

Typisierung von Grundwasserregimen in der Schweiz

Konzept und Fallbeispiele

Typologie des régimes d'eaux souterraines en Suisse

Concept et exemples

Si la variation annuelle du niveau des eaux souterraines montre, sur de longues années, un profil moyen caractéristique, celui-ci peut être décrit par un régime d'eaux souterraines. Un concept analogue au régime du débit des cours d'eau est utilisé ici pour décrire et définir la fluctuation des eaux souterraines en Suisse, en particulier dans les aquifères en roches meubles. Trois régimes d'eaux souterraines peuvent être identifiés: pluvial, pluvio-nival et nivo-glacial. De plus, une distinction est faite entre un régime d'eaux souterraines typique du lieu et un régime importé. Le concept est illustré au moyen d'exemples.

Typology of Swiss Groundwater Regimes

Concept and Case Studies

Groundwater level fluctuations following a characteristic mean annual pattern over a long period of time can be characterized by a groundwater regime. In this article, a concept analogous to river discharge regimes is presented; it is used to describe and define the groundwater level fluctuations in Swiss aquifers, in particular in unconsolidated rocks. Three groundwater regimes – pluvial, pluvio-nival and nivo-glacial – can be identified. Moreover, a distinction is made between a site-specific and an imported groundwater regime. The concept is explained through case studies.

Marc Schürch



Zeigen Grundwasserstände einen charakteristischen langjährigen mittleren Jahrgang, so lässt sich dieser durch ein Grundwasserregime beschreiben. In Anlehnung an die Regimedefinition des Abflusses von Fließgewässern wird ein Konzept vorgestellt, anhand dessen sich das Schwankungsverhalten insbesondere von Grundwasserständen in Lockergesteins-Grundwasserleitern der Schweiz beschreiben und typisieren lässt. Drei Grundwasserregime – pluvial, pluvio-nival und nivo-glacial – können identifiziert werden. Des Weiteren wird zwischen einem standorttypischen und einem importierten Grundwasserregime unterschieden. Das Konzept wird anhand von Fallbeispielen erläutert.

1 Einleitung

Unter einem *Regime* versteht man in den Naturwissenschaften ein wiederkehrendes einheitliches Signal oder Muster. Maurice Pardé führte in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts den Regimebegriff in der Hydrologie ein [1, 2]. Spätestens mit der Herausgabe der Tafel «Abflussregime als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses» im *Hydrologischen Atlas der Schweiz* HADES [3] wurde die Regimecharakterisierung von Fließgewässern zu einer Standardauswertung in der Hydrologie [4, 5]. Dabei werden insgesamt 16 verschiedene Abflussregime unterschieden (Abb. 1). Wie [6] zeigten, wird die Variabilität des Regimes vor allem durch die

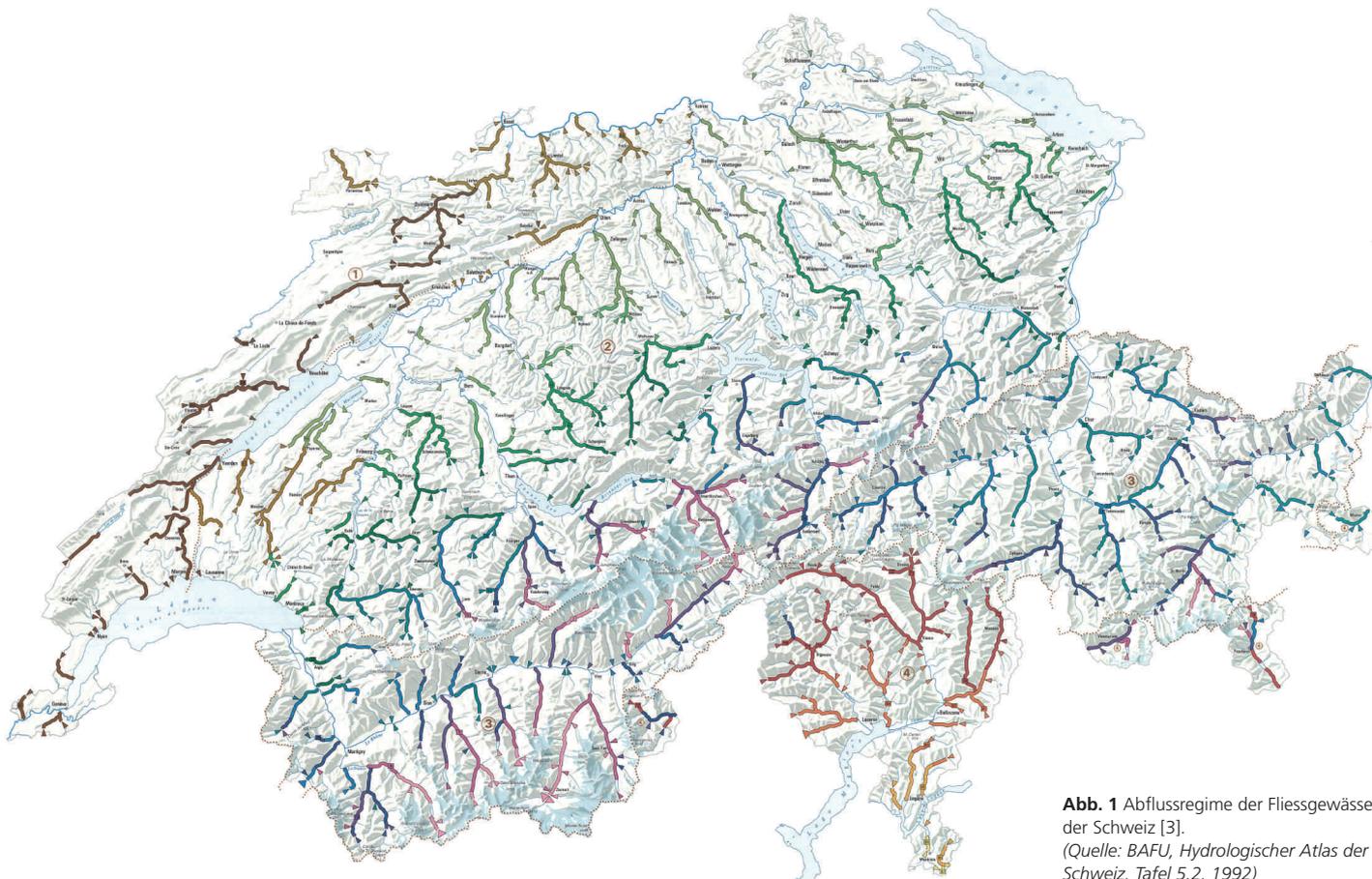
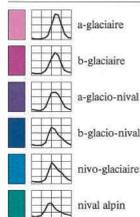
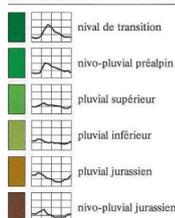


Abb. 1 Abflussregime der Fließgewässer der Schweiz [3].
(Quelle: BAFU, Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 5.2, 1992)

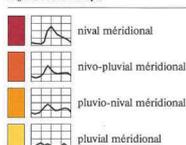
Natürliche Regimetypen¹⁾
Types de régimes naturels¹⁾
Alpine Régimes
Régimes alpins



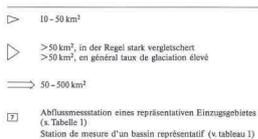
Mittelländische und jurassische Régimes
Régimes du Plateau et du Jura



Südalpine Régimes
Régimes du sud des Alpes



Einzugsgebiete
Bassins versants



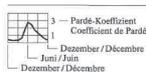
Abschätzformeln für den Jahresabfluss (s. Tabelle 2)
Formules pour l'estimation du débit annuel (v. tableau 2)

..... Begrenzung der räumlichen Gültigkeit
Limite de validité régionale

Regionszugehörigkeit / Attribution à une région

- ① Jura
- ② Alpenordseite / Nord des Alpes
- ③ Innersalpine Zone / Zone intra-alpine
- ④ Alpenaltdseite / Sud des Alpes

Erläuterungen zu den Regimediagrammen
Explications des diagrammes du régime



¹⁾ Ohne Berücksichtigung anthropogener Beeinflussungen (vgl. Tafel 5.3)
Sans tenir compte des influences anthropogènes (v. planche 5.3)

Schwankungen des saisonalen Musters (*Periodizität*) bestimmt. Der Natürlichkeitsgrad von Fließgewässern und somit der Grad der anthropogenen Überprägung des Abflussregimes kann mittels des Moduls *Hydrologie-Abflussregime* des Modul-Stufenkonzeptes abgeschätzt werden [7].

Ebenso wie beim Abflussregime von Fließgewässern weisen auch die Schwankungen von Quellschüttungen und Grundwasserständen ein wiederkehrendes einheitliches Muster auf, das in der Hydrogeologie als «langjähriger mittlerer Jahresgang» beschrieben wird, und welches in Anlehnung an den Begriff Abflussregime als «Grundwasserregime» bezeichnet wird [8]. Das *Grundwasserregime* widerspiegelt somit den charakteristischen Gang von Jahreszeiten, in denen die *Grundwasserneubildung* überwiegt (Ansteigen der Grundwasserstände), und solchen, in denen der *Grundwasserabfluss* überwiegt (Absinken der Grundwasserstände).

Grundwasserneubildung erfolgt durch versickerndes Niederschlags- und Schneeschmelzwasser sowie durch Flusswasserinfiltration

(Kap. 3). Die Dämpfung und eine allfällige zeitliche Verzögerung dieses langzeitlichen Musters werden durch die hydrogeologischen Verhältnisse (Geometrie und Durchlässigkeit des Grundwasserleiters, Beschaffenheit und Mächtigkeit der ungesättigten Zone, Distanz zum Fließgewässer) bestimmt.

Aufgrund dieser *vielfältigen Einflussfaktoren* ist eine Beschreibung des Grundwasserregimes komplex. Im vorliegenden Artikel wird eine entsprechende *Typisierung* vorgeschlagen und damit eine einheitliche Verwendung des Begriffs Grundwasserregime in der Schweiz angestrebt.

2 Grundwasserregime-Koeffizient

Der für die Definition des Abflussregimes von Fließgewässern verwendete dimensionslose *Pardé-Koeffizient* (PK) stellt das Verhältnis zwischen dem langjährigen *Monatsmittel* ($MQ_{(Monat)}$) und dem langjährigen *Jahresmittel* ($MQ_{(Jahr)}$) des Abflusses dar [3]:

$$PK_{(Monat)} = \frac{MQ_{(Monat)}}{MQ_{(Jahr)}} \quad (1)$$

Der *Pardé-Koeffizient* weist für natürliche Fließgewässer erfahrungsgemäss einen Wertebereich von 0 bis 3,4 auf [3]. Er eignet sich prinzipiell auch für die *Regimebeschreibung von Quellabflüssen*.

Bei *Quelleinzugsgebieten* mit einem dominanten, alljährlich singular wiederkehrenden Ereignis, wie der Schneeschmelze, ist die Differenz zwischen maximalem und minimalem PK (Schwankungsbereich) gross, so z.B. an der Schlichenden-Brünnen-Quelle in *Muotathal* (SZ) mit PK-Werten zwischen 0,1 und 2,6.

Bei *Karstquellen* mit hoher kurzfristiger Abflussvariabilität ist ein mittlerer Schwankungsbereich des PK zu beobachten, wie z.B. an der Areuse-Quelle in *St-Sulpice* (NE) mit PK-Werten zwischen 0,6 und 1,6; die raschen Abflussschwankungen im Zuge eines Niederschlagsereignisses wirken sich hier nur wenig auf das Monatsmittel aus.

Bei langsam reagierenden *Kluftgesteinsquellen* mit einem über das Jahr relativ konstanten Abfluss besitzt der PK einen kleinen Schwankungsbereich, wie z.B. an der Hangbüel-Quelle in *Heitenried* (FR) mit Werten zwischen 0,8 und 1,2.

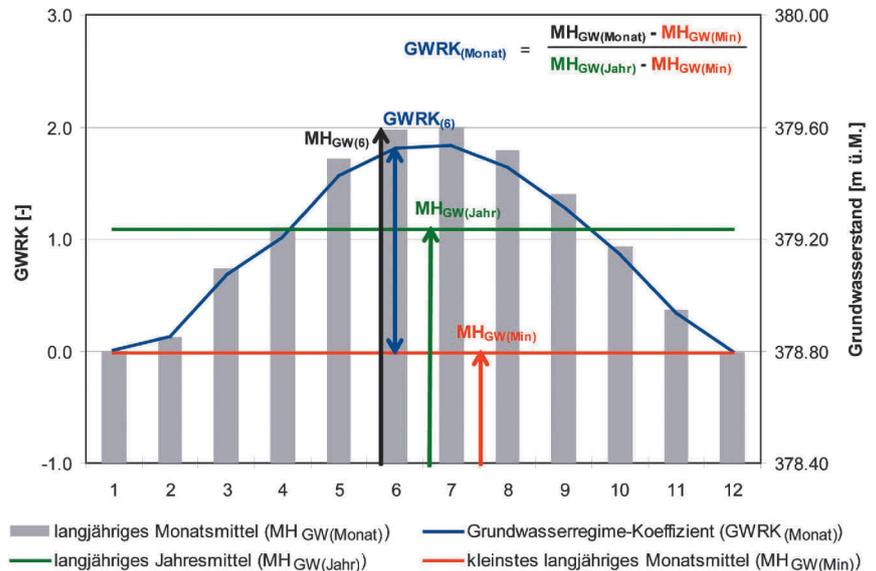


Abb. 2 Bestimmung des Grundwasserregime-Koeffizienten ($GWRK_{(Monat)}$) aus dem langjährigen Monatsmittel ($MH_{GW(Monat)}$), dem langjährigen Jahresmittel ($MH_{GW(Jahr)}$) und dem kleinsten langjährigen Monatsmittel ($MH_{GW(Min)}$) des Grundwasserstandes, beispielhaft für den Monat Juni.

Im Gegensatz zum Regime von Quellabflüssen eignet sich der *Pardé-Koeffizient* in seiner ursprünglichen Form jedoch nur bedingt für die Beschreibung des *Regimes von Grundwasserständen*. Deren Schwankungen beziehen sich nämlich nicht auf eine Schüttung, sondern werden über die Höhenangabe des Grundwasserstandes ausgedrückt (m ü. M.). Bei einer Berechnung des *Pardé-Koeffizienten* mittels *Formel 1* wäre das Ergebnis dann nicht nur von den Schwankungen selbst, sondern auch von der Höhe des Bezugspunktes abhängig. Mit anderen Worten: Je nachdem, ob sich ein Grundwasserleiter im Tief- oder im Hochland befindet, ergeben sich bei gleichem Jahresgang des Grundwasserstandes unterschiedliche Werte. Auch ein Bezug auf die Basis des betrachteten Grundwasserleiters anstatt auf m ü. M. eliminiert den Effekt nicht, da dann der *Pardé-Koeffizient* von der Mächtigkeit des

Grundwasservorkommens beeinflusst wäre.

Um den *Pardé-Koeffizienten* von der Wahl des Höhenbezugspunktes unabhängig zu machen und damit auf Messungen des Grundwasserstandes übertragen zu können, wurde er für die Typisierung der Grundwasserregime wie folgt abgewandelt (*Formel 2*): Langjähriges Monatsmittel ($MH_{GW(Monat)}$) und langjähriges Jahresmittel ($MH_{GW(Jahr)}$) werden zunächst als Abweichung vom jeweils kleinsten langjährigen Monatsmittel ($MH_{GW(Min)}$) beschrieben, bevor sie zueinander in Beziehung gesetzt werden. Die Herleitung eines solchen dimensionslosen *Grundwasserregime-Koeffizienten* ($GWRK$) aus einem Hydrogramm der langjährigen Monats- und Jahresmittel des Grundwasserstandes ist in *Abbildung 2* grafisch dargestellt. Durch eine solche Standardisierung kann das Grundwasserregime unterschiedlicher Messstellen in Form des $GWRK$ unabhängig von deren

Höhenlage massstabsgleich dargestellt und direkt verglichen werden.

$$GWRK_{(Monat)} = \frac{MH_{GW(Monat)} - MH_{GW(Min)}}{MH_{GW(Jahr)} - MH_{GW(Min)}} \quad (2)$$

Die Berechnung gemäss *Formel 2* basiert auf langjährigen Mittelwerten, in denen kurzzeitige Schwankungen des Grundwasserspiegels, wie z.B. die rasche Reaktion auf ein Starkniederschlagsereignis, ausgemittelt werden. Ebenso werden Jahre mit einer besonders kleinen bzw. grossen Schwankungsbreite des Grundwasserstandes nivelliert. Der GWRK repräsentiert somit einen charakteristischen mittleren saisonalen Verlauf der Grundwasserstände. Bei Grundwasserleitern mit einem dominanten und zeitlich relativ konstanten Steuerfaktor wie etwa der Schneeschmelze sind die Unterschiede zwischen dem langjährigen mittleren Jahresgang und dem Gang eines einzelnen Jahres gering. Bei auf einzelne Niederschlagsereignisse reagierenden Grundwasserleitern mit hoher kurzfristiger Variabilität des Grundwasserstandes können der langjährige mittlere Jahresgang und der Gang der einzelnen Jahre dagegen stark voneinander abweichen.

Die Berechnung des GWRK ist prinzipiell unabhängig von der Art des Grundwasserleiters; sie kann also auf Grundwasserstände sowohl in Lockergesteinen als auch in Festgesteinen angewendet werden. In der Schweiz liegen jedoch nur in seltenen Fällen Daten zu Grundwasserständen in Karst- und Kluft-Grundwasserleitern vor, da diese meist durch Quelfassungen erschlossen sind. Daher wird in diesem Artikel der GWRK nur am

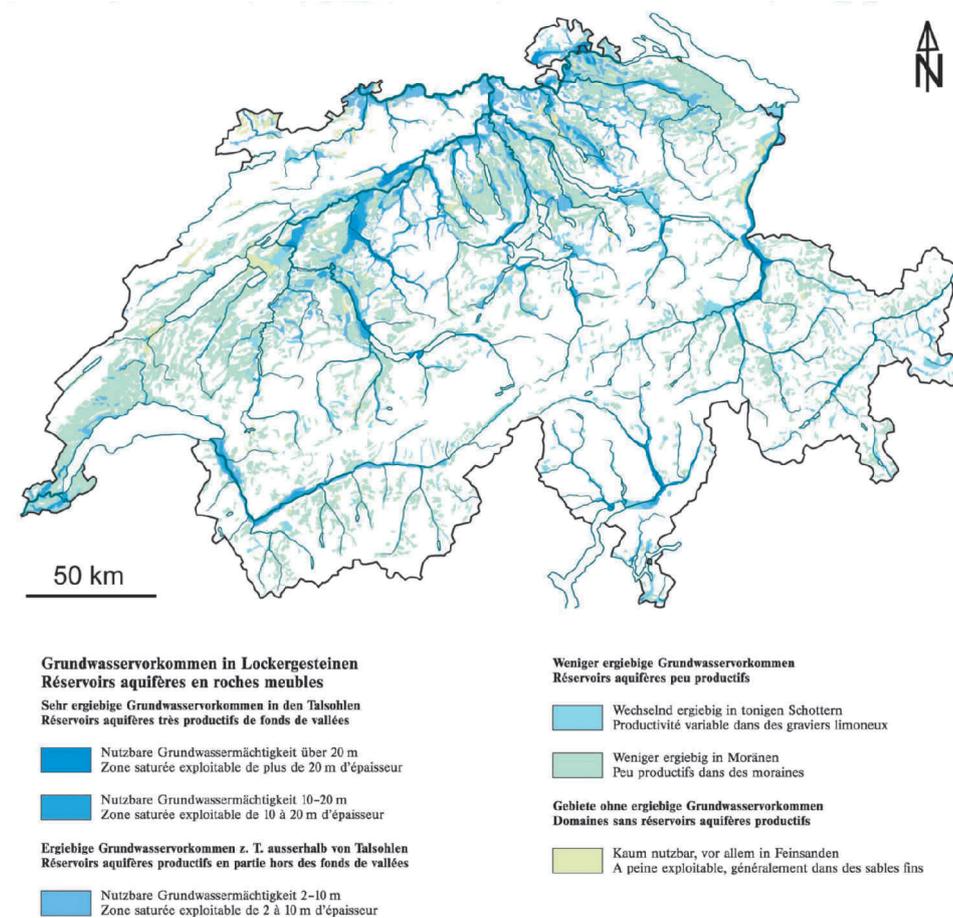


Abb. 3 Verbreitung von Grundwasservorkommen in Lockergesteinen in der Schweiz; Auszug aus [9].
(Quelle: BAFU, Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 8.6, 2004)

Beispiel von Grundwasserständen in Lockergesteins-Grundwasserleitern beschrieben. Quellschüttungen lassen sich dagegen, wie erwähnt, über den klassischen *Pardé-Koeffizienten* ausdrücken.

3 Grundwasservorkommen und -neubildung

Rund ein Drittel der Gesamtfläche der Schweiz sind mit *Lockergesteinen* bedeckt [9, 10] (Abb. 3). Sehr ergiebige und ergiebige Lockergesteins-Grundwasservorkommen treten in Schotterkörpern der Flusstalsoles (2,6% der Gesamtfläche) sowie ausserhalb von Talsoles (4,1%) auf. Solche Grundwasserleiter bestehen hauptsächlich aus Kiesen und Sanden und weisen aufgrund ihrer oft guten Durchlässigkeit sowie v.a. bei An-

bindung an ein Fliessgewässer eine grosse wasserwirtschaftliche Bedeutung auf. Weniger ergiebige sowie kaum nutzbare Grundwasservorkommen in Lockergesteinen machen 27,7% der Landesfläche aus. Solche Vorkommen treten in tonig-siltigen Schottern und in Moränen auf und sind an meist gering mächtige Ablagerungen gebunden.

Zusammen mit den inhärenten hydrogeologischen Eigenschaften eines Lockergesteins-Grundwasserleiters prägen die *Mechanismen der Grundwasserneubildung* den natürlichen Jahresgang der Grundwasserstände. Dabei können *zwei wesentliche Komponenten* unterschieden werden:

– *Versickerndes Niederschlags- und Schneeschmelzwasser*

Ist die Grundwasserneubildung über einen definierten Zeitabschnitt infolge versickernden Niederschlags- und Schneeschmelzwassers höher als der Grundwasserabfluss, steigen die Grundwasserstände

an. Umgekehrt sinken die Grundwasserstände bei niedriger Grundwasserneubildung und hohem Grundwasserabfluss. Bei hohen Grundwasserflurabständen bzw. gering durchlässigen Deckschichten benötigt das versickernde Wasser eine längere Zeit, um den gesättigten Bereich des Grundwasserleiters zu erreichen. Die langjährigen Maxima und Minima der Grundwasserstände treten dann zeitlich verzögert auf und die Signale sind gedämpft.

– *Infiltrierende Fließgewässer*

Bei hydraulischer Anbindung des Grundwasserleiters an ein Fließgewässer kann die Grundwasserneubildung zu grossen Teilen über Flussinfiltration erfolgen. Dann werden die langjährigen mittleren saisonalen Schwankungen des Flusses auf die Grundwasserstände übertragen [11]. Die Flussanbindung kann so den niederschlagsbedingten Jahresgang der Grundwasserstände überprägen, und zwar sowohl wenn Flusswasser in den Grundwasserleiter infiltriert, als auch wenn Grundwasser in den Fluss exfiltriert. Lokal können auch Seen zur Grundwasserneubildung beitragen.

Diese natürlichen Prozesse können durch *anthropogene Einflüsse* verändert oder überlagert werden (z.B. Grundwassernutzung, künstliche Grundwasseranreicherung, Eingriffe an Fließgewässern). Entscheidend für den Typ des Grundwasserregimes ist zusätzlich zum Mechanismus und zur Art auch die Höhe der Grundwasserneubildung, die v.a. aufgrund der vielfältigen hydroklimatischen Verhältnisse des Landes je nach Region und Höhenlage jahreszeitlich und räumlich sehr variabel sein kann [12].

Insbesondere wirkt sich aus, ob die *Niederschläge*, welche *direkt* (Versickerung im Einzugsgebiet des Grundwasservorkommens) oder *indirekt* (über Flusswasserinfiltration oder unterirdische Hang- und Schichtwasserzuflüsse aus angrenzenden Grundwasserleitern) zur Grundwasserneubildung beitragen, in Form von Regen (*pluvial*) erfolgen, oder als Schnee (*nival*) bzw. in den Gletschern (*glazial*) zwischengespeichert werden. So ist z.B. in den Alpen die Grundwasserneubildung während der Schnee- und Gletscherschmelze in den Monaten Mai bis Juli am grössten. Im Mittelland dagegen ist die Evapotranspiration im Winter deutlich geringer als im Sommer, wodurch die Grundwasserneubildung hier haupt-

sächlich im Winterhalbjahr erfolgt. Für die Betrachtung der Grundwasserregime drängt sich deshalb als Basis eine *naturräumliche Gliederung* auf [13], welche die hydroklimatischen Bedingungen der Schweiz wiedergibt (*Abb. 4*).

4 Grundwasserregime

4.1 Typisierung nach Naturraum

Während für die Fließgewässer in der Schweiz 16 unterschiedliche Abflussregime definiert sind [3], erweist sich ein solcher Detaillierungsgrad für das Grundwasser weder als zweckmässig noch als machbar. Der GWRK wurde für 50 Grundwassermessstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA [13], Modul QUANT (Grundwasserquantität) berechnet, woraus *drei Grundwasserregime* identifiziert wurden:

- pluvial
- pluvio-nival
- nivo-glazial

An einigen der betrachteten NAQUA-Messstellen ist aufgrund der vorherrschenden hydrogeologischen Verhältnisse das Muster des langjährigen mittleren Jahresganges im Vergleich zu dem dort zu erwartenden Grundwasserregime verzögert und teilweise gedämpft (*Abb. 4, Kap. 3*).

Pluviales Grundwasserregime

Beim pluvialen Grundwasserregime handelt es sich um das standorttypische Regime der Naturräume *Jura* und *Mittelland*. Es zeichnet sich dadurch aus, dass die Grundwasserneubildung im Wesentlichen eine Folge der jährlichen Niederschlagsverteilung unter Berücksichtigung der Evapotranspiration darstellt. Sofern sich das Signal dieser Schwankungen nicht aufgrund hoher Flurabstände zeitlich verzögert,

wie z.B. im *Dünner-Gäu* (BE, SO) oder im *Klettgau* (SH), treten die Maxima des Grundwasserstandes generell in den Monaten Januar bis März und die Minima im Spätsommer (August bis September) auf. Die Neubildung der Grundwasservorkommen erfolgt somit vor allem durch Winterniederschläge. Die jährliche Niederschlagsverteilung variiert zudem innerhalb des Naturraums aufgrund lokaler morphologischer und mikroklimatischer Unterschiede. Daher können sich die Maxima und Minima zeitlich verschieben. Auch gibt es vereinzelt Messstellen, an denen die erhöhten Frühsommerniederschläge ein zweites, untergeordnetes Maximum im Juni hervorrufen. Der GWRK des pluvialen Grundwasserregimes weist generell einen mittleren Schwankungsbereich auf, wie z.B. an der Messstelle *G127* im *Berner Seeland* mit GWRK-Werten zwischen 0 und 2,2 (*Kap. 5.4*). Bei zeitlicher Verzögerung des Signals ist der Schwankungsbereich dagegen in der Regel geringer, wie z.B. an der Messstelle in *Wilchingen* (SH) mit GWRK-Werten zwischen 0 und 1,9 (*Kap. 5.3*).

Pluvio-nivales Grundwasserregime

Durch das Zusammenspiel von Niederschlag und Schneeschmelze wird ein pluvio-nivales Grundwasserregime hervorgerufen. Es handelt sich um das standorttypische Regime der Naturräume *Voralpen* und *Alpensüdseite*. Das langjährige Maximum des Grundwasserstandes tritt meist im März bzw. April infolge der Schneeschmelze und überlagernder Frühjahrsniederschläge auf; das Minimum erfolgt im Winter. Der GWRK des pluvio-nivalen Grundwasserregimes weist ebenfalls einen mittleren Schwankungsbereich auf. Auf der Alpensüdseite weist das pluvio-nivale Grundwas-

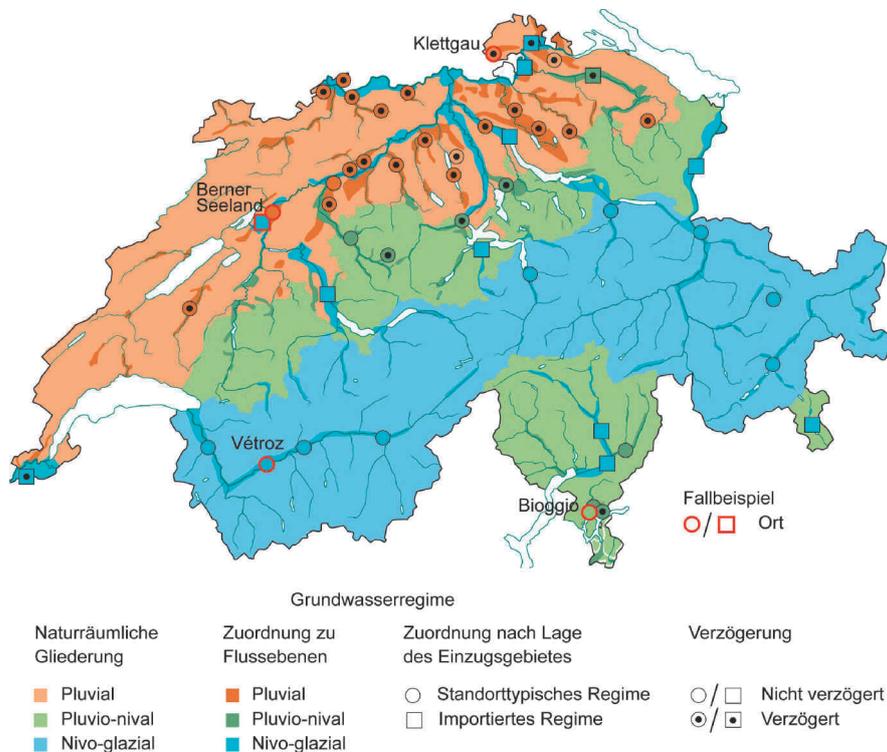


Abb. 4 Schematische, landesweite Zuordnung der Grundwasserregime zu Naturräumen und Flussebenen sowie zu ausgewählten Grundwassermessstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Modul QUANT (Grundwasserquantität).

Regime/Naturraum	Jura	Mittel-land	Voralpen	Alpen	Alpen-südseite
Pluvial	X	X	n.b.	n.e.	n.b.
Pluvio-nival	n.b.	n.b.	X	n.b.	X
Nivo-glazial	n.e.	n.e.	n.e.	X	n.b.

X: standorttypisches Regime, gut dokumentiert
 n.b.: nicht beobachtet, d.h., bei keiner der untersuchten Messstellen auftretend (aber nicht auszuschliessen)
 n.e.: nicht existent, d.h., aufgrund des Naturraums und der Niederschlagsverhältnisse auszuschliessen

Tab. 1 Standorttypische Grundwasserregime in Lockergesteinen der Naturräume der Schweiz.

Regime/Naturraum	Jura	Mittel-land	Voralpen	Alpen	Alpen-südseite
Pluvial	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Pluvio-nival	X	X	n.e.	n.b.	n.e.
Nivo-glazial	n.b. *)	X	X	n.e.	X

X: standorttypisches Regime, gut dokumentiert
 n.b.: nicht beobachtet, d.h., bei keiner der untersuchten Messstellen auftretend (aber nicht auszuschliessen)
 *) In der vorliegenden Studie wurden keine Messstellen untersucht, die einerseits gemäss Abbildung 4 im Naturraum Jura liegen und andererseits vom Rhein beeinflusst sind. In solchen Fällen ist mit einem importierten nivo-glazialen Regime zu rechnen.
 n.e.: nicht existent, d.h., aufgrund des Naturraums und der Niederschlagsverhältnisse auszuschliessen

Tab. 2 Durch Flusswasserinfiltration aus einem anderen Naturraum stammende, in Lockergesteine importierte Grundwasserregime.

serregime neben einem später einsetzenden Maximum im Mai beziehungsweise Juni noch ein zweites Maximum im Oktober auf, da sowohl im Frühling wie auch im Herbst Südtaulagen auftreten.

Nivo-glaziales Grundwasserregime

Dieses Regime ist das standorttypische der Grundwasservorkommen im Naturraum *Alpen*. Es weist ein Minimum des Grundwasserstandes zwischen Dezember und Februar auf, da die Winterniederschläge grösstenteils als Schnee fallen und somit nicht unmittelbar zur Grundwasserneubildung beitragen können. Das Maximum erfolgt zwischen Mai und Juli im Zuge der Schnee- und Gletscherschmelze in den mittleren und hohen Lagen. Allerdings können auch innerhalb des alpinen Naturraums Grundwasserleiter durchaus unberührt vom Einfluss eines Gletschers bzw. der Gletscherschmelze sein, wie z.B. Vorkommen in Hangschuttablagerungen. Der GWRK des nivo-glazialen Grundwasserregimes weist generell einen grossen Schwankungsbereich auf, wie z.B. an der Messstelle in *Vétroz* (VS) mit GWRK-Werten zwischen 0 und 2,5 (Kap. 5.1).

4.2 Standorttypisch und importiert

Ein Grundwasserregime wird als «standorttypisch» bezeichnet, wenn sich das gesamte Einzugsgebiet des Grundwasserleiters dem entsprechenden Naturraum zuordnen lässt. Dies trifft für die nicht flussgebundenen Lockergesteins-Grundwasserleiter und nahezu alle Karst- und Kluft-Grundwasserleiter in der Schweiz zu. Daneben bedeutet ein standorttypisches Grundwasserregime auch, dass – bei einem zur Grundwasserneubildung beitragenden Fliessgewässer – das Flusseinzugsgebiet ebenfalls im selben Naturraum wie der betrachtete Grundwasserleiter liegt. In diesem Fall zeigen der Grundwasserstand und der Abfluss des Fliessgewässers das gleiche *wiederkehrende Muster*, und beide Regime stimmen überein. Es kann dann nicht allein anhand des an einer Grundwassermessstelle beobachteten langjährigen mittleren Jahresganges eindeutig darauf geschlossen werden, ob das dort erfasste Grundwasserregime eher durch die lokalen Niederschläge bzw. die Schneeschmelze oder eher durch die Flusswasserinfiltration geprägt wird. Deshalb ist es in einem solchen Fall nicht möglich, über das Grundwasserregime eine Unterscheidung zwischen einem Grundwasserleiter mit Flusssanbindung und

einem Grundwasserleiter ohne Flussanbindung vorzunehmen. Zur allfälligen Untersuchung der Übertragung von Schwankungen im Fluss auf das Grundwasser müssten kurzzeitigere Signale untersucht werden, wie z.B. die des Schwall und Sunk.

Liegt das Einzugsgebiet eines das Grundwasser speisenden Fliessgewässers dagegen in einem anderen Naturraum als der betrachtete Grundwasserleiter selbst, weisen das Abflussregime des Fliessgewässers und das Grundwasserregime des lokalen Grundwasserleiters einen unterschiedlichen langjährigen mittleren Jahresgang auf. Wird das Abflussregime des Fliessgewässers durch Flusswasserinfiltration in den angrenzenden Grundwasserleiter übertragen und wird dabei das standorttypische Grundwasserregime durch das Abflussregime überprägt, dann wird dies nachfolgend als «importiertes» Grundwasserregime bezeichnet. Dies kann insbesondere im Unterlauf der grossen Flüsse, welche sich über mehrere Naturräume erstrecken, der Fall sein. Beispielsweise kann ein nivo-glazial geprägter Fluss im Mittelland mit einem Grundwasserleiter mit eigentlich pluvialen Grundwasserregime in hydraulischer Verbindung stehen.

4.3 Landesweite Zuordnung

In *Abbildung 4* ist die Zuordnung der Grundwasserregime zu den Naturräumen der Schweiz sowie zu den Flussebenen schematisch dargestellt. Für Flusssysteme innerhalb eines Naturraums entspricht das Grundwasserregime in den flussgebundenen Lockergesteins-Grundwasserleitern generell der naturräumlichen Gliederung, ist also standorttypisch.

Die grossen *Flüsse aus den Alpen* (Aare, Limmat, Reuss, Rhein und Rhone) importieren das nivo-glaziale Abflussregime ins Mittelland, das hier durch Flusswasserinfiltration ins Grundwasser der Talschotterebenen übertragen wird. In den Lockergesteins-Grundwasserleitern der Flussebenen nimmt mit zunehmender Distanz vom Fluss das importierte nivo-glaziale Grundwasserregime ab und geht sukzessive in das standorttypische pluviale Grundwasserregime über, wie z.B. im Berner Seeland gut zu beobachten ist (*Kap. 5.4*).

Flüsse aus den Voralpen (Emme, Saane und Thur) importieren in gleicher Weise das pluvio-nivale Abflussregime ins Grundwasser der Talschotterebenen im Mittelland.

Die *Ergebnisse* der Auswertung von fünfzig Grundwasserstands-Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA [13],

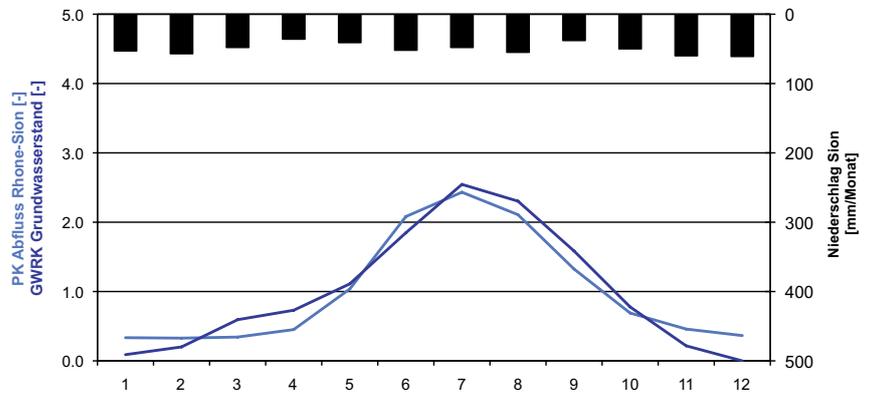


Abb. 5 Standorttypisches nivo-glaziales Grundwasserregime. Messstelle Vétroz (VS).

Modul QUANT (Grundwasserquantität) sind in den *Tabellen 1* und *2* für standorttypische und importierte Grundwasserregime zusammengefasst. In einem nachfolgenden Schritt soll dann die im vorliegenden Artikel beschriebene Typisierung der Grundwasserregime anhand einer grösseren Anzahl von Messstellen landesweit überprüft werden. Geschehen kann dies über den GWRK anhand der insgesamt rund 800 kantonalen Messstellen in den Lockergesteins-Grundwasserleitern [14] oder über den *Pardé-Koeffizienten* für Quellschüttungen in Karst- und Kluft-Grundwasserleitern.

5 Fallbeispiele

Im Folgenden wird das in den vorausgegangenen Kapiteln beschriebene Konzept zur Typisierung der Grundwasserregime anhand von ausgesuchten Fallbeispielen *illustriert* und *detailliert erläutert*. In den dabei verwendeten Grafiken wird der *Grundwasserregime-Koeffizient* (GWRK) dem *Pardé-Koeffizienten* (PK) des Fliessgewässers und/oder Messungen einer örtlichen Niederschlagsmessstelle gegenübergestellt. Während das Minimum des GWRK per Definition immer

den Wert null hat, ist dies für den PK nur der Fall, wenn das Fliessgewässer zeitweise austrocknet, was vor allem an kleineren Flüssen in Niedrigwasserperioden vorkommen kann.

5.1 Standorttypisch nivo-glazial

Im Wallis erstrecken sich die *Rhoneschotter* von Brig bis St-Maurice und bilden einen rund 30 m mächtigen, gut durchlässigen Grundwasserleiter. Die Schotter und Sande sind in der Tiefe durch tonig-siltige Ablagerungen begrenzt und von einer tonigen Deckschicht überlagert [15].

In Vétroz, wo die Talebene ca. 3 km breit ist, liegt der Rhonepegel generell höher als der Grundwasserspiegel. Der oberflächennahe Grundwasserleiter wird hier durch die Rhone selbst sowie durch seitliche Grundwasserzuflüsse von beiden Talseiten gespeist. Im langjährigen Mittel steigt deshalb das Grundwasser im März infolge der einsetzenden Schneeschmelze zunächst leicht an. Ab Mai nehmen die Abflüsse der Rhone aufgrund der Schnee- und Gletscherschmelze in mittleren und höheren Lagen stark zu, was zu einem markanten weiteren Anstieg der Grundwasserstände führt.

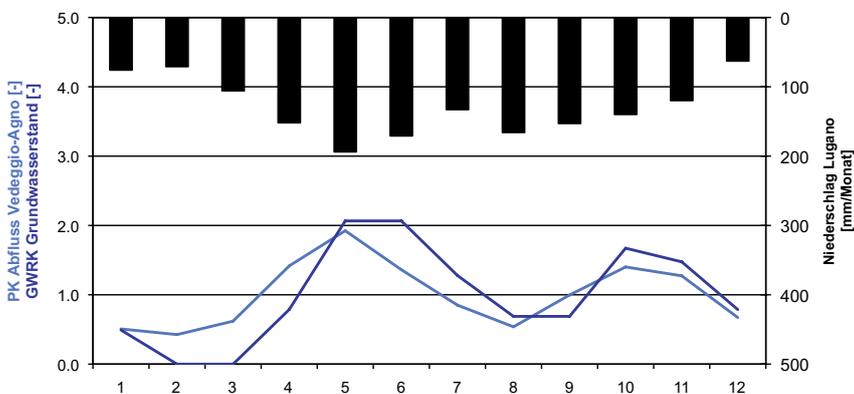


Abb. 6 Standorttypisches pluvio-nivales Grundwasserregime. Messstelle Bioggio, Val d'Agno (TI).

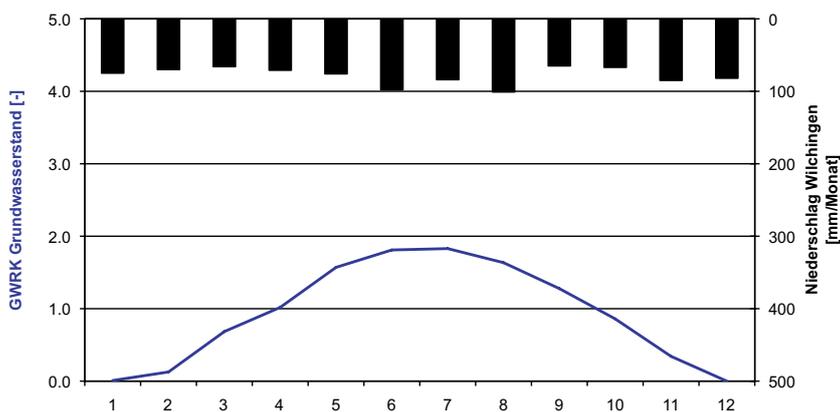


Abb. 7 Zeitlich verzögertes, standorttypisches pluviales Grundwasserregime. Messstelle Wilchingen, Klettgau (SH).

An der Messstelle Vétroz (VS) weisen die langjährigen Monatsmittel des Grundwasserstandes übers Jahr einen Schwankungsbereich von etwa 0,4 m auf, bei einer Standardabweichung der einzelnen Monatsmittel von durchgehend < 0,2 m. Das bedeutet, dass die Monatsmittel nur gering um den jeweiligen langjährigen Wert streuen. Der Jahresgang des Grundwasserstandes verläuft hier also praktisch jedes Jahr sehr ähnlich, und zwar nicht nur relativ, sondern auch von den absoluten Wasserstandshöhen her gesehen.

Der errechnete GWRK variiert im Jahresverlauf deutlich, wobei der Juli mit einem Wert von 2,5 ein aus-

geprägtes Maximum verzeichnet (Abb. 5). Das Minimum der langjährigen Monatsmittel und damit der Wert null für den GWRK liegt im Dezember. Dies entspricht einem ausgeprägten nivo-glazialen Regime, welches sowohl für den Grundwasserleiter als auch für das Einzugsgebiet der Rhone standorttypisch ist, da sich beide im alpinen Naturraum befinden. Aufgrund der hydrogeologischen Situation ist allerdings davon auszugehen, dass die Grundwasserschwankungen hauptsächlich an die Wasserführung der Rhone gebunden sind und dass die örtliche Grundwasserneubildung durch versickerndes Niederschlagswasser eher eine untergeordnete Rolle spielt.

5.2 Standorttypisch pluvio-nival

Die Messstelle Bioggio im Val d'Agno (Südtessin) liegt in Hangschuttablagerungen, in denen die Grundwasserneubildung durch versickerndes Niederschlags- und Schneeschmelzwasser erfolgt [16, 17]. Der langjährige mittlere Jahresgang weist hier zwei Maxima, im Mai bzw. Juni sowie im Oktober, und ein Minimum im Februar bzw. März auf (Abb. 6). Die Standardabweichung der einzelnen Monatsmittel ist mit etwa 0,2 m vergleichsweise gering; sie ist jedoch ähnlich hoch wie der Schwankungsbereich der langjährigen Monatsmittel unter-

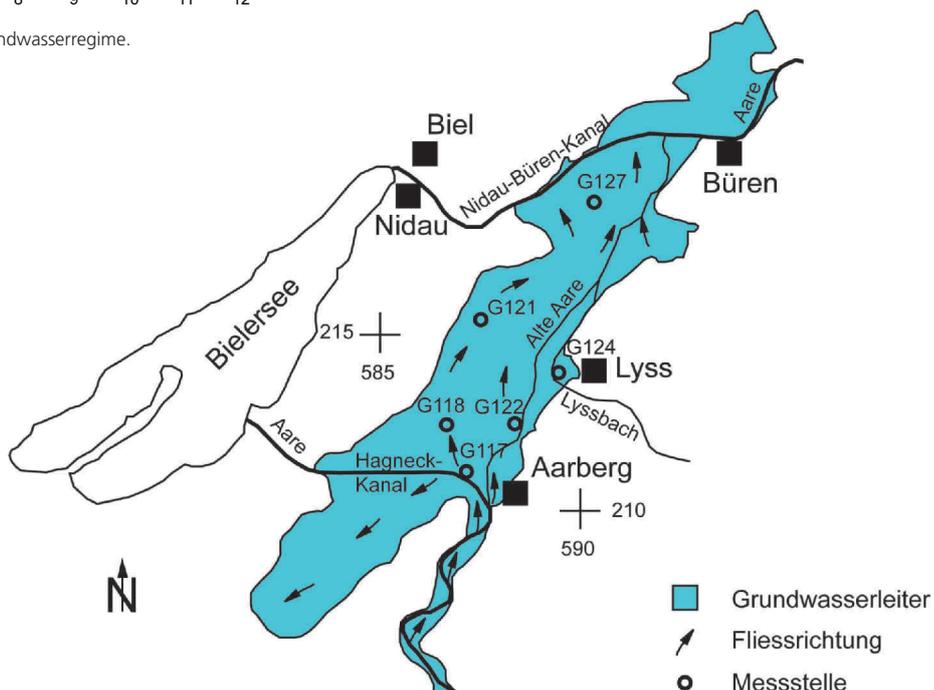


Abb. 8 Hydrogeologische Übersicht der Aareschotter im Berner Seeland (nach [20]).

einander. Das Grundwasserregime wird im vorliegenden Fall durch örtliche Niederschläge bestimmt, insbesondere durch Südstaungen im Frühling und Herbst.

5.3 Standorttypisch pluvial, zeitlich verzögert

Der *Klettgau* im Kanton Schaffhausen ist ein Tal im Tafeljura, das zum grössten Teil mit eiszeitlichen Schotterablagerungen gefüllt ist. Sie bilden lokal einen für die Trinkwasserversorgung wichtigen Grundwasserleiter. Die Schotter sind bis zu 100 m mächtig und grösstenteils von einer mehreren Meter mächtigen Deckschicht aus lehmig-sandigen Stau- und Schwemmsedimenten überlagert. Der Grundwasserleiter wird vor allem in den Wintermonaten gespeist, da im Sommer ein Grossteil der Niederschläge durch Evapotranspiration aufgezehrt wird und dadurch für die Grundwasserneubildung nicht zur Verfügung steht. An der Messstelle *Wilchingen* (SH) beträgt der Flurabstand rund 35 m [16]. Der langjährige mittlere Jahresgang des Grundwasserstandes erreicht hier aufgrund der langen Verweilzeit des versickernden Niederschlagswassers in der ungesättigten Zone ein Maximum im Juli und ein Minimum im Dezember. Die Standardabweichung der einzelnen Monatsmittel liegt mit rund 2 m deutlich über der Differenz zwischen den langjährigen Monatsmitteln (0,8 m). Das heisst, dass in der Regel die Schwankungen des Grundwasserstandes innerhalb eines Jahres geringer sind als von einem Jahr zum anderen; insgesamt wurde über die gesamte Messperiode ein Schwankungsbereich der Monatsmittel von bis zu 9 m beobachtet. Die zeitliche Verzögerung des Signals des standorttypischen pluvialen Grundwasserregimes zeigt sich im Verlauf des GWRK (Abb. 7). Dessen Maximum mit einem Wert von knapp 2 hinkt dem hier zu erwartenden standorttypischen pluvialen Grundwasserregime um vier bis fünf Monate hinterher. Trotz der gedämpften, relativ geringen innerjährlichen Schwankungen des Grundwasserstandes ist hier ein deutliches Grundwasserregime zu erkennen, welches die Besonderheiten der Grundwasserneubildung widerspiegelt.

5.4 Übergang standorttypisch pluvial – importiert nivo-glazial

Die *Aareschotter* im Berner Seeland zwischen dem Hagneck-Kanal und dem Nidau-Büren-Kanal werden sowohl durch Niederschlagswasser als auch durch Oberflächenwasser, insbesondere durch Infiltration von Aarewasser

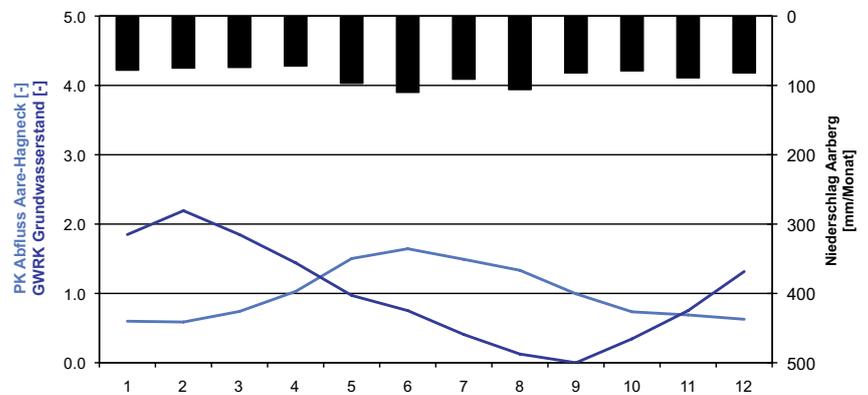


Abb. 9 Standorttypisches pluviales Grundwasserregime. Messstelle G127, Berner Seeland (BE).

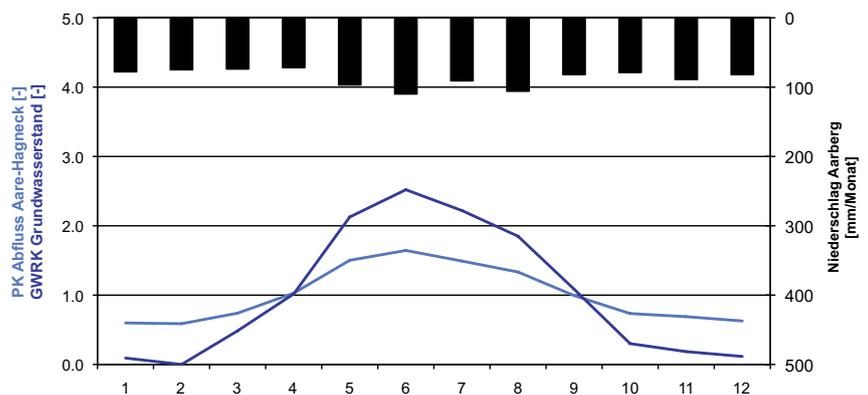


Abb. 10 Importiertes nivo-glaziales Grundwasserregime. Messstelle G117, Berner Seeland (BE).

entlang des *Hagneck-Kanals*, gespeist [18, 19, 20]. Das Grundwasser fliesst vom Hagneck-Kanal aus in nordöstliche Richtung und exfiltriert letztlich in den Nidau-Büren-

Kanal (Abb. 8). Der Grundwasserleiter ist durch eine Reihe von Messstellen recht gut erschlossen. Deshalb kann in diesem Gebiet der Übergang von einem standorttypi-

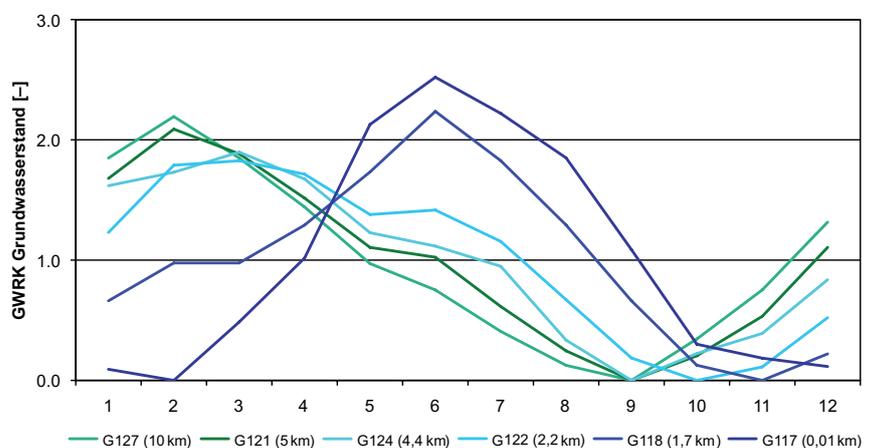


Abb. 11 Übergang von einem standorttypischen pluvialen Grundwasserregime zu einem importierten nivo-glazialen Grundwasserregime im Berner Seeland mit abnehmender Distanz der Messstellen zum Hagneck-Kanal. Lage der Messstellen in Abbildung 8.

schen zu einem importierten Grundwasserregime gut aufgezeigt werden.

Die Messstelle *G127* ist 10 km vom Hagneck-Kanal entfernt gelegen (*Abb. 8*). Infolge der relativ gering mächtigen (1,5 m) ungesättigten Zone [19] und der grossen Distanz zum infiltrierenden Fliessgewässer zeichnet hier der langjährige Jahresverlauf des Grundwasserstandes die jährliche Niederschlagsverteilung – bzw. die effektive Grundwasserneubildung unter Berücksichtigung der Evapotranspiration – mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Spätsommer nach. Dieser Effekt wird durch die allfällige Schneeschmelze im Februar verstärkt. Der Gang des GWRK mit einem maximalen Wert von 2,2 zeigt hierbei, dass an dieser Messstelle ein *ausgeprägtes standorttypisches pluviales* Grundwasserregime vorliegt, welches sich deutlich vom Abflussregime des Hagneck-Kanals unterscheidet (*Abb. 9*).

Dagegen befindet sich die Messstelle *G117* in unmittelbarer Nähe des Hagneck-Kanals. Da das Einzugsgebiet der Aare am Hagneck-Kanal teilweise in den Alpen liegt, besitzt sie ein Abflussregime mit einem Minimum im Februar und einem Maximum im Juni (Schnee- und Gletscherschmelze) [21]. Infolge der Flusswasserinfiltration entlang des Kanals ist im angrenzenden Grundwasser ein *importiertes nivo-glaziales* Grundwasserregime zu beobachten (*Abb. 10*). Der GWRK von bis zu 2,5 widerspiegelt dabei die grossen jahreszeitlichen Schwankungen des Grundwasserstandes, die – anders als bei der Messstelle *G127* – deutlich über den Werten für die Standardabweichung der einzelnen Monatsmittel liegen.

Im Grundwasserleiter des Berner Seelands nimmt also mit der Nähe zum Hagneck- bzw. Nidau-Büren-

Kanal der Einfluss des Fliessgewässers zu und somit die Dominanz des standorttypischen pluvialen Grundwasserregimes ab (importiertes nivo-glaziales Grundwasserregime). Dieser Sachverhalt kann anhand der Entwicklung der GWRK-Werte an unterschiedlich entfernten Messstellen gezeigt werden (*Abb. 11*). Während in 10 km Entfernung zum infiltrierenden Hagneck-Kanal (*G127*) noch ein rein standorttypisches Regime auftritt, ist in einer Entfernung von 2 bis 5 km bereits der Einfluss des importierten Regimes durch die Ausbildung eines Zwischenmaximums zu erkennen (*G121, 124, 122*). Dann dominiert in Flussnähe (< 2 km) das importierte Regime (*G118, 117*). Daraus wird ersichtlich, dass es sich beim Grundwasserregime nicht um eine inhärente Eigenschaft des Grundwasserleiters handelt, sondern um eine Reaktion auf räumliche und zeitliche Variationen der Grundwasserneubildung. Allerdings können nur im Fall eines importierten Grundwasserregimes solche Übergänge von dominanten Komponenten der Grundwasserneubildung aus den Grundwasserständen abgelesen werden. Ansonsten sind dafür andere hydrogeologische Untersuchungsmethoden heranzuziehen.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Auf Basis der Regimedefinition des Abflusses von Fliessgewässern wurde der Regimebegriff auf das Schwankungsverhalten des Grundwasserstandes in Lockergesteinen übertragen. Anhand des definierten *Grundwasserregime-Koeffizienten* (GWRK) erlaubt die hier vorgestellte Methode eine Typisierung der Grundwasserregime in der Schweiz. Die jahreszeitliche und räumliche Variabilität des Grund-

wasserregimes hängt vor allem von den hydroklimatischen Verhältnissen ab, die je nach Region und Höhenlage unterschiedlich sind. Grundwasserleiter *innerhalb eines Naturraums* widerspiegeln vergleichbare hydroklimatische Verhältnisse. Sie lassen einen ähnlichen langjährigen mittleren Jahresgang des Grundwasserstandes und somit ein gleiches Grundwasserregime erkennen. Allerdings sind für die Zuordnung zu einem bestimmten Regime zusätzliche Kenntnisse über einen Grundwasserleiter unabdingbar. So können die an einer Messstelle beobachteten Signale infolge lokaler Eigenschaften des Grundwasserleiters (z.B. sehr grosser Flurabstand) zeitlich verzögert auftreten, aber auch durch Grundwassernutzung beeinflusst werden.

Die Anwendung des GWRK an ausgewählten Grundwassermessstellen hat gezeigt, dass die Grundwasserregime in der Schweiz oft standorttypisch sind, d.h., sie entsprechen den regionalen naturräumlichen Verhältnissen. Allerdings können grosse alpine Flüsse das nivo-glaziale Regime aus höher gelegenen Gebieten der Alpen und somit aus einem anderen Naturraum in die Voralpen und ins Mittelland transferieren, wo durch Flusswasserinfiltration das nivo-glaziale Regime ins Grundwasser der Talschotterebenen importiert wird. Das ist vor allem für die Wasserversorgung und für die Bewässerung in der Landwirtschaft wichtig, da das Grundwasser entlang der grossen Flüsse aus den Alpen im Sommer von der erhöhten Flusswasserinfiltration infolge der Schnee- und Gletscherschmelze mengenmässig profitieren kann. Lockergesteins-Grundwasserleiter in kleinen Flusstälern im Mittelland und im Jura mit einem pluvialen Grundwasserregime erreichen dagegen in den Sommermonaten infolge des Grundwasserneubildungsdefizits tiefe Grundwasserstände. Ausgetrocknete Flüsse und ein Weiterführen der Grundwasserentnahme für die Wasserversorgung und die Bewässerung in der Landwirtschaft können dann zu einem weiteren drastischen Rückgang der Grundwasserstände führen, wie z.B. im Jahr 2003 im Tösstal zu beobachten war [22]. Generell ist zu erwarten, dass auch der Klimawandel Auswirkungen auf die Grundwasserregime haben wird.

Die Zuordnung zu einem Grundwasserregime ermöglicht also nicht nur, die Funktionsweise von Grundwasserleitern generell besser zu verstehen, sondern liefert auch wertvolle Informationen für deren *Bewirtschaftung*. Dies ist in der hydrogeologischen Praxis neben der

Grundwassernutzung insbesondere für die Planung von Bautätigkeiten im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels sowie von Mess- und Probenahmekampagnen von Bedeutung. Das Grundwasserregime zeigt an, wann innerhalb eines Jahres im Mittel mit hohen, mittleren oder tiefen Grundwasserständen zu rechnen ist. Grundwasseruntersuchungen mit spezifischen Fragestellungen, wie z.B. Erhebungen für Flurabstandskarten für Hoch- oder Niedrigwasserhältnisse, Beprobung von Altlastenstandorten [z.B. 23] usw., lassen sich so aussagekräftig durchführen. Eingesetzt werden Grundwasserregime zudem für die Darstellung von Zustand und Entwicklung des Grundwassers, wie z.B. im Rahmen der Umweltberichterstattung [24]. Sie können dazu beitragen – unabhängig von absoluten Schwankungen an bestimmten Messstellen – Grundwasserhältnisse regional zu systematisieren oder auch relative Grundwasserstände vorherzusagen. Grundwasser-Beobachtungsprogramme, wie die Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA in der Schweiz, lassen sich unter Kenntnis der vorherrschenden Regimebedingungen optimieren, indem Grundwasserleiter mit ein und demselben Grundwasserregime gruppiert und durch repräsentative Messstellen abgebildet werden [13, 25].

Dank

Die Autoren danken *Martin Pfaundler* vom BAFU für die wertvollen Anmerkungen und Ergänzungen zum Manuskript.

Literaturverzeichnis

- [1] *Pardé, M.* (1920): Le régime des cours d'eau suisses. Grenoble, Revue de Géographie alpine 8, 359–457.
- [2] *Pardé, M.* (1933): Fleuves et Rivières. Verlag A. Colin, Paris.
- [3] *Weingartner, R.; Aschwanden, H.* (1992): Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 5.2. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [4] *Musy, A.* (2003): Cours «Hydrologie générale» sur internet. Chapitre 9: Les régimes hydrologiques. Laboratoire d'Hydrologie et d'Aménagements (HYDRAM), Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE), Ecole Polytechnique Fédérale (EPFL).
- [5] *Pfaundler, M.; Knellwolf, M.; Oosenbrug, E.* (2010): Grobe Abschätzung hydrologischer Kenngrößen über den Abflussregimetyp. gwa 6/10, 507–509.
- [6] *Pfaundler, M.; Weingartner, R.; Diezig, R.* (2006): Versteckt hinter den Mittelwerten – die Variabilität des Abflussregimes. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 50/3, 116–123.
- [7] *Pfaundler, M.; Dübendorfer, C.; Pfammatter, R.; Zysset, A.* (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer – Hydrologie-Abflussregime. Umwelt-Vollzug, Entwurf vom Oktober 2007, Bundesamt für Umwelt, Bern, 104 S.
- [8] *Tripet, J.-P.* (2005): Grundwasser. In: Spreafico, M.; Weingartner, R. (Hrsg.) 2005: Hydrologie der Schweiz – Ausgewählte Aspekte und Resultate. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 7, Bern, 79–100.
- [9] *Bitterli, T.; Aviolat, P.; Brändli, R.; Christe, R.; Fracheboud, S.; Frey, D.; George, M.; Matousek, F.; Tripet, J.-P.* (2004): 1:500 000 Hydrogeologische Karte der Schweiz. Blatt 8.6 Grundwasservorkommen. Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [10] *Schürch, M.; Kozel, R.; Jemelin, L.* (2007): Hydrogeological mapping in Switzerland. Hydrogeology Journal 15/4, 799–808.
- [11] *Hoehn, E.; Cirkpa, O.; Hofer, M.; Zobrist, J.; Kipfer, R.; Baumann, M.; Scholtis, A.; Favero, R.* (2007): Untersuchungsmethoden der Flusswasserinfiltration – In der Nähe von Grundwasserfassungen. gwa 7/07, 497–505.
- [12] *Kirchhofer, W.; Sevruck, B.* (1992): Mittlere jährliche korrigierte Niederschlagshöhen 1951–1980. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 2.2. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [13] *BAFU* (2009): Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA). Zustand und Entwicklung 2004 bis 2006. Umwelt-Zustand Nr. 0903. Bundesamt für Umwelt, Bern, 144 S.
- [14] *Schürch, M.; Egger, C.; Kozel, R.* (2004): Beobachtung von Grundwasserstand und Quellschüttung. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 8.5. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [15] *Rosselli, A.; Olivier, R.* (2003): Modélisation gravimétrique 2.5D et cartes des isohypses au 1:100 000 du substratum rocheux de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig (Suisse). Eclogae geol. Helv. 96, 399–423.
- [16] *Buttet, P.; Eberhard, A.* (1995): Das Eidgenössische Grundwasser-Beobachtungsnetz. Hydrologische Mitteilungen Nr. 22. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- [17] *Swisstopo* (1976): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000. Blatt Lugano. Bundesamt für Topografie, Bern.
- [18] *WEA* (1989): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern – Seeland: Infiltration aus Hagneck-Kanal und Alter Aare. Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern. 93 S.
- [19] *WWA* (2005): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern – Hydrogeologie Seeland, Stand 2004. Wasserwirtschaftsamt des Kantons Bern. 87 S.
- [20] *WEA* (1999): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern – Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept für den Grundwasserleiter des Seelands. Synthesebericht. Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern. 191 S.
- [21] *BAFU* (2008): Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2007. Umwelt-Wissen Nr. 0824. Bundesamt für Umwelt, Bern. 576 S.
- [22] *AWEL* (2004): Hydrographisches Jahrbuch des Kantons Zürich 2004. Grundwasser. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich.
- [23] *AFU AG* (2009): Kataster der belasteten Standorte (KBS). Beurteilung von Betriebsstandorten. Branchenspezifische Kriterien. Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung Umwelt, Aarau. 14 S.
- [24] *BAFU/BFS* (2007): Umwelt Schweiz 2007. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Bundesamt für Statistik, Neuchâtel. 148 S.
- [25] *BAFU* (2010): Grundwasser-Quantität: Grundwasserbulletin. www.umwelt-schweiz.ch -> Grundwasser -> Ergebnisse NAQUA -> Grundwasser-Quantität. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Keywords

Grundwasserstand – Regime – Grundwasserregime-Koeffizient

Autoren

Marc Schürch, Dr. sc. nat.
marc.schuerch@bafu.admin.ch

Ronald Kozel, Dr. sc. nat.
ronald.kozel@bafu.admin.ch

Abteilung Hydrologie
Sektion Hydrogeologie
Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
Tel. +41 (0)31 324 77 58
Fax +41 (0)31 324 76 81

Daniele Biaggi, Dipl.-Geologe
daniele.biaggi@geo-online.com
Geotechnisches Institut
CH-3007 Bern

Rolf Weingartner, Prof. Dr.
rolf.weingartner@giub.unibe.ch
Geographisches Institut,
Gruppe für Hydrologie
Universität Bern
CH-3012 Bern