

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 63 (1970)
Heft: 2

Artikel: Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen
Autor: Jäckli, Heinrich
Kapitel: IV: Chemische Kriterien
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-163850>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

IV. CHEMISCHE KRITERIEN

Die Klassifikation von Grundwasser nach seinem Chemismus ist sehr gebräuchlich und in der Literatur allenthalben anzutreffen.

Dabei müssen zwei Faktoren auseinandergehalten werden:

- Die Gesamtkonzentration, also der Grad der «Mineralisation» im weiteren Sinn, und
- die verhältnismässige Beteiligung der Einzelkomponenten an dieser Gesamtkonzentration.

A. Gesamtkonzentration

Bei der Klassifikation nach GORELL (1958) berechnet man die Gesamtkonzentration als NaCl und gliedert das Wasser nach Zehnerpotenzen mg/l NaCl, gemäss Tabelle 3.

Tabelle 3. Einteilung des Grundwassers nach der Gesamtkonzentration, berechnet als NaCl (nach GORELL 1958)

	mg/l NaCl	mg/l Cl	mval	Gew. %
Süsswasser	< 1000	< 606	< 17,1	< 0,1
Brackwasser	1000– 10000	606– 6000	17,1– 170,9	0,1–1
Salzwasser	10000–100000	6060–60600	170,9–1709,1	1–10
Sole	> 100000	> 60600	> 1709,1	> 10

Unsere schweizerischen Grundwässer liegen nach dieser Klassifikation im Bereich «Süsswasser», die Mineralwässer unserer Heilquellen dagegen oft in den drei anderen Typen. Das aus der Tiefbohrung Pfaffnau-Süd 1 (Kt. Luzern) 1964 aus – 500 m u. M. aus der unteren Meeresmolasse analysierte Wasser ergab einen Gehalt von im Maximum 18000 mg/l NaCl (LEMCKE et al. 1968), ist also als «Salzwasser» zu bezeichnen.

Innerhalb der Gruppe des Süsswassers pflegt man in mitteleuropäischen Klimaverhältnissen die Grundwässer gemäss ihrer Gesamthärte zu klassifizieren, beispielsweise nach KLUT, gemäss Tabelle 4.

Tabelle 4. Einteilung der Süsswässer nach ihrer Gesamthärte (nach KLUT)

	franz. H ⁰	deutsche H ⁰	mval
sehr weich	0 – 7,2	0– 4	0 – 1,4
weich	7,2–14,4	4– 8	1,4– 2,9
mittelhart	14,4–21,6	8–12	2,9– 4,3
ziemlich hart	21,6–32,4	12–18	4,3– 6,4
hart	32,4–54	18–30	6,4–10,7
sehr hart	> 54	> 30	> 10,7

Überschreitet die Gesamthärte 100 franz. ° oder 20 mval, so wird in der Schweiz das betreffende Wasser gemäss «Schweiz. Verordnung über den Verkehr mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen, vom 26. Mai 1936» als «Mineralwasser» bezeichnet. Gleiches gilt für Wasser, deren Einzelkomponenten folgende Grenzwerte überschreiten:

Lithium	1 mg/l Li	Eisen	5 mg/l Fe
Fluor	2 mg/l F	Arsen	0,2 mg/l As
Brom	4 mg/l Br	Bor	4 mg/l B
Jod	1 mg/l J	«Säuerling»	250 mg/l CO ₂

«Schwefelwasser» wenn Schwefelwasserstoff (H₂S), Hydrosulfid (HS) oder Thio-sulfat (H₂S₂O₃) vorhanden sind.

Für die Definition der Begriffe «Mineralwasser», «Medizinalwasser», «Heilwasser», «Tafelwasser», bzw. «Mineralquelle», «Heilquelle» sind aber nicht bloss geologisch-chemische, sondern auch medizinisch-balneotherapeutische Gesichtspunkte massgebend, weshalb auch die rechtliche Ordnung in den Lebensmittel-, Arzneimittel-, Bergbau- oder Wassergesetzen der verschiedenen Staaten eine sehr unterschiedliche ist (K. FRICKE 1969).

B. Prozentualer Anteil der einzelnen Komponenten an der Gesamtkonzentration

Werden die Grundwasservorkommen nach dem prozentualen Anteil der einzelnen chemischen Komponenten an der Gesamtkonzentration gruppiert, so werden dazu üblicherweise nur relativ wenige Komponenten berücksichtigt.

Hauptkomponenten:

Kationen:	Na ⁺	Anionen:	Cl [']	gelöste Gase:	O ₂
	Mg ⁺⁺		HCO ₃ [']		
	Ca ⁺⁺		NO ₃ [']		
			SO ₄ ^{''}		

Nebenkompontenten:

Kationen:	K ⁺	Anionen:	F [']	gelöste Gase:	H ₂ S
	Li ⁺		Br [']		CO ₂
	NH ₄ ⁺		J [']		CH ₄
	Sr ⁺⁺		NO ₂ [']		N ₂
	Mn ⁺⁺		H ₂ BO ₃ [']		
	Fe ⁺⁺		HPO ₄ ^{''}		

Die Nebenkompontenten markieren bei grösserem Anteil bereits Sonderfälle, seien es natürliche Mineral- und Thermalwässer, oder seien es künstlich veränderte, durch Industrieabfälle, Kehrrechtdeponien oder Abwässer oder durch landwirtschaftliche Düngung verunreinigte Grundwässer.

C. Sauerstoffgehalt

Bezüglich des Sauerstoffgehaltes des Grundwassers wird häufig folgende Zweiteilung vorgenommen:

1. «Normaler» Typus mit genügend Sauerstoff, Sauerstoffkonzentration in der Regel 50% und mehr, mit Sulfat und Nitrat, ohne grössere Mengen von gelöstem Eisen und Mangan.

2. «Reduzierter» Typus, bei dem der Sauerstoffgehalt bescheidener ist oder sogar vollkommen fehlt. Dafür treten statt der sauerstoffreichen Sulfate und Nitratsauerstoffärmere oder sauerstofffreie Schwefel- und Stickstoffverbindungen auf, also H_2S statt SO_4 , NO_2 oder NH_4 statt NO_3 . Ferner kann beim «reduzierten» Typus Eisen und Mangan in bedeutend grösserer Masse gelöst sein als beim normalen, sauerstoffreichen Typus.

Der Mangel an Sauerstoff kann verschiedene Ursachen haben:

a) Der Grundwasserleiter enthält organische Stoffe oder grenzt an organische Sedimente, z. B. Torf oder Kohle, die eine Sauerstoffzehrung bewirken.

b) Der Grundwasserleiter ist von einer undurchlässigen Deckschicht überlagert, sodass das Grundwasser in ihm nicht mit Bodenluft in Berührung kommt, was bei tiefen Grundwasserstockwerken oft der Fall ist.

c) Das Grundwasser wird durch Infiltration von organisch belastetem Oberflächenwasser gespeist, was eine sekundäre Sauerstoffzehrung im Grundwasser bewirkt.

d) Organische Stoffe (häusliche, landwirtschaftliche oder industrielle Abwässer, Hauskehricht, Industrieabfälle, Treib- und Schmierstoffe) gelangen als Verschmutzungen ins Grundwasser oder werden vom Sickerwasser durchströmt und ausgelaugt und bewirken eine Sauerstoffzehrung.

D. Beeinflussung des Chemismus durch Flussinfiltration

1. Infolge Mischung

Wo eine Grundwasserneubildung durch Infiltration von Oberflächenwasser stattfindet, zeichnet sich dieser Vorgang auch im Chemismus ab. Handelt es sich um ein sauberes Oberflächengewässer, so führt die Infiltration im Grundwasser üblicherweise zu einer Verdünnung, d. h. einer Verminderung der Mineralisation. Das ist der Normalfall eines Infiltrationsgrundwassers.

Bei starker anorganisch-chemischer Verunreinigung des infiltrierenden Oberflächengewässers, z. B. durch Industrieabwässer, überträgt sich dessen Chemismus als erhöhte Konzentration einzelner Komponenten auf das Grundwasser.

In beiden Fällen lässt sich über eine algebraische Mischungsrechnung das Ausmass der Infiltration abschätzen.

2. Infolge chemischer Reaktion

Ist das infiltrierende Oberflächengewässer jedoch mit organischen Stoffen stark belastet, so führt dessen Infiltration im benachbarten Grundwasser zu einer Sauerstoffzehrung und als Folge davon zu oft komplizierten chemischen Sekundäreffekten, die meist schlecht überblickbar sind und sich durch eine auffallende Instabilität auszeichnen können. Erhöhter Eisen- und Mangangehalt sind dabei häufig anzutreffen.

E. Benennung

1. Benennung nach Millivalprozenten

Für die Benennung der chemischen Grundwassertypen werden die Komponenten in Milligrammäquivalente $mval = \text{Gewicht} \cdot \text{Wertigkeit} / \text{Molekulargewicht}$ pro Liter ausgerechnet und für die Kationen und die Anionen die Äquivalentprozent $mval\%$ getrennt je auf 100% berechnet. (Als gleichwertig mit $mval/l$ wird gelegentlich der Ausdruck $N/1000$ verwendet.) 1 $mval$ ist diejenige Menge eines Stoffes, die $6,0225 \cdot 10^{20}$ Äquivalente enthält.

Für die Benennung werden erst die Kationen, dann die Anionen, die mit mehr als 10 $mval\%$ beteiligt sind, in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit angeführt. Ionen mit mehr als 50 $mval\%$ werden dabei unterstrichen, solche mit weniger als 20 $mval\%$ in Klammern gesetzt.

Der weitaus häufigste Grundwassertyp in den Schottern der Schweiz nördlich der Alpen wäre nach dieser Nomenklatur als Ca-Mg-HCO₃-Typ (Kalzium-Magnesium-Hydrogenkarbonat-Typ) zu bezeichnen.

Nach G. MICHEL (1963) lässt sich im rheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet von oben nach der Tiefe folgende Sukzession chemischer Grundwassertypen erkennen:

oben (Pleistozän):	ca. 0–100 m	<u>Ca</u> -(Na)- <u>HCO₃</u> -SO ₄ -(Cl)-Typ
	ca. 100–200 m	<u>Na</u> -Ca-Cl-SO ₄ -Typ
	ca. 200–300 m	<u>Na</u> -(Mg)-Cl-(SO ₄)-Typ
unten (Karbon):	ca. 300–800 m	<u>Na</u> -Cl-Typ

2. Gliederung nach F. NÖRING

Für eine Gliederung auf chemischer Basis schlug F. NÖRING (1950) folgende vier Typen vor:

1. *Salinischer Typ*, Chloride, Sulfate und Nitrate dominierend enthaltend, deren Konzentration, unabhängig vom pH und anderen Lösungsgenossen, nur von der Aufenthaltszeit und dem Chemismus der Grundwasserleiter abhängig sind.

2. *Karbonatischer Typ*, dessen Karbonathärte vom pH, dem CO₂-Gehalt und dem Karbonatgehalt des Grundwasserleiters abhängt.

3. *Eisen-Mangan-Typ*, der bei niedrigem pH und beim Fehlen von Erdalkaliumkarbonaten und von Sauerstoff anzutreffen ist.

4. *Basenarmer Typ*, mit hohem O₂- und CO₂-Gehalt und niedriger Härte, aus erdalkaliarmen Grundwasserleitern stammend.

3. Gliederung nach H. LANGGUTH

H. LANGGUTH (1965, 1966) gibt für die süßen Grundwässer folgende rein chemisch aufgebaute Klassierung:

- I. Normal erdalkalische Süßwässer
 - a) überwiegend hydrogenkarbonatisch
 - b) hydrogenkarbonatisch – sulfatisch
 - c) überwiegend sulfatisch

II. Erdalkalische Süsswässer mit höherem Alkaligehalt

- d) überwiegend hydrogenkarbonatisch
- e) überwiegend sulfatisch

III. Alkalische Süsswässer

- f) überwiegend (hydrogen-) karbonatisch
- g) überwiegend sulfatisch-chloridisch

Im Vierstoff-Diagramm nach HEM (1959) decken diese 7 Typen gemäss Figur 11 klar definierte Parallelegramme.

Die Schottergrundwässer des schweizerischen Mittellandes und des Juras gehören zum Typ Ia: Normal-erdalkalisch – hydrogenkarbonatisch.

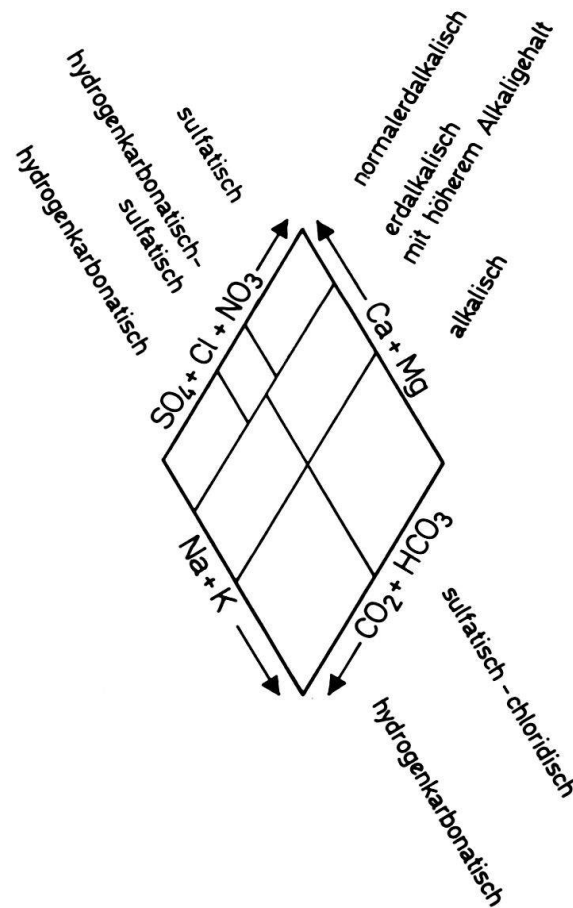


Fig. 11. Vierstoffparallelogramm. Abgrenzung der sieben chemischen Grundwassertypen nach mval%.

Auf Figur 12 wurden im Vierstoffdiagramm, ergänzt durch das Kationen- und Anionen-Dreieck, die Analysen einer grösseren Zahl schweizerischer Mineralwässer dargestellt. Sie lassen sich wie folgt den chemischen Gruppen nach LANGGUTH zuteilen:

I. Normalerdalkalische Süsswässer

Überwiegend hydrogenkarbonatisch: Theophil- und Belvedrasäuerling von Passugg.

Hydrogenkarbonatisch-sulfatisch: Gipsquelle und erdiger Eisensäuerling von San Bernardino.

Überwiegend sulfatisch: Gipstherme Leukerbad, subthermales Gipswasser von Andeer, Lenk.

II. Erdalkalische Süsswässer mit höherem Alkaligehalt

Überwiegend hydrogenkarbonatisch: Subthermaler Eisensäuerling Rhäzüns, Akratotherme Pfäfers-Ragaz, Helenensäuerling Passugg, Bonifazius- und Carolaquelle von Tarasp, Conradin-, Johann- und Thomasquelle von Val Sinestra.

Überwiegend sulfatisch: Schwanen-Schwefeltherme von Baden.

III. Alkalische Süsswässer

Überwiegend karbonatisch: Ulricus- und Fortunatusquelle von Passugg, Emerita- und Luziusquelle, dazu Geysir I und Geysir II von Tarasp, Stampo-Quelle Stabio, Adolf- und Ulrich-Quelle Val Sinestra.

Überwiegend sulfatisch-chloridisch: Therme Zurzach, Eglisau, Schwefeltherme Lavey-les-Bains, Verena-Schwefeltherme Baden, Grottino-, Nuovi Bagni und San Pancrazio-Quelle Stabio.

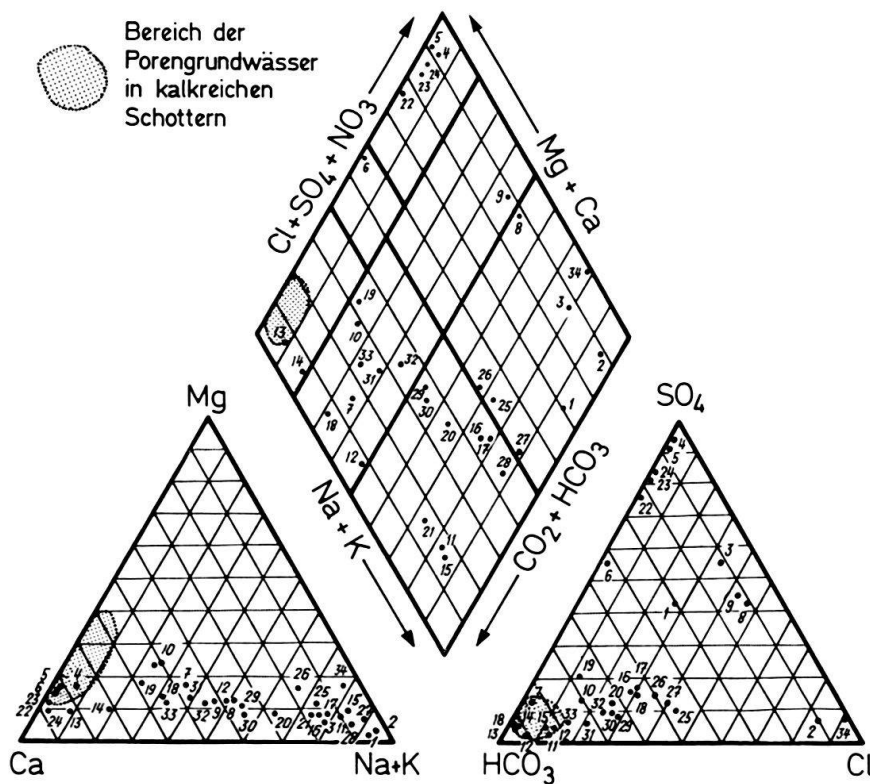


Fig. 12. Chemismus schweizerischer Mineralwässer, in mval%.

1 Zurzach	13 Passugg, Theophil	25 Stabio, Grottino
2 Eglisau	14 Belvedra	26 Nuovi Bagni
3 Lavey-les-Bains	15 Fortunatus	27 San Pancrazio
4 Leukerbad	16 Tarasp, Emerita	28 Stampo
5 Andeer	17 Luzius	29 Val Sinestra, Adolf
6 San Bernardino	18 Bonifazius	30 Ulrich
7 Rhäzüns	19 Carola	31 Conradin
8 Baden, Verena	20 Geysir I	32 Johann
9 Schwanen	21 Geysir II	33 Thomas
10 Ragaz	22 Lenk, Hohlieb	34 Meerwasser
11 Passugg, Ulricus	23 Bahn	(zum Vergleich)
12 Helenen	24 Eisen	

Wie jede Einteilung, die sich auf scharf definierte Grenzen stützt, vermag auch die vorliegende nicht zu vermeiden, dass Grenzen quer durch geologisch unbedingt zusammengehörende Quellgruppen verlaufen, deren Chemismus nur wenig differiert. Das ist der Fall bei der Verena- und der Schwanenquelle von Baden oder bei den Quellen von Stabio oder von Val Sinestra.

Im Kationen-Dreieck von Figur 12 fehlen Mg-reiche Wässer. Trotz dem reichlichen Vorkommen dolomitischer Gesteine, die als Grundwasserleiter wirken könnten, scheinen auch in der Schweiz magnesiumreiche Mineralwässer sehr selten zu sein.

Abschliessend sei daran erinnert, dass auch die chemischen Kriterien, ähnlich wie die meteorologischen und physikalischen, oft nennenswerten Schwankungen in Funktion der Zeit unterworfen sind, was sich selbstverständlich für die Klassifikation der Grundwasservorkommen erschwerend auswirkt.

V. KORRELATIONEN

Im Vorangehenden wurden die verschiedenen Klassifikations-Kriterien betont analytisch behandelt. Nun sollen sie noch miteinander in Beziehung gebracht, in synthetischer Weise korreliert werden. Als Korrelationen im Sinne einer Grundwassertypologie seien Beziehungen zwischen Elementen einzelner Klassifikations-Kriterien verstanden, die sich gegenseitig verlangen.

A. Einfache Korrelationen

Als erstes Beispiel sei ein hochgelegener, allseitig isolierter Porengrundwasserleiter auf einem Hochplateau angenommen, wie sie in der Nordschweiz etwa die Erosionsrelikte von durchlässigen Deckenschottern auf undurchlässiger Molasse darstellen. Nach dem Tafelberg östlich der Mündung der Töss in den Rhein verwenden wir dafür die Kurzbezeichnung «Typus Irchel».

Eine einfache Korrelation besteht zwischen morphologischer Struktur und Grundwasser-Neubildung: Die Neubildung des Grundwassers erfolgt ausschliesslich durch Versickerung der Niederschläge; eine Speisung durch Infiltration von Flusswasser ist unmöglich, ebenso ein unterirdischer seitlicher Zustrom.

Eine weitere einfache Korrelation ist zwischen morphologischer Struktur und Druckverhältnissen zu erkennen, indem es sich nur um Schichtwasser und ungespanntes Grundwasser mit natürlicher Entwässerung auf der Sohle in Form von Schichtquellen handelt; druckgespanntes oder gar artesisches Wasser ist unmöglich.

Schliesslich ist auch eine einfache Korrelation zwischen Grundwasserleiter und Chemismus des Wassers vorhanden, denn in den kalkreichen Schottern des Alpenvorlandes kann sich nur ein erdalkalisch-hydrogenkarbonatisches hartes Wasser bilden; alkalische, sulfatische oder chloridische Wässer sind unmöglich.

B. Mehrfache Korrelationen

Neben diesen einzelnen einfachen Korrelationen besteht selbstverständlich die Möglichkeit von mehrfachen Korrelationen, die dann einem ganz spezifischen Grundwassertyp das Gepräge geben.