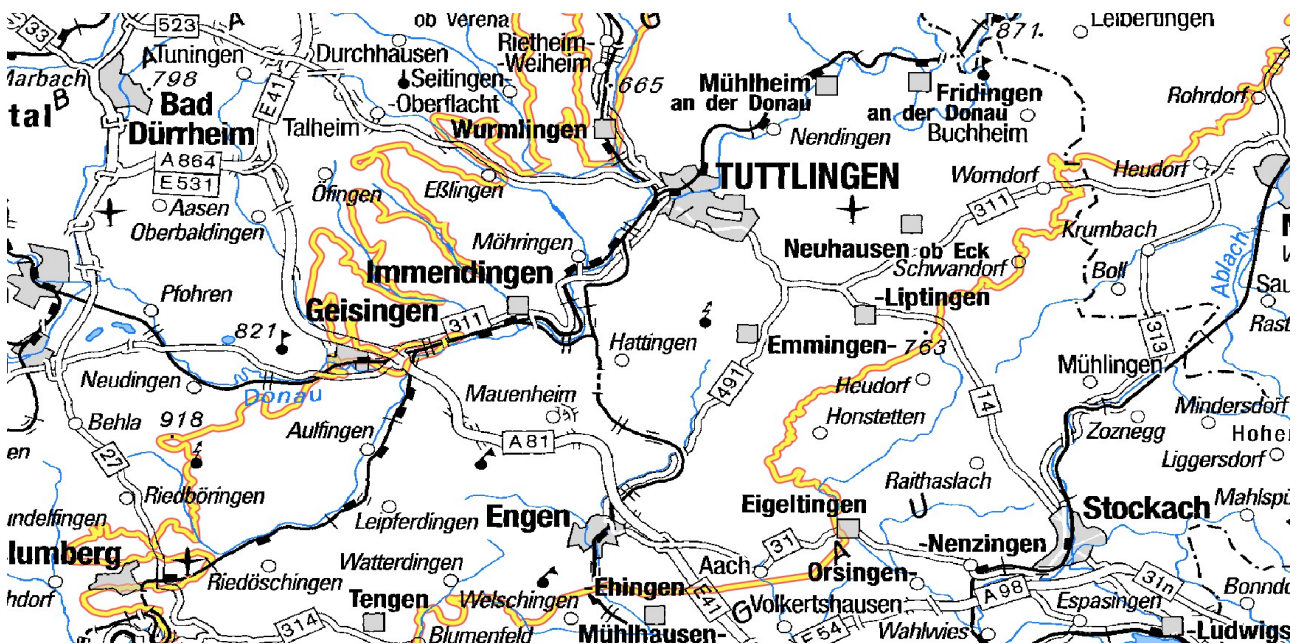


Grundwasservorkommen und Aquiferkennwerte

In der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegaualb und Klettgaualb gibt es sowohl Festgesteins- als auch Lockergesteinsgrundwasserleiter, in denen Grundwasser in unterschiedlicher Menge und hydrochemischer Beschaffenheit vorkommen kann. Die Aquiferkennwerte charakterisieren die hydraulischen Eigenschaften dieser Gesteine.

Die Verbreitung des obersten Grundwasserleiters



Überblick

Die wasserwirtschaftlich bedeutendsten Grundwasservorkommen der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegaualb und Klettgaualb befinden sich im großräumig verbreiteten Oberjura-Karstaquifer. Daneben gibt es weitere bedeutende Grundwasservorkommen im heutigen Donautal. Die Grundwasservorkommen in den sonstigen quartären Talablagerungen der Oberjura-Karstlandschaft sind mit Ausnahme des Aitrachtals wasserwirtschaftlich weniger bedeutend.

Kleinere schwebende Grundwasservorkommen gibt es

- schichtgebunden in den tertiären und quartären Deckschichten sowie
- lokal in bzw. über der stauenden Lacunosamergel-Formation und der bereichsweise stauenden Zementmergel-Formation.

Diese schichtgebundenen Grundwasservorkommen sind ebenso wie Grundwasservorkommen in tiefer liegenden Grundwasserleitern wasserwirtschaftlich von geringerer Bedeutung.

Die hydraulischen Eigenschaften eines Grundwasserleiters werden beschrieben durch die Aquiferkennwerte

- Speicherwirksamer Hohlraumanteil (n_e) und durchflusswirksamer Hohlraumanteil,
- Gebirgsdurchlässigkeit bzw. Transmissivität und
- Dispersivität.

Die Abflussrate und die Fließgeschwindigkeit im Aquifer werden zusätzlich durch den hydraulischen Gradienten (Grundwassergefälle) bestimmt.



Versuchsaufbau während eines Pumpversuchs zur Bestimmung von Aquiferkennwerten

Die Brunnenergiebigkeit beschreibt für einen Brunnen den gemessenen Absenkbetrag in Bezug auf die jeweilige Entnahmerate. Die Brunnenergiebigkeit ist nicht nur von den Aquifereigenschaften, sondern auch vom hydraulischen Anschluss des Bohrlochs an die grundwasserführenden Gesteinseinheiten und vom hydraulischen Widerstand des Brunnenbauwerks abhängig. Idealerweise wird die entnahmebedingte Absenkung bei Beharrungszustand der Grundwasseroberfläche angegeben. Mitunter wird der Absenkbetrag nach einer bestimmten Pumpzeit (z. B. 6 Stunden) für verschiedene Entnahmeraten verwendet, auch wenn die Grundwasseroberfläche noch keine Stationarität erreicht hat.

Die Parameter werden durch Pump- und Markierungsversuche ermittelt. Bei ausgeprägter Heterogenität des Grundwasserleiters, wie sie für den Oberjura-Karstaquifer vorliegt, ist die Parameterermittlung nur eingeschränkt möglich.

Oberjura-Karstaquifer

Aufgrund der petrographischen und lithofaziellen Unterschiede sowie der Verkarstung handelt es sich beim Oberjura-Karstaquifer um einen inhomogenen und anisotropen Grundwasserleiter. Dies beruht u. a. auf der unterschiedlich starken Klüftung in den Bank- und Massenkalken sowie deren unterschiedlicher Verkarstungsintensität. Dabei zeigen die Ergebnisse zahlreicher Wassererschließungen, dass die Massenkalke höhere Ergiebigkeiten aufweisen. Dies geht auf die höhere Verkarstungsanfälligkeit und damit auf größere Hohlräume in den Massenkalken zurück. Kennwerte des Oberjura-Karstaquifers werden u. a. von Villinger (1977) und Villinger (1997) beschrieben.

Markierungsversuche

Für die Erkundung der Grundwasserverhältnisse auf der Schwäbischen Alb sind Markierungsversuche von besonderer Bedeutung. Sie dienen dazu, wichtige Erkenntnisse über die Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit des Wassers im Untergrund zu gewinnen.



*Mit dem Markierungsstoff Uranin eingefärbtes
Oberflächengewässer*

Hierzu gibt man in der Regel an einer, seltener an mehreren Eingabestellen ein oder mehrere Markierungsstoffe (meist Uranin, Eosin oder Steinsalz) in den Untergrund ein und untersucht ihren Austritt an meist mehreren Beobachtungsstellen (Quellen, Brunnen, Grundwassermessstellen). Dabei sind sowohl die zeitliche Verteilung, als auch die Konzentration, in der der Markierungsstoff nachgewiesen wird, von Bedeutung. Im günstigsten Fall werden alle theoretisch möglichen Austrittsstellen beobachtet. Dies war aber bei den Markierungsversuchen auf der Schwäbischen Alb eher die Ausnahme.



Übertritt des mit Uranin markierten Wassers in einen Erdfall

Im Oberjura der Schwäbischen Alb wurden mehrere Hundert Markierungsversuche durchgeführt, die meisten im Zeitraum 1955 bis 1970. Die große Anzahl an Versuchen ist in der Verkarstung des Oberjura-Karstgrundwasserleiters begründet. Die hohen Fließgeschwindigkeiten in den Karststrukturen erlauben die Durchführung dieser Versuche trotz großer Einzugsgebiete in einem vertretbaren Zeitraum. Bei rund 90 % der Versuche erfolgte die Eingabe des Tracers an der Erdoberfläche. Oft wurden hierfür Dolinen genutzt, in anderen Fällen waren es Trockentäler mit Sickerstellen, Karstspalten, Schürfruben oder flache Bohrlöcher. Daneben erfolgten Farbeingaben auch in Kläranlagenausläufen, die in Dolinen versickerten oder kleinen, über dem Grundwasser schwebenden Oberflächengewässern mit Versickerungsstellen. Eine Farbeingabe erfolgte direkt im Blautopf-Höhlsystem (Lauber et al., 2013a; Lauber

et al., 2013b; Lauber et al., 2014).

Da der Markierungsstoff im Oberjura der Schwäbischen Alb meist in der vadosen Zone eingegeben wird, muss er zunächst eine mächtige ungesättigte Zone durchsickern. Um dies zu erreichen, erfolgte die Eingabe des Markierungsstoffs in gelöster Form. Daneben wurde sie immer von einer Vor- und Nachspülung mit Leitungswasser begleitet (HGE, 2010). Üblicherweise wurde die Eingabestelle zuvor auf ihre Eignung, d. h. auf eine ausreichende Schluckfähigkeit getestet. Die lange Sickerstrecke durch die vadosen Zone fällt bei der Auswertung der Markierungsversuche bei einer großen Entfernung zur Austrittsstelle in der Regel nicht allzu sehr ins Gewicht. Bei geringen Entfernungen kann die lange Passage durch die ungesättigte Zone für die Auswertung jedoch bedeutsam sein. Welche Auswirkungen die Intensität der Spülung auf die Sickergeschwindigkeit in der ungesättigten Zone und damit auf die Ergebnisse des Markierungsversuches haben kann, ist nicht bekannt. Allerdings gibt es auch keine Möglichkeit, das Fließregime der ungesättigten und gesättigten Zone getrennt voneinander zu untersuchen.

Markierungsversuche wurden auf der Schwäbischen Alb meist durchgeführt, um den Verbleib von versickerndem Abwasser zu untersuchen oder unterirdische Einzugsgebiete von Quellen und Brunnen abzugrenzen. Dies ist z. B. auch im Zusammenhang mit der Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten wichtig. Bis in die 1970er Jahre orientierten sich die meisten Versuche ausschließlich daran, hydraulische Verbindungen zwischen Eingabe- und Beobachtungsstellen zu erkunden. Deshalb wurden die Versuche oft mit dem Nachweis des Markierungsstoffs beendet und der Farbdurchgang nicht vollständig beobachtet.

Die Versuche sind ausschließlich für das Karstsystem repräsentativ. Sie erlauben keine Rückschlüsse auf die Klüfte, die ein weiteres Zirkulationssystem im Grundwasserleiter bilden. Markierungsversuche sind immer Momentaufnahmen. Grundwasserstand und Niederschlagsverhältnisse während des Versuchs sind maßgebliche, aber nicht immer kontrollierbare Einflussgrößen. Bleibt eine Beobachtungsstelle ohne Farbdurchgang, kann eine hydraulische Verbindung zur Eingabestelle deshalb nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden.

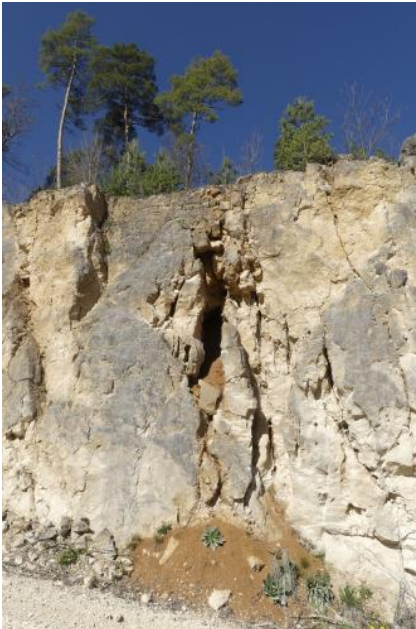
Im Gebiet der Westalb wurde eine große Anzahl an Markierungsversuchen zur Erkundung der hydrogeologischen Verhältnisse der Versinkungsstellen der Donau und im Zustrombereich des Aachtops durchgeführt (u. a. Selg, 2010; Käss, 2021). Die Versuche, die im Zeitraum 1969 bis 2001 durchgeführt wurden, wurden von Käss (2021) ausführlich dokumentiert.

Weitere Markierungsversuche im Gebiet der Westalb sind bei Schweizer & Franz (1994), Gwinner & Hafner (1995), Hahn (1968a) und Spitz (1930b) beschrieben.

Markierungsversuche, die in Baden-Württemberg durchgeführt werden, werden in der Markierungsversuchsdatenbank des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau dokumentiert.

Hohlraumanteil

Im Oberjura-Festgesteinsgrundwasserleiter bilden Trennfugen (Schichtfugen, Klüfte, Störungen) den weitaus bedeutendsten Hohlraumanteil. Andererseits tragen Gesteinsporen dazu bei, wobei der Lochfels eine Besonderheit im Oberjura darstellt (Matrixporosität). Hinzu kommen die unterschiedlich großen Lösungs- bzw. Karsthohlräume. Die Porosität der Kluft- und Karstfüllungen ist nur von untergeordneter Bedeutung.



Teilweise mit Karstlehm verfüllte Kluft in der Liegende-Bankkalk-Formation (Schotterwerk Martin Baur, Sigmaringen-Jungnau)

Es ist davon auszugehen, dass es verschiedene Kluftsysteme gibt, die sich in ihrer Durchlässigkeit und Porosität unterscheiden. Sie dürften in unterschiedlichem Umfang und mit unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten am Grundwasserumsatz beteiligt sein (Selg, 2008). Außerdem trägt möglicherweise die sogenannte Lochfels-Fazies bedeutend zur Speicherfunktion im Oberjura bei. Ihre gemessene Porosität in entsprechenden Gebirgsabschnitten beträgt bis zu 17 % (Kappes et al. 2007).

Auch die Lösungshohlräume haben nur einen geringen Anteil am Porenraum. Er macht nach Teutsch (1988) und Sauter (1992) lediglich ein Prozent der effektiven Porosität aus. Allerdings wurde der Wert nur aus Modellierungen abgeleitet. Dagegen haben die Lösungshohlräume als unterirdisches Drainagesystem flächendeckend eine sehr große Bedeutung.

Für den Oberjura-Karstgrundwasserleiter der Region Westalb, Hegaualb und Klettgaualb liegen keine Informationen über den Hohlraumanteil (n) vor. An Bohrkernen aus der Frankenalb wurden für Gesteine in Massenkalkfazies Werte zwischen $n = 0,02$ und $0,3$ bei einem Mittelwert von $n = 0,06$ ermittelt (HGK, 2002).

Für die Gesteine in gebankter Fazies sind keine gesicherten Daten verfügbar. Nach visuellen Befunden sind jedoch für größere Betrachtungsräume Durchschnittswerte von $n < 0,02$ zu erwarten.



Lösungshohlraum in der Liegende-Bankkalk-Formation, Schotterwerk Martin Baur, Sigmaringen-Jungnau

Der speichernutzbare Hohlraumanteil n_e wurde in der Mittleren Alb aus dem Entleerungsverhalten ausgedehnter Quelleinzugsgebiete mit ausreichender Grundwassermessstellendichte abgeschätzt (Strayle, 1970; Villinger, 1977). Er entspricht im ungespannten Zustand dem Speicherkoeffizienten S . Nach Strayle (1970) beträgt das nutzbare Hohlraumvolumen auf der Mittleren Alb zwischen Schmiecha-, Fehla- und Laucherttal zwischen 1,8 % und 3,3 % des Gesteinsvolumens. Villinger (1977) kam für das Gebiet auf einen mittleren Wert von 2 %. Dasselbe Verfahren liefert für das Einzugsgebiet der Buchbrunnenquelle im Egauwasserwerk der Ostalb, wie auch für andere Einzugsgebiete auf der Schwäbischen Alb einheitlich Werte um $n_e = 2$ % (Schloz, 1984a).

Das angewandte Verfahren liefert nur Werte für das nutzbare Hohlraumvolumen im Schwankungsbereich der heutigen Karstwasseroberfläche. Villinger (1977) nimmt an, dass das nutzbare Hohlraumvolumen erst unterhalb der vorrißzeitlichen Karstwasseroberfläche und dem entsprechenden Verkarstungsniveau abnimmt. Er geht davon aus, dass dies in der Nähe der Donau bzw. ihres vorrißzeitlichen Verlaufs in mindestens 60 m Tiefe unter dem heutigen Donauniveau der Fall sein dürfte. Die Tiefe verringert sich mit zunehmender Entfernung von der Donau nach Norden unter dem jeweiligen lokalen Vorflutniveau. Villinger (1977) vermutet, dass das nutzbare Hohlraumvolumen im tiefphreatischen Bereich abnimmt und unter der Verkarstungsuntergrenze gegen Null geht.

Während also für den Bereich nördlich der Donau für den gesamten Aquifer ein nutzbares Hohlraumvolumen von 1,5 bis 2 % anzunehmen ist, dürfte es in der Überdeckten Zone südlich der Donau im Durchschnitt deutlich geringer sein. Dort treten nämlich der hochphreatische Bereich und der vados-phreatische Grenzbereich nur randlich auf. Villinger (1977) nimmt hier Werte von vielleicht 1 % oder 0,5 % an.

Generell sind jedoch infolge der unterschiedlichen Verkarstungsintensität starke Schwankungen des nutzbaren Hohlraumvolumens zu erwarten.

Der durchflusswirksame Hohlraumanteil des Gebirges n_f , der für das Transportverhalten im Aquifer maßgeblich ist, wird im Allgemeinen aus Markierungsversuchen ermittelt. Wegen der langen Fließstrecken mit wechselnden und generell heterogenen Verhältnissen ist dies jedoch für den Karstgrundwasserleiter der Region Westalb, Hegaualb und Klettgaualb meist nicht möglich.

Transmissivität, Gebirgsdurchlässigkeit

Die Gebirgsdurchlässigkeit wird insbesondere von der Durchlässigkeit der Trennfugen und der Karsthohlräume und zusätzlich von der Gesteinsdurchlässigkeit bestimmt. Aus Pumpversuchen wird die auf die Aquifermächtigkeit bezogene Profildurchlässigkeit, die Transmissivität T , ermittelt. Daraus wird indirekt über die beim Pumpversuch hydraulisch wirksame Teststrecke H der Durchlässigkeitsbeiwert k_f berechnet. Wegen der ausgeprägten Inhomogenitäten ist die Festlegung von H besonders bei verkarsteten Festgesteinen problematisch. Zur Charakterisierung der Leiteigenschaften von Festgesteinen wird deshalb vorrangig der T -Wert verwendet.

In der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegaualb und Klettgaualb gibt es lediglich die Bisellibrunnen 1 und 2 (WSG Heuberg, LGRB-Archiv-Nr. BO7919/209 und 210), aus denen ausschließlich aus dem Oberjura Grundwasser in größerem Umfang zur Trinkwassergewinnung genutzt werden. Dementsprechend selten sind Pumpversuche aus Brunnen im Oberjura mit verlässlichen Angaben zu hydraulischen Kennwerten.

Im TB IV Fridingen (LGRB-Archiv-Nr. BO7919/28) wird sowohl Grundwasser aus der quartären Talfüllung als auch aus dem Oberjura gewonnen. Ein 10-tägiger Pumpversuch aus diesem Brunnen lieferte eine Transmissivität von $T = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und ein nutzbares Porenvolumen von 0,15. Der TB I Ried (LGRB-Archiv-Nr. BO8416/23) ist ebenfalls im Quartär und im Oberjura verfiltert.

Auswerteergebnisse aus Pumpversuchen in der Mittleren Alb und der Ostalb zeigen, dass hohe Gebirgsdurchlässigkeiten insbesondere in den Massenkalken und dort besonders im Lochfels auftreten.

Fließgeschwindigkeit

Die Fließgeschwindigkeit des Karstgrundwassers kann entweder aus Markierungsversuchen bestimmt oder aus der Mittleren Verweilzeit der Karstwässer abgeleitet werden (u. a. Villinger, 1977). Charakteristisch für den Oberjura-Karstgrundwasserleiter sind hohe Abstandsgeschwindigkeiten bei Markierungsversuchen.

Die maximale Abstandsgeschwindigkeit v_{max} , wird aus der Differenz zwischen dem Erstrnachweis des Markierungsstoffs an der Beobachtungsstelle und dem Zeitpunkt der Einbringung des Markierungsstoffs an der Eingabestelle bestimmt. Die modale oder dominante Abstandsgeschwindigkeit v_{cmax} wird für den Zeitpunkt des Konzentrationsmaximums an der Beobachtungsstelle ermittelt. Die Bestimmung der medianen Abstandsgeschwindigkeit v_{med} (Zeitpunkt, zu dem 50 % des Tracerdurchgangs die Beobachtungsstelle passiert haben) sowie der mittleren Abstandsgeschwindigkeit (Mittel aller Einzelgeschwindigkeiten) machen einen vollständig beobachteten Farbdurchgang erforderlich. Dies ist nur selten der Fall.

Zur Untersuchung des Donau-Aach-Systems wurden im Zeitraum 1868 bis 2001 41 Markierungsversuche durchgeführt, die von Käss (2021) dokumentiert wurden.

Für die Fließstrecke von Immendingen/Brühl bis zur Aachquelle gibt Käss (2021) eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers von 188 m/h bei einem Gefälle von 14,5 ‰ an. Für die Strecke Fridingen bis zur Aachquelle beträgt die mittlere Abstandsgeschwindigkeit 146 m/h, bei einem deutlich niedrigeren Gefälle der Grundwasseroberfläche von 7,7 ‰.

Die Auswertung der Markierungsversuchsergebnisse mit Austritten in der Aachquelle lieferte Abstandsgeschwindigkeiten um 200 m/h (Interreg IIIA, 2008). Sie sind damit ungefähr doppelt so hoch wie die Abstandsgeschwindigkeiten, die aus Markierungsversuchen auf der gesamten Schwäbischen Alb (Mittlere Alb, Ostalb) ermittelt wurden.

Ergebnisse der Auswertungen von Markierungsversuchen mit Austritten in der Aachquelle (Interreg IIIA, 2008)

	Entfernung [km]	V_{max} [m/h]	V_{dom} [m/h]	V_{dom}/V_{max} [-]
Mittelwert	13,2	261	182	0,79
Median	11,8	234	170	0,83
Standardabweichung	3,5	133	95	0,14

Im Vergleich zu den meisten Versuchen im Oberjura-Karst, bei denen die Farbe in der vadosen Zone (z. B. in Dolinen) eingegeben wurde, wurden die Tracer bei der Untersuchung des Donau-Aach-Systems in mehreren Fällen direkt in Versinkungsstellen der Donau eingebracht. Die hohen Fließgeschwindigkeiten werden deshalb einerseits auf ausgeprägte Fließwege im Karstsystem, andererseits aber auch auf die „permanente Nachspülung“ durch die Donauversinkung zurückgeführt.

Weitere Markierungsversuche in der Region werden u. a. von Hahn (1968a) und Schweizer & Franz (1994) beschrieben.

Dispersivität

Die Dispersivität α [m] beschreibt die Ausbreitung einer gelösten Substanz beim Transport im Grundwasser. Sie ist die Folge der molekularen Diffusion, der korngerüstbedingten Dispersion und der Makrodispersion. Dabei ist die Dispersion für den Stofftransport im Grundwasser viel bedeutender als die Diffusion.

Es wird zwischen der longitudinalen Dispersion und der transversalen Dispersion unterschieden. Die longitudinale Dispersion beschreibt den Vermischungseffekt in Fließrichtung, die transversale den Vermischungseffekt senkrecht dazu. Die longitudinale Dispersion D_L ist das Produkt aus longitudinaler Dispersivität α_L und effektiver Fließgeschwindigkeit u . Die Dispersionsvorgänge zeichnen sich bei Markierungsversuchen in der Form der Tracerdurchgangskurven an Austrittsstellen ab.

Die Dispersivität repräsentiert die für die Dispersion maßgeblichen Inhomogenitäten des durchströmten Grundwasserleiters. Sie ist eine gesteinspezifische Kenngröße für den Ausbreitungsvorgang und hängt von der Gestalt und Verteilung der Hohlräume, der Durchlässigkeit und der Potenzialverteilung ab. Sie ist unabhängig von der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers.

Aus Markierungsversuchen im Festgestein kann meist nur die longitudinale Dispersivität α_L ermittelt werden (Makrodispersivität infolge heterogener Verkarstung).

Die longitudinalen Dispersivitäten, die für den Oberjura der gesamten Schwäbischen Alb aus Markierungsversuchen ermittelt wurden, schwanken etwa zwischen $\alpha_L = 1$ m und $\alpha_L = 500$ m. Eine Zuordnung der Versuche zu bestimmten Faziesbereichen ergab deutlich größere longitudinale Dispersivitäten in Gebieten mit überwiegend Massenkalk (Mittelwert $\alpha_L = 175$ m) im Vergleich zu Gebieten mit überwiegend Bankkalken (Mittelwert $\alpha_L = 49$ m) (Jakowski, 1995; HGK, 2002).

Ergiebigkeit

Die große Variationsweite der spezifischen Ergiebigkeiten Q/s von Karstgrundwasseraufschlüssen im Oberjura ist in erster Linie Ausdruck eines unterschiedlich guten Anschlusses der Bohrungen an die durchlässigen Zonen im Aquifer. Sie spiegelt damit die Inhomogenität des Oberjura-Karstgrundwasserleiters wider. Daneben wirken sich noch eine vollkommene bzw. unvollkommene Erschließungstiefe des Aquifers und unterschiedliche Eintrittswiderstände aus.

In den vom Zweckverband Hohenberggruppe genutzten Bisellibrunnen 1 und 2 (WSG Heuberg, LGRB-Archiv-Nr. BO7919/209 und 210) wurde im November 1965 der Wasserspiegel bei einem Pumpversuch mit einer Entnahme von ca. 100 l/s aus dem Brunnen 1 um 6 m abgesenkt. Die gleichzeitige Absenkung im lediglich zwei Meter entfernten Brunnen 2 lag bei nur 0,3 bis 0,4 m. Beim Pumpversuch aus beiden Fassungen mit einer gleichzeitigen Entnahme von zusammen 125 l/s (70 bzw. 55 l/s) betrug die Absenkung in Fassung 1 10,5 m und in Fassung 2 8,8 m. Gleichzeitig fiel der benachbarte Teich trocken (Gwinner & Hafner, 1995).

Quartäre Kiesgrundwasserleiter

Quartäre Kiesgrundwasserleiter gibt es im Donautal, den Tälern der Oberjura-Karstlandschaft und im Aitrachtal.

Donautal

Die holozäne Kiesfüllung des heutigen Donautals ist meist bis wenige Dezimeter bis Meter unter die Geländeoberfläche von Grundwasser erfüllt.

Hohlraumanteil

Für das Donautal in der Westalb und Hegualb liegen keine Informationen zum Hohlraumanteil der quartären Talfüllung vor.

Für die Brunnen im Donautal der Mittleren Alb wurden aus der Auswertung von Pumpversuchen Speicherkoeffizienten zwischen 0,06 und 0,09 ermittelt. Da das Grundwasser im Donautal meist nicht gespannt ist, entspricht dies dem (speicher)nutzbaren Hohlraumanteil.

Transmissivität, Gebirgsdurchlässigkeit

Bei einem Pumpversuch im Erschließungsgebiet Riedgraben der Wasserversorgung Tuttlingen wurde eine Transmissivität von ca. $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ermittelt. Bei einer Versuchsbohrung nördlich von Nendingen (LGRB-Archiv-Nr. BO7919/2, ca. 2 Kilometer östlich vom Gewann „Riedgraben“) ergab ein Pumpversuch eine ähnliche Transmissivität von ca. $8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (Gwinner & Hafner, 1995).

Damit bewegen sich die Transmissivitäten des Kiesaquifers in einer ähnlichen Größenordnung wie in dem östlich anschließenden Donautalabschnitt der Hydrogeologischen Region Mittlere Alb.

Fließgeschwindigkeit

Die natürliche Fließgeschwindigkeit des Grundwassers in den Donaueschottern östlich von Tuttlingen ist relativ hoch. Sie liegt zwischen 9 m/Tag und 25 m/Tag (Gwinner & Hafner, 1995).

Ergiebigkeit

Die Ergiebigkeit der Brunnen im Donautal schwankt stark.

Bei einem gleichzeitigen Pumpversuch in den Brunnen 2 bis 4 Fridingen wurde bei Entnahmen von jeweils 5 l/s (Br. 2 und Br. 3) bzw. 4,8 l/s (Br. 4) der Grundwasserspiegel um 2,66 m in Br. 2, 0,72 m in Br. 3 und 2,79 m in Br. 4 abgesenkt (Pumpversuch vom 06. bis 25.11.1985, Gwinner & Hafner, 1995).

Bei den Trinkwasserfassungen „Riedgraben“ der Stadt Tuttlingen betragen die geringsten Ergiebigkeiten 34 l/s (Winter 1962/63 und Sommer 1976), die maximale Ergiebigkeit wird mit 140 l/s angegeben (Gwinner & Hafner, 1995).

Täler der Oberjura-Karstlandschaft

In den Tälern der Oberjura-Karstlandschaft bilden fluviatil umgelagerte Oberjuragerölle aus Hangschutt mit Schluffeinlagerungen einen geringmächtigen, wechselnd durchlässigen Porengrundwasserleiter.

Transmissivität, Gebirgsdurchlässigkeit

Ein 10-tägiger Pumpversuch im Brunnen 4 Fridingen (LGRB-Archiv-Nr. BO7919/28) lieferte eine Transmissivität von $T = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und ein nutzbares Porenvolumen von 0,15. Er liegt im Bäratal und ist sowohl in der quartären Talfüllung als auch im Oberjura verfiltert. Die rechnerisch ermittelte natürliche Fließgeschwindigkeit des Grundwassers beträgt 2,9 m/Tag (Gwinner & Hafner, 1995).

Für den Schachtbrunnen Waltersheim im Lippachtal wurde eine vergleichsweise hohe Ergiebigkeit von ca. 20 l/s ermittelt (Gwinner & Hafner, 1995).

Aitrachtal

Das Grundwasser im Kiesaquifer des Aitrachtales wird durch mehrere Brunnen zur öffentlichen Trinkwasserversorgung genutzt.

Transmissivität, Gebirgsdurchlässigkeit

Die Transmissivitäten des Kiesgrundwasserleiters im Aitrachtal liegen zwischen $T = 1,1 \cdot 10^{-2}$ und $4,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, die Durchlässigkeitsbeiwerte (kf-Werte) im Bereich von $k_f = 1,4 \cdot 10^{-4}$ und $6,3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Höhere Durchlässigkeiten treten vor allem im Umfeld von Quellaustritten oder Grundwasseraufbrüchen auf (Franz & Rohn, 2004).

Fließgeschwindigkeit

Das natürliche Grundwassergefälle i_0 variiert im Aitrachtal im Zustrombereich der Brunnen I bis VI des Zweckverbandes Wasserversorgung Unteres Aitrachtal und des Tiefbrunnen Einöde der Stadt Blumberg zwischen $i_0 = 0,002$ und $0,004$. Bei einem angenommenen durchflusswirksamen Porenvolumen von $p = 0,1$ beträgt die mittlere Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers u_0 im Zustrombereich der Brunnen $u_0 = 3,5\text{--}9,0 \text{ m/Tag}$. Eine Ausnahme bildet der Brunnen TB IV. Dort beträgt die Abstandsgeschwindigkeit aufgrund der hohen Durchlässigkeit der Kiese $16,3 \text{ m/Tag}$ (LGRB, 2002e).

Ergiebigkeit

Das gesamte nutzbare Grundwasserdargebot im Porengrundwasserleiter des unteren Aitrachtales wird auf etwa 100 l/s geschätzt. Davon entnehmen die Brunnen I bis VI des Zweckverbandes Wasserversorgung Unteres Aitrachtal und der Tiefbrunnen Einöde der Stadt Blumberg ca. 50 l/s .

Bei mehreren Pumpversuchen in Brunnen des Aitrachtales wurden folgende Ergiebigkeiten ermittelt (Franz & Rohn, 2004).

Ergiebigkeiten der Brunnen im Aitrachtal

Bezeichnung des Brunnens	LGRB-Archiv-Nr.	Entnahmerate [l/s]	Absenkung [m]
	LGRB-PV-Nr.		
TB Köhre II neu, Blumberg	BO8117/335	20	4,06
	01604		
TB Allmend, Blumberg	BO8117/5	20	3,35
TB II Zweckverband WV Unt. Aitrachtal	BO8117/2	16	4,55
	2074		
TB III Zweckverband WV Unt. Aitrachtal	BO8117/100	16,2	2,3
	1403		
TB IV Zweckverband WV Unt. Aitrachtal	BO8117/23	20	2,58
	2037		
Einöde Zweckverband WV Unt. Aitrachtal	BO8117/22	15	1,87
	1579		

Schwebende Grundwasservorkommen im Oberjura

Neben dem großflächig zusammenhängenden Karstgrundwasser gibt es über stauenden Zwischenschichten lokal schwebendes Schichtgrundwasser. Dies ist z. B. stellenweise über der Lacunosamergel-Formation und in bzw. über der Zementmergel-Formation der Fall. Je nach Lage und Ausdehnung der stauenden Zwischenschicht entwässert das Schichtgrundwasser unterirdisch in das tiefere Karstgrundwasser oder tritt in meist nur schwach oder saisonal schüttenden Schichtquellen zutage.

Schichtgrundwasser in tertiären und quartären Deckschichten

Neben schwebenden Grundwasservorkommen im Oberjura gibt es auch lokal Schichtgrundwässer in durchlässigeren Einschaltungen der ansonsten meist gering durchlässigen tertiären und quartären Deckschichten über dem Karstgrundwasserleiter. Die Abflüsse versinken entweder breitflächig randlich in den Karstgrundwasserleiter oder treten in zeitweise oder ständig fließenden Quellen mit geringer Schüttung zu Tage. Diese Quellbäche versickern häufig ebenfalls nach kurzer Fließstrecke im Karst.

Schichtgrundwässer im Tertiär gibt es

- in den porösen und klüftigen Süßwasserkalkbänken der Oberen Süßwassermolasse (tOS),
- in der Graupensandrinne und im Albstein der Oberen Brackwassermolasse (tOB),
- in den klüftig-porösen Süßwasserkalken und Sanden der Unteren Süßwassermolasse (tUS).

Bei den Quellaustritten aus dem quartären Hangschutt wird der eigentliche Quellaustritt aus den Oberjuragesteinen durch Umlagerungssedimente überdeckt. Das Quellwasser tritt dann erst tiefer am Hang aus dem Hangschutt aus.

Tiefe Grundwasservorkommen

Tiefere Grundwasserstockwerke gibt es in der Westalb und Hegualb in der Eisensandstein-Formation, der Löwenstein-Formation (früher: Stubensandstein), im Oberen und Mittleren Muschelkalk und im Buntsandstein. Sie können grundsätzlich Mineral- und Thermalwässer sowie Säuerlinge enthalten. Allerdings weist lediglich der Obere Muschelkalk eine höhere Ergiebigkeit auf.

Einen Überblick über die hydrogeologischen Verhältnisse im tieferen Untergrund des Gebietes zwischen Albvorland und dem oberschwäbischen Molassebecken gibt u. a. Ufrecht (2006a, 2018).

Mineral- und Thermalwässer

In der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegaualb und Klettgaualb wird nur das Thermalwasser des Oberen Muschelkalkes und der Diemel-Formation des Mittleren Muschelkalkes in Tuttlingen genutzt. (Schloz & Stober, 2002; Grimm et al., 2005). Es ist seit dem 05. Mai 2003 als Heilquelle staatlich anerkannt.

Die Erschließungen von Mineral- und Thermalwasser im Oberen Muschelkalk der Mittleren Alb (Bad Urach, Neu-Ulm, Bad Überkingen und Bad Ditzgenbach) belegen einen großflächig zusammenhängenden tiefliegenden Kluftgrundwasserleiter mit beträchtlicher Ergiebigkeit. Das Fließsystem ist auf den mittleren Neckar oder seine östlichen Nebenflüsse ausgerichtet. In südöstliche Richtung ist mit einer Verschlechterung der Grundwasserleitereigenschaften zu rechnen.

Die 644,25 m tiefe Thermalwasserbohrung Tuttlingen (LGRB-Archiv-Nr. BO8018/321) erschließt mit einer Filterstrecke zwischen 580,66 und 644,25 m Thermalwasser des Oberen Muschelkalkes und der Diemel-Formation des oberen Mittleren Muschelkalkes (Grimm et al., 2005).

Die mit 48,4 °C hohe Temperatur des Thermalwassers belegt eine geothermische Anomalie, die vermutlich mit dem tertiären Hegauvulkanismus in Verbindung gebracht werden kann (Grimm et al., 2005).

Bei einem Langzeitpumpversuch in der Thermalwasserbohrung Tuttlingen vom 17.12.1998 bis 23.03.1999 wurde eine Dauerergiebigkeit von 3–4 l/s ermittelt. In dieser Zeit wurde der Wasserspiegel bei einer Entnahmerate von 3,4 l/s vom Ruhewasserspiegel bei 318,4 m unter Messpunkt um 8,7 m abgesenkt, wobei sich annähernd stationäre Bedingungen eingestellt haben.

Die Auswertung des Pumpversuches lieferte eine vergleichsweise hohe Transmissivität T von $T = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Literatur

- Franz, M. & Rohn, J. (2004). *Erläuterungen zu Blatt 8117 Blumberg*. –3. Aufl., Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., VII+196 S., 2 Beil., Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg).
- Grimm, B., Franz, M., Kilger, B.-M., Lorenz, G. & Schmidt-Witte, H. (2005). *Die Thermalwassererschließung im Muschelkalk von Tuttlingen*. –Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br., 95(1), S. 189–212.
- Gwinner, M. P. & Hafner, G. (1995). *Erläuterungen zu Blatt 7919 Mühlheim an der Donau*. –Erl. Geol. Kt. Baden-Württ. 1 : 25 000, 139 S., 4 Beil., Freiburg i. Br. (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- HGE (2010). *Mittlere Alb – Mapped 4. Markierungsversuche, Abwassereinleitungen*. –Hydrogeologische Erkundung Baden-Württemberg, 71 S., 2 Karten, 1 CD-ROM, Tübingen (Regierungspräsidium Tübingen; Regierungspräsidium Freiburg – Abteilung 9 Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg).
- HGK (2002). *Ostalb*. –Hydrogeologische Karte Baden-Württemberg, 131 S., 10 Karten, 1 CD-ROM, Freiburg i. Br. (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg).
- Hahn, W. (1968a). *Erläuterungen zu Blatt 7920 Leibertingen*. –Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., 106 S., 8 Taf., 1 Beil., Stuttgart (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- Interreg IIIA (2008). *Grenzüberschreitende Bewirtschaftung des Grundwassers im Raum Hegau–Schaffhausen*. –Interreg IIIA Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein, Abschlussbericht, 85 S.
- Jakowski, A. E. (1995). *Ermittlung der Dispersion und anderer geohydraulischer Parameter aus Markierungsversuchen in Karst und Kluftgrundwasserleitern Baden-Württembergs*. –Diss. TH Darmstadt, 153 S., Darmstadt.
- Kappes, R., Rifai, H., Selg, M. & Wonik, T. (2007). *Carbonate porosities and pore types determined using NMR spectroscopy on the basis of examples from the Wilsingen karst borehole (Swabian Alb)*. –Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 158(4), S. 1011–1023.
- Käss, W. (2021). *Das Donau-Aach-System: Die Versickerung der Oberen Donau zwischen Immendingen und Fridingen (Südwestdeutscher Jurakarst)*. –Geologisches Jahrbuch, Reihe A, 165, 270 S., 2 Anl., Hannover.
- LGRB (2002e). *Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Tiefbrunnen I, II, III (LfU-Nr. 58), IV, V (LfU-Nr. 82, 81) und VI (LfU-Nr. 62) des Zweckverbandes Wasserversorgung Unteres Aitrachtal, Landkreis Tuttlingen einschließlich der Engeren Schutzzone (Zone II) für den Tiefbrunnen Einöde (LfU-Nr. 151) der Stadt Blumberg Schwarzwald-Baar-Kreis*. 20 S., Freiburg i. Br. [unveröff.]
- Lauber, U., Goldscheider, N. & Ufrecht, W. (2013a). *Bericht zur Markierung von Ur-Blau und Nord-Blau – Neue*

Ergebnisse zur Karsthydrogeologie und Karsthydrographie im Einzugsgebiet des Blautopfs (Mittlere Schwäbische Alb). – Laichinger Höhlenfreund, 48, S. 3–38.

- Lauber, U., Ufrecht, W. & Goldscheider, N. (2013b). *Neue Erkenntnisse zur Struktur der Karstentwässerung im aktiven Höhlensystem des Blautopfs.* – Grundwasser, 18, S. 247–257, verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/s00767-013-0239-z>.
- Lauber, U., Ufrecht, W. & Goldscheider, N. (2014). *Spatially resolved information on karst conduit flow from in-cave dye tracing.* – Hydrology and Earth System Sciences, 18, S. 435–445, verfügbar unter <https://doi.org/10.5194/hess-18-435-2014>.
- Sauter, M. (1992). *Quantification and Forecasting of Regional Groundwater Flow and Transport in a Karst Aquifer (Gallusquelle, Malm, SW Germany).* – Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe C, 13, S. 1–150.
- Schloz, W. (1984a). *Erfahrungen bei Pumpversuchen im Tiefen Karst der östlichen Schwäbischen Alb.* – Laichinger Höhlenfreund, 19, S. 13–22.
- Schloz, W. & Stober, I. (2002). *Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Säuerlinge in Baden-Württemberg.* – LGRB-Fachbericht, 2002-1, S. 1–15, 1 Kt., Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau).
- Schweizer, V. & Franz, M. (1994). *Erläuterungen zu Blatt 7819 Meßstetten.* – Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., 112 S., 1 Beil., Stuttgart (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- Selg, M. (2008). *Speichereigenschaften des Oberjura in Süddeutschland am Beispiel des Blautopf-Einzugsgebiets.* – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 52(2), S. 56–65.
- Selg, M. (2010). *Das Donau-Aach-System – Dynamik einer Flussversinkung.* – LGRB-Informationen, 25, S. 7–46.
- Spitz, W. (1930b). *Erläuterungen zu Blatt Möhringen (Nr. 122), württembergisch Tuttlingen (Nr. 160).* – Erl. Geol. Spezialkt. Baden, 107 S., Freiburg i. Br. (Badische Geologische Landesanstalt). [Nachdruck 1985, 1997: Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., Bl. 8018 Tuttlingen; Stuttgart]
- Strayle, G. (1970). *Karsthydrologische Untersuchungen auf der Ebinger Alb (Schwäbischer Jura).* – Jahreshefte des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg, 12, S. 109–206.
- Teutsch, G. (1988). *Grundwassermodelle im Karst: Praktische Ansätze am Beispiel zweier Einzugsgebiete im Tiefen und Seichten Malmkarst der Schwäbischen Alb.* – Diss. Univ. Tübingen, 205 S., Tübingen.
- Ufrecht, W. (2006a). *Zur Hydrogeologie der Aquifersysteme Buntsandstein und Muschelkalk zwischen Neckar und Donau.* – Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, 3/2006, S. 19–48.
- Ufrecht, W. (2018). *Die Tiefengrundwässer im Oberen Muschelkalk zwischen Albvorland und oberschwäbischen Molassebecken – ein Hydrogeologisches Modell.* – Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, Heft 1/2018, S. 7–158.
- Villinger, E. (1977). *Über Potentialverteilung und Strömungssysteme im Karstwasser der Schwäbischen Alb (Oberer Jura, SW-Deutschland).* – Geologisches Jahrbuch, Reihe C, 18, S. 3–93.
- Villinger, E. (1997). *Der Oberjura-Aquifer der Schwäbischen Alb und des baden-württembergischen Molassebeckens (SW-Deutschland).* – Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe C, 34, S. 77–108.

[Datenschutz](#)

[Cookie-Einstellungen](#)

[Barrierefreiheit](#)

Quell-URL (zuletzt geändert am 20.03.26 - 14:12): <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/hydrogeologie/regionalbeschreibung-westalb-hegualb-klettgaualb/grundwasservorkommen-aquiferkennwerte>