

Grundwasserdynamik und Schichtlagerung

Die Grundlage zur Beschreibung der Grundwasserdynamik eines hydrogeologischen Systems bilden Grundwassergleichenpläne. Deren Konstruktion basiert auf den idealerweise möglichst zeitgleichen Messungen des Grundwasserspiegels in Grundwassermessstellen sowie der Wasserspiegellagen von Oberflächengewässern, den Austrittshöhen von Quellen und, bei Karstgrundwasserleitern wie dem Oberjura, auf Ergebnissen von Markierungsversuchen.

Grundwasserdynamik

Die aus Markierungsversuchen zwischen Eingabestelle und Austrittsstelle(n) festgestellten Strömungsrichtungen können näherungsweise für die Konstruktion von Grundwassergleichenplänen verwendet werden. Der tatsächliche Fließweg des Karstgrundwassers kann jedoch deutlich von dem aus Markierungsversuchen ermittelten abweichen, da nicht immer von einer direkten Korrelation zwischen dem Verlauf ausgeprägter Karstgerinne und dem generalisierten Bild der konstruierten Potenziallinien ausgegangen werden kann. Daneben kann bei den Markierungsversuchen auch die hydrologische Situation zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung eine wichtige Rolle für das Fließfeld im Karstgrundwasser spielen.

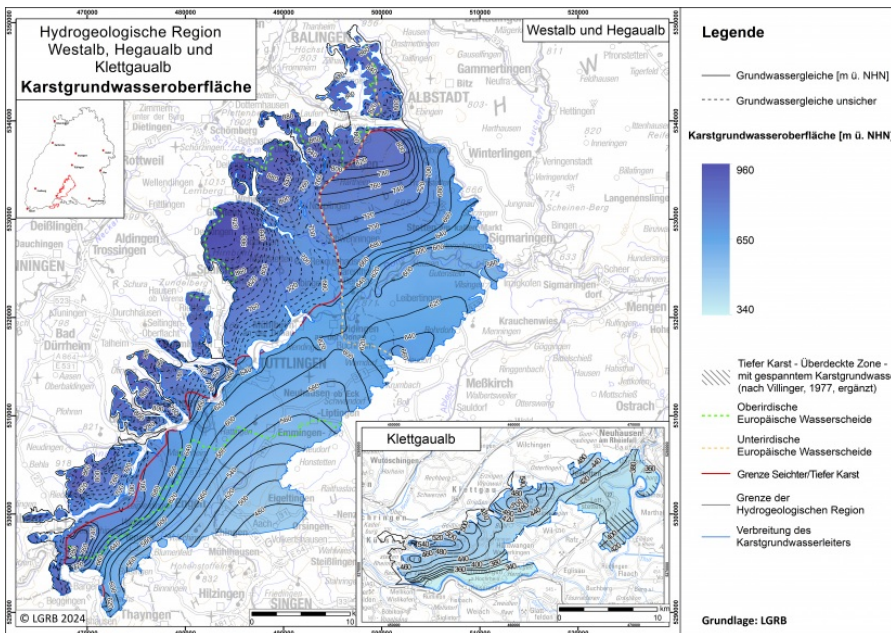
Villinger (1977) beschäftigte sich intensiv mit der Potentialverteilung und den Strömungssystemen im oberjurassischen Karstwasser der Schwäbischen Alb. Er erstellte erstmals für diesen Aquifer einen flächendeckenden Grundwassergleichenplan und beschrieb dessen Grundwasserdynamik ausführlich.

Die Grundwasserverhältnisse können für einen Stichtag im Isolinienplan nur mit ausreichender Messstellendichte hinreichend genau konstruiert werden. Daher bestehen Unsicherheiten in Teilgebieten mit geringer Messstellendichte. Dies ist vor allem auf der Hochfläche der Schwäbischen Alb der Fall, da dort aufgrund des hohen Grundwasserflurabstandes weniger Grundwassermessstellen vorhanden sind. Außerdem können im Bearbeitungsmaßstab 1 : 50 000 lokale Grundwasserverhältnisse wie z. B. im Umfeld von ständig genutzten Trinkwassergewinnungsanlagen oder im Bereich des Seichten Karsts nicht detailliert wiedergegeben werden.

Grundwassergleichenplan für den Kluft- und Karstgrundwasserleiter im Oberjura

Der Grundwassergleichenplan für den Oberjura-Aquifer basiert auf dem Grundwassergleichenplan, der im Interreg IIIA-Projekt „Hegau-Schaffhausen“ (Interreg IIIA, 2008) veröffentlicht wurde. Er geht auf verschiedene ältere Darstellungen zurück (u. a. Villinger, 1977; sowie unveröffentlichte Auswertungen des RPF/LGRB). Sie wurden im Laufe der Jahre bedingt durch einige wenige neu hinzugekommene Informationen modifiziert und fortgeschrieben. Der Grundwassergleichenplan repräsentiert deshalb keinen Stichtag.

Der Gleichenplan aus dem Interreg IIIA-Projekt wurde insbesondere im Ausstrichbereich der Aquiferbasis entlang des Albraufs an die Geometrien der zwischenzeitlich erstellten Hydrogeologischen Karte ohne Deckschichten angepasst. Er wurde als Rasteroberfläche visualisiert.



Grundwasseroberfläche im Oberjura-Kluft- und Karstgrundwasserleiter in der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegau und Klettgau

Die Hydrogeologische Region wird im Osten von der annähernd in Nord–Süd Richtung verlaufenden Karstwasserscheide Rhein-Donau gequert. Die Wasserscheide verläuft etwa südlich von Bissen über Albstadt–Meßstetten–Fridingen westlich an Meßkirch vorbei. Dort verlässt sie die Hydrogeologische Region.

Regionale Vorflut für den Oberjuraaquifer westlich der Karstwasserscheide ist der Hochrhein. Als lokale Vorflut wirkt neben einigen kleineren Oberflächengewässern vor allem die Aachquelle. Östlich der Karstwasserscheide entwässert das Gebiet unterirdisch zur Donau bzw. in das südlich anschließende Molassebecken.

Das markanteste Element der Karstwasserscheide Rhein/Donau ist die so genannte Meßkircher Kuppel ca. 6 Kilometer westlich von Meßkirch.



Der Brunnen Altheim liegt auf der so genannten Meßkircher Kuppel, die die Karstwasserscheide Rhein/Donau bildet.

Der Grundwassergleichenplan bzw. Rasterdatensatz der Grundwasseroberfläche für den Oberjura Kluft- und Karstaquifer erlaubt folgende Aussagen:

- Der genaue Verlauf der unterirdischen Europäischen Wasserscheide ist anhand der Grundwasserspiegelhöhen nicht eindeutig festzulegen. Zusätzliche Informationen liefern die Markierungsversuche. Es ist davon auszugehen, dass sich die Position der Karstwasserscheide im Jahresverlauf in Abhängigkeit von der hydrologischen Situation verlagert. Die Karstwasserscheide ist also eher als eine breitere Zone zu verstehen.
- Nordwestlich der Europäischen Wasserscheide gibt es weniger funktionsfähige Grundwassermessstellen. Hinzu kommt, dass dort die Grundwasserverhältnisse infolge der heterogenen Verkarstung sehr komplex sind. Eine gesicherte Konstruktion der Karstgrundwasseroberfläche ist deshalb in diesem Gebiet nur sehr eingeschränkt möglich und mit großen Unsicherheiten behaftet. Der Rasterdatensatz vermittelt daher nördlich der Europäischen Wasserscheide nur einen generellen Eindruck über die Lage der Grundwasseroberfläche.
- Darüber hinaus üben im Seichten Karst nordwestlich der Karstgrundwasserscheide die Quellaustritte und die Vorflutwirkung der zahlreichen Bäche und Flüsse einen starken Einfluss auf die Morphologie der Karstwasseroberfläche aus. Auch deshalb variieren im Seichten Karst sowohl die Grundwasserfließrichtung als auch das Grundwassergefälle kleinräumig.
- Die Grenze zwischen dem Seichten Karst und dem Tiefen Karst ist vom Norden über Albstadt und Meßstetten kommend bis knapp nördlich von Fridingen annähernd deckungsgleich mit der Karstwasserscheide. In ihrem weiteren Verlauf biegt sie nach Südwesten ab. Sie liegt dann knapp nördlich von Tuttlingen und unter Immendingen, um etwas südlich von Blumberg die Hydrogeologische Region zu verlassen.
- Bis oberhalb von Immendingen ist die Donau die Vorflut für das Karstgrundwasser. Weiter stromabwärts von Immendingen bis zur Fridinger Schleife wirkt sie nicht mehr bzw. nur noch untergeordnet als Vorflut. In diesem Abschnitt mit den bekannten Versinkungsstellen unterströmt das Karstwasser die Donau. Dies ist durch den Donau-parallel Verlauf der Isolinien in diesem Flussabschnitt wiedergegeben. Der weitere Abstrom erfolgt in Richtung Hochrhein bzw. zum Aachtopf und zur Aach (u. a. Villinger, 1977; Interreg IIIA, 2008). Unterhalb der Fridinger Versinkungsstrecken ist die Donau durchgehend an den Karstwasserkörper hydraulisch angebunden und ihre Vorflutwirkung durch Markierungsversuche belegt (u. a. Interreg IIIA, 2008).
- Die Ausbuchtung im Isolinienverlauf nordwestlich des Aachtopfs zur Donau ist auf die Donauversickerung bei Immendingen und Fridingen zurückzuführen.
- Als lokale Vorflut wirkt z. B. zumindest in ihrem oberen Abschnitt die Schmeie. In ihrem weiteren Verlauf scheinen bereichsweise Unterströmungen nicht ausgeschlossen zu sein bzw. verliert sie auch Wasser durch Versinkungen (Villinger, 1977). Diese sind auch durch Abflussmessungen belegt. Der Isolinienverlauf lässt ebenfalls für die Aitrach, die Bära, die Elta, den Lippach und den Faulenbach sowie für Abschnitte weiterer Bäche eine wahrscheinlich begrenzte lokale Vorflutwirkung vermuten.
- Das Gebiet südlich der Donau zwischen Fridingen und Sigmaringen bis nördlich von Meßkirch entwässert nach Norden zur Donau hin. Ursache hierfür ist die markante Erhebung in der Grundwasseroberfläche nordwestlich von Meßkirch (Meßkircher Kuppel). Das Grundwasser tritt z. T. südlich der Donau an den Quellen Rainbrunnen, Thiergarten (LGRB-Archiv-Nr. QU7920/6) bzw. Roter Brunnen, Leibertingen (LGRB-Archiv-Nr. QU7920/4) aus. Ein weiterer Teil dürfte in die Donau übertreten.
- Mit Ausnahme der tiefer eingeschnittenen Flusstäler (Aitrachtal, Elta- und Faulenbachtal, Bäratal, Oberer Abschnitt des Schmeietals, Donautal bis etwa Mühlheim an der Donau, Hochrhein im Süden der Klettgaualb) ist die Oberfläche des Oberjura-Karstgrundwassers in der Hydrogeologischen Region frei. In den genannten Tälern ist mit (artesisch) gespanntem Grundwasser zu rechnen. Es stammt in den quartären Talfüllungen somit überwiegend aus dem Karstaquifer. Dies wurde z. B. für die Bära und ihre beiden Quellflüsse beschrieben (Schweizer & Franz, 1994).
- Inwieweit das Karstwasser unter den flächig verbreiteten, geringer durchlässigen Molassesedimenten im Süden des Gebietes gespannt ist, ist unklar. Artesisch gespannte Verhältnisse liegen hier nicht vor.
- Für die Randenhauptverwerfung ganz im Süden der Hydrogeologischen Region Westalb und Hegaualb mit einem Versatzbetrag von bis zu 200 m wird ein durchgängiger Grundwasserkörper mit einer Über- bzw. Durchströmung von der Hochscholle im Süden zur Tiefscholle im Norden für möglich gehalten (Interreg IIIA, 2008).
- Die jahreszeitlich bedingten Schwankungen der Grundwasserstände im Karstaquifer sind erheblich (u. a. HGE, 2004a). Die stärksten Schwankungen werden im Seichten Karst beobachtet, wobei sie generell vom Norden zum (teilweise überdeckten) Tiefen Karst ganz im Süden der Hydrogeologischen Region abnehmen. So betragen die Schwankungen z. B. im Brunnen Altheim, der im Seichten Karst auf dem Scheitel der Meßkircher Kuppel liegt, bis 22 Meter (642–664 m ü. NHN) (Villinger, 1977).
- Im Tiefen Karst südlich der Hydrogeologischen Region richtet sich der Grundwasserstrom westlich der unterirdischen Wasserscheide auf den Hochrhein aus, der die regionale Vorflut für das Karstwassersystem bildet (Interreg IIIA, 2008) .

Die Amplituden der Wasserstandsschwankungen sind im Karstgrundwasser am höchsten. Sie nehmen vom Porengrundwasser in den quartären Talaquifern zu den Oberflächengewässern ab.

Ursachen für die geringeren zeitlichen Schwankungen der Grundwasserstände in den Porengrundwasserleitern sind:

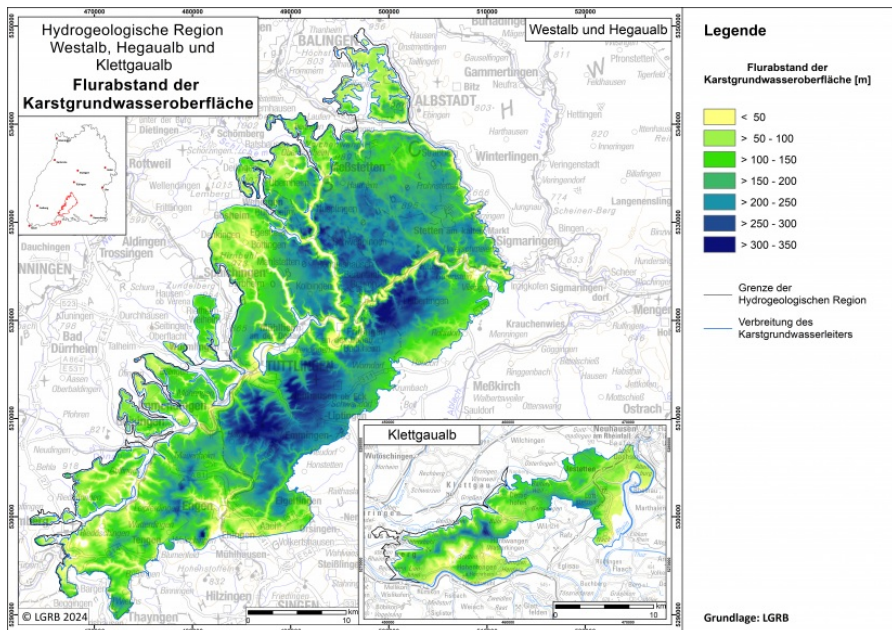
- das im Vergleich zum Festgestein wesentlich größere speichernutzbare Hohlraumvolumen und
- in vielen Bereichen die Nähe und generell gute hydraulische Wechselbeziehung des Porengrundwasserleiters zum Vorfluter.

Die unterschiedlich stark ausgeprägten Wasserstandsschwankungen im Karst- und Kiesaquifer sowie in den Oberflächengewässern und deren zeitliche Unterschiede bedingen in den Oberflächengewässern abschnittsweise Infiltrations- und Exfiltrationsverhältnisse. So führen einige Abschnitte in Trockentälern nur bei extremen Witterungssituationen und Niederschlagsereignissen Wasser. Diese Situation führt zur Entstehung von Hungerbrunnen.

Grundwasserflurabstand der Karstoberfläche im Oberjura

Zur Ermittlung des Grundwasserflurabstandes der Karstwasseroberfläche wurde die Höhenlage der Grundwasseroberfläche im Oberjura von der Höhenlage der Geländeoberfläche (DGM – Digitales Geländemodell, Rasterdatensatz) abgezogen. Der Grundwasserflurabstand wurde in 50-Meter-Schritten klassifiziert.

Das stark schematisierte hydrogeologische Modell, das der Auswertung zugrunde liegt, sowie die in vielen Gebieten sehr lückenhafte Datengrundlage erlauben nur eine Darstellung im Übersichtsmaßstab. Sie kann nur ein stark generalisiertes Bild der Grundwasserverhältnisse vermitteln. Für lokale Aussagen sind kleinräumigere Auswertungen bzw. zusätzliche Untersuchungen erforderlich.



Grundwasserflurabstand der Karstwasseroberfläche in der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegaualb und Klettgau

Generell nehmen die Grundwasserflurabstände vom Albtrauf im Nordwesten nach Südosten zu.

Die größten Grundwasserflurabstände mit über 200 Metern (dunkelblau in Abb. oben) liegen im Bereich der größeren Erhebungen:

- nördlich der Donau im südlichen Bereich der Hohen Schwabenalb in der Region Irndorf–Harthöfe–Oberglashütte sowie
- südlich der Donau westlich und nördlich von Leibertingen bzw. zwischen Neuhausen ob Eck und Hattingen.

Geringere Flurabstände der Karstwasseroberfläche gibt es in den Taleinschnitten der Albtafel (gelb in Abb. oben) sowie im Donautal.

Im Bereich der Klettgaualb liegt die Grundwasseroberfläche meist weniger als 50 Meter unter der Geländeoberfläche. Lediglich unter größeren Erhebungen (Wannenberg, Kalter Wangen) beträgt der Grundwasserflurabstand bereichsweise mehr als 150 Meter.

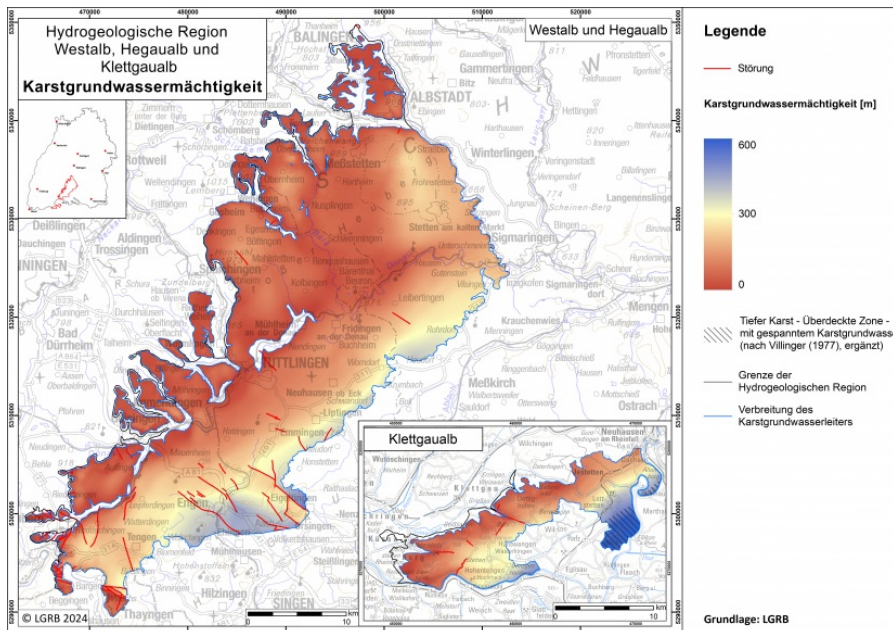
Die Grundwasseroberfläche des Oberjura-Aquifers ist überwiegend frei. Mit dem Abtauchen des Grundwasserleiters nach Süden bzw. der damit meist einhergehenden Überdeckung durch gering durchlässige Molasseschichten treten bereichsweise gespannte Verhältnisse auf. Dies ist in der Hohen Schwabenalb und der östlichen Hegualb im Randbereich der Überdeckten Zone zwischen Emmingen-Liptingen, Engen und Blumberg sowie im Bereich der Klettgaualb der Fall. In diesen Gebieten zeigt die Karte den Abstand der Grundwasserdruckfläche von der Geländeoberfläche.

Flächig auftretende gespannte Grundwasserverhältnisse im Oberjura treten erst im Zentralbereich der Überdeckten Zone auf. Diese schließt südlich außerhalb der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegualb und Klettgaualb an den Randbereich der Überdeckten Zone an.

In den Talniederungen der Albtafel liegt die Grundwasseroberfläche bereichsweise über dem Talniveau. Dort kann das Karstwasser (artesisch) gespannt sein bzw. in die quartären Talfüllungen übertreten.

Grundwassermächtigkeit für den Kluft- und Karstgrundwasserleiter im Oberjura

Für die Ermittlung der Grundwassermächtigkeit wurde die Höhenlage der Aquiferbasis von der Höhenlage der Grundwasseroberfläche abgezogen. Da der Karstaquifer im Südosten des Gebietes im Randbereich der Überdeckten Zone des Tiefen Karst von geringer durchlässigen tertiären Sedimenten überlagert wird und die Grundwasserdruckfläche vermutlich innerhalb dieser Sedimente liegt, wird die Grundwassermächtigkeit im Karstaquifer hier überschätzt. Die grundwassererfüllte Mächtigkeit wurde als Rasterdatensatz dargestellt.



Karte der Grundwassermächtigkeit im Kluft- und Karstgrundwasserleiter der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegau und Klettgau

Das stark schematisierte hydrogeologische Modell, das der Auswertung zugrunde liegt sowie die in vielen Gebieten sehr lückenhafte Datengrundlage erlauben nur eine Darstellung im Übersichtsmaßstab. Sie kann nur ein stark generalisiertes Bild zur grundwassererfüllten Mächtigkeit des Karstgrundwasserleiters vermitteln.

Die grundwassererfüllte Mächtigkeit im Oberjura-Karstgrundwasserleiter nimmt von Null Metern am Nordrand der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegau und Klettgau nach Süden zu. Im Süden der Hegau erreicht der Oberjura-Karstaquifer Mächtigkeiten von bis zu ca. 350 Metern, im Süden der Klettgau südlich von Lottstetten über 575 Meter.

Schichtlagerung, Aquiferbasis und Tektonik

Die Hydrogeologische Region Westalb, Hegau und Klettgau bildet den westlichen Bereich der tektonischen Region Südliches Schichtstufenland sowie den östlichen Teil der Region Südschwarzwald, Dinkelberg und Hegau.

Die Schichtlagerungsverhältnisse sowie die tektonische Situation in der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegau und Klettgau werden durch den Isolinenplan und den Rasterdatensatz der Aquiferbasis im Oberjura, sowie durch drei hydrogeologisch-geologische Profilschnitte verdeutlicht.

Das methodische Vorgehen bei der Erstellung der Karten ist in HGE (2009) beschrieben.

Basis des Oberjura-Kluft- und Karstgrundwasserleiters

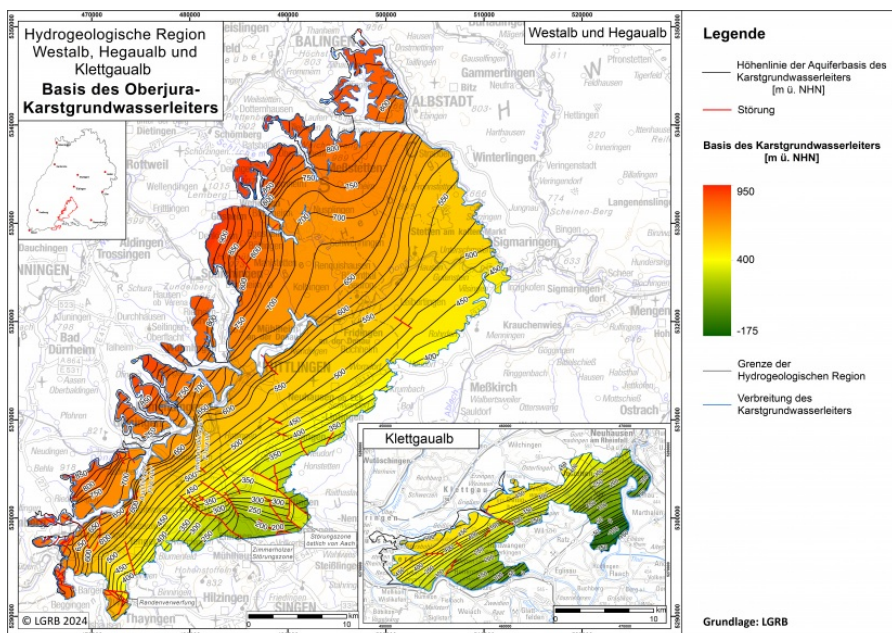
Der Konstruktion der Basis des Oberjura-Kluft- und Karstaquifers liegt die stark schematisierte hydrogeologische Modellvorstellung zugrunde, nach der die Basis entweder durch die Impressamergel-Formation oder die Lacunosamergel-Formation gebildet wird (Interreg IIIA-Projekt „Hegau-Schaffhausen“; Interreg IIIA, 2008).

Entlang des Albtraufs liegt die Aquiferbasis in einem 2,5 bis 6 km breiten Streifen an der Grenze zwischen der Impressamergel-Formation und der Wohlgeschichtete-Kalke-Formation. Weiter im Südosten bildet die Grenze zwischen der Lacunosamergel-Formation und der Untere-Felsenkalke-Formation die Aquiferbasis. Diese Vereinfachung lässt außer Acht, dass die Lacunosamergel-Formation bereichsweise aufgrund ihrer lokalen faziellen Ausbildung als Algen-Schwamm-Riffkalk geklüftet und verkarstet und dort demzufolge als Grundwasserleiter ausgebildet sein kann. Aufgrund der unzureichenden Datengrundlage ist eine räumliche Faziesdifferenzierung jedoch nicht möglich.

Zwischen diesen beiden Zonen liegt nach der Modellvorstellung ein Übergangsbereich, in dem die Aquiferbasis von der Basis der Untere-Felsenkalke-Formation im Südosten quer durch die Lacunosamergel-Formation auf die Basis der Wohlgeschichtete-Kalke-Formation im Nordwesten verläuft. Für diese Übergangszone wurde eine Breite von ca. 6 km angenommen.

Im Verbreitungsgebiet der als Grundwasserleiter ausgebildeten Lochen-Subformation wurde die Aquiferbasis 50 m unter die Grenze Impressamergel-Formation zu Wohlgeschichtete-Kalke-Formation gelegt. Im Klettgau wurde im Ausstrichbereich der als Grundwasserleiter eingestuft Hornbuck-Schichten deren Basis als Aquiferbasis angenommen.

Diese stark schematisierte Lage der Aquiferbasis stellt eine Abstraktion und bereichsweise grobe Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse dar. In den Karten der Aquiferbasis und der Aquifermächtigkeit muss man deshalb in einigen Gebieten von Fehlern bis in den Dekameterbereich ausgehen. Dies liegt auch an der vielerorts mäßigen Datengrundlage für die Konstruktion der Schichtlagerungskarte.



Basis des Oberjura-Kluft- und Karstgrundwasserleiters in der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegaualb und Klettgaualb

Die Aquiferbasis fällt als Folge der Schiefstellung der Albtafel im Zuge der Entstehung der Alpen generell in südöstliche Richtung ein. Sie liegt am Nordwestrand der Westalb bei ca. 900 bis 950 m ü. NHN (nördlich von Spaichingen) und am Südostrand (bei Aach) bei ca. 175 m ü. NHN. In der Hegaualb liegt die Aquiferbasis am Nordwestrand bei ca. 500 m ü. NHN (östlich von Erzingen-Weisweil), auf der Klettgaualb taucht sie am Rhein südlich von Lottstetten auf ca. - 175 m ü. NHN ab.

Dabei nimmt die mittlere Schichtneigung vom östlichen Gebietsrand (ca. 1,5 %) nach Westen hin zu. Im Abschnitt Geisingen bis westlich von Engen beträgt sie ca. 4 %, auf der Klettgaualb 7 bis 8 % (Profil nordwestlich von Jestetten bis zum Rhein südlich von Lottstetten).

Die generelle Streichrichtung der Aquiferbasis verläuft von Südwest nach Nordost. Die Schichtfläche wird durch leichte Verbiegungen in mehrere sanfte Mulden und Sättel überprägt und von zahlreichen Störungen durchsetzt (u. a. Schreiner, 1992b). Dies zeigt auch ein geologischer Schnitt, der etwa von Möhringen bis südlich von Engen verläuft.

Tektonische Strukturen, an denen die Schichten z. T. um mehr als 50 m versetzt sind, sind:

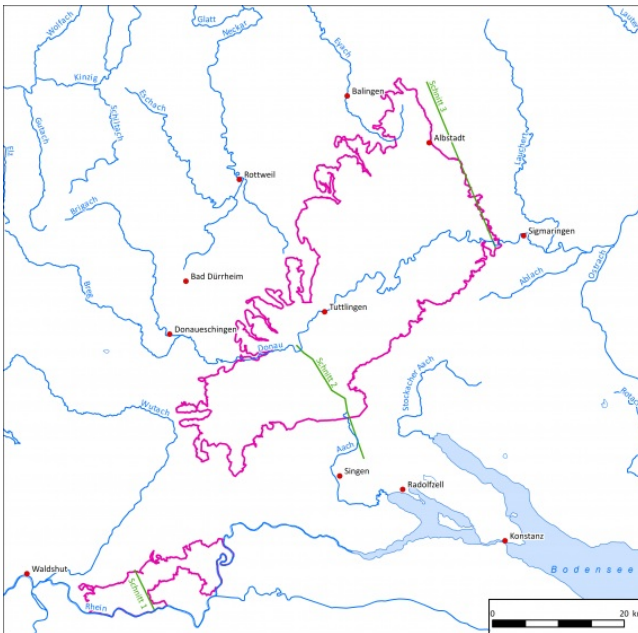
- die Randenverwerfung,
- die Zimmerholzer Störungszone bei Engen,
- die Störungszone östlich von Aach.

Die auffälligste bruchtektonische Struktur der Hydrogeologischen Region ist die Randenverwerfung. Sie verläuft im äußersten Südwesten der Hegaualb von Westnordwest nach Ostsüdost. An ihr grenzt der Hegaugraben im Nordosten an die Randenhochscholle im Südwesten. Am südöstlichen Rand der Hegaualb beträgt der Versatz der Aquiferbasis an dieser Verwerfung im Raum Wiechs am Randen bis ca. 250 m. Nach Nordwesten nimmt der Versatzbetrag nördlich des Hohen Randen auf ca. 100 bis 125 m ab.

Größere flexurartige Schichtverbiegungen sind u. a.

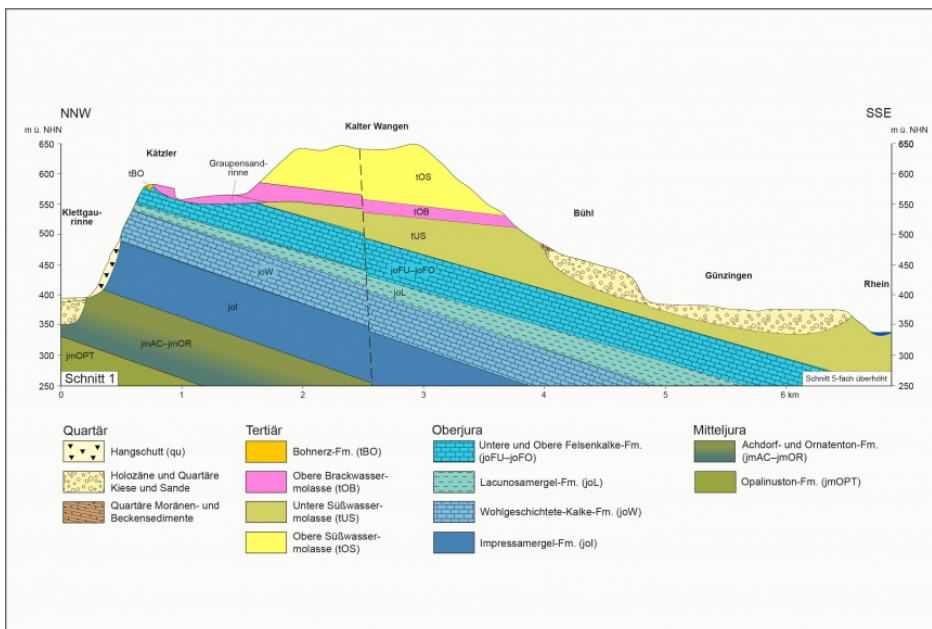
- die Aulfinger Flexur,
- die Immendinger Flexur.

Die verkarstete Oberjuratafel taucht nach Südosten im Molassebecken unter dem Alpenvorland ab und wird dort von immer mächtiger werdenden gering durchlässigen Molassesedimenten überlagert. Darüber folgen quartäre Ablagerungen wechselnder Durchlässigkeit.

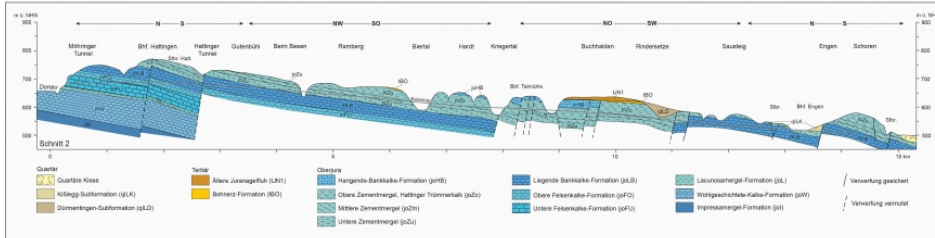


Verlauf der Hydrogeologischen Schnitte

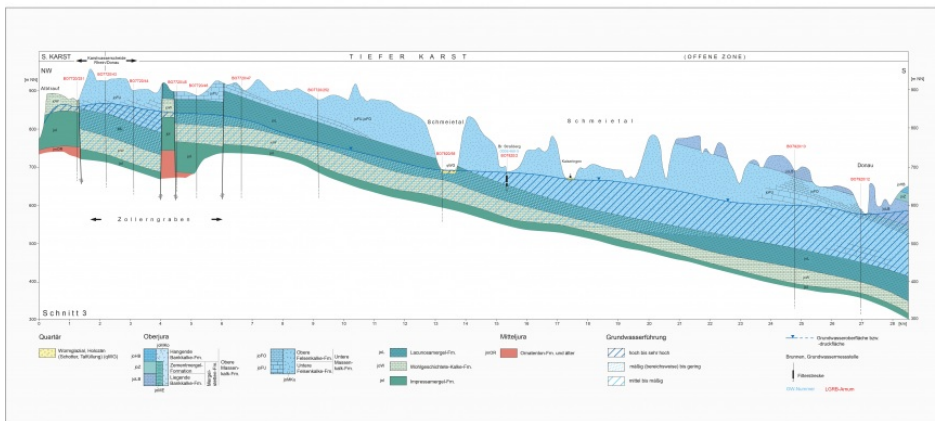
Die Schichtlagerungsverhältnisse in der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegaualb und Klettgaualb werden in drei geologisch-hydrogeologischen Profilschnitten verdeutlicht. Die hydrogeologische Situation im Zustrombereich der Aachquelle ist in einem weiteren hydrogeologischen Profilschnitt von der Donau (Versickerungsstelle Im Brühl, bei Immendingen) bis zur Radolfzeller Aach dargestellt (verändert nach Selg, 2010).



Geologischer Schnitt (Schnitt 1) von östlich Griesen bis östlich Herdern (aus KMR 50 Blatt L 8316/L 8516 Stühlingen/Hohentengen am Hochrhein (Anteil Baden-Württ., LGRB, 2002b))



Geologischer Schnitt (Schnitt 2) entlang der Bahnlinie von der Donau 2,5 km südlich von Möhringen bis südlich Engen (verändert nach Schreiner, 1997)



Hydrogeologischer Schnitt (Schnitt 3) ungefähr entlang der Ostgrenze der Hydrogeologischen Region Westalb, Hegaualb und Klettgaualb (HGE, 2009), Verlauf: von Nordwest nach Süd

Literatur

- HGE (2004a). *Mittlere Alb – Mappe 2. Grundwasserdynamik, Grundwassergleichen.* –Hydrogeologische Erkundung Baden-Württemberg, 68 S., 2 Karten, 1 CD-ROM, Ulm (Gewässerdirektion Donau/Bodensee Bereich Ulm; Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg; Büro für Hydrogeologie E. Funk, Staufen i. Br.).
- HGE (2009). *Mittlere Alb – Mappe 3. Hydrogeologischer Bau, Grundwasserhaushalt.* –Hydrogeologische Erkundung Baden-Württemberg, 23 S., 4 Kt., 1 CD-ROM, Tübingen (Regierungspräsidium Tübingen; Regierungspräsidium Freiburg – Abteilung 9 Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg).
- Interreg IIIA (2008). *Grenzüberschreitende Bewirtschaftung des Grundwassers im Raum Hegau–Schaffhausen.*

– Interreg IIIA Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein, Abschlussbericht, 85 S.

- LGRB (2002b). *Blatt L 8316/L 8516 Stühlingen/Hohentengen am Hochrhein, mit Erläuterungen*. –Karte der mineralischen Rohstoffe von Baden-Württemberg 1 : 50 000, 162 S., 25 Abb., 7 Tab., 1 Kt., Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg). [Bearbeiter: Butscher, C., m. Beitr. v. Werner, W. & Heinz, J.]
- Schreiner, A. (1992b). *Erläuterungen zu Blatt Hegau und westlicher Bodensee*. –3. Aufl., Geologische Karte 1 : 50 000 von Baden-Württemberg, 290 S., Freiburg i. Br., Stuttgart (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- Schreiner, A. (1997). *Erläuterungen zu Blatt 8118 Engen*. –2. Aufl., Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., 184 S., 7 Taf., 4 Beil., Freiburg i. Br. (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- 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. (2010). *Das Donau-Aach-System – Dynamik einer Flussversinkung*. –LGRB-Informationen, 25, S. 7–46.
- Villinger, E. (1977). *Über Potentialverteilung und Strömungssysteme im Karstwasser der Schwäbischen Alb (Oberer Jura, SW-Deutschland)*. –Geologisches Jahrbuch, Reihe C, 18, S. 3–93.

[Datenschutz](#)

[Cookie-Einstellungen](#)

[Barrierefreiheit](#)

Quell-URL (zuletzt geändert am 20.03.26 - 15:13):<https://lgrbwissen.stage.lgrb-bw.de/hydrogeologie/regionalbeschreibung-westalb-hegualb-klettgualb/grundwasserdynamik-schichtlagerung>