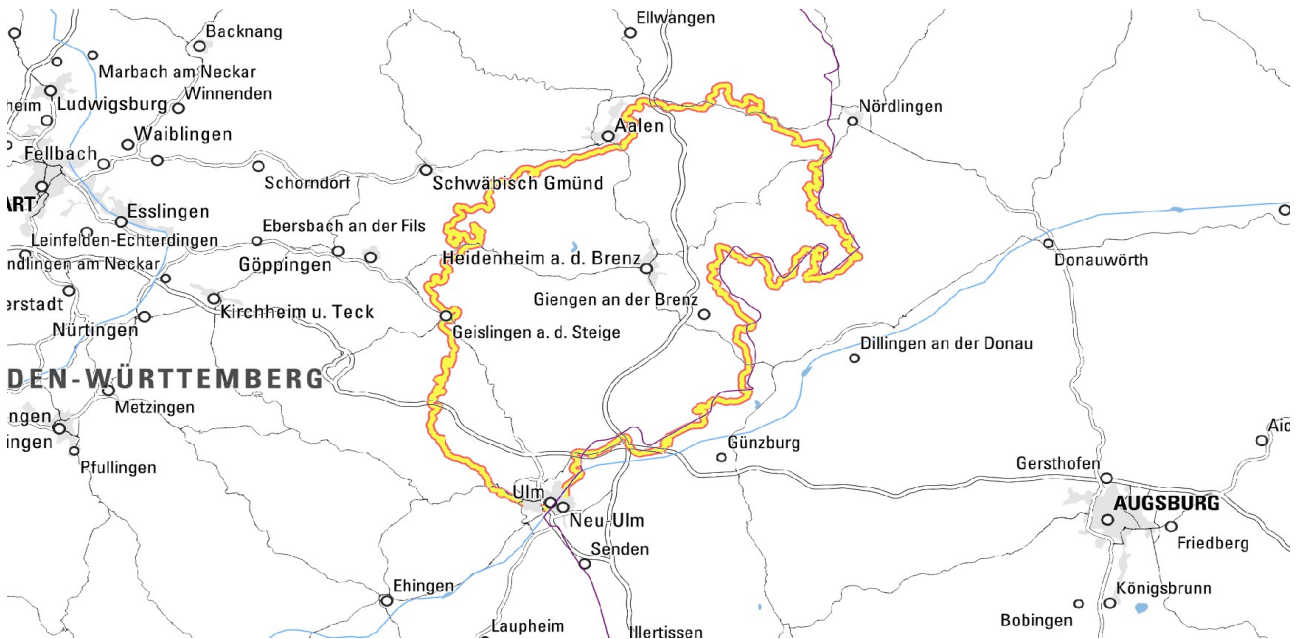


Grundwasserbeschaffenheit

Grundwässer werden anhand ihrer hydrochemischen und isotopehydrologischen Beschaffenheit charakterisiert. Die Inhaltstoffe können sowohl geogener als auch anthropogener Herkunft sein.

Geogene Grundwasserbeschaffenheit am Beispiel von Blei



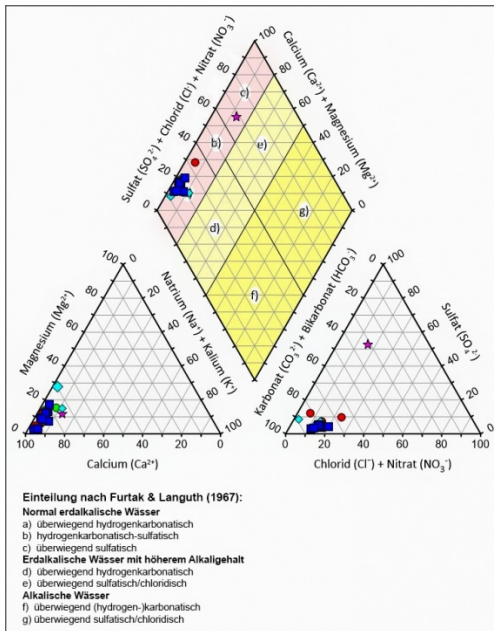
Hydrochemische und mikrobiologische Beschaffenheit

Die hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer ist geprägt durch die chemische Beschaffenheit der Böden und der Gesteine der ungesättigten Zone, die das Niederschlagswasser auf dem Weg bis zum Grundwasser durchsickert. Zudem wird die Grundwasserbeschaffenheit durch die Gesteinszusammensetzung des Aquifers beeinflusst. Je nach Gesteinsart und Verweildauer des Wassers im Untergrund sind diese Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen unterschiedlich intensiv. Die sich dabei herausbildenden spezifischen hydrochemischen Eigenschaften der Grundwässer bestimmen ihren Lösungsinhalt und damit den Grundwassertyp bzw. die geogene Grundwasserbeschaffenheit (Plum et al., 2009a). Daneben wirken sich auch anthropogene Einflüsse auf die hydrochemische Grundwasserbeschaffenheit aus.

Die beschriebenen Prozesse führen dazu, dass die Grundwässer der Ostalb in den quartären Talablagerungen und im Oberjura-Karst ebenso wie auch die meisten schwebenden Grundwasservorkommen hydrochemisch entscheidend durch die Lösung von Karbonatgestein sowie durch flächige, möglicherweise anhaltende anthropogene Stoffeinträge charakterisiert sind.

Grundwasser auf der Ostalb gibt es im

- Quartär
- Tertiär
- Oberjura



Charakterisierung der Grundwässer der Ostalb im PIPER-Diagramm nach Furtak & Languth (1967):

- Grüne Punkte: Quartär,
- Magenta Stern: Feuersteinlehm,
- Rote Punkte: Obere Süßwassermolasse, Obere Meeresmolasse,
- Cyan Raute: Impaktgesteine,
- Blaue Quadrate: Oberjura

(Grafik: LGRB, 2022)

Hauptinhaltsstoffe in ausgewählten Grundwässern der Ostalb (Datenquelle: *Grundwasserdatenbank LUBW Baden-Württemberg, **Labordatenbank LGRB-RPF; ***HGK (2002)).

Lfd. Nr.	Probenahmedatum	Aquifer	Hydrogeol. Bezug	el. LF. (bei 25 °C) [µS/cm]	Temp. [°C]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]	Cl [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	SO ₄ [mg/l]
1*	24.03.2021	q	s. St.	540	9,8	97,9	12	0,8	0,8	n. b.	n. b.	322	24,9	16,1	11,
2**	11.09.1996	q	s. St.	582	9,3	111,2	4,5	2,11	2,11	0,11	< 0,02	299	14,43	24,12	15,
3*	12.09.2019	q	s. St.	672	12,1	136	14	1,2	1,2	< 0,010	0,003	392	29,7	27,3	22,
4***	20.04.1993	tFL	s. St.	37	13,4	6,2	0,6	0,4	0,4	n. b.	n. b.	10	2,3	1	13,
5**	09.09.1996	tOM	s. St.	738	10,4	138,7	12,32	0,67	0,67	0,04	< 0,02	390	27,84	20,77	20
6*	05.05.2021	tOM	s. St.	612	8,6	129	4,8	0,7	0,7	< 0,010	< 0,003	340	10,6	46,9	26
7*	18.09.2002	tOM?	s. St.	658	12,9	115	8	1,2	1,2	< 0,020	0,003	270	34	39	31
8**	20.09.1984	tUS	s. St.	641	12,3	129,9	3,65	1,59	1,59	0,13	< 0,01	348	15,69	0,52	40,
9*	10.03.2021	tSTS/tX?	s. St.	477	11,7	83,3	20,1	1,62	1,62	n. b.	n. b.	319	5	< 0,1	24,
10*	29.09.2005	tSTS?/tX?	s. St.	617	20	114	14	1,7	1,7	0,32	0,022	370	36	3,5	28
11*	14.12.2021	joME	T. K.	n. b.	n. b.	105,1	10,1	1,1	1,1	< 0,010	< 0,010	342	22,5	30,1	12
12*	03.03.2021	joMK	T. K.	615	9,1	117	10	1,1	1,1	n. b.	n. b.	348	22,7	33,2	12,
13*	04.09.2019	joMK	T. K.	n. b.	n. b.	76,7	5	0,5	0,5	< 0,010	< 0,010	226	9,9	13,1	6
14**	08.03.1999	joMK	T. K.	483	8,4	86	7,53	1,1	1,1	0,04	< 0,02	247	14	24,4	12
15**	08.09.1998	joMK	S. K.	500	7,9	91	1,46	0,4	0,4	0,01	< 0,05	254	16,56	16,9	13,
16**	08.11.1995	joMK	T. K.	660	9	113,6	15,07	1,52	1,52	n. b.	n. b.	348	16,54	39	14,
17*	03.03.2021	joMK	T. K.	n. b.	n. b.	133,4	2,5	1,8	1,8	n. b.	n. b.	342	23,1	50,7	14
18*	22.03.2005	joMK	T. K.	695	9,8	123	6,5	1,4	1,4	n. b.	n. b.	323	16,9	29	15
19*	15.06.2021	joMKu	T. K.	470	8,5	102	6,1	0,6	0,6	0,015	< 0,002	305	17,4	16,1	9,3

Hydrogeologischer Bezug: s. St.: schwebendes Stockwerk S. K.: Seichter Karst T. K.: Tiefer Karst



Probenahmestellen:

Lfd. Nr.	GW-Nummer	LGRB-Nr.	Bezeichnung
1	147/761-8	BO7126/14	BBR neu Fa. RuD GmbH u. Co. KG, Aalen Unterkochen
2	0108/763-3	BO7326/142	TB Talhof Ugental, Heidenheim
3	257/815-9	BO7527/125	BRGR 2824-2841 Landeswasserversorgung, Langenau
4	2004/762-8	QU7226/5	QF Weiherwiesenquelle, Essingen
5	2004/763-0	QU7326/9	QF Rohrwiesenquelle, Dettingen, Gerstetten
6	58/764-0	QU7426/7	QF Baumbr. West, Oellingen
7	65/764-0	QU7426/8	QF Baumbr. Ost+West, Oellingen
8	ohne	BO7625/12	Brunnen Oberdischingen
9	101/763-1	BO7326/52	GWM 3 Sportplatz Jahnstr., Steinheim am Albuch
10	80/763-3	BO7326/775	BBR Steinheim am Albuch
11	3/863-3	QU7328/2	QF Buchbrunnenquelle Egauwasserwerk, Dischingen
12	4/812-8	BO7227/12	TB II Pfaffentäle, Neresheim
13	24/762-4	QU7226/1	QF Brenzquelle, Königsbronn
14	25/762-0	QU7226/2	QU Pfefferquelle, Königsbronn
15	26/762-5	QU7226/4	QU Schwarzer Kocher, Oberkochen
16	0108/812-1	QU7227/1	QF Egau-Ursprung, Neresheim
17	14/714-5	QU7425/1	QF Lonequelle Ursprung, Lonsee
18	401/814-6	QU7427/2	QU Hürbe-Ursprung, Hürben
19	27/762-0	BO7226/8	TB III Siebter Fuß, Heidenheim-Aufhausen Heidenheim a. d. Brenz

Aquifer:

q	Quartär
tSTS/tX	Steinheim-Kratersee-Formation/Impakt-Formation
tOS	Obere Süßwassermolasse
tOM	Obere Meeressmolasse
joMKu	Unterer Massenkalk
joMK	Oberjura-Massenkalk-Formation
joME	Mergelstetten-Formation
joFU	Untere-Felsenkalke-Formation
joW	Wohlgeschichtete-Kalke-Formation

Karstwasser im Oberjura

Die Temperaturen des Karstgrundwassers und der Karstquellen schwanken meist um weniger als ± 1 °C im Jahresverlauf und liegen vorherrschend zwischen 8,5 °C und 11 °C. Der Temperaturgradient ist im stark durchströmten Aquiferbereich infolge Konvektion sehr niedrig, steigt aber unterhalb des verkarsteten Gebirgsabschnittes deutlich an. Nur oberflächennahe Schichtgrund- und Quellwässer zeigen eine weitgehende Anpassung an den Jahresgang der Lufttemperatur (HGK, 2002).

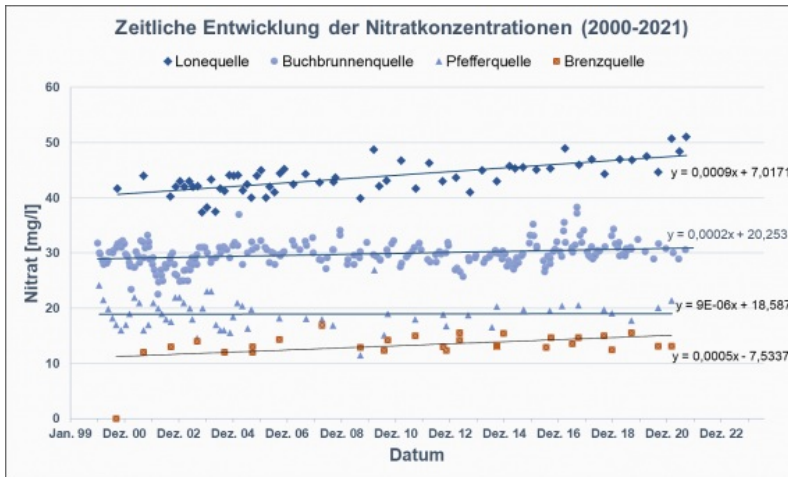
Hydrochemisch ist das Karstgrundwasser entscheidend durch die Lösung von Karbonatgestein charakterisiert und bei 400 bis 600 mg/l gelöstem Feststoffinhalt dem Typ hydrogenkarbonatisch-erdalkalisches Süßwasser zuzuordnen. Die Karbonathärte beträgt zwischen 12 °dH und 16 °dH, die Gesamthärte zwischen 14 °dH und 18 °dH. Nur das Wasser der Brenzquelle und, weniger deutlich, einiger umliegender Quellen und Fassungen zeigt mit 300 mg/l bis 330 mg/l Lösungsinhalt und mit nur 9 °dH bis 10 °dH Karbonathärte eine auffällige Abweichung. Die Ursache hierfür ist nicht eindeutig geklärt, sie steht aber wahrscheinlich mit der Verbreitung kalkfreier Feuersteinlehme im Einzugsgebiet mit z. T. saurem, lösungsarmem Schichtgrundwasser in Zusammenhang.

Einen ebenfalls vergleichsweise geringen Lösungsinhalt (310 mg/l) und eine niedrige Karbonathärte weist das Wasser der QF Säubrunnen/Schwäbisch Gmünd-Weiler (LGRB-Archiv-Nr. QU7225/2, GW-Nr. 4/712-3) auf. Der Quellaustritt liegt im Seichten Karst.

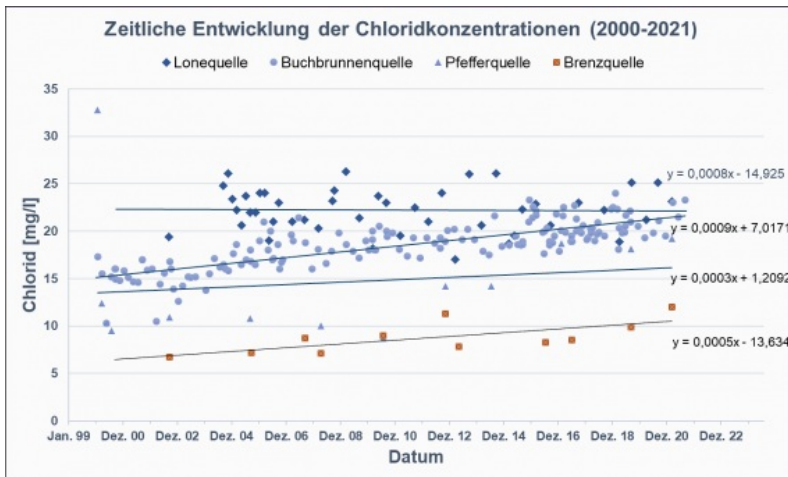
Darüber hinaus schwankt die Beschaffenheit des Karstgrundwassers regional wie auch zwischen Seichtem und Tiefem Karst nur wenig. Das Wasser des Seichten Karsts zeigt eine größere Variationsbreite der Nitratkonzentrationen (2 bis 45 mg/l) sowie der Na- und Cl-Gehalte. Das Wasser des Tiefen Karsts ist demgegenüber chemisch einheitlicher beschaffen. Die Nitratkonzentrationen liegen häufig zwischen 15 und 45 mg/l.

Die Magnesiumkonzentrationen von meist weniger als 10 mg/l sind u. a. darauf zurückzuführen, dass der durchströmte Karstgrundwasserleiter hauptsächlich aus Kalkstein und nur untergeordnet aus Dolomitstein besteht. Bei Magnesiumkonzentrationen über 15 mg/l können gleichzeitig auch die Konzentrationen anderer Ionen, die einen anthropogenen Einfluss anzeigen, erhöht sein. Es handelt sich dabei um Natrium, Chlorid und Nitrat. Ihr zum Teil verstärktes Auftreten steht häufig mit dem Einsatz von Auftausalzen und landwirtschaftlichen Düngemitteln in Zusammenhang.

Nach HGK (2002) hat sich die Nitratkonzentration in einigen Karstquellen seit den 1960er bzw. 1970er-Jahren bis ins Jahr 2000 etwa verdoppelt. Beispiele hierfür sind die Quellen Oberer Knöckling (mit bewaldetem Einzugsgebiet), Lonequelle, Brenzquelle und Buchbrunnenquelle (Egawasserwerk des Zweckverbands Landeswasserversorgung). Der langfristige Trend steigender Nitratkonzentrationen setzte sich in abgeschwächter Form auch im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2021 in unterschiedlich starker Ausprägung fort. So stiegen die Nitratgehalte in der Lonequelle von knapp über 40 mg/l Anfang der 2000er-Jahre auf ca. 48 mg/l Anfang der 2020er-Jahre an. Ein geringerer Anstieg von knapp über 10 mg/l auf ca. 15 mg/l ist in der Brenzquelle zu verzeichnen. Demgegenüber blieb die Nitratkonzentration z. B. in der Buchbrunnenquelle über den gesamten Zeitraum und in der Pfefferquelle nach starken Schwankungen Anfang der 2000er-Jahre über die letzten ca. 15 Jahre annähernd konstant.

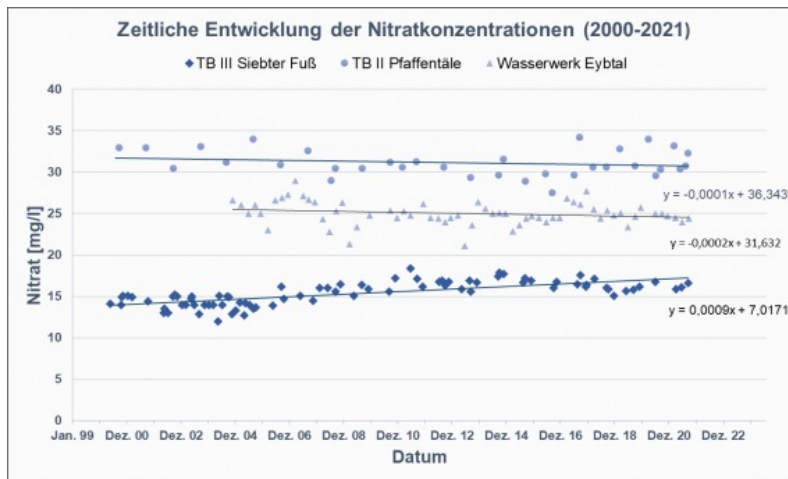


Entwicklung der Nitratkonzentrationen (2000-2021) in ausgewählten Karstquellen der Ostalb (Datenquelle: GWDB, 2022).



Entwicklung der Chloridkonzentrationen (2000-2021) in ausgewählten Karstquellen der Ostalb (Datenquelle: GWDB, 2022)

Bei den Chloridgehalten zeigte sich in den letzten 20 Jahren in der Buchbrunnenquelle und der Brenzquelle eine steigende Tendenz, in der Lonequelle waren sie leicht abnehmend. Für die Pfefferquelle liegen Chloridmessungen nur bis 2014 vor. Sie erlauben keine eindeutige Aussage zur zeitlichen Entwicklung. Mit Werten zwischen 1,8 und 3,4 mg/l Cl⁻ sind die Chloridgehalte in der Quelle Obere Knöckling sehr niedrig, mit leicht abnehmender Tendenz (nicht dargestellt).



Entwicklung der Nitratkonzentrationen (2000-2021) in ausgewählten Karstbrunnen der Ostalb (Datenquelle: GWDB, 2022).

Die Nitratkonzentrationen in Tiefbrunnen der Ostalb, die Karstwasser erschließen, zeigen seit dem Jahr 2000 teils leicht abnehmende Trends (TB II Pfaffentäle, Wasserwerk Eybtal), teils haben sie in diesem Zeitraum zugenommen (z. B. TB III Siebter Fuß).

Haakh (2018) weist darauf hin, dass im Wasserschutzgebiet der Trinkwasserbrunnen der Landeswasserversorgung im Langenauer Donauried trotz der dort geltenden Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratgehalte auch heute noch steigende Nitratwerte im Grundwasser beobachtet werden.

Die Sulfatgehalte betragen im Karstwasser meist zwischen ca. 10 und 15 mg/l SO_4^{2-} . In den schwebenden Schichtgrundwässern aus der Oberen Meeresmolasse sind sie mit ca. 20 bis 30 mg/l doppelt so hoch. Die höchsten Sulfatgehalte wurden in der Unteren Süßwassermolasse (Brunnen Oberdisingen) gemessen.

Allgemein ist das Grundwasser des Offenen Karsts verbreitet durch episodische Trübungen sowie mikrobiologische Belastungen charakterisiert und für schadensfallbedingte punktuelle Stoffeinträge besonders anfällig. Dies gilt insbesondere im Bereich hoher Abstandsgeschwindigkeiten im direkten Zustrom zu den großen Karstquellen.

Grundwasser in quartären und tertiären Grundwasserleitern

Quartär

Das Grundwasser in den quartären Talablagerungen ist hydrochemisch nicht vom Karstgrundwasser des Oberjuras zu unterscheiden (hydrogenkarbonatisch-erdalkalisches Süßwasser) (HGK, 2002). Bereichsweise ist es durch etwas höhere Karbonat- und Gesamthärten und einen höheren anthropogenen Stoffeintrag gekennzeichnet. Auch das Grundwasser aus den schwebenden Grundwasserstockwerken der tertiären Deckschichten gehört meist zu diesem Wassertyp.

Eine Ausnahme bildet das reduzierte, nach Schwefelwasserstoff riechende Grundwasser der GWM I Ried Bergenweiler, Sontheim a. d. Brenz (GW-Nr. 139/814-6, LGRB-Archiv-Nr. BO7427/66). Dieses sauerstofffreie, reduzierte gespannte Grundwasser aus dem quartären Talaquifer, der von 0,8 m humosem Schluff und 1,4 m Torf überlagert wird, weist bei einem Feststoffgehalt von 2160 mg/l und einer elektrischen Leitfähigkeit von ca. 1090 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auffallend hohe Calcium-, Eisen- und Chloridwerte auf.

Tertiär

Relativ hohe Karbonathärten, Magnesiumgehalte bis 22,7 mg/l und Sulfatgehalte bis 51,6 mg/l kennzeichnen Grundwässer aus den Steinheim-Seeschichten (STS) und der Oberen Meeresmolasse (tOM) (Schloz in: Reiff, 2004).

Das Wasser der Rohrwiesenquelle (tOM), (LGRB-Archiv-Nr. QU7326/9) enthält 5,9 mg/l Sauerstoff, das des Tiefbrunnen Sontheim (STS), (LGRB-Archiv-Nr. BO7326/1) nur 1,3 mg/l. Damit geht im TB Sontheim ein Nitratgehalt von < 0,7 mg/l einher. Die reduzierenden Verhältnisse aufgrund der organischen Anteile der Steinheim-Seeschichten zeigen sich durch den zeitweisen Geruch des Wassers nach Schwefelwasserstoff. Der Feststoffgehalt in den Molassewässern liegt zwischen ca. 500 bis 630 mg/l. Die Wässer sind im Vergleich zu den Wässern der anderen Hydrogeologischen Einheiten am höchsten mineralisiert.

Eine Besonderheit bilden oberflächennahe Grundwasservorkommen in bzw. auf Feuersteinlehm. Sie sind nach Furtak & Languth (1967) als normal erdalkalisches, überwiegend sulfatisches Wasser zu typisieren. Der sehr geringe bis fehlende Karbonatgehalt des Feuersteinlehms bewirkt, dass der Lösungsinhalt dieses Grundwassers im Vergleich zu dem des Niederschlags nur wenig ansteigt und der pH-Wert teilweise im deutlich sauren Bereich liegt (pH = 4,3 bis pH = 7,5). Typisch sind niedrige elektrische Leitfähigkeiten (40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und, bedingt durch die Oberflächennähe, größere jahreszeitliche Temperaturschwankungen (von 6 °C bis 14 °C). Die Nitratkonzentrationen variieren ebenfalls beträchtlich (1 mg/l bis 40 mg/l) und sind teilweise deutlich erhöht.

Erhebliche anthropogene Einflüsse können hier wie auch in den anderen schwebenden Schichtgrundwasservorkommen auftreten.

Isotopenhydrologie und Altersstruktur

Isotopenhydrologische Untersuchungen liefern Informationen über die Neubildungsbedingungen und die Altersstruktur der Grundwässer. Dies beinhaltet die Identifikation unterschiedlich alter Grundwasserkomponenten und deren mengenmäßigen Anteil an der Gesamtzusammensetzung des Grundwassers. Daraus lassen sich Aussagen über den Gefährdungsgrad der Grundwässer durch aktuellen Stoffeintrag von der Geländeoberfläche sowie Prognosen über die zukünftige Entwicklung von bereits bestehenden Schadstoffbelastungen im Grundwasser ableiten (Bauer et al., 2002; Selg et al., 2005). Bei isotopenhydrologischen Untersuchungen kommen häufig Analysen auf Sauerstoff-18 (^{18}O), Deuterium (^2H) und auf Tritium (^3H) zur Anwendung. Weiterhin werden Krypton-85 (^{85}Kr), Kohlenstoff-14, (^{14}C), Helium-3 (^3He) sowie der Spurenstoff Schwefelhexafluorid (SF_6) eingesetzt. In jüngster Zeit kam bei sehr alten Wässern das radioaktive Isotop Krypton-81 (^{81}Kr) hinzu (Heidinger et al., 2019). Ausführliche Erläuterungen der Grundlagen der isotopenhydrologischen Methoden finden sich u. a. bei Moser & Rauert (1980), Mook (2000) sowie Armbruster et al. (2008).

Die Ergebnisse der Isotopenmessungen werden i. d. R. gemeinsam mit den hydrochemischen Untersuchungsergebnissen des Grundwassers und unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Rahmenbedingungen synoptisch ausgewertet und interpretiert.

In der Studie von Geyh & Groschopf (1978), die sich über die Mittlere Alb und die Ostalb erstreckt, wurde erstmals die Isotopenhydrologie der Karstwässer der Schwäbischen Alb systematisch und großräumig untersucht. Weitere Auswertungen zur mittleren Verweilzeit verschiedener Grundwässer der Ostalb sind in HGK (2002) dokumentiert. Mit der Altersstruktur der Karstwässer der Mittleren Alb beschäftigten sich Selg et al. (2005).

Sauerstoff/Deuterium ($^{18}\text{O}/^2\text{H}$)

Das stabile Sauerstoffisotop ^{18}O und das stabile Wasserstoffisotop Deuterium ^2H kommen im Wasser in geringen Mengen vor. Als Teil des Wassermoleküls ist das stabile Sauerstoffisotop ^{18}O ein idealer Tracer. Es wird mit dem Niederschlag flächenhaft eingetragen. Die ^{18}O -Werte beziehen sich auf den internationalen Standard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water). Sie weisen wegen der generellen Abweichung gegenüber dem Meerwasser negative Werte auf und werden als $\delta^{18}\text{O}$ -Werte in ‰ dargestellt.

Methodik

Aufgrund der leicht unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der geringfügig schwereren Wassermoleküle führen Verdunstungs- und Kondensationsprozesse zu unterschiedlichen Gehalten der stabilen Isotope in der Wasser- und Gasphase (Isotopenfraktionierung). Dabei reichern sich die schweren Wassermoleküle in der verbleibenden flüssigen Phase an. Dieser Fraktionierungsprozess wird maßgebend durch die Temperatur beeinflusst (Temperatureffekt).

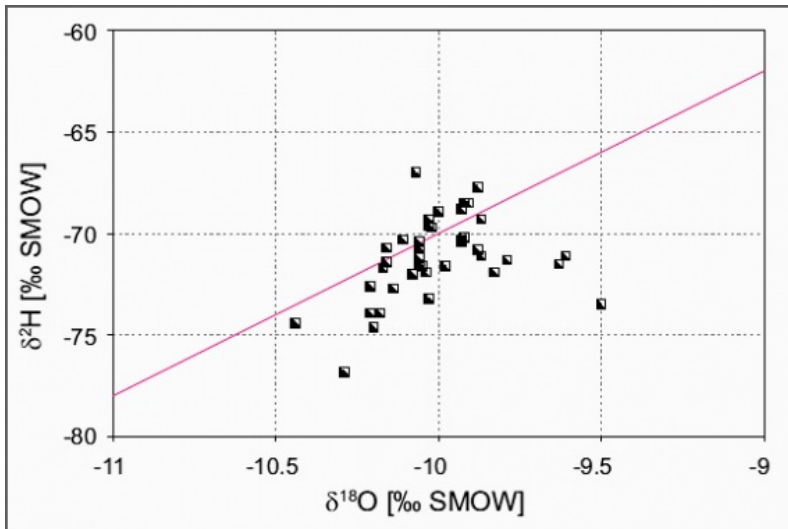
Mit Hilfe der Isotopenmarkierung des Wassermoleküls kann beurteilt werden, ob ein Grundwasseraufschluss nach einem Niederschlagsereignis z. B. Direktabflüsse von der Geländeoberfläche, zwischengespeichertes Grundwasser (z. B. aus dem Epikarst oder aus Klüften) bzw. langfristiges Grundwasser enthält. Hierzu sind Informationen über die ^{18}O -Verteilung im Niederschlagswasser erforderlich. Sie unterliegt Schwankungen, die auf die Genese und Herkunft der Niederschläge zurückzuführen sind. Besonders bedeutend für die Interpretation ist die Tatsache, dass die Niederschläge im Sommerhalbjahr isotopisch schwerer sind als im Winterhalbjahr. Die ^{18}O -Isotopenverteilung im Niederschlag weist demzufolge einen typischen Jahresgang auf.

Der Vergleich von längeren Zeitreihenmessungen des ^{18}O -Gehaltes im Grundwasser und im Niederschlag erlaubt es i. d. R. sowohl kurzfristige (innerhalb von Tagen bis Wochen stattfindende) als auch saisonale Variationen bei der Grundwasserneubildung qualitativ und quantitativ zu identifizieren.

Bei altem Grundwasser deuten stark abgereicherte $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ -Isotopengehalte (isotopisch leichtere Grundwässer) auf eine Neubildung unter kälteren Klimabedingungen (z. B. klimatische Kaltzeiten im Pleistozän) hin.

Ergebnisse

Die mittleren Deuterium- (^2H) und Sauerstoff-Werte (^{18}O) von Grundwasser und oberirdischen Gewässern der Ostalb betragen -70 ‰ und -10 ‰ (s. Abb. unten). Das Wasser der Ostalb zeigt hinsichtlich des Gehalts an ^2H und ^{18}O erwartungsgemäß keine gravierenden Abweichungen von der mittleren Niederschlagsgeraden ($\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$). Dies ist ein Beleg dafür, dass es am aktuellen Wasserkreislauf beteiligt ist. Geringe Abweichungen von der mittleren Niederschlagsgeraden infolge einer relativ stärkeren Anreicherung von ^{18}O gegenüber ^2H sind in einzelnen Fällen einer verstärkten Verdunstung zuzuschreiben.



$^2\text{H} / ^{18}\text{O}$ - Diagramm für Grundwasser und oberirdische Gewässer aus der Ostalb und Niederschlagsgerade (Meteoric Water Line) (HGK, 2002)

Tritium (^3H)

Tritiumhaltiges Wasser wird oft als idealer Tracer bezeichnet. Die Konzentration wird in Tritiumeinheiten (tritium units: TU) angegeben. Das Verhältnis von einem tritiierten Wassermolekül zu 10^{18} nicht tritiierten Wassermolekülen entspricht einem TU oder ca. 0,119 Bq/l.

Tritium als radioaktives Wasserstoffisotop mit einer Halbwertszeit von 12,32 Jahren nimmt als Bestandteil des Wassermoleküls am globalen Wasserkreislauf teil. Es wird in den höheren Luftschichten der Atmosphäre durch die Einwirkung von kosmischer Strahlung auf Stickstoffatome natürlich erzeugt. Tritiertes Wasser gelangt über den Niederschlag in das Grundwasser. Niederschlag in Europa enthält heute etwa 8 bis 10 TU natürlich entstandenes Tritium.

Neben dem natürlichen Tritium wurden zwischen 1953 und 1963 große Mengen an Tritium durch oberirdische Kernwaffentests in die Stratosphäre freigesetzt. Dies führte zu extrem hohen Tritiumkonzentrationen von mehreren tausend TU im Niederschlagswasser. Mit dem Stop der Tests im Jahr 1963 nahmen die Tritiumgehalte schnell wieder ab. Dieser Tritiumpeak kann dazu führen, dass die Tritiumwerte nicht immer eindeutig interpretiert werden können. In solchen Fällen kann die Bestimmung der $^{85}\text{Krypton}$ -Konzentration weiterhelfen. Heute liegen die Gehalte im Niederschlag wieder in der Größenordnung der natürlichen atmosphärischen Tritiumproduktion.

Im Gebiet der Ostalb ist das Karstgrundwasser im Rahmen der Arbeiten zur HGK (2002) an zahlreichen Grundwassermessstellen, Quellen und Brunnen z. T. über einen längeren Zeitraum auf Tritium untersucht worden. Anhand der Tritiumgehalte und unter Verwendung geeigneter Speicher-Durchfluss-Modelle können mittlere Verweilzeiten für das Grundwasser bestimmt werden.

Methodik

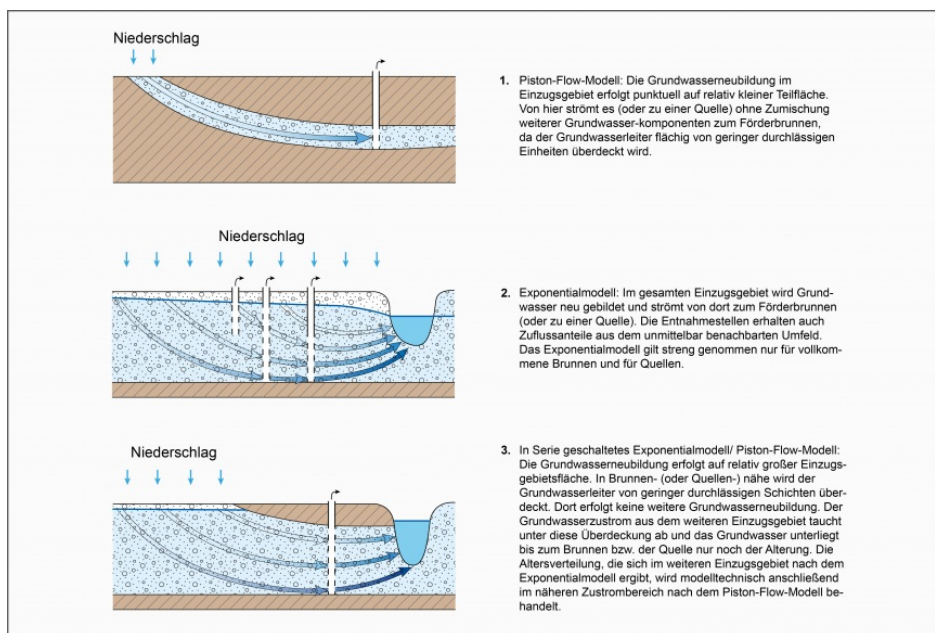
Für die Bestimmung der mittleren Verweilzeit im Oberjura der Schwäbischen Alb sind die Lage zur Wasserscheide, d. h. die Größe des Einzugsgebiets und der Grundwasseranschluss der Quelle oder des Brunnens an hochdurchlässige Abflussbahnen maßgebliche Einflussgrößen. Sind diese Parameter bekannt, lassen sich die mittleren Verweilzeiten relativ zuverlässig abschätzen (Armbruster et al., 2008).

Bei der Auswertung wurde von einer ganzjährigen Grundwasserneubildung, d. h. einem ganzjährigen Eintrag von Tritium ausgegangen, da Klüfte, Spalten und Dolinen auch im Sommerhalbjahr ihre Drainagefunktion nicht verlieren und eine rasche Versickerung des überwiegenden Teils der Niederschläge ermöglichen (HGK, 2002).

Bei der Wahl des Modelltyps, der der Auswertung zugrunde gelegt wird, sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- die Komplexität der Strömungsvorgänge im Karstgrundwasserleiter mit gebietsweise wechselnder Intensität von Klüftung und Verkarstung sowohl in der gesättigten als auch in der ungesättigten Zone,
- die faziesabhängigen Porositätsunterschiede,
- die unterschiedliche Überdeckung durch schluff- und tonreiche, z. T. mergelige Schichten,
- die Speicherfunktion des Epikarsts.

Standardmodelle beschreiben solche Verhältnisse nur in Ausnahmefällen zufriedenstellend. Bei einer Karstquelle ist z. B. die Zusammensetzung der verschiedenen alten Wasserkomponenten in Trockenwetterzeiten anders als in einer Zeit mit starken Niederschlägen, bei einem Tiefbrunnen in der Überdeckten Zone des Tiefen Karsts anders als bei einer Karstquelle in der Offenen Zone des Seichten Karsts.



Schematische Schnitte durch hydrogeologisch unterschiedlich aufgebaute Brunneneinzugsgebiete (verändert nach Maloszewski & Zuber, 1996)

Für Karstquellen mit ständiger Schüttung wird bei Trockenwetter meist das Exponentialmodell zutreffen. Diesem Modell liegt die Vorstellung zugrunde, dass die Anteile der einzelnen Wasserkomponenten mit zunehmendem Alter exponentiell abnehmen. Sofern jedoch die Schüttung bei einem Niederschlagsereignis stark zunimmt und dabei ein schneller Zufluss von Niederschlagswasser über Karstgerinne erfolgt, wird die Exponentialverteilung von einer zusätzlichen jungen Komponente überlagert. Diese Situation kann durch eine Parallelschaltung von Exponential- und Piston-Flow-Modell simuliert werden.

Karstgrundwasser in der Überdeckten Zone des Tiefen Karsts erhält infolge der gering durchlässigen Überdeckung des Grundwasserleiters keinen nennenswerten Zufluss von jungem Niederschlagswasser, so dass es letztlich auf dem Fließweg zur Vorflut nur noch altert. Hier trifft als Modellansatz eine Reihenschaltung von Exponential- und Piston-Flow-Modell zu.

Bei der dauerhaften Entnahme des Karstgrundwassers durch Tiefbrunnen können sich je nach der Entnahmetiefe und den Pumpbedingungen die Anteile der verschieden alten Wasserkomponenten ändern. Dies hat zur Folge, dass der gewählte Modellansatz nicht mehr zutrifft. Variationen in den Tritiumgehalten können in solchen Fällen entnahmebedingt sein und müssen nicht auf natürliche Änderungen der Isotopengehalte im Karstgrundwasser zurückgehen.

Diese grundsätzlichen Überlegungen zeigen, dass es für einen Karstaquifer kein allgemein gültiges Standardmodell gibt.

Aus der beobachteten geringeren Variationsbreite der Tritiumkonzentrationen im Grundwasser der Ostalb im Vergleich zum Niederschlag ist abzuleiten, dass im Karstgrundwasserleiter eine Durchmischung des infiltrierten Niederschlagswassers erfolgt. Diese ist unterschiedlich stark und von den jeweiligen hydraulischen Verhältnissen abhängig. Treten im Karstgrundwasser trotzdem einzelne hohe Tritiumwerte auf, so sind sie als Hinweis auf eine schnell abfließende Karstgrundwasserkomponente („kurzfristiges Karstwasser“, Villinger, 1972) anzusehen.

Grundsätzlich fällt die Diskrepanz zwischen den aus den Tritiummessungen ermittelten vergleichsweise hohen mittleren Verweilzeiten (MVZ) und den aus den Markierungsversuchen ermittelten hohen Fließgeschwindigkeiten (Abstandsgeschwindigkeiten) des Grundwassers auf.

Diese scheinbar widersprüchlichen Befunde sind darin begründet, dass der Karstaquifer als Doppel-Porositätsmedium ausgebildet ist. Dieses kann vereinfacht als ein Gitter aus engen und weiten Hohlräumen betrachtet werden.

Die hohen MVZ gehen auf die feinere Gesteins- und Kluftporosität zurück, während die hohen Fließgeschwindigkeiten die Folge von hochdurchlässigen, gerinneartigen Karststrukturen sind, die sich besonders in Richtung der Austrittstellen großer Karstquellen entwickelt haben.

Ergebnisse

Grundsätzlich nehmen die mittleren Verweilzeiten des Grundwassers im Oberjura-Karstgrundwasserleiter der Schwäbischen Alb von Norden nach Süden zu (Armbruster et al., 2008). Im Bereich des Seichten Karsts und der Offenen Zone des Tiefen Karsts betragen die mittleren Verweilzeiten in der Regel ca. 2 bis 6 Jahre. Für Brunnen und Quellen mit größeren Einzugsgebieten und damit großen Umsatzräumen liegen die mittleren Verweilzeiten bei 5 bis 15 Jahren. Am Südrand der Schwäbischen Alb im Grenzbereich zum Überdeckten Karst betragen die mittleren Verweilzeiten 10 bis 20 Jahre. Mit zunehmender Überdeckung nach Süden werden die Wässer generell noch wesentlich älter (Heidinger et al., 2019).

Das Grundwasser setzt sich aus einer langfristigen Grundwasserkomponente mit einer Verweilzeit von Jahren und kurzfristigen Abflusskomponenten mit mittleren Verweilzeiten von Tagen bis Monaten zusammen.

Die junge Komponente in den vergleichsweise flachen Grundwasserzirkulationssystemen steht meist mit Starkniederschlägen oder der Schneeschmelze in Zusammenhang. Sie erreicht am Gesamtabfluss maximal bis etwa 30 %. Am Südrand der Schwäbischen Alb tritt an der Grenze zum Überdeckten Karst zusätzlich eine über 50 Jahre alte Grundwasserkomponente mit Anteilen bis 30 % hinzu.

Die Ergebnisse der Auswertung der Tritiumwerte für die Ostalb sind in folgender Tabelle zusammengestellt (HGK, 2002).

Mittlere Verweilzeiten von Quellen, Brunnen und Grundwassermessstellen mit längeren Tritiummessreihen (aus HGK, 2002)

Bezeichnung	LGRB-Archiv-Nr.	Messzeitraum	Hydrogeologische Situation	Mittlere Verweilzeit [a]	Modell	Bemerkungen
Quelle Oberer Knöckling	QU7126/4	1985–1993	Seichter Karst	17	Exponentialmodell	
Schwarze Kocherquelle	QU7226/4	1969–1993	Seichter Karst	14	Exponentialmodell	
Helenequelle	QU7325/1	1987–1991	Seichter Karst	14	Exponentialmodell	nur 5 Tritiummesswerte
West/Ost	QU7325/13					
Rohrachquelle	QU7425/3	1970–1988	Seichter Karst	18	Exponentialmodell	
Lauterquelle Herrlinger Lauter	QU7525/3	1977–1989	Tiefer Karst	28	Exponentialmodell	
Lonequelle	QU7425/1	1970–1991	Tiefer Karst	22	Exponentialmodell	die geringe mittlere Verweilzeit ist vermutlich durch das kleine Einzugsgebiet (22 km ²) bedingt
Brenzquelle	QU7226/1	1968–1993	Tiefer Karst	35	Exponentialmodell mit allen Tritiumwerten	große Schwankungsbreite durch Überlagerung kurz- und langfristiger Abflusskomponenten
				58	Exponentialmodell ohne erhöhte Tritiumwerte	
Pfefferquelle	QU7226/2	1968–1993	Tiefer Karst	64	Exponentialmodell	große Schwankungsbreite der Messwerte
Brunnenmühlenquelle Heidenheim	QU7326/1	1968–1995	Tiefer Karst	29	Exponentialmodell mit allen Tritiumwerten	größere Schwankungsbreite durch Überlagerung kurz- und langfristiger Abflusskomponenten
				38	Exponentialmodell ohne erhöhte Tritiumwerte	
Hürbequelle	QU7427/2	1968–1993	Tiefer Karst	77	Exponentialmodell	nur 4 Tritiummesswerte
Egauquelle	QU7227/1	1977–1995	Tiefer Karst	32	Exponentialmodell	nur 3 Tritiummesswerte
Gallengehrenquelle	QU7328/1	1975–1993	Tiefer Karst	36	Exponentialmodell	nur 3 Tritiummesswerte
Buchbrunnenquelle, Egauwasserwerk	QU7328/2	1975–1993	Tiefer Karst	37	Exponentialmodell	nur 4 Tritiummesswerte
Nauursprung, Langenau	QU7526/3	1968–1978	Tiefer Karst	47	Exponentialmodell	Exponentialmodell wegen der hydrogeologischen Situation nur bedingt zutreffend
						große Schwankungsbreite

P. Wk. Siebter Fuß, Heidenheim- Aufhausen (TB I, TB II, TB III, TB IV)	BO7226/9, 31,32,33	1968–1995	Tiefer Karst	62	Exponentialmodell	durch Überlagerung kurz- und langfristiger Abfluss- komponenten, z. T. durch Entnahmesituation bedingt
SCHBR PW Mergelstetten - Heidenheim	BO7326/133	1968–1995	Tiefer Karst	(62)	Exponentialmodell	bessere Anpassung durch Kombination Exponential- und Piston-Flow-Modell; geringe Grundwasser- neubildung im näheren Zustrombereich des Brunnens
				54	Reihenschaltung Exponentialmodell - Piston-Flow- Modell	
TB 1957 Ulmer Tal Westerstetten	BO7425/32	1968–1992	Tiefer Karst	(47)	Exponentialmodell	bessere Anpassung durch Kombination Exponential- und Piston-Flow-Modell
				43	Reihenschaltung Exponentialmodell - Piston-Flow- Modell	
GWM Brunnen II LW 8802 Burgberg	BO7427/42	1968–1978	Tiefer Karst	(rel. hoch)	nicht mittels Exponentialmodell auswertbar	Tritiummesswerte vermutlich durch Pumpbetrieb gestört

Untersuchungen von Armbruster et al. (2008) weisen relativ hohe Tritiumalter auf. Bei den Karstquellen, die aus dem Tiefen Karst gespeist werden, reichen die mittleren Verweilzeiten von etwa 22 bis 77 Jahre (HGK, 2002). Sie sind damit zum Teil deutlich höher, zum Teil aber auch nicht von denen des Seichten Karsts zu unterscheiden. Die geringeren mittleren Verweilzeiten sind auch im Tiefen Karst auf rasche Zuflüsse in stark verkarsteten Zonen zurückzuführen.

Die Quellen des Seichten Karsts haben erwartungsgemäß die geringsten Mittleren Verweilzeiten von 14 bis 18 Jahren.

Im Einzugsgebiet der Oberen Brenz treten gebietsweise relativ hohe Mittlere Verweilzeiten auf (Brenzquelle MVZ = 35 Jahre; Pfefferquelle MVZ = 64 Jahre). Sie werden auf die Zwischenspeicherung des Sickerwassers im Feuersteinlehm zurückgeführt, der in diesem Gebiet flächig auftritt (Schloz, 1999).

Für durch Tiefbrunnen erschlossene Karstgrundwässer wurden mittlere Verweilzeiten von 47 bis 62 Jahren ermittelt. Zum Teil ist eine Auswertung mit dem Exponentialmodell nur sehr eingeschränkt möglich. Vermutlich ist hier die natürliche Verteilung der Karstgrundwasserkomponenten durch den Pumpbetrieb gestört.

Bei Tiefbrunnen, in denen keine Grundwasserentnahme erfolgt, wie z. B. im Tiefbrunnen Ulmer Tal Westerstetten (LGRB-Archiv-Nr. BO7425/32, GW-Nr.101/714-1), sind die Tritiumwerte besser mit einer Reihenschaltung von Piston-Flow- und Exponential-Modell nachzuvollziehen (HGK, 2002).

Die resultierende mittlere Verweilzeit wird im Vergleich mit dem Ergebnis des Exponentialmodells kleiner. Bei relativ konstanten Entnahmebedingungen kann dieses Modell auch bei genutzten Brunnen und günstiger hydrogeologischer Situation eine bessere Übereinstimmung der berechneten Austragskurve und der gemessenen Tritiumwerte liefern, z. B. der Schachtbrunnen Pumpwerk Mergelstetten in Heidenheim-Mergelstetten (LGRB-Archiv-Nr. BO7326/133, GW-Nr. 0120/763-8).

Kohlenstoff-14/Kohlenstoff-13 ($^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$)

Das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C wird in den höheren Luftschichten ständig neu gebildet. Es nimmt als Kohlendioxid $^{14}\text{CO}_2$ am atmosphärischen Kohlenstoffkreislauf teil. Die natürliche atmosphärische Gleichgewichtsaktivität von ^{14}C in der oberen Atmosphäre entsprach im Jahr 1950 ungefähr 13,6 dpm/g Kohlenstoff (Zerfälle pro 1 Gramm Kohlenstoff in 1 Minute) und wird international auf 100 pmC (percent of modern Carbon) bzw. 100 %-mod. C festgelegt. Mit einer Halbwertszeit von 5 730 Jahren zerfällt das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C wieder zu Stickstoff.

Während der oberirdischen Kernwaffentests in den 1950er Jahren erhöhte sich der ^{14}C -Gehalt des atmosphärischen CO_2 im Jahre 1963 auf die doppelte Konzentration von 1950. Seither nimmt die ^{14}C -Aktivität wieder ab.

Methodik

Atmosphärisches ^{14}C wird in Form von $^{14}\text{CO}_2$ im Niederschlagswasser gelöst und gelangt in den Untergrund. In der gesättigten Bodenzone wird der Austausch mit der Atmosphäre unterbunden und die ^{14}C -Aktivität („ ^{14}C -Anfangsgehalt“) nimmt in der Folge durch den radioaktiven Zerfall ab.

Bei der Anwendung der ^{14}C -Methode muss berücksichtigt werden, dass es während der Passage des Grundwassers im Untergrund zu geochemischen Prozessen (Lösung und Ausfällung von Karbonaten) und Verlusten von ^{14}C durch Diffusion in das Wirtsgestein kommen kann. Zur Rekonstruktion der Kohlenstoffevolution (z. B. Karbonat-Kohlendioxid-Gleichgewicht) wird deshalb das stabile Kohlenstoffisotop ^{13}C bei der ^{14}C -Interpretation herangezogen (Interreg IIIA, 2008).

Ergebnisse

Die meisten untersuchten Karstgrundwasserproben der Ostalb besitzen Kohlenstoff-14-Gehalte zwischen 70 % und 90 % modern, d. h. typische Werte für junges Wasser (HGK, 2002). Vereinzelt kommen im Karstgrundwasser auch niedrigere Gehalte (55 % bis 70 % modern) bei gleichzeitig geringen Tritiumgehalten vor. Dies trifft sowohl bei Quellwasser zu (Brenzquelle, Pfefferquelle), als auch bei tiefem, erbohrtem Karstgrundwasser (TB II Burgberg, TB I und TB IV Siebter Fuß, GWM 1 und 2 Deponie Nattheim). Da die niedrigen Gehalte nicht durchgehend auftreten, handelt es sich wahrscheinlich um Mischwasser einer tritiumfreien, älteren Karstgrundwasserkomponente mit wechselnden Anteilen von jungem, tritiumhaltigem Wasser (HGK, 2002).

Literatur

- Armbruster, V., Bertleff, B., Plum, H., Prestel, R., Heinz, J., Binder, E., Heidinger, M. & Eichinger, L. (2008). *Verweilzeiten des Grundwassers in oberflächennahen Grundwasserleitern in Baden-Württemberg*. – LGRB-Fachbericht, 01/08, S. 1–31, Freiburg i. Br. (Regierungspräsidium Freiburg – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau), verfügbar unter https://produkte.lgrb-bw.de/docPool/c133_data.pdf.
- Bauer, M., Selg, M. & Eichinger, L. (2002). *Pflanzenschutzmittel im Kluft- und Karstgrundwasserleiter des Oberjuras in Baden-Württemberg*. – Abhandlungen LGRB, 15, S. 149–221.
- Furtak, H. & Langguth, H.-R. (1967). *Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen*. – Mem. IAH-Congress, S. 86–96, Hannover.
- Geyh, M. A. & Groschopf, P. (1978). *Isotopenphysikalische Studie zur Karsthydrogeologie der Schwäbischen Alb*. – Abhandlungen des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg, 8, S. 7–58.
- 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).
- Haakh, F. (2018). *Das Nitratproblem im Wasserschutzgebiet Donauried-Hürbe*. – gwf Wasser/Abwasser, 12, S. 69–76, verfügbar unter https://www.lw-online.de/fileadmin/lwonline/redaktion/pdf-dateien/publikationen/fachpublikationen/2018/2018_haakh_gwf_nitratproblem_huerbe.pdf.
- Heidinger, M., Eichinger, F., Purtschert, R., Mueller, P., Zappala, J., Wirsing, G., Geyer, T., Fritzer, T. & Groß, D. (2019). *Altersbestimmung an thermalen Tiefenwässern im Oberjura des Molassebeckens mittels Krypton-Isotopen*. – Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, 24, S. 287–294.
- Interreg IIIA (2008). *Grenzüberschreitende Bewirtschaftung des Grundwassers im Raum Hegau–Schaffhausen*.

- Interreg IIIA Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein, Abschlussbericht, 85 S.
- Mook, W. G. (2000). *Environmental isotopes in the hydrological cycle – Principles and applications*. – IHP-V, Technical Documents in Hydrology, No. 39, 1, 280 S.
 - Moser, H. & Rauert, W. (1980). *Isotopenmethoden in der Hydrogeologie*. – Lehrbuch der Hydrogeologie, 8, 400 S., Berlin (Borntraeger).
 - Plum, H., Dietze, G., Armbruster, V. & Wirsing, G. (2009a). *Natürliche geogene Grundwasserbeschaffenheit in den hydrogeologischen Einheiten von Baden-Württemberg*. – LGRB-Informationen, 23, S. 1–192, verfügbar unter https://produkte.lgrb-bw.de/docPool/c621_data.pdf.
 - Reiff, W. (2004). *Erläuterungen zu Blatt 7326 Heidenheim*. – Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., 223 S., 3 Beil., Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg).
 - Schloz, W. (1999). *Hydrogeologie des Einzugsgebiets der oberen Brenz*. – Manuskript zum Vortrag beim Symposium „Die Brenz – eine gute Adresse“ am 19.07.1999 in Heidenheim, 14 S. [unveröff.]
 - Selg, M., Bauer, M., Heinz, J. & Mair, C. (2005). *Die Altersstruktur des Kluft- und Karstgrundwassers im Oberjura der Schwäbischen Alb und ihre Bedeutung für den anhaltenden Atrazinaustrag*. – Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br., 95(1), S. 1–45.
 - Villinger, E. (1972). *Seichter Karst und Tiefer Karst in der Schwäbischen Alb*. – Geologisches Jahrbuch, Reihe C, 2, S. 153–188.

[Datenschutz](#)

[Cookie-Einstellungen](#)

[Barrierefreiheit](#)

Quell-URL (zuletzt geändert am 24.03.26 - 10:21):<https://lgrbwissen.stage.lgrb-bw.de/hydrogeologie/regionalbeschreibung-ostalb/grundwasserbeschaffenheit>