

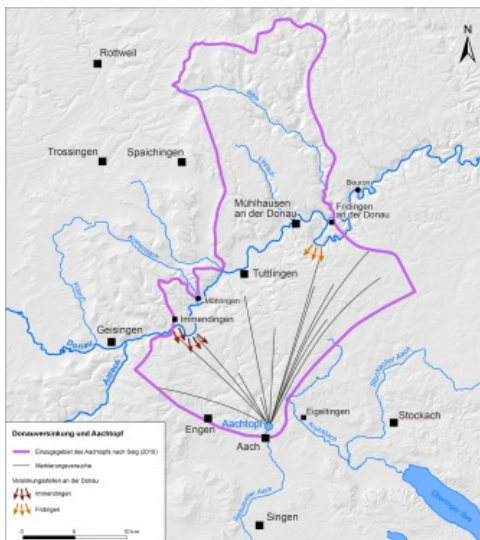
Fallbeispiel

Donauversinkung und Aachtopf

Im Fallbeispiel wird ein für die Hydrogeologische Region besonders interessantes bzw. intensiv untersuchtes hydrogeologisches Phänomen beschrieben.

Einleitung

Das Phänomen der Donauversinkung wurde erstmals im Jahr 1705 erwähnt, damals im Zusammenhang mit der Abdichtung von Schlucklöchern im Donaualflussbett bei Immendingen (Käss, 2021). Bereits 1719 wurde in einer Veröffentlichung von F. W. Breuninger die Vermutung geäußert, dass versickerndes Donauwasser am Aachtopf wieder austritt (Breuninger, 1719). Nachdem im Jahr 1874 die Vollversickerung der Donau erstmals beobachtet wurde, konnte der hydraulische Zusammenhang durch einen Markierungsversuch im Jahr 1877 nachgewiesen werden. Berz hat im Jahr 1928 das Phänomen der Donauversinkung erstmals intensiver wissenschaftlich bearbeitet (Berz, 1928).

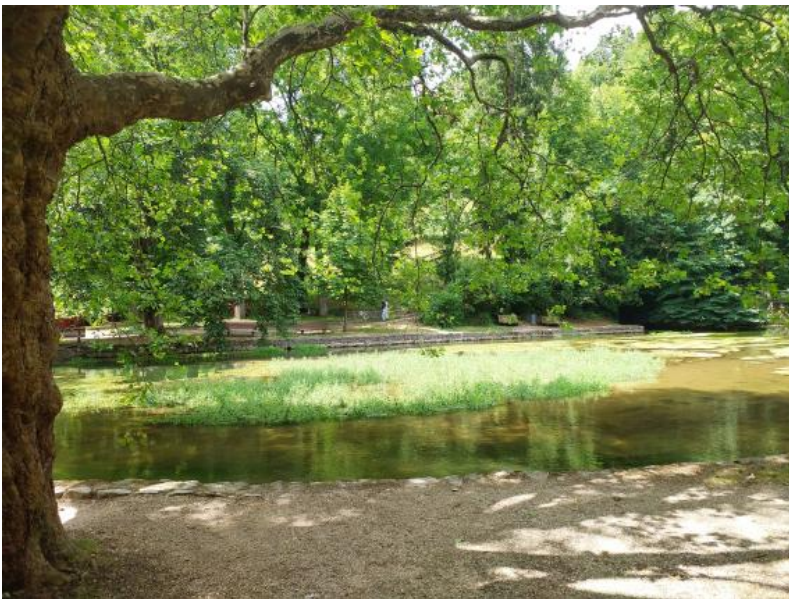


Versinkungsstellen der Donau und Quellaustritt am Aachtopf. Das Einzugsgebiet des Aachtopfs ist violett umrandet (nach Selg, 2010)

Neuere Arbeiten, in denen das Donau-Aach-System umfassend beschrieben wird, stammen u. a. von Villinger (1977), Selg (2010) und Käss (2021). Dabei hat sich zuletzt Selg (2010) intensiv mit der abschnittswisen Abfluss- bzw. Versickerungsbilanzierung in der Donau sowie der Quantifizierung der Schüttung am Aachtopf im Bezug zur Donauwasserführung und -versinkung beschäftigt. Käss (2021) hat u. a. sämtliche Markierungsversuche beschrieben, die im Zusammenhang mit Fragestellungen zum Donau-Aach-System durchgeführt wurden.



Donauversinkung im Abschnitt Immendingen-Brühl



Blick auf den Aachtopf bei Aach

Für das beschriebene Phänomen werden gleichbedeutend die Begriffe Donauversinkung als auch Donauversickerung verwendet. Weitere interessante Informationen zur Donauversinkung und zum Aachtopf finden Sie auch hier ([Donauversickerung](#), Link s. unten).

Versinkungsbereiche

Die Donau versickert in zwei Flussabschnitten:

- bei Immendingen: vor Immendingen an den Westerwiesen (655,4 m ü. NHN), im Brühl (651,7 m ü. NHN) und zwischen Immendingen und Möhringen vor den Schweinelehen (650,5 m ü. NHN). Sie bilden die Hauptversickerungsstellen (Spitz, 1930b).
- an mehreren Versickerungsstellen nach Fridingen



Versickerungsbereich der Donau bei Immendingen im Bereich der Bahnbrücke



Versickerungsstrecke der Donau westlich von Immendingen im Brühl



Versickerungsstrecke der Donau an der Versickerungsstelle zwischen Immendingen und Möhringen



Hinweisschilder zur Donauversickerung am Donauradweg bei Immendingen

Bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts gaben konkurrierende Nutzungsansprüche der Donau- bzw. Aach-Anrainer Anlass zu gerichtlichen Auseinandersetzungen. Sie werden von Käss (2021) ausführlich beschrieben. Zum einen hatten die Nutzer unterstromig der Donau-Versinkungsstellen ein großes Interesse daran, dass möglichst wenig Donauwasser versickert. Sie versuchten deshalb die Sickerstellen abzudichten. Andererseits waren die Anlieger an der Radolfzeller Aach von einer ausreichenden Wasserführung der Aach abhängig (u. a. Selg, 2010). Da bereits damals der Zusammenhang zwischen Donauversinkung und Aachtopfschüttung bekannt war, versuchten sie gegen die Abdichtungsmaßnahmen in der Donau vorzugehen.

Von großer wasserwirtschaftlicher Bedeutung sind die beiden Donau-Umleitungsstollen bei Immendingen und bei Fridingen. Sie dienen dazu, die Hauptversinkungsstellen zu umgehen und damit eine ausreichende Wasserführung in der Donau auch unterhalb dieser Flussabschnitte sicherzustellen.



Umleitungsstollen Immendingen (ungefährer Verlauf) mit Versinkungsstellen bei Immendingen und Tuttlingen-Möhringen

Der Umleitungsstollen Immendingen (Link s. unten) befindet sich zwischen der Wehrwaage Immendingen und Brühl (LfU, 1989). In ihm sollten seit 1970 bis zu $2 \text{ m}^3/\text{s}$ an den Versinkungsstellen vorbeigeleitet werden. Er wurde aber bisher selten genutzt.



Aufstaubereich und Einlassbauwerk des Umleitungsstollens Immendingen mit einer Fischtreppe (rechts).

Der ca. 1,4 km lange Umleitungsstollen Fridingen dient neben dieser Zielsetzung auch der Energiegewinnung. Er wurde in den Jahren 1919 bis 1923 erbaut. Das Donauwasser wird vor der Einleitung in den Stollen bei Fluss-km 2728+650 unterhalb der Bära-Mündung aufgestaut und in einer Wasserkraftanlage zur Stromgewinnung genutzt. Dabei umfließt das Wasser eine 11 km lange Ausleitungsstrecke. Am Donauwehr werden bis zu $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ Wasser abgeleitet. An der Ausleitungsstelle muss aus gewässerökologischen Gründen ein Mindestwasserabfluss von $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ gewährleistet sein.



Umleitungsstollen Fridingen an der Donau mit Versinkungsstellen bei Fridingen im Gewinn Stetten und Wangen

Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

Die Donauversinkung zwischen Immendingen und Fridingen ist durch ein Wechselspiel zwischen unterschiedlich durchlässigen Oberjuragesteinen an der Basis der Donautal-Kiesfüllung und dem unterschiedlichen Niveau der Grundwasseroberfläche im Karst- bzw. Kiesgrundwasserleiter geprägt. Dies führt dazu, dass die Donau in einigen Abschnitten in den Donaukiesen und in den Oberjurakarst versickert und in anderen Abschnitten Karstgrundwasser in die Donau übertritt. Infiltration und Exfiltration können sich auf kurzer Entfernung abwechseln. Hinzu kommt noch, dass die Versinkungsverhältnisse auch in Abhängigkeit von der jeweiligen hydrologischen Situation variieren.

Die Impressamergel-Formation (jo1) bildet die gering durchlässige Sohlenschicht des Oberjura-Grundwasserleiters. Die darüber folgende Karbonatabfolge ist ein zwar heterogener, aber dennoch hydraulisch zusammenhängender Kluft- und Karstgrundwasserleiter.

Selg (2010) hat an einem Längsschnitt entlang der Donau von Geisingen bis Beuron die Lagerungsverhältnisse verdeutlicht. Daraus gehen auch die hydrogeologischen Verhältnisse hervor.

Der Aachtopf ist ca. 13,4 Kilometer Luftlinie von den Versinkungsstellen der Donau entfernt. Die Austrittsstelle liegt ca. 174 Höhenmeter tiefer als die Versinkungen.

Im Karstgebiet zwischen der Donau und der Aachquelle gibt es mehrere Trockentäler mit Bachversickerungen sowie zahlreiche Erdfälle (Käss, 2021). Dabei liegen die großen Erdfälle überwiegend im Zustrombereich der Aachquelle zwischen der Hauptversickerung der Donau bei Immendingen-Brühl und dem Quellaustritt.

Bislang ist ungeklärt, wann die Anzapfung der Donau erdgeschichtlich begonnen hat (Villinger, 1977; Käss, 2021). Die Aachquelle dürfte spätestens gegen Ende der Würmeiszeit entstanden sein. Neben der Verkarstung ist für die Donauversinkung der große Höhenunterschied zwischen dem Niveau der Donaurohle und dem Flussnetz im Singener Becken eine weitere wichtige Voraussetzung. Dieser Höhenunterschied hat bereits im Riß-Mindel-Interglazial bestanden, so dass das unterirdische Donau-Aach-System bis in die Rißeiszeit zurückreichen könnte (z. B. Batsche et al. 1970; Schreiner, 1974).

Versinkungsraten

Zur abschnittswisen Bilanzierung der Versinkungsraten wurden u. a. von Selg (2010) die Abflussmessungen an den Donauegeln Kirchen-Hausen, Möhringen-Espenbrücke und Beuron herangezogen (HVZ Baden-Württemberg – LUBW, Link s. unten). Dabei wurde von ihm für den Zeitraum 1973 bis 2002 eine Differenzenbetrachtung der Abflüsse an den Pegeln durchgeführt, die am Anfang und am Ende der beiden betrachteten Flussabschnitte liegen. Berücksichtigt wurden auch die Wassermengen der Bäche, die in dem jeweiligen Abschnitt in die Donau übertreten (z. B. Krähenbach, Bära, Elta). Zusätzlich wurden zur Interpretation z. T. Daten historischer Abflussmessungen sowie Literaturdaten hinzugezogen.



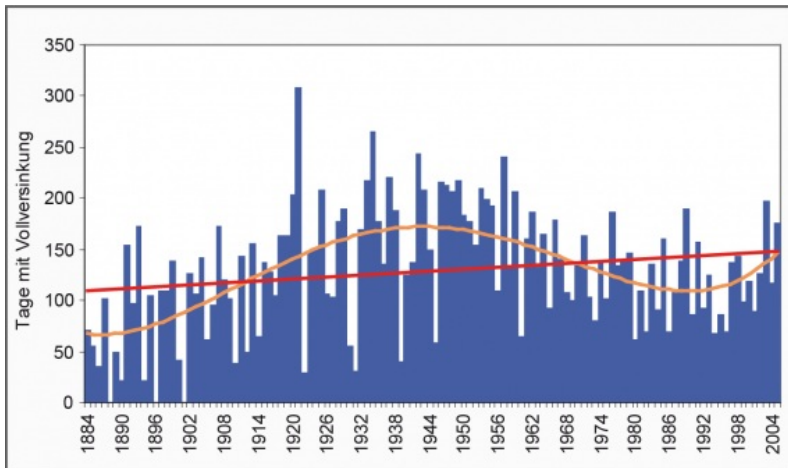
Abflusspegel in der Donau (blaue Schrift) sowie in den Zuflüssen (violette Schrift)

Die Untersuchung führte zu folgenden Erkenntnissen (Selg, 2010):

- Auf der Strecke zwischen Kirchen-Hausen und Fridingen (Pegel Beuron) versickern im langjährigen Mittel insgesamt 5,075 m³/s Donauwasser (ohne Berücksichtigung oberirdischer Zuflüsse im Abschnitt Möhringen–Fridingen).
- Im Zeitraum 1884 bis 2005 versickerte die Donau im Mittel an 129 Tagen im Jahr vollständig, wobei die Anzahl der Vollversinkungstage pro Jahr mittelfristig einen schwankend zu- bzw. abnehmenden und langfristig einen zunehmenden Trend aufzuweisen scheint. Unter einem Vollversinkungstag wird ein Zeitraum von 24 Stunden verstanden, in dem kein Abfluss erfolgt ist.
- Im Zeitraum 1973 bis 2002 wurde im Mittel eine Vollversickerung an 115 Tagen beobachtet.
- Mit zunehmender Wasserführung der Donau nimmt die Versickerungsmenge im Abschnitt zwischen Immendingen und Fridingen ab. Bei Hochwasserführung kommt die Versinkung sogar vollständig zum Erliegen. Damit wurden frühere Beobachtungen bestätigt (z. B. Türk, 1932).
- Die Wasserführung der Donau blieb im Betrachtungszeitraum 1923 bis 2002 annähernd konstant. Dagegen nahm die Versickerungsrate trotz gleichbleibender Wasserführung ab (oberhalb Immendingen: 7,48 m³/s im Zeitraum 1923–1944; 4,68 m³/s im Zeitraum 1973–2002). Da anzunehmen ist, dass die Verkarstung des Oberjuras fortschreitet, die die Versinkung begünstigt, wäre eigentlich eine mit der Zeit zunehmende Versickerungsrate zu erwarten. Für die gegenläufige Entwicklung ist eine zunehmende Ablagerung von Feinsediment im unterirdischen Hohlraumsystem denkbar. Damit kann eine verringerte Durchlässigkeit des Untergrundes einhergehen.
- Flussabschnitt zwischen den Pegeln Kirchen-Hausen und Möhringen-Espenbrücke:
 - Im langjährigen Mittel (1973–2002) versickern 4,682 m³/s. Zeitweise kann die Versickerungsrate auch deutlich darüber liegen.
 - Bereits zwischen Kirchen-Hausen und Zimmern versickern erhebliche Mengen der Donau, wobei sie jedoch nicht trockenfällt.
 - Zwischen Zimmern und Immendingen versickert weniger Wasser. Dies ist nur bei Niedrigwasserführung der Donau im Sommer der Fall.
 - Etwas mehr als die Hälfte des Wassers versickert unterhalb von Immendingen.
- Flussabschnitt zwischen den Pegeln Möhringen-Espenbrücke und Beuron:
 - Bei Betrachtung langjähriger Zeitreihen ist der Abfluss aus dem Flussabschnitt größer (13,105 m³/s) als der Zufluss (12,25 m³/s). Demnach wäre in diesem Abschnitt die Donau Vorflut.
 - Die detailliertere tagesgenaue Bilanzierung der Pegeldaten zeigt, dass im langjährigen Mittel 0,398 m³/s versickern und sich influente und effluente Verhältnisse abwechseln. Kurzfristig kann die Versickerungsrate auch deutlich darüber liegen.
 - Berücksichtigt man außerdem, dass die Donau unterhalb der Versinkungsstrecke bei Fridingen bis zum Pegel Beuron Grundwasser aus dem Oberjura und zudem Zuflüsse aus der Bära, der Elta und den Kesselbachquellen aufnimmt, so kann für diesen Abschnitt eine Versickerungsrate von ca. 0,5 bis 1 m³/s abgeschätzt werden.
 - Durch den Umleitungsstollen Fridingen werden seit 1923 bis zu 8,5 m³/s Donauwasser geleitet. Sie werden dadurch einer möglichen Versinkung bei Fridingen entzogen. Führt die Donau nach der Ableitung in den Stollen nur noch den wasserrechtlich geregelten Mindestabfluss von 0,4 m³/s, versickert sie bei Fridingen nahezu vollständig.

Vergleich von Bilanzierungsgrößen zur Donauversinkung zwischen den Jahren 1974 und 2001 (Selg, 2010)

| | 1974 | 2001 | Differenz [%] |
|--|------|------|---------------|
| Vollversinkungstage | 150 | 100 | -33 |
| MQ Kirchen-Hausen [m³] | 13,0 | 14,5 | +11 |
| Versickerungsrate [m³] | 4,4 | 5,7 | +31 |
| MQ Aachtopf [m³] | 6,6 | 8,3 | +26 |



Tage pro Jahr mit Vollversinkung der Donau im Zeitraum 1884 bis 2004. Die zeitlich variable Entwicklung wird durch die polynomische Trendlinie (rosa) wiedergegeben, der generelle langfristige Trend durch die lineare Trendlinie (rot) (Selg, 2010).

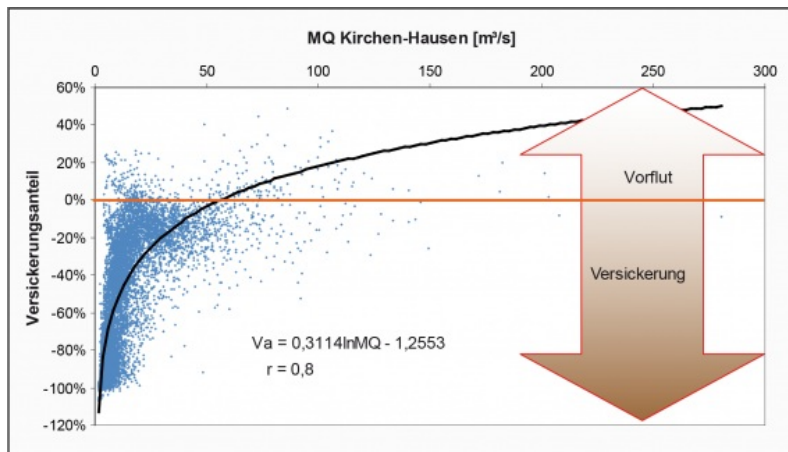
Einflussfaktoren auf den Versinkungsprozess

Das Ausmaß der Donauversinkung wird durch verschiedene zeitliche und räumliche Randbedingungen gesteuert. Ihr komplexes Zusammenwirken führt dazu, dass kein linearer Zusammenhang zwischen Versickerungsraten und Aachtopfschüttung zu erkennen ist.

Diese Randbedingungen sind (Selg, 2010):

- der Donauabfluss,
- die Durchlässigkeit des Donaubetts bzw. der Versinkungsstellen,
- das Speichervolumen der ungesättigten Zone im Bereich der Versinkungen und deren weiterem Umfeld,
- die Gebirgsdurchlässigkeit der gesättigten Zone.

Bei einer Wasserführung unter 6 bis 8 m³/s beim Pegel Kirchen-Hausen versickert die Donau an den Immendinger Versinkungsstellen vollständig. Meist versickern im Tagesmittel unter 10 m³/s. Versickerungsraten über 20 m³/s sind ausgesprochen selten. Ab einem gewissen Abfluss wird die Schluckfähigkeit der Versinkungsstellen bzw. die Aufnahmefähigkeit des Grundwasserleiters aufgrund seines limitierten Speichervolumens überschritten, so dass er keine beliebig großen Wassermengen aufnehmen kann. Bei hohen Donauabflüssen am Pegel Kirchen-Hausen von ca. 55 bis 60 m³/s im Tagesmittel ist die Speicherkapazität überschritten. Dann versickert kein Wasser mehr, sondern die Donau nimmt im betrachteten Flussabschnitt Grundwasser auf.



Korrelation von Donauabfluss oberhalb der Versinkung von Immendingen und seinem prozentualen Versickerungsanteil (Tageswerte). Negative Werte geben den Versickerungsanteil des jeweiligen Donauabflusses an. Positive Werte bedeuten eine prozentuale Zunahme der Wasserführung in der Donau zwischen Kirchen-Hausen und Möhringen, bezogen auf den Donauabfluss oberhalb der Versinkungsstelle (Selg, 2010). In diesen Fällen ist die Donau Vorfluter.

Donauversinkung und Aachtopf-Schüttung

Der hydraulische Zusammenhang zwischen der Donauversinkung und dem Karstwasseraustritt am Aachtopf wurde schon lange vermutet und erstmals im Jahr 1877 durch Markierungsversuche nachgewiesen. Der Befund wurde durch zahlreiche weitere Versuche bestätigt (siehe hierzu u. a. Batsche et al., 1970; Villinger, 1977; Selg, 2010; Käss, 2021).

Neben der Identifikation von Fließwegen im Untergrund wurden aus den Markierungsversuchsergebnissen auch Transportparameter für das Fließsystem bestimmt.

Die aus allen Auswertungen gemittelte maximale Abstandsgeschwindigkeit zwischen den Versinkungsstellen und dem Aachtopf beträgt 254 m/h, die dominierende Abstandsgeschwindigkeit 178 m/h (Selg, 2010). Die dominierende Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers zum Aachtopf unterscheidet sich je nach Eingabestelle. Bei Eingabe der Markierungsstoffe in die Versinkungsstelle Immendingen wurde aus 14 Versuchen eine gemittelte dominierende Abstandsgeschwindigkeit von 238 m/h berechnet, bei der Eingabe bei Fridingen aus 6 Versuchen eine dominierende Abstandsgeschwindigkeit von 167 m/h. Diese Werte liegen deutlich über denen für den gesamten Oberjura der Schwäbischen Alb (ca. 80 m/h). Selg (2010) führt die Diskrepanz einerseits auf die permanente Nachspülung des Systems durch versickerndes Donauwasser zurück. Andererseits liegt nach Selg (2010) der hydraulische Gradient bei Immendingen (1,5 %) bzw. Fridingen (0,8 %) um eine Größenordnung über dem mittleren Gradienten des Oberjura-Grundwasserkörpers der Schwäbischen Alb. Zudem führt die Versinkung des Donauwassers zu einer weiteren Verteilung des Gradienten im näheren Umfeld der Versinkungsstellen.



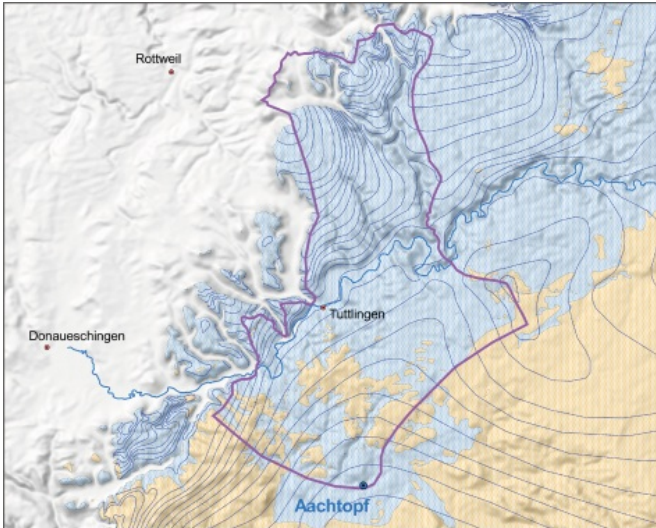
Teilabfluss aus dem Aachtopf im nördlichen Werkkanal



Teilabfluss aus dem Aachtopf im südlichen Werkkanal

Der überwiegende Anteil an der Aachtopfschüttung stammt aus der Donauversinkung (mindestens 60 bis 70 % nach Interreg IIIA, 2008; 65 bis 80 % nach Selg, 2010). Der verbleibende Rest ist der Grundwasserneubildung aus Niederschlägen zuzuordnen. Das Neubildungsgebiet des Grundwassers, das am Aachtopf austritt, liegt z. T. auch weit nördlich der Donau (u. a. Hötzl & Huber, 1972; Villinger 1977; Selg, 2010). Die Donau wird abschnittsweise vom Grundwasser unterströmt. Das im Norden neu gebildete Grundwasser tritt z. T. in die Vorfluter Bära und Elta sowie in weitere kleinere Gewässer über und wird somit dem Grundwasservorrat entzogen.

Das gesamte Einzugsgebiet des Aachtopfs hat eine Größe von ca. 280 km² (Vogelsang & Villinger, 1987; Villinger, 1997). Käss (2021) geht von ca. 240 km² aus. Die Abgrenzung basiert im Wesentlichen auf Markierungsversuchen (Selg, 2010). Weitere Betrachtungen für das Einzugsgebiet südlich der Donau haben u. a. auch Batsche et al. (1970), Vogelsang & Villinger (1987) sowie Werner (1998), für den nördlichen Teil u. a. auch Münzing (1994) sowie Franz (1995a, b) angestellt.



Einzugsgebiet des Aachtopfs (violett umrandet). Das Verbreitungsgebiet des Oberjuras ist blau (an der Geländeoberfläche ausstreichend) bzw. hellbraun (unter Tertiärüberdeckung) dargestellt (Selg, 2010).

Im Hinblick auf die Entwässerungswirkung des Aachtopfs gehen u. a. Batsche et al. (1970) und Villinger (1977) davon aus, dass ein Teil des aus Norden zuströmenden Wassers den Aachtopf unter- bzw. umströmt. Auch Selg (2010) nimmt eine Umströmung des Aachtopes an. Villinger (1977) schätzt, dass etwa 1 m³/s Grundwasser den Aachtopf um- bzw. unterströmt und weiter nach Süden fließt. Ein kleinerer Teil davon tritt in die jungquartären Rinnenschotter im Hegau über bzw. in kleineren Quellen aus (z. B. Bleichequelle, Welschingen). Der Großteil strömt im Kartsaquifer in südöstliche Richtung unter dem Hochrhein hindurch in die Schweiz ab (Villinger, 1977).

Weiterführende Links zum Thema

- [Donauversickerung](#)
- [Umleitungsstollen Immendingen](#)
- [HVZ Baden-Württemberg - LUBW](#)

Literatur

- Batsche, H., Bauer, F., Behrens, H., Buchtela, K., Dombrowski, H. J., Geissler, R., Geyh, M. A., Hötzl, H., Hribar, F., Käss, W., Hairhofer, J., Maurin, V., Moser, H., Neumaier, F., Schmitz, J., Schnitzer, W. A., Schreiner, A., Vogg, H. & Zötl, J. (1970). *Kombinierte Karstwasseruntersuchungen im Gebiet der Donauversickerung (Baden-Württemberg) in den Jahren 1966–1969*. – Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 22, S. 5–165.
- Berz, K. C. (1928). *Die Grundwasserverhältnisse im Versinkungsgebiet der oberen Donau*. – Mitteilungen der Geologischen Abteilung des Württembergischen Statistischen Landesamts, 11, 82 S., 1 Karte, Stuttgart.
- Breuninger, F. W. (1719). *Fons Danubii Primus Et Naturalis oder Die Ur-Quelle des Welt-berühmten Donau-Stroms*. 388 S., Anh., Tübingen (Hiob Franken).
- Franz, M. (1995a). *Nachtrag zur Hydrogeologie*. – Berz, K. C. (Hrsg.). Geol. Karte Baden-Württ. 1 : 25 000, Erläuterungen zu Blatt 7918 Spaichingen, 3. Aufl., S. 124–129, Freiburg i. Br. (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- Franz, M. (1995b). *Hydrogeologische Verhältnisse*. – Gwinner, M. P. & Hafner, G. (Hrsg.). Geol. Karte Baden-Württ. 1 : 25 000, Erläuterungen zu Blatt 7919 Mühlheim a. d. Donau, 1. Aufl., S. 74–88, Freiburg i. Br. (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- Hötzl, H. & Huber, W. (1972). *Über die Hydrogeologie und wasserwirtschaftliche Nutzung der Aachquelle (Baden-Württemberg, BRD)*. – Geologisches Jahrbuch, Reihe C, 2, S. 359–382.

- Interreg IIIA (2008). *Grenzüberschreitende Bewirtschaftung des Grundwassers im Raum Hegau–Schaffhausen*. – Interreg IIIA Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein, Abschlussbericht, 85 S.
- Käss, W. (2021). *Das Donau-Aach-System: Die Versickerung der Oberen Donau zwischen Immendingen und Fridingen (Südwestdeutscher Jurakarst)*. – Geologisches Jahrbuch, Reihe A, 165, 270 S., 2 Anl., Hannover.
- Münzing, K. (1994). *Hydrogeologie und Karsterscheinungen*. – Schweizer, V. & Franz, M. (Hrsg.). Geol. Karte Baden-Württ. 1 : 25 000, Erläuterungen zu Blatt 7819 Meßstetten, S. 72–80, 1 Beil., Freiburg i. Br., Stuttgart (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- Schreiner, A. (1974). *Erläuterungen zum Landkreis Konstanz und Umgebung*. –2. berichtigte Aufl., Geologische Karte von Baden-Württemberg 1 : 50 000, Freiburg i. Br. (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).
- Selg, M. (2010). *Das Donau-Aach-System – Dynamik einer Flussversinkung*. –LGRB-Informationen, 25, S. 7–46.
- Spitz, W. (1930b). *Erläuterungen zu Blatt Möhringen (Nr. 122), württembergisch Tuttlingen (Nr. 160)*. –Erl. Geol. Spezialkt. Baden, 107 S., Freiburg i. Br. (Badische Geologische Landesanstalt). [Nachdruck 1985, 1997: Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., Bl. 8018 Tuttlingen; Stuttgart]
- Türk, W. (1932). *Wesen und Wirken der Donauversinkung*. 64 S., Karlsruhe.
- Villinger, E. (1977). *Über Potentialverteilung und Strömungssysteme im Karstwasser der Schwäbischen Alb (Oberer Jura, SW-Deutschland)*. – Geologisches Jahrbuch, Reihe C, 18, S. 3–93.
- Vogelsang, D. & Villinger, E. (1987). *Elektromagnetische und hydrogeologische Erkundung des Donau-Aach-Karstsystems (Schwäbische Alb)*. – Geologisches Jahrbuch, Reihe C, 49, S. 3–33.
- Werner, A. (1998). *Hydraulische Charakterisierung von Karstsystemen mit künstlichen Tracern*. –Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, 51, S. I–XX, 1–169.

[Datenschutz](#)

[Cookie-Einstellungen](#)

[Barrierefreiheit](#)

Quell-URL (zuletzt geändert am 25.03.26 - 09:22):<https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/hydrogeologie/regionalbeschreibung-westalb-hegualb-klettgaualb/fallbeispiel>