Geologische Kriterien : die Grundwasserleiter

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **63 (1970)**

Heft 2

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Einleitung

Grundwasser ist ein integrierender Bestandteil des Untergrundes, mit dem sich die Geologen beschäftigen, und nimmt am Wasserkreislauf teil, der üblicherweise von den Hydrologen untersucht wird. Zudem gehört das Grundwasser im weiteren Sinn zu den nutzbaren Bodenschätzen, weist aber zwei Eigentümlichkeiten auf, die festen Bodenschätzen fremd sind:

- Es bewegt sich, ähnlich dem Erdöl,
- und es unterliegt einer raschen und fast permanenten Neubildung, und zwar auch dort, wo es genutzt wird. Darin nimmt es eine Sonderstellung gegenüber anderen Bodenschätzen ein, deren Neubildung geologische Zeiträume beansprucht und in der Regel nicht im Nutzungsgebiet (nicht in einem produktiven Ölfeld oder in einem Bergwerk oder einem Steinbruch) erfolgt.

Die Grundwasserkunde, auch wenn sie als geologische Wissenschaft aufgefasst wird, kommt wegen dieser Sonderstellung des Grundwassers nicht aus ohne Querverbindungen zur Meteorologie, zur Hydraulik und Hydrologie und zur Chemie. Ihre spezielle Position im Grenzbereich mehrerer naturwissenschaftlicher Disziplinen ist sicher mit ein Grund dafür, dass sich eine allgemein anerkannte und gebräuchliche Klassifikation mit einheitlicher Nomenklatur der Grundwassertypen bis heute noch nicht durchgesetzt hat. Kennzeichnend für die Jugendlichkeit der Hydrogeologie als Wissenschaft ist auch die Erscheinung, dass ihr wissenschaftliches und technisches Vokabular in allen Sprachen noch auffallend unpräzis, vieldeutig und voller Synonyme erscheint.

Für eine Klassifikation der Grundwasservorkommen sollen im folgenden vier Hauptkriterien berücksichtigt werden, nämlich

- der Grundwasserleiter, seine Lithologie, seine Form und Struktur als geologische Kriterien,
- die Neubildung des Grundwassers als meteorologische Kriterien,
- die hydrologischen Kennzeichen als physikalische Kriterien
- und schliesslich der Gehalt des Grundwassers an gelösten Substanzen als chemische Kriterien.

I. GEOLOGISCHE KRITERIEN: DIE GRUNDWASSERLEITER

Als Grundwasserleiter (franz. aquifère, engl. aquifer) bezeichnen wir einen geologischen Körper, der dank seiner Durchlässigkeit Grundwasser in nutzbaren Mengen speichern oder durch sich hindurch zirkulieren lassen kann.

Den Gegensatz stellt der Grundwasserstauer oder Nichtleiter dar, der dank seiner Undurchlässigkeit eine Zirkulation nutzbarer Grundwassermengen verunmöglicht.

Dass die gegenseitige Abgrenzung der beiden Typen oft unscharf ist, liegt in der Relativität des Begriffes Durchlässigkeit, gibt es doch Fälle mittlerer bis geringer Durchlässigkeit, wie etwa Wallmoränen, die gegenüber einem viel durchlässigeren Schotter als Grundwasserstauer, aber gegenüber einem noch viel undurchlässigeren Molassemergel gleichzeitig als Leiter wirken.

A. Art der Zirkulation

Eine erste Einteilung der Grundwasserleiter kann nach der Art der Zirkulation erfolgen, wobei drei Zirkulationsarten unterschieden werden, nämlich

- Zirkulation in Poren,
- Zirkulation in Klüften,
- Zirkulation in Karsthohlräumen.

1. Zirkulation in Poren

Die Porenzirkulation ist dreidimensional diffus; sie findet im ganzen wassergesättigten Teil des Porengrundwasserleiters statt; gewisse Zirkulationsrichtungen können als Folge der Schichtung allerdings bevorzugt sein.

a) Lockergesteine

In Lockergesteinen kommt praktisch überhaupt nur Porenzirkulation vor. Wichtigste Grundwasserleiter dieser Art sind etwa fluviatile Kiese und Grobsande, marine Strandsande, äolische Dünensande und kolluviale Schuttdecken, schliesslich auch lockere, noch unverfestigte und unverwitterte vulkanische Aschen.

Für Gebirgsländer charakteristisch sind Grundwasserleiter glazialer Fazies, nämlich Moränen (mindestens in ihrer kiesreichen, tonarmen Fazies der Ober- oder Randmoränen, während tonreiche Grundmoränen eher als Grundwasserstauer wirken), ferner Bergsturz-, Sackungs- oder Rutschungsschutt.

b) Festgesteine

Als Festgesteine mit Porenzirkulation kommen alle Sedimente in Frage, deren Poren unter sich noch kommunizieren, nämlich als klastische Sedimente Sandsteine, Konglomerate, Breccien, als chemisch-biogene Sedimente poröse Kalke und Kreiden, als Sonderfall Rauhwacken und Travertine.

Als poröse vulkanische Gesteine wirken gasreiche Laven und verfestigte vulkanische Aschen.

2. Zirkulation auf Klüften

Die Zirkulation auf Klüften ist im wesentlichen eine zweidimensional flächenhafte, unabhängig ob die Absonderungsflächen dabei steil oder flach liegen. Gewisse Richtungen, durch Kluftsysteme bedingt, werden bevorzugt. Zwischen zwei wasserführenden Klüften ist das Gestein «trocken» und wirkt im kleinen Bereich des Handstückes als undurchlässig.

Kluftzirkulation fehlt im Lockergestein; sie ist beschränkt auf Festgestein. Absonderungsflächen im weitesten Sinn, also Schichtfugen, Kluftflächen, Brüche und Verwerfungen wirken als Wasserwege. Man findet sie besonders ausgeprägt in allen spröden Gesteinen, wie etwa in Kalken, Dolomiten, spröden Sandsteinen und Konglomeraten, ebenso im Kristallin, also in Graniten, Dioriten, Basalten und ihren metamorphen Derivaten.

3. Karstzirkulation

Bei der Zirkulation im Karst liegt die Betonung auf Linien, «Adern», Gängen und langgestreckten Höhlensystemen. Im Gegensatz zur dreidimensionalen Poren- und der zweidimensionalen Kluftzirkulation betont sie als charakteristisches Element die eindimensionale Linie. Diese Linie ist aber keine Gerade, sondern vielfach gewunden und verbogen, und ihre Richtung lässt fast stets die Abhängigkeit von tektonischen und lithologischen Strukturen erkennen.

Diese Zirkulationswege wurden durch chemische Lösung geschaffen oder doch wesentlich vergrössert und können zu Gängen, Höhlen, Kavernen und grossen begehbaren oder sogar befahrbaren Hohlraumsystemen ausgeweitet sein. Die Karstzirkulation ist deshalb beschränkt auf chemisch relativ leicht lösliche Karbonat- und Salinargesteine, also Kalk, Dolomit, Gips, Anhydrit, Steinsalz und ihre Mischglieder.

Eine Karstzirkulation ganz besonderer Art findet im Gletschereis statt, wo Regenwasser gemeinsam mit Schmelzwasser in relativ kurzlebigen Hohlräumen von Karstcharakter mit grosser Geschwindigkeit fliesst und dabei diese Hohlräume fortlaufend verändert.

4. Übergangsglieder und Kombinationen

Zwischen den oben aufgeführten reinen Zirkulationsarten gibt es alle Übergangsglieder und Kombinationen, wie sie auf Figur 1 dargestellt sind.

Eine Kombination von Poren- und Kluftzirkulation weisen poröse geklüftete Sandsteine auf.

Von Poren- und Karstzirkulation existieren ebenfalls Kombinationen, wenn sie auch nicht sehr häufig sind. Dazu gehören etwa die alpinen Rauhwacken oder poröse Kreidekalke und Travertine, in denen sowohl eine nennenswerte Porenzirkulation möglich ist, wo aber gleichzeitig als Folge der chemischen Lösung auch eine Karstzirkulation vorkommen kann.

Fig. 1. Einteilung der Grundwasserleiter nach der Art der Zirkulation. Reine Arten, Übergangsglieder und Kombinationen.

Die Kombination von Kluft- und Karstzirkulation kann für geklüftete und verkarstete Kalke und Dolomite fast als die Regel, die reine Karstzirkulation eher als die Ausnahme gelten.

Schliesslich ermöglichen poröse, geklüftete und verkarstete Kalke gleichzeitig alle drei Arten von Zirkulation. Sie müssten auf dem Dreieck von Figur 1 dessen Mitte einnehmen.

B. Mineralogische Zusammensetzung der Grundwasserleiter

Der zweite Gesichtspunkt einer Einteilung der Grundwasserleiter berücksichtigt deren mineralogische Zusammensetzung, ist diese doch für den Chemismus des Grundwassers von ausschlaggebender Bedeutung.

Der Granit, der reine Kalkstein, das Gipsgestein oder der Salzstock sind extreme Glieder, die sich selbstverständlich im Chemismus ihres Grundwassers wieder auf ganz charakteristische Weise zu erkennen geben.

Die übliche chemische Klassifikation der Gesteine sei hier nicht wiederholt.

C. Durchlässigkeit

Eine dritte Einteilungsmethode der Grundwasserleiter benützt deren Durchlässigkeit.

Bei Porengrundwasserleitern ist die Durchlässigkeit eine Funktion von Korngrösse, Kornverteilung, Sortierung, Kornform, diagenetischer Zementation usw., also unabhängig von der Lithologie.

Bei Kluftgrundwasserleitern ist die Wegsamkeit eine Funktion der Kluftweite, Klufthäufigkeit und Kluftlänge und der Sauberkeit der Klüfte, somit abhängig von der tektonischen Geschichte des betreffenden geologischen Körpers.

Bei Karstgrundwasserleitern schliesslich ist sie eine Funktion des Verkarstungsgrades und damit der Umstände und der Zeitspanne, während welcher er als löslicher, auslaugbarer Gesteinskörper über dem Meeresspiegel oder einer örtlichen Vorflut lag und der Verkarstung, d.h. der chemischen Auslaugung preisgegeben war.

1. Bei Porenzirkulation

Der Begriff der Durchlässigkeit lässt sich zahlenmässig eindeutig nur bei Porenzirkulation definieren, wobei üblicherweise der Durchlässigkeitskoeffizient k nach Darcy verwendet wird.

$k = v/i$ (v = Filtergeschwindigkeit, i = Druckgefälle).

Dieser mathematisch exakt definierte Wert k lässt sich in der Natur mittels Pumpversuchen, Absenk- oder Anstiegsversuchen in Brunnen und Bohrungen oder in

Markierungsversuchen, oder im Laboratorium an Bodenproben im Ödometer bestimmen.

Übernimmt man den k-Wert nach Darcy als Klassifikationskriterium, so erscheint die Einteilung in die folgenden 5 Gruppen gemäss Tabelle 1 als zweckmässig.

Tab. 1. Durchlässigkeiten bei Porenzirkulation

Durchlässigkeit	k-Wert nach Darcy m/sec	cm/sec	m/Tag
sehr gross (z.B. grober, sandarmer Kies)	$> 10^{-2}$	> 1	> 864
gross (sandiger Kies)	10^{-2}–10^{-3}	1–10^{-1}	864–86,4
mittel (Grobsand)	10^{-3}–10^{-4}	10^{-1}–10^{-2}	86,4–8,64
klein (Feinsand, siltreicher Kies)	10^{-4}–10^{-5}	10^{-2}–10^{-3}	8,64–0,86
sehr klein (siltreicher Feinsand, lehmreicher Kies)	$< 10^{-5}$	$< 10^{-3}$	$< 0{,}86$

Stillschweigend wird dabei ein isotropes Medium angenommen, was in der Natur natürlich nie der Fall ist. Tatsächlich ist der k-Wert beispielsweise bei horizontal geschichteten Körpern in horizontaler Richtung stets grösser als in vertikaler. Die im Feld gemessenen k-Werte entsprechen üblicherweise ungefähr der grössten Durchlässigkeit, somit jener in horizontaler, nicht in vertikaler Richtung.

2. Bei Kluft- und Karstzirkulation

Bei Kluft- und Karstzirkulation versagt der Begriff der Durchlässigkeit nach Darcy in seiner exakten mathematischen Definition. Dort spricht man gelegentlich von «Wegsamkeit», welcher Begriff sich allerdings schlecht in Zahlen ausdrücken lässt.

In der Bohr- und Injektionstechnik wird ein empirisch zu bestimmender Durchlässigkeitswert verwendet, der angibt, wie gross die Wasserverluste aus Bohrlöchern ins Gestein sind. Diese Verluste werden umgerechnet auf Liter pro Minute pro Laufmeter Bohrloch bei 10 atü Druck, welche Einheit als 1 Lugeon definiert ist. 1 Lugeon entspricht einem k-Wert nach Darcy von etwa $1–5 \cdot 10^{-5}$ cm/sec.

Die grosse Schwierigkeit der experimentellen zahlenmässigen Erfassung der Wegsamkeit in Kluft- und Karstwasserleitern ist mit ein Grund, weshalb sich bei ihnen, im Gegensatz zu den Porenwasserleitern, eine Klassifikation nach der Wegsamkeit bisher kaum einzubürgern vermochte.

In vertikalen Grundwasserfassungen wird gelegentlich zum empirischen Vergleich der Durchlässigkeit die spezifische Ergiebigkeit des Brunnens E bei 1 m Absenkung verwendet. Dabei sollten die miteinander verglichenen Brunnen ähnliche Tiefe, ähnlichen Durchmesser und ähnlichen Filtereinbau aufweisen.

Da im porösen Medium die Brunnenergiebigkeit eines vollkommenen Brunnens mit dem k-Wert nach der bekannten Formel von DUPUIT

$$Q = \pi k (H^2 - h^2)/\ln (R/r)$$

in Beziehung steht, kann über dieselbe Formel auch mittels Brunnen in nichtporösen Grundwasserleitern deren Durchlässigkeit zahlenmässig erfasst werden.

Oft genügt dazu die häufig verwendete Näherungsformel

$k = Q/\Delta H \cdot H$

Q = Brunnenergiebigkeit,
ΔH = Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen bei Pumpbetrieb,
H = Nutzbare Grundwassermächtigkeit.

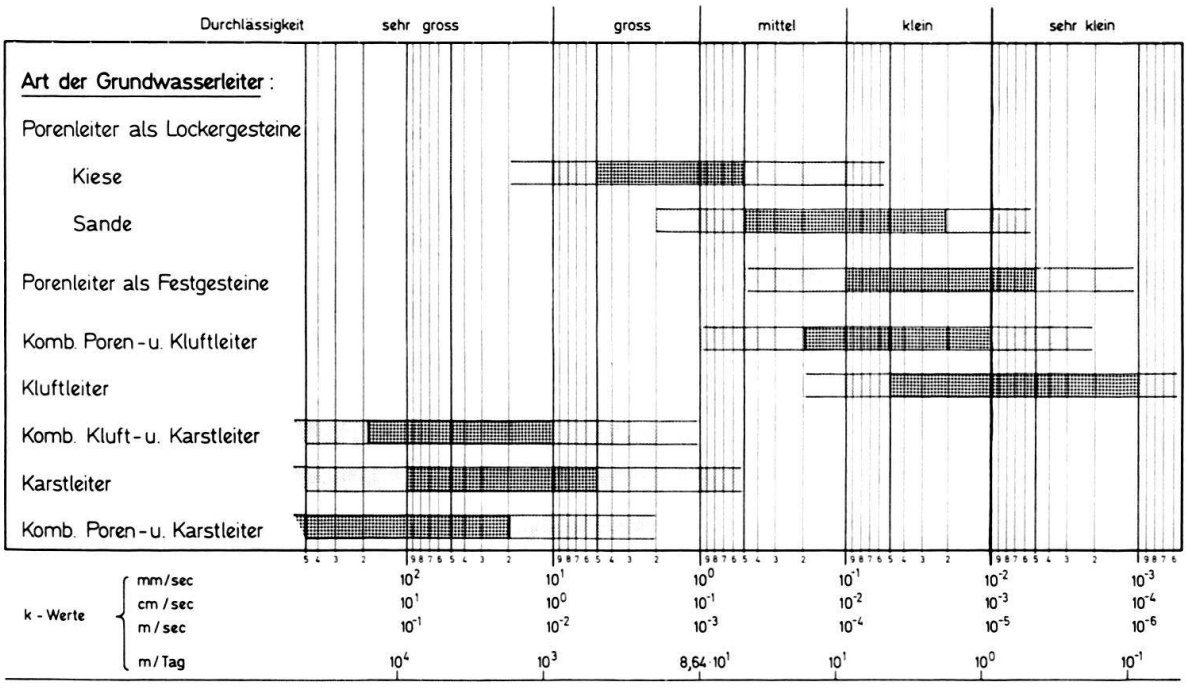

Fig. 2. Versuch einer graphischen Darstellung des Bereiches der Durchlässigkeit bzw. «Wasserwegsamkeit» verschiedener Grundwasserleiter. Dunkel schraffiert: häufiger zentraler Bereich der Durchlässigkeitswerte. Hell schraffiert: randlicher, weniger typischer Bereich.

D. Form des Grundwasserleiters

Als viertes Kriterium zur Klassifikation der Grundwasserleiter dient deren Form als geologische Körper.

In teilweiser Anlehnung an die Klassifikation der Öllagerstätten kann von morphologischen, tektonischen und stratigraphischen Grundwasser-«Fallen» oder -strukturen gesprochen werden.

1. Morphologische Strukturen

Morphologische Strukturen sind besonders bei Porenleitern in Lockergesteinen nahe der Oberfläche anzutreffen, etwa als

- schmale Schotterstränge in der Talsohle (Typus Limmattal),
- isolierte Schotterplateaux (Typus Irchel),
- Bergsturzablagerungen (Typus Flims),
- Dünen an Meeresküsten (Typus Arcachon).

2. Stratigraphische Strukturen

Stratigraphische Strukturen, – der Ölgeologe würde von Faziesfallen und Diskordanzfallen sprechen –, findet man in fluviatiler Fazies etwa beim Auskeilen eines Kieses im Übergang zum kiesfreien Sand und Silt, in fluvioglazialer Fazies als verwaschene Partien mit grösserer Durchlässigkeit innerhalb einer sonst wenig durchlässigen Moränendecke, in mariner Fazies als örtlich begrenzte poröse Riffkalke, oder als Diskordanzstrukturen mariner Sande gegen Tone.

Besonders bei oberflächennahen Grundwasserleitern wird der Form des Liegendkontakes, also der Grundwassersohle, eine spezielle Bedeutung beigemessen, da sie für die zweckmässige Plazierung von Fassungen wichtig sein kann. Ist beispielsweise die Sohle in der Strömungsrichtung wannenförmig ausgebildet, so spricht man von einem «Grundwasserbecken», wobei sich der Begriff «Becken» auf die Form des Liegendkontaktes, nicht auf die Grundwasseroberfläche bezieht.

Zu den stratigraphischen Strukturen kann auch die Bedeckung des Grundwasserleiters gerechnet werden. Grundwasserleiter, die bis an die Oberfläche reichen, werden als unbedeckt bezeichnet. In ihnen ist das Grundwasser vor oberflächlichen Einflüssen schlecht geschützt. Es ist immer ungespannt. Niederschläge erreichen in ihnen das Grundwasser relativ rasch und bewirken einen meist scharfen Anstieg des Grundwasserspiegels.

Bedeckte Grundwasserleiter tragen eine mehr oder weniger schwer durchlässige bis undurchlässige Deckschicht, welche einen meist sehr erwünschten Schutz gegen oberflächliche Verunreinigungen darstellen kann, die Versickerung der Niederschläge jedoch oft erschwert oder sogar verunmöglicht.

Wenn mehrere Grundwasserleiter übereinander liegen und von undurchlässigen Trennschichten voneinander geschieden werden, spricht man von Stockwerkbau, von Grundwasserstockwerken. Verschiedene Stockwerke können sich unterscheiden in Mächtigkeit, Durchlässigkeit, Alter, petrographischer Zusammensetzung, usw.

3. Tektonische Strukturen

Es ist hier nicht der Ort, eine Systematik der tektonischen Strukturen zu entwickeln oder wiederzugeben; das ist Aufgabe der Tektonik.

In kaum einer andern Sparte der Grundwasserkunde kommt aber die Bindung an die reine Geologie so stark zum Ausdruck wie bei der Erfassung und hydrologischen Interpretation tektonischer Strukturen.

4. Lineamentstrukturen

Als besondere Arten tektonischer Strukturen sind die zweidimensionalen tektonischen Elemente, also die Flächen zu werten: Scherflächen, Brüche, Verwerfungen, Überschiebungen, die wir als Lineamentstrukturen bezeichnen. In ihrer hydrologischen Wirkung sind sie relativ unabhängig von den übrigen Strukturen des Grundwasserleiters zu werten, obschon sie stets mit ihnen kombiniert sind.

Dabei ist zu unterscheiden zwischen durchlässigen, verbindenden und dichten, trennenden Strukturen. Durchlässige Lineamentstrukturen bilden Zirkulations-

wege; bei steiler Lagerung erlauben sie oft die Verbindung tiefliegender Grundwasserstockwerke mit der Oberfläche und ermöglichen den Thermalwasseraufstieg und die Bildung von Thermen und Mineralquellen an der Oberfläche. Dichte Lineamentstrukturen stellen eher die Ausnahme dar; sie können als undurchlässige Trennfläche zwei seitlich aneinandergrenzende Grundwasservorkommen hydrologisch trennen.

II. METEOROLOGISCHE KRITERIEN: DIE NEUBILDUNG DES GRUNDWASSERS

Unter Neubildung des Grundwassers versteht man die Versickerung von Niederschlägen oder die Infiltration von Oberflächenwasser in den tieferen Untergrund. Eine Klassifikation von Grundwasservorkommen nach Art, Ausmass und Geschwindigkeit ihrer Neubildung verlangt nach Abklärung der meteorologischen und hydrologischen Zusammenhänge und der Grundwasserbilanz. Figur 3 stellt ein graphisches Schema einer solchen Bilanz dar, wobei über der Horizontalen die «Einnahmen», darunter die «Ausgaben» liegen, während links der Vertikalen die natürlichen, rechts davon die künstlichen Bilanzposten figurieren.

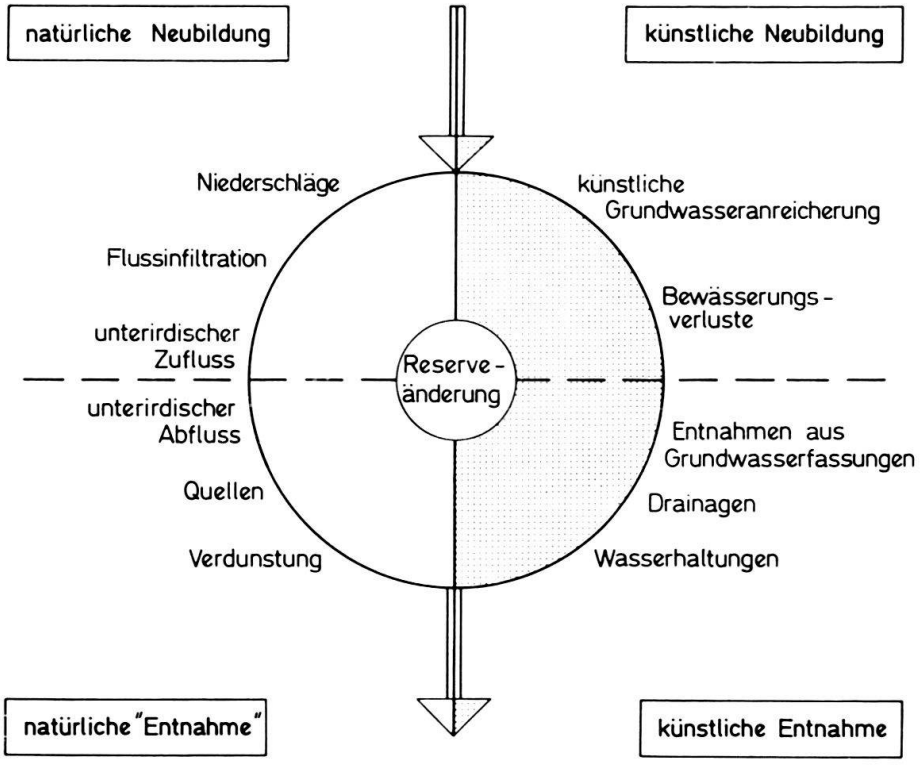

Fig. 3. Graphische Darstellung der verschiedenen Posten einer Grundwasserbilanz.

A. Neubildung durch Versickerung der Niederschläge

In der Regel ist der in den Untergrund versickernde Anteil des Niederschlages die wichtigste Komponente der Neubildung. Man kann dann von «Niederschlagsgrundwasser» sprechen.