

## 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

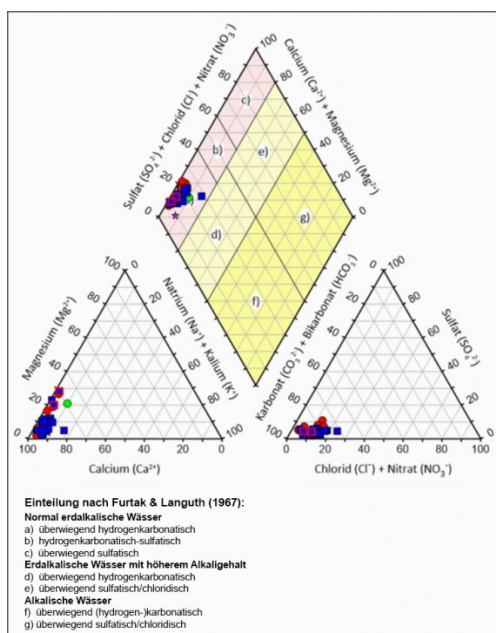
Die hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer ist geprägt durch die chemische Beschaffenheit der Böden und der Gesteine der ungesättigten Zone, die das Niederschlagswasser auf dem Weg bis zum Grundwasser durchsickert. Zudem wird die Grundwasserbeschaffenheit durch die Gesteinszusammensetzung des 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).

Die geogene Grundwasserbeschaffenheit (etwa 50 Einzelparameter) im Bereich der Mittleren Alb ist in Form von Kartendarstellungen über den [LGRB-Kartenviewer](#) einsehbar. Neben den natürlichen Prozessen wirken sich auch anthropogene Einflüsse auf die hydrochemische Grundwasserbeschaffenheit aus.

Die beschriebenen Prozesse führen dazu, dass die Grundwässer der Mittleren Alb 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 gibt es auf der Mittleren Alb im:

- Quartär
- Tertiär
- Oberjura
- Mitteljura und Oberer Muschelkalk



Charakterisierung der Grundwässer der Mittleren Alb im PIPER-Diagramm nach Furtak & Languth (1967), (Grafik: LGRB, 2023; Datenquelle: Labordatenbank LGRB-RPF)

- Grüne Punkte (z. T. überdeckt): Quartär,
- Stern: tertiäre Magmatite/Oberjura,
- Rote Punkte: Obere Süßwassermolasse, Obere Meeresmolasse, Obere Brackwassermolasse, Untere Süßwassermolasse,

- Blaue Quadrate: Oberjura
- blaue Quadrate mit rotem Rand: Oberjura (Warme Quelle, Venturenquelle)

## Hauptinhaltsstoffe in ausgewählten Grundwässern der Mittleren Alb (Datenquelle: Labordatenbank LGRB-RPF)

Lfd.Nr.	Probe-nahme-datum	Aquifer	Hydrogeol. Bezug	el. LF. (bei25°C) [µS/cm]	Temp. [°C]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	HCO <sub>3</sub> [mg/l]	Cl [mg/l]
1	26.06.2023	q		402	13,2	70,1	12,9	9,99	2,54	0,000114	0,000127	244	18,1
2	14.08.2023	q		549	10,4	133	4,8	5,59	0,5	0,00041	0,000073	378	18,3
3	14.08.2023	q		545	10,5	128	4,77	5,39	0,5	0,000196	0,0000464	372	17,9
4	15.08.2023	q		534	10,2	129	3,09	4,22	0,62	0,000736	0,000024	363	13,7
5	15.08.2023	q		550	10,4	128	3,03	4,42	0,56	0,00101	0,0000895	354	14
6	15.08.2023	q		574	14,3	129	6,2	5,85	0,88	0,00127	0,000105	372	17
7	26.06.2023	tOM	s. St.	622	10,8	127	18,9	6,47	1,01	0,0123	0,000374	384	26,2
8	27.06.2023	tOS	s. St.	466	9,3	111	3,02	3,68	0,303	0,000272	0,0000504	293	10,3
9	28.03.2023	tOS	s. St.	469	8,8	96,1	5,08	5,7	0,47	0,00133	0,0000566	268	17,4
10	28.03.2023	tOS	s. St.	492	8,2	107	1,5	3,88	0,28	0,000817	0,0000635	275	11
11	28.03.2023	tOS, tOB	s. St.	517	8,3	108	8,73	2,53	0,27	0,000547	0,0000445	333	6,74
12	14.08.2023	tOB	s. St.	456	9,6	105	4,32	1,73	0,33	0,000572	0,000048	272	5,03
13	26.06.2023	tUS	s. St.	528	10,7	117	14,2	2,09	0,92	0,000345	0,0000803	400	4,25
14	15.08.2023	tUS	s. St.	719	13,4	141	31,8	5,2	1,09	0,00724	0,00662	525	15,9
15	09.05.2023	tJM		1620	8,8	369	9,89	31,6	13,5	0,00362	0,00353	1150	45,7
16	22.05.2023	joFO	T. K.	594	10,4	129	4,11	9,69	1,13	0,00116	0,000178	339	28,4
17	27.03.2023	joFO	T. K.	556	9,3	117	9,24	5,73	1,2	0,0737	0,000154	351	14,2
18	22.05.2023	joFU	T. K.	548	10,3	114	8,21	8,25	1,4	0,000744	0,0000555	336	21,3
19	22.05.2023	joFU	T. K.	547	10,6	123	3,93	11,1	1,18	0,00643	0,000152	333	29,8
20	27.03.2023	joMK	T. K.	601	8,9	125	9,19	6,48	0,95	0,000544	0,0000605	375	16,7
21	14.08.2023	joMK	T. K.	557	11,5	137	4,29	4,34	0,37	0,000614	0,0000313	384	19,1
22	14.08.2023	joMK	T. K.	540	9,2	117	10,5	8,76	0,66	0,00045	0,0000325	372	19,1
23	14.08.2023	joMK	T. K.	536	13	137	3,11	8,43	0,87	0,000973	0,000102	391	21,3
24	28.03.2023	joMK	T. K.	645	8,3	127	9,75	10	0,66	0,00072	0,0000671	387	20,6
25	27.03.2023	joMKu	T. K.	559	8,6	113	8,15	11,6	1,32	0,000994	0,0000431	339	23
26	27.06.2023	joMKu	T. K.	473	8,6	97,5	17,8	1	0,265	0,000304	0,000024	354	2,84
27	14.08.2023	joMKu	T. K.	568	9,9	131	2,62	9,8	1,23	0,00163	0,000159	351	26,8
28	14.08.2023	joMK, qsk	T. K.	538	12,4	123	5,57	9,39	0,91	0,000992	0,000164	366	22,6
29	09.05.2023	joLB, joW	S. K.	503	9,5	115	1,88	8,08	0,91	0,000988	0,000154	323	17,7
30	08.05.2023	joW	S. K.	479	8,6	111	3,59	3,38	0,3	0,000627	0,000241	329	8,51
31	08.05.2023	joW	S. K.	496	8,7	107	7,63	2,64	0,34	0,000802	0,000117	336	6,38
32	08.05.2023	joW, jol	S. K.	669	9,6	123	4,53	28,5	0,99	0,0014	0,000712	342	53,9

33	29.03.2023	joW	S. K.	597	8,6	118	4,75	11,8	0,83	0,0015	0,0668	345	24,1
34	27.03.2023	jo	T. K.	537	9,9	115	9,53	3,63	1,15	0,00182	0,000102	357	9,93
35	27.03.2023	jo	T. K.	488	10,1	106	7,35	3,77	1,04	0,00752	0,000664	308	11,3
36	22.05.2023	jo	T. K.	553	9,9	130	4,72	8,24	1	0,00063	0,000131	345	25,2
37	28.03.2023	jo	T. K.	548	12,3	101	16,3	4,39	0,85	0,000504	0,000094	336	13,5
38	28.03.2023	jo	T. K.	504	17,6	85,1	20,9	2,39	0,82	0,000468	0,0000805	329	7,09

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

Probenahmestellen:

Lfd. Nr.	GW-Nummer	LGRB-Nr.	Bezeichnung
1	0181/716-6	BO7625/86	TB 1 Rote Wand Ulm Wiblingen, Vertikalbrunnen = VB 1
2	0003/518-5	BO7821/1	Brunnen II/86 Stetten, Veringenstadt
3	0004/518-1	BO7821/2	Brunnen I/86 Stetten, Veringenstadt
4	0138/568-7	BO7822/49	Brunnen I Seewiesen, Wilflingen
5	0139/568-2	BO7822/220	Brunnen II Seewiesen, Wilflingen
6	0028/519-8	BO7821/78	TB Sigmaringendorf Rückhau
7	0031/666-0	QU7624/6	QF 3 Oberdischingen
8	0035/617-7	QU7723/35	QF Eggartswiesen
9	0040/617-6	QU7723/31	QF Hintere Wiesen
10	0163/617-2	QU7723/1	QF 1 Zugenwiese, WV Oberwilzingen
11	0040/617-6	QU7723/22	QS Sägmühlquelle, Kirchen
12	ohne	QU7723/40	Quelle Brünnele, Lauterach
13	6004/616-9	QU7623/16	QF 1 Altsteußlingen
14	ohne	QU7822/69	Nördliche Landauhof-Quelle
15	ohne	BO7621/71	Schachtbrunnen Säuerling von Kleinengstingen
16	0232/715-4	QU7525/3	Lauterquelle Herrlinger Lauter
17	0040/666-1	QU7624/14	QF Achquelle, Schelklingen
18	0022/665-7	BO7524/50	BR I Gerhausen, Blaubeuren
19	0600/665-7	QU7524/1	QF Blautopf, Blaubeuren

20	0003/567-0	QU7722/8	QF Achursprung Wimsener Höhle, Hayingen
21	0600/518-4	QU7821/3	QF Brunnenhaldenquelle, Veringenstadt
22	0601/517-7	QU7721/3	QF Gallusquelle, Hermentingen
23	0006/518-1	BO7821/5	Tiefbrunnen Gaihberg, Jungnau
24	0001/566-7	QU7622/8	QF Lauter-Ursprung, Gomadingen
25	6002/616-8	QU7623/14	QF Schmiechquelle, Gundershofen
26	0600/517-2	QU7721/2	Schloßbergbrunnen (QF Lichtenstein-Quelle) Neufra
27	0602/518-3	QU7821/1	QF Königsgassenquelle, Veringendorf
28	0601/518-9	QU7821/6	Ahlenbergquelle, Veringendorf
29	6503/564-8	QU7422/82	QF Lauterquelle 1, Oberlenningen
30	6524/614-2	QU7423/7	Große Filsquelle, Oberes Filstal, Wiesensteig
31	6526/614-3	QU7423/8	QF Kleine Filsquelle, Wiesensteig
32	2005/664-4	QU7424/23	QF Gosquelle (= Quelle 2 Unterdrackenstein), Drackenstein
33	2027/515-8	QU7521/1	Echaz-Quelle, Honau
34	0052/666-9	BO7624/25	TB 2/80 Spitzäcker, Schelklingen
35	9006/617-7	BO7723/155	Karstbrunnen Zwiefaltendorf
36	0100/715-9	BO7525/31	Brunnen IV, Lautern
37	0150/617-0	QU7723/2	Venturenquelle, Munderkingen
38	ohne	QU7723/36	Warme Quelle, Munderkingen-Algershofen

Aquifer:

q	Quartär	
tOM	Obere Meeresmolasse	
tOS	Obere Süßwassermolasse	
tOS, tOB	Obere Süßwassermolasse, Obere Brackwassermolasse	
tOB	Obere Brackwassermolasse	
tUS	Untere Süßwassermolasse	
tJM	Jüngere Magmatite und Begleitsedimente	
joFO	Obere-Felsenkalke-Formation	
joFU	Untere-Felsenkalke-Formation	
joMK	Oberjura-Massenkalk-Formation	
joMKu	Unterer Massenkalk	
joMK, qsk	Unterer Massenkalk, Quartärer Sinterkalk	
joLB, joW	Liegende-Bankkalke-Formation, Wohlgeschichtete-Kalke-Formation	
joW	Wohlgeschichtete-Kalke-Formation	
joW, jol	Wohlgeschichtete-Kalke-Formation, Impressamergel-Formation	
jo	Oberjura	

## Karstwasser im Oberjura

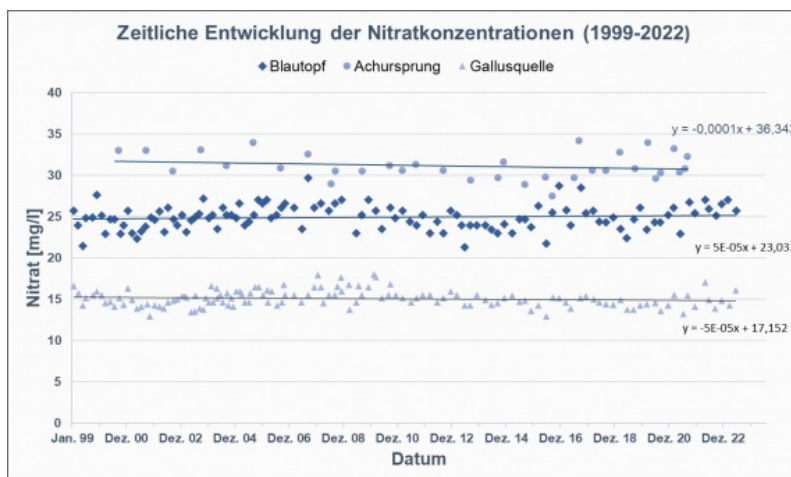
Die Temperaturen des Karstgrundwassers und der Karstquellen schwanken im Jahresverlauf meist um weniger als  $\pm 1\text{ °C}$  und liegen vorherrschend zwischen  $8,6\text{ °C}$  und  $10,5\text{ °C}$ . Der Temperaturgradient ist im stark durchströmten Aquiferbereich infolge Konvektion sehr niedrig, steigt aber unterhalb des verkarsteten Gebirgsabschnittes deutlich an. Nur oberflächennahe Schichtgrund- und Quellwässer zeigen eine weitgehende Anpassung an den Jahresgang der Lufttemperatur (HGK, 2002).

Abweichend davon sind die Temperaturen in der Venturenquelle ( $12,3\text{ °C}$ ) und der Warmen Quelle ( $17,6\text{ °C}$ ) erhöht. Sie gehen entweder auf einen Karstwasseraufstieg aus größerer Tiefe zur Vorflut oder auf einen erhöhten geothermischen Gradienten zurück (Villinger, 1977).

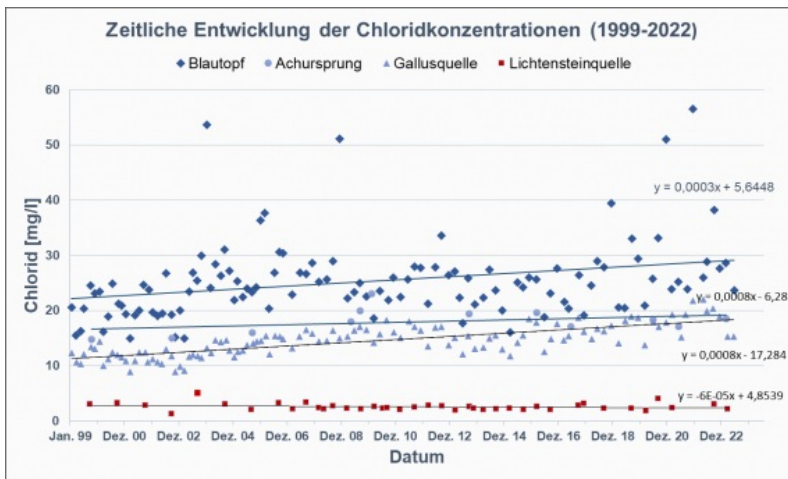
Hydrochemisch ist das Karstgrundwasser entscheidend durch die Lösung von Karbonatgestein charakterisiert und bei 480 bis 600 mg/l gelöstem Feststoffinhalt dem Typ hydrogenkarbonatisch-erdalkalisches Süßwasser zuzuordnen. Die Karbonathärte beträgt zwischen  $14\text{ °dH}$  und  $18\text{ °dH}$ , die Gesamthärte zwischen  $16\text{ °dH}$  und  $20\text{ °dH}$ .

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. Einen auffallend hohen Magnesiumgehalt von 17,8 mg/l bei gleichzeitig niedrigen Natrium- und Kaliumwerten weist der Schlossbergbrunnen (QF Lichtenstein, Neufra) auf. Ebenfalls erhöhte Magnesiumwerte finden sich in der Venturenquelle Munderkingen ( $16,3\text{ mg/l}$ ) sowie in der Warmen Quelle Munderkingen-Algershofen ( $20,9\text{ mg/l}$ ).

Nach HGK (2002) hat sich auf der Ostalb die Nitratkonzentration in einigen Karstquellen seit den 1960er bzw. 1970er-Jahren bis ins Jahr 2000 etwa verdoppelt. Der langfristige Trend steigender Nitratkonzentrationen setzte sich ähnlich wie auf der Ostalb auch auf der Mittleren Alb in einigen Beobachtungsstellen in abgeschwächter Form im Zeitraum 2000 bis 2022 in unterschiedlich starker Ausprägung fort. So stiegen die Nitratgehalte z. B. in der Sebastianquelle von ca. 20 mg/l Anfang der 2000er-Jahre auf ca. 26 mg/l  $\text{NO}_3^{2-}$  Anfang der 2020er-Jahre an. Demgegenüber blieb die Nitratkonzentration z. B. am Blautopf und in der Gallusquelle seit dem Jahr 2000 annähernd konstant, beim Achursprung zeichnet sich ein leicht fallender Trend ab.



Entwicklung der Nitratkonzentrationen (2000–2022) in ausgewählten Karstquellen der Mittleren Alb (Datenquelle: GWDB, 2023).



Entwicklung der Chloridkonzentrationen (2000–2022) in ausgewählten Karstquellen der Mittleren Alb (Datenquelle: GWDB, 2023).

Bei den Chloridgehalten ist in den letzten 20 Jahren in der Gallusquelle und am Blautopf die Tendenz leicht steigend, am Achursprung nahmen die Chloridgehalte nur geringfügig zu. In der Lichtensteinquelle gingen die ohnehin schon sehr niedrigen Chloridgehalte weiter leicht zurück.

Die Sulfatgehalte betragen im Karstwasser meist zwischen ca. 6 und 20 mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$ .

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).

Die Karbonathärten der untersuchten Wässer liegen zwischen 16 °dH und 18 °dH, die Gesamthärten zwischen 18 °dH und 20 °dH.

Eine Ausnahme bildet das Grundwasser des TB 1 Rote Wand, Ulm. Es ist stellvertretend für das Erschließungsgebiet Rote Wand und besteht zu einem sehr hohen Anteil aus Iller-Uferfiltrat. Es ist im Vergleich zu den anderen Grundwässern im Quartär durch einen niedrigeren Calcium- und Nitrat-Gehalt sowie durch höhere Gehalte an Magnesium, Natrium, Kalium und Sulfat gekennzeichnet.

## Tertiär

Auch beim Grundwasser aus den schwebenden Grundwasserstockwerken der tertiären Deckschichten handelt es sich um hydrogenkarbonatisch-erdalkalisches Süßwasser.

Die Sulfatgehalte der tertiären Wässer liegen mit Werten zwischen 15 und 43 mg/l meist über denen aus dem Oberjura und dem Quartär.

Das Grundwasser der QF 3 Oberdisingen (Obere Meeresmolasse) sowie die Grundwässer aus der Unteren Süßwassermolasse sind im Vergleich zu denen aus der Oberen Süßwassermolasse durch eine leicht erhöhte Mineralisation gekennzeichnet. Dies bildet sich in den höheren Gehalten an Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium ab. Dagegen weisen die Wässer aus der Unteren Süßwassermolasse deutlich geringere Nitratgehalte auf als die anderen Grundwässer aus dem Tertiär.

Bei der QF 3 Oberdisingen deuten die ebenfalls erhöhten Gehalte an Chlorid und Sulfat auf einen möglicherweise höheren anthropogenen Stoffeintrag hin.

Eine Besonderheit bildet der Säuerling von Kleinengstingen. Er ist an einen tertiären Tuffschlot gebunden und hydraulisch als schwebendes Schichtgrundwasser auf Basalttuff (diamikter Brekzientuff) charakterisiert. Das Grundwasser ist u. a. durch eine hohe Gesamtmineralisation (TDS: 1677 mg/l) und eine damit einhergehende hohe elektrische Leitfähigkeit (1620  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) gekennzeichnet.

## Grundwasser in weiteren, z. T. tiefer liegenden Festgesteinsgrundwasserleitern

Am Nordrand der Mittleren Alb werden Grundwässer aus weiteren, z. T. tiefer liegenden Festgesteinsgrundwasserleitern des Mitteljuras und des Oberen Muschelkalks als Mineral- und Thermalwässer genutzt.

### **Hauptinhaltsstoffe in ausgewählten tieferen Grundwässern der Mittleren Alb (Datenquelle: Labordatenbank LGRB-RPF)**

Lfd.Nr.	Probenahme- datum	Aquifer	el. LF. (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 <sub>3</sub> [mg/l]	Cl [mg/l]	NO <sub>3</sub> [mg/l]
39	08.05.2023	jmAC	1820	12,7	346	40,5	66,8	21	2,42	1,11	1320	<2	<0,75
40	08.05.2023	jmAC	1040	11,6	152	30,1	45,4	11,1	0,968	0,147	482	47,9	<0,75
41	08.05.2023	jmAC	2260	13	305	49,9	218	31,6	2,52	0,647	1460	<2	<0,75
42	23.05.2023	jmAC	1990	14,1	232	70,4	193	23	2,08	0,593	738	4,25	0,83
43	23.05.2023	mo	9910	43,8	692	123	1490	126	1,99	0,126	1000	2230	0,81
44	23.05.2023	mo	10500	45,1	720	126	1560	156	2,46	0,16	1030	2420	<0,75
45	23.05.2023	jmBL	1160	11,6	235	13,8	28,4	3,66	0,00506	0,117	744	49,6	12,5
46	23.05.2023	jmBL	778	12,4	139	5,98	33,5	2,56	0,00345	0,0147	394	63,8	14,5

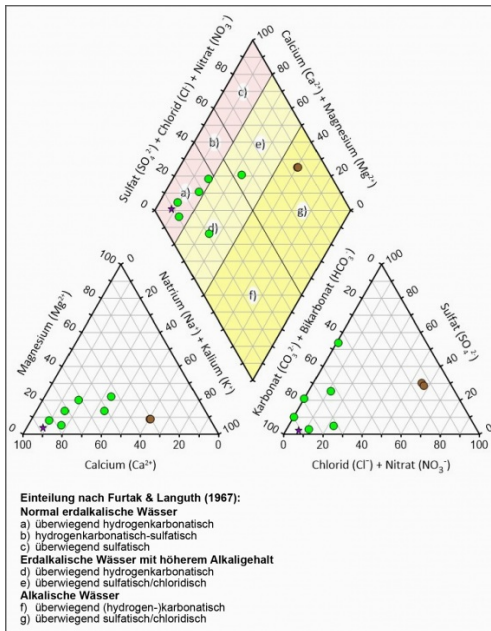
Probenahmestellen:

Lfd. Nr.	GW-Nummer	LGRB-Nr.	Bezeichnung
39	ohne	BO7324/145	MWB 9/53 Helfensteinquelle 3 Bad Überkingen
40	ohne	BO7324/224	MWB 148 Helfensteinquelle 6 Überkingen-Teinach
41	ohne	BO7324/131	MWB 17/59 Helfensteinquelle 2 Bad Überkingen
42	ohne	BO7424/9	Marienquelle II Bad Ditzenbach
43	0010/664-7	BO7424/89	Canisiusquelle I/71 Bad Ditzenbach
44	ohne	BO7424/140	Canisius II Bad Ditzenbach
45	0005/664-8	QU7424/16	Vinzenz-Quelle Bad Ditzenbach = Quelle I
46	0006/664-3	QU7424/17	Ludovica-Quelle Bad Ditzenbach = Quelle II

Aquifer:

jmAC	Achdorf-Formation
jmBL	Blaukalk (der Wedelsandstein-Formation, jmWS)
mo	Oberer Muschelkalk

Die CO<sub>2</sub>-reichen Mineralwässer im oberen Filstal bei Bad Ditzenbach und Bad Überkingen wurden zuletzt von Prestel & Schloz (2011) detailliert beschrieben. Sie führen die CO<sub>2</sub>-Gehalte der Quellen auf eine tiefe magmatische Herkunft zurück. Als Aufstiegswege des CO<sub>2</sub> ziehen sie tektonische Dehnungsstrukturen in Betracht.



Charakterisierung der tieferen Grundwässer der Mittleren Alb im PIPER-Diagramm nach Furtak & Languth (1967):

- Grüne Punkte: Mitteljura,
- Braune Punkte: Oberer Muschelkalk

(Grafik: LGRB, 2023)

Bei den Grundwässern aus dem Mitteljura handelt es sich nach Furtak & Languth (1967) um überwiegend hydrogenkarbonatische, normal erdalkalische Wässer (Helfensteinquelle 3 und 6 sowie Vinzenz-Quelle und Ludovica-Quelle, Bad Ditzenbach) sowie um überwiegend hydrogenkarbonatische (Helfensteinquelle 2, Bad Ditzenbach) bzw. sulfatisch erdalkalische Wässer (Marienquelle II, Bad Ditzenbach) mit höherem Alkaligehalt. Die Grundwässer aus dem Oberen Muschelkalk (Canisiusquelle I und II, Bad Ditzenbach) sind überwiegend chloridisch alkalische Wässer.

## Isotopenhydrologie und Altersstruktur

Isotopenhydrologische Untersuchungen liefern Informationen über die Neubildungsbedingungen und die Altersstruktur der Grundwässer. Dies beinhaltet die Identifikation unterschiedlich alter Grundwasserkomponenten und deren mengenmäßigem 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 ( $^{18}\text{O}$ ), Deuterium ( $^2\text{H}$ ) und auf Tritium ( $^3\text{H}$ ) zur Anwendung. Weiterhin werden Krypton-85 ( $^{85}\text{Kr}$ ), Kohlenstoff-14 ( $^{14}\text{C}$ ), Helium-3 ( $^3\text{He}$ ) sowie der Spurenstoff Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) eingesetzt. In jüngster Zeit kam bei sehr alten Wässern das radioaktive Isotop Krypton-81 ( $^{81}\text{Kr}$ ) 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  $^{18}\text{O}$  und das stabile Wasserstoffisotop Deuterium  $^2\text{H}$  kommen im Wasser in geringen Mengen vor. Als Teil des Wassermoleküls ist das stabile Sauerstoffisotop  $^{18}\text{O}$  ein idealer Tracer. Es wird mit dem Niederschlag flächenhaft eingetragen. Die  $^{18}\text{O}$ -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 Promille (‰) 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  $^{18}\text{O}$ -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  $^{18}\text{O}$ -Isotopenverteilung im Niederschlag weist demzufolge einen typischen Jahresgang auf.

Der Vergleich von längeren Zeitreihenmessungen des  $^{18}\text{O}$ -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

Im Zusammenhang mit der Pestizidproblematik in den Grundwässern der Mittleren Schwäbischen Alb wurden zwei Untersuchungskampagnen (1988–1999 und 2002–2003) u. a. mit Sauerstoff-18-Isotopenmessungen durchgeführt (Bauer et al., 2002; Selg et al., 2005; Bauer & Selg, 2006).

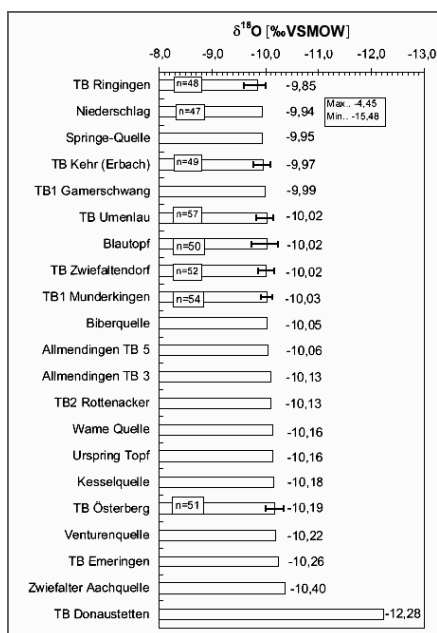
**Ergebnisse der wöchentlichen  $\delta^{18}\text{O}$ -Untersuchungen (alle Angaben in ‰ VSMOW); Niederschlagswerte wurden mit Niederschlagshöhen gewichtet (aus Bauer & Selg, 2006)**

1998–1999	Minimum	Maximum	Variationsbreite	Mittelwert
<b>Niederschlag</b>	-18,54	-2,42	<b>16,12</b>	-9,50
Br. Anhausen	-10,06	-9,89	0,17	-9,97
Echazquelle	-10,11	-9,53	0,58	-9,98
Häringsquelle	-10,24	-9,95	0,29	-10,09
Kesselquelle	-10,23	-9,96	0,27	-10,11
Neubrunnen	-10,23	-9,68	0,55	-9,90
Obere Fischerquelle	-10,26	-9,81	0,45	-10,08
QF Glastal	-10,19	-9,83	0,36	-10,05
QF Grafenecker See	-10,13	-9,36	0,77	-9,85
QF Weidmannstal	-10,19	-9,77	0,42	-9,99
2002–2003				
<b>Niederschlag</b>	-15,48	-4,45	<b>11,03</b>	-9,94
Blautopf	-10,24	-9,73	0,51	-10,02
TB Ringingen	-9,99	-9,58	0,41	-9,85
TB Kehr	-10,10	-9,76	0,34	-9,97
TB Umenlau	-10,16	-9,82	0,34	-10,02
TB Zwiefaltendorf	-10,17	-9,85	0,32	-10,02
TB Munderkingen 1	-10,14	-9,92	0,22	-10,03
TB Österberg	-10,37	-10,02	0,35	-10,19

Im Niederschlag der Mittleren Alb lagen die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Zeitraum Februar 2002 bis Februar 2003 in einem Bereich von -15,48 bis -4,45 ‰ VSMOW (1988–1999: -18,54 bis -2,42 ‰). Die gewichteten mittleren  $\delta^{18}\text{O}$ -Monatswerte im Niederschlag variierten in der zweiten Messkampagne zwischen -5,91 ‰ (Juni 2002) und -13,95 ‰ (Februar 2003). Damit liegt ein deutlich ausgeprägter, charakteristischer Jahresgang vor.

Im Grundwasser lagen die Messwerte in einem engen Bereich zwischen -10,37 und -9,36 ‰. Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte des Blautopfs variierten zwischen -9,37 und -10,24 ‰, mit einer erstaunlich geringen Variationsbreite von nur 0,51 ‰. Die Variationsbreiten der  $^{18}\text{O}$ -Werte in den mehrfach untersuchten Tiefbrunnen waren noch geringer. Sie lagen zwischen 0,2 und 0,5 ‰ und damit im Bereich bzw. etwas oberhalb der analytischen Messgenauigkeit ( $\pm 0,15$  ‰). Die größte Variationsbreite von 0,77 ‰ bei den  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten weist die Quelfassung Grafenecker See (LGRB-Archiv-Nr. QU7622/1) auf, eine kleine Quelle mit einem nur wenige Quadratkilometer großen Einzugsgebiet nahe der Karstwasserscheide Rhein/Donau.

Die geringen Variationsbreiten im Blautopf und den Tiefbrunnen deuten darauf hin, dass der Anteil der kurzfristigen Abflusskomponenten am unterirdischen Abfluss nur gering ist. Der Anteil des Direktabfluss (MVZ von Tagen bis Wochen) wurde auf 2–8 %, der des kurzfristigen Abflusses (MVZ von Wochen bis wenigen Monaten) auf 1–3 % des Gesamtabflusses abgeschätzt.



$\delta^{18}\text{O}$ -Werte ausgewählter Brunnen- und Quellwässer im Bereich der Mittleren Schwäbischen Alb (Einzelwerte von Probenahmen im Februar 2002, Mittelwerte für die wöchentlich untersuchten Messstellen mit Variationsbereich der Messwerte, n: Anzahl der Messungen; analytische Messgenauigkeit:  $\pm 0,15$  ‰), (Selg et al., 2005).

## Tritium ( $^3\text{H}$ )

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. Tritiiertes 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 Beendigung 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 Mittleren Alb ist das Karstgrundwasser in mehreren Studien (z. B. Geyh & Groschopf, 1978; Bauer et al., 2002; Selg et al., 2005) 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

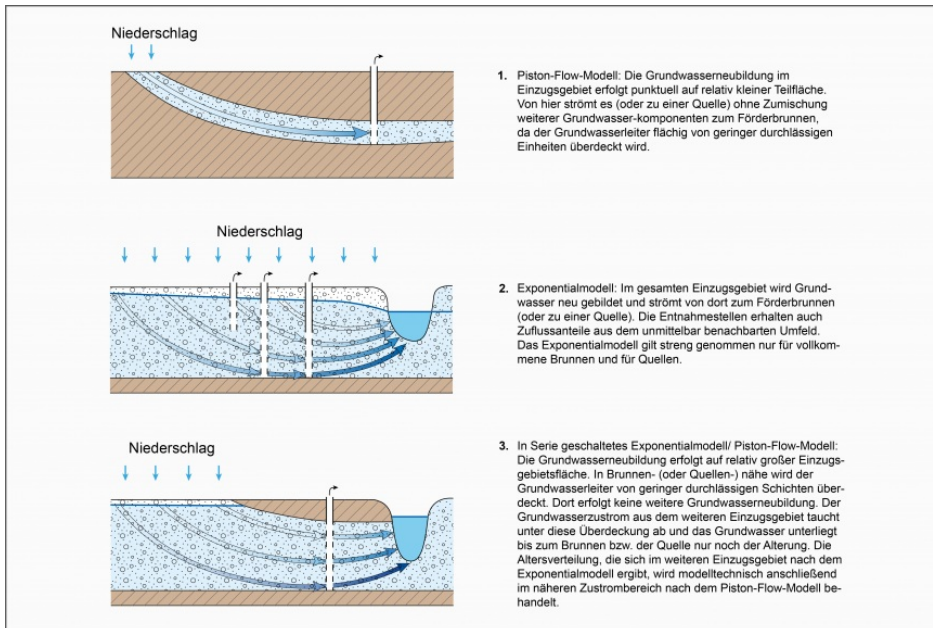
Für die Bestimmung der mittleren Verweilzeit im Oberjura der Schwäbischen Alb sind die Lage zur Wasserscheide, d. h. die Größe des Einzugsgebiets, und der Grundwasseranschluss der Quelle oder des Brunnens an hochdurchlässige Abflussbahnen maßgebliche Einflussgrößen. Sind diese Parameter bekannt, lassen 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. Die Annahme beruht darauf, dass Klüfte, Spalten und Dolinen auch im Sommerhalbjahr ihre Drainagefunktion nicht verlieren und eine rasche Versickerung eines 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 dann möglicherweise 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 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 anzusehen („kurzfristiges Karstwasser“, Villinger, 1972).

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 miteinander kommunizierenden Hohlräumen betrachtet werden. Die hohen MVZ gehen auf die feinere Gesteins- und Kluffporosität 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 (MVZ) 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 und längeren Fließwegen werden die Wässer wesentlich älter (Heidinger et al., 2019).

Das Grundwasser setzt sich aus kurzfristigen Abflusskomponenten mit mittleren Verweilzeiten von Tagen bis Monaten und einer langfristigen Grundwasserkomponente mit einer Verweilzeit von Jahren zusammen. Die jungen Komponenten in den vergleichsweise flachen Grundwasserzirkulationssystemen steht meist mit Starkniederschlägen oder der Schneeschmelze in Zusammenhang.

Bauer et al. (2002); Selg et al. (2005) sowie Bauer & Selg (2006) haben die am Fließsystem des Oberjuras der Mittleren Alb beteiligten Grundwässer im Hinblick auf ihre Altersstruktur, mittlere Verweilzeit und Komponentenzusammensetzung näher charakterisiert.

**Zusammenstellung der Ergebnisse der Altersmodellierung** (in Klammern: Werte für beste Anpassung; EM: Exponentialmodell, M(0): tritiumfreie Komponente; Erläuterung der hinterlegten Farben im Text)

Brunnen und Quellen	Berechnung Altersstruktur	Anteil tritiumfrei [%]	MVZ der Jungwasserkomponente [a]	Bemerkung
TB Österberg	EM/M(0)	50–75 (65)	5–15 (13)	*
TB Umenlau	EM/M(0)	10	15	
TB Munderkingen 1	EM/M(0)	15–20 (21)	14–18 (18)	
TB Ringingen	EM/M(0)	20–30 (30)	12–15 (15)	
TB Kehr	EM/M(0)	40–50 (54)	24–28 (26)	*
TB Zwiefaltendorf	EM/M(0)	25–30 (28)	12–16 (12)	
TB Allmendingen	EM/EM	0	Komp. 1: ca. 1–2	Komp. 1: ca. 30–50 %
3 und 5			Komp. 2: ca. 18–21	Komp. 2: ca. 50–70 %
TB Rottenacker 1	EM/M(0)	40–50	25–35	Zusätzliche Bestimmung von SF <sub>6</sub> bzw. <sup>85</sup> Kr notwendig
TB Rottenacker 2	EM/M(0)	40	35	*
TB Emeringen	EM/M(0)	15–20	17	
Br. Anhausen	EM	0	max. 12	
Springequelle	EM	0	6–7	
TB Gamerschwang	EM/M(0)	35	25–30 (25)	
Venturenquelle	EM/M(0)	40–50 (40)	25–30 (30)	
Bohrung Warme Quelle	EM/M(0)	50–70 (60)	6–25 (15)	Altersstruktur nicht eindeutig bestimmbar, SF <sub>6</sub> -Gehalt durch Entgasung vermutlich verfälscht
Urspringtopf	EM	0	< 5	Zusätzliche Bestimmung von SF <sub>6</sub> und <sup>85</sup> Kr notwendig
TB Stundenstein	EM/M(0)	20–25 (25)	12–15 (15)	
TB Donaustetten	EM/M(0)	100		Keine Tritiumgehalte nachgewiesen: Grundwasser wurde vor 1953 gebildet
Biberquelle	EM	0	12	
Kesselquelle	EM	0	14	Überhöhter <sup>85</sup> Kr-Wert: Berechnung auf Basis der gemessenen Tritiumwerte
Blautopf	EM/M(0)	20–30	13	
Zwiefalter Achquelle	EM	0	13	
Obere Fischerquelle	EM	0	10	
QF Glastal	EM	0	9	
QF Weidmannstal	EM	0	< 3	
QF Sichelbronnäcker	EM	0	2–4	
QF Grafenecker See	EM	0	2–6	
Häringsquelle	EM	0	ca. 10	
Läuterlequelle	EM	0	5–8	
Ermsursprung	EM	0	5–10	
Badener Brunnen	EM	0	5–10	

Bödenloser Brunnen	EM	0	5-10	
Lauterursprung	EM	0	> 5	
Echazquelle	EM	0	2-8	
Neubrunnen	EM	0	ca. 6	
Br. Kohlplatte	EM	0	ca. 12	

*\*keine optimale Modellierung der älteren Tritiumwerte möglich, vermutlich Änderung der Altersstruktur durch Grundwasserförderung (Bauer & Selg, 2006)*

Das Karstgrundwasser der untersuchten Tiefbrunnen der Mittleren Alb setzt sich aus mehreren Komponenten unterschiedlichen Alters zusammen (Bauer & Selg, 2006). Es unterscheidet sich dadurch deutlich von oberflächennah austretenden Karstquellen, an denen keine älteren tritiumfreien Komponenten beteiligt sind (LGRB/HYDROISOTOP, 2000; Bauer et al., 2002).

Die Grundwässer der Mittleren Alb können hinsichtlich der Verweilzeiten und der Zumischung von alten, tritiumfreien Komponenten in vier Gruppen zusammengefasst werden (Bauer & Selg, 2006):

- Quellen und flache Brunnen der Offenen Zone des Tiefen Karsts zeigen eine generelle Zunahme der Grundwasserverweilzeit von Norden nach Süden (z. B. QF Weidmannstal, Urspringtopf, Springequelle, QF Glastal, Obere Fischerquelle, Zwiefalter Achquelle, Kesselquelle, Br. Anhausen, Biberquelle, hellgrün hinterlegt).
- Tiefbrunnen und Quellen der Offenen Zone des Tiefen Karsts bzw. des Grenzbereichs zur Überdeckten Zone waren 2006 durch ein Mischsystem aus einer jungen, tritiumführenden Grundwasserkomponente und einer alten, tritiumfreien Komponente charakterisiert (TB Munderkingen 1, TB Zwiefaltendorf, TB Ringingen, TB Emeringen, TB Stundenstein, Biberquelle, Blautopf, Biberquelle, grau hinterlegt). Die MVZ der jungen Komponente beträgt ca. 10–20 Jahre. Mit einem Anteil von 70 bis 90 % dominiert sie den Gesamtabfluss des Mischsystems deutlich. Je nach lokaler Situation kann z. T. relativ oberflächennah zirkulierendes Grundwasser beteiligt sein, das an die rezenten Neubildungsprozesse angeschlossen ist. Der <sup>14</sup>C-Gehalt am TB Munderkingen 1 zeigt, dass es sich bei der tritiumfreien Komponente um ein wenige hundert bis maximal 2000 Jahre altes Grundwasser handelt.
- Quellaufbrüche und Tiefbrunnen im Übergangsbereich von Offener zu Überdeckter Zone des Tiefen Karsts nahe der Donau (TB Rottenacker 1 und 2, TB Kehr, TB Gamerschwang, TB Österberg, Bohrung Warme Quelle, Venturenquelle, dunkelgrün hinterlegt). Die Grundwässer dieser Gruppe werden ebenfalls durch ein Zweikomponentensystem mit tritiumführender und tritiumfreier Komponente charakterisiert, jedoch ist der Anteil der alten, tritiumfreien Komponente deutlich erhöht (40–70 %). Die Verweilzeit der Jungwasserkomponente ist für die meisten Standorte mit 25–35 Jahren auch relativ hoch. Durch die Nähe zum regionalen Vorfluter Donau sind an diesen Standorten bevorzugt aufsteigende Grundwasserströme zu erwarten, wodurch hier tief zirkulierende, alte Grundwasserkomponenten dominieren. Wie die <sup>14</sup>C-Gehalte der TB Kehr und Österberg zeigen, sind für die alten Grundwasserkomponenten Verweilzeiten von rund 5000 Jahren anzunehmen (LGRB/HYDROISOTOP, 2004). Wahrscheinlich handelt es sich dabei um Mischwässer aus einer nördlichen und einer südlichen (thermalen) Komponente. Hierauf weisen auch die erhöhten Temperaturen der entsprechenden Karstwässer hin.
- Überdeckte Zone des Tiefen Karsts, thermale Grundwasserkomponente (TB Donaustetten, orange hinterlegt). Dieser Tiefbrunnen erfasst ausschließlich altes, sehr langsam zirkulierendes Karstgrundwasser. Das Grundwasser ist typisch für ein Austrittsgebiet von tiefen Komponenten aus dem Oberjuragrundwasserleiter des zentralen Molassebeckens (Bertleff, 1986).

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

Das radioaktive Kohlenstoffisotop  $^{14}\text{C}$  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  $^{14}\text{C}$  in der oberen Atmosphäre entsprach im Jahr 1950 ungefähr 13,6 dpm/g Kohlenstoff (dpm/g: Zerfälle pro 1 Gramm Kohlenstoff in 1 Minute) und wird international auf 100 pmC (percent of modern Carbon) bzw. 100 %-mod. festgelegt. Mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren zerfällt das radioaktive Kohlenstoffisotop  $^{14}\text{C}$  wieder zu Stickstoff.

Während der oberirdischen Kernwaffentests in den 1950er Jahren erhöhte sich der  $^{14}\text{C}$ -Gehalt des atmosphärischen  $\text{CO}_2$  im Jahre 1963 auf die doppelte Konzentration von 1950. Seither nimmt die  $^{14}\text{C}$ -Aktivität wieder ab.

### Methodik

Atmosphärisches  $^{14}\text{C}$  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  $^{14}\text{C}$ -Aktivität („ $^{14}\text{C}$ -Anfangsgehalt“) nimmt in der Folge durch den radioaktiven Zerfall ab.

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

### Ergebnisse

Die meisten untersuchten Karstgrundwasserproben der Mittleren Alb besitzen Kohlenstoff-14-Gehalte zwischen 70 % und 90 % modern, d. h. typische Werte für junges Wasser (Geyh & Groschopf, 1978).

## 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](https://produkte.lgrb-bw.de/docPool/c133_data.pdf).
- Bauer, M. & Selg, M. (2006). *Altersstruktur und Mittlere Verweilzeit im Grundwasser des Blautopfs und anderer Quellen und Brunnen im Oberjura-Karst Süddeutschlands*. – Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe C, 98, S. 18–44.
- Bauer, M., Selg, M. & Eichinger, L. (2002). *Pflanzenschutzmittel im Kluft- und Karstgrundwasserleiter des Oberjuras in Baden-Württemberg*. – Abhandlungen LGRB, 15, S. 149–221.
- Bertleff, B. (1986). *Das Strömungssystem der Grundwässer im Malm-Karst des West-Teils des süddeutschen Molassebeckens*. – Abhandlungen des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg, 12, S. 1–271, 8 Anl.
- 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).
- 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.
- LGRB/HYDROISOTOP (2000). *Pflanzenschutzmittel im Kluft- und Karstgrundwasser des Oberjura - Bereich Lkr.*

Reutlingen. 46 S., 40 Anl., Freiburg/Schweitenkirchen. [unveröff. Bericht]

- LGRB/HYDROISOTOP (2004). *Pflanzenschutzmittel im Kluft- und Karstgrundwasserleiter des Oberjura - Alb-Donau-Kreis und Lkr. Biberach*. 66 S., 42 Anl., Freiburg/Schweitenkirchen. [unveröff. Bericht]
- Maloszewski, P. & Zuber, A. (1996). *Lumped parameter models for the interpretation of environmental tracer data*. – International Atomic Energy Agency (Hrsg.). *Manual on Mathematical Models in Isotope Hydrogeology*, S. 9–58, Vienna (Austria). [TECDOC-910]
- 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](https://produkte.lgrb-bw.de/docPool/c621_data.pdf).
- Prestel, R. & Schloz, W. (2011). *Aufstiege von tiefem Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) durch die Opalinuston-Formation in Baden-Württemberg*. – Jahreshefte der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg, 167, S. 163–190.
- 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.
- 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 24.03.26 - 10:23):** <https://lgrbwissen.stage.lgrb-bw.de/hydrogeologie/regionalbeschreibung-mittlere-alb/grundwasserbeschaffenheit>