

## Fallbeispiele

In den Fallbeispielen werden für die Hydrogeologische Region typische, besonders interessante oder besonders intensiv untersuchte hydrogeologische Phänomene beschrieben.

### Blautopf

Der Blautopf gilt als der schönste und beeindruckendste Quellaustritt der Schwäbischen Alb und als eine der schönsten Quellen Deutschlands. Der Blautopf ist nach der Aachquelle die am stärksten schüttende Quelle der Schwäbischen Alb und Deutschlands.

Die Blautopfhöhle gehört mit der Vetterhöhle zum bisher auf ca. 15,5 Kilometer Länge bekannten Blauhöhlsystem (Stand 2020, u. a. Kücha, 2020). Von der Gesamtlänge entfallen ca. 2750 m auf die Vetterhöhle. Blautopfhöhle und Vetterhöhle bilden als so genannte Ur-Blau (Lauber et al., 2013a; Lauber et al., 2013b; Lauber et al., 2014) das mit Abstand größte Höhlensystem der Schwäbischen Alb. Die Gesamtlänge des Höhlensystems ist unbekannt.

Die Hessenhauhöhle ist ein weiterer Ast im Blauhöhlsystems (Kücha, 2020). Sie ist auf einer Länge von über acht Kilometer bekannt.

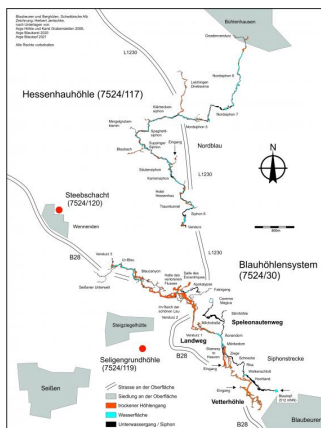


Der Blautopf beim Kloster Blaubeuren ist nach dem Aachtopf die größte Karstquelle Deutschlands.

Diese Superlative haben die Menschen schon seit Generationen dazu veranlasst, sich mit dem Mythos Blautopf intensiv zu beschäftigen.

Nicht zuletzt haben die aufsehenerregenden Tauchgänge des Höhlenforschers Jochen Hasenmayer Mitte der 1980er-Jahre die Aufmerksamkeit einer breiten Öffentlichkeit auf den Blautopf gelenkt (u. a. Hasenmayer, 1984; Hasenmayer, 1986b). Die von ihm entwickelte Theorie zu Alter und Genese eines weit- und tiefgreifenden Karstsystems über den Oberjura der Schwäbischen Alb hinaus bis weit in das südlich anschließende Molassebecken konnte jedoch nicht durch die vorliegenden geowissenschaftlichen Kenntnisse gestützt werden (u. a. Villinger, 1978a; Villinger, 1987a; Villinger, 1988b; Villinger & Ufrect, 1989).

Die beeindruckenden Arbeiten der Höhlenforscherguppe der ARGE Blautopf (ARGE - Blautopf, Link s. unten) liefern seit vielen Jahren grundlegende Erkenntnisse zum Höhlensystem und dessen wissenschaftlicher Erkundung. Seit 2010 ermöglichen zwei so genannte Grabungsschächte über die Vetterhöhle, die mit der Blautopfhöhle in Verbindung steht, einen trockenen Zugang in das Höhlensystem.



Das Blauhöhlsystem ist auf einer Länge von ca. 15,5 Kilometer bekannt (Stand 2020, Kücha, 2020). Davon entfallen ca. 2750 m auf die Vetterhöhle. Die auf einer Länge von über acht Kilometer bekannte Hessenhauhöhle ist ein weiterer Ast des Höhlensystems.

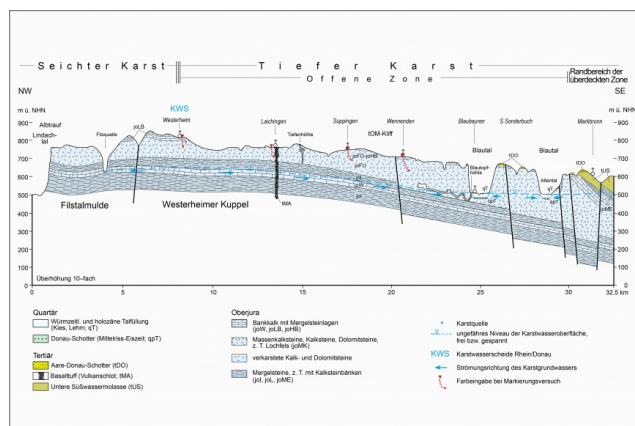
Villinger (1978a) und Selg & Schwarz (2009) skizzieren die Forschungsgeschichte des Blautopfes, die mit der karsthydrologischen Erforschung der Schwäbischen Alb seit Beginn des neunzehnten Jahrhunderts einhergeht.

Neuere geowissenschaftliche Arbeiten zum Blautopf finden sich bei Villinger, 1978a; Villinger, 1987a; Villinger, 1988b; Villinger & Ulfrecht, 1989; Armbruster & Selg, 2006; Bauer & Selg, 2006; Selg et al., 2006; Selg, 2008; Selg & Schwarz, 2009; Ulfrecht, 2009; Bartenbach & Ulfrecht, 2009 und Bartenbach et al., 2009. Weitere wichtige Erkenntnisse brachte ein kombinierter Markierungsversuch, der im Frühjahr 2012 erstmals direkt im Höhlensystem durchgeführt wurde (Lauber et al., 2013a; Lauber et al., 2013b; Lauber et al., 2014).

Der Blautopf ist somit wohl die am intensivsten untersuchte Karstquelle der Schwäbischen Alb. Die Forschungsarbeiten werden kontinuierlich weitergeführt.

## Geologisch-Hydrogeologischer Rahmen

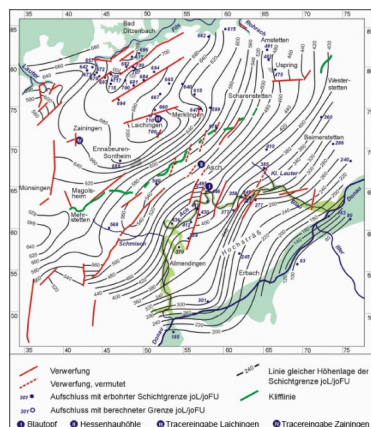
Das ca. 165 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet des Blautopfes erstreckt sich über die Blaubeurer und Laichinger Alb. Es besteht aus den Karbonatgesteinen des mittleren und höheren Oberjuras. Dabei überwiegt auf der Albhochfläche im nördlichen Teil des Einzugsgebietes die meist stark verkarstete Oberjura-Massenkalk-Formation, untergeordnet kommt die massige Untere- und Obere Felsenkalk-Formation vor. Nach Süden tritt die Felsenkalk-Formation zurück und wird durch die Liegende-Bankkalk-Formation abgelöst. Das Blautopf-Höhlensystem liegt im untersten Teil der Untere-Felsenkalk-Formation.



Hydrogeologischer Schnitt durch das Einzugsgebiet des Blautopfes (verändert, nach Selg & Schwarz, 2009)

Die generalisierte hydrogeologische Modellvorstellung für den Oberjura-Karstaquifer geht für die unmittelbare Umgebung des Blautopfes von zwei Grundwasserstockwerken aus (unten: Wohlgeschichtete Kalke-Formation, oben: Untere-Felsenkalk-Formation bis Liegende-Bankkalk-Formation). Sie werden durch die gering durchlässige Lacunosamergel-Formation voneinander getrennt. Allerdings wird angenommen, dass aufgrund der zahlreichen Karststrukturen im Einzugsgebiet des Blautopfes die Verkarstung im Oberjura auch die Wohlgeschichtete-Kalke-Formation erfasst hat und somit die Funktion der Lacunosamergel-Formation als Aquiferbasis zumindest bereichsweise in Frage steht (Selg & Schwarz, 2009).

Im Blautopf-Einzugsgebiet und dessen Umfeld zeichnet sich in der Aquiferbasis neben einem Hochgebiet unmittelbar an der Südflanke der Filstal-Mulde um Hohenstadt (Westerheimer Sattel) eine weitere Hochlage im Raum Zainingen-Laichingen-Merklingen mit dem Zentrum um Laichingen ab (Ulfrecht, 2009). Danach liegt die Grundwasseroberfläche im zentralen Bereich des Blautopf-Einzugsgebietes innerhalb der Lacunosamergel-Formation, im Bereich der tektonischen Hochlage bei Laichingen darunter. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass die Oberfläche der Lacunosamergel-Formation beim sogenannten Westerheimer Sattel bei niedrigen Grundwasserständen trockenfallen könnte (Villinger, 1978a). Es ist also davon auszugehen, dass die Aquifergeometrie bzw. Stockwerksgliederung in der Mittleren Alb komplexer sind als die einfache Modellvorstellung, die z. B. der HGE (2009) zugrunde gelegt wurde. Allerdings wurde auch dort bereits auf mögliche Ungenauigkeiten hingewiesen.



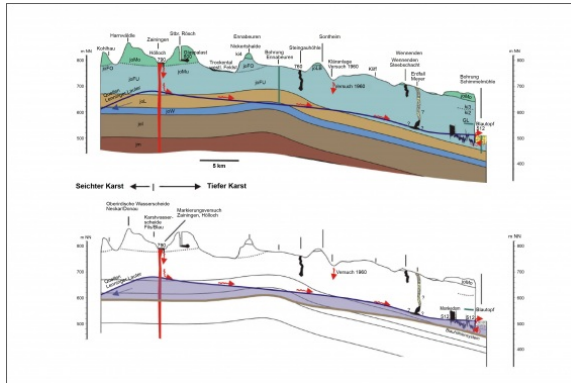
Strukturkarte mit Schichtlagerung (Bezugshorizont Lacunosamergel-Formation/Untere-Felsenkalk-Formation) und Störungen im Blautopf-Einzugsgebiet und der weiteren Umgebung (Ulfrecht, 2009), siehe auch Lauber et al. (2013a)

Bei einem kombinierten Markierungsversuch mit Eingabestellen bei Zainingen und Laichingen wurden die Markierungsstoffe u. a. im Blautopf nachgewiesen (Lauber et al., 2013a; Lauber et al., 2013b; Lauber et al., 2014). Nach Lauber et al. (2013a) bildet die Impressamergel-Formation im Norden und in der Mitte des Blautopf-Einzugsgebietes überwiegend die Basis des Karstaquifers. Im Süden des Einzugsgebietes übernimmt die Lacunosamergel-Formation mit dem weiteren Abtauchen der Oberjuraschichten in das Molassebecken diese Funktion.

Lauber et al. (2013a) nehmen an, dass

- nördlich der Hochlage im Raum Zainingen–Laichingen–Merklingen neugebildetes Grundwasser durch die Lacunosamergel-Formation in die Wohlgeschichtete-Kalke-Formation übertritt,
- die Hochlage in der Wohlgeschichtete-Kalke-Formation in südliche Richtung durchströmt wird und
- das Karstwasser dann südlich einer Linie Suppingen–Berghülen wieder durch die Lacunosamergel-Formation in die Untere-Felsenkalke-Formation übertritt, aus der es schließlich an der Blauquelle austritt.

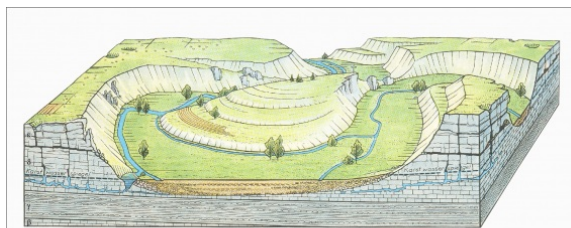
Somit würde Grundwasser, das nördlich der Hochlage von Zainingen–Laichingen–Merklingen neu gebildet wird, die Lacunosamergel-Formation zwei Mal durchströmen.



Geologisch-hydrogeologischer Längsschnitt von der Traceringabestelle Zainingen (Hölloch) zum Blauhöhle system (Lauber et al., 2013a)

## Quellaustritt

Der Quelltopf der Blauquelle liegt am Fuß des nordwestlichen Hangs der Talschlinge um den Rückenberg bei Blaubeuren. Sie bildete sich im Altpleistozän im Zuge der anhaltenden Tiefenerosion der Donau (u. a. Villinger, 1987a; Villinger & Ufrecht, 1989). Die Blau tritt an der Stelle aus, an der das pleistozäne Donautal am weitesten nach Norden gegen das Schichteinfallen und das Karstgrundwassergefälle ausgreift. Hier konzentriert sich der unterirdische Abfluss eines großen Bereichs der Laichinger und Blaubeurer Alb.



Blockbild Blautopf (Wagner & Koch, 1961)

(Erläuterungen zur Stratigraphie:  $\beta$  = joW, Wohlgeschichtete-Kalke-Formation;  $\gamma$  = joL, Lacunosamergel-Formation;  $\delta$  = joFU, Untere-Felsenkalke-Formation;  $\epsilon$  = joFO, Obere-Felsenkalke-Formation)

Die Blau tritt am Blautopf am westlichen Talrand einer Flussschlinge der Urdonau aus (Wagner & Koch, 1961).

Das Blautal ist gegenüber der angrenzenden Hochfläche um mehr als 200 m eingetieft. Die Mächtigkeit und lithologische Ausprägung der Talfüllung des Ur-Donautals wurden im Jahr 2009 mit einer Forschungsbohrung erkundet (Bohrung am Kindergarten, Ellwanger et al., 2009). Sie beträgt 30,8 m. Nach Villinger (1978a) haben die Donauschotter ein früh- bis mittelfrühzeitliches, die lokalen Weißjurakiese ein würmzeitliches Alter.

Die wahrscheinlich vorfrühzeitliche Eintiefung des alten Donautals und die damit verbundene sukzessive Tieferlegung des Vorflutniveaus hatten einen direkten Einfluss auf die Verkarstung des Oberjura-Karstquifers einschließlich der beobachteten Höhlenbildungen. Andererseits führte die anschließende Verfüllung des Tals durch die Urdonau und später durch die Schmiech und Ach wieder zu einer Anhebung des Vorflutniveaus sowie der Karstwasseroberfläche. Damit ging eine erneute Intensivierung der Verkarstungsprozesse einher.

Villinger (1987a) geht ausführlich auf die Genese und das Alter der Blauhöhle ein. Danach dürfte die Initialphase der Blauhöhle in das Altpleistozän, also bis in eine Größenordnung von 1 Mio. Jahren zurückreichen. Die Ausformung des Hauptganges bringt er zeitlich mit zwei rißzeitlichen Niveaus der Donau in Verbindung. Für die Fertigstellung des Hauptganges nimmt er ein frührißzeitliches Alter an.

Der Blautopf ist heute ca. 20,6 m tief. Sein Wasserspiegel wurde zur Energiegewinnung um 3 bis 4 Meter künstlich aufgestaut. Er liegt bei ca. 512 m ü. NHN (Villinger, 1987a). An seinem Grund befindet sich der Zugang zum Blautopfhöhlsystem. Aufgrund der starken Quellschüttung von im Mittel ca. 2,3 m³/s wurde sein Auslauf durch die Schmiech und Ach während der Talverfüllung bis auf das heutige Niveau freigehalten.

## Schüttungsverhalten und Karstwasserkomponenten

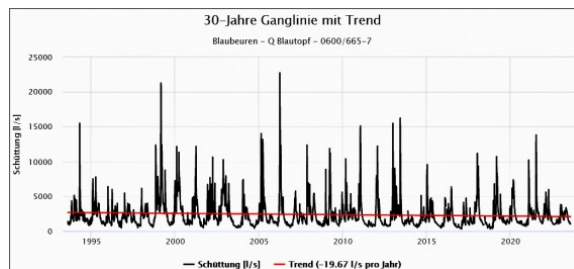
Der Abfluss des Blautopfs wird seit Oktober 1924 mit methodisch bedingter, zunehmender Genauigkeit gemessen. Für den Zeitraum 1951 bis 2007 wurden folgende hydrologische Hauptzahlen ermittelt (Selg & Schwarz, 2009):

Niedrigwasserabfluss NQ: 0,251 m³/s

Mittelwasserabfluss MQ: 2,330 m³/s

Hochwasserabfluss HQ: 32,700 m³/s

Der Blautopf zeigt ebenso wie die Gallusquelle starke Schüttungsschwankungen (Villinger 1987a; Selg & Schwarz, 2009; Geyer et al., 2011). Daraus resultiert ein für viele Karstquellen typischer, außergewöhnlich nervöser Schüttungsgang mit schnellen Reaktionen auf Niederschlagsereignisse. Schüttungsereignisse werden oft von einer Trübung des Quellwassers begleitet.



30-Jahre-Ganglinie der Quellschüttung des Blautopfs mit linearem Trend (rote Linie) (Grafik: LUBW Grundwasserdaten, abgerufen am 14.08.2023, Link s. u.)

Der zeitliche Versatz zwischen modellierten Grundwasserneubildungsereignissen und den zugeordneten gemessenen Reaktionen der Schüttung beträgt ca. zwei Tage (Armbruster & Selg, 2006). Dabei handelt es sich allerdings um eine reine Druckreaktion, bei der älteres gespeichertes Grundwasser durch junges, neugebildetes Grundwasser aus dem System verdrängt wird (Selg et al., 2009). Dieser Direktabfluss, der bereits nach wenigen Tagen an der Quelle eintritt, macht am gesamten Ereignisabfluss nur einen untergeordneten Anteil aus (Selg et al., 2006). Er wurde nach verschiedenen Verfahren auf etwa 5 bis 10 % der Gesamtschüttung eines Ereignisses abgeschätzt.

Der Abfluss am Blautopf infolge eines größeren Neubildungsereignisses besteht demnach aus mehreren Phasen (Selg et al., 2006):

- Die erste Reaktion an der Quelle ist ein Anstieg der Schüttung als Druckreaktion im Aquifer, bei der älteres Grundwasser abfließt.
- Darauf folgt eine Phase mit Ereigniswasser (Direktabfluss). Der Direktabfluss hält zwischen mehreren Stunden und mehreren Tagen an.
- Danach folgt eine Phase, die von längerfristigem Grundwasser geprägt ist. Dieses „Vorereignis-Wasser“ stammt aus der Mobilisation von Sickerwasser aus der ungesättigten Zone.

Das Leerlaufverhalten des Blautopfs zeigt, dass im Karstgrundwasserleiter mehrere Einzelspeicher vorliegen. Sie entwässern entsprechend ihrer Durchlässigkeit nacheinander und tragen zu unterschiedlichen Zeiten und in unterschiedlichem Ausmaß zur Gesamtschüttung bei (Selg et al., 2005; Selg et al., 2006; Selg, 2008). Die z. T. hohen Mittlere Verweilzeiten der Grundwasserkomponenten legen nahe, dass es dabei Speicher mit einer großen Speicherkapazität bzw. Porosität bei gleichzeitig geringer Durchlässigkeit gibt.

Für den Blautopf lagen die Tritium-Gehalte im Zeitraum 2002–2003 zwischen 8,8 und 12,3 TU (Bauer & Selg, 2006). Aus den Tritiummessungen lassen sich eine Mittlere Verweilzeit von 12–14 Jahren und ein Anteil einer tritiumfreien Komponente von ca. 20–30 % ableiten. Das Quellwasser des Blautopfs besteht somit überwiegend aus langfristigen Abfluss-Komponenten. Kurzfristige bzw. direkt abfließende Komponenten kommen dagegen nur untergeordnet vor. Der Anteil der kurzfristigen Abflusskomponente liegt in der Größenordnung von 2–3 % des Gesamtabflusses.

## Markierungsversuche

Eine Übersicht über die Markierungsversuche, die im Einzugsgebiet der Blauquelle und dessen näherer Umgebung durchgeführt wurden, geben Villinger (1978a) und Selg & Schwarz (2009). Hinzu kommt noch ein Markierungsversuch, der im Jahr 2012 durchgeführt wurde (u. a. Lauber et al., 2013a).

Methodische Angaben zur Durchführung von Markierungsversuchen finden Sie hier.

Selg & Schwarz (2009) listen insgesamt 69 Markierungsversuche aus dem Umfeld des Blautopfs auf. Dabei unterscheiden sie zwischen

- 21 Markierungsversuchen mit Farbdurchgang im Blautopf,
- 14 Markierungsversuchen ohne Farbdurchgang im Blautopf, obwohl er beobachtet wurde,
- 25 Markierungsversuchen, bei denen der Blautopf nicht beobachtet wurde,
- 9 Markierungsversuchen, bei denen in keiner beobachteten Stelle Markierungsstoffe beobachtet wurden.

Mit der Ausnahme eines Versuchs aus der Liste von Selg & Schwarz (2009) erfolgte die Eingabe immer in der ungesättigten Zone. Eine Besonderheit stellt der Markierungsversuch aus dem Jahr 2012 dar (u. a. Lauber et al., 2013a). Hier wurden in der ersten Versuchsphase Tracer direkt in die beiden Höhlenbäche Ur-Blau und Nord-Blau eingegeben. Dieser Versuch charakterisiert deshalb ausschließlich das Karstsystem.

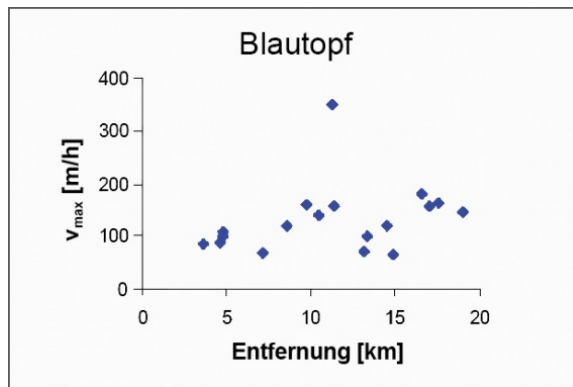
Aus 17 Versuchen mit einem Tracerdurchgang im Blautopf wurden Mittelwerte für die Abstandsgeschwindigkeiten bestimmt:

- maximale Abstandsgeschwindigkeit 131 m/h (Minimum: 67 m/h, Maximum 350 m/h),
- dominierende Abstandsgeschwindigkeit: 110 m/h (Minimum: 62 m/h, Maximum 310 m/h).

**Ergebnisse der Markierungsversuche (n = 17) im Einzugsgebiet des Blautopfs (Selg & Schwarz, 2009)**

	Maximale Abstandsgeschwindigkeit [m/h]	Dominierende Abstandsgeschwindigkeit [m/h]
Mittelwert	131	110
Minimum	67	62
Maximum	350	310

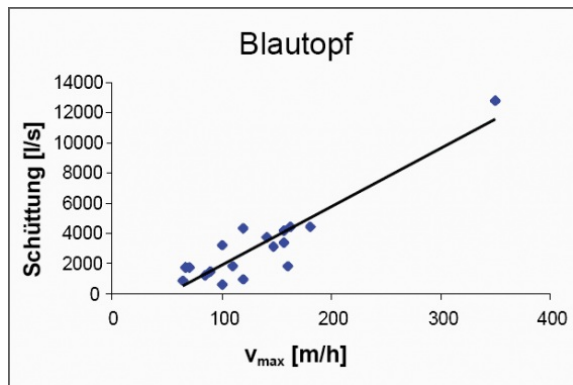
Diese Werte für das Einzugsgebiet des Blautopfs liegen im oberen Wertebereich für den Oberjura der Schwäbischen Alb. Die außergewöhnlich hohe maximale Abstandsgeschwindigkeit von 350 m/h wurde bei der extrem hohen Schüttung des Blautopfs von 12,8 m<sup>3</sup>/h ermittelt.



Markierungsversuche im Blautopf-Einzugsgebiet: Beziehung zwischen der Entfernung der Eingabestelle zum Blautopf und den ermittelten maximalen Abstandsgeschwindigkeiten (Selg & Schwarz, 2009)

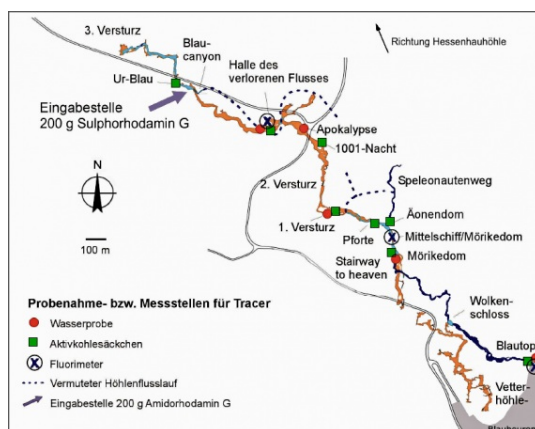
Die ermittelten hohen Geschwindigkeiten sind weitgehend unabhängig von der Entfernung der Eingabestelle zum Blautopf. Offenbar ist das Karstsystem mit guter Drainagewirkung im Einzugsgebiet des Blautopfs weit verbreitet (Selg & Schwarz, 2009).

Dagegen besteht eine enge Beziehung zwischen der Schüttung des Blautopfs und den maximalen Abstandsgeschwindigkeiten, die zu den entsprechenden Zeiten aus Markierungsversuchen bestimmt wurden (Villinger, 1978a; Villinger & Udluft, 1989; Selg & Schwarz, 2009).



Markierungsversuche im Blautopf-Einzugsgebiet: Beziehung zwischen maximaler Abstandsgeschwindigkeit und Blautopf-Schüttung (Selg & Schwarz, 2009)

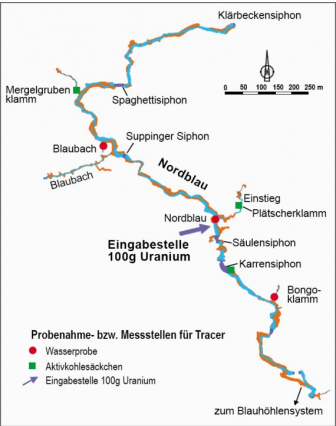
Villinger & Ufrecht (1989) ermitteln für die longitudinale Dispersivität  $\alpha_L$  einen Mittelwert von 25,6 m (Minimum: 12,4 m, Maximum: 38,1 m). Dies entspricht einer longitudinalen Dispersion  $D_L$  von 0,414 m<sup>2</sup>/s (Minimum: 0,108 m<sup>2</sup>/s, Maximum: 0,714 m<sup>2</sup>/s). Nach Jakowski (1995) ist die longitudinale Dispersion im Blautopf-Einzugsgebiet die geringste im gesamten schwäbischen Oberjura-Karst.



Eingabe- und Probenahmestellen sowie Messpunkte (Aktivkohlesäckchen, Fluorimeter) zum Nachweis der Markierungsstoffe im Blauhöhle-System (Lauber et al., 2013a)



Am 21. April 2012 wurde erstmals ein kombinierter Markierungsversuch mit direkter Tracereingabe in der Blauhöhle (Sulforhodamin G) und der Hessenhauhöhle (Uranin) durchgeführt (Lauber et al., 2013a; Lauber et al., 2013b; Lauber et al., 2013c). In der Blauhöhle fließt die „Ur-Blau“, der Höhlenbach in der Hessenhauhöhle wird als „Nord-Blau“ bezeichnet. Ihr Südende liegt ca. zwei Kilometer nördlich der Blauhöhle.



Eingabe und Probenanahmestellen während der Markierungsversuche in der Hessenhauhöhle (Lauber et al., 2013a)

Die Schüttung von 1050 l/s während des Markierungsversuchs 2012 war die geringste Schüttung während aller bisher durchgeführten Markierungsversuche.

Die mittleren maximalen Abstandsgeschwindigkeiten in der Ur-Blau betragen zwischen der Eingabestelle und verschiedenen Beobachtungsstellen im Höhlenbach ohne Berücksichtigung der Tortuosität zwischen 275 m/h und 578 m/h, mit Berücksichtigung der Tortuosität zwischen 468 und 983 m/h. Die Tortuosität gibt das Verhältnis zwischen der realen Fließstrecke und der linearen Entfernung zwischen zwei Punkten wieder. Für das Blautopf-Höhle system wurde anhand der Entfernung vom Mörikedom zum Blautopf eine Tortuosität von 1,7 bestimmt (Lauber et al., 2013a).

Abstandsgeschwindigkeiten in der Ur-Blau (nach Lauber et al., 2013a)

Beprobungsstelle	Halle des Verlorenen Flusses	Mörikedom	Blautopf
Entfernung zur Eingabestelle [km] (ohne/mit Tortuosität)	0,6/1,1	1,8/3,1	2,5/4,3
Maximale Abstandsgeschwindigkeit	578/983	152/258	98/167
Dominierende Abstandsgeschwindigkeit	290/493	114/195	86/147
Mittlere Abstandsgeschwindigkeit	275/468	112/191	74/133

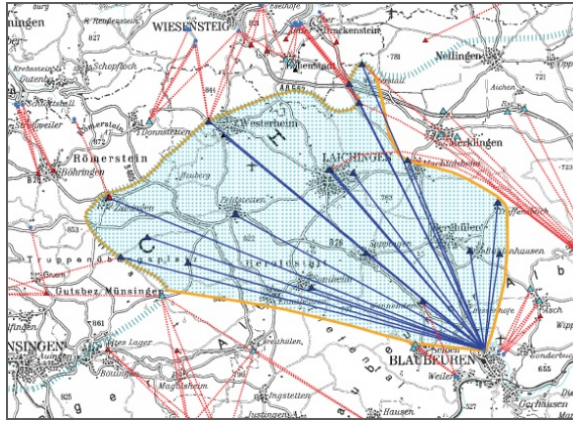
Zwischen der „Halle des verlorenen Flusses“ und dem Mörikedom beträgt die lineare mittlere Abstandsgeschwindigkeit in der Ur-Blau ca. 84 m/h, zwischen dem Mörikedom und dem Blautopf ca. 47 m/h. Die unterschiedlichen Abstandsgeschwindigkeiten beruhen auf den unterschiedlichen hydraulischen Gradienten auf den beiden Höhlenabschnitten.

Durch den Markierungsversuch mit Tracereingabe in die Hessenhauhöhle bei Laichingen (Uranin) konnte eine Verbindung zur Blauhöhle nachgewiesen werden. Die der Hessenhauhöhle nächstgelegene Zutrittsstelle in der Blauhöhle liegt knapp oberstromig des Mörikedoms. Ein direkter Zutritt aus Richtung Laichingen konnte in der Blauhöhle nicht nachgewiesen werden. Bei einer linearen Entfernung von ca. 2,5 Kilometer von der Eingabestelle zum Mörikedom entspricht dies einer mittleren maximalen Abstandsgeschwindigkeit von 74 m/h bzw. 96 m/h (ohne bzw. mit Tortuosität). Lauber et al. (2013a) gehen davon aus, dass die Verlängerung des so genannten Speleonautenweges die Verbindung zwischen der Hessenhauhöhle und der Blauhöhle bildet.

Der Tracer, der in Zainingen in der Blauhöhle eingegeben wurde (Sulforhodamin G) wurde in der Hessenhauhöhle nicht nachgewiesen. Im Blau-Höhle system wurden an allen drei Beobachtungsstellen Tracerdurchgänge registriert.

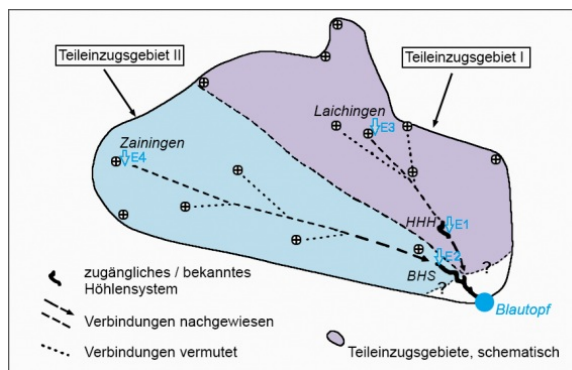
Einzugsgebiet

Durch die zahlreichen Markierungsversuche im weiteren Umfeld des Blautopfs kann das Einzugsgebiet der Blauquelle gut abgegrenzt werden. Möglicherweise überschneidet sich nordöstlich von Laichingen das Einzugsgebiet der Blauquelle mit dem der kleinen Lauter (Selg & Schwarz, 2009).



Einzugsgebiet des Blautopfs (Selg & Schwarz, 2009)

Durch die Markierungsversuche im April 2012 wurde festgestellt, dass das Einzugsgebiet der Blau zweigeteilt ist. Ein nordöstliches Teilgebiet entwässert über die Hessenhauhöhle, ein südwestliches über die Ur-Blau und die Blauhöhle zum Blautopf (Lauber et al., 2013a).



Teileinzugsgebiete des Blautopfs: Das nordöstliche Teilgebiet entwässert über die Hessenhauhöhle (Nord-Blau), das südwestliche über die Blauhöhle (Ur-Blau, aus Lauber et al., 2013a)

## Wasserbilanz und Grundwasserneubildung

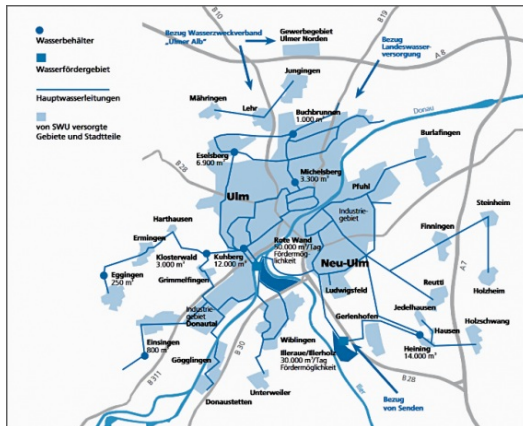
Die von Armbruster (2002) durchgeführte hydrologische Modellierung liefert für den Zeitraum 1961 bis 1990 eine mittlere langjährige Grundwasserneubildung von 545 mm/a. Sie variiert zwischen 340 mm/a (Trockenjahr 1971) und 931 mm/a (nasses Jahr 1965). Dabei liegt die langjährige mittlere Neubildungsrate um bis zu 13 % über der mittleren langjährigen Schüttung des Blautopfs (470 mm/a) (Armbruster & Selg, 2006). Entweder wird die Neubildungsrate um diesen Betrag überschätzt oder dieser Überschuss könnte beispielsweise zur Quelle der Kleinen Lauter abströmen. Denkbar wäre auch, dass der Blautopf unterströmt wird und das Grundwasser entweder in den quartären Talaquifer des Blautales übertritt oder diesen teilweise in der Wohlgeschichtete-Kalke-Formation unterströmt (Lauber et al., 2013a).

## Trinkwassergewinnungsgebiet „Rote Wand“, Ulm

Die Stadt Ulm bezieht ihr Trinkwasser überwiegend aus dem Erschließungsgebiet „Rote Wand“. Es liegt südlich der Stadt, in einem Auwaldgebiet auf der Landspitze am Zusammenfluss der Iller und der Donau. Aus dem Erschließungsgebiet ist eine tägliche Förderung von bis zu 50 000 m<sup>3</sup> Trinkwasser möglich (Stadtwerke Ulm, 2023).

Das Trinkwasservorkommen wird zur Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung durch das Wasserschutzgebiet (WSG) Fischerhausen der Stadt Ulm geschützt.



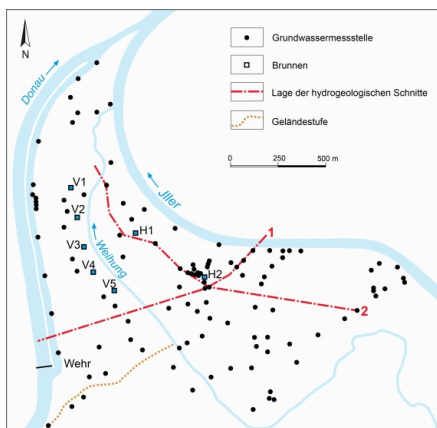


Trinkwasserversorgungsnetz der Stadt Ulm (Stadtwerke Ulm, 2023). Das Trinkwasser der Städte Ulm und Neu-Ulm kommt überwiegend aus den Talböden von Donau und Iller. Darüber hinaus beziehen die Städte Wasser vom Zweckverband Wasserversorgung „Ulmer Alb“ sowie von der Landeswasserversorgung.

Daneben bezieht die Stadt ihr Trinkwasser aus der Talniederung der Iller (Illeraue/Illerholz), vom Wasserzweckverband „Ulmer Alb“ sowie von der Landeswasserversorgung.

## Hydrogeologischer Überblick

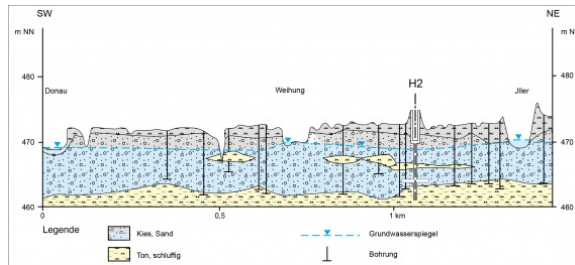
Das ca. 2,1 km<sup>2</sup> große Erschließungsgebiet „Rote Wand“ liegt auf dem so genannten Iller- und Donaugrieß. Bei diesem am tiefsten gelegenen Talniveau handelt es sich um umgelagerte Niederterrassenschotter, die noch bis in jüngere Zeit abgelagert worden sind (Graul & Groschopf, 1952). Sie bestehen überwiegend aus alpinem Material.



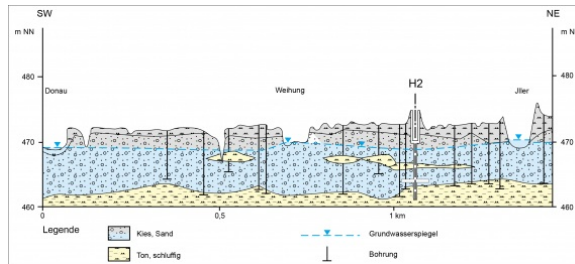
Lage des Trinkwassererschließungsgebietes Ulm „Rote Wand“ (Rausch & Trapp, 2002)

Die Südgrenze des Entnahmegebietes ist durch eine deutlich hervortretende Geländestufe gekennzeichnet. Die südlich daran anschließende Hochfläche ist aus geringmächtigen rißzeitlichen Hochterrassenschottern, Mindel-Deckenschottern und anstehenden tertiären Sedimenten (Kirchberg-Formation der Oberen Brackwassermolasse und Obere Süßwassermolasse) aufgebaut. Die Sohlenschicht des quartären Porengrundwasserleiters bildet die Untere Süßwassermolasse. Sie besteht aus gering durchlässigen Tonen, Schluffen und Süßwasserkalken.

Der eigentliche Aquifer wird von den sandig-kiesigen Niederterrassenschottern mit eingelagerten Schlufflinsen gebildet. Sie werden von einer geringmächtigen Deckschicht aus Hochflutsedimenten überlagert, die entlang der Iller bis 4 Meter mächtig wird.



Profilschnitt 1, Trinkwassererschließungsgebiet Ulm „Rote Wand“ (Rausch & Trapp, 2002), Schnittverlauf



Profilschnitt 2, Trinkwassererschließungsgebiet Ulm „Rote Wand“ (Rausch & Trapp, 2002), Schnittverlauf

Das Relief der flach nach Norden geneigten Aquiferbasis weist flache und breite Mulden auf. Der Porengrundwasserleiter ist bis 9 Meter, im Durchschnitt ca. 6 Meter mächtig. Die größten Grundwassermächtigkeiten von ca. 10 m befinden sich im Norden, die geringsten von ca. 2 m im Süden des Gebietes.

Das Grundwasser strömt außerhalb des Einflussbereiches der Grundwasserentnahmen annähernd parallel zum Verlauf der Oberflächengewässer ab.

Die Grundwasserdynamik ist maßgeblich durch die Infiltrationsprozesse von Donau und Iller kontrolliert.

Der Kiesgrundwasserleiter ist in Abhängigkeit vom Wasserstand in der Donau und der Iller bereichsweise bis zur Deckschicht grundwassererfüllt. Es liegen somit je nach hydrologischer Situation Übergänge zwischen freien und gespannten Grundwasserverhältnissen vor.

Bei dem aus den sieben Brunnen geförderten Grundwasser handelt es sich fast ausschließlich um Uferfiltrat, überwiegend aus der Iller (Rausch & Trapp, 2002).

## Entnahmestellen

Das Trinkwasser wird durch fünf Vertikalbrunnen (VB I bis V, LGRB-Archiv-Nr. BO7625/86 bis 89, VB V ohne LGRB-Archiv-Nr.) und zwei Horizontalbrunnen (auf bayerischem Gebiet) gewonnen. Die wasserrechtlich erlaubte maximale Entnahmerate aus den sieben Brunnen beträgt 710 l/s.

## Aquiferparameter

Für das Gesamtgebiet wird eine Transmissivität von  $T = 9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , ein Speicherkoeffizient von  $S = 0,2$  und ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_f = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  als repräsentative Werte angenommen.

Die Einzelwerte für die Transmissivität streuen stark zwischen  $T = 5,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  und  $9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Bei einem mittleren Grundwassergefälle von  $i = 1,8 \text{ ‰}$  und einem durchflusswirksamen Porenvolumen von 0,2 errechnet sich eine durchschnittliche Abstandsgeschwindigkeit von 12,1 m/Tag.

## Maßnahmen und Wasserschutzgebiet

Bei Hochwasserereignissen kam es früher zu Überflutungen und als Folge davon zu bakteriologischen Belastungen in den Brunnen. Im Zusammenhang mit der Abgrenzung des Wasserschutzgebietes für die Brunnen wurde deshalb die Weihung nördlich der Bundesstraße B30 auf einer Länge von 1070 m aufgelassen. Das Gewässerbett wurde aus dem Fassungsgebiet verlegt und mündet nun knapp unterhalb der Staustufe Wiblingen in die Donau. Das neu angelegte Bachbett der Weihung ist gegenüber dem Grundwasserleiter künstlich abgedichtet. Das ehemalige Bachbett der Weihung wurde nicht verfüllt, sodass dieses evtl. drainierend für mittlere bis hohe Grundwasserstände wirken kann. Durch diese Maßnahmen wurde die potenzielle Gefährdung der Trinkwasserqualität signifikant reduziert.

Bei starker Hochwasserführung der Iller kommt es zur Überflutung des Wasserschutzgebietes „Rote Wand“ (SWU-Rote Wand, Link s. unten). Dann kann unter Umständen die Bereitstellung von hygienisch einwandfreiem Trinkwasser aus den Brunnen „Rote Wand“ nicht mehr gewährleistet werden. Aus Sicherheitsgründen können die Brunnen dann vom Versorgungsnetz genommen werden. Dies war z. B. im Mai 2019 der Fall. Die Versorgungssicherheit ist durch den Verbund mit der Landeswasserversorgung Langenau sichergestellt.

## Externe Lexika

### WIKIPEDIA

- [Blautopf](#)

## Weiterführende Links zum Thema

- [LUBW - Grundwasserdaten](#)
- [ARGE - Blautopf](#)
- [SWU - Rote Wand](#)

## Literatur

- Armbruster, V. (2002). *Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg*. – Freiburger Schriften zur Hydrologie, 17, 158 S., Freiburg i. Br.
- Armbruster, V. & Selg, M. (2006). *Der Abfluss des Blautopfs im Spiegel der Grundwasserneubildung (Oberjura-Karst, Süddeutschland)*. – Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe C, 98, S. 4–16.
- Bartenbach, M. & Ufrecht, W. (2009). *Stratigraphie und Fazies des Oberjuras im Umfeld der Blaubeurer Talschlinge – Ergebnisse einer Bohrung und Untertagekartierung im Blauhöhlsystem*. – Laichinger Höhlenfreund, 44, S. 89–106.
- Bartenbach, M., Möbius, R. & Aigner, T. (2009). *Neue Daten zur Geologie (Schichtenfolge, Fazies) des Oberjuras im Einzugsgebiet des Blautopfs*. – Laichinger Höhlenfreund, 44, S. 73–88.
- 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.
- Eilwanger, D., Simon, T., Ufrecht, W. & Hanke, J. (2009). *Die Lockersedimentfüllung des Blautals: Ergebnisse der neuen Forschungs-Kernbohrung am Kindergarten in Blaubeuren*. – Laichinger Höhlenfreund, 44, S. 157–176.
- Geyer, T., Selg, M., Guder, T. & Sauter, M. (2011). *Langzeitabflussverhalten der Gallusquelle und des Blautopfs – relative Bedeutung der Matrix und des Großkluftsystems*. – Laichinger Höhlenfreund, 46, S. 63–74.
- Graul, H. & Groschopf, P. (1952). *Geologische und morphologische Betrachtungen zum Iller-Schwemmkegel bei Ulm*. – Berichte der Naturforschenden Gesellschaft Augsburg, 6, S. 3–27.
- HGE (2009). *Mittlere Alb – Karte 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).
- Hasenmayer, J. (1984). *Zum Alter der Blautopf-Unterwasserhöhle (7524/43)*. – Laichinger Höhlenfreund, 19(1), S. 37–40.
- Hasenmayer, J. (1986b). *Das Geheimnis des Blautopfs*. – Geo, 5, S. 10–38.
- Jakowski, A. E. (1995). *Ermittlung der Dispersion und anderer geohydraulischer Parameter aus Markierungsversuchen in Karst und Kluftgrundwasserleitern Baden-Württembergs*. – Diss. TH Darmstadt, 153 S., Darmstadt.
- Kücha, A. (2020). *Forschungsaktivitäten der HFGOK/ARGE Blautopf in der Blauhöhle bis 2020*. – Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher e. V., 66(4), S. 87–92.
- Kücha, A., Ufrecht, W. & Jantschke, H. (2009). *Derzeitiger Forschungsstand der Arbeitsgemeinschaft Blautopf im Blauhöhlsystem (Kat.-Nr. 7524/30)*. – Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher e. V., 55(4), S. 112–117.
- Lauber, U., Goldscheider, N. & Ufrecht, W. (2013a). *Bericht zur Markierung von Ur-Blau und Nord-Blau – Neue Ergebnisse zur Karsthydrogeologie und Karsthydrographie im Einzugsgebiet des Blautopfs (Mittlere Schwäbische Alb)*. – Laichinger Höhlenfreund, 48, S. 3–38.
- Lauber, U., Ufrecht, W. & Goldscheider, N. (2013b). *Neue Erkenntnisse zur Struktur der Karstentwässerung im aktiven Höhlensystem des Blautopfs*. – Grundwasser, 18, S. 247–257, verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/s00767-013-0239-z>.
- Lauber, U., Ufrecht, W. & Goldscheider, N. (2014). *Spatially resolved information on karst conduit flow from in-cave dye tracing*. – Hydrology and Earth System Sciences, 18, S. 435–445, verfügbar unter <https://doi.org/10.5194/hess-18-435-2014>.
- Rausch, R. & Trapp, C. (2002). *Quantifizierung des Grundwasserhaushalts im Einzugsgebiet der Wasserfassung „Rote Wand“ der Stadtwerke Ulm*. – Deutsche Geologische Gesellschaft (Hrsg.). Hydrogeologische Modelle – Ein Leitaden mit Fallbeispielen, S. 39–45, Hannover (Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 24), verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/329372461\\_Quantifizierung\\_des\\_Grundwasserhaushalts\\_im\\_Einzugsgebiet\\_der\\_Wasserfassung\\_Rote\\_Wa](https://www.researchgate.net/publication/329372461_Quantifizierung_des_Grundwasserhaushalts_im_Einzugsgebiet_der_Wasserfassung_Rote_Wa) (abgerufen am 14.03.2023).
- Selg, M. (2008). *Speichereigenschaften des Oberjura in Süddeutschland am Beispiel des Blautopf-Einzugsgebiets*. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 52(2), S. 56–65.
- Selg, M. & Schwarz, K. (2009). *Am Puls der Schönen Lau – zur Hydrogeologie des Blautopf-Einzugsgebietes*. – Laichinger Höhlenfreund, 44, S. 45–72.

- 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.
- Selg, M., Schopper, M. & Straub, R. (2006). *Kurzzeitdynamik und Direktabfluss des Blautopfs (Oberjura-Karst, Süddeutschland)*. – Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe C, 98, S. 45–72.
- Stadtwerke Ulm (2023). *Trinkwasser in Ulm und Neu-Ulm*. Verfügbar unter <https://www.swu.de/fileadmin/content/energie-wasser/wasser/SWU-Broschüre-Trinkwasser.pdf>, Zugriff am 26.10.2024.
- Villinger, E. (1978a). *Zur Karsthydrologie des Blautopfs und seines Einzugsgebietes (Schwäbische Alb)*. – Abhandlungen des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg, 8, S. 59–127.
- Villinger, E. (1987a). *Die Blautophöhle bei Blaubeuren als Beispiel für die Entwicklung des Karstsystems im schwäbischen Malm*. – Geologisches Jahrbuch, Reihe C, 49, S. 71–103.
- Villinger, E. (1988b). *Zur Verkarstung des Weißjura unter dem baden-württembergischen Teil des Molassebeckens*. – Laichinger Höhlenfreund, 23(1), S. 35–38.
- Villinger, E. & Ufrecht, W. (1989). *Ergebnisse neuer Markierungsversuche im Einzugsgebiet des Blautopfs (mittlere Schwäbische Alb)*. – Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher e. V., 35(1/2), S. 25–38.
- Wagner, G. & Koch, A. (1961). *Raumbilder zur Erd- und Landschaftsgeschichte Südwestdeutschlands. Das Bild in Forschung und Lehre*. 32 S., 1 Beil., Schmiden (Repro-Druck).

[Datenschutz](#)

[Cookie-Einstellungen](#)

[Barrierefreiheit](#)

**Quell-URL (zuletzt geändert am 05.11.25 - 08:20):** <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/hydrogeologie/regionalbeschreibung-mittlere-alb/fallbeispiele>