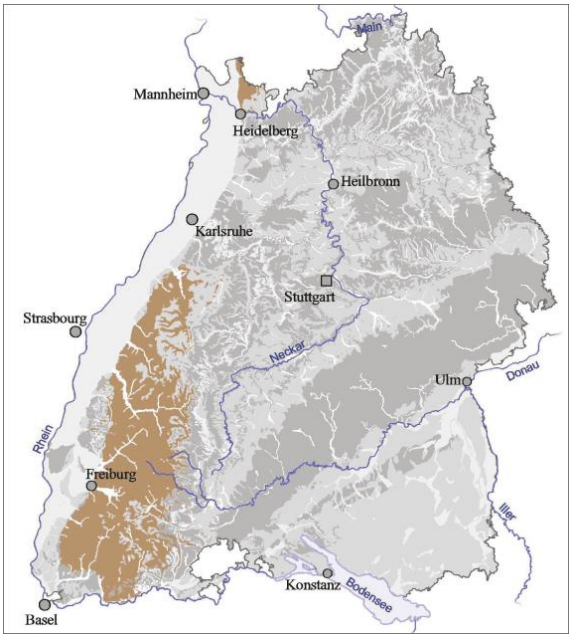
# Kristallin

## Geologie

Das Kristalline Grundgebirge wird aus variskischen Plutonitmassiven sowie Gneis- und Migmatitkomplexen aufgebaut, die von jüngeren Gangmagmatiten durchsetzt sind. Die wichtigsten Gesteine sind Granit, Gneis, Granodiorit, sowie helle und dunkle Gangmagmatite.

*Forbach Granit (GFO, Zweiglimmergranit): Steinbruch Forbach-Raumünzach*

Kristallines Grundgebirge steht im Schwarzwald und im Odenwald auf einer Fläche von etwa 3565 km² über Tage an, wobei es bereichsweise von quartären Deckschichten überlagert wird. Es setzt sich nach Osten unter die sedimentären Gesteinseinheiten des Deckgebirges fort und taucht dabei in Tiefen von bis zu mehreren Tausend Metern unter die Geländeoberfläche ab.




*Ausstrich der Hydrogeologischen Einheiten „Paläozoikum und Kristallin“ farbig*

Weitere Informationen zum Kristallin finden Sie hier (Gneis-Migmatit-Komplex), hier (Alte Schiefer), hier (Variskische Plutone) und hier (Variskische Gangmagmatite).

## Hydrogeologische Charakteristik

Das Kristalline Grundgebirge ist ebenso wie das sedimentäre Paläozoikum weitgehend als Grundwassergeringleiter einzustufen. Eine geringe Grundwasserführung gibt es auf Klüften und Störungen. Einzelne stark geklüftete Bereiche (z. B. Granite Raum Bad Wildbad, Bad Liebenzell) zeigen bei Pumpversuchen die Eigenschaften homogener, isotroper und unendlich ausgedehnter Grundwasserleiter mit deutlicher Grundwasserführung (Stober, 1995). Die Gebirgsdurchlässigkeiten im Kristallinen Grundgebirge können somit äußerst inhomogen sein.

Außerdem gibt es eine oberflächennahe Grundwasserbewegung in der Auflockerungszone und in der Verwitterungsdecke.

Das Kristalline Grundgebirge wird von einem System von Trennflächen durchzogen. Es entstand bei den Graniten als Folge der Intrusionsmechanik und durch Abkühlung, bei den Gneisen durch Schieferung und Zerscherung. Daneben erzeugten tektonische Störungen z. T. sehr tiefreichende wasserwegsame Zonen im Gebirge. Darüber hinaus bildete sich ein oberflächennahes Kluftsystem infolge Druckentlastung (Plum et al., 2008).

Für die hydrogeologischen Verhältnisse im Kristallin sind weiterhin die Grusdecken von Bedeutung, die durch Verwitterung der Granite auf den Hochflächen entstanden. Sie können als Porengrundwasserleiter eine Mächtigkeit von 30 m erreichen und kommen im Schwarzwald und Odenwald vor (Karrenberg, 1981; Grimm & Prier, 1997). Insbesondere in den Grusdecken sind die hydrogeologischen Eigenschaften relativ homogen und isotrop.

## Hydraulische Eigenschaften

Charakteristisch für das Kristalline Grundgebirge sind die sehr inhomogenen hydraulischen Eigenschaften, die aus der großen Variationsweite der hydraulischen Parameter hervorgehen.

Eine statistische Auswertung hydraulischer Kennwerte ergab für das Schwarzwald-Kristallin eine mittlere Transmissivität von $T = 2{,}0 \cdot 10^{-5}$ $m^2/s$ mit einer Schwankungsbreite von $T = 4{,}7 \cdot 10^{-3}$ bis $T = 1{,}0 \cdot 10^{-7}$ $m^2/s$. Für die Gebirgsdurchlässigkeit beträgt der Mittelwert $T/H = 2{,}1 \cdot 10^{-7}$ m/s, die Schwankungsbreite reicht von $T/H = 3{,}5 \cdot 10^{-10}$ bis $T/H = 5{,}5 \cdot 10^{-5}$ m/s (Stober, 1995).

Unterschiede werden bei getrennter Betrachtung der Granite und Gneise erkennbar. Insgesamt sind die hydraulischen Kennwerte im Granit mit $T = 7{,}4 \cdot 10^{-5}$ $m^2/s$ und $T/H = 9{,}6 \cdot 10^{-7}$ m/s etwas größer als im Gneis, für den die entsprechenden Werte bei $T = 6{,}9 \cdot 10^{-6}$ $m^2/s$ und $T/H = 5{,}0 \cdot 10^{-8}$ m/s liegen.

Eine Teufenabhängigkeit der Größe der hydraulischen Kennwerte, wie sie aufgrund der oberflächennahen Entlastung zu erwarten ist, konnte nur für die Gneise, nicht jedoch für Granite statistisch nachgewiesen werden (Stober, 1995).

Die Hohlräume im unverwitterten Gebirge werden ausschließlich von Klüften gebildet. Ihr Anteil schwankt zwischen 0,1 und 2,0 %, wobei die größeren Werte für den Granit, die kleineren Werte für den Gneis typisch sind (Stober, 1995).

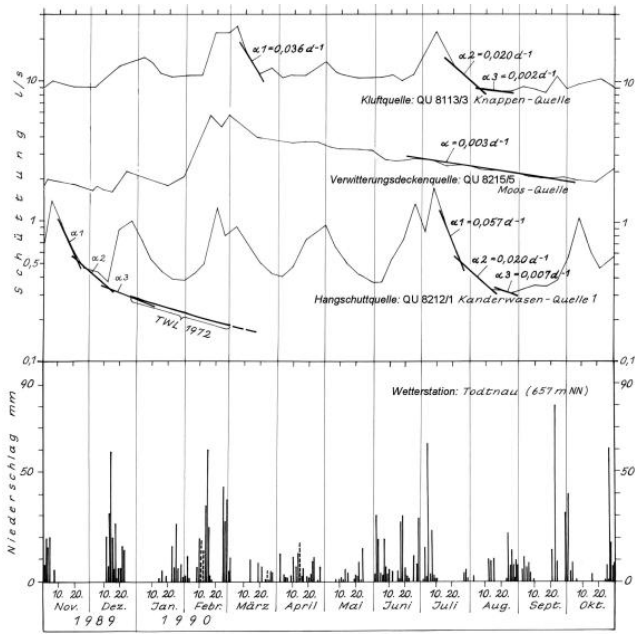
## Hydrologie

Im Ausstrichbereich des Kristallins erfolgt die Grundwasserneubildung durch Infiltration des Niederschlags in die Verwitterungsdecke bzw. die Auflockerungszone. Ein beträchtlicher Anteil des Gesamtabflusses fließt dem Vorfluter als Oberflächenabfluss oder oberflächennaher Zwischenabfluss zu.

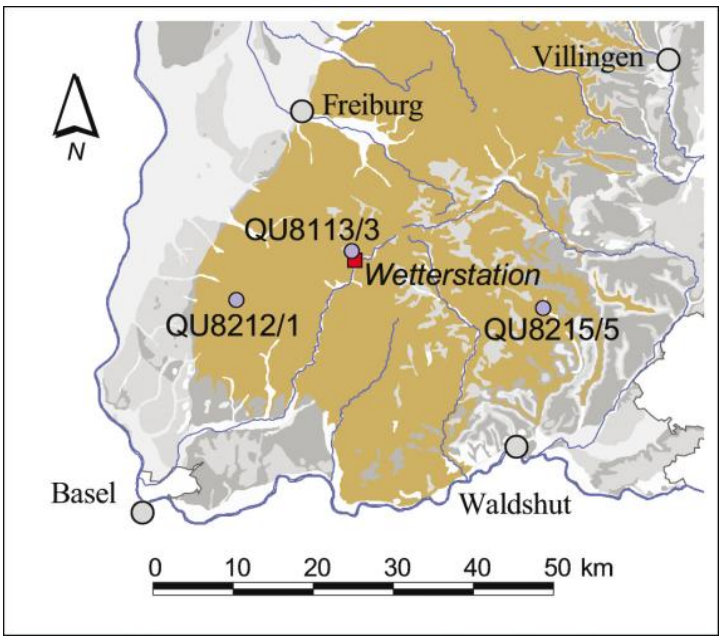
Die Neubildungsrate beträgt im langjährigen Mittel (Standardperiode 1981 bis 2010) $G_m = 9{,}3$ $l/(s \cdot km^2)$. Bezogen auf die Ausstrichfläche von ca. 3 565 $km^2$ beträgt die Neubildungsspende $G_f = 33\,300$ l/s (Niederschlagshöhe, Oberirdischer und Zwischenabfluss).

In der Verwitterungsdecke und der oberflächennahen Auflockerungszone sind die Grundwasserkörper, bedingt durch die Geländemorphologie, meist klein. Sie sind bei ausgeprägter Morphologie durch einen vergleichsweise schnellen Grundwasserumsatz und kurze Verweilzeiten charakterisiert. Die Entwässerung erfolgt über Quellen meist geringer Schüttung (kleiner 2 l/s, vereinzelt bis 10 l/s).

Die hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters, aus dem die Quellen im Kristallin austreten, spiegeln sich u. a. in ihrem Schüttungsverhalten wider. Es werden drei verschiedene Quelltypen unterschieden (Grimm & Prier, 1997).




*Schüttungsganglinien typischer Quellen aus dem Kristallin in halblogarithmischer Darstellung: Knappen-Quelle (QU 8113/3, Kluftquelle mit hoher Schüttung und schnell ansprechenden Abflusskomponenten), Moos-Quelle (QU 8215/5, Verwitterungsdeckenquelle) und Kanderwasen-Quelle 1 (QU 8212/1, Hangschuttquelle mit Trockenwetterabflusslinie 1972) sowie zum Vergleich Niederschläge, Wetterstation Todtnau*




*Geographische Lage der Kristallin-Quellen*

**Kluftquellen** sind charakterisiert durch:

- eine geringe Niederschlagsabhängigkeit der Quellschüttung
- verhältnismäßig große Schüttungsquotienten (NQ/HQ häufig größer 0,3)
- relativ konstante elektrische Leitfähigkeiten
- geringe jahreszeitliche Temperaturschwankungen (meist kleiner 1 °C)
- ein langsames Leerlaufverhalten (Leerlaufkoeffizient $\alpha$ = 0,002 bis 0,003 $d^{-1}$)
- eine Verschiebung des Verlaufs der Lufttemperatur zur Quellwassertemperatur um mehrere Monate

**Hangschuttquellen**, die im Kristallin sehr häufig auftreten, sind charakterisiert durch:

- ein schnelles und starkes Ansprechen auf Niederschlagsereignisse
- einen Trockenwetterabfluss (NQ) von meist weniger als 1 l/s, oft sogar unter 0,2 l/s
- eine mittlere Schüttung (MQ) von mehreren Zehnteln bis wenige l/s und eine maximale Schüttung (HQ) teilweise über 10 l/s
- einen geringen Schüttungsquotienten (NQ/HQ unter 0,1), der die schnelle Entleerung des Speichers widerspiegelt
- hohe jahreszeitliche Temperaturschwankungen (meist zwischen 2 und 3 °C)
- eine große Variationsweite der Leerlaufkoeffizienten zwischen $\alpha$ = 0,004 bis 0,06 $d^{-1}$, die im Zusammenhang mit den sehr heterogenen Eigenschaften der wasserführenden Gesteine im Quelleinzugsgebiet steht
- eine Verschiebung des Verlaufs der Lufttemperatur zur Quellwassertemperatur um ca. eineinhalb bis zweieinhalb Monate

Häufig ist folgende Entwicklung zu beobachten: während zu Beginn einer Trockenperiode das Grobporensystem des Hangschutts das Leerlaufverhalten bestimmt ($\alpha_1$ = 0,03 bis 0,06 $d^{-1}$), wird das Schüttungsverhalten zunehmend vom Volumen der oberflächennahen Klüfte ($\alpha_2$ = 0,01 bis 0,02 $d^{-1}$) und schließlich vom Feinkluftsystem des Grundgebirges ($\alpha_3$ = 0,002 bis 0,008 $d^{-1}$) bestimmt. Die Temperaturen der Hangschuttquellen nehmen mit zunehmender Höhenlage um 0,6 bis 1,5 °C pro 100 Höhenmeter ab.

**Verwitterungsdeckenquellen** sind charakterisiert durch:

- Mindestschüttungen (NQ) von oft über 1,0 l/s
- verhältnismäßig große Schüttungsquotienten (NQ/HQ von meist größer 0,2) sowie
- langsame und kontinuierliche Schüttungsabnahmen bei Trockenwetter (Leerlaufkoeffizient $\alpha$ = 0,003 bis 0,005 $d^{-1}$)
- jahreszeitliche Temperaturschwankungen von meist deutlich unter 2 °C
- eine Verschiebung des Verlaufs der Lufttemperatur zur Quellwassertemperatur um ca. drei bis vier Monate

Niederschlag, der auf den Höhen des Schwarzwalds in das Gebirge einsickert, kann über kluft- und störungsgebundene Wegsamkeiten in große Tiefen gelangen. Der Grundwasserfluss beruht auf der Reliefenergie zwischen den Höhenlagen und den tief eingeschnittenen Tälern. Entlang des Fließpfades kommt es zu Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasser und den durchströmten Gesteinen mit einer Zunahme des Gehaltes an gelösten Mineralen im Grundwasser. Die Austritte dieser tiefreichenden Zirkulationssysteme über aufsteigende Quellen liegen meist in geomorphologisch tiefer Position im Talgrund. Je nach Zirkulationstiefe, Grundwasserverweilzeit und verfügbaren Mineralen können sich sowohl Mineral- als auch Thermalwässer bilden.

Aufgrund der Durchlässigkeitsverteilung und der hohen Reliefunterschiede kann die Zirkulationstiefe der Thermalwässer in Granitgebieten bis über 4000 m reichen. In Gneisgebieten bleiben die Fließsysteme bei den Mineralwässern und Säuerlingen auf einige Zehner bis wenige Hundert Meter Tiefe beschränkt. Dementsprechend belegen isotopenhydrologische Untersuchungen, dass die Verweilzeiten der Thermalwässer im Granit mit einigen tausend Jahren wesentlich höher sind als die der Mineralwässer und Säuerlinge im Gneis. Diese Wässer erreichen oft nur Verweilzeiten im Untergrund von einigen Zehner Jahren (Schloz & Stober, 2002; Schloz & Stober, 2006).

# Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Oberflächennahe Grundwässer im Kristallinen Grundgebirge sind hydrochemisch meist „sehr weich“ bis „weich“ und weisen nur geringe Lösungsinhalte auf. Dies beruht zum einen darauf, dass leicht lösliche Mineralien in Kristallingesteinen weitgehend fehlen und nur wenige Grundwasserinhaltstoffe aus Wasser-/Gesteinsreaktionen herrühren. Die Mineralisation der Grundwässer stammt im Wesentlichen aus der Verwitterung silikatischer Minerale (insbes. Feldspatverwitterung) und von Mineralen in Ganggesteinen. Wegen der geringen Löslichkeit der silikatischen Minerale wird die zur Verfügung stehende Kohlensäure aus dem Boden oft nicht vollständig abgepuffert. Wegen der niedrigen Mineralisation der Grundwässer spielen atmogene Einträge aus der Luft und insbesondere aus dem Bestandesniederschlag eine vergleichsweise bedeutende Rolle für die hydrochemische Charakterisierung der Wässer.

Kennzeichnend für anthropogen nicht oder nur wenig beeinflusste oberflächennahe Grundwässer aus dem Kristallin sind (LfU, 2001a; Plum et al., 2009a):

- Quellwassertemperaturen sind je nach Exposition, Höhenlage des Einzugsgebietes und Zikulationstiefe des Grundwassers etwa 1 °C höher als die mittlere Jahrestemperatur der Luft. Sie liegen je nach Höhenlage des Einzugsgebiets etwa zwischen 7,5 und 9,5 °C. Der Mittelwert liegt bei ca. 8,6 °C
- Mittlere elektrische Leitfähigkeiten im Bereich von 80 µS/cm mit einer Spannweite von etwa 30 bis 200 µS/cm
- Mediane Konzentrationen von ca. 3,3 mg/l Natrium, 0,8 mg/l Kalium, 5,1 mg/l Calcium, 1,5 mg/l Magnesium, 2,1 mg/l Chlorid, 5,6 mg/l Sulfat sowie eine geringe Karbonathärte von ca. 0,8 °dH (Plum et al., 2009a)
- Vergleichsweise niedrige pH-Werte von im Mittel 6,8 mit Variationen zwischen 6,0 bis 7,4

Im Kristallin zeichnen sich die tieferen und sehr tiefen Grundwässer durch eine Vielfalt der Wassertypen und der Mineralisationsgrade aus. Sie unterscheiden sich darin von den oberflächennahen Grundwässern.

Die Mineralwässer und Säuerlinge sowie die Thermalwässer des Schwarzwalds sind meist erhöht bis hoch mineralisiert. Dabei handelt es sich um sehr unterschiedliche Wassertypen.

- Die Thermalwässer besitzen generell hohe Natrium- und Chlorid-Konzentrationen sowie kein oder nur wenig $CO_2$.
- Die Mineralwässer sind dagegen meist reich an Kalzium Natrium und Hydrogenkarbonat, jedoch arm an Chlorid. Ihr Gehalt an freiem gelöstem $CO_2$ kann einige 1000 mg/l betragen.

Mit ihren hohen Natrium- und Chloridgehalten weisen die Thermalwässer des granitischen Grundgebirges eine marine Signatur auf. Die hydrochemische Beschaffenheit wird zusätzlich durch Wasser-Gesteins-Reaktionen in Verbindung mit langen Verweilzeiten des Wassers im Untergrund modifiziert. Durch die tiefen Fließsysteme werden Anteile nahezu stagnierender, hochsalinarer tiefer Grundwässer bzw. Solen aufgenommen und gelangen in stark verdünnter Form an die Erdoberfläche. Derartige Solen mit 21,0 und 61,1 g/l gelöstem NaCl wurden z. B. in der Geothermiebohrung III in Bad Urach angetroffen (Schloz & Stober, 2006).

Dagegen verhindert die wesentlich geringere Zirkulationstiefe der (nicht thermalen) Mineralwässer einen solchen salinaren Zufluss aus dem tieferen Kristallinen Grundgebirge.

Bemerkenswert ist die relativ niedrige Mineralisation des Bad Wildbader Akrato-Thermalwassers mit nur 0,65 bis 0,74 g/l gelösten Mineralstoffen bei Temperaturen zwischen 35,0 und 39,4 °C (Schloz & Stober, 2006).

## Geschütztheit des Grundwassers

Das in den Quellen aus der Auflockerungszone und dem Hangschutt austretende Grundwasser weist häufig nur eine geringe Verweilzeit im Untergrund auf und ist dementsprechend vor Verunreinigungen von der Erdoberfläche nur wenig geschützt. Dies belegen Trübungen bzw. bakteriologische Belastungen der Quellwässer, die häufig nach Starkniederschlägen oder der Schneeschmelze auftreten. Die Verwitterungsdeckenquellen haben ein besseres Schutzpotenzial, weil der Gesteinsgrus oft einen deutlichen Schluffanteil führt.

Grundwässer, die auf tiefreichenden Klüften mit einer längeren Verweilzeit zirkulieren, weisen dagegen einen höheren Schutz gegenüber Verunreinigungen von der Erdoberfläche aus.

## Grundwassernutzung

Die in der Auflockerungszone des kristallinen Grundgebirges zirkulierenden oberflächennahen Grundwässer treten häufig über Quellen zutage und werden im Schwarzwald vielerorts zur lokalen Trinkwasserversorgung genutzt. Für diesen Quelltyp sind starke Schüttungsschwankungen charakteristisch. Sie werden vermutlich aufgrund der häufigeren und länger andauernden niederschlagsarmen Perioden, als Folge des Klimawandels, zunehmend öfter auftreten.

Daneben sind aus dem Kristallinen Grundgebirge des Schwarzwalds zahlreiche, seit alters her genutzte Mineralwässer, Säuerlinge und Thermalwässer bekannt. Die einst in Quellen an der Erdoberfläche frei austretenden Wässer sind heute zu einem erheblichen Anteil durch Bohrbrunnen gefasst und durch zahlreiche Tiefbohrungen erschlossen.

Als traditionsreiche Badeorte mit Thermalquellen aus dem Kristallinen Grundgebirge sind Baden-Baden, Badenweiler, Bad Säckingen, Bad Wildbad und Bad Liebenzell zu nennen. Bekannte Mineralwässer und Säuerlinge kommen z. B. aus Bad Peterstal, Bad Griesbach, Bad Rippoldsau und Bad Teinach.

## Tiefe Grundwässer

Während die (meist nicht thermalen) Mineralwässer und Säuerlinge in Gneisgebieten auftreten, sind die Thermalwässer und tiefen Fließsysteme ausschließlich an Granite gebunden. Dabei sind die Schüttungen der thermalen Quellsysteme meist größer als die einzelnen Quellausläufe und Ergiebigkeiten der Mineralwässer und Säuerlinge.

In den Mineralwasserprovinzen liegen die Quellen und erbohrten Vorkommen auf linearen tektonischen Strukturen mit hohen Durchlässigkeiten. Sie verlaufen überwiegend unter dem Talgrund.

Dagegen sind die hohen Durchlässigkeiten in den Thermalwassergebieten flächig weiter ausgedehnt und reichen in große Tiefen. Nur in den Granit-Komplexen können die beträchtlichen Volumenströme der Thermalwässer aus großer Tiefe an die Erdoberfläche aufsteigen ohne dabei stark abzukühlen. Grund hierfür ist die ausgeprägte, relativ gleichmäßig verteilte, tiefreichende Klüftung mit entsprechender Durchlässigkeit (Baden-Baden, Bad Wildbad). Anderenorts können die Thermalwässer jedoch bis zu ihrem Austritt an der Erdoberfläche auch stark abkühlen (Bad Liebenzell, Bad Säckingen).

Beispiele für Quellen, die über tiefreichende Zirkulationssysteme im Kristallin gespeist werden, sind die Mineral--Thermalwässer von Baden–Baden, Bad Liebenzell, Bad Säckingen und Bad Wildbad.

## Literatur


- Grimm, B. & Prier, H. (1997). *Untersuchungen über das Schüttungsverhalten von Grundgebirgsquellen des südlichen Schwarzwalds.* – Jahreshefte des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg, 36, S. 215–262.
- Karrenberg, H. (1981). *Hydrogeologie der nicht verkarstungsfähigen Festgesteine.* 284 S., Wien, New York (Springer).
- LfU (2001a). *Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg.* 124 S., Karlsruhe (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg).
- 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.
- Plum, H., Ondreka, J. & Armbruster, V. (2008). *Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg.* – LGRB-Informationen, 20, S. 1–106.
- Schloz, W. & Stober, I. (2002). *Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Säuerlinge in Baden-Württemberg.* – LGRB-Fachbericht, 2002-1, S. 1–15, 1 Kt., Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau).
- Schloz, W. & Stober, I. (2006). *Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Säuerlinge in Baden-Württemberg (überarbeitete Fassung).* – LGRB-Fachbericht, 02/06, S. 1–20, Freiburg i. Br. (Regierungspräsidium Freiburg – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau), verfügbar unter https://produkte.lgrb-bw.de/docPool/c99_data.pdf.
- Stober, I. (1995). *Die Wasserführung des kristallinen Grundgebirges.* 191 S., Stuttgart (Enke).

Datenschutz

Cookie-Einstellungen

Barrierefreiheit

---

**Quell-URL (zuletzt geändert am 28.04.23 - 12:43):**https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/hydrogeologie/kristallin-palaeozoikum/hydrogeologischer-ueberblick/kristallin