nennenswert.	
joLOm		Mittlere Lochen-Schichten			bis > 100
joLOu		Untere Lochen-Schichten			bis > 100

grün = Festgesteinsgrundwasserleiter

In der Ostalb endet die Grundwasserführung bereits in einigem Abstand über den Lacunosamergeln in den Unteren Felsenkalke oder sogar im Unteren Massenkalk. (Abb. 3.10-4). In diesem Fall sind die Wohlgeschichteten Kalke unverkarstet und grundwassergeringleitend. In der Westalb, wo die verkarstungsfähige Lochen-Formation die gebankte Fazies

der unteren Schichtglieder des Oberjuras ersetzt und die Schwäbische Alb höher herausgehoben wurde, liegt die Grundwasserleiterbasis innerhalb der Impressamergel. Eine abschließende Aussage über die Lage der Oberjura-Aquiferbasis lässt sich für den Bereich der Schwäbischen Alb mangels geeigneter Aufschlüsse nicht machen.

Abb. 3.10-3 Verlauf der kontinentalen Karstgrundwasserscheide im Verbreitungsgebiet des Oberjuras in schwäbischer Fazies, welche die Einzugsgebiete von Rhein und Donau trennt.

Die roten Punkte weisen auf die Hauptversickerungsstellen der Donau hin. Das versickerte Wasser tritt zu großen Teilen wieder aus (v.a. im Aachtopf, Abb. 3.10-7, unten) oder es tritt in das Grundwasser des Molassebeckens über. In beiden Fällen bildet der Rhein die endgültige Vorflut.

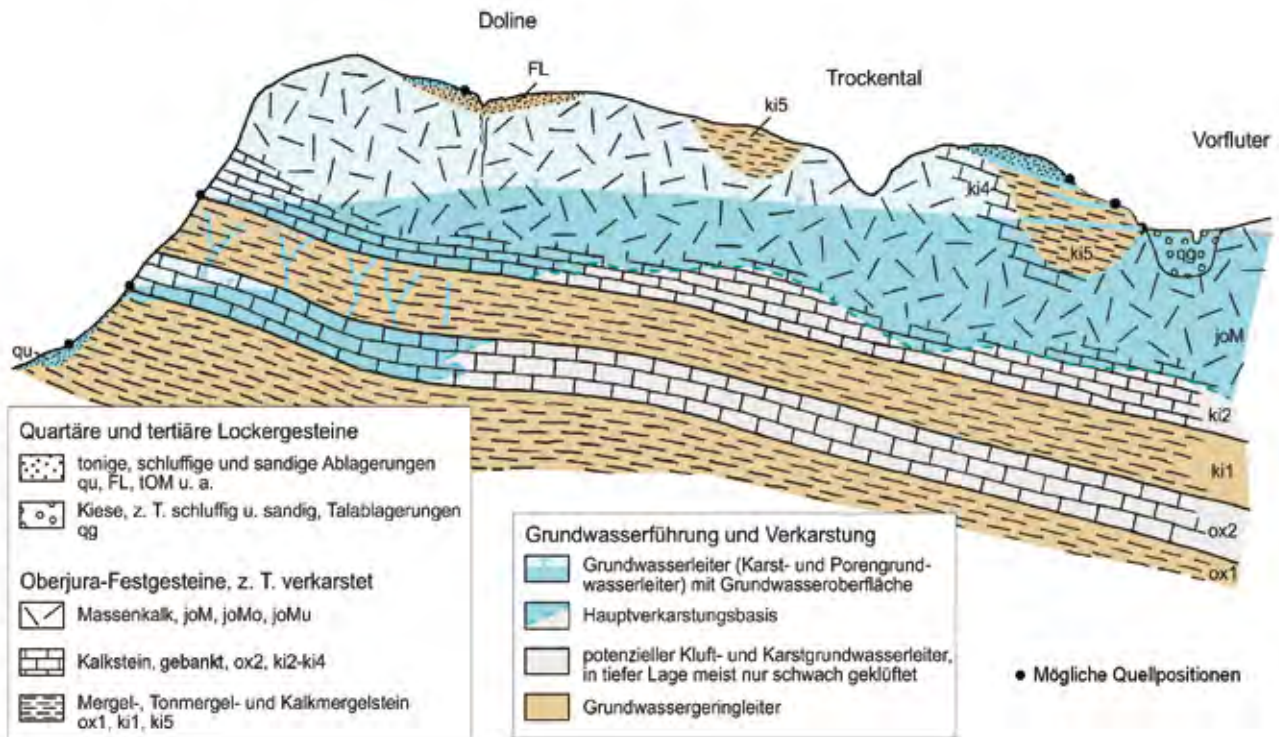
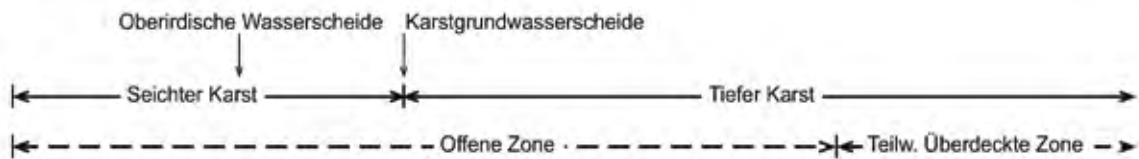


Abb. 3.10-4 Prinzipskizze zur Definition der Karstzonen mit möglichen Positionen von Quellen, schematisch: Situation Ostalb (Geologische Kürzel s. Tab. 3.10-1 und -2, HGK 2002).



Nach der Überlagerungssituation lassen sich die folgenden Zonen unterscheiden:

- **Offene Zone**

Als Offene Zone wird der Bereich mit freiliegendem verkarstem Oberjura bezeichnet. Die Offene Zone umfasst das Verbreitungsgebiet des Seichten Karsts und Teile des Tiefen Karsts (Abb. 3.10-4).

- **Teilweise Überdeckte Zone**

Die Karstlandschaft mit lückenhafter Überdeckung durch meist geringdurchlässige tertiäre Schichten (Hy 1) (Molasse, Riestrümmermassen bzw. Impaktgesteine) wird als Teilweise Überdeckte Zone bezeichnet. Solche Verhältnisse finden sich im Tiefen Karst unmittelbar nördlich der Donau und im Umfeld des Rieskraters (Abb. 3.10-4).

- **Überdeckte Zone**

Die Überdeckte Zone ist durch eine geschlossene Überlagerung des Oberjuras durch Molasseschichten (Hy 8, Hy 9) charakterisiert. Die Überdeckte Zone beginnt etwa auf Höhe des Donautals und setzt sich nach Süden fort, wobei die Mächtigkeit der überlagernden Molasse zum Beckeninneren stetig zunimmt.

Der Grundwasserumsatz erfolgt im Oberjura-Karstgrundwasserleiter in miteinander verbundenen Speicher- und Fließsystemen. Zur Beschreibung ist als Modellvorstellung in guter Näherung die Doppelporosität geeignet, wobei einerseits Poren und Kleinklüfte, andererseits Großklüfte, tektonische Störungszonen und Karsthohlräume gemeinsam betrachtet werden.

Merkmale des Oberjura-Karstgrundwasserleiters sind eine ausgeprägte Heterogenität und Anisotropie der hydrogeologischen Eigenschaften. Das Repräsentative Elementarvolumen (REV) liegt in der Größenordnung von meist weit über 1 000 m (nach Markierungsversuchen). Andererseits finden sich besonders in hoch ergiebigen, durch Tiefbrunnen erschlossenen Teilbereichen des Karstgrundwasserleiters auch näherungsweise homogene Verhältnisse.

Der Hohlraumanteil im Oberjura setzt sich aus den Gesteinsporen, insbesondere des Lochfelses (Matrixporosität), den Trennfugen (Klüfte, Störungen) und unterschiedlich großen Karsthohlräumen zusammen.

Der speichernutzbare Hohlraumanteil wurde aus dem Entleerungsverhalten ausgedehnter Quell-

einzugsgebiete mit ausreichender Grundwassermessstellendichte mehrfach zu $n_e = 0,02$ ermittelt. Speicherkoeffizienten aus Großpumpversuchen variieren im ungespannten Tiefen Karst von $S = 0,037$ bis $0,039$ (HGK 1997).

Die grundwassererfüllte Mächtigkeit erreicht Werte von >100 m. Der geometrische Mittelwert der Transmissivität wurde für die Offene und Teilweise Überdeckte Zone mit $T = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ($1 \cdot 10^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) bei z. T. sehr hohen Entnahmeraten bestimmt (Abb. 3.10-6). Bei Großpumpversuchen in Tiefbrunnen ergaben sich repräsentative Transmissivitäten bis $T = 1,3 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$.

Die mittlere Gebirgsdurchlässigkeit – ermittelt aus Pumpversuchen sowie dem Zustrom zu Quellen – schwankt zwischen etwa $T/H = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ und $T/H = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (SAUTER 1992), allerdings mit wesentlich größerer Spannweite bei kleinräumiger Betrachtung. Deutlich höhere Durchlässigkeitsbeiwerte ergeben sich für die beim Transport wirksamen hochdurchlässigen Zonen (JAKOWSKI 1995, JAKOWSKI & EBHARDT 1997). Dort beträgt der arithmetische Mittelwert $T/H = 1,4 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}$ bei einer Spannweite von $9,1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ bis $2,7 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}$. Südlich der Donau in der Überdeckten Zone nehmen die Durchlässigkeiten mit zunehmender Überlagerung ab und erreichen mit Übergang zur helvetischen Fazies (Hy 12) Werte von $T/H = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ (STOBER & VILLINGER 1997).

Die Ergiebigkeit der Brunnen im Oberjura-Karstgrundwasserleiter reicht bis $Q_t = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einer großen Variationsweite. Dabei sind die größeren Ergiebigkeiten eher in vorflutnahen Zonen zu finden. In der Überdeckten Zone beträgt die technische Ergiebigkeit lediglich noch $Q_t \leq 0,07 \text{ m}^3/\text{s}$ (HGK 2002).

Typisch für den Oberjura-Karstgrundwasserleiter sind hohe Abstandsgeschwindigkeiten bei Markierungsversuchen. Die dominierenden Abstandsgeschwindigkeiten $v_{C_{\max}}$ (für den Zeitpunkt des Konzentrationsmaximums) erreichen bei Fließstrecken bis 20 km etwa $v_{C_{\max}} \leq 120 \text{ m/h}$, Einzelwerte liegen auch darüber. Die maximale Abstandsgeschwindigkeit v_{\max} (für den Ersteinsatz des Markierungsstoffs) ist für Versuche mit $v_{C_{\max}} = 40 \text{ m/h}$ um den Faktor 1,0 bis 2,2, im Mittel um den Faktor 1,25 höher als die dominierende Abstandsgeschwindigkeit $v_{C_{\max}}$. Hohe Abstandsgeschwindigkeiten und hohe Wiederfindungsraten treten bevorzugt in den Einzugsgebieten großer Karstquellen auf, geringe Abstandsgeschwindigkeiten oder Markierungsversuche ohne Austritt des Tracers in Gebieten mit diffussem Grundwasserabstrom und unklaren Vorflutverhältnissen.

Dabei ist zu beachten, dass mit den Markierungsversuchen praktisch ausschließlich das hochdurchlässige Karstsystem untersucht wird, da für die Eingabe des Tracers meist Karststrukturen (bevorzugt Dolinen) verwendet werden. Sie sind damit für das eigentliche Speichersystem der Klüfte nicht repräsentativ.

Die aus Markierungsversuchen ermittelten longitudinalen Dispersivitäten α_L schwanken zwischen $\alpha_L = 1$ m und $\alpha_L = 500$ m. Die höheren Werte wurden für Gebiete mit überwiegend Massenkalk ermittelt (Mittelwert $\alpha_L = 175$ m), die niedrigeren Werte für Gebiete mit überwiegend Bankkalken (Mittelwert $\alpha_L = 49$ m, JAKOWSKI 1995).

Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung ist in den Bereichen mit anstehenden Oberjurakalksteinen (Offene Zonen) gering. Besondere Schwächezonen sind:

- Bereiche, in denen der Oberjura oberflächennah als Massenkalk ausgebildet ist
- Dolinen und Dolinenhäufungsgebiete
- Versinkungsstellen
- Trockentäler und oberirdisch abflusslose Karstsenken

In Gebieten, in denen Zementmergel anstehen oder der Oberjura-Grundwasserleiter von geringdurch-

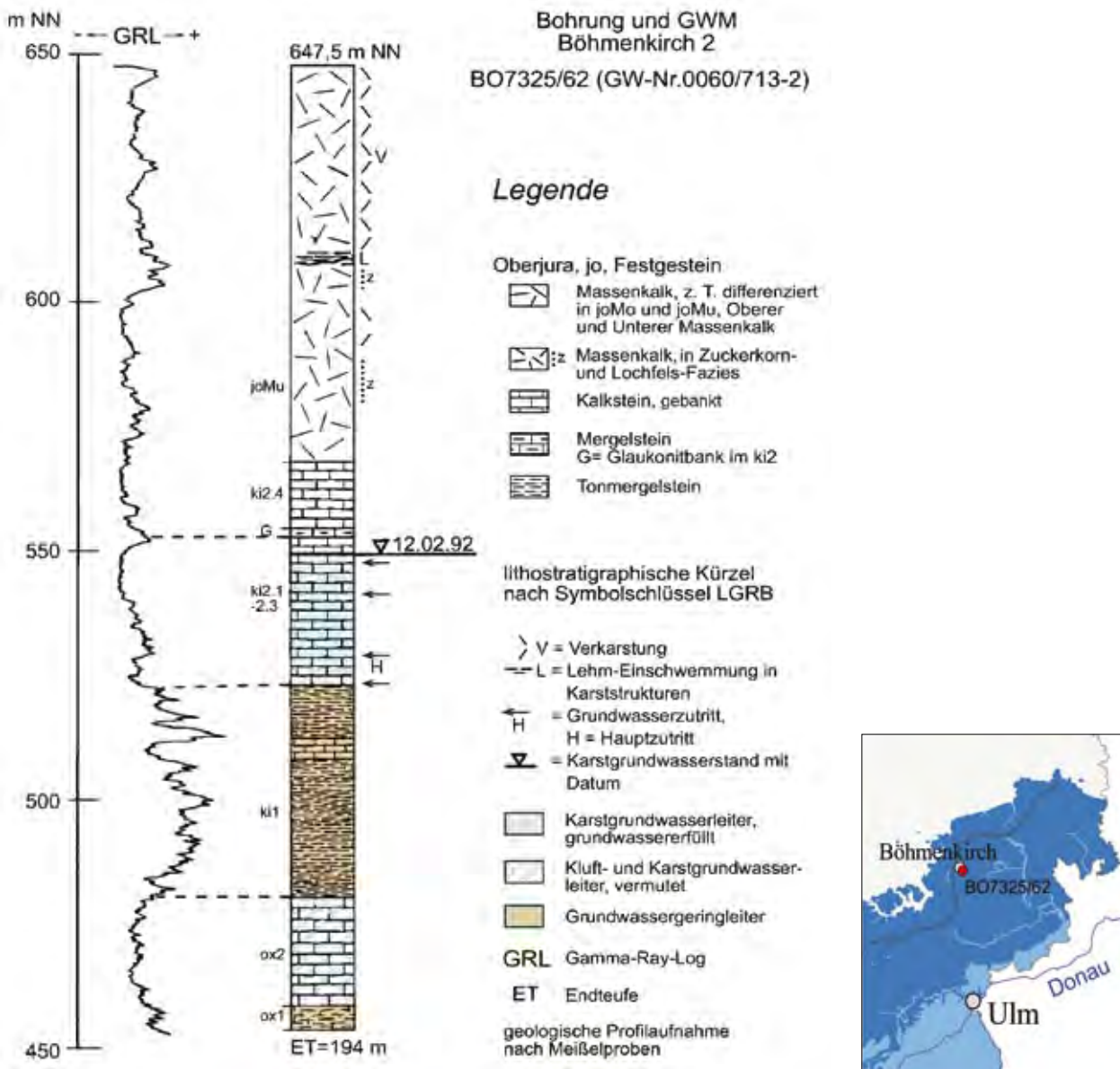


Abb. 3.10-5 Hydrogeologische Gliederung des Oberjuras: Bohrung und Grundwassermessstelle Böhmenkirch 2 mit Gamma-Log (Lage knapp südlich der kontinentalen Karstgrundwasserscheide im Tiefen Offenen Karst, HGK 2002).

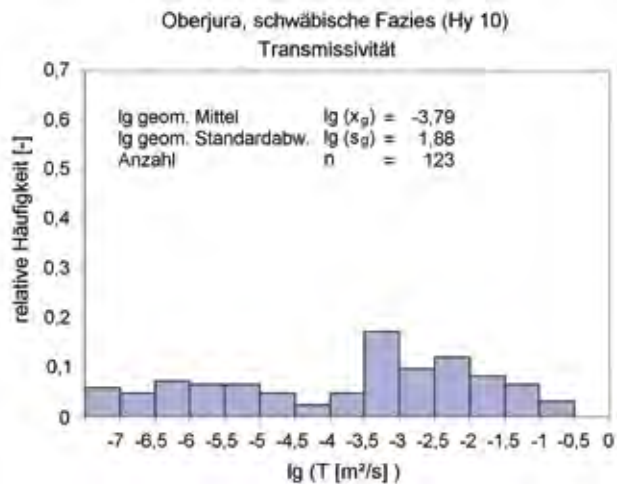


Abb. 3.10-6 Statistische Verteilung der Transmissivitätswerte für den Oberjura-Aquifer (geometrischer Mittelwert $T = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) (LGRB 2002).

lässigen Gesteinen der Molasse oder von Impaktgesteinen in größerer Mächtigkeit und Verbreitung überdeckt sind, ist demgegenüber die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung mittel.

3.10.4 Hydrologie

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag beträgt im Bereich der Schwäbischen Alb (Offene und Teilweise Überdeckte Zone) im langjährigen Mittel (Periode 1961 bis 1990) $G_m = 14,7 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, das sind – bezogen auf die Ausstrichfläche von 4721 km^2 – $G_f = 69,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Zur Grundwasserneubildung im Oberjura trägt weiterhin die Infiltration aus oberirdischen Gewässern bei. In Schwinden und Schlucklöchern kann ein Teil oder die gesamte Wasserführung oberirdischer Gewässer in den Untergrund versinken. Bekanntestes Beispiel für diesen Vorgang ist die Donauversinkung zwischen Immendingen und Fridingen (Abb. 3.10-3 und -7, oben).

Im Molassebecken (Bereich der Überdeckten Zone) nimmt die Grundwasserneubildung durch vertikale Zusickerung mit zunehmender Mächtigkeit der Überdeckung ab und ist im Beckeninnern nicht mehr nachzuweisen.

Der Grundwasserumsatz im Oberjura-Karstgrundwasserleiter erfolgt unterschiedlich in den verschiedenen Speicher- und Fließsystemen:

- In den Kleinklüften und in den Poren wird das Grundwasser hauptsächlich durch flächenhafte Infiltration von Niederschlag neu

gebildet. Es fließt vergleichsweise langsam im Untergrund und weist entsprechend hohe Verweilzeiten auf.

- Die auf Großklüften, tektonischen Störungszonen und Karsthohlräumen schnell fließende Grundwasserkomponente wird vorwiegend durch Versinkung von oberirdisch abfließendem Wasser in Dolinen und Schwinden neu gebildet. Die Verweilzeit des Grundwassers im Untergrund ist kurz.

Die beiden Hohlraumsysteme sind regional in unterschiedlichen quantitativen und strukturellen Verhältnissen kombiniert. Ausmaß und Richtung des Grundwasseraustauschs zwischen den verschiedenen Fließsystemen wird von den hydrologischen Verhältnissen gesteuert.



Abb. 3.10-7 Frisch eingestürzte Dolinen im trockenen Bett der Donau bei Brühl unmittelbar unterstromig der Donauversinkung bei Immendingen (oben) und Wiederaustritt des Donauwassers in der Aachquelle (unten).

Nördlich der kontinentalen Karstgrundwasserscheide tritt das Karstgrundwasser überwiegend über Schichtquellen im Seichten Karst zu Tage, wobei meist die Impressamergel die stauende Sohlschicht bilden. Im vorwiegend südlich der kontinentalen Karstgrundwasserscheide liegenden Tiefen Karst erfolgt die Entwässerung in Überlaufquellen (Abb. 3.10-7, unten), durch Grundwasserübertritte in das Donautal (und Langenauer Donauried, Abb. 3.10-9) sowie durch Unterströmung der Donau mit Grundwasserabstrom nach Süden in das Molassebecken. Hydraulische Kontakte bestehen zu den Grundwasservorkommen in den Kiesen der Talablagerungen und pleistozänen Rinnen, die bereichsweise als Vorflut wirken, z. T. aber auch vom Karstwasser durchströmt werden.

Die Schüttungsraten der Quellen im Seichten Karst betragen meist $Q < 20 \text{ l/s}$, sie können jedoch bis maximal $> 500 \text{ l/s}$ reichen. Die Quellen im Tiefen Karst schütten bis $Q > 1000 \text{ l/s}$ (Abb. 3.10-8). Durch starke Schwankungen des Karstgrundwasserstandes können Hungerquellen und Überbereichsysteme auftreten.

Die mittlere Verweilzeit des Grundwassers im Untergrund beträgt nach Ergebnissen von Tritiumanalysen für Quellen des Seichten Karsts 14 bis



Abb. 3.10-8 Entwässerung des Tiefen Karsts: Brenzursprung Königsbronn (mittlere Schüttung $MQ = 1,29 \text{ m}^3/\text{s}$).

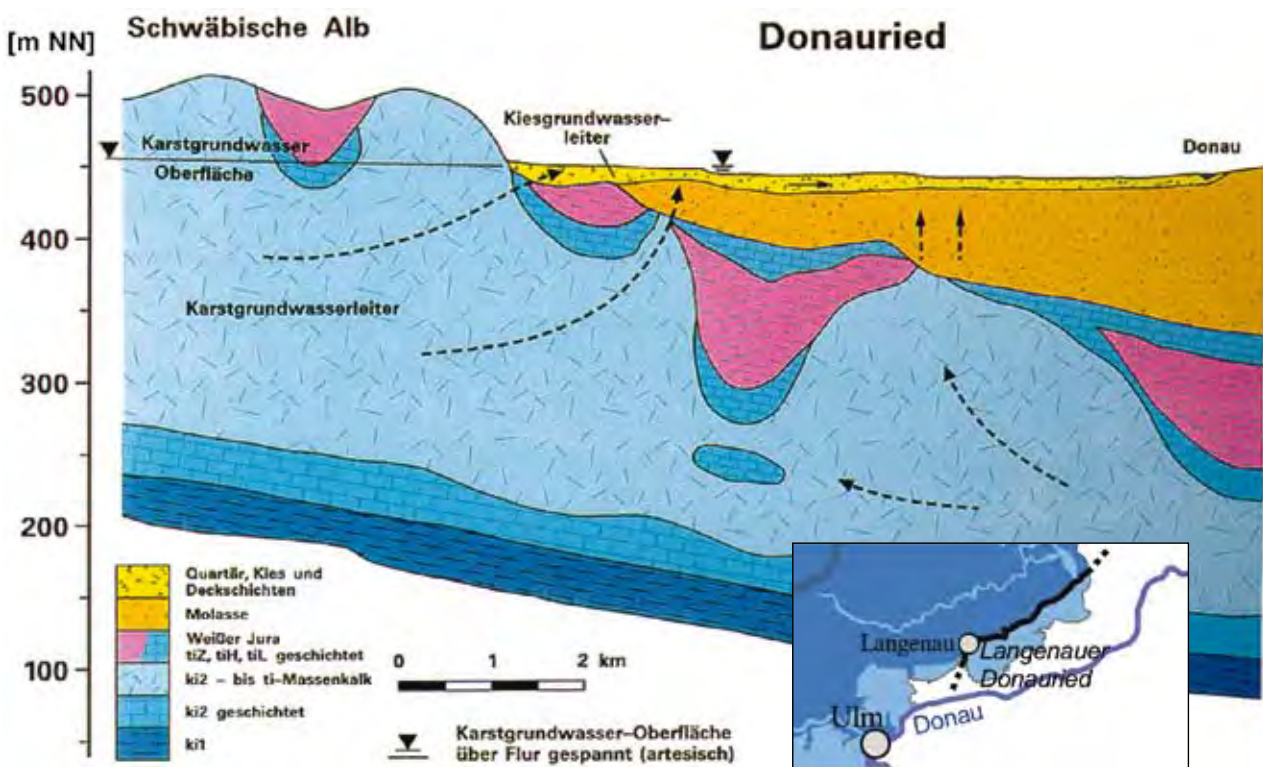


Abb. 3.10-9 Hydrogeologische und hydrologische Situation im Langenauer Donauried: Einspeisung von Karstgrundwasser in den quartären Kiesgrundwasserleiter (SCHLOZ 1988).

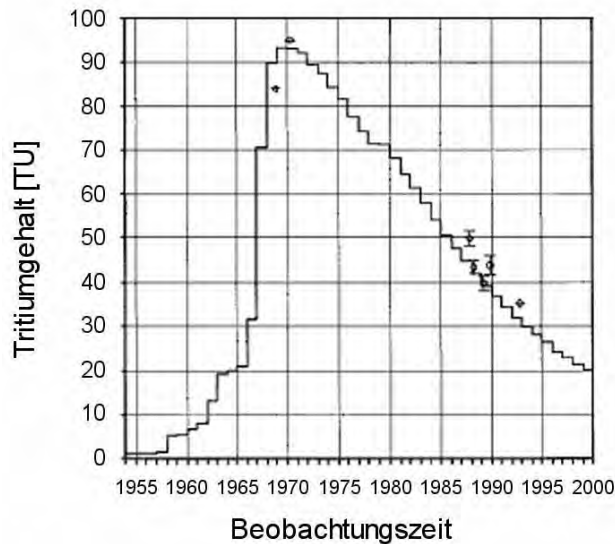


Abb. 3.10-10 Tritiumgehalte im Tiefbrunnen Ulmer Tal/Westerstetten und Modellkurve (Reihenschaltung Exponentialmodell/Piston-Flow-Modell), mittlere Verweilzeit = 43 a (HGK 2002).

18 a, für Quellen des Tiefen Karsts 22 bis 77 a und für Brunnen im tiefen Karst 43 bis 62 a (Auswertungen für den Bereich Ostalb; Abb. 3.10-10).

3.10.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Das Grundwasser im Oberjura-Karstgrundwasserleiter gehört einheitlich dem hydrochemischen Grundwassertyp hydrogenkarbonatisch-erdalkalisches Süßwasser bzw. Ca-HCO₃ Süßwasser an. Der gelöste Feststoffinhalt eines anthropogen weitgehend unbeeinflussten Oberjura-Grundwassers beträgt rund 450 mg/l. Überwiegend gesteinsbürtig sind die Konzentrationen von Calcium (100 mg/l) und Hydrogenkarbonat (330 mg/l) als Folge der Lösung von Kalzit. Dies entspricht einer Karbonathärte von etwa 13 °dH und einer Gesamthärte von 15 °dH (GLA 1996). Die übrigen Hauptinhaltsstoffe im Grundwasser werden zum größten Teil mit dem Sickerwasser eingetragen oder sind anthropogenen Ursprungs.

Im Vergleich zu den Grundwässern in den übrigen hydrogeologischen Einheiten zeichnet sich das Oberjura-Karstgrundwasser durch geringe Konzentrationen von Arsen, Barium, Kalium und Silizium aus (LfU 2001).

Wegen des geringen Schutzpotenzials der Grundwasserüberdeckung im Bereich der Offenen Zone und des geringen Reinigungspotenzials des Grundwasserleiters ist das Karstgrundwasser im Oberjura anfällig für Verunreinigungen. Beeinträchtigung

gen durch Trübungen und mikrobiologische Verunreinigungen treten in Karstquellen häufig vor allem nach Starkniederschlags-Ereignissen auf.

Im Molassebecken ändert sich die Zusammensetzung des Oberjura-Karstgrundwassers allmählich durch Zusückerung von Molassegrundwasser und Ionenaustausch in einen Na-Ca-HCO₃-Cl-Typ (Aulendorf). Südöstlich von Bad Waldsee übersteigt der Gehalt gelöster Inhaltsstoffe 1000 mg/l. Eine Temperatur von 20 °C wird bereits auf der Höhe von Riedlingen erreicht (BERTLEFF 1986, BERTLEFF et al. 1993, BERTLEFF & WATZEL 2002, PRESTEL 1990).

Literatur

- BERTLEFF, B. (1986): Das Strömungssystem der Grundwässer im Malmkarst des West-Teils des süddeutschen Molassebeckens. – Abh. GLA, **12**: 271 S., 64 Abb., 15 Tab.; Freiburg i. Br.
- , EICHINGER, L., ELLWANGER, D., SZENKLER, C., TRIMBORN, P. & WOLFENDALE, N (1993): Interpretation of Hydrochemical and Hydroisotopical Measurements on Paleogroundwater in Oberschwaben. – Proc. Symp. Vienna: 337 – 357; Vienna.
- & WATZEL, R. (2002): Tiefe Aquifersysteme im südwestdeutschen Molassebecken. – Abh. LGRB, **15**: 73 – 88, 6 Abb.; Freiburg i. Br.
- GLA (1996): Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans Baden-Württemberg – Erstellung landesweiter Grundlagenkarten. – Abschlußbericht zum Teilprojekt Hydrogeologie, AZ 4458.01/95-4763: 14 S., 5 Abb., 7 Tab.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- HGK (2002): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Ostalb: 66 S., 23 Abb., 20 Tab., 10 Kt.; Freiburg i. Br.
- JAKOWSKI, A. E. (1995): Ermittlung der Dispersion und anderer geohydraulischer Parameter aus Markierungsversuchen in Karst- und Kluffgrundwasserleitern Baden-Württembergs. – Diss. TH Darmstadt: 153 S., 42 Abb., 20 Tab.; Darmstadt.
- & EBHARDT, G. (1997): Geohydraulische Parameter aus Markierungsversuchen in mesozoischen Grundwasserleitern Baden-Württembergs. – Jh. GLA, **37**: 157 – 182, 11 Abb., 5 Tab.; Freiburg i. Br.
- LfU (2001): Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg: 124 S.; Karlsruhe.
- LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- PRESTEL, R. (1990): Untersuchungen zur Diagenese von Malm-Karbonatgesteinen und Entwicklung des Malm-Grundwassers im süddeutschen Molassebecken. – Diss. Univ. Stgt.: 217 S., 80 Abb., 8 Tab.; Stuttgart.

RV Bodensee-Oberschwaben (2005) [Hrsg.]: Die Nutzung der Erdwärme in der Region Bodensee-Oberschwaben. – Kt. und Erl., CD-ROM; Ravensburg.

SAUTER, M. (1992): Quantification and Forecasting of Regional Groundwater Flow and Transport in a Karst Aquifer (Gallusquelle, Malm, SW Germany). – Tüb. Geowiss. Arb., **C 13**: 150 S., 82 Abb., 19 Tab.; Tübingen.

SCHLOZ, W. (1988): Aquifersystem des Langenauer Donaurieds. – Jh. GLA, **30**: 441 – 455, 7 Abb.; Freiburg i. Br.

STOBER, I. & VILLINGER, E. (1997): Hydraulisches Potential und Durchlässigkeit des höheren Oberjuras und des Oberen Muschelkalks unter dem Baden-Württembergischen Molassebecken. – Jh. GLA, **37**: 77 – 96, 5 Abb., 2 Tab.; Freiburg i. Br.

VILLINGER, E. (1972): Seichter Karst und Tiefer Karst in der Schwäbischen Alb. – Geol. Jb., **C 2**: 153 – 188, 9 Abb.; Hannover.

der Nerineen-Formation im Hangenden sind durch Mergelsteinbänke gegliedert. Die Kandern-Formation im Liegenden besteht aus bis 80 m mächtigen Tonmergel- bis Kalkmergelsteinen (Tab. 3.11-1).

Die untere Kandern-Formation gehört stratigraphisch in den obersten Mitteljura, die Obergrenze der Nerineen-Formation geht mit der Obergrenze der Impressamergerl-Formation der schwäbischen Fazies einher.

Der Oberjura ist im südlichen und mittleren Oberrheingraben als Folge der prätertiären Erosion nur in zwei getrennten Vorkommen erhalten geblieben (PFLUG 1982). Verglichen mit der Maximalentwicklung (Tab. 3.11-1) ist er in weiten Bereichen auch nur noch in Restmächtigkeit vorhanden.

Das Vorkommen im südlichen Oberrheingraben ist aufgrund seiner Verbreitung an der Erdoberfläche (Isteiner Klotz östlich Istein, Abb. 3.11-2, oben) bzw. seiner geringen Teufenlage gut bekannt und um-

3.11 Oberjura, raurazische Fazies (Hy 11)

3.11.1 Verbreitung

Das Vorkommen des Oberjuras in raurazischer Fazies ist in Baden-Württemberg auf den südlichen und mittleren Oberrheingraben beschränkt. Die hydrogeologische Einheit Hy 11 streicht nur im südlichen Oberrheingraben im Bereich von Randschollen (u. a. Isteiner Klotz) auf einer Fläche von 13,8 km² an der Erdoberfläche aus (Abb. 3.11-1).

3.11.2 Geologie

Der Oberjura in raurazischer Fazies wird in drei Formationen gegliedert:

Die Korallenkalk-Formation besteht vorwiegend aus Kalksteinen. Charakteristisch ist das Vorkommen von Korallenkalken im unteren Teil ihrer Schichtenfolge. Die Kalksteine



Abb. 3.11-1 Verbreitung des Oberjuras in raurazischer Fazies (Hy 11) im Oberrheingraben farbig, Ausstrich dunkel.



Tab. 3.11-1 Geologische Gliederung des Oberjuras in raurazischer Fazies mit lithologischer Beschreibung und Mächtigkeiten.

Kürzel	Bezeichnung	Lithologie	Mächtigkeit [m]
oxN	Nerineen-Formation	Wechselfolge von Kalk- und Kalkmergelsteinen mit Mergelsteinbänken	≈ 15
oxK	Korallenkalk-Formation	Kalksteine im mittleren Teil (sogenannte Korallenkalke), Kalkmergel im unteren Teil	≈ 65
oxKA	Kandern-Formation	Tonmergel- bis Kalkmergelsteine	≈ 80

fasst alle drei Schichtglieder (vgl. Tab. 3.11-1). Nach Norden nimmt die Mächtigkeit des Oberjuras ab. Zwischen Kandern und Schliengen sind auf der Randscholle nur noch Korallenkalk- und Kandern-Formation, östlich von Auggen nur noch die Kandern-Formation erhalten. Bad Krozingen markiert das Ende der Oberjuraverbreitung im südlichen

Oberrhingraben. Das Oberjuravorkommen ist im Bereich der Randscholle tektonisch stark gestört und bereichsweise verkarstet.

Im mittleren Oberrheingraben ist der Oberjura aufgrund der Überlagerung durch 700 bis >1700 m jüngere Sedimente nur schlecht erkundet. Durch Bohrungen nachgewiesen ist im Randbereich nur die Kandern-Formation. Im zentralen Graben wird mit Mächtigkeiten bis maximal 150 m und dem Vorkommen der Korallenkalk-Formation zusätzlich zur Kandern-Formation gerechnet (Abb. 3.11-2, unten) (Commission of the European Communities 1979). Von Müllheim bis nördlich Karlsruhe kann auf der Randscholle unterster Oberjura in Resten vorkommen.



3.11.3 Hydrogeologie

Der Oberjura in raurazischer Fazies ist ein Kluff-, bereichsweise auch ein Karstgrundwasserleiter, der jedoch aufgrund seiner geringen Verbreitung wasserwirtschaftlich praktisch ohne Bedeutung ist. Die Transmissivität dürfte in der gleichen Größenordnung wie die des Oberjuras in schwäbischer Fazies ($T = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) liegen. Dort, wo nur die Kandern-Formation erhalten geblieben ist (nördlich Schliengen und im Randbereich des Vorkommens nördlich Strasbourg – Achern), ist der Oberjura aufgrund seiner Lithologie ein Grundwassergeringleiter. Über die hydrogeologischen Eigenschaften im zentralen Oberrheingraben ist aufgrund fehlender Bohrungen bisher nichts bekannt.



3.11.4 Hydrologie

Als mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag wurde für den Isteiner Klotz eine Flächen-spende von $G_m = 7,3 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ermittelt, das entspricht – bezogen auf die Ausstrichfläche – einer Neubildungsrate von $G_f = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Eventuell tragen auch noch kleinere Randzuflüsse zur Neubildung bei.

Abb. 3.11-2 Verbreitung des Oberjuras in raurazischer Fazies farbig, Ausstrich dunkel. Vorkommen im südlichen Oberrheingraben (oben), im mittleren Oberrheingraben (unten).

Literatur

Commission of the European Communities (1979) [Hrsg.]: Geothermische Synthese des Oberrheingrabens (Bestandsaufnahme). – GLA & Service Géologique Régional Alsace: 51 S., 23 Anl. (Kt. und Schnitte), 4 Beil.; Freiburg i. Br., Strasbourg (Wiederaufl. als CD-ROM, LGRB 2005).

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

PFLUG, R. (1982): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens: 145 S., 2 Tab.; Darmstadt (Wiss. Buchgesellschaft).

Quinten-Typs und schiefrigen Mergelzwischenlagen gebildet. In Tab. 3.12-1 wird die geologische Gliederung der helvetischen Fazies gezeigt (FELBER & WYSSLING 1979).

Die untere Schilt-Formation gehört stratigraphisch in den obersten Mitteljura, die obere Zementstein-Formation in die tiefste Unterkreide.

Die zunehmende Entfernung vom Neubildungsgebiet und die große Tiefenlage führen dazu, dass südlich einer ungefähren Linie Konstanz – Fronhofen – nördlich Memmingen im Oberjura keine nennenswerte Verkarstung mehr auftritt. Belege dafür sind das Fehlen von Spülungsverlusten in Tiefbohrungen sowie die hydrochemischen und isotopenphysikalischen Eigenschaften der tiefen Oberjura-Grundwässer aus dem Molassebecken (BERTLEFF et al. 1988).

3.12 Oberjura, helvetische Fazies (Hy 12)

3.12.1 Verbreitung

Der Oberjura in helvetischer Fazies kommt in Baden-Württemberg im süd-südöstlichen Molassebecken etwa ab der Linie Markdorf – nördlich Ravensburg – nördlich Leutkirch unter mehr als 1500 m Molasse vor (LGRB 2002). Nach Norden geht die helvetische in die schwäbische Fazies (Hy 10) über (Abb. 3.12-1).

3.12.2 Geologie

Der Oberjura in helvetischer Fazies wird in drei Formationen gegliedert:

Die Quinten-Formation des helvetischen Faziesbereichs ist durch hellgraue, im Bruch fast schwarze, dichte Kalksteine charakterisiert, in denen Mergelzwischenlagen fast völlig fehlen. Der Übergang in die liegende, mergelige Schilt-Formation vollzieht sich allmählich. Die Abgrenzung gegen die hangende Zementstein-Formation ist dagegen scharf. Sie wird von einer Wechsellaagerung von Kalksteinen des



Abb. 3.12-1 Verbreitung des Oberjuras in helvetischer Fazies (Hy 12) farbig, in Baden-Württemberg vollständig überdeckt.



Tab. 3.12-1 Geologische Gliederung des Oberjuras in helvetischer Fazies mit lithologischer Beschreibung und Mächtigkeiten.

Kürzel	Bezeichnung	Lithologie	Mächtigkeit [m]
jZS	Zementstein-Formation	Wechsellagerung von Kalk- und Mergelsteinen	bis 180
jQU	Quinten-Formation	Kalkstein	260 – 350
jSCH	Schilt-Formation	Kalkmergel bis Mergelstein	120 – 150

3.12.3 Hydrogeologie

Im Gegensatz zum Oberjura in der schwäbischen Fazies ist der Oberjura in helvetischer Fazies ein ausgesprochener Grundwassergeringleiter. Grundwasserwegsamkeiten treten nur in äußerst geringem Umfang auf.

Anhand der Verteilung der Gebirgsdurchlässigkeiten im Oberjura im Molassebecken (STOBER & VILLINGER 1997) lassen sich für den Bereich der helvetischen Fazies Werte von $T/H < 10^{-10}$ m/s extrapolieren.

Literatur

BERTLEFF, B. & JOACHIM, H., KOZIOROWSKI, G., LEIBER, J., OHMERT, W., PRESTEL, R., STOBER, I., STRAYLE, G., VILLINGER, E., WERNER, J. (1988): Ergebnisse der Hydrogeothermiebohrungen in Baden-Württemberg. – Jh. GLA, **30**: 27 – 116, 30 Abb., 6 Tab., 1 Taf., 2 Beil.; Freiburg i. Br.

FELBER, P. & WYSSLING, G. (1979): Zur Stratigraphie und Tektonik des Südhelvetikums im Bregenzerwald (Vorarlberg). – Eclogae geol. Helv., Vol. **72/3**: 673 – 714, 17 Abb., 2 Taf.; Basel.

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

STOBER, I. & VILLINGER, E. (1997): Hydraulisches Potential und Durchlässigkeit des höheren Oberjuras und des Oberen Muschelkalks unter dem baden-württembergischen Molassebecken. – Jh. GLA, **37**: 77 – 96, 5 Abb., 2 Tab.; Freiburg i. Br.

3.13 Mittel- und Unterjura (Hy 13)

3.13.1 Verbreitung

Der Mittel- und Unterjura streicht im Albvorland, im Klettgau und auf tektonischen Randschollen im Oberrheingraben auf einer Fläche von 2434 km² an der Erdoberfläche aus (Abb. 3.13-1). Im Bereich der Schwäbischen Alb und im Molassebecken ist der Mittel- und Unterjura von Oberjura, Molasse und Quartär überdeckt.



Abb. 3.13-1 Ausstrich des Mittel- und Unterjuras (Hy 13) farbig.

3.13.2 Geologie

Unter- und Mitteljura bestehen aus stellenweise eisenoolithischen, dunkelbraunen bis schwarzen Tonsteinen und Tonmergelsteinen, in die z. T. bituminöse Kalk-, Mergel- und Feinsandsteinbänke eingeschaltet sind. Die Mächtigkeit reicht bis 600 m.

Hydrogeologisch besonders hervorzuheben ist im bis 400 m mächtigen Mitteljura als Grundwasserleiter die Eisensandstein- (al2E) und Hauptrogenstein-Formation (bjHR) (Abb. 3.13-2) sowie als Grundwassergeringleiter die Opalinuston-Formation (Tab. 3.13-1).

Die Eisensandstein-Formation, die im Vorland der Ostalb entwickelt ist (Tab. 3.13-1) und dort eine Mächtigkeit von 25 bis 35 m erreicht, setzt sich aus feinsandigen, dunkelgrauen bis schwarzen Tonsteinen zusammen, in die unten, in der Mitte und oben kalkig gebundene Feinsandsteine und oben rote Eisenoolithbänke eingeschaltet sind (BRODBECK 1995).



Abb. 3.13-2 Hauptrogenstein-Formation: Michaelsberg, Riegeler Brauerei/Emmendingen

Tab. 3.13-1 Geologische Gliederung des Mitteljuras in verschiedenen Teilen Baden-Württembergs.

Ostalb	Mittlere Alb + Westalb	Wutachgebiet, Klettgau	südlicher + mittlerer Oberrheingraben
Ornatenton-Formation (cl)		Wutach-Formation (clW)	Ornatenton-Formation (cl)
Sengenthal-Formation (jms)	Dentalienton-Formation (bt)	Variansmergel-Formation (btV)	
	Hamitenton-Formation (bj3)		Hauptrogenstein-Formation (bjHR)
	Ostreenkalk-Formation (bj2)		
Wedelsandstein-Formation (bj1)			
Eisensandstein-Formation (al2E)	Eichberg-Formation (al2)	Murchinsonae-Oolith-Formation (al2M)	
Opalinuston-Formation (al1)			

grün = Festgesteinsgrundwasserleiter

Tab. 3.13-2 Geologische Gliederung des Unterjuras in verschiedenen Teilen Baden-Württembergs.

Ostalb	Mittlere Alb	Schönbuch, Westalb, Wutachgebiet, Kraichgau	Oberrheingraben
Jurensismergel-Formation (tc2) bis 35 m			
Posidonienschiefer-Formation (tc1) bis 35 m			
Amaltheenton-Formation (pb2) bis 40 m			
Numismalismergel-Formation (pb1) bis 15 m			
Obtususton-Formation (si2) bis 65 m			
Gryphäensandstein-Formation (si1S) <3 m	Arietenkalk-Formation (si1) bis >25 m		
Angulatensandstein-Formation (he2) bis >20 m		Angulatenton-Formation (he2A) bis 10 m	
Pylonotenton-Formation (he1) bis 15 m			



Die Hauptrogenstein-Formation ist im südlichen Oberrheingraben verbreitet und besteht aus oolithischen, häufig schräg geschichteten, weiß bis hellgelblichen, oben rostbraunen Kalksteinen mit Schilllagen und Mergelsteineinschaltungen. Sie erreicht eine Mächtigkeit von 40 bis 100 m.

Der Opalinuston kommt im gesamten Verbreitungsgebiet an der Basis des Mitteljuras vor und ist eine Folge von dunkelgrauen bis schwarzen, feingeschichteten Tonsteinen mit Lagen von Toneisensteingeoden. Zur Obergrenze hin wird der Opalinuston zunehmend feinsandig mit Einschaltung mehrerer feinsandiger Kalksteinbänke. Die Mächtigkeit reicht von 60 bis > 170 m.

Im Unterjura (Tab. 3.13-2) besitzen nur einige geringmächtige Kalkstein-, Kalksandstein- und Feinsandsteinbänke (Gryphäensandstein-Formation, Arienkalk-Formation, Angulatensandstein-Formation) eine gewisse hydrogeologische Bedeutung. Es überwiegen Ton- und Mergelsteine (Abb. 3.13-3).



Abb. 3.13-3 Posidonienschiefer: Anschnitt im Bett des Lauterbachs, westlich Riegelhof (**oben**) und Amaltheenton-Formation, Riegelach zwischen Laubach und Riegelhof (**unten**).

3.13.3 Hydrogeologie

Die Gesteine des Mittel- und Unterjuras sind ganz überwiegend als Grundwassergeringleiter einzustufen. Eine geringe Grundwasserführung ist an geklüftete Sandstein- und Kalksteinbänke gebunden und mit Ausnahme von Störungszonen auf die oberflächennahe Auflockerungszone beschränkt (bis 30 m Tiefe, lokal bis 60 m Tiefe). Technische Ergiebigkeiten von $Q_t = 0,001$ bis $0,005$ m³/s sind üblich, ebenso Quellschüttungsraten von $Q < 0,005$ m³/s. Als Einzelfall ist eine Quelfassung in der Angulatensandstein-Formation mit einer Schüttung von $Q = 0,012$ m³/s bekannt.

Im Vorland der Ostalb (insbesondere im Raum Werthausen – Lauchheim/Ostalbkreis) bildet der Eisensandstein einen mäßig ergiebigen Poren-Kluft-Grundwasserleiter. Die Quellschüttungen reichen im Eisensandstein bis $Q = 0,005$ m³/s, in Ausnahmefällen bis $Q = 0,01$ m³/s. Die Transmissivitätswerte liegen bei $T = 2,0 \cdot 10^{-4}$ bis $2 \cdot 10^{-3}$ m²/s, maximal bei $T = 6 \cdot 10^{-3}$ m²/s. Bisher wurden in Brunnen technische Ergiebigkeiten bis $Q_t = 0,035$ m³/s erzielt.

Eine örtlich für die Mineralwassergewinnung bedeutsame Grundwasserführung findet sich im südlichen Oberrheingraben im Hauptrogenstein (z. B. Bad Bellingen). Im oberen Filstal bei Bad Überkingen werden Mineralwässer aus dem Unteren Donzdorf-Sandstein der Eisensandstein-Formation gewonnen, der hier auffällig einheitliche Transmissivitäten um $T = 2,4 \cdot 10^{-5}$ m²/s aufweist (CARLÉ 1982). Im mittleren Filstal ist in der Angulatensandstein-Formation Mineralwasser erschlossen, die dort lokal grundwasserleitend ist (SCHNIEPP 1992).

Eine besondere Stellung als Grundwassergeringleiter und als Barrieregestein nimmt der Opalinuston ein. Seine hydrogeologischen Eigenschaften wurden umfassend untersucht (HEKEL 1994, GLA 1992, WALLRAUCH 1969). Nach dem Grad der Verwitterung lassen sich im Profil von oben nach unten verschiedene Zonen unterscheiden:

Den Beginn bildet die **Verwitterungszone** (V1 bis V5), die bis zum Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels reicht und die ungesättigte Zone umfasst.

Darunter folgt die **unverwitterte, aufgelockerte Zone**. Es gibt offene Trennfugen, auf denen sich Grundwasser bewegen kann. Die Transmissivitätswerte betragen meist zwischen $T = 1 \cdot 10^{-6}$ m²/s und $T = 1 \cdot 10^{-4}$ m²/s. Auch hier lassen sich drei Zonen (Z1 bis Z3) abgrenzen. Die oberste Zone mit schneller Grundwasserzirkulation (Z1) ist charakterisiert durch Ca-Mg-SO₄-HCO₃-Grundwässer und

Tab. 3.13-3 Tiefenlage der verschiedenen Verwitterungszonen im Opalinuston in Abhängigkeit vom Alter der Landoberfläche und des Reliefs (Teufenangaben in Metern; HEKEL 1994).

Zone	Alte Talflächen im Opalinuston	Jungpleistozäne Hochflächen und Kuppen	Jüngere Täler sowie Tobel und Hangmulden	Jüngere Rücken und Grate zwischen Tälern und Tobeln
V	4 – 9	6 – 14	1,5 – 4	ca. 9
Z1	ca. 4	8 – 17	2 – 8	nicht entwickelt
Z2	ca. 6	9 – 27	4 – 9	ca. 9
Z3	18 – 22			
S1 – S3	>22	>27	>9	>9

Verweilzeiten <40a. Die nächsttiefere Zone (Z2) enthält Ca-Mg-Na-HCO₃-SO₄⁻, Ca-Mg-SO₄-HCO₃⁻ und Na-HCO₃-Cl-Wässern bei mittleren Verweilzeiten von >40a. Darauf folgt Zone drei (Z3) mit sehr langsamer Grundwasserzirkulation, Ca-Na-HCO₃-SO₄⁻, Na-HCO₃-SO₄⁻ und Na-HCO₃-Cl-Wässern und mittleren Verweilzeiten >20 000a.

Den Abschluss bildet das **unverwitterte, weitgehend dichte Gebirge**. Für diese Zone wurden Transmissivitätswerte von $T \ll 1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, meist $T < 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ und Gebirgsdurchlässigkeiten $T/H = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ bis $T/H = 1 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$ bestimmt, die etwa der Gesteinsdurchlässigkeit entsprechen. Nach der chemischen und isotopischen Beschaffenheit der Grundwässer ist eine weitere Unterscheidung in eine Zone mit vollständiger Aussüßung des Porenwassers (S 3), eine Zone mit teilweiser Aussüßung des Porenwassers (S 2) und eine Zone mit NaCl-Poren- und Kluftwasser (S 1) möglich (HEKEL 1994).

Mächtigkeit und Ausbildung der verschiedenen Verwitterungszonen sind abhängig vom Alter der Landoberfläche und dem Relief (Tab. 3.13-3).

3.13.4 Hydrologie

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag beträgt im Bereich der Verbreitung von Mittel- und Unterjura im langjährigen Mittel (Periode 1961 bis 1990) $G_m = 3,5 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$, das sind, bezogen auf die Ausstrichfläche von 2434 km^2 , $G_f = 8,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Da der Anteil des Zwischenabflusses sehr groß ist, gibt es im Mittel- und Unterjura kaum wasserwirtschaftlich nutzbares Grundwasser.

3.13.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Hydrochemisch enthalten die Gesteine des Mittel- und Unterjuras oberflächennah Ca-HCO₃-Süßwasser mit einem Gehalt an gelösten Stoffen von $\text{TDS} \approx 510 \text{ mg/l}$ (GLA 1996). Generell besteht die

Neigung zum Austausch von Kationen unter Bildung von Na-HCO₃-Grundwässern. Örtlich treten erhöhte Sulfatgehalte auf, die auf die Oxidation von Pyrit zurückzuführen sind. Unter reduzierenden Bedingungen, wie sie z. B. in der Posidonienschiefer-Formation vorkommen, kommt es zur Bildung von Schwefelwasserstoff. Als Folge des geringen Grundwasserumsatzes findet man häufig schon in geringer Tiefe Mineralwasser.

Literatur

- BRODBECK, M. (1995): Geologie und Hydrogeologie des Blattes 7127 Westhausen (Ostalbkreis). – Erl. zur Geol. Karte 1 : 25 000: 308 S. – Diss. Univ. Stgt.; Stuttgart.
- CARLÉ, W. (1982): Geologie und Hydrogeologie der Mineral- und Thermalwässer von Bad Überkingen, Landkreis Göppingen, Baden-Württemberg. – Bd.2 (Gesamtwerk), Geol. Jb., **C31**: 228 S., 14 Abb., 3 Taf.; Hannover (BGR & Geol. L.-Ämter BRD).
- GLA (1992): Forschungsprojekt „Gebirgseigenschaften mächtiger Tonsteinserien (FGmT)“: 190S.; Freiburg i.Br.
- (1996): Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans Baden-Württemberg – Erstellung landesweiter Grundlagenkarten. – Abschlußbericht zum Teilprojekt Hydrogeologie, AZ 4458.01/95-4763: 14 S., 5 Abb., 7 Tab.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- HEKEL, U. (1994): Hydrogeologische Erkundung toniger Festgesteine am Beispiel des Opalinustons (Unteres Aalenium). – Tüb. Geowiss. Arb., Rh. **C18**: 170 S., 131 Abb., 12 Tab.; Tübingen.
- SCHNIEPP, A. (1992): Herkunft und Genese der mineralisierten Wässer der Lias alpha 2 im Raum Göppingen. – Schr.reihe Angew. Geol. (Diss. Univ. Karlsr.), **21**: 215 S.; Karlsruhe.
- WALLRAUCH, E. (1969): Verwitterung und Entspannung bei überkonsolidierten tonig-schluffigen Gesteinen in Südwestdeutschland. – Diss. Univ. Tüb.; Tübingen.



3.14 Oberkeuper und oberer Mittelkeuper (Hy 14)

3.14.1 Verbreitung

Oberkeuper (ko) und oberer Mittelkeuper (km5 bis km2) stehen nördlich und östlich der Verbreitungsgebiete des Unterjuras im weiteren Albvorland bis in die Region von Heilbronn an. Im Bereich der Kraichgaumulde gibt es hingegen nur noch einzelne Restvorkommen. Im Oberrheingraben, im Bereich der Schwäbischen Alb, im näheren Albvorland sowie in Oberschwaben liegt der Oberkeuper und obere Mittelkeuper unter mächtiger Überdeckung aus jüngeren Mesozoikum und bereichsweise zusätzlich noch unter Quartär und Tertiär (Oberrheingraben, Oberschwaben). Oberkeuper und oberer Mittelkeuper keilen im nördlichen Oberrheingraben aus. Die zur hydrogeologischen Einheit Hy 14 zusammengefassten Gesteine stehen auf einer Fläche von 2338 km² an der Erdoberfläche an (Abb. 3.14-1).



Abb. 3.14-1 Verbreitung des Oberkeupers und des oberen Mittelkeupers (Hy 14) farbig, Ausstrich dunkel.

3.14.2 Geologie

Oberkeuper und oberer Mittelkeuper bestehen aus einer Wechselfolge von Ton-, Schluff-, Mergel- und Sandsteinen.

Der Oberkeuper (Rhätkeuper-Formation, ko) ist nur lückenhaft verbreitet und besteht aus feinkörnigen, auch mittelkörnigen, meist kieseligen Sandsteinen und stellenweise feinsandigem Tonstein. Westlich Stuttgart gehen die Sandsteine in dunkle Tonsteine über.

Unter dem Oberkeuper folgt als oberste Einheit des Mittelkeupers die Knollenmergel-Formation (km5). Es handelt sich um eintönige, meist kräftig rote oder violettrote Tonsteine, die lokal konkretionäre Karbonatknollen enthalten.

Nächsttiefere Einheit ist die Stubensandstein-Formation (km4; Abb. 3.14-2, rechts). Sie besteht aus fein- bis mittelkörnigen, untergeordnet auch grobkörnigen, z. T. wenig verfestigten, feldspatreichen

Sandsteinen mit Tonsteinlagen und konglomeratischen Abschnitten. Das Bindemittel der Sandsteine ist kaolinitisch, unten z. T. kalkig, im obersten Teil lokal kieselig und mit Pyritknollen. In die Sandsteinfolge sind einige geringmächtige Silt- und Tonsteinlagen mit Dolomitsteinknollen und pedogene Krustenkalkbänke eingeschaltet. Nach Westen und Nordwesten wächst der Anteil der Tonstein- und Dolomitsteinbänke, entsprechend nimmt der Sandsteinanteil ab.

Die im Liegenden folgende Bunte Mergel-Formation (km3) ist eine Folge von überwiegend roten Silt-Tonsteinen, die lokal noch Gips enthalten können. Darin eingelagert ist im mittleren Teil der Kieselsandstein, feinkörnige, gut sortierte und teilweise verkieselte Fein- bis Grobsandsteine mit Tonsteinzwischenlagen. Bereichsweise ist der Sandstein tonig oder kalkig gebunden. Die Mächtigkeit der Sandsteinkörper nimmt von Südosten nach Nordwesten ab und der Kieselsandstein keilt allmählich aus. Im oberen Teil des Kieselsandsteins sind einzelne geringmächtige Dolomitsteinbänke eingelagert.



Abb. 3.14-2 Massige Sandsteine der Schilfsandstein-Formation: Eichelhof nordwestlich Untermünkeheim (**links**) und Stubensandstein-Formation: Steinbruch südöstlich Finsterrot (**rechts**).

Die tiefste Einheit des oberen Mittelkeupers ist die Schilfsandstein-Formation (km²; Abb. 3.14-2, links). Der Schilfsandstein kommt in einer Normalfazies und einer Flutfazies vor. In der Normalfazies treten sandig-schluffige und sandfreie Tonsteine zusammen mit Dolomitsteinbänken sowie Gips- und Anhydritlagen bzw. deren Residuen auf. Die deutlich mächtigere Flutfazies besteht aus lang gestreckten Sandsteinkörpern, die auf einem Erosionsrelief sedimentiert wurden. Die Sandsteine weisen eine gleichmäßig feine Körnung auf. Im verwitterten Zustand bilden sich mürbe, grobkörnige Sande. Die Schilfsandstein-Formation schließt mit den 2 bis 6 m mächtigen, z. T. feinsandigen Silttonsteinen der Dunklen Mergel ab.

Die Mächtigkeit des oberen Mittelkeupers (km² bis km⁵) und des Oberkeupers (ko) liegt im Mittel bei etwa 200 m, wobei jedoch erhebliche Schwankungen auftreten können. Die Einzelmächtigkeiten der verschiedenen Schichtglieder sind aus Tab. 3.14-1 ersichtlich.

3.14.3 Hydrogeologie

Oberkeuper und oberer Mittelkeuper bilden eine Folge von z. T. porösen Kluftgrundwasserleitern und Grundwassergeringleitern (Tab. 3.14-1). Zu den Grundwasserleitern gehören die Stubensandstein-Formation, der Kieselsandstein der Bunte Mergel-Formation und die Schilfsandstein-Formation in Flutfazies. Eine geringe Grundwasserführung erfolgt außerdem im Rhätsandstein des Oberkeupers und den basalen Kalksteinbänken des Unterjuras (Pylonotenton). Grundwassergeringleitend sind der übrige Oberkeuper, die Knollenmergel-Forma-

tion, die Tonschluffsteine der Oberen und Unteren Bunte Mergel-Formation und die Schilfsandstein-Formation in Normalfazies. Sandige Verwitterungsprodukte verhalten sich wie Porengrundwasserleiter.

Die Stubensandstein-Formation ist wegen des wiederholten Wechsels von Tonsteinen und grob- bis mittelkörnigen Sandsteinen in mehrere Teilstockwerke untergliedert, die hydraulisch untereinander unterschiedlich stark kommunizieren. Die Grundwasserbewegung erfolgt bevorzugt auf dem Kluftsystem der Sandsteine, wobei die Klüftung in starkem Maße tiefen- und reliefabhängig ist. Besonders ausgeprägte Wasserwegsamkeiten finden sich in Tälern und an den Talflanken. Unter mächtiger Überdeckung nimmt die Wasserwegsamkeit hingegen stark ab. Aus tektonisch beanspruchten Gebieten ist jedoch eine tiefreichende Grundwasserzirkulation bis 400 m unter Gelände bekannt.

Eine gewisse Grundwasserführung tritt in der Bunte Mergel-Formation in den geklüfteten Sandstein- und Dolomitsteinbänken des Kieselsandsteins auf. In Ostwürttemberg liefern diese Grundwasservorkommen einen wichtigen Beitrag zur lokalen Wasserversorgung. Ist in den Mergelsteinen das in Form von Knauern und Bändern eingelagerte Sulfatgestein ausgelaugt, ergeben sich auch durch die dabei entstandenen Hohlräume gewisse Wasserwegsamkeiten.

Die Schilfsandstein-Formation in Flutfazies ist ein wenig ergiebiger Kluftgrundwasserleiter. Nur in Gebieten, in denen der Schilfsandstein größere Mächtigkeiten aufweist und das Gestein verstärkt tektonisch beansprucht ist, ist die Grundwasserführung



Tab. 3.14-1 Hydrogeologische Gliederung des Oberkeupers und des oberen Mittelkeupers mit Mächtigkeitsangaben.

Stratigraphie			Mächtigkeit [m]	
Oberkeuper	ko	Rhätkeuper-Formation	bis 25	
oberer Mittelkeuper	km 5	Knollenmergel-Formation	10 – 50	
	km 4	Stubensandstein-Formation	10 – 140	
	km 3	Bunte Mergel-Formation	Obere Bunte Mergel	20 – 60
			Kieselsandstein	
			Untere Bunte Mergel	
km 2	Schilfsandstein-Formation Normalfazies	Schilfsandstein-Formation Flutfazies	5 – 40	

grün = Festgesteinsgrundwasserleiter braun = Grundwassergeringleiter

größer. Limitierend für die langfristige Ergiebigkeit sind die relativ kleinen Einzugsgebiete, die auf die strangartigen Sandsteinkörper begrenzt sind.

Der geometrische Mittelwert der Transmissivität beträgt für den Oberkeuper und oberen Mittelkeuper $T = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ bei einem Stichprobenumfang von $n = 123$ (Abb. 3.14-3). Als Maß für die Anisotropie des Gebirges liegt das Repräsentative Elementarvolumen (REV) im Größenbereich von 10 bis 100 m.

Für die Gesteine der Stubensandstein-Formation liegen die Transmissivitätswerte für Ostwürttemberg zwischen $T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $T = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, nehmen jedoch nach Westen und Nordwesten entsprechend der faziellen Veränderungen ab. Für

den Kieselsandstein und Schilfsandstein gibt es bisher keine systematische Auswertung der Transmissivität.

Der Stubensandstein besitzt ein relativ hohes Speichervermögen, weil sein Bindemittel primär fehlt oder teilweise gelöst wurde.

3.14.4 Hydrologie

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag beträgt im Verbreitungsgebiet des Oberkeupers und oberen Mittelkeupers im langjährigen Mittel (Periode 1961 bis 1990) $G_m = 4,9 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, das sind, bezogen auf die Ausstrichfläche von 2338 km^2 , $G_f = 11,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Die Grundwasserneubildung erfolgt auf den teilweise lössbedeckten Hochflächen über flächenhafte Infiltration aus Niederschlag. Bei hoher Sickerrate bilden sich zeitweise schwebende Grundwasservorkommen über dem zusammenhängenden Grundwasserspiegel (insbesondere im Stubensandstein).

Ist in den Tälern die Grundwasserleiterbasis angeschnitten, entwässern die verschiedenen Grundwasserleiter über Quellen. Größere Quellhorizonte sind in der Stubensandstein-Formation die Grenzflächen Tonsteine/Sandsteine und Stubensandstein/Obere Bunte Mergel, in der Bunte Mergel-Formation sind es die Grenzen Kieselsandstein/Untere Bunte Mergel sowie die Basis der Schilfsandstein-Formation in Flutfazies. Während die Quellen im Stubensandstein und Schilfsandstein aufgrund der hohen Gesteinsporosität ein ausgeglichenes Schüttungsverhalten mit generell kleinem Schüttungsquotienten und nur schwachen jahreszeitlichen Schüttungsschwankungen aufweisen, zeigen die Quellen, die aus wenig porösen Kluftgrundwasserleitern gespeist werden (z. B. im Oberkeuper), große Schwankungen. Bei Lage der Grundwasserleiterbasis unter Vorflutniveau erfolgt die Entwässerung in die Talgrundwasserleiter.

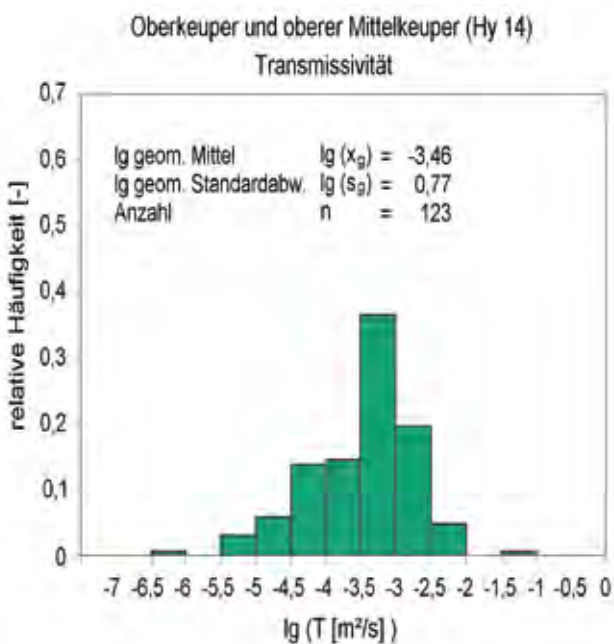


Abb. 3.14-3 Häufigkeitsverteilung der Transmissivitätswerte für Oberkeuper und oberen Mittelkeuper: Landesweite Auswertung (geometrischer Mittelwert $T = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) (LGRB 2002).

Tab. 3.14-2 Schüttung genutzter Keuper-Quellen im Landkreis Schwäbisch Hall (LGRB 2004).

Grundwasserleiter	Stichprobenumfang	Q_m [l/s]	Q_{min} [l/s]	Q_{max} [l/s]	Q_{min}/Q_m [-]	Q_{min}/Q_{max} [-]
Stubensandstein	48	0,84	0,38	1,7	0,45	0,22
Kieselsandstein	51	0,53	0,31	1,1	0,58	0,28
Schilfsandstein (Flutfazies)	10	0,81	0,35	2,1	0,43	0,17

Q_m mittlere Schüttung Q_{min} minimale Schüttung Q_{max} maximale Schüttung
 Q_{min}/Q_{max} Schüttungsquotient Q_{min}/Q_m Anteil minimaler an mittlerer Schüttung

Die Einzugsgebiete der Quellen besitzen infolge der Zertalung der Keuperhochfläche sowie des Versatzes der grundwasserführenden Horizonte an tektonischen Störungen meist nur eine geringe Ausdehnung, die Quellschüttungen sind entsprechend klein. Für den Landkreis Schwäbisch Hall wurden die mittleren, minimalen und maximalen Schüttungen der genutzten Quellen, getrennt für

die unterschiedlichen Grundwasserleiter, statistisch ausgewertet (Tab. 3.14-2 und Abb. 3.14-4). Die Mittelwerte der mittleren Quellschüttungen betragen im Stuben- und Schilfsandstein 0,8 l/s und im Kieselsandstein 0,5 l/s. Die zugehörigen Minimal-schüttungen liegen bei 45% (Stubensandstein), 58% (Kieselsandstein) und 43% (Schilfsandstein) der mittleren Quellschüttungen.

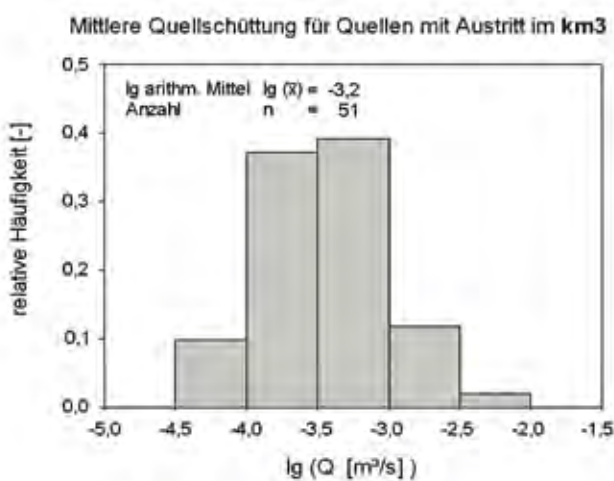
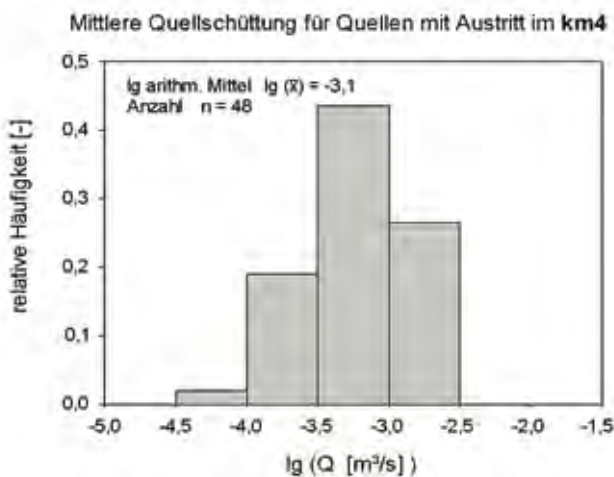


Abb. 3.14-4 Mittlere Schüttung genutzter Quellen im Landkreis Schwäbisch Hall in der Stubensandstein-Formation (km4) (oben) und im Kieselsandstein der Bunte Mergel-Formation (km3) (unten) (LGRB 2004).

Das Keuper-Grundwasser ist mittel, stellenweise auch nur gering gegen Verunreinigungen von der Erdoberfläche geschützt. Durch den häufigen Wechsel der Lithologie der Gesteine sind die Verbreitungsgebiete des Oberkeupers und oberen Mittelkeupers durch einen extrem kleinräumigen Wechsel der Böden gekennzeichnet. Dort, wo Keupersandsteine anstehen, dominieren feinsandige Lehme, die z. T. mit Lösslehm vermengt sind. Die Böden sind auf den Hochflächen meist tiefgründig, im Bereich der Hänge jedoch flachgründig. An Stellen, wo unter durchlässigen Sanden stauende Tone verbreitet sind, finden sich in flachen und abflusslosen Lagen auch vernässende Böden. Im Verbreitungsgebiet der Tonmergelsteine überwiegen wechselfeuchte tonige Böden.

Da die grundwasserführenden Horizonte im Oberkeuper und oberen Mittelkeuper mit Grundwassergeringleitern wechsellagern, ergibt sich nur bei unmittelbar anstehenden Grundwasserleitern eine geringe Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Ansonsten sind mehr oder weniger geringdurchlässige tonig-schluffige Gesteine in der ungesättigten Zone unter dem Boden verbreitet.

3.14.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Das oberflächennahe Grundwasser im oberen Mittelkeuper und Oberkeuper gehört einheitlich dem hydrochemischen Grundwassertyp hydrogenkarbonatisch-erdalkalisches Süßwasser an (UFRECHT 1987). Der gelöste Feststoffinhalt eines anthropogen weitgehend unbeeinflussten Grundwassers beträgt rund 450 mg/l. Überwiegend gesteinsbürtig



als Folge der Lösung von Kalzit und Dolomit (u. a. karbonatischer Porenzement) sind die Konzentrationen von Calcium (70 mg/l), Magnesium (30 mg/l) und Hydrogenkarbonat (320 mg/l). Dies entspricht einer Karbonathärte von etwa 14 °dH und einer Gesamthärte von 16 °dH. Dort, wo Sulfatgestein durch Grundwasser gelöst wird (Bunte Mergel), bilden sich normal erdalkalische, überwiegend sulfatische Wässer (GLA 1996).

An Spurenstoffen finden sich im oberen Mittelkeuper und Oberkeuper in anthropogen nicht oder nur gering beeinflussten Grundwässern in erhöhten Konzentrationen Barium (0,5 mg/l), Bor (0,035 mg/l), Lithium (0,01 mg/l), Magnesium (30 mg/l), Natrium (7 mg/l), Strontium (0,5 mg/l), Uran (0,002 mg/l) und Vanadium (0,002 mg/l) (LfU 2001).

Unter größerer Überdeckung ist das Grundwasser im oberen Mittelkeuper und Oberkeuper stark mineralisiert und für die Trinkwasserversorgung nicht mehr geeignet. Es wird jedoch als Mineralwasser genutzt (Na-HCO₃-SO₄-Typ).

Literatur

GLA (1996): Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans Baden-Württemberg – Erstellung landesweiter Grundlagenkarten. – Abschlußbericht zum Teilprojekt Hydrogeol., AZ 4458.01/95-4763: 14 S., 5 Abb., 7 Tab.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

HGK (1995): Hydrogeologische Karte von Baden Württemberg – Heilbronner Mulde: 121 S., 54 Abb., 21 Tab., 13 Kt.; Freiburg i. Br.

LfU (2001): Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg: 124 S.; Karlsruhe.

LGRB (1998): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1 : 50 000 mit Erläuterungen Stuttgart und Umgebung. – 6., völlig neu bearb. Aufl.: 298 S., 53 Abb., 14 Tab., 4 Beil.; Freiburg i. Br.

— (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

— (2005): Hydrogeologische Grundlagen für eine Optimierung der Trinkwasserversorgung aus Grundwasser. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 26 S., 3 Abb., 5 Tab., 1 Kt., 10 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

UFRECHT, W. (1987): Zur Hydrogeologie und Hydrochemie des Sandsteinkeupers in Mittel- und Ostwürttemberg. – Arb. Inst. Geol.-Paläont. (Diss. Univ. Stuttg.), N.F., **83**: 135 S.; Stuttgart.

3.15 Gips- und Unterkeuper (Hy 15)

3.15.1 Verbreitung

Gipskeuper (km1) und Unterkeuper (ku) sind in weiten Teilen des Schichtstufenlands verbreitet. Sie stehen in der Kraichgaumulde/Nordost-Württemberg sowie am Oberlauf des Neckars auf einer Fläche von 4310 km² an. Im Oberrheingraben,



Abb. 3.15-1 Verbreitung des Gips- und Unterkeupers (Hy 15) farbig, Ausstrich dunkel.

im Bereich der Schwäbischen Alb, im Albvorland sowie in Oberschwaben liegt der Gips- und Unterkeuper unter mächtiger Überdeckung aus jüngeren Mesozoikum. Bereichsweise wird er zusätzlich noch von Quartär und Tertiär überdeckt (Oberrheingraben, Oberschwaben). Gipskeuper und Unterkeuper keilen im nördlichen Oberrheingraben und im Allgäu aus (Abb. 3.15-1).

3.15.2 Geologie

Gipskeuper und Unterkeuper bestehen aus einer Wechsellagerung von Tonsteinen, Karbonatsteinen, Sandsteinen und Sulfatgestein.

Die Schichtenfolge des Gipskeupers setzt sich aus Sulfatgestein (Gips, Anhydrit), Tonstein, Sandstein und z. T. sandigem Dolomitstein zusammen. Darin eingebettet ist in den basalen Grundgipsschichten ein durchgehendes Gipslager. In Oberflächennähe



Abb. 3.15-2 Gipskeuper-Formation mit Doline: Steinbruch westlich Eutendorf (**oben**) und Lettenkeuper-Formation: Steinbruch Wilhelmglück (**unten**).

ist das Sulfatlager meist bis auf Residualschluffe ausgelaugt. Die Auslaugung erfolgt dabei sowohl linienhaft von den Taleinschnitten her als auch flächenhaft von der Oberfläche und von der Basis durch zirkulierendes Grundwasser. Im Bereich der aktuellen Auslaugung bilden sich Gipskarststrukturen (Abb. 3.15-2, oben).

Über den Grundgipsschichten folgt eine Tonsteinserie mit einzelnen Gipsbänken, mit linsig-knolligen Gipslagen sowie weit aushaltenden Karbonatgesteinsbänken (Bochinger Bank, Bleiglanzbank, Acrodusbank und Corbulabank).

Der Unterkeuper (Lettenkeuper Formation) setzt sich aus Dolomitsteinen und Mergelsteinen, Schlufftonsteinen sowie tonigen Fein- und gleichkörnigen Quarzsandsteinen (Hauptsandstein, Albertibank, Anoplophora-Bank, Lingulaschichten) zusammen. Lokal sind in den Sandsteinen kleine Flöze aus inkohlten Pflanzenresten (Lettenkohle) verbreitet. Im unteren Profilabschnitt finden sich auch Kalksteinbänke und vereinzelt Gipslagen und -linsen (Abb. 3.15-2, unten).

Die Mächtigkeit der Schichtenfolge von Gipskeuper und Unterkeuper schwankt zwischen 120 und maximal 200 m, dabei wird der Gipskeuper 100 bis 120 m, maximal bis 165 m und der Unterkeuper 10 bis >30 m mächtig.

3.15.3 Hydrogeologie

Gipskeuper und Unterkeuper bilden einen schichtig gegliederten Kluftgrundwasserleiter in Wechsellagerung mit Grundwassergeringleitern.

Beim Gipskeuper handelt es sich überwiegend um einen Grundwassergeringleiter mit schichtgebundener Grundwasserführung. Diese ist weitgehend beschränkt auf die geklüfteten Dolomitsteinbänke (Bleiglanzbank, Bochinger Horizont) und die aktuelle Auslaugungszone im Sulfatgestein. Während der aktiven Auslaugung von Gipsflözen, insbesondere in den Grundgipsschichten, kommt es zu einer ausgeprägten Gipskarstbildung und erheblicher Grundwasserführung. Im unverwitterten und unausgelagerten Zustand ist das Sulfatgestein ebenso wie bei vollständiger Auslaugung und nachfolgender Kompaktion ein Grundwassergeringleiter (SWOBODA 1999).

Der Unterkeuper ist ein schichtig gegliederter Kluftgrundwasserleiter. Die Grundwasserführung erfolgt im oberen Profilabschnitt in den Dolomitsteinbänken, im unteren Profilabschnitt auf den Sandsteinbänken (besonders bei massiger Ausbildung). Sohl-



schicht für die Grundwasserführung im Unterkeuper sind die basalen Tonsteine der Estheriensichten. Der Grenzdolomit – der oberste grundwasserführende Horizont innerhalb des Unterkeupers – ist durch unterlagernde Tonsteine (Grüne Mergel) vom übrigen Unterkeuper hydraulisch getrennt. Er führt ein eigenständiges Grundwasservorkommen und ist hydraulisch eher den Grundgipsschichten im Hangenden zuzurechnen.

Der geometrischer Mittelwert der Transmissivität beträgt für Gipskeuper und Unterkeuper $T = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ bei einem Stichprobenumfang von $n = 187$ (Abb. 3.15-3). Als Maß für die Anisotropie des Gebirges liegt das Repräsentative Elementarvolumen (REV) im Größenbereich von 10er-Metern (LGRB 2002).

Für die einzelnen dolomitischen Bänke des Gipskeupers wurden mittlere Transmissivitäten von $T = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (Bleiglanzbank) und $T = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Bochinger Bank, Wertebereich etwa zwischen $T = 1 \cdot 10^{-3}$ und $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) bestimmt. In Gebieten mit Gipskarst beträgt die Transmissivität häufig zwischen $T = 2 \cdot 10^{-3}$ und $T = 7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Brunnen-Ergiebigkeiten erreichen bei günstigen Bedingungen Werte bis $>20 \text{ l/s}$. In Gebieten mit erosiv stark reduzierter Mächtigkeit und wiedererfolgter Kompaktion, in Gebieten, wo das schwebende Gipskeuper-Grundwasser infolge tektonischer Störungen oder Auflockerung in tiefere Stockwerke absinken kann, und in Gebieten mit mächtiger Überdeckung aus höherem Keuper sind die Transmissivitäten mit Werten zwischen $T = 1 \cdot 10^{-4}$ und $T = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ deutlich kleiner. Die Brunnen-Ergiebigkeiten betragen hier nur $0,01$ bis $0,5 \text{ l/s}$ (HGK 1995).

Im Unterkeuper schwankt die Transmissivität zwischen $T = 1 \cdot 10^{-6}$ bis $T = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ und liegt im Mittel bei etwa $T = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Werte für den Raum Stuttgart, LGRB 1998). Die höchsten Ergiebigkeiten finden sich bei Heilbronn (HGK 1995).

Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung ist teils gering, teils mittel bis hoch. Dort, wo der Unterkeuper an der Erdoberfläche ansteht, sind die Böden sandig-lehmig. Im Bereich exponierter Kanten kommen flachgründige dolomitisch-tonige Verwitterungsdecken vor. Über Gipskeuper finden sich überwiegend schwere kalkhaltige Böden, die zur Austrocknung neigen, wobei breite Schrumpfrisse entstehen, sowie in den flachen Lagen anmoorige Böden, z.T. mit Seekreide und zähem blauschwarzem Ton. Daneben sind in diesen Gebieten Mischböden mit Lössanteilen verbreitet.

Da die grundwasserführenden Horizonte im Unterkeuper und Gipskeuper in Wechsellagerung mit

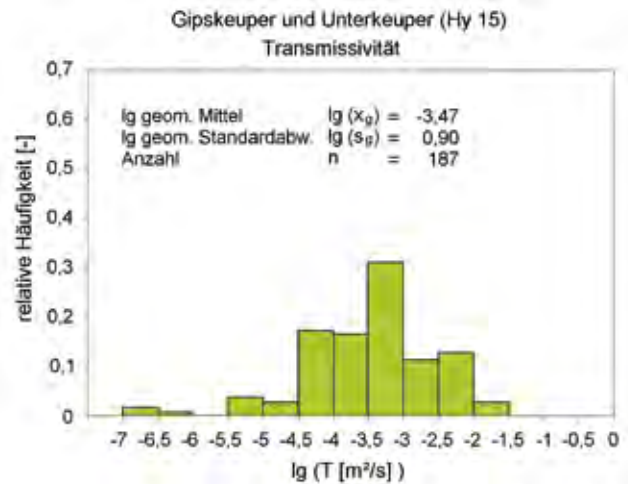


Abb. 3.15-3 Häufigkeitsverteilung der Transmissivitätswerte für den Gipskeuper und Unterkeuper, landesweite Auswertung (geometrischer Mittelwert $T = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, LGRB 2002).

Grundwassergeringleitern auftreten, ergibt sich nur bei unmittelbar anstehenden Grundwasserleitern eine geringe Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Ansonsten sind mehr oder weniger geringdurchlässige tonig-schluffige Gesteine in der ungesättigten Zone unter dem Boden verbreitet.

Unterkeuper und Gipskeuper sind außerdem in weiten Bereichen von bis 10 m mächtigem Löss und Lösslehm überdeckt.

3.15.4 Hydrologie

Im Verbreitungsgebiet von Gipskeuper und Unterkeuper beträgt die langjährige (Standardperiode 1961 bis 1990) mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag $G_m = 5,3 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. Dies sind, bezogen auf die Ausstrichfläche von 4310 km^2 , $G_f = 22,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Auf den z.T. lössbedeckten Hochflächen erfolgt die Grundwasserneubildung über flächenhafte Infiltration aus Niederschlag, bei Überlagerung durch jüngere Festgesteine in geringem Umfang durch vertikale Zusickerung.

Bei Lage der Aquiferbasis über dem Vorflutniveau bilden sich schwebende Grundwasservorkommen. Bei dieser hydrologischen Situation entwässert das schwebende Keuper-Grundwasser über Schichtquellen und durch Absinken in den Oberen Muschelkalk. Die Quellschüttungen betragen meist $Q = 1$ bis 2 l/s (Tab. 3.15-1), sie liegen bei größeren Einzugsgebieten auch deutlich höher. Eine Reihe von Gipskarstquellen erreichen mittlere Schüttungen von $>10 \text{ l/s}$. Die Brunnenenergiebigkeiten weisen oft Werte $Q_f < 5 \text{ l/s}$ auf.

Tab. 3.15-1 Mittelwerte für die mittlere, minimale und maximale Schüttung der genutzten Gips- und Unterkeuper-Quellen im Landkreis Schwäbisch Hall.

Grundwasser-leiter	Stichproben-umfang	Q_m [l/s]	Q_{min} [l/s]	Q_{max} [l/s]	Q_{min}/Q_m [-]	Q_{min}/Q_{max} [-]
Gipskeuper	3	0,82	0,65	1,3	0,79	0,50
Unterkeuper	5	0,76	0,18	1,2	0,24	0,15

Q_m mittlere Schüttung Q_{min} minimale Schüttung Q_{max} maximale Schüttung
 Q_{min}/Q_{max} Schüttungsquotient Q_{min}/Q_m Anteil minimaler an mittlerer Schüttung

In den Neubildungsgebieten erfolgt ein Absinken von Unterkeuper-Grundwasser in den Oberen Muschelkalk, in den Austragsgebieten ist ein Aufstieg von Muschelkalk-Grundwasser in den Unterkeuper möglich (HGK 1995).

3.15.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Bei vollständiger Auslaugung des Sulfatgesteins führt der Gipskeuper normal erdalkalisches, überwiegend hydrogenkarbonatisches Grundwasser. Alle geogen bedingten Konzentrationen von Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium, Hydrogenkarbonat und Chlorid liegen in der gleichen Größenordnung wie im Grundwasser aus dem Unterkeuper. In Gebieten mit aktiver Sulfatauslaugung ist das Grundwasser meist normal erdalkalisch, überwiegend sulfatisch mit einer elektrischen Leitfähigkeit (25 °C) bis 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Calcium- und Sulfatkonzentrationen reichen bis in den Gips-Sättigungsbereich. Wasser aus dem Gipskeuper wird in erheblichem Umfang als Mineralwasser genutzt.

Im Unterkeuper kommt normal erdalkalisches, hydrogenkarbonatisches Grundwasser vor. Der gelöste Feststoffinhalt eines anthropogen weitgehend unbeeinflussten Unterkeuper-Grundwassers beträgt rund 550 mg/l. Überwiegend gesteinsbürtig als Folge der Lösung von Dolomit sind die Konzentrationen von Calcium (80 mg/l), Magnesium (40 mg/l) und Hydrogenkarbonat (380 mg/l). Dies entspricht einer Karbonathärte von etwa 17 °dH und einer Gesamthärte von 20 °dH. Die Konzentration von Sulfat beträgt im Mittel 90 mg/l, die Konzentration von Chlorid 18 mg/l (GLA 1996).

Literatur

GLA (1996): Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans Baden-Württemberg – Erstellung landesweiter Grundlagenkarten. – Abschlußbericht zum Teilprojekt Hydrogeologie, AZ 4458.01/95-4763: 14 S., 5 Abb., 7 Tab.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

HGE (2005): Hydrogeologische Erkundung Taubertal – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mapped 3: 47 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Anl.; Freiburg i. Br., Karlsruhe.

– (2004): Hydrogeologische Erkundung Enztal-Pforzheim – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mapped 3: 40 S., 12 Abb., 7 Tab., 3 Anl., 7 Kt.; Freiburg i. Br., Pforzheim, Freudenstadt.

HGK (1995): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Heilbronner Mulde. – 121 S., 54 Abb., 21 Tab., 13 Kt.; Freiburg i. Br.

LGRB (1998): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1: 50 000 mit Erläuterungen – Stuttgart und Umgebung. – 6., völlig neu bearb. Aufl.: 298 S., 53 Abb., 14 Tab., 4 Beil.; Freiburg i. Br.

– (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

SWOBODA, F.D. (1999): Aquifersysteme im Gipskeuper und Schilfsandstein am südwestlichen Stromberg, untersucht beim Bau des Freudensteintunnels (DB-Neubaustrecke Mannheim – Stuttgart, Baden-Württemberg). – Schriftenreihe Angewandte Geologie (Diss. Univ. Karlsr.), 58: 331 S.; Karlsruhe.

3.16 Oberer Muschelkalk (Hy 16)

3.16.1 Verbreitung

Der Obere Muschelkalk (mo) ist in weiten Teilen Baden-Württembergs verbreitet (Abb. 3.16-1). Ausnahmen sind die Kristallingebiete des Schwarzwalds und Odenwalds, Gebiete mit anstehendem Buntsandstein, Unterem und Mittlerem Muschelkalk, der Kaiserstuhl sowie die äußersten Randbereiche im Südosten (Allgäu) und Nordwesten



(Oberrheingraben). Anstehend findet er sich in der Ostabdachung des Schwarzwalds und Odenwalds sowie in weiten Bereichen Ostwürttembergs. Landschaftlich wird der Ausstrichbereich hier auch als Gäufläche bezeichnet.

Im Oberrheingraben tritt er in einzelnen Schollen der Vorbergzone zutage. Ansonsten liegt der Obere Muschelkalk unter einer Überdeckung aus jüngerm Mesozoikum, bereichsweise zusätzlich noch unter teilweise mächtigem Quartär und Tertiär.

Über den anhydrit- und gipshaltigen Horizonten der Salinar-Formation bzw. deren Residuen folgt im Mittleren Muschelkalk die Obere Dolomit-Formation. Es handelt sich um Dolomitsteine mit unterschiedlichen Tongehalten. Im oberen Bereich sind darin Hornsteinknollen eingebettet.

Der Obere Muschelkalk setzt mit den Zwergfaunaschichten ein, einer Folge von bioturbaten Kalksteinen mit oolithischen Bänken. Er wird von der Haßmersheim-Schicht überlagert, die aus einer Wechselfolge von Tonmergelsteinen und Trochitenkalkbänken besteht. Den höheren Teil des Unteren Hauptmuschelkalks und den Oberen Hauptmuschelkalk bilden bankige, z. T. oolithische Kalksteine in Wechsellagerung mit geringmächtigen Tonmergelsteinlagen (Tab. 3.16-1).

Größere laterale fazielle Änderungen gibt es im unteren Abschnitt des oberen Hauptmuschelkalks, den Meißner Schichten, die nach Norden allmählich toniger werden, im obersten Teil des Oberen Muschelkalks, der nach Süden zunehmend aus Dolomitsteinen besteht (Trigonodusdolomit, Abb. 3.16-2) sowie im Bereich des nördlichen Oberrheingrabens und im Südosten des Molassebeckens, wo der Obere Muschelkalk sandig und gering mächtig wird und allmählich auskeilt.

Die Gesteine des Oberen Muschelkalks sind in unterschiedlichem Maße verkarstet. Die Verkarstung geht von Wasserwegsamkeiten im Gebirge, insbesondere von den gut durchlässigen Trennfugen (Großklüfte, Störungen) aus. Wasserwegsamkeiten, die eine Verkarstung begünstigen, findet man im Oberen Muschel-

kalk hauptsächlich im Umfeld von tektonischen Störungszonen, parallel zu den Talflanken infolge Talzusub und Hangzerreißen sowie in Gebieten, in denen es durch die Auflösung salinärer Gesteine oder durch Verkarstung im Mittleren Muschelkalk zu Bergsenkungen, Sackungen und Verstärkungen gekommen ist und der überlagernde Obere



Abb. 3.16-1 Verbreitung des Oberen Muschelkalks (Hy 16) farbig, Ausstrich dunkel. Übergang von Süßwasser zu höher mineralisiertem Grundwasser in Richtung der Strichsignatur.

3.16.2 Geologie

Der Obere Muschelkalk besteht aus einer Folge von Dolomitsteinen, Kalksteinen, dolomitischen Kalksteinen und Tonmergelsteinen. Zusammen mit den Dolomitsteinen der Oberen Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalks bildet er eine hydrogeologische Einheit, die bereichsweise durch die Mergelsteine der Haßmersheim-Schichten unterteilt ist.

Muschelkalk zerrüttet ist. Hier kann die Verkarstung bis in eine Tiefe von über hundert Meter reichen.

Die Verkarstung ist weitgehend auf die Gebiete beschränkt, in denen der Obere Muschelkalk an der Erdoberfläche ansteht oder nur geringmächtig und lückenhaft von Unterkeuper überdeckt ist. Eine stärkere Verkarstung des Oberen Muschelkalks unter mächtiger Überlagerung ist nur dort nachgewiesen,

wo Kohlenstoffdioxid magmatischen (oder vulkanischen) Ursprungs in größerem Umfang aufsteigt und die Karbonatlösung begünstigt.

Die Mächtigkeit des Oberen Muschelkalks schwankt zwischen 50 und 95 m. Die Obere Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalks – die hydrogeologisch dem Oberen Muschelkalk zuzuordnen ist – besitzt eine Mächtigkeit von < 10 bis 25 m.

Tab. 3.16-1 Hydrogeologische Gliederung des Muschelkalks.

Kürzel	Stratigraphie		Lithologie	Mächtigkeit [m]	Hydrogeologische Beschreibung	Hydraulische Eigenschaften
mo2	OBERER MUSCHELKALK	Oberer Hauptmuschelkalk		20 – 55	geklüfteter, überwiegend schichtig gegliederter regional verkarsteter Kluft- und Karstgrundwasserleiter	bei starker Verkarstung: $T/H =$ $1 \cdot 10^{-6}$ bis 10^{-3} m/s $T =$ $1 \cdot 10^{-1}$ bis 10^{-4} m ² /s
mo1		Unterer Hauptmuschelkalk	Baulandschichten	Kalkstein mit Tonstein- und Tonmergelsteinlagen, Dolomitstein Schalen-trümmerkalk		
			Neckarwestheim-Schichten			
			Haßmersheim-Schichten	Schalen-trümmerkalk und Mergelstein in Wechsellagerung	Grundwassergeringleiter	
Zwergfaunenschichten	knollige, bioturbate Kalksteine, Oolithe, Hornsteinlagen	Kluft- und Karstgrundwasserleiter				
mmDo	MITTLERER MUSCHELKALK		Obere Dolomit-Formation		10 – 25	Grundwassergeringleiter
mmS		Salinar-Formation		20 – 90		
mmDu		Untere Dolomit-Formation		Mergelstein, Tonmergelstein, Dolomitstein, Kalkstein mit Schalen-trümmerkalk	< 10	geklüfteter, schichtig gegliederter, z. T. verkarsteter Kluftgrundwasserleiter mit überwiegend geringer, bei Verkarstung mäßiger bis mittlerer Grundwasserführung
mu	UNTERER MUSCHELKALK			50 – 60	$T =$ $1 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-4}$ m ² /s	

braun = Grundwassergeringleiter



Der Obere Muschelkalk ist in weiten Bereichen von geringmächtigem Unterkeuper und von bis zu 10 m mächtigem Löss überdeckt.



Abb. 3.16-2 Gebankte, gut geklüftete Kalksteine (Oberer Muschelkalk, Trigonodusdolomit): Erdfall Altes Eisinger Loch bei Pforzheim (Foto: M. SCHÖTTLE, LUBW).

3.16.3 Hydrogeologie

Der Obere Muschelkalk bildet zusammen mit der Oberen Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalks einen ergiebigen Kluft- und Karstgrundwasserleiter. Grundwasserleiterbasis sind die Salinargesteine des Mittleren Muschelkalks, die hydraulische Grenze zum Grundwasser im Unterkeuper bilden die geringdurchlässigen Estherienschiefer. Im unteren Teil der Schichtenfolge wirken die mergeligen Haßmersheim-Schichten bereichsweise als geringdurchlässige Trennschicht, die den Oberen Muschelkalk in zwei Teilstockwerke gliedert. Auch die geringmächtigen Tonmergelsteinlagen in den höheren Profil-

abschnitten können lokal grundwasserstauend sein und begrenzt schwebende Grundwasservorkommen hervorrufen.

Das Grundwasser fließt im Oberen Muschelkalk auf Trennfugen (Klüften, Schichtfugen, Störungen) sowie in Karsthohlräumen. Eine hohe Grundwasserführung ist an eine intensive Verkarstung gebunden. Der Grundwasserumsatz im Oberen Muschelkalk kann in guter Näherung als Doppelporosität beschrieben werden, wobei einerseits Kleinklüfte, andererseits Großklüfte, tektonische Störungszonen und Karsthohlräume gemeinsam betrachtet werden (BAUER et al. 2005).

Der Obere Muschelkalk ist durch eine ausgeprägte Inhomogenität und Anisotropie der hydrogeologischen Eigenschaften gekennzeichnet. Das Repräsentative Elementarvolumen (REV) liegt in einer Größenordnung von einigen 100 bis über 1000 m (nach Markierungsversuchen).

Der geometrische Mittelwert der Transmissivität beträgt für den Oberen Muschelkalk landesweit $T = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ bei einer Schwankungsbreite von über sechs Zehnerpotenzen (Abb. 3.16-3). Der Stichprobenumfang der Untersuchung ist $n = 74$ (LGRB 2002).

In Gebieten mit stärkerer Verkarstung liegen die Transmissivitäten meist zwischen $T = 1 \cdot 10^{-1}$ bis $T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Diese Werte stammen größtenteils von Brunnen in Talposition, wo der Obere Muschelkalk freigelegt und teilweise erodiert ist. Werden in Brunnen größere Karsthohlräume direkt erschlossen, können die Transmissivitäten noch größer sein und Werte bis $T = 4 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ erreichen (Mineralwasserbohrung Ludwigsburg-Hoheneck).

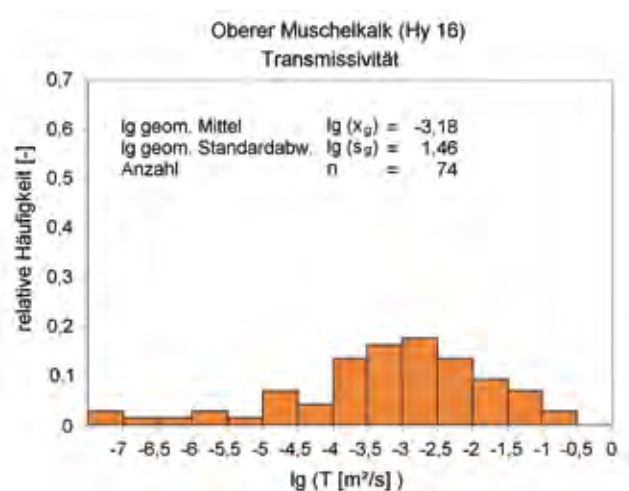


Abb. 3.16-3 Häufigkeitsverteilung der Transmissivitätswerte für den Oberen Muschelkalk: Landesweite Auswertung (geometrischer Mittelwert $T = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) (LGRB 2002).

Tab. 3.16-2 Maximale (v_{max}) und dominierende (v_{Cmax}) Abstandsgeschwindigkeiten im Muschelkalk im Gebiet Enztal und Main-Tauber-Kreis.

	n	v_{max} [m/h]			n	v_{Cmax} [m/h]		
		mittel	minimal	maximal		mittel	minimal	maximal
Enztal	23	61,6	1,2	222	27	52,7	0,32	167
Main-Tauber-Kreis	30	163	4,5	884	21	45,9	0,85	219

n Stichprobenumfang

mittel arithmetischer Mittelwert

minimal kleinster Wert

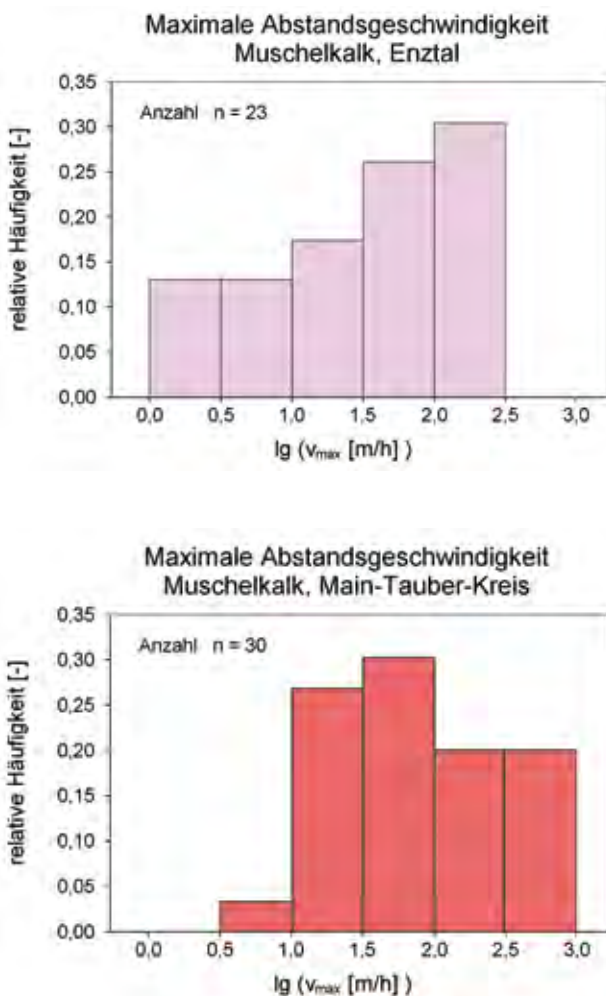
maximal größter Wert

Andererseits sind auch Gebiete mit niedrigeren T-Werten bekannt (Enztal: $T = 6,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $n = 22$, HGE 2004). Im Albvorland und im Bereich Schwäbische Alb (Tuttlingen, Aalen, Bad Urach) wurden T-Werte zwischen $T = 4 \cdot 10^{-3}$ und $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ festgestellt. Sehr kleine Gebirgsdurchlässigkeiten zwischen $T/H = 1 \cdot 10^{-7}$ bis $1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ wurden für das Molassebecken ermittelt (STOBER & VILLINGER 1997).

Die technische Ergiebigkeit der Brunnen im Oberen Muschelkalk variiert zwischen $Q_t = 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ und $Q_t > 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Im überdeckten Bereich unter der Schwäbischen Alb und dem Albvorland wurden meist technische Ergiebigkeiten zwischen $Q_t = 0,01$ bis $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$ erzielt.

Systematische Auswertungen von Markierungsversuchen liegen für den Nordschwarzwald (Enztal) und den Main-Tauber-Kreis vor. Dabei wurde wegen der z. T. unklaren Fließwege keine Unterscheidung zwischen Oberem, Mittlerem und Unteren Muschelkalk vorgenommen. Bei Tracereingabe in Dolinen, Karstspalten, offenen Klüften oder Bachschwinden wurden für die Einzugsgebiete großer Karstquellen im Nordschwarzwald maximale Abstandsgeschwindigkeiten (Ersteinsatz des Markierungsstoffs) bis $v_{max} > 200 \text{ m/h}$, im Main-Tauber-Kreis bis $v_{max} > 800 \text{ m/h}$ bei Wiederaustritt der eingegebenen Tracermenge von $> 50\%$ gemessen. Die dominierenden Abstandsgeschwindigkeiten (Durchgang des Konzentrationsmaximums) liegen in beiden Gebieten einheitlich bei 45 bis 50 m/h (Abb. 3.16-4, Tab. 3.16-2).

In den Bereichen, wo der Obere Muschelkalk nicht durch Löss oder Keuper überdeckt ist, überwiegen flachgründige steinig-lehmige Böden. Eine besonders geringe Bodenentwicklung findet sich vor allem an den Hängen der Täler, die sich in die flachwellige Gäulandschaft eingeschnitten haben. Auch das geklüftete, lokal verkarstete Gestein in der ungesättigten Zone unter dem Boden bietet nur einen geringen Schutz gegen das Eindringen von Schadstoffen von der Erdoberfläche in den Untergrund. Besondere Schwächezonen mit ausgeprägten vertikalen Wasserwegsamkeiten sind Dolinen, Erdfälle, Trockentäler, Bachschwinden und oberirdisch abflusslose Senken. In den Ausstrichgebieten des Oberen Muschelkalks ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung gering bis sehr gering, in den Gebieten mit Lössverbreitung mittel. Wird der Obere Muschelkalk noch von Unterkeuper bedeckt, ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung hoch, bei zusätzlicher Überlagerung durch Mittelkeuper sehr hoch.


Abb. 3.16-4 Verteilung der maximalen Abstandsgeschwindigkeiten (logarithmisch) im Muschelkalk für das Gebiet Enztal (**oben**) und im Main-Tauber-Kreis (**unten**) (HGE 2004 und 2005).



3.16.4 Hydrologie

Auf den z. T. lössbedeckten Hochflächen erfolgt die Grundwasserneubildung im Oberen Muschelkalk über flächenhafte Infiltration des Niederschlags. Die Neubildungsrate beträgt im langjährigen Mittel (Standardperiode 1961 bis 1990) $G_m = 12,7 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$. Das sind – bezogen auf die Ausstrichfläche von 2670 km^2 – $G_i = 33,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Konzentriert findet eine Grundwasserneubildung in Dolinen und Bachschwinden, ferner in den Randbereichen der Keuperüberdeckung statt, wo schwebende Keupergrundwasser in kleinen Quellen zu Tage treten und häufig nach kurzer Fließstrecke im Oberen Muschelkalk versinken. Unter Keuper-Überdeckung erfolgt die



Abb. 3.16-5 Quellen im Oberen Muschelkalk: Talmühlequelle/Horb (oben) und episodisch stark schüttende Quelle im Wutachtal (unten).

Grundwasserneubildung im Oberen Muschelkalk über Leckage und Cross-Formation-Flow durch Zuflüsse aus dem Hangenden. Die Neubildungsrate reduziert sich bei Überdeckung durch Unterkeuper auf $G = 2$ bis $3 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$, bei zusätzlicher Überdeckung durch Mittelkeuper auf $G < 1 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$.

In tieferliegenden Muschelkalkschollen im Oberrheingraben wird das Grundwasser durch seitlichen Zufluss aus den Ausstrichgebieten in der Vorbergzone neu gebildet, teilweise durch flächenhafte, verzögerte Zusickerung aus dem überlagernden Kiesgrundwasserleiter. Das gesamte Grundwasserangebot des Grundwasservorkommens im Muschelkalk im Bereich der Freiburger Bucht beträgt $Q \geq 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

In den Kleinklüften fließt das Grundwasser vergleichsweise langsam und weist entsprechend hohe Verweilzeiten auf. Die Fließrichtung entspricht dabei weitgehend der Richtung des größten Grundwassergefälles. Die auf Großklüften, tektonischen Störungszonen und Karsthohlräumen schnell fließende Grundwasserkomponente, die vorwiegend durch Versinkung von oberirdischem Wasser in offenen Spalten, Dolinen und Schwinden neu gebildet wird, besitzt eine vergleichsweise kurze Verweilzeit im Untergrund und die Fließrichtung folgt verstärkt dem Verlauf der hoch durchlässigen Zonen (BAUER et al. 2005). Zwischen dem Grundwasser in den beiden Hohlräumssystemen findet ein Grundwasseraustausch statt, dessen Richtung und Intensität von den hydrologischen Verhältnissen abhängt.

Die Schüttung der Muschelkalk-Karstquellen erreicht Werte von $Q = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$, in Einzelfällen auch $Q > 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ mit Spitzen in Hochwassersituationen bis $HQ > 1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abb. 3.16-5 und -6). Beispiele für solch stark schüttende Muschelkalk-Karstquellen sind die Bronnbachquelle, Rottenburg, mit $MQ = 0,35 \text{ m}^3/\text{s}$, die Talmühlequelle, Horb (Abb. 3.16-5, oben), mit $MQ = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$ und das Mineralwassersystem Stuttgart – Bad Cannstatt mit $Q = 0,24$ bis $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Streicht die Aquiferbasis über dem Vorflutniveau aus, d.h. schneidet das Tal bis in den Mittleren Muschelkalk ein (Seichter Karst), tritt das Karstgrundwasser z. T. über Schichtquellen zu Tage, z. T. sinkt es auch in den in dieser Position meist ebenfalls stark wasserwegsamem Mittleren und Unteren Muschelkalk ab. Liegt die Aquiferbasis dagegen tiefer als die Vorflut (Tiefer Karst), entwässert der Obere Muschelkalk über Überlaufquellen an den Talflanken, über diffuse Grundwasserübertritte in den Talgrundwasserleitern oder direkt in den Vorfluter. In Muldenstrukturen mit tiefliegendem Oberen Muschelkalk, wie im Bereich der Heilbronner



Abb. 3.16-6 Grundwasseraustritt aus verkarstem Oberem Muschelkalk in der Tschamberhöhle/Rheinfelden, Baden.

Mulde, steigt das Muschelkalkgrundwasser durch Cross-Formation-Flow in den überlagernden Keuper auf.

3.16.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Das oberflächennahe Grundwasser ist im Oberen Muschelkalk vom hydrochemischen Typ her normal erdalkalisch-hydrogenkarbonatisch. Durch Mischung mit Sulfatwasser aus dem Mittleren Muschelkalk oder aus dem Gipskeuper kann normal erdalkalisches, überwiegend sulfatisches Grundwasser entstehen.

Der gelöste Feststoffinhalt eines anthropogen weitgehend unbeeinflussten Grundwassers aus dem Oberen Muschelkalk beträgt rund 400 mg/l, der bei Zumischung von Sulfatwasser auf über 1000 mg/l ansteigen kann. Folge der Lösung von Kalzit und Dolomit sind die Konzentrationen von Calcium

(70 mg/l), Magnesium (20 mg/l) und Hydrogenkarbonat (310 mg/l). Dies entspricht einer Karbonathärte von etwa 13 °dH und einer Gesamthärte von 15 °dH (GLA 1996). Bei den Spurenstoffen sind Lithium mit 0,007 mg/l und Strontium mit 0,33 mg/l im Vergleich zu anderen hydrogeologischen Einheiten erhöht (LfU 2001).

Wegen des geringen Schutzpotenzials der Grundwasserüberdeckung und des Grundwasserleiters ist das Karstgrundwasser anfällig für Trübungen und mikrobiologische Verunreinigungen.

Mit zunehmender Keuperüberdeckung und abnehmendem Grundwasserumsatz finden sich im Oberen Muschelkalk zunehmend Mineralwässer vom Ca-SO₄-Typ sowie weiter Mineral-Thermalwasser vom Na-Ca-Cl-SO₄-Typ anstelle des Süßwassers (LGRB 2002b).

Literatur

BAUER, M., ENGESSER, W., SCHNELL, H. (2005): Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis). – Ber. Naturf. Ges. Freibg., **95/1**: 81 – 114; Freiburg i. Br.

GLA (1996): Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans Baden-Württemberg – Erstellung landesweiter Grundlagenkarten. – Abschlußbericht zum Teilprojekt Hydrogeologie, AZ 4458.01/95-4763: 14 S., 5 Abb., 7 Tab.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

HGE (2004): Hydrogeologische Erkundung Enztal-Pforzheim – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mappe 3: 40 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Kt., 3 Anl.; Freiburg i. Br., Karlsruhe.

— (2005): Hydrogeologische Erkundung Taubertal – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mappe 3: 47 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Anl.; Freiburg i. Br., Karlsruhe.

HGK (1995): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Heilbronner Mulde: 121 S., 54 Abb., 21 Tab., 13 Kt.; Freiburg i. Br.

LfU (2001): Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg: 124 S., Karlsruhe.

LGRB (2002a): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i.A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

— (2002b): Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Säuerlinge in Baden-Württemberg. – LGRB-Fachber.: 15 S., 1 Abb., 1 Tab., 1 Kt.; Freiburg i. Br.



SIMON, T. (1997): Fließsysteme und Karst im Muschelkalk von Nordwürttemberg. – Tüb. Geowiss. Arb., **C34**: 33 – 55, 14 Abb.; Tübingen.

STOBER, I. & VILLINGER, E. (1997): Hydraulisches Potential und Durchlässigkeit des höheren Oberjuras und des Oberen Muschelkalks unter dem baden-württembergischen Molassebecken. – Jh. GLA, **37**: 77 – 96, 5 Abb., 2 Tab.; Freiburg i. Br.

VILLINGER, E. (1982): Grundwasserbilanzen im Karstaquifer des Oberen Muschelkalks im Oberen Gäu (Baden-Württemberg). – Geol. Jb., **C32**: 43 – 61, 4 Abb., 2 Tab.; Hannover.

mär vorhanden, meist vollständig, das Sulfatgestein teilweise ausgelaugt. Die Subrosion setzt bevorzugt an der Grenzfläche zur grundwasserführenden Oberen Dolomit-Formation ein und geht von wasserweg-samen Kluft- und Störungszonen aus. Erst dort, wo der Grundwasserumsatz im Oberen Muschelkalk infolge Überdeckung durch Keuper-Gesteine eingeschränkt ist, ist auch die Subrosion der Sulfate im Mittleren Muschelkalk nicht weit fortgeschritten, wohingegen das Steinsalz meist ausgelaugt ist. Lediglich in tektonisch tiefer Position kann es erhalten sein.

Nach der Auflösung des leichtlöslichen Steinsalzes in einer ersten Phase folgt in einer zweiten Phase die Auflösung des Sulfatgesteins. Als Ergebnis dieser Prozesse bleibt ein tonig-brekziöses Residualgestein mit unterschiedlichen Restgehalten von Gips in Lagen und Schlieren zurück. Durch die Auslaugung können sich Hohlräume bilden und es kann zu Landsenkungen und zum Versturz der überlagernden Schichten mit Tagbrüchen (Erdfälle) kommen.

3.17 Mittlerer Muschelkalk (Hy 17)

3.17.1 Verbreitung

Der Mittlere Muschelkalk ist wie der Obere Muschelkalk mit Ausnahme der Kristallin- und Buntsandsteingebiete nahezu in ganz Baden-Württemberg verbreitet. Aufgrund seiner geringen Verwitterungsresistenz streicht er nur auf einer Fläche von 630 km² aus (Abb. 3.17-1).

3.17.2 Geologie

Der Mittlere Muschelkalk setzt sich aus einer Folge von Dolomitsteinen, z. T. dolomitischen Kalk-, Mergel- und Tonsteinen, Sulfatgestein und Steinsalz zusammen (Tab. 3.16-1).

Der Mittlere Muschelkalk beginnt mit der Geislingen-Formation (mmG), einer Wechsellagerung von gebankten, harten, bituminösen, dolomitischen Kalksteinen und dolomitischen Kalkmergelsteinen (Abb. 3.17-2). Die Mächtigkeit der Geislingen-Formation liegt meist unter 10 m.

Darüber folgen die Gesteine der Salinar-Formation (mmS), Steinsalz und Sulfatgestein (Anhydrit, Gips) mit Dolomitstein-, Ton- und Tonmergelsteinlagen. Steht der Mittlere Muschelkalk an der Erdoberfläche an oder ist er nur von Oberem Muschelkalk überlagert, ist das Steinsalz, wo pri-

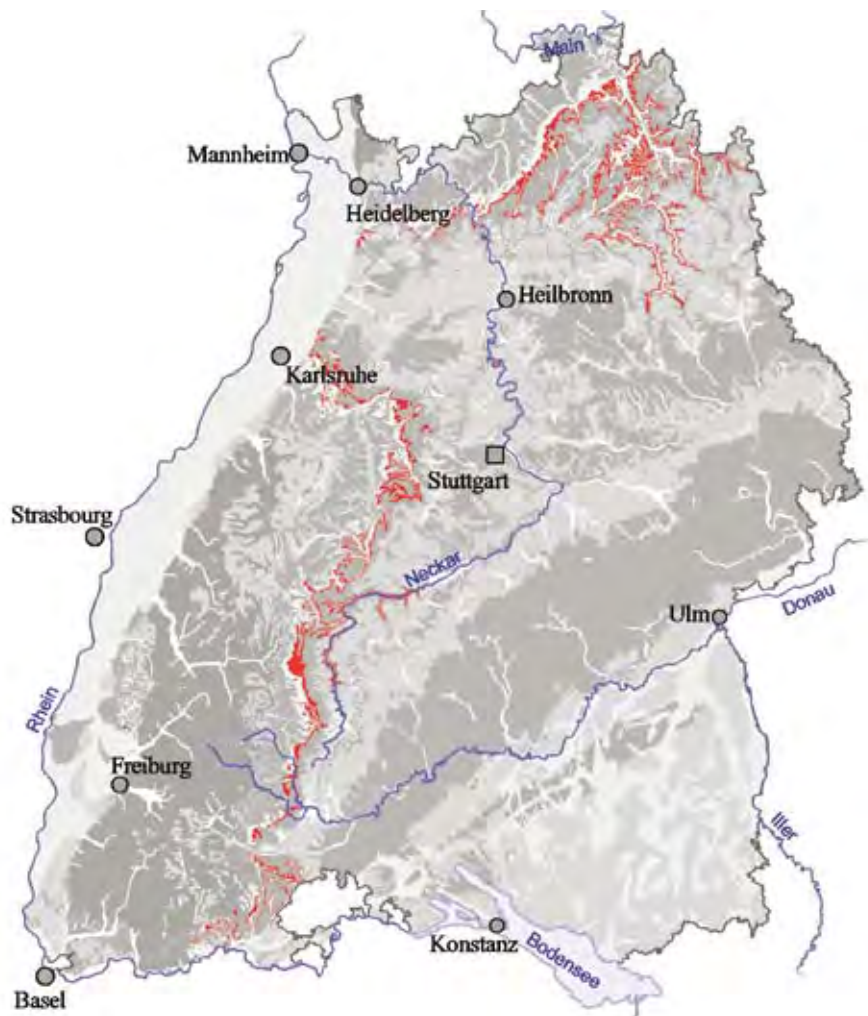


Abb. 3.17-1 Ausstrich des Mittleren Muschelkalks (Hy 17) farbig.



Abb. 3.17-2 Geislingen-Formation (mmG): Straßenböschung Westhausen – Winzenhofen/Hohenlohekreis.

Die Salinar-Formation wird bis 50 m mächtig, im vollständig ausgelaugten Zustand beträgt die Mächtigkeit nur noch etwa 15 bis 30 m.

Den obersten Teil der Schichtenfolge bildet die Obere Dolomit-Formation (mmDo), gelbgraue dolomitische Kalksteine, dolomitische Mergelsteine und schiefrige Tonsteine mit eingesprengten Hornsteinen. Die Mächtigkeit der Oberen Dolomit-Formation variiert zwischen etwa 10 und 20 m. Sie reicht in Einzelfällen bis 25 m.

3.17.3 Hydrogeologie

Die Obere Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalks wird hydrogeologisch dem Oberen Muschelkalk zugeordnet (s. Beschreibung des

Oberen Muschelkalks). Die darunter folgende Salinar-Formation ist sowohl im nicht ausgelaugten als auch im ausgelaugten Zustand ein Grundwassergeringleiter, eventuell mit einer geringen Grundwasserführung auf einzelnen Dolomitsteinbänken. In geringem Umfang ist Grundwasser gelegentlich auch in den harten dolomitischen Kalksteinen der basalen Geislingen-Formation anzutreffen.

Eine gewisse vertikale Durchlässigkeit besitzt der Mittlere Muschelkalk an den Talflanken tief eingeschnittener Täler, im Bereich der Talsohle sowie in Gebieten mit fortgeschrittener Verkarstung und Subrosion. In diesen Bereichen verliert die Salinar-Formation des Mittleren Muschelkalks ihre stauende Wirkung für das Karstgrundwasser des Oberen Muschelkalks, das hier in den Unteren Muschelkalk absinken kann (Abb. 3.17-3).

Literatur

HGE (2004): Hydrogeologische Erkundung Enztal-Pforzheim – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mappe 3: 40 S., 12 Abb., 7 Tab., 3 Anl., 7 Kt.; Freiburg i. Br., Pforzheim, Freudenstadt.

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

SIMON, T. (1980): Hydrogeologische Untersuchungen im Muschelkalk-Karst von Hohenlohe. – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stgt., N.F., 75: 63 – 215, 86 Abb., 52 Tab.; Stuttgart.

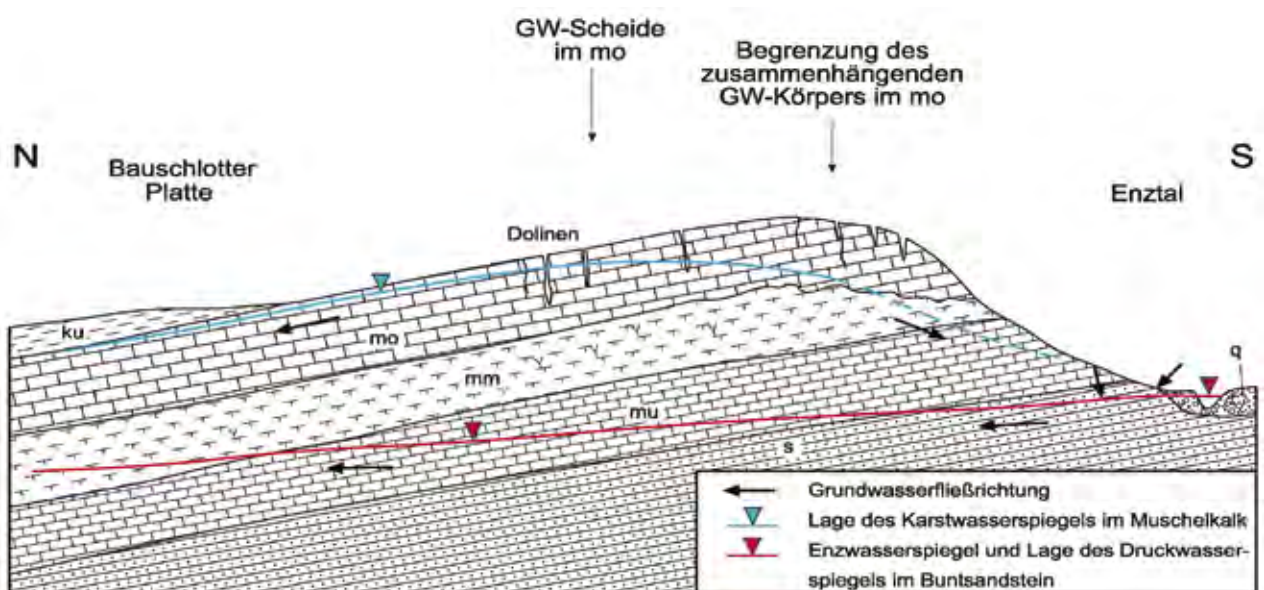


Abb. 3.17-3 Hydrogeologischer Nord – Süd-Schnitt durch die Bauschlatter Platte (HGK 2004).



3.18 Unterer Muschelkalk (Hy 18)

3.18.1 Verbreitung

Der Untere Muschelkalk besitzt in Baden-Württemberg eine ähnliche Verbreitung wie der Obere Muschelkalk. Mit Ausnahme der Kristallin- und Buntsandsteingebiete von Schwarzwald und Odenwald, des Kaiserstuhls sowie der äußersten Randbereiche im Südosten (Oberschwaben/Allgäu) und Nordwesten (Oberrheingraben) ist er überall verbreitet. Anstehend findet er sich in schmalen Zonen in der Umrahmung des Schwarzwalds und Odenwalds sowie in größerer Verbreitung in Nordostwürttemberg. Im Oberrheingraben tritt er lokal in einzelnen Schollen der Vorbergzone zutage. Die Ausstrichfläche beträgt insgesamt 777 km². Ansonsten wird der Untere Muschelkalk von jüngerem Mesozoikum, bereichsweise zusätzlich noch von z. T. mächtigem Quartär und Tertiär (Oberrheingraben, Oberschwaben; Abb. 3.18-1) bedeckt.



Abb. 3.18-1 Verbreitung des Unteren Muschelkalks (Hy 18) farbig, Ausstrich dunkel.

3.18.2 Geologie

Der Untere Muschelkalk besteht aus Kalkstein-, Schaumkalk- und Wellenkalkbänken (Abb. 3.18-2) sowie besonders nach Süden zunehmend Dolomitstein und Mergelstein (Freudenstadt-Formation). Die obersten Kalkmergelsteine sind bituminös und enthalten noch Sulfatgestein (Orbicularismergel-Formation). Zum Rand der Verbreitung nach Osten und Südosten hin werden die Gesteine des Unteren Muschelkalks zunehmend sandig.

Die Verkarstung des Unteren Muschelkalks ist, verglichen mit der des Oberen Muschelkalks, weniger ausgeprägt und auf die Kalksteine in der Schichtenfolge beschränkt. Sie geht von der Geländeoberfläche und von den gut durchlässigen Trennfugen (Großklüfte, Störungen) aus. Erhöhte Wasserwegsamkeiten finden sich auch parallel zu den Talflanken infolge Talzuschub und Hangzerreißung. Die Verkarstung ist weitgehend auf die Gebiete beschränkt, in denen der Untere Muschelkalk an der Erdoberfläche ansteht oder nur geringmächtig und lückenhaft überdeckt ist.

Über dem Unteren Muschelkalk liegen stellenweise Lösssedimente. Als stratigraphisch nächsthöhere Einheit folgt die Geislingen-Formation des Mittleren Muschelkalks, im Liegenden schließt sich die Rötton-Formation des Oberen Buntsandsteins an.

Seine größte Mächtigkeit besitzt der Untere Muschelkalk in Baden-Württemberg mit rund 80 m im Raum Heidelberg. Nach Süden und Südwesten ist eine stetige Abnahme festzustellen, wobei ost-südöstlich der Linie Schwäbisch Hall – Bad Urach – Tuttlingen mit Einsetzen der sandigen Randfazies nur noch Mächtigkeiten zwischen 50 und 30 m vorliegen (GEYER & GWINNER 1991).



Abb. 3.18-2 Wellenkalk-Formation (muW): Steinbruch bei Laibach/Hohenlohekreis.

3.18.3 Hydrogeologie

Der Untere Muschelkalk bildet einen schichtig gegliederten, stellenweise verkarsteten Kluftgrundwasserleiter mit überwiegend geringer, bei Verkarstung mäßiger bis mittlerer Grundwasserführung, bevorzugt in den Schaumkalkbänken. Die Grundwasserleiterbasis bilden die Tonsteine der Rötton-Formation, die Grundwasserdeckfläche die Mergelsteine und das Salinar des Mittleren Muschelkalks. Die Wechsellagerung von durchlässigeren Schaumkalkbänken und weniger durchlässigen Mergelsteinbänken führt bereichsweise zu einer schichtgebundenen Grundwasserführung (Abb. 3.16-1).

Das Grundwasser fließt im Unteren Muschelkalk auf Trennfugen (Klüften, Schichtfugen, Störungen), in den verkarsteten Bereichen auch in Karsthohlräumen. Eine größere Grundwasserführung ist an eine stärkere Verkarstung gebunden.

Der Untere Muschelkalk ist wie der Obere Muschelkalk durch eine deutliche Inhomogenität und Anisotropie der hydrogeologischen Eigenschaften gekennzeichnet. Das Repräsentative Elementarvolumen (REV) liegt in einer Größenordnung von einigen 100 bis etwa 1 000 m.

Der geometrische Mittelwert der Transmissivität beträgt für den Unteren Muschelkalk landesweit $T = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Eine Häufung der Werte ist zwischen $T = 1 \cdot 10^{-3}$ und $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bei einer Schwankungsbreite von mehr als sechs Zehnerpotenzen zu erkennen (Abb. 3.18-3). In Ostwürttemberg sind aufgrund eines hohen Verkarstungsgrades höhere T-Werte zu finden (LGRB 2002).

Der geklüftete, lokal auch verkarstete Untere Muschelkalk bietet nur einen geringen Schutz gegen das Eindringen von Schadstoffen von der Erdoberfläche in das Grundwasser. Dort, wo der Untere Muschelkalk nicht überdeckt ist, überwiegend flachgründige steinig-lehmige Böden. Besondere Schwächezonen mit ausgeprägten vertikalen Wasserwegsamkeiten sind Dolinen, Erdfälle, Trockentäler, Bachschwinden sowie oberirdisch abflusslose Senken. In den Ausstrichgebieten des Unteren Muschelkalks ist das Schutzpotenzial der Grundwasserüberdeckung gering und sehr gering.

Günstigere Verhältnisse finden sich überall dort, wo der Untere Muschelkalk durch Lösssedimente oder Mittleren Muschelkalk überlagert ist.

Unter mächtiger Überdeckung ist der Untere Muschelkalk als Grundwassergeringleiter einzustufen.

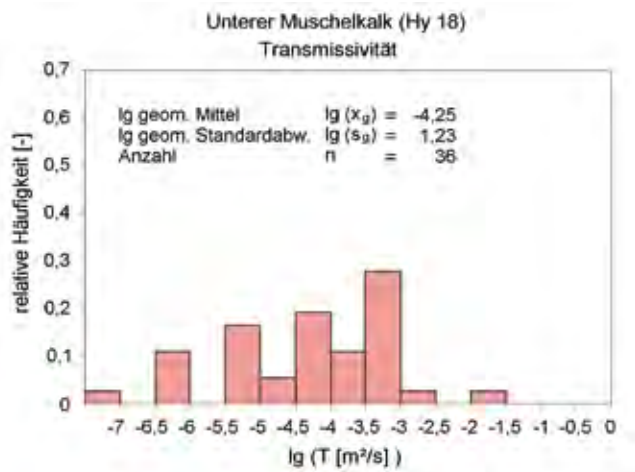


Abb. 3.18-3 Häufigkeitsverteilung der Transmissivitätswerte für den Unteren Muschelkalk: Landesweite Auswertung (geometrischer Mittelwert $T = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) (LGRB 2002).

3.18.4 Hydrologie

Im Bereich der z. T. lössbedeckten Hochflächen erfolgt die Grundwasserneubildung im Unteren Muschelkalk einerseits über flächenhafte Infiltration des Niederschlags. Konzentriert findet eine Grundwasserneubildung in verkarsteten Gebieten in Dolinen und Schlucklöchern sowie Bachschwinden statt. Die Neubildungsrate beträgt im langjährigen Mittel (Standardperiode 1961 bis 1990) $G_m = 6,5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, das sind – bezogen auf die Ausstrichfläche von 777 km^2 – $G_f = 5,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Bei Überlagerung durch jüngere Festgesteine erfolgt die Grundwasserneubildung in geringem Umfang durch vertikale Zusickerung über Leckage und Cross-Formation-Flow.



An Stellen, wo die Aquiferbasis über dem Vorflutniveau ausstreicht (seichte Position), tritt das Grundwasser des Unteren Muschelkalks über den Röttonen in Quellen zu Tage. Die Quellschüttung liegt meist bei etwa $Q = 0,005 \text{ m}^3/\text{s}$, kann in besonders günstigen Positionen aber auch erheblich größer sein. Die technische Ergiebigkeit von Brunnen im Unteren Muschelkalk bewegt sich zwischen $Q_t = 0,005 \text{ m}^3/\text{s}$ und $Q_t = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$.

Liegt die Aquiferbasis dagegen tiefer als die Vorflut (tiefe Position), entwässert der Untere Muschelkalk über Überlaufquellen an den Talflanken, über diffuse Grundwasserübertritte in den Talgrundwasserleiter oder in den Vorfluter.

3.18.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Zur Beurteilung der geogenen Beschaffenheit des Grundwassers im Unteren Muschelkalk lagen nur wenige Analysen vor. Das oberflächennahe Grundwasser ist im Oberen Muschelkalk vom hydrochemischen Typ her normal erdalkalisch-hydrogenkarbonatisch. Bei Zufluss von Sulfatwasser aus dem Mittleren Muschelkalk kann normal erdalkalisches, überwiegend sulfatisches Grundwasser mit deutlich höherem gelöstem Feststoffinhalt auftreten.

Der gelöste Feststoffinhalt eines anthropogen weitgehend unbeeinflussten Grundwassers aus dem Unteren Muschelkalk beträgt rund 370 mg/l . Überwiegend gesteinsbürtig als Folge der Lösung von Kalzit und Dolomit sind die Konzentrationen von Calcium (77 mg/l), Magnesium (9 mg/l) und Hydrogenkarbonat (220 mg/l). Dies entspricht einer Karbonathärte von etwa 10 °dH und einer Gesamthärte von 12 °dH (GLA 1996).

Literatur

GEYER, O.F. & GWINNER, M.P. (1991): Geologie von Baden-Württemberg. – 4. Aufl.: 482 S., 255 Abb., 26 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).

GLA (1996): Fortschreibung des Landschaftsrahmenplans Baden-Württemberg – Erstellung landesweiter Grundlagenkarten. – Abschlußbericht zum Teilprojekt Hydrogeologie, AZ 4458.01/95-4763: 14 S., 5 Abb., 7 Tab.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

HGE (2004): Hydrogeologische Erkundung Enzta-Pforzheim – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mappe 3: 40 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Kt., 3 Anl.; Freiburg i. Br., Pforzheim, Freudenstadt.

— (2005): Hydrogeologische Erkundung Taubertal – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mappe 3: 47 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Anl.; Freiburg i. Br.

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt. 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

3.19 Oberer Buntsandstein (Hy 19)

3.19.1 Verbreitung

Der Obere Buntsandstein ist mit Ausnahme der Kristallingebiete des Schwarzwalds und Odenwalds, des Kaiserstuhls sowie des Südostens Baden-Württembergs (Oberschwaben südöstlich einer Linie Ulm – Radolfzell) verbreitet (Abb. 3.19-1).

3.19.2 Geologie

Den oberen Teil des Oberen Buntsandsteins bildet die rund 30 m mächtige Rötton-Formation. Sie besteht aus Mergelsteinen, die zum Liegenden kalkärmer werden und in Tonsteine übergehen. Eingelagert sind geringmächtige Quarzitbänke. In Form von Nestern findet sich lokal Fasergips (Abb. 3.19-2, links).

Mit dem Rötquarzit beginnt die etwa 50 m mächtige Plattensandstein-Formation, der untere Teil des Oberen Buntsandsteins. Der Rötquarzit ist ein 5 bis 10 m mächtiger, fein- bis mittelkörniger, kieselig gebundener, harter Sandstein. Darunter folgen in Wechsellagerung plattige Mergel- und Tonsteine. Der untere Abschnitt der Plattensandstein-Formation besteht aus 30 m mürben, plattigen Fein- und Mittelsandsteinen mit tonigem Bindemittel sowie einzelnen quarzitischen Feinsandsteinbänken und geringmächtigen Tonsteinlagen. Er enthält fossile Bodenhorizonte (violette Horizonte) und z. T. karneol-dolomitische Bildungen (Abb. 3.19-2, rechts).

3.19.3 Hydrogeologie

Die Rötton-Formation des Oberen Buntsandsteins ist ein Grundwassergeringleiter, der die Grundwasservorkommen im Unteren Muschelkalk und Buntsandstein hydraulisch trennt. In der Plattensandstein-Formation bildet der Rötquarzit einen weitgehend eigenständigen Kluftgrundwasserleiter, für den die unterlagernden Ton- und Mergelsteine die Grundwasserleiterbasis bilden. Die Sandsteine

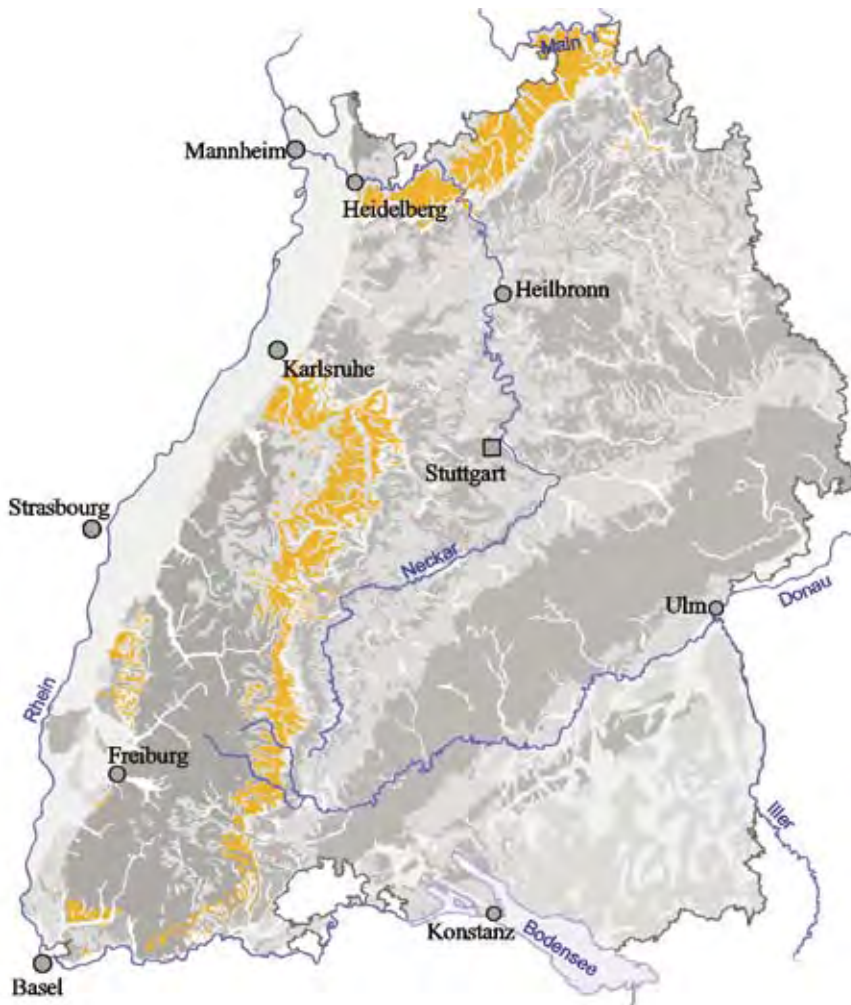


Abb. 3.19-1 Ausstrich des Oberen Buntsandsteins (Hy 19) farbig.

Eine landesweite Auswertung hydraulischer Kennwerte liegt für den Oberen Buntsandstein bisher nicht vor. Für das Gebiet Enztal-Pforzheim wurden 14 Pumpversuche statistisch ausgewertet (HGE 2004). Der geometrische Mittelwert beträgt $T = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ bei einer Schwankungsbreite von vier Zehnerpotenzen (Abb. 3.19-3).

Nach Süden nehmen mit zunehmender Überdeckung durch jüngere Gesteine Klüftigkeit und Kluftweiten schnell ab und die Wasserwegsamkeit geht entsprechend zurück.

3.19.4 Hydrologie

Die Grundwasserneubildung erfolgt im Ausstrichbereich auf den Hochflächen durch flächenhafte Infiltration aus Niederschlag. Das Wasser sammelt sich im Röt Quarzit und bildet dort ein schwebendes Grundwasser. Diese Vorkommen entwässern teils im Bereich der Taleinschnitte über

im unteren Teil der Plattensandstein-Formation sind demgegenüber dem Kluftgrundwasserleiter des Mittleren und Unteren Buntsandsteins zuzurechnen.

Schichtquellen, teils über Leckage und Cross-Formation-Flow in den darunter liegenden Buntsandstein-Kluftgrundwasserleiter.



Abb. 3.19-2 Rötton-Formation (sot): Böschung bei Ingelfingen/Hohenlohekreis (links) und Plattensandstein-Formation (sos), Wegböschung in Schwarzach/Neckar-Odenwald-Kreis (rechts).

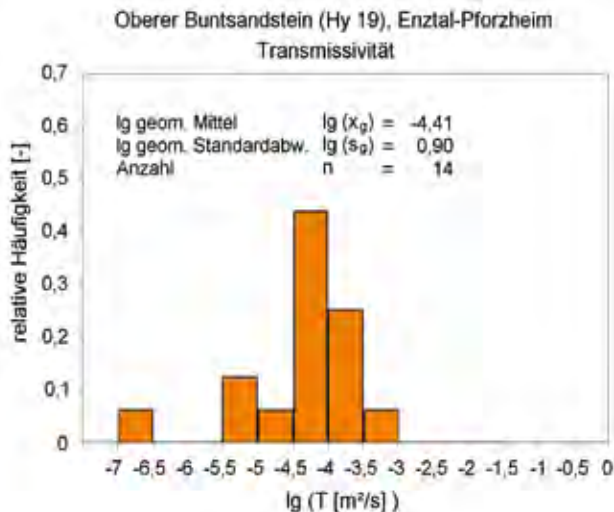


Abb. 3.19-3 Häufigkeitsverteilung der Transmissivitätswerte für den Oberen Buntsandstein: Gebiet Enztal-Pforzheim (geometrischer Mittelwert $T = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) (HGE 2004).

3.20 Mittlerer und Unterer Buntsandstein (Hy 20)

3.20.1 Verbreitung

Mittlerer und Unterer Buntsandstein sind in weiten Teilen Baden-Württembergs mit Ausnahme der Kristallingebiete des Schwarzwalds und Odenwalds, des Kaiserstuhls sowie des Südostens Baden-Württembergs (Oberschwaben südöstlich einer Linie Ulm – Radolfzell) verbreitet (Abb. 3.20-1). Im Südschwarzwald setzt die Buntsandsteinsedimentation mit dem oberen Mittleren Buntsandstein ein, es fehlen der Untere und untere Mittlere Buntsandstein.

An der Erdoberfläche ist der Mittlere und Unterer Buntsandstein auf einer Fläche von 1462 km² in der östlichen Umrahmung des Schwarzwalds, im südlichen Odenwald und Bauland sowie im

Literatur

HGE (2004): Hydrogeologische Erkundung Enztal-Pforzheim – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mappe 3: 40 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Kt., 3 Anl.; Freiburg i. Br., Karlsruhe.

— (2005): Hydrogeologische Erkundung Taubertal – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz – Mappe 3: 47 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Anl.; Freiburg i. Br., Karlsruhe.

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]



Abb. 3.20-1 Verbreitung des Mittleren und Unteren Buntsandsteins (Hy 20) farbig, Ausstrich dunkel. Übergang von Süßwasser zu höher mineralisiertem Grundwasser in Richtung der Strichsignatur.

Oberrhingraben im Bereich der Vorbergzone zwischen Emmendingen und Offenburg verbreitet. Ansonsten liegt der Mittlere und Untere Buntsandstein unter einer Überdeckung aus jüngerem Mesozoikum und ist bereichsweise zusätzlich noch von z.T. mächtigem Tertiär und Quartär überdeckt (nördliches Molassebecken, Oberrheinraben).

3.20.2 Geologie

Mittlerer und Unterer Buntsandstein bestehen aus einer Folge von fluviatil abgelagerten, überwiegend dickbankigen, meist mittel- bis feinkörnigen, häufig

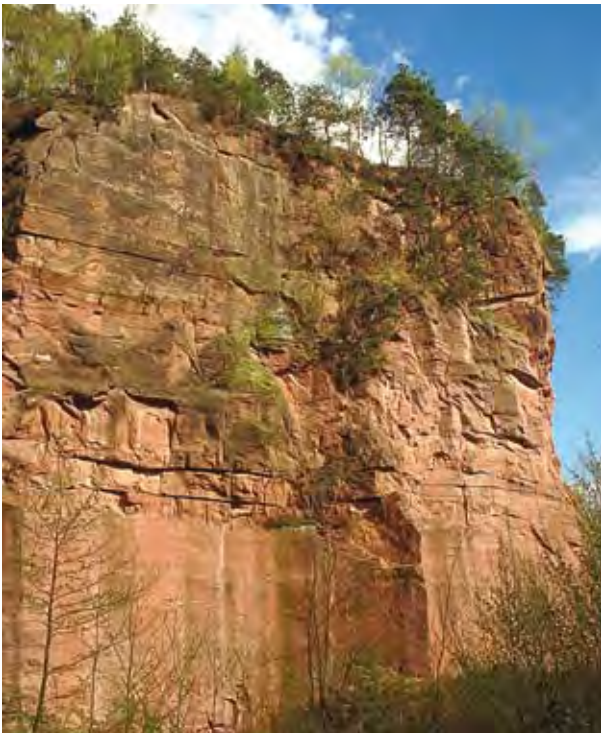


Abb. 3.20-2 Mittlerer Buntsandstein: Steinbruch nordöstlich Heimbach/Emmendingen (**oben**) und Bausandstein-Formation des Unteren Buntsandsteins: Straßenanschnitt am Sägeplatz/Freiamt (**unten**).

schräggeschichteten und z.T. glimmerführenden Sandsteinen mit einzelnen grobkörnigen bis konglomeratischen Lagen (Abb. 3.20-2). Die Korngrößenverteilung im Profil erlaubt die Gliederung in einzelne Sedimentationszyklen. Mittlerer und Unterer Buntsandstein sind karbonatarm, das Bindemittel der Sandsteine ist meist tonig oder kieselig und nur selten karbonatisch.

Besonders stark tektonisch beansprucht sind der Untere und Mittlere Buntsandstein im Nordschwarzwald (HGE 2002 und 2003).

Mittlerer und Unterer Buntsandstein sind im Südschwarzwald primär nicht bzw. nur teilweise vorhanden. Nach Norden nimmt die Mächtigkeit zur Kraichgaumulde auf rund 450 m zu. Größere Mächtigkeiten finden sich in dem Ostnordost/Westsüdwest streichenden Offenburger Becken nördlich Freudenstadt, geringere Mächtigkeiten im Bereich der Nordschwarzwälder Schwelle südlich Pforzheim und der Odenwaldschwelle (GEYER & GWINNER 1991, Commission of the European Communities 1979).

3.20.3 Hydrogeologie

Mittlerer und Unterer Buntsandstein bilden zusammen mit den Gesteinen des unteren Abschnitts der Plattensandstein-Formation einen bereichsweise ergiebigen Kluftgrundwasserleiter. Wo vorhanden, können auch noch die Gesteine der unterlagernden Bröckelschiefer-Formation des Zechsteins dem Grundwasserleiter zugerechnet werden. Als Grundwasserleiterbasis wirken entweder ältere paläozoische Gesteine (unterer Zechstein, Rotliegendes, Karbon, Devon) oder das Kristallin, dem der Buntsandstein in weiten Bereichen direkt aufliegt. Vom Unteren Muschelkalk ist der Mittlere und Untere Buntsandstein hydraulisch durch die geringdurchlässigen Tonsteine der Rötton-Formation getrennt. Vom Rötquarzit trennt ihn eine mächtigere, geringdurchlässige Ton-Mergelstein-Serie.

Das Grundwasser fließt im Mittleren und Unteren Buntsandstein ganz überwiegend auf Trennfugen (Klüfte, Schichtfugen, Störungen). Erhöhte Kluftöffnung und damit eine verstärkte Wasserwegsamkeit findet sich in der oberflächennahen Auflockerungszone bis in eine Tiefe von rund 10 bis 40 m. In Hangbereichen und unter Tälern können die Kluftweiten der harten Gesteine zusätzlich zur oberflächennahen Entspannung durch pleistozäne Frostsprengung vergrößert sein. Zonen erhöhter Klüftigkeit und Kluftaufweitung entstehen außerdem an den Talflanken durch Talzusub und Hangzerreißen sowie entlang tektonischer Störungen



und in deren Umfeld. Aufgrund der intensiven tektonischen Beanspruchung gibt es besonders hohe Wasserwegsamkeiten im nördlichen Schwarzwald (Pfinzgau).

Zur Beschreibung des Grundwasserumsatzes im Mittleren und Unteren Buntsandstein dürfte sich als Modellvorstellung in guter Näherung die Doppelporosität eignen, wobei einerseits Poren und Kleinklüfte, andererseits Großklüfte und tektonische Störungszonen gemeinsam betrachtet werden (vgl. zweigipflige Verteilung, Abb. 3.20-4).

Die hydrogeologischen Eigenschaften im Mittleren und Unteren Buntsandstein sind in hohem Maß inhomogen und anisotrop. Das Repräsentative Elementarvolumen (REV) liegt in einer Größenordnung von einigen 10 bis über 100 m.

Der geometrische Mittelwert der Transmissivität beträgt für den Mittleren und Unteren Buntsandstein landesweit $T = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ mit einer Schwankungsbreite von über fünf Zehnerpotenzen (Abb. 3.20-3). Der Stichprobenumfang der Untersuchung beträgt $n = 77$ (LGRB 2002). Als hochergiebig haben sich besonders Talabschnitte im Zentrum von tektonischen Mulden (z. B. das Aalbachtal bei Wertheim-Dertingen und das Taubertal nordöstlich Kilsheim) sowie tektonisch stark beanspruchte Gebiete (Bereich Seewiesenquellen, Nordschwarzwald) erwiesen.

Mit zunehmender Überdeckung durch Oberen Buntsandstein und Muschelkalk nehmen die Öffnungsweiten der Klüfte und damit auch die Durchlässigkeit des Gebirges ab.

Bei Markierungsversuchen mit Tracereingabe in offene Klüfte wurden im Nordschwarzwald Abstandsgeschwindigkeiten bis maximal 177 m/h, im Mittel von 21,8 m/h gemessen (Abb. 3.20-3, Tab. 3.20-1).

Die Vergleichswerte aus dem Main-Tauber-Kreis sind mit 4,3 m/h und 1,7 m/h deutlich kleiner. Ein Grund dafür dürfte die unterschiedliche tektonische Beanspruchung der beiden untersuchten Buntsandsteingebiete sein (HGE 2004 und 2005).

Die technische Ergiebigkeit von Brunnen liegt im Mittleren und Unteren Buntsandstein meist zwischen $Q_t = 0,005$ und $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ (Nordschwarzwald/Odenwald). Aufgrund der intensiven Bruchtektonik werden im Nordschwarzwald jedoch generell höhere Ergiebigkeiten erreicht (Brunnen im Pfinzgraben, Gesamtergiebigkeit $Q_t = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$).

Die geklüfteten Sandsteine des Mittleren und Unteren Buntsandsteins bieten nur einen geringen Schutz

gegen Schadstoffe, die von der Erdoberfläche in den Untergrund eindringen. Dort, wo die Sandsteine an der Erdoberfläche anstehen, überwiegen gut durchlässige sandig-lehmige Böden. Besondere Schwachstellen mit hohen vertikalen Sickergeschwindigkeiten bilden die Bereiche von ausstreichenden Großklüften und Störungen.

Eine höhere Schutzfunktion ergibt sich dort, wo der Untere und Mittlere Buntsandstein von Lösssedimenten oder Oberem Buntsandstein (Röttone) überlagert wird.

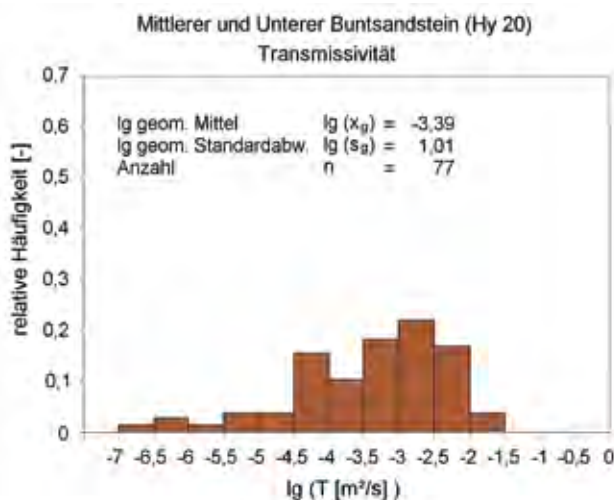


Abb. 3.20-3 Häufigkeitsverteilung der Transmissivitätswerte für den Mittleren und Unteren Buntsandstein: Landesweite Auswertung (geometrischer Mittelwert $T = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$,

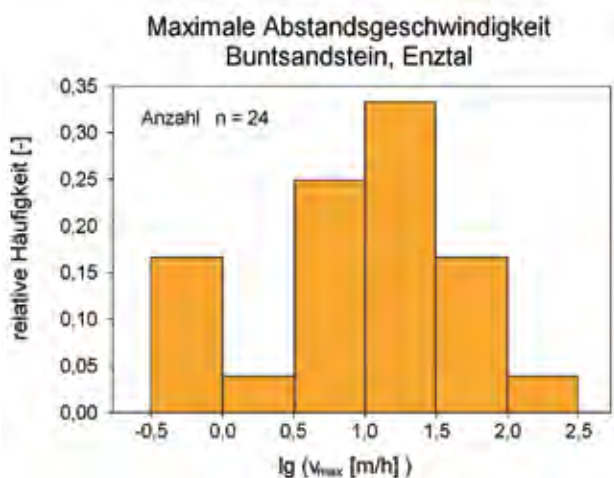


Abb. 3.20-4 Häufigkeitsverteilung der maximalen Abstandsgeschwindigkeiten aus Markierungsversuchen im Buntsandstein für das Gebiet Enztal/Nordschwarzwald (HGK 2004).

Tab. 3.20-1 Maximale (v_{\max}) und dominierende (v_{Cmax}) Abstandsgeschwindigkeiten im Buntsandstein im Enztal und im Main-Tauber-Kreis (HGK 2004 und 2005).

	n	v_{\max} [m/h]			n	v_{Cmax} [m/h]		
		mittel	minimal	maximal		mittel	minimal	maximal
Enztal	24	21,8	0,4	177	18	10,7	0,12	41,2
Main-Tauber-Kreis	6	1,7	0,09	4,3	6	0,3	0,074	0,68

n Stichprobenumfang

mittel arithmetischer Mittelwert

minimal kleinster Wert

maximal größter Wert

3.20.4 Hydrologie

Auf den z. T. lössbedeckten Hochflächen erneuert sich das Grundwasser im Unteren und Mittleren Buntsandstein über flächenhafte Infiltration des Niederschlags, stellenweise auch konzentriert durch Versinken von Oberflächenwasser in offenen Klüften. Die Neubildungsrate beträgt im langjährigen Mittel (Standardperiode 1961 bis 1990) $G_m = 12,9 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$, das sind, bezogen auf die Ausstrichfläche von 1462 km^2 , $G_f = 18,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Bei Überlagerung durch Oberen Buntsandstein wird das Grundwasser durch vertikale Zusickerung neu gebildet.

Der Grundwasserumsatz erfolgt im Kluftgrundwasserleiter des Mittleren und Unteren Buntsandsteins in verschiedenen Speicher- und Fließsystemen:

- In den **Kleinklüften** und Poren wird das Grundwasser hauptsächlich durch flächenhafte Infiltration von Niederschlag neu gebildet. Es fließt vergleichsweise langsam im Untergrund und weist entsprechend hohe Verweilzeiten auf.
- Die auf **Großklüften** und tektonischen Störungszonen schnell fließende Grundwasserkomponente wird vorwiegend durch direkten Eintrag in Kluft- und Störungszonen gebildet. Die Verweilzeit dieses Grundwassers im Untergrund ist vergleichsweise kurz.

Das Ausmaß und die Richtung des Grundwassertauschs zwischen den verschiedenen Fließsystemen wird von den hydrologischen Verhältnissen gesteuert.

Liegt die Aquiferbasis tiefer als die Vorflut (tiefe Position), entwässert der Mittlere und Untere Buntsandstein über Überlaufquellen an den Talflanken, über diffuse Grundwasserübertritte in den Talgrundwasserleiter oder direkt in den Vorfluter. Die Schüttung der Quellen erreicht $Q > 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$, vereinzelt $Q > 0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ (Seewiesenquellen, Pfingstgraben). Unterschneidet hingegen die Erosion

in den Flusstälern die Grundwasserleiterbasis (seichte Position), bilden sich über der stauenden Sohlschicht Schichtquellen oder in tiefer Lage Hangschuttquellen. Die Quellschüttungen dieser Quellen sind meist klein, da infolge der intensiven Zertalung der Hochflächen nur kleine Grundwasserkörper existieren.

3.20.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Das Grundwasser im Mittleren und Unteren Buntsandstein ist ein geringmineralisiertes Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Süßwasser. Der Gehalt an gelösten Feststoffen beträgt für ein anthropogen weitgehend unbeeinflusstes Buntsandstein-Grundwasser 53 mg/l , wobei die Substanzen überwiegend aus dem Niederschlag stammen und nicht gesteinsbürtig sind. Für Calcium sind dies etwa 6 mg/l , Magnesium 2 mg/l , Natrium 3 mg/l , Kalium 1 mg/l , Chlorid 3 mg/l , Sulfat 5 mg/l und Hydrogencarbonat 25 mg/l . Höhere Konzentrationen von Calcium und Hydrogencarbonat treten dort auf, wo der Buntsandstein von Löss überlagert ist.

Im Vergleich mit anderen hydrogeologischen Einheiten weisen die Inhaltstoffe Bor ($0,01 \text{ mg/l}$), Lithium ($< 0,001 \text{ mg/l}$) und Strontium ($0,024 \text{ mg/l}$) besonders geringe Konzentrationen auf, während der Sauerstoffgehalt mit 10 mg/l vergleichsweise groß ist. Aufgrund der geringen Pufferkapazität des Gesteins neigt das Buntsandstein-Grundwasser zur Versauerung. Der pH-Wert liegt im Mittel bei nur $\text{pH} = 6,42$ (LfU 2001).

Mittlerer und Unterer Buntsandstein führen nur im Ausstrichgebiet und unter geringmächtiger Überdeckung Süßwasser. Unter Unterem Muschelkalk trifft man mit Ausnahme der Gebiete im Nordschwarzwald in der Regel hochmineralisiertes Na-Cl-Mineral- bzw. Mineral-Thermalwasser (TDS $> 1000 \text{ mg/l}$) oder Solen (NaCl $> 10000 \text{ mg/l}$) an (KRETZSCHMAR 1995).



Literatur

Commission of the European Communities (1979) [Hrsg.]: Geothermische Synthese des Oberrheingrabens (Bestandsaufnahme). – GLA & Service Géologique Régional Alsace: 51 S., 4 Beil., 23 Anl. (Kt. und Schnitte); Freiburg i. Br., Strasbourg (Wiederaufl. als CD-ROM, LGRB 2005).

GEYER, O.F. & GWINNER, M.P. (1991): Geologie von Baden-Württemberg. – 4. Aufl.: 482 S., 255 Abb., 26 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).

HGE (2002): Hydrogeologische Erkundung Enztal-Pforzheim – Hydrogeologischer Bau. – Mappe 2: 20 S., 1 Abb., 4 Tab., 9 Kt., Anh., CD-ROM; Freiburg i. Br.

— (2003): Hydrogeologische Erkundung Taubertal – Hydrogeologischer Bau. – Mappe 2: 25 S., 1 Tab., 6 Kt., CD-ROM; Freiburg i. Br.

— (2004): Hydrogeologische Erkundung Enztal-Pforzheim – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mappe 3: 40 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Kt., 3 Anl.; Freiburg i. Br.

— (2005): Hydrogeologische Erkundung Taubertal – Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Mappe 3: 47 S., 12 Abb., 7 Tab., 7 Anl.; Freiburg i. Br.

KRETZSCHMAR, T. (1995): Hydrochemische, petrographische und thermodynamische Untersuchungen zur Genese tiefer Buntsandsteinwässer in Baden-Württemberg. – Tüb. Geow. Arb., **C 24**: 142 S.; Tübingen.

LfU (2001): Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg: 124 S.; Karlsruhe.

LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]

3.21 Paläozoikum, Kristallin (Hy 21)

3.21.1 Verbreitung

Die Hydrogeologische Einheit „Paläozoikum, Kristallin“ (Hy 21) fasst die ältesten Gesteine Baden-Württembergs zusammen. Sie enthält mit Magmatiten (Paläozoikum), Metamorphiten (Präkambrium bis Paläozoikum) und Sedimenten (jüngstes Paläozoikum) Gesteine unterschiedlichster Entstehung.

Paläozoische Gesteine sind im Schwarzwald und Odenwald auf einer Fläche von 3565 km² an der Erdoberfläche aufgeschlossen (Abb. 3.21-1). Das Kristallin bildet in ganz Baden-Württemberg die Basis des Sedimentären Deckgebirges (jüngstes Paläozoikum, Mesozoikum, Känozoikum).



Abb. 3.21-1 Ausstrich der Hydrogeologischen Einheit „Paläozoikum, Kristallin“ (Hy 21) farbig.

3.21.2 Geologie

Jüngste paläozoische Einheit ist der Zechstein, lokal bis > 135 m mächtige Feinsand- und Schluffsteine. Das darunter folgende sedimentäre Rotliegende besteht aus Arkosen, Fanglomeraten, Schluff- und Tonsteinen. Vulkanischen Ursprungs sind Quarzporphyre (Rhyolite) und Tuffite. Die Mächtigkeit kann bis > 700 m erreichen. Sedimentäres Devon und Karbon besteht aus Grauwacken, Konglomeraten, Arkosen, Sandsteinen, z. T. kohleführenden Tonschiefern und Pyroklastiten.

Paläozoische Sedimente sind nur in Trögen (Rotliegend-Tröge, u. a. bei Baden-Baden), Gefaltetes Paläozoikum ist nur in tektonischen Grabenstrukturen (u. a. Badenweiler – Lenzkirch-Zone) erhalten. Sie besitzen oberflächennah nur eine geringe Verbreitung.

Das Kristalline Grundgebirge wird aus variszischen¹ Plutonitmassiven (Abb. 3.21-2) sowie Gneis- und Migmatitkomplexen aufgebaut, die von jüngeren Gangmagmatiten durchsetzt sind. Die wichtigsten Gesteine sind Granit, Granodiorit, Anatexit, Diatexit, Marmor, Kalksilikatfels, Amphibolith, Seretinit, Kataklastit und metamorphe Schiefer sowie helle und dunkle Gangmagmatite.

Das Kristalline Grundgebirge wird von einem System von Trennflächen durchzogen, das bei den Graniten als Folge der Intrusionsmechanik und durch Abkühlung, bei den Gneisen durch Schieferung und Zerschierung entstanden ist. Daneben erzeugen tektonische Störungen z. T. sehr tiefreichende wasserwegsame Zonen im Gebirge. Schließlich bildet sich infolge Druckentlastung ein oberflächennahes Kluftsystem.

Für die hydrogeologischen Verhältnisse im Kristallin sind weiterhin die durch Verwitterung der Granite auf den Hochflächen entstandenen Grusdecken von Bedeutung, die eine Mächtigkeit von 30 m erreichen können. Sie sind aus dem Schwarzwald und aus dem Odenwald beschrieben (KARRENBERG 1981, GRIMM & PRIER 1997).

3.21.3 Hydrogeologie

Die Gesteine des sedimentären Paläozoikums sind generell Grundwassergeringleiter. In den nicht metamorphen Gesteinen führen lediglich Sandsteine, Arkosen, Grauwacken und Quarzporphyre in geringem Umfang Grundwasser auf Klüften.



Abb. 3.21-2 Forbach Granit, Zweiglimmergranit: Steinbruch Forbach-Raumünzach.

Wie das sedimentäre Paläozoikum ist auch das Kristalline Grundgebirge als Grundwassergeringleiter einzustufen. Allerdings gibt es einerseits eine geringe Grundwasserführung auf Klüften und Störungen, wobei einzelne, stark geklüftete Bereiche (z. B. Granite Raum Bad Wildbad, Bad Liebenzell) bei Pumpversuchen die Eigenschaften homogener, isotroper und unendlich ausgedehnter Grundwasserleiter zeigten (STOBER 1995). Andererseits gibt es eine oberflächennahe Grundwasserbewegung in der Auflockerungszone und in der Verwitterungsdecke.

Eine statistische Auswertung hydraulischer Kennwerte ergab für das Schwarzwald-Kristallin eine mittlere Transmissivität von $T = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ mit einer Schwankungsbreite von $T = 4,7 \cdot 10^{-3}$ bis $T = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Für die Gebirgsdurchlässigkeit beträgt der Mittelwert $T/H = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$, die Schwankungsbreite reicht von $T/H = 3,5 \cdot 10^{-10}$ bis $T/H = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (STOBER 1995).

Unterschiede werden bei getrennter Betrachtung der Granite und Gneise erkennbar. Insgesamt sind die hydraulischen Kennwerte im Granit mit $T = 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ und $T/H = 9,6 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ etwas größer als im Gneis, für den die entsprechenden Werte bei $T = 6,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ und $T/H = 5,0 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ liegen. Eine Teufenabhängigkeit der Größe der hydraulischen Kennwerte, wie sie aufgrund der oberflächennahen Entlastung zu erwarten ist, konnte nur für die Gneise, nicht jedoch für Granite statistisch nachgewiesen werden (STOBER 1995).

Der Hohlraumanteil des Gebirges schwankt zwischen 0,1 bis 2,0%, wobei die größeren Werte für den Granit, die kleineren Werte für den Gneis typisch sind (STOBER 1995).

¹ Die Hauptzeit der variszischen Gebirgsbildung war das Karbon im Jungpaläozoikum



Charakteristisch für das Kristalline Grundgebirge ist eine große Inhomogenität der hydraulischen Eigenschaften, wie sie aus der großen Variationsweite der hydraulischen Parameter hervorgeht.

Die Verwitterungsbildungen des Kristallins sind Porengrundwasserleiter. Insbesondere in den Grusdecken sind die hydrogeologischen Eigenschaften weitgehend homogen und isotrop.

3.21.4 Hydrologie

Im Ausstrichbereich des Kristallins erfolgt die Grundwasserneubildung durch Infiltration des Niederschlags in die Verwitterungsdecke bzw. die Auflockerungszone, wobei ein beträchtlicher Anteil des Gesamtabflusses als Oberflächenabfluss oder oberflächennaher Zwischenabfluss dem Vorfluter zufließt.

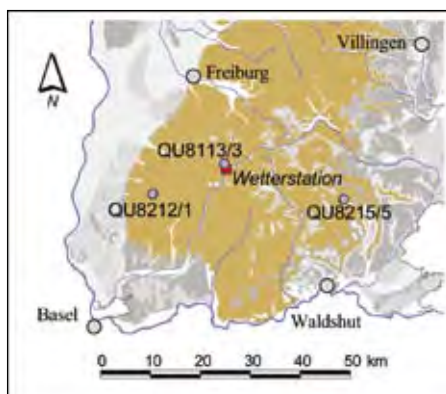
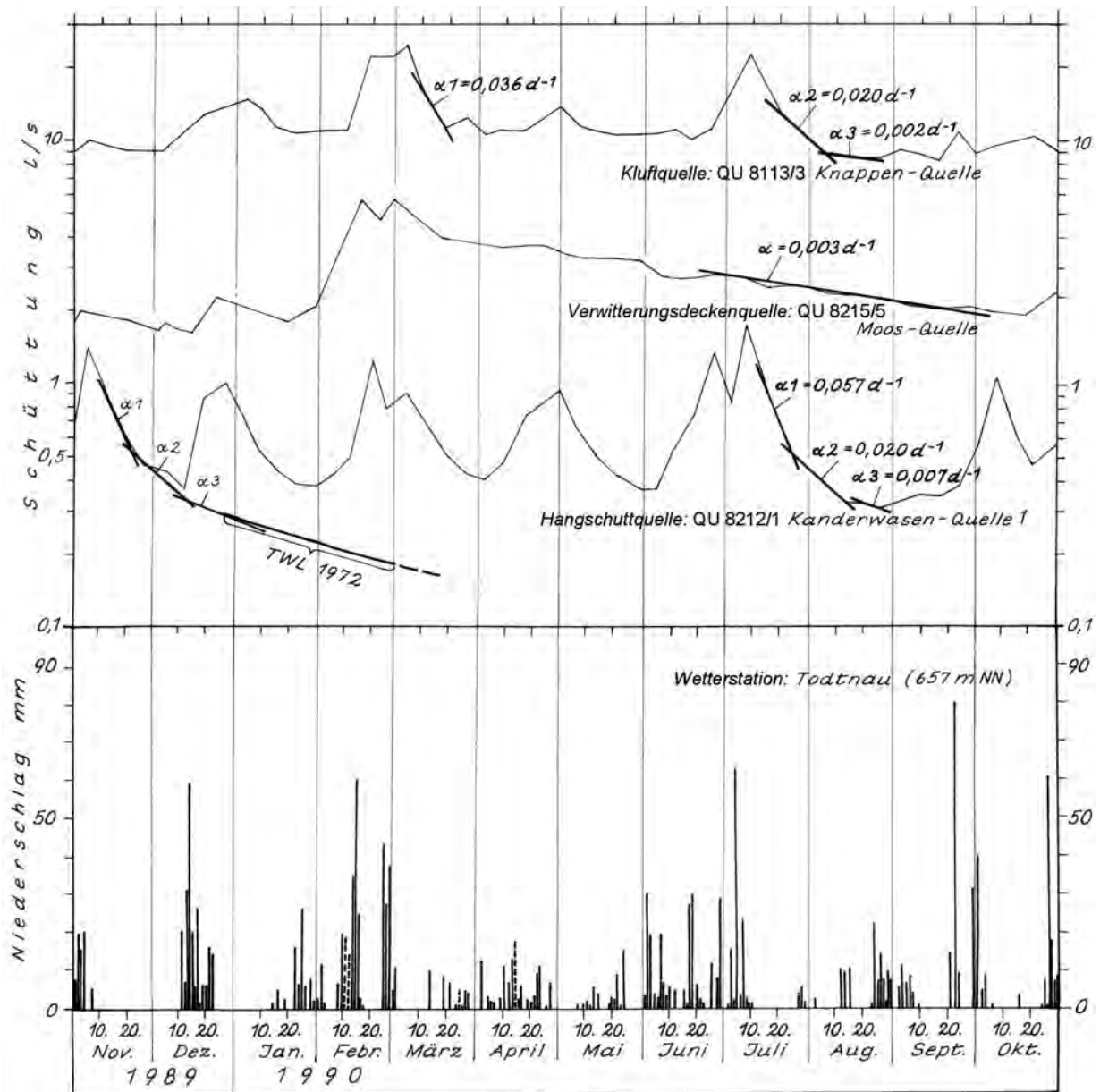


Abb. 3.21-3 Schüttungsganglinien typischer Quellen aus dem Kristallin in halblogarithmischer Darstellung: Knappen-Quelle (QU 8113/3, Kluftquelle mit hoher Schüttung und schnell ansprechenden Abflusskomponenten), Moos-Quelle (QU 8215/5, Verwitterungsdeckenquelle) und Kanderwasen-Quelle 1 (QU 8212/1, Hangschuttquelle mit Trockenwetterabflusslinie 1972) sowie zum Vergleich Niederschläge, Wetterstation Todtnau (GRIMM & PRIER 1997).

Die kluft- und störungsgebundenen Wasserwegsamkeiten ermöglichen tiefreichende Zirkulationssysteme, die in morphologisch tiefer Position über aufsteigende Quellen entwässern. Aufgrund der meist langen Verweilzeiten und großen Zirkulationstiefen (für die Quellwässer von Baden-Baden mittels Geothermometer auf 4 km errechnet) handelt es sich dabei in der Regel um höher mineralisierte Grundwässer oder Mineral-Thermalwässer. Beispiele für Quellen, die über tiefreichende Zirkulationssysteme im Kristallin gespeist werden, sind die Mineral-Thermalwässer von Baden-Baden und Bad Liebenzell, ein Beispiel aus dem sedimentären Paläozoikum (Rotliegend) ist das Mineral-Thermalwasser von Bad Rothenfels (LGRB 2002).

In der Verwitterungsdecke und der oberflächennahen Auflockerungszone bilden sich durch die Morphologie begrenzte kleine Grundwasserkörper mit einem vergleichsweise schnellen Grundwasserumsatz und kurzen Verweilzeiten. Die Entwässerung erfolgt über Quellen geringer Schüttung ($Q < 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$, vereinzelt bis $Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$).

Die Art des Grundwasserleiters, aus dem die Quellen im Kristallin gespeist werden, spiegelt sich u. a. im Schüttungsverhalten wieder. Drei verschiedene Quelltypen lassen sich unterscheiden (GRIMM & PRIER 1997, Abb. 3.21-3):

- **Kluftquellen** sind charakterisiert durch eine geringe Niederschlagsabhängigkeit der Quellschüttung, verhältnismäßig große Schüttungsquotienten (NQ/HQ häufig $> 0,3$), relativ konstante elektrische Leitfähigkeiten, geringe jahreszeitliche Temperaturschwankungen (meist $< 1 \text{ }^\circ\text{C}$) und ein langsames Leerlaufverhalten (Leerlaufkoeffizient $\alpha = 0,002$ bis $0,003 \text{ d}^{-1}$).
- **Hangschuttquellen**, die im Kristallin sehr häufig auftreten, zeigen ein schnelles und starkes Ansprechen auf Niederschlagsereignisse. Der Trockenwetterabfluss (NQ) beträgt meist $< 1 \text{ l/s}$, oft sogar $< 0,2 \text{ l/s}$, die mittlere Schüttung (MQ) mehrere Zehntel bis wenige l/s und die maximale Schüttung (HQ) teilweise $> 10 \text{ l/s}$. Die schnelle Entleerung des Speichers äußert sich in den geringen Schüttungsquotienten (NQ/HQ $< 0,1$). Die große Variationsweite der Leerlaufkoeffizienten zwischen $\alpha = 0,004$ bis $0,06 \text{ d}^{-1}$ steht in Zusammenhang mit den sehr heterogenen Eigenschaften der wasserführenden Gesteine im Quelleinzugsgebiet. Häufig ist folgende Entwicklung zu beobachten: Während zu Beginn einer Trockenperiode

das Grobporensystem des Hangschutts das Leerlaufverhalten bestimmt ($\alpha_1 = 0,03$ bis $0,06 \text{ d}^{-1}$), wird das Schüttungsverhalten zunehmend vom Volumen der oberflächennahen Klüfte ($\alpha_2 = 0,01$ bis $0,02 \text{ d}^{-1}$) und schließlich vom Feinkluftsystem des Grundgebirges ($\alpha_3 = 0,002$ bis $0,008 \text{ d}^{-1}$) bestimmt. Die Temperaturen der Hangschuttquellen nehmen mit zunehmender orographischer Höhe um $0,6$ bis $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ pro 100 Höhenmeter ab.

- **Verwitterungsdeckenquellen** besitzen als typische Eigenschaften Mindestschüttungen (NQ) von oft $> 1,0 \text{ l/s}$, verhältnismäßig große Schüttungsquotienten (NQ/HQ von meist $> 0,2$) sowie langsame und kontinuierliche Schüttungsabnahmen bei Trockenwetter (Leerlaufkoeffizient $\alpha = 0,003$ bis $0,005 \text{ d}^{-1}$).

3.21.5 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Typisch für die Kristallingesteine ist, dass leicht lösliche Mineralien weitgehend fehlen und nur wenige Grundwasserinhaltsstoffe aus Wasser-/Gesteinsreaktionen herrühren. Ein weiterer Aspekt der fehlenden Reaktion des Grundwassers mit dem Gestein ist die ungenügende Pufferung der über den Niederschlag eingetragenen Säuren.

Kennzeichnend für anthropogen nicht oder nur wenig beeinflusste oberflächennahe Grundwässer aus dem Kristallin sind (LfU 2001):

- **Quellwassertemperaturen** im Bereich der mittleren Jahrestemperatur der Luft, je nach orographischer Höhenlage des Einzugsgebiets etwa zwischen $7,5$ und $9,5 \text{ }^\circ\text{C}$, im Mittel $8,6 \text{ }^\circ\text{C}$, mit z. T. deutlichen jahreszeitlichen Schwankungen
- Mittlere **elektrische Leitfähigkeiten** im Bereich von $80 \text{ } \mu\text{S/cm}$ mit Schwankungen zwischen etwa 30 und $200 \text{ } \mu\text{S/cm}$
- Mittlere **Konzentrationen** von 3 mg/l Natrium, 1 mg/l Kalium, 8 mg/l Calcium, 2 mg/l Magnesium, 3 mg/l Chlorid, 25 mg/l Hydrogencarbonat und 5 mg/l Sulfat sowie entsprechend geringe Karbonathärte ($1 \text{ }^\circ\text{dH}$) und Gesamthärte ($0,8 \text{ }^\circ\text{dH}$)
- Niedrige **pH-Werte** von im Mittel $6,5$ mit Variationen zwischen $5,8$ bis $7,2$



Literatur

GRIMM, B. & PRIER, H. (1997): Untersuchungen über das Schüttungsverhalten von Grundgebirgsquellen des südlichen Schwarzwalds. – Jh. GLA, **36**: 215 – 262, 9 Abb., 14 Tab.; Freiburg i. Br.

KARRENBERG, H. (1981): Hydrogeologie der nicht verkarsungsfähigen Festgesteine: 284 S., 83 Abb.; Wien, New York (Springer)

LfU (2001): Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg: 124 S.; Karlsruhe.

LGRB (2002): Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Sauerlinge in Baden-Württemberg. – LGRB-Fachber.: 15 S., 1 Abb., 1 Tab., 1 Kt.; Freiburg i. Br.

STOBER, I. (1995): Die Wasserführung des kristallinen Grundgebirges: 191 S., 81 Abb., 16 Tab.; Stuttgart (Enke).

3.22 Trias, ungliedert (Hy 22)

3.22.1 Verbreitung

Gesteine dieser Einheit finden sich in der Vorbergzone und in den Randschollen im südlichen Teil des Oberrheingrabens zwischen Bad Krozingen und Lörrach sowie im Nimberg und Marchhügel. Sie streichen auf einer Fläche von rund 20 km² aus (Abb. 3.22-1).

3.22.2 Geologie

Zu der hydrogeologischen Einheit „Trias, ungliedert“ werden verschiedene Einheiten der Trias in tektonisch stark gestörten Bereichen zusammengefasst, die geologisch im Übersichtsmaßstab 1 : 500 000 nicht weiter unterschieden werden. Ihre Kartierung wird beispielsweise durch die Überlagerung von z. T. mächtigen Lösssedimenten erschwert bzw. verhindert. Petrographisch handelt es sich um Kalksteine, Mergelsteine, Tonsteine und Sandsteine.

3.22.3 Hydrogeologie

Je nach Petrographie der Gesteine handelt es sich um Grundwasserleiter oder Grundwassergeringleiter mit tektonisch kleinräumig begrenzten Einzugsgebieten. Hydrogeologisch ist diese Einheit aufgrund der geringen Verbreitung ohne Bedeutung.



Abb. 3.22-1 Ausstrich der Hydrogeologischen Einheit „Trias, ungliedert“ (Hy 22) am Rand des südlichen Oberrheingrabens farbig.

4 Ergiebigkeiten der hydrogeologischen Einheiten

4.1 Einführung

Um ein Grundwasservorkommen technisch sinnvoll erschließen und nutzen zu können, muss es eine ausreichende Ergiebigkeit besitzen. Darunter versteht man einerseits die langfristige Ergiebigkeit, die dem Grundwasserdargebot im Einzugsgebiet der Fassung entspricht, andererseits die technische Ergiebigkeit (Abb. 4.1-1).

Gewässern, Randzuflüsse und die flächenhafte Zusickerung über Leckage aus hangenden oder liegenden Grundwasserstockwerken. Auch eine künstliche Grundwasseranreicherung kann zum Grundwasserdargebot beitragen.

Gemäß dem Safe-Yield-Konzept steht für eine Nutzung nur das langfristig jährlich neu gebildete Grundwasser zur Verfügung, eine Abwirtschaftung von Grundwasservorräten, d.h. eine Überbewirtschaftung von Grundwasservorkommen, ist mit diesem Konzept nicht vereinbar (EU-WRRL 1997, WHG 2002 § 33a Abs.3, Wassergesetz für Baden-Württemberg 2005, § 3a Abs.3)



Abb. 4.1-1 Karte der Ergiebigkeiten in Baden-Württemberg (Legende s. Tab. 4.2-2).

4.1.2 Technische Ergiebigkeit

Unter der technischen Ergiebigkeit einer Fassungsanlage versteht man die Rate an Grundwasser, die aufgrund der hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters und der technischen Auslegung des Fassungsbauwerks bei einer, auf die Aquifermächtigkeit bezogen, sinnvoll begrenzten Absenkung langfristig gefördert werden kann. Die auf eine Absenkung des Grundwasserspiegels von 1 m normierte Ergiebigkeit wird als spezifische Ergiebigkeit (Q/s) bezeichnet. Q/s ist ohne Berücksichtigung des brunnen-spezifischen Absenkungsanteils, der durch den Eintrittswiderstand des Brunnenbauwerks hervorgerufen wird, für einen Brunnen in der Regel konstant. Dies gilt streng genommen jedoch nur, solange sich die Grundwassermächtigkeit bzw. die Transmissivität bei der Förderung nicht verringern, d.h. für gespannte Grundwasserverhältnisse.

4.1.1 Langfristige Ergiebigkeit

Das Grundwasserdargebot ist nach DIN 4049, Teil 3 „die Summe aller positiven Glieder der Wasserbilanz für einen Grundwasserabschnitt“. Positive Bilanzglieder sind die Grundwasserneubildung aus Niederschlag, die Zusickerung aus oberirdischen

4.1.3 Transmissivität

Die spezifische Ergiebigkeit Q/s ist wiederum in grober Näherung der Transmissivität des Aquifers proportional (KRUSEMAN & DE RIDDER 1973). Die Transmissivität (T) beschreibt das Transportvermögen eines Grundwasserleiters für Wasser und gibt

an, welcher Volumenstrom Grundwasser unter einem hydraulischen Gradienten von 1 durch die gesamte Mächtigkeit eines 1 m breiten Aquifer-segments fließt. Die Transmissivität ist das Produkt aus Durchlässigkeit (k_f) und Grundwassermächtigkeit (H). Weil in der Natur homogene und isotrope Grundwasserleiter praktisch nicht vorkommen, ist die mit Hilfe eines Pumpversuchs ermittelte Transmissivität immer ein mittlerer Wert für den getesteten Aquiferabschnitt.

4.1.4 Betrachtungsmaßstab

Der Grad der Inhomogenität ist abhängig vom Betrachtungsmaßstab und wird durch das Repräsentative Elementarvolumen (REV) beschrieben. Das REV ist definiert als das Gesteinsvolumen, in dem die Gesamtheit aller hydraulischen Eigenschaften vertreten ist. Für die vergleichsweise homogenen Porengrundwasserleiter (Sand- und Kiesaquifere) ist das REV durch eine Kantenlänge in der Größenordnung von 0,1 bis 10 m, für geklüftete Festgesteine von etwa 1 bis 100 m und für die sehr inhomogenen Kluft-/Karstgrundwasserleiter bis > 1000 m charakteristisch (STRAYLE et al. 1994).

4.1.5 Saisonale und langfristige Schwankungen

Das Grundwasserdargebot und die Ergiebigkeit eines Brunnens unterliegen saisonalen und auch langfristigen Schwankungen. Für die Bewirtschaftung eines Grundwasservorkommens ist es von Vorteil, wenn im Grundwasserleiter ein großes gespeichertes Grundwasservolumen vorhanden ist, auf das in Trockenzeiten zurückgegriffen werden kann und das bei erhöhter Grundwasserneubildung wieder aufgefüllt wird. Das Grundwasservolumen eines Grundwasserkörpers mit freier Grundwasseroberfläche, das durch die Entleerung der Gesteins Hohlräume verfügbar wird, errechnet sich aus der Grundwassermächtigkeit (H), multipliziert mit dem speichernutzbaren Hohlraumanteil (n_{sp}). In Porengrundwasserleitern liegt n_{sp} typischerweise bei 0,10 bis 0,20 (-), in Kluftgrundwasserleitern bei 0,01 bis 0,02 (-) und in Kluft-/Karstgrundwasserleitern bei 0,01 bis 0,04 (-). Porengrundwasserleiter enthalten demnach im Vergleich zu Kluft- und Kluft-/Karstgrundwasserleitern bei gleicher Grundwassermächtigkeit einen erheblich größeren Grundwasservorrat, der zum Ausgleich von Schwankungen im Grundwasserdargebot bewirtschaftet werden kann (Abb. 4.1-2).

Bei gespannten Grundwasserverhältnissen resultiert das geförderte Grundwasservolumen aus der

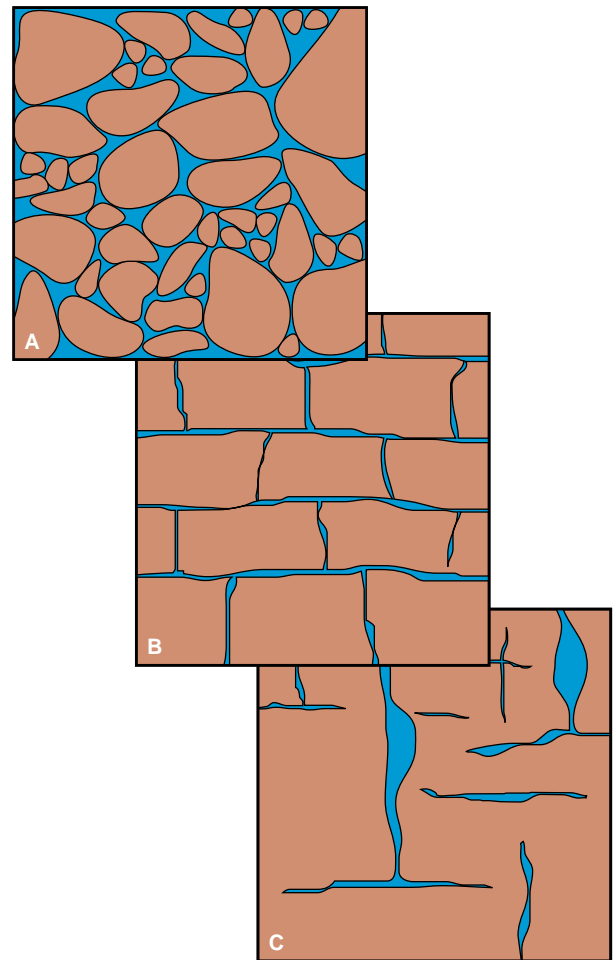


Abb. 4.1-2 Unterschiedliche Hohlraumformen und -anteile:
A Porengrundwasserleiter (z. B. sandiger Kies),
B Kluftgrundwasserleiter (z. B. Sandstein) und
C Kluft-/Karstgrundwasserleiter (z. B. Kalkstein), schematisch.

Dekompression des Grundwassers und Gesteins und wird durch den Speicherkoeffizienten (S) beschrieben. S besitzt unabhängig vom Gesteinstyp Werte zwischen $1 \cdot 10^{-3}$ bis $1 \cdot 10^{-4}$ (-), ist also erheblich kleiner als bei freien Grundwasserverhältnissen, wo der Speicherkoeffizient fast vollständig dem speichernutzbaren Hohlraumanteil (n_{sp}) entspricht.

4.1.6 Fazit

Während die langfristige Ergiebigkeit nur standortbezogen für ein Einzugsgebiet ermittelt werden kann, ist die technische Ergiebigkeit zu einem überwiegenden Teil eine Eigenschaft der hydrogeologischen Einheit und des darin enthaltenen Grundwasservorkommens. Sie wurde deshalb bei der Erstellung der Ergiebigkeitskarte vorrangig berücksichtigt. Allerdings lassen sich die für die verschiedenen hydrogeologischen Einheiten angegebenen technischen Ergiebigkeiten in der Regel auch langfristig gewinnen.

4.2 Methodik

Ausgangspunkt für die Konstruktion der „Karte der Ergiebigkeiten in Baden-Württemberg“ ist eine Auswertung der am Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (RPF-LGRB) archivierten Pumpversuche. Für die Grundwasserleiter, für die ausreichend T-Wertbestimmungen vorliegen, wurden die statistischen Maßzahlen geometrischer Mittelwert (x_g) sowie die zugehörige Standardabweichung (s_g) berechnet (Tab. 4.2-1).

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Transmissivitätswerte sind unter folgenden Randbedingungen zu sehen:

- Einige der hydrogeologischen Einheiten zeigen landesweit große Variationen in fazieller Ausbildung und Mächtigkeit, die sich auf die hydrogeologischen Eigenschaften auswirken.
- Im Festgestein besteht besonders bei den Kluftaquiferen häufig eine Tiefenabhängigkeit der Klüftung und Kluftöffnung und damit der Durchlässigkeit.
- Oberflächennah sind die Grundwasserleiter regional unterschiedlich grundwassererfüllt, wobei die Grundwassermächtigkeit insbesondere in Kluft- und Kluft-/Karstgrundwasserleitern zusätzlich noch saisonal und auch langfristig erheblich schwanken kann.

- Die Pumpversuche werden meist in Brunnen durchgeführt, deren Lage durch Untersuchungen und Probebohrungen optimiert wurde. Die daraus ermittelten Transmissivitätswerte repräsentieren deshalb eher gut durchlässige Bereiche des Grundwasserleiters. Auch nachträgliche Maßnahmen im Brunnen (Säuerungen, Fracs) können zu einem besseren Grundwasseranschluss und damit zu einer erhöhten Ergiebigkeit und Transmissivität führen.

Anhand der mittleren Transmissivitäten wurden die Ergiebigkeiten der verschiedenen hydrogeologischen Einheiten qualitativ bewertet (Tab. 4.2-2). Die Einstufung der Grundwasserleiter stützt sich auf Literaturangaben.

Die Kluft-/Karstgrundwasserleiter Oberjura und Oberer Muschelkalk wurden wegen sehr großer Variationsweiten der T-Werte (große REV) in eine höhere Ergiebigkeitsklasse als ihren mittleren T-Werten entsprechend eingestuft. Brunnenstandorte mit hoher und sehr hoher Ergiebigkeit sind aufgrund der großen Inhomogenität in den Kluft-/Karstgrundwasserleitern im Gegensatz zu den Porengrundwasserleitern allerdings nur bereichsweise und nur mit größerem Erkundungsaufwand zu finden. Während die Festgesteinsgrundwasserleiter jeweils pauschal einer Ergiebigkeitsklasse zugeordnet wurden, sind in den Lockergesteinen auch regionale Unterschiede dargestellt. Diese beruhen u. a. auf Isolinienplänen der Transmissivität.

Tab. 4.2-1 Statistische Maßzahlen für die Transmissivität der Grundwasserleiter in Baden-Württemberg.

Hydrogeologische Einheit	n	lg (x_g [m ² /s])	x_g [m ² /s]	lg (s_g [m ² /s])
LOCKERGESTEINSGRUNDWASSERLEITER				
Quartäre/Pliozäne Sande und Kiese im Oberrheingraben (Hy 3)	434	-1,69	$2,04 \cdot 10^{-2}$	0,61
Fluvioglaziale Kiese und Sande im Alpenvorland (Hy 4)	303	-2,02	$9,55 \cdot 10^{-3}$	0,98
Jungquartäre Flusskiese und -sande (Hy 5)	282	-2,54	$2,88 \cdot 10^{-3}$	1,05
FESTGESTEINSGRUNDWASSERLEITER				
Obere Meeresmolasse (Hy 8)	20	-4,24	$5,75 \cdot 10^{-5}$	0,76
Oberjura, schwäbische Fazies (Hy 10)*	123	-3,79	$1,62 \cdot 10^{-4}$	1,88
Ober- und oberer Mittelkeuper (Hy 14)	123	-3,46	$3,46 \cdot 10^{-4}$	0,77
Gipskeuper und Unterkeuper (Hy 15)	187	-3,47	$3,39 \cdot 10^{-4}$	0,90
Oberer Muschelkalk (Hy 16)*	74	-3,18	$6,61 \cdot 10^{-4}$	1,46
Unterer Muschelkalk (Hy 18)	36	-4,25	$5,62 \cdot 10^{-5}$	1,23
Mittlerer und Unterer Buntsandstein (Hy 20)	77	-3,39	$4,07 \cdot 10^{-4}$	1,01

* Verkarstung möglich bis wahrscheinlich (aufgrund der großen Varianz Einstufung in eine höhere Ergiebigkeitsklasse)

n Stichprobenumfang, Anzahl der T-Werte x_g geometrischer Mittelwert s_g geometrische Standardabweichung



Zu den Ergiebigkeitsklassen sind in Tab. 4.2-2, unabhängig von der tatsächlichen Grundwassermächtigkeit, für eine Absenkung von 10 m technische Ergiebigkeiten angegeben. Dabei handelt es sich um grobe Anhaltswerte, die eher obere Grenzwerte darstellen, da u. a. der Skin-Effekt, d. h. der Eintrittswiderstand des Brunnenbauwerks, nicht berücksichtigt ist.

Tab. 4.2-2 Bewertung der Ergiebigkeit anhand der Transmissivität für die Darstellung in der „Karte der Ergiebigkeiten in Baden-Württemberg“.

Ergiebigkeitsklasse		Technische Ergiebigkeit* [m ³ /s]	Transmissivität [m ² /s]
Festgestein	Lockergestein		
	sehr hoch	ca. > 0,1	> 1·10 ⁻²
hoch	hoch	ca. 0,1 – 0,01	1·10 ⁻² – 1·10 ⁻³
mittel	mittel	ca. 0,01 – 0,001	1·10 ⁻³ – 1·10 ⁻⁴
gering	gering	ca. 0,001 – 0,0001	1·10 ⁻⁴ – 1·10 ⁻⁵
sehr gering	sehr gering	ca. < 0,0001	< 1·10 ⁻⁵

* Ergiebigkeit: normiert auf eine Absenkung von 10 m, unabhängig von der tatsächlichen Grundwassermächtigkeit und ohne Berücksichtigung von Brunneneffekten.

4.3 Regionale Bewertung

Aufgrund ihrer Ergiebigkeit lassen sich für die Grundwassergewinnung in Baden-Württemberg hydrogeologische Einheiten mit überwiegend überregionaler, regionaler und lokaler Bedeutung unterscheiden (Nomenklatur nach „Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg“, LGRB 2002):

Grundwasserleiter

mit Grundwasservorkommen von überwiegend

• überregionaler Bedeutung

- Quartäre/Pliozäne Kiese und Sande im Oberrheingraben (Hy 3)
- Fluvioglaziale quartäre Kiese und Sande im Alpenvorland (Hy 4)
- Oberjura, schwäbische Fazies (Hy 10)

• regionaler Bedeutung

- Jungquartäre Flusskiese und -sande (Hy 5) (u. a. im Main-, Neckar-, Tauber-, Donau-, Enz- und Filstal)
- Obere Meeressmolasse (Hy 8)
- Oberkeuper und oberer Mittelkeuper (Hy 14)
- Gipskeuper und Unterkeuper (Hy 15)
- Oberer Muschelkalk (Hy 16)
- Unterer Muschelkalk (Hy 18)
- Mittlerer und Unterer Buntsandstein (Hy 20)

Grundwassergeringleiter

mit Grundwasservorkommen von überwiegend

• lokaler Bedeutung

- Quartäre Becken- und Moränensedimente (Hy 2)
- Junge Magmatite (Hy 6)
- Tertiär im Oberrheingraben (Hy 7)
- Übrige Molasse (Hy 9)
- Oberjura, raurazische Fazies (Hy 11)
- Oberjura, helvetische Fazies (Hy 12)
- Mittel- und Unterjura (Hy 13)
- Mittlerer Muschelkalk (Hy 17)
- Oberer Buntsandstein (Hy 19)
- Paläozoikum, Kristallin (Hy 21)
- Trias, ungegliedert (Hy 22) (tektonische Randschollen im Oberrheingraben)

Literatur

EU-WRRL (1997): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. – ABI. EG L 327, 43. Jg., 22. Dezember 2000.



- KRUSEMAN, G.P. & DE RIDDER, N.A. (1973): Untersuchung und Anwendung von Pumpversuchsdaten. – 170 S.; Köln (Müller).
- LGRB (2002): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 30 S., 5 Tab., 15 Kt., 11 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- (2005): Hydrogeologische Grundlagen für eine Optimierung der Trinkwasserversorgung aus Grundwasser. – LGRB-Ber. i. A. des UVM: 26 S., 3 Abb., 5 Tab., 1 Kt. 10 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- STRAYLE, G., STOBER, I. & SCHLOZ, W. (1994): Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen. – Inf. 6: 1 – 114, 65 Abb., 11 Tab.; Freiburg i. Br.
- WG (2005): Wassergesetz für Baden-Württemberg. – Bekanntmachung i. d. F. vom 20.01.2005 (GBl. Nr. 5, 30. März 2005): 219 – 273; Stuttgart.
- WHG (2002): Wasserhaushaltsgesetz – WHG – Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts. Bekanntmachung i. d. F. vom 23. August 2003 (BGBl. I, Nr. 59): 3245 – 3266; Bonn.



5 Geogene Grundwassertypen

5.1 Einführung

In der Karte der geogenen Grundwasserbeschaffenheit sind Grundwassertypen dargestellt, wie sie in den verschiedenen Gesteinen oberflächennah bei geringer anthropogener Belastung, einer Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag und den jeweils typischen mittleren Verweilzeiten auftreten. Der Grundwassertyp wird in diesen Fällen mit Ausnahme der geringmineralisierten Wässer überwiegend durch die mineralogische Zusammensetzung der Bodengase und des Kontaktgesteins bestimmt.

Bei der Passage durch den Untergrund gelangen als Folge von chemischen Reaktionen zwischen Wasser und Bodengasen sowie zwischen Wasser und Gestein gelöste Substanzen in das Grundwasser (Abb. 5.1-1). Je nach Zusammensetzung der Bodengase und mineralogischen Bestandteilen des Gesteins bilden sich dabei unterschiedliche chemische Grundwassertypen. Soweit ausschließlich bzw. überwiegend natürliche Prozesse beteiligt sind, werden diese als geogene Grundwassertypen bezeichnet.

Nahezu überall enthält das Grundwasser heute auch Substanzen, die auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind. Der Anteil dieser anthropo-

genen Komponente lässt sich abschätzen, wenn die geogene Grundwasserbeschaffenheit mit ausreichender Genauigkeit bekannt ist (SCHENK 2003).

5.2 Grundlagen und Methoden

5.2.1 Datenauswahl

Ziel des hier verwendeten Verfahrens ist es, die Grundwässer in den verschiedenen Gesteinen nach ihrer geogenen Beschaffenheit zu klassifizieren. Die dafür ermittelten charakteristischen Konzentrationen lassen sich jedoch nur bedingt als natürliche Hintergrundwerte zur Definition eines weitgehend anthropogen unbeeinflussten Grundwassers verwenden, da der ausgewertete Datensatz zu heterogen ist.

Verfahren zur Trennung geogener/anthropogener Einflüsse im Grundwasser sind in LfU (1994), Bayerisches GLA (2003) und KUNDEL et al. (2002, 2004) beschrieben. Für die Erstellung der „Karte der Geogenen Grundwassertypen“ wird die Konzentration bestimmter anthropogener „Leitparameter“ genutzt (Nitrat für die Belastung aus der Landwirtschaft, Chlorid für urbane Einflüsse), mit deren Hilfe die Analysen anthropogen stärker beeinflusster Grundwässer aussortiert werden. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass die verwendeten Leitparameter selbst nur noch sehr eingeschränkt interpretiert werden können. Um die Analysen tiefer Grundwässer auszusortieren, wird eine maximale Aufschlusstiefe der Probenahmestelle von 100 m vorgegeben.

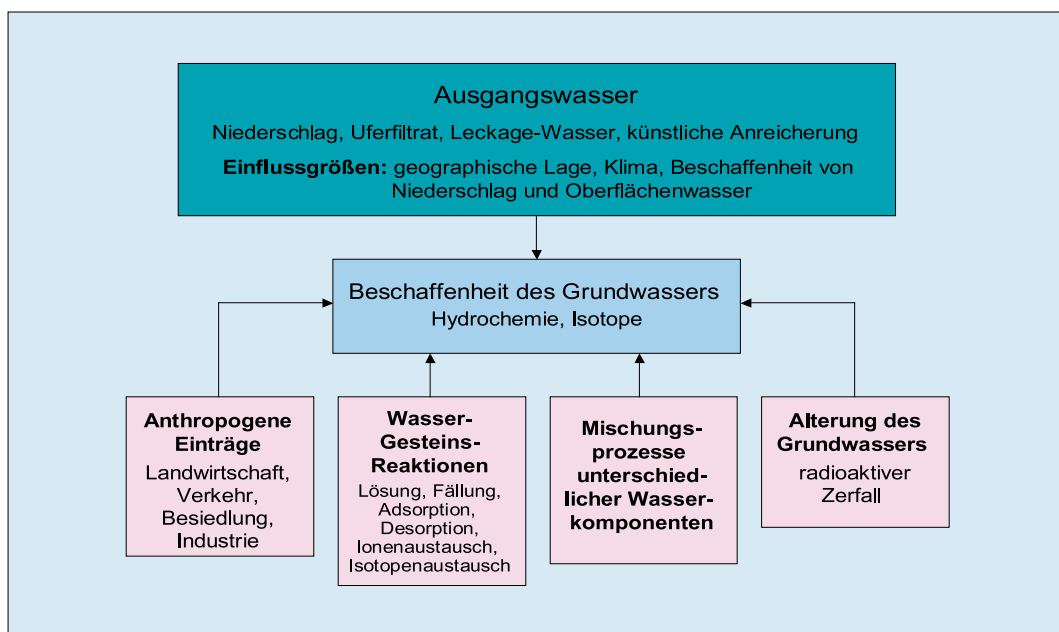


Abb. 5.1-1 Übersicht über wichtige Prozesse, die die Grundwasserbeschaffenheit beeinflussen können.

Ausgewertet wurden die Grundwasseranalysen der Labordatenbank des Regierungspräsidiums Freiburg, Abt. 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, ergänzt um die Analysen der Basismessstellen der LUBW (früher LfU), Messkampagne 1994. Mit folgendem Filter wurde recherchiert: Chloridgehalt < 20 mg/kg und Nitratgehalt < 20 g/kg und Aufschlusstiefe < 100 m. Insgesamt erfüllten etwa 800 Analysen diese Bedingungen. Der ermittelte Datensatz spiegelt oberflächennahe Grundwässer mit überwiegend geogener Grundwasserbeschaffenheit wider.

5.2.2 Hydrogeochemische Klassifikation

Für die hydrogeochemische Klassifikation der Wässer wurden einerseits der Gesamtlösungsinhalt, andererseits die relative Verteilung der Hauptinhaltsstoffe verwendet.

Für die hydrogeochemische Typisierung wurden 17 hydrogeochemische Einheiten definiert (Tab. 5.2-1). Dabei handelt es sich um Gesteinseinheiten, die

eine gleiche oder ähnliche petrographische Zusammensetzung aufweisen und deshalb jeweils einen einheitlichen geogenen Grundwassertyp erwarten lassen. Sie basieren auf den hydrogeologischen Einheiten (Tab. 5.2-1). Für die Auswertung wurden nur solche Analysen verwendet, die sich eindeutig einer dieser Einheiten zuordnen lassen.

Für die hydrogeochemischen Einheiten wurden anhand der ausgewählten Analysen für die wichtigsten Kationen und Anionen (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃) sowie für den Lösungsinhalt jeweils die Medianwerte bestimmt. Im Vergleich zu arithmetischen Mittelwerten sind diese weniger empfindlich gegenüber Ausreißern. Die mediane Zusammensetzung charakterisiert die geogene Grundwasserbeschaffenheit in den hydrogeochemischen Einheiten, besitzt jedoch keine stöchiometrisch ausgeglichene Ionenbilanz. Als repräsentativ für die jeweilige hydrogeochemische Einheit wurde deshalb die Analyse ermittelt, die den geringsten euklidischen Abstand zu der jeweiligen medianen Zusammensetzung aufweist.

Tab. 5.2-1 Repräsentative Analysen für die verschiedenen hydrogeochemischen Einheiten: n = Stichprobenumfang, Angaben der Konzentrationen in **mmol(eq)/kg**, Gesamtlösungsinhalt (TDS) in mg/kg.

Hydrogeochemische Einheit	n	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl *	SO ₄	NO ₃ *	TDS
Jungquartäre Flusskiese und Sande (Schichtstufenland, Schwarzwald, Odenwald) **	14	4,76	0,52	0,16	0,02	4,64	0,28	0,21	0,22	423
Becken- und Moränensedimente	14	4,12	1,45	0,12	0,01	5,07	0,09	0,37	0,27	450
Quartäre Kiese und Sande (Alpenvorland, Oberrheingraben)	121	4,29	1,21	0,63	0,04	4,97	0,38	0,77	0,14	479
Tertiäre Sedimentgesteine	26	4,48	1,14	0,12	0,02	4,87	0,13	0,43	0,26	445
Junge Magmatite ***	0									
Oberjura	266	5,12	0,46	0,12	0,01	5,12	0,18	0,18	0,18	450
Mittel- und Unterjura	49	5,44	0,93	0,44	0,07	5,25	0,47	0,58	0,23	512
Oberkeuper und oberer Mittelkeuper	78	3,39	2,22	0,23	0,03	5,04	0,16	0,60	0,15	453
Gipskeuper	19	4,02	2,08	0,32	0,03	5,30	0,56	0,47	0,13	488
Unterkeuper	19	3,99	3,37	0,30	0,10	5,90	0,51	0,92	0,06	558
Oberer Muschelkalk	19	3,49	1,73	0,20	0,03	4,81	0,31	0,10	0,11	412
Mittlerer Muschelkalk	7	6,10	3,56	0,23	0,06	7,36	0,82	1,74	0,09	740
Unterer Muschelkalk	5	3,86	0,51	0,44	0,07	3,46	0,51	0,58	0,32	373
Buntsandstein	138	0,32	0,39	0,07	0,04	0,27	0,08	0,22	0,16	53
Trias, undifferenziert ***	0									
Sedimentäres Paläozoikum	8	0,28	0,12	0,07	0,05	0,29	0,05	0,16	0,07	42
Kristallin	66	0,24	0,13	0,15	0,02	0,36	0,04	0,08	0,06	42

* Konzentration durch vorausgegangene Selektion beeinflusst

** wegen großer Variabilität nur bedingt repräsentativ

*** keine Analysen vorhanden



Die Klassifikation dieser repräsentativen Analysen erfolgt schließlich nach den prozentualen Anteilen an Kationen und Anionen (als mmol[eq]-%). Bei Äquivalentanteilen über 20% ist das jeweilige Ion bei der Klassifikation namengebend (HÖLTING 1996).

5.3 Karteninhalt

Folgende **charakteristische Grundwassertypen** lassen sich in Baden-Württemberg unterscheiden und sind in der Karte der hydrogeochemischen Einheiten dargestellt:

- **Wässer mit geringem Lösungsinhalt** (etwa 50 bis 200 mg/kg): Diese Grundwässer kommen im Buntsandstein, in paläozoischen Sedimenten sowie in kristallinen Gesteinen (Magmatiten, Metamorphiten) vor. Charakteristisch für diese Gesteine ist, dass sie keine bzw. fast keine leichtlöslichen Mineralien enthalten. Bei oberflächennaher Zirkulation und geringer Verweilzeit werden deshalb Ionen nur in geringem Umfang durch Verwitterungsprozesse freigesetzt. Die Beschaffenheit des Grundwassers wird weitgehend von der Beschaffenheit des Neubildungswassers bestimmt, während der gesteinsbürtige Anteil der Mineralisation gering ist. Da Wasser-Gesteins-Reaktionen nur sehr langsam ablaufen, bleiben auch die mit dem Niederschlag eingetragenen Säuren weitgehend ungepuffert.

Da die Zusammensetzung des Neubildungswassers regionalen und lokalen Variationen unterworfen ist und bei den niedrigen Konzentrationen bereits geringe anthropogene Einträge ausreichen, den Grundwassertyp zu verändern, besitzen die Grundwässer dieses Grundwassertyps keine einheitliche chemische Charakteristik.

- **Wässer mit mittlerem Lösungsinhalt** (etwa 200 bis 700 mg/kg): Zu dieser Gruppe gehören einerseits die Ca-HCO₃-Wässer, andererseits die Ca-Mg-HCO₃-Wässer.
 - **Ca-HCO₃-Wässer** finden sich überall dort, wo Calcit in größerem Umfang im Gestein vorhanden ist, gesteinsbildend oder fein verteilt, z. B. als Porenzement, und keine weiteren leicht löslichen Mineralien in größerem Umfang vorkommen. Zu den hydrogeologischen Einheiten mit diesen Merkmalen gehören die Becken- und Mo-

ränensedimente, die quartären Kiese und Sande, die tertiären Sedimentgesteine, der Oberjura, der Mittel- und Unterjura sowie der Untere Muschelkalk.

Der Kontakt des Grundwassers mit dem Gestein führt hier zur Lösung von Calcit, wobei Calcium und Hydrogenkarbonat im Wasser angereichert werden. Limitierender Faktor ist das Löslichkeitsprodukt von Calcit.

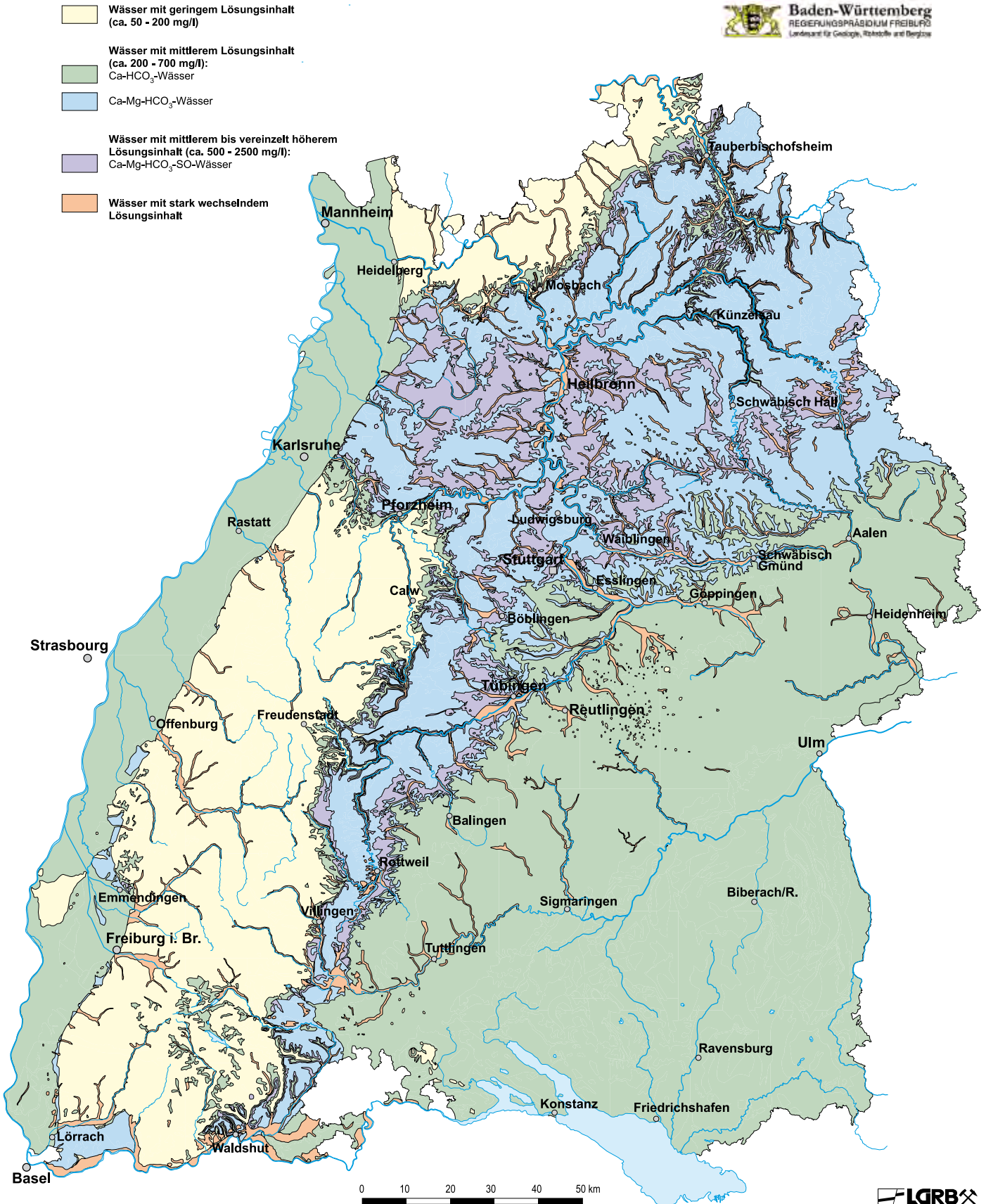
- **Ca-Mg-HCO₃-Wässer** finden sich überall dort, wo neben Calcit auch Dolomit in größerem Umfang am Gesteinsaufbau beteiligt ist. Solche Verhältnisse findet man im Oberkeuper und oberen Mittelkeuper, im Unterkeuper sowie im Oberen Muschelkalk. Auch die Trias ungegliedert wäre wohl hier am ehesten einzuordnen.

- **Wässer mit mittlerem bis vereinzelt höherem Lösungsinhalt** (etwa 500 bis 2500 mg/kg): Grundwässer dieser Gruppe sind hydrochemisch typischerweise **Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Wässer**. Dieser hydrogeochemische Grundwassertyp kommt in Gesteinen vor, die neben Karbonatmineralien (Calcit, Dolomit) auch leichtlösliche Sulphatsalze (Anhydrit, Gips) enthalten. Die Lösung der Sulphatsalze führt zu einem Anstieg der Konzentration von Calcium und Sulfat im Grundwasser. Hier wirkt die Löslichkeit von Gips und Anhydrit begrenzend.

Gesteine, in denen diese Bedingungen vorliegen, sind der Gipskeuper und der Mittlere Muschelkalk.

- **Wässer mit stark schwankendem Lösungsinhalt:** Grundwässer, die weder von ihrem Gesamtlösungsinhalt noch von ihrer Beschaffenheit klassifiziert werden können, findet man in den jungquartären Flussskiesen und -sandten. Diese Grundwasservorkommen werden einerseits durch Randzuflüsse aus dem angrenzenden Festgestein gespeist und stehen andererseits mit den oberirdischen Fließgewässern in den Tälern in hydraulischem Kontakt. Die Neubildung aus Niederschlag im Bereich der Talauen ist dagegen aufgrund der geringen Verbreitungsflächen weniger ausschlaggebend.

Da einerseits die Beschaffenheit der Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von den umgebenden Festgesteinen und der Beschaf-



Karte Geogene Grundwasserbeschaffenheit in Baden-Württemberg.



fenheit der oberirdischen Fließgewässer stark variiert, andererseits auch die mineralogische Zusammensetzung der Talsedimente je nach Liefergebiet verschieden ist, ist eine große Spannweite an hydrogeochemischen Grundwassertypen zu erwarten. Dies wurde auch durch die Auswertung bestätigt.

Grundwässer mit erhöhtem Chloridgehalt als Folge der Lösung von Steinsalz finden sich oberflächennah in der Regel nicht, da in dieser Position Steinsalz meist vollständig ausgelaugt ist und für Lösungsprozesse nicht mehr zur Verfügung steht.

5.4 Hinweise zur Nutzung der Karte

Die in der Karte dargestellte Klassifikation beruht auf Analysedaten, die nicht systematisch nach einheitlichen Vorgaben gewonnen wurden. Die Heterogenität lässt sich auch durch Prüfung der Ionenbilanz nicht völlig ausschalten. Aus diesem Grund wurden bei der Klassifikation nur die Hauptinhaltsstoffe berücksichtigt, da diese verlässliche Analyseergebnisse erwarten lassen.

Auch der gewählte Ansatz zum Ausschluss anthropogen belasteter Grundwässer muss als vorläufig bezeichnet werden. Er ist nur unter der Annahme gerechtfertigt, dass keine Grundwässer mit geogenen Konzentrationen von Nitrat und Chlorid über den Selektionskriterien (20 mg/l) auftreten und andererseits alle Grundwässer, die die Selektionskriterien erfüllen, auch nur anthropogen gering beeinflusst sind. Beide Bedingungen sind meist wohl nur näherungsweise und in wenigen Fällen auch nicht erfüllt.

Schließlich ist der Stichprobenumfang, der den einzelnen Auswertungen zugrunde liegt, sehr unterschiedlich. Für zwei Einheiten gab es keine Analysen, so dass ihre Einstufung anhand der Petrographie erfolgen musste.

Die Karte der geogenen Grundwassertypen ist unter Beachtung der oben genannten Einschränkungen zu verwenden. Die räumliche Auflösung entspricht der Auflösung der hydrogeologischen Übersichtskarte 1 : 500 000.

Literatur

- BGLA (2003): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns. – Bayer. GLA-Fachber., **22**; München.
- HÖLTING, B. (1996): Hydrogeologie. – 5., überarb. und erw. Aufl.: 441 S., 114 Abb., 46 Tab.; Stuttgart (Enke).
- KUNKEL, R. & HANNAPPEL, S., VOIGT, H.-J., WENDLAND, F. (2002): Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit ausgewählter hydrostratigraphischer Einheiten in Deutschland. – Abschlußbericht Vorhaben G 3.02: 97 S.; Jülich.
- & HANNAPPEL, S., VOIGT, H.-J., WENDLAND, F. (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. – Schr. FZ Jülich, Rh. Umwelt/Environment, **47**: 204 S.; Jülich.
- SCHENK, V. (2003): Natürliche Grundwasserbeschaffenheit – Definition und Abgrenzung gegen verwandte Begriffe. – Ztschr. Grundwasser, **8 (2)**: 122 – 124; Hannover.
- KERN, F.-J., STEINBRICH, A., KRENZKE, S. (2007): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg – Öffentliche Wasserversorgung – Wassergewinnung nach Wasserarten (Atlafel 7.2). – BMU (2001), 3. Lfg. 2007; Stuttgart












Abkürzungen

BGLA	B ayerisches G eologisches L andesamt
BGR	B undesanstalt für G eowissenschaften und R ohstoffe
BMU	B undes m inisterium für U mwelt, N aturschutz und R eaktorsicherheit
CKW	C hlorkohlen w asserstoff
DOC	Gelöster, organisch gebundener Kohlenstoff (d issolved o rganic c arbon)
EU-WRRL	E uropäische W asserrahmenrichtlinie
GLA	G eologisches L andesamt B aden- W ürttemberg (seit 07/1998: LGRB, seit 01/2005: RPF-LGRB)
GÜ 500	G eologische Ü bersichtskarte 1 : 500 000
GW	G rund w asser
HGE	H ydro g eologische E rkundung B aden- W ürttemberg
HGK	H ydro g eologische K arte von B aden- W ürttemberg
HÜ 500	H ydro g eologische Ü bersichtskarte 1 : 500 000
LA	L andesamt
LfU	Landesanstalt für U mweltschutz (seit 2006: LUBW)
LGRB	Landesamt für G eologie, R ohstoffe und B ergbau B aden- W ürttemberg (bis 06/1998: GLA, seit 01/2005: RPF-LGRB)
LRA	L andratsamt
LUBW	Landesanstalt für U mwelt, M essungen und N aturschutz B aden- W ürttemberg (seit 01/2006: Zusammenschluss aus LfU und UMEG)
LVBW	Landes v ermessungsamt B aden- W ürttemberg
MskA	M ittlere s andig- k iesige A bfolge
MGWL	M ittlerer G rund w asserleiter
OGWL	O berer G rund w asserleiter
OKL	O beres K ieslager
OksA	O bere k iesig- s andige A bfolge
OZH	O berer Z wischen h orizont
qBS	Breisgau-Formation (Q uartär: B reisgau- S chichten)
qN	Neuenburg-Formation (Q uartär: N eu e nburg- F ormation)
PSM	P flanzenschutz m ittel
REV	R epräsentatives E lementar v olumen
RPF	R egierungspräsidium F reiburg
RPF-LGRB	R egierungspräsidium F reiburg, A bteilung 9: L andesamt für G eologie, R ohstoffe und B ergbau (bis 12/2004: LGRB)
RV	R egional v erband
tBM	Brackwassermolasse (T ertiär: B rackwassermolasse)
UGWL	U nterer G rund w asserleiter
UKL	U nteres K ieslager
UMEG	Zentrum für U mwelt m essungen, U mwelt e rhebungen und G erätesicherheit
UssA	Untere sandig-schluffige Abfolge
UVM	U mwelt- und V erkehr m inisterium B aden- W ürttemberg (1996 – 2005)
UZH	U nterer Z wischen h orizont
WaBoA	W asser- und B oden a tlas B aden- W ürttemberg
WG	W assergesetz B aden- W ürttemberg
WHG	W asserhaushaltsgesetz

Informationen des Regierungspräsidium Freiburg · Abteilung 9

Bis Heft 9 Informationen des GLA – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg · Bis Heft 15
Informationen des LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg

 Heft 6 (1994)	Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen 114 S., 65 Abb., 11 Tab.	10,- €
 Heft 10 (2001)	Wechselwirkungen zwischen Baggerseen und Grundwasser 64 S., 42 Abb., 15 Tab., 1 CD-ROM	10,- €
 Heft 12 (1999)	Freiburg im Breisgau — Geologie und Stadtgeschichte 60 S., 28 Abb., 2 Tab., 1 Taf., Beilage: 2 Kt.	5,- €
 Heft 15 (2004)	Exotische Gehölze im Kirchheimer-Arboretum Freiburg 36 S., 48 Abb.	5,- €
 Heft 16 (2005)	Ingenieurgeologische Gefahren in Baden-Württemberg 79 S., 46 Abb.	10,- €
 Heft 17 (2005)	Ergebnisse neuer Forschungsbohrungen in Baden-Württemberg 150 S., 17 Abb., 7 Tab., 3 Taf.	10,- €
 Heft 18 (2006)	Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2006 202 S., 209 + 12 Abb., 15 Tab., 1 Kt.	10,- €
 Heft 19 (2007)	Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben (Baden-Württemberg) 130 S., 118 Abb., 12 Tab.	10,- €
 Heft 21 (2008)	Das Geologische Landesmodell von Baden-Württemberg: Datengrundlagen, technische Umsetzung und erste geologische Ergebnisse 82 S., 36 Abb., 3 Tab im Anh., 10 Beil.	15,- €

Preise zuzüglich Versandkosten.

Nicht aufgeführte Heft-Nummern sind zurzeit vergriffen.