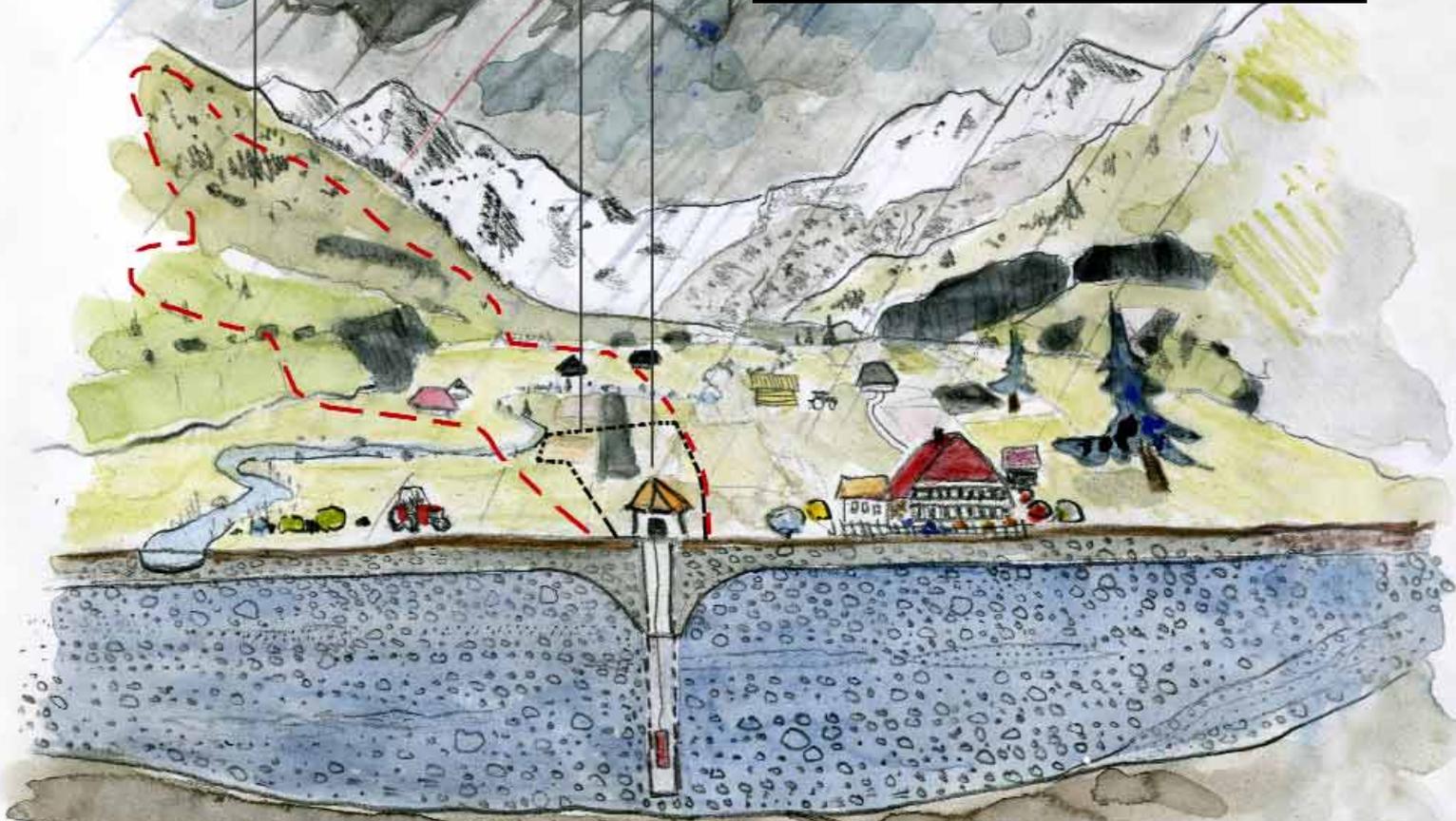


Zuströmbereich

Schutzzone

Grundwasserfassung

Praxishilfe zur Bemessung des Zuströmbereichs Z_u



**Praxishilfe zur
Bemessung des
Zuströmbereichs Z_u**

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL
Bern, 2005**

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BUWAL als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BUWAL veröffentlicht solche Vollzugshilfen (oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Vollzug Umwelt».

Grundlagenbericht

T. BUSSARD, L. TACHER, A. PARRIAUX, D. BAYARD et V. MAITRE 2004: *Dimensionnement des aires d'alimentation Z_u. Document de base*. Erschienen in: Vollzug Umwelt Nr. 183, BUWAL/OFEFP, 143 S. Im pdf-Format auf CD erhältlich.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

Das BUWAL ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Autor

Daniele Biaggi, Geotechnisches Institut AG, Bern

Begleitung BUWAL

Benjamin Meylan, Sektion Grundwasserschutz

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, Uerkheim

Illustration

Hans-Peter Hauser, AVD, Bern

Titelbild

Stefan Werthmüller, Thun

Bezug

BUWAL

Dokumentation

CH-3003 Bern

Fax +41 (0) 31 324 02 16

E-Mail: docu@buwal.admin.ch

Internet: www.buwalshop.ch

Bestellnummer: VU-2509-D

© BUWAL 2005

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5
Vorwort	7
Zusammenfassung	9
1 Einleitung	11
1.1 Ausgangslage	11
1.2 Zielsetzung der Praxishilfe	11
1.3 Abgrenzung	11
1.4 Rechtliche Grundlagen	12
1.5 Aufbau der Praxishilfe	13
2 Zentrale Begriffe und Dimensionierungsgrundsätze	15
2.1 Zuströmbereich Z_u	15
2.2 Weitere Begriffe	16
3 Vorgehensprinzip	17
3.1 Methodik im Überblick	17
3.2 Verhältnismässigkeit durch schrittweise Bearbeitung	17
3.3 Erforderliche Grundlagen	19
3.4 Hinweise zum Vorgehen	19
4 Bestimmung des Einzugsgebietes einer Grundwasserfassung	21
4.1 Generelle Vorgehensweise	21
4.2 Identifikation von Fliesssystemen	22
4.3 Teilbereich des Grundwasserleiters, der die Fassung speist	23
4.4 Teilbereich des randlichen Einzugsgebietes, der die Fassung speist	25
4.5 Plausibilitätskontrolle des ermittelten Fassungseinzugsgebietes mittels Grundwasserbilanzierung	26
5 Bestimmung von Z_u nach der 90-Prozent-Regel	29
5.1 Zielsetzung und erforderliche Rahmenbedingungen	29
5.2 Gebietsaufteilung in Bilanzierungszellen	29
5.3 Berechnung des Speisungsbeitrages der einzelnen Bilanzierungszellen	31
5.4 Festlegung des Zuströmbereichs Z_u anhand der Zellenbilanzierung	32
6 Literatur	33

Abstracts

E

Keywords:

area of contribution
groundwater catchment
area
groundwater protection

Most of Switzerland's drinking water is obtained from groundwater. If groundwater fails to meet the water quality requirements specified in the Water Protection Ordinance of 28 October 1998, the authorities have to ensure that appropriate measures are taken to remove the causes of contamination. The area of contribution Z_u serves to delimit the area that requires remediation following contamination of a water resource with mobile or persistent pollutants. The present practical guide describes the general procedure used to calculate the area of contribution Z_u and explains the necessary foundations and methods of investigation.

D

Stichwörter:

Zuströmbereich
Fassungseinzugsgebiet
Grundwasserschutz

Der Hauptanteil des Trinkwassers in der Schweiz wird aus Grundwasser gewonnen. Erfüllt ein Grundwasser die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 an die Wasserqualität nicht, muss die Behörde die geeigneten Massnahmen zur Behebung der Ursachen der Verunreinigung anordnen. Der Zuströmbereich Z_u dient der Eingrenzung des Gebietes, das wegen einer Verschmutzung des gefassten Wassers mit mobilen und persistenten Stoffen saniert werden muss. Die vorliegende Praxishilfe zeigt die generelle Vorgehensweise zur Bemessung des Zuströmbereichs Z_u auf und legt die dafür notwendigen Bemessungsgrundlagen und Untersuchungsmethoden dar.

F

Mots-clés:

Aire d'alimentation
Bassin d'alimentation
d'un captage
Protection des eaux
souterraines

En Suisse, la majeure partie de l'eau potable est fournie par l'eau souterraine. Lorsque la qualité de cette eau ne satisfait pas les exigences définies par l'ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998, l'autorité doit imposer des mesures appropriées afin de supprimer la cause de la pollution. L'aire d'alimentation Z_u sert à définir la zone devant être assainie lors d'une pollution des eaux captées par des substances chimiques mobiles et persistantes. Ce guide pratique présente la méthodologie générale appliquée pour le dimensionnement de l'aire Z_u et en explique les fondements et les méthodes d'investigation.

I

Parole chiave:

settore d'alimentazione
bacino imbrifero di una
captazione
protezione delle acque
sotterranee

In Svizzera, gran parte dell'acqua potabile è prelevata da acque sotterranee. Quando la loro qualità non soddisfa più i requisiti stabiliti dall'ordinanza del 28 ottobre 1998 sulla protezione delle acque, l'autorità deve imporre misure adeguate al fine di rimuovere le cause dell'inquinamento. Il settore d'alimentazione Z_u serve a delimitare un territorio che deve essere risanato in seguito all'inquinamento della captazione delle acque con sostanze chimiche mobili e persistenti. Il presente testo mostra la procedura generale da seguire per il dimensionamento del settore d'alimentazione Z_u e ne spiega i fondamenti e i metodi d'analisi.

Vorwort

Seit mehr als 40 Jahren ist der *qualitative Grundwasserschutz* in der schweizerischen Gewässerschutzgesetzgebung verankert. Unter anderem hat sich das Konzept der Grundwasserschutzzonen zum Schutz der Qualität des als Trinkwasser gefassten Wassers sehr bewährt. Grundwasserschutzzonen dienen in erster Linie der Verhinderung von Verschmutzungen des Trinkwassers durch Mikroorganismen sowie mobile und abbaubare Stoffe, die vor allem dann problematisch sind, wenn sie im Nahbereich der Fassung in den Untergrund gelangen (beispielsweise krankheitserregende Mikroorganismen und Mineralölprodukte). In den 90er Jahren zeichnete sich immer deutlicher die Notwendigkeit ab, ein zusätzliches *Planungsinstrument* zu schaffen: Trinkwasserfassungen, die im öffentlichen Interesse liegen, sollen auch vor Verunreinigungen durch schwer abbaubare und mobile Schadstoffe wie Nitrat und Pflanzenschutzmittel geschützt werden können. Mit dem Inkrafttreten der Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 wurde zu diesem Zweck der *Zuströmbereich* Z_u eingeführt. Er wird dann bezeichnet, wenn eine Grundwasserfassung durch Stoffe, die nicht genügend abgebaut oder zurückgehalten werden, beeinträchtigt oder gefährdet ist. Der Zuströmbereich umfasst im Wesentlichen das Einzugsgebiet der betroffenen Fassung respektive das Gebiet, das saniert werden muss. Die Festlegung von Zuströmbereichen obliegt den Kantonen.

Der Bund unterstützt Grundwassersanierungsprojekte im Zuströmbereich von Trinkwasserfassungen, die wegen der landwirtschaftlichen Bodennutzung beeinträchtigt sind (Art. 62a GSchG). Mit Massnahmen wie Düngebeschränkungen, Wahl geeigneter Kulturen oder Verzicht auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln soll langfristig die Qualität des gefassten Grundwassers erreicht werden.

Die vorliegende Praxishilfe zeigt die Vorgehensweise bei der Festlegung des Zuströmbereichs auf. Sie richtet sich insbesondere an Fachbehörden und Gutachter.

Bundesamt für Umwelt,
Wald und Landschaft

Stephan Müller
Abteilung Gewässerschutz

Zusammenfassung

Die vorliegende Praxishilfe zeigt die generelle Vorgehensweise zur Bestimmung des Zuströmbereichs Z_u auf. Sie regelt die allgemein geltenden Dimensionierungsgrundsätze und erläutert das in Etappen gegliederte Vorgehen zur Bezeichnung von Z_u .

Der Zuströmbereich stellt eines der planerischen Elemente des Grundwasserschutzes dar. Rechtsgrundlagen sind das Gewässerschutzgesetz (Art. 19 GSchG) und die Gewässerschutzverordnung (Art. 29 Abs. 1 und Anh. 4 Ziff. 113 und 212 GSchV). Vereinfacht ausgedrückt handelt es sich beim Zuströmbereich Z_u um dasjenige Gebiet, aus dem der Hauptanteil des Wassers stammt, welches einer Grundwasserfassung zuströmt.

Die Praxishilfe richtet sich an die kantonalen Fachstellen, welche die Arbeiten zur Bemessung von Zuströmbereichen in Auftrag geben und begleiten. Weitere Adressaten sind die Gutachterbüros, welche die entsprechenden Untersuchungen durchführen.

Die Bemessung des Zuströmbereichs Z_u erfolgt in mehreren Etappen. Die Untersuchungen konzentrieren sich zuerst auf die Identifikation des Fassungseinzugsgebietes. Mittels der Typisierung des betroffenen Grundwasservorkommens werden die einzelnen Fließsysteme definiert. Die Kombination mehrerer Methoden erlaubt, den Teilbereich des Grundwasserleiters festzulegen, der die Fassung speist. Anschliessend werden die Untersuchungen auf das randliche Einzugsgebiet ausgeweitet. Der Teilbereich des Grundwasserleiters und der Teilbereich des randlichen Einzugsgebietes einer Fassung ergeben zusammen das Fassungseinzugsgebiet. Dessen Flächeninhalt wird mittels Grundwasserbilanz auf die Plausibilität hin kontrolliert. In manchen Fällen entspricht das so ermittelte Fassungseinzugsgebiet dem Zuströmbereich Z_u .

Wenn möglich und zweckmässig wird Z_u in einer zweiten Untersuchungsetappe nach der 90-Prozent-Regel bemessen. Dabei wird das Fassungseinzugsgebiet in mehrere Bilanzierungszellen aufgeteilt und der Speisungsbeitrag jeder Zelle berechnet. Der Zuströmbereich Z_u umfasst die Summe derjenigen Bilanzierungszellen, von denen gesamthaft etwa 90 Prozent der totalen Grundwasserspeisung ausgehen.

Eine korrekte Dimensionierung des Zuströmbereichs ist die grundlegende Voraussetzung dafür, dass die Massnahmen, welche dem Schutz beziehungsweise der Sanierung des betroffenen Fassungseinzugsgebietes dienen, zum Erfolg führen.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der Begriff des Zuströmbereichs Z_u wurde mit dem Inkrafttreten der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 in der schweizerischen Gesetzgebung eingeführt. Der Zuströmbereich stellt ein Element des planerischen Grundwasserschutzes dar und wird gezielt eingesetzt, um der Verunreinigung beziehungsweise Gefährdung des Grundwassers durch nicht oder nur schwer abbaubare, mobile Schadstoffe entgegenzuwirken. Beispiele dafür sind übermässige Belastungen durch Nitrat oder Pflanzenschutzmittel.

Die im Zuströmbereich einzuleitenden Massnahmen sollen den Schutz der Wasserqualität bei bestehenden und geplanten, im öffentlichen Interesse stehenden Grundwasserfassungen gewährleisten. Der Zuströmbereich dient in erster Linie der Eingrenzung eines Gebietes, das saniert werden muss.

Die Praxishilfe basiert im Wesentlichen auf dem im Grundlagenbericht «Dimensionnement des aires d'alimentation Z_u – Document de base» (BUSSARD et al. 2004) erarbeiteten Vorgehenskonzept.

1.2 Zielsetzung der Praxishilfe

Zweck

Die Praxishilfe zeigt auf, mit welchen hydrogeologischen Ansätzen und Methoden der Zuströmbereich Z_u nach dem heutigen Stand der Technik genügend zuverlässig und mit vertretbarem Aufwand bestimmt werden kann.

Adressaten

Die vorliegende Publikation richtet sich an die kantonalen Behörden als Grundlage für die Vorbereitung und Begleitung von Untersuchungen zur Bemessung eines Zuströmbereichs. Weiter sind die in den Bereichen Geologie und Hydrogeologie tätigen Gutachter anvisiert, welche die entsprechenden Untersuchungen durchführen.

1.3 Abgrenzung

Die Praxishilfe behandelt ausschliesslich Grundlagen und Vorgehensweisen für die Dimensionierung des Zuströmbereichs Z_u . Nicht Gegenstand dieser Publikation sind die in Tabelle 1 aufgeführten Aspekte:

Tabelle 1: Auflistung der in der vorliegenden Praxishilfe nicht behandelten Themen.

Nicht behandelte Themen	Verweis auf entsprechende Publikationen
Identifikation der Problemgebiete mit Prioritäten: Konzentrationstrends von Stoffen, welche Anlass geben, Sanierungsmassnahmen einzuleiten	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlagensammlung Nitratstrategie (BUWAL / BLW 1999, laufend aktualisiert) • Wegleitung Grundwasserschutz (BUWAL 2004)
Festlegung von Projektgebieten nach Artikel 62a GSchG sowie von empfindlichen Gebieten innerhalb dieser Projektgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlagensammlung Nitratstrategie (BUWAL / BLW 1999, laufend aktualisiert) • BUSSARD et al. 2004.
Anforderungen an Beitragsgesuche für Sanierungsprojekte nach Artikel 62a GSchG, Verfahrensablauf, Abgeltungen des Bundes an Massnahmen der Landwirtschaft, Verfahrensablauf bei der Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlagensammlung Nitratstrategie (BUWAL / BLW 1999, laufend aktualisiert)

1.4 Rechtliche Grundlagen

Das Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 (GSchG, SR 814.20) schreibt in Artikel 19 vor, dass die Kantone die unterirdischen Gewässer nach deren Gefährdung in Gewässerschutzbereiche einteilen. Der Zuströmbereich Z_u und der Gewässerschutzbereich A_u werden in der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201) als besonders gefährdete Bereiche bezeichnet¹. Die rechtliche Grundlage für die vorliegende Praxishilfe bilden Artikel 29 Absatz 1 sowie Anhang 4 Ziffer 113 und 212 der GSchV.

¹ Zu den besonders gefährdeten Bereichen gehören zudem die für Obeflächengewässer geltenden Zuströmbereiche Z_o und Gewässerschutzbereiche A_o .

1.5 Aufbau der Praxishilfe

Die vorliegende Praxishilfe besteht aus fünf Kapiteln:

- Kapitel 1: *Einleitung*
- Kapitel 2: *Zentrale Begriffe und Dimensionierungsgrundsätze*
Im Vordergrund steht die Definition des Zuströmbereichs. Daneben werden weitere für die Praxishilfe relevante hydrogeologische Begriffe erläutert.
- Kapitel 3: *Vorgehensprinzip*
Überblick über die methodische Vorgehensweise zur Bezeichnung des Zuströmbereichs Z_u . Es werden zudem Aspekte wie die Verhältnismässigkeit der durchzuführenden Arbeiten und die dazu notwendigen Unterlagen behandelt.
- Kapitel 4: *Bestimmung des Einzugsgebietes einer Grundwasserfassung*
Darlegung von Verfahren zur Dimensionierung des Fassungseinzugsgebietes. Mit der Methode der Grundwasserbilanzierung wird gezeigt, wie das ermittelte Fassungseinzugsgebiet auf dessen Plausibilität hin überprüft werden kann.
- Kapitel 5: *Bestimmung von Z_u nach der 90-Prozent-Regel*
Aufteilung des Einzugsgebietes einer Fassung in mehrere Bilanzierungszellen. Damit kann derjenige Bereich bestimmt werden, aus dem etwa 90 Prozent des bei der Fassung entnommenen Grundwassers stammen.

Die Literaturhinweise finden sich am Schluss der Praxishilfe.

2 Zentrale Begriffe und Dimensionierungsgrundsätze

2.1 Zuströmbereich Z_u

Definition	Der Zuströmbereich Z_u umfasst das Gebiet, aus dem etwa 90 Prozent des Grundwassers, das zu einer Grundwasserfassung gelangt, stammen. Kann dieses Gebiet nur mit unverhältnismässigem Aufwand bestimmt werden, umfasst der Zuströmbereich Z_u das gesamte Einzugsgebiet der Grundwasserfassung. Die Bestimmung von Z_u basiert – im Unterschied zur Festlegung der notwendigen Sanierungsmassnahmen – auf der Untersuchung der Wasserflüsse und nicht auf den Kenntnissen der Stoffflüsse.
Verwendung des Begriffs Zuströmbereich	Der Begriff Zuströmbereich sollte einzig im Sinn der Gewässerschutzverordnung verwendet werden. Soll das in Anströmrichtung einer Fassung liegende Grundwasser – ohne Bezug auf den planerischen Grundwasserschutz – bezeichnet werden, wird die Verwendung des Begriffs Einzugsgebiet empfohlen.
Veranlassung zur Bezeichnung von Z_u	Der Zuströmbereich wird durch die Kantone für diejenigen Trinkwasserfassungen von öffentlichem Interesse bezeichnet, bei denen <ul style="list-style-type: none"> • das genutzte Grundwasser eine Belastung durch persistente, mobile Schadstoffe aufweist (kurativer Ansatz) • die Gefahr einer solchen Belastung besteht (präventiver Ansatz). Die Kantone legen innerhalb des Zuströmbereichs Massnahmen zur Sanierung beziehungsweise zum qualitativen Schutz des Grundwassers fest.
Grundsätze zur Dimensionierung von Z_u	Für die Dimensionierung des Zuströmbereichs Z_u gelten die in Tabelle 2 angegebenen Bemessungsgrundsätze:

Tabelle 2: Bemessungsgrundsätze zur Bezeichnung von Z_u .

Bemessungsgrundsätze	
Hydrogeologische Verhältnisse	mittlere Zu- und Wegflussbedingungen mittlerer Grundwasserstand
Entnahme, Schüttung	mittlere Entnahmeleistung bei Entnahmebrunnen bzw. Bemessungsentnahmeleistung mittlere Schüttungsrate bei Quellen
Infiltrierende Oberflächengewässer	Das Einzugsgebiet infiltrierender Oberflächengewässer wird vom Zuströmbereich Z_u ausgeklammert. Die Fliesstrecke selbst, bei der eine direkte grundwasserhydraulische Beziehung zur Fassung besteht, ist jedoch Teil des Zuströmbereichs.

Die für die Bezeichnung von Z_u festzulegende Entnahmeleistung kann von der aktuellen mittleren Entnahmeleistung abweichen. Zum Beispiel dann, wenn künftig mehr Grundwasser entnommen werden soll, als dies gegenwärtig der Fall ist. Ferner ist bei der Festlegung der Bemessungsentnahmeleistung für Brunnen der Forderung Rechnung zu tragen, dass einem Grundwasservorkommen langfristig nicht mehr Wasser entnommen werden darf, als ihm zufließt (Art. 43 GSchG).

Die **Bemessungsentnahmeleistung** ist vor Inangriffnahme der Untersuchungen durch die Behörde festzulegen.

2.2 Weitere Begriffe

Als *Grundwasservorkommen* wird eine hydrogeologische Einheit betrachtet, die geeignet ist, Grundwasser aufzunehmen und weiterzuleiten, unabhängig davon, ob das Grundwasser in einer nutzbaren Menge oder Qualität vorliegt.

Der eigentliche *Grundwasserleiter* stellt eine hydrogeologische Einheit dar, die geeignet ist, Grundwasser aufzunehmen und weiterzuleiten und von ihrer Ausdehnung, Mächtigkeit und Durchlässigkeit her eine Grundwassernutzung zulässt.

Das *hydrogeologische Einzugsgebiet eines Grundwasserleiters* umfasst den Gesamtperimeter, aus dem das im Grundwasserleiter fließende Grundwasser stammt. Das Einzugsgebiet infiltrierender Oberflächengewässer wird nicht dazu gezählt.

Der Teilbereich des hydrogeologischen Einzugsgebietes, welcher sich ausserhalb des eigentlichen Grundwasserleiters befindet beziehungsweise an diesen angrenzt, wird als *randliches Einzugsgebiet des Grundwasserleiters*² bezeichnet.

Unter *Grundwasserfassungen*³ werden sowohl Entnahmebrunnen, als auch gefasste Quellen verstanden.

Der *Entnahmebereich* eines Brunnens ist das Teilgebiet des Absenkungsbereichs, aus dem er unmittelbar gespeist wird.

Das *Fassungseinzugsgebiet* stellt das Gebiet dar, aus dem das Wasser stammt, das im Brunnen entnommen wird respektive bei der Quelle austritt. Das Einzugsgebiet infiltrierender Oberflächengewässer wird analog der oben aufgeführten Definition davon ausgeklammert. Die Fliesstrecke selbst, bei der eine direkte grundwasserhydraulische Beziehung zur Fassung besteht, ist jedoch Teil des Fassungseinzugsgebietes bzw. des Zuströmbereichs.

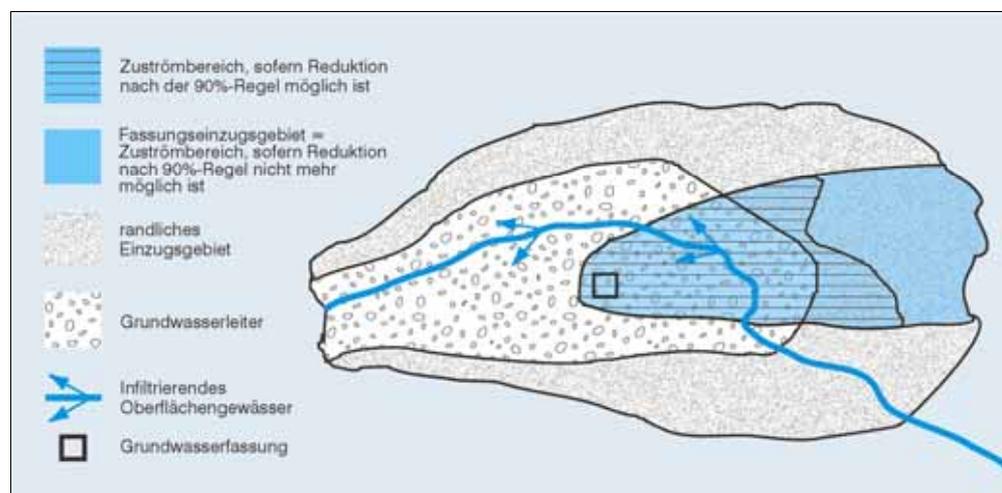


Abbildung 1:
Schematische Darstellung des Zuströmbereichs Z_u im hydrogeologischen Kontext.

² In der vorliegenden Praxishilfe vereinfacht als «randliches Einzugsgebiet» bezeichnet.

³ vgl. GschV Anhang 4 Ziffer 113.

3 Vorgehensprinzip

3.1 Methodik im Überblick

Die hydrogeologischen Abklärungen zur Bezeichnung des Zuströmbereichs zielen auf die Klärung folgender zentraler Fragestellungen:

- Welches sind die Gebiete, aus denen unterirdisch Wasser der Fassung zufliesst?
- In welchem Umfang tragen die von diesen Gebieten stammenden Zuflussanteile der gesamthaft genutzten Wassermenge bei?⁴

In einer ersten Untersuchungsetappe wird das Fassungseinzugsgebiet bestimmt. Wenn möglich und zweckmässig wird Z_u in einer zweiten Untersuchungsetappe nach der 90-Prozent-Regel dimensioniert. Auf der folgenden Seite ist das methodische Vorgehen im Ablauf dargestellt (Abbildung 2).

3.2 Verhältnismässigkeit durch schrittweise Bearbeitung

Die Dimensionierung des Zuströmbereichs respektive die Abgrenzung des Sanierungsgebietes nach Artikel 62a GSchG ist möglichst effizient durchzuführen. Entsprechend müssen die Methoden zielorientiert gewählt werden. Unnötige, weil zu weit gehende Genauigkeit bei der Ermittlung von Z_u ist im Interesse der Wirtschaftlichkeit zu vermeiden. Daher lohnt es sich, die Untersuchungen gemäss den Schritten in Kapitel 3.1 zu etappieren. Sollte sich zeigen, dass weiterreichende Untersuchungen mit einem unverhältnismässigen Aufwand verbunden sind, dann wird das in dieser ersten Etappe ermittelte Fassungseinzugsgebiet als Zuströmbereich Z_u bezeichnet. Lassen sich die nachfolgenden Sanierungsmassnahmen durch eine angemessene Vertiefung der Untersuchungen signifikant optimieren, so wird in einer zweiten Etappe das Gebiet bestimmt, aus dem etwa 90 Prozent des entnommenen Grundwassers stammen. Dieses Gebiet entspricht dem nach der 90-Prozent-Regel bezeichneten Zuströmbereich Z_u .

⁴ Kenntnisse über die räumliche Verteilung von Bilanzierungszellen mit unterschiedlichem Zuflussanteil können in einer späteren Phase auch als Grundlage dienen, um innerhalb von Z_u unterschiedlich sensible Bereiche auszuscheiden (BUSSARD et al. 2004; BUWAL 1999).

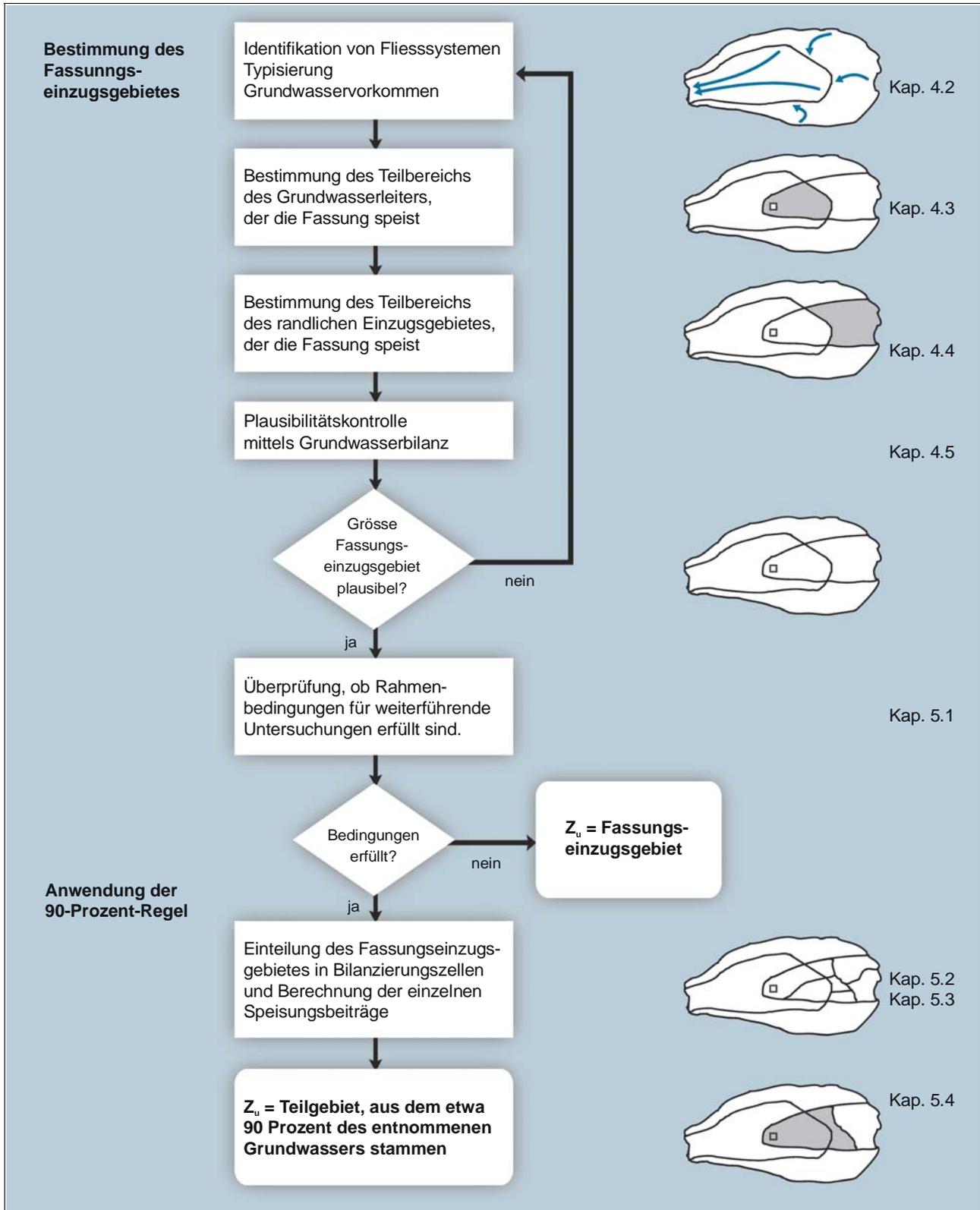


Abbildung 2: Ablaufschema zur generellen Vorgehensweise.

3.3 Erforderliche Grundlagen

Als Grundlage für die Dimensionierung von Z_u dient in jedem Fall ein konzeptuelles Modell über die Strömungsverhältnisse im betreffenden Grundwasservorkommen. Relevante Kenntnisse über die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse sind in diese Modellbildung fortlaufend einfließen zu lassen. Es ist fallweise zu entscheiden, ob das vorhandene Datenmaterial ausreicht oder noch ergänzende Felduntersuchungen notwendig sind. Wenn immer möglich, ist mit bereits verfügbarem, z.B. im Rahmen der Grundwasserschutzzonenausscheidung beschafftem Datenmaterial zu arbeiten. Im Folgenden sind die wichtigsten für die Bemessung des Zuströmbereichs erforderlichen Grundlagen aufgelistet.

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Grundwasserfassung | <ul style="list-style-type: none">• Fassungstyp (Entnahmebrunnen, Niederdruckfassung, Exfiltrations-, Überlauf-, Hangschutt-, Kluft- oder Schichtquelle usw.)• Mittlere Entnahme/Schüttung respektive Bemessungsentnahmeleistung (vgl. Kapitel 2.1) |
| Grundwasservorkommen | <ul style="list-style-type: none">• Angaben zu den regionalen geologischen Verhältnissen in Bezug auf grundwasserrelevante Strukturen (Becken, Karstsysteme, Kluftsysteme, Störungszonen usw.)• Angaben über den Grundwasserleiter und dessen räumliche Begrenzung• Angaben über das randliche Einzugsgebiet des Grundwasserleiters⁵ (Relief, grundwasserführende Strukturen, Oberflächenabfluss usw.) |
| Fliessrichtung | <ul style="list-style-type: none">• Isohypsen des Grundwasserspiegels bei mittlerem Wasserstand• Ergebnisse von Tracerversuchen• Ergebnisse von Grundwassermodellen |
| Grundwasserbilanz | <ul style="list-style-type: none">• Kenntnisse über Lage respektive räumliche Verteilung von Zuflüssen sowie entsprechende Zuflussraten (Neubildung, Infiltration von Oberflächengewässern, künstliche Anreicherungen, Zuflüsse von anderen Grundwasservorkommen usw.)• Kenntnisse über Wegflüsse respektive Wegflussraten (Entnahmen, Quellen, Exfiltrationen, Drainagen, unterirdische Abflüsse in andere Grundwasservorkommen usw.) |

3.4 Hinweise zum Vorgehen

Hier einige Hinweise, die bei den Bemessungsuntersuchungen zu berücksichtigen sind:

- Bei zahlreichen hydrogeologischen Untersuchungen steht die Klärung der *Durchströmung* eines bestimmten Gebietes im Vordergrund. Beim Zuströmbereich geht es um einen anderen konzeptuellen Ansatz: Die Untersuchungen müssen darauf ausgerichtet sein, die *Herkunft* des Grundwassers zu kennen.

⁵ Sofern keine Unterteilung in Grundwasserleiter und randliches Einzugsgebiet erfolgen kann, versteht sich darunter das gesamte hydrogeologische Einzugsgebiet.

- Wird eine Grundwasserfassung durch mehrere Grundwasservorkommen gespeist, dann umfassen die Untersuchungen zur Bezeichnung des Zuströmbereichs die Gesamtheit dieser Vorkommen. Entsprechende Beispiele und Abbildungen finden sich im Kapitel 4.2.
- Der Ausbau einer Fassung kann fallweise für die Bemessung von Z_u von Bedeutung sein. Fördert beispielsweise ein Brunnen ausschliesslich Wasser aus tiefen Grundwasserstockwerken, so dürfte dieses aus grösserer Entfernung stammen.

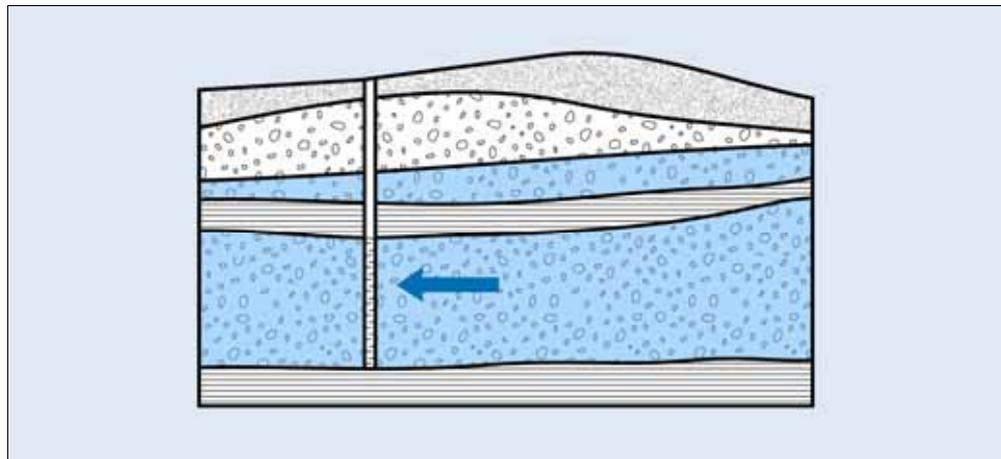


Abbildung 3:
Entnahme aus tiefer
liegendem Grundwasser-
stockwerk.

- Zuströmbereiche mehrerer Fassungen können sich überlappen.⁶ Für Brunnen- oder Quellgruppen kann es zweckmässig sein, die Abklärungen für die Bezeichnung eines Zuströmbereichs von Beginn an auf die gesamte Gruppe auszurichten.

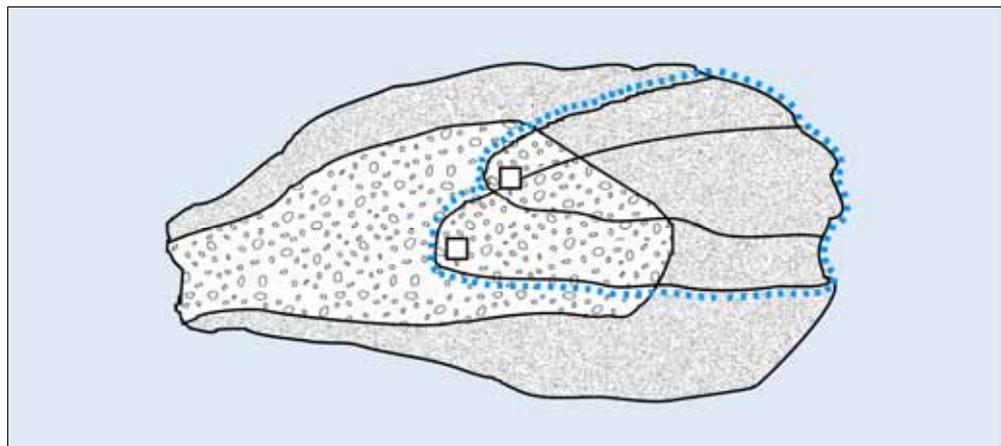


Abbildung 4:
Bezeichnung von Z_u für
eine Fassungsgruppe.

- Es wird im Rahmen des projektbezogenen Qualitätsmanagements empfohlen, wichtige Grundlagen wie zum Beispiel einen Isohypsenplan des Grundwasserspiegels oder ein Grundwassermodell auf ihre Plausibilität hin zu prüfen und für weitere Auswertungen zur Verfügung zu stellen.

⁶ Die Durchmischung ergibt sich aus der hydrodynamischen Dispersion und den kontinuierlich ablaufenden kleinräumigen Variationen in der Strömungsrichtung (instationäres Verhalten des Fließfeldes).

4 Bestimmung des Einzugsgebietes einer Grundwasserfassung

4.1 Generelle Vorgehensweise

In der Regel lässt sich das Einzugsgebiet einer Grundwasserfassung zweiteilen:

- Teilbereich des *Grundwasserleiters*, aus dem die Fassung gespeist wird
- Teilbereich des *randlichen Einzugsgebietes des Grundwasserleiters*, aus dem die Fassung gespeist wird

Zuerst soll der eigentliche Grundwasserleiter untersucht werden. Hier liegen vielfach schon ausreichende Kenntnisse vor. Auch ist zu beachten, dass gewisse Methoden praktisch ausschliesslich für die Untersuchung des Grundwasserleiters anwendbar sind. Dazu zählen Interpolation respektive Extrapolation von Grundwasserständen zur Darstellung von Isohypsen, analytische Methoden zur Berechnung von Entnahmebereichen sowie die Wiedergabe der Strömungsverhältnisse durch Computermodelle.

Erst wenn die Ausdehnung des Fassungseinzugsgebietes bis an die randliche Begrenzung des Grundwasserleiters klar definiert ist, werden die Untersuchungen auf das randliche Einzugsgebiet des Grundwasserleiters ausgeweitet. Entscheidend ist, dass eine falsch bestimmte Haupt-Anströmrichtung im Grundwasserleiter eine gravierende Fehlplatzierung des gesamten Fassungseinzugsgebietes zur Folge hat.

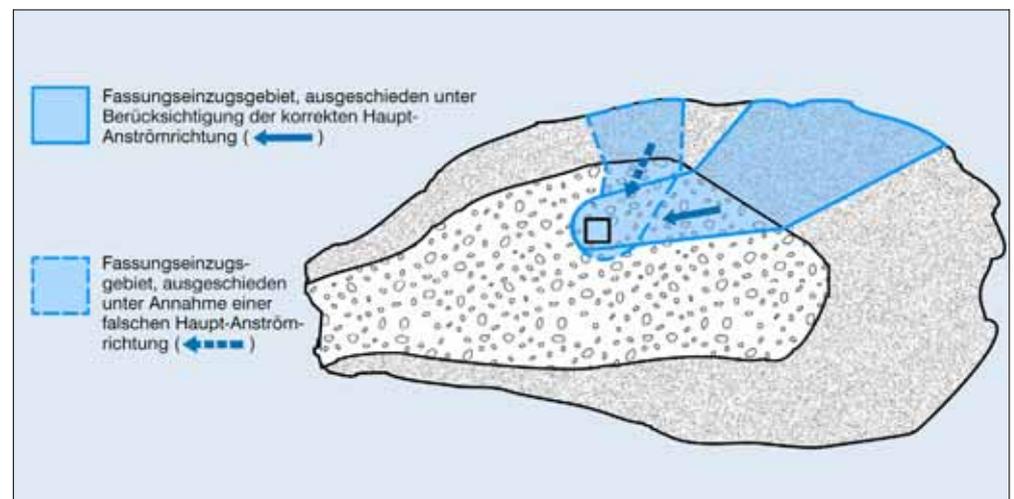


Abbildung 5:
Fehlplatzierung des Fassungseinzugsgebietes aufgrund einer falschen Annahme der Haupt-Anströmrichtung.

Es gibt hydrogeologische Gegebenheiten, bei denen die oben erwähnte Unterteilung entweder keinen Sinn macht oder gar nicht möglich ist. Dies trifft bei einer Vielzahl von Quellen zu. In solchen Fällen sind die in den Kapiteln 4.3 und 4.4 aufgeführten Vorgehensschritte zusammenzulegen.

4.2 Identifikation von Fliessystemen

Das konzeptuelle Modell über die Grundwasser-Strömungsverhältnisse bildet den eigentlichen Rahmen der Untersuchungen. Die Typisierung des Grundwasservorkommens stellt dabei einen ersten wichtigen Schritt dar. Es erfordert die Kenntnis der regionalen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse. Ziel dieser Typisierung ist die Identifikation von Fliessystemen.

Die folgenden Beispiele veranschaulichen, dass die Untersuchungen zur Festlegung des Einzugsgebietes oft auf mehrere Fliessysteme ausgerichtet werden müssen.

Beispiel 1

Ein Brunnen fördert Grundwasser aus dem zentralen Bereich eines Grundwasserleiters, der aus Flussschottern aufgebaut ist. Seitlich ist das Schotterbecken von mit Moränen bedeckten Molassehügeln umgeben. Von den Molassehügeln strömt Grundwasser in mehr oder weniger disperser Form in den Hauptgrundwasserleiter.

Beispiel 2

Ein Brunnen fördert Grundwasser aus einem kleinen Becken, das mit fluvioglazialen Ablagerungen verfüllt ist. Das Becken ist in einer Synklinale von verkarsteten Kalkschichten eingebettet. Das Karstsystem trägt zur Speisung des Grundwasserleiters im Quartärbecken bei (Abb. 6).

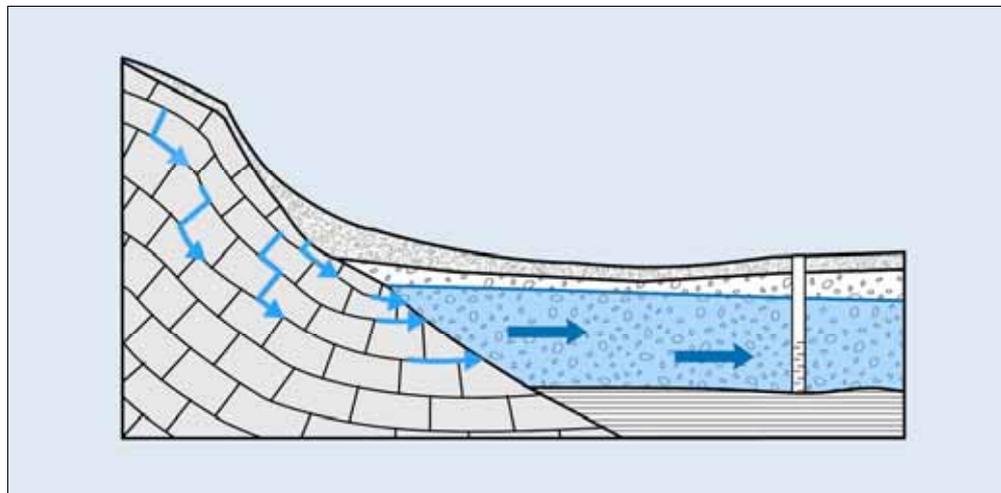
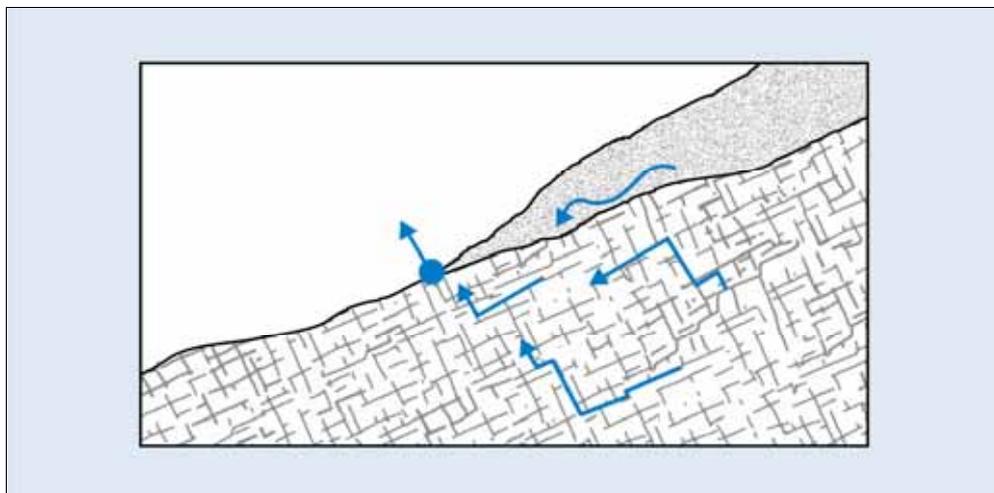


Abbildung 6:
Zwei kommunizierende Fliessysteme: Karstwasser trägt zur Speisung eines Lockergestein-Grundwasserleiters bei.

Beispiel 3

Eine Quelle liegt am Fuss eines zerklüfteten Flyschkomplexes. Der Quelle fließen zwei Grundwassertypen zu: Einerseits das aus den Klüften austretende Wasser, andererseits in den oberflächennahen Verwitterungsschichten fließendes Grundwasser (Abb. 7).

Abbildung 7:
Zwei Fließsysteme
tragen zur Schüttung der
Quelle bei: Kluftwasser
aus dem Flyschkomplex
und das in den oberflächennahen Verwitterungsschichten fließende Grundwasser.



Nützliche Hinweise zur Typisierung von Grundwasservorkommen finden sich in BUSSARD et al. (2004) und im Hydrologischen Atlas der Schweiz (BWG 2001).

4.3 Teilbereich des Grundwasserleiters, der die Fassung speist

Die hier aufgeführten Methoden erlauben, denjenigen Teil des Grundwasserleiters zu bestimmen, aus dem die Fassung gespeist wird. Die in Frage kommenden Methoden hängen vor allem vom Typ des Grundwasserleiters ab. Es ist Aufgabe der mit den Untersuchungen beauftragten Fachperson, die optimale Wahl zu treffen. Grundsätzlich ermöglicht die Kombination mehrerer Methoden die genaueste Bestimmung dieses Gebietes.

Geologische Strukturen

Die Analyse grossräumiger geologischer Strukturen hat zum Ziel, die Begrenzung grundwasserleitender Einheiten festlegen zu können. Diese Einheiten können sedimentäre Abfolgen in Lockergesteinen, lithologische Einheiten in Festgesteinen, Kluftsysteme, Störungszonen und dergleichen sein. Im Fall von Quelfassungen dient die Methode vielfach dazu, das gesamte Fassungseinzugsgebiet festlegen zu können.

Isohypsenplan des Grundwasserspiegels

Die Auswertung des für mittlere Wasserstände geltenden Isohypsenplans ermöglicht die Bestimmung der generellen Anströmrichtung zur Grundwasserfassung. In Kombination mit weiteren, hier nachfolgend aufgeführten Methoden lässt sich der Entnahmebereich bis an den Rand des Grundwasserleiters konstruieren.

Analytische Verfahren zur Berechnung des Entnahmebereiches

In der Literatur werden mehrere Verfahren für die Konstruktion des Entnahmebereiches eines Brunnens beschrieben. Es empfiehlt sich, die berechneten Zuflussparabeln nachträglich mit einem Sicherheitszuschlag zu versehen, da bei diesen Methoden von stationären und homogenen Verhältnissen ausgegangen sowie die

hydrodynamische Dispersion nicht berücksichtigt wird. Die in BEAR und JACOBS (1965) aufgezeichnete Methode ist in BUSSARD et al. (2004) wiedergegeben.

Versuche mit künstlichen Markierstoffen Tracer-Versuche sind eine wertvolle Hilfe zur Untersuchung von Grundwasser-Fliesssystemen. Mit ihnen kann geprüft werden, ob ein bestimmter Standort im Einzugsgebiet einer Fassung liegt oder nicht. Umfangreiches Informationsmaterial über die Durchführung und Auswertung von Markierversuchen findet sich in der Praxishilfe «Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie» (BWG/SGH 2002).

Isotope und andere natürliche Tracer Hydrogeologische Untersuchungen von Isotopen und anderen natürlichen Tracern sind auf diverse Zielsetzungen ausgerichtet. Bezogen auf die Bezeichnung von Zuströmbereichen können vor allem Informationen über die Herkunft des Grundwassers (z.B. höhenabhängige Isotopenverhältnisse) und über Mischungsverhältnisse von Nutzen sein. Ist die Durchführung solcher Untersuchungen vorgesehen, so wird eine Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten beziehungsweise Hochschulen empfohlen.

Numerische Grundwassermodelle Praktisch alle modernen Simulations-Programme erlauben, den Entnahmbereich einer Grundwasserfassung zu berechnen. Bei einfachen Modellansätzen wird die mittlere Grundwasserbewegungsrichtung in Form von Strömungsbahnen dargestellt («particle tracking» bei rein advektiver Strömung). Wie bei den analytischen Verfahren gilt, dass die resultierende Zuströmparabel meist zu schmal ist. Um die hydrodynamische Dispersion und das instationäre Strömungsverhalten mit zu berücksichtigen, ist eine Erweiterung der Parabel zwingend notwendig.

Komplexe Modellansätze ergeben genauere Antworten auf die Frage, aus welchen Richtungen Wasserteilchen einer Fassung zufließen. Zu diesen Modellen gehören solche, welche die hydrodynamische Dispersion mit einbeziehen sowie stochastische Modelle, welche die räumliche und/oder zeitliche Variabilität und Unsicherheit in den Parametern berücksichtigen.

In jüngster Zeit sind Modelle entwickelt worden, die nicht nur den möglichen Fliessweg eines Wasserpartikels aufzeigen, sondern dessen Herkunft auch quantitativ bestimmen. Diese Programme berechnen den Anteil des infiltrierenden Wassers, das von einem bestimmten Standort aus die Fassung erreicht oder die Wahrscheinlichkeit, dass das an einem bestimmten Standort infiltrierende Wasser der Fassung zuströmt. Entsprechende Modelle werden in KUHLMANN et al. (2000) und BUSSARD et al. (2004) vorgestellt.

4.4 Teilbereich des randlichen Einzugsgebietes, der die Fassung speist

Herrscht Klarheit über die laterale Begrenzung des Teilbereichs eines Grundwasserleiters, der die Fassung speist, werden die Untersuchungen auf das randliche Einzugsgebiet ausgeweitet.

Einfacher Ansatz

Analog den Verfahren in der Hydrologie wird der Anteil des randlichen Einzugsgebietes, welcher zur Speisung der Fassung beiträgt, aufgrund der Topographie bestimmt.

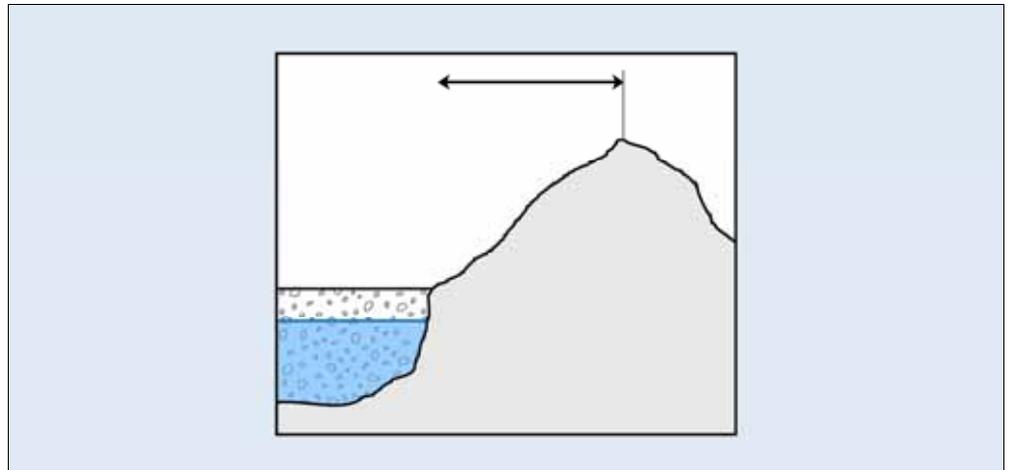


Abbildung 8:
Bestimmung des randlichen Einzugsgebietes des Grundwasserleiters aufgrund topographischer Kriterien.

Verfeinerungen

Fallweise sind weitere Kenntnisse in die Beurteilung mit einzubeziehen. Die Verfeinerungen basieren vor allem auf Informationen über die geologische Situation und/oder auf Ergebnissen von Untersuchungen über natürliche und künstliche Tracer.

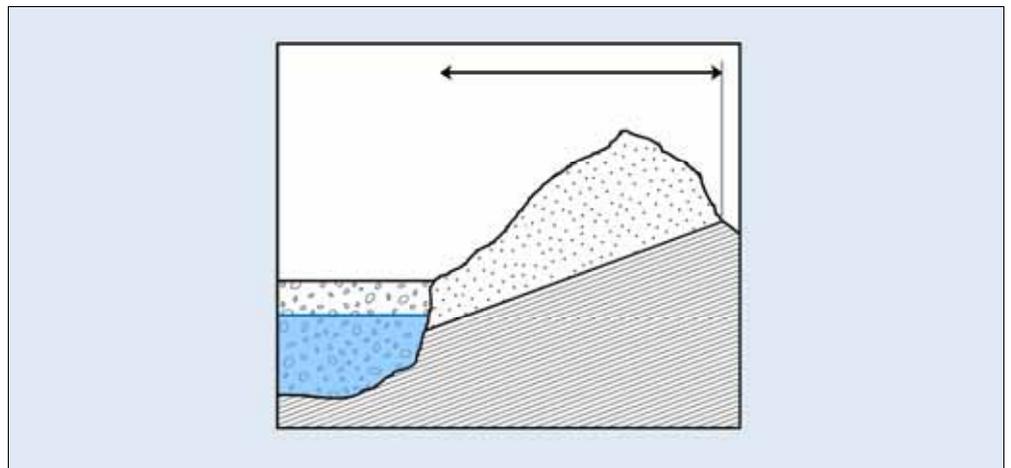


Abbildung 9:
Bestimmung des randlichen Einzugsgebietes des Grundwasserleiters aufgrund topographischer und geologischer Kriterien.

Das Einzugsgebiet der Fassung besteht somit aus dem Teilbereich des Grundwasserleiters und dem Teilbereich des randlichen Einzugsgebietes, von denen aus das in der Fassung gewonnene Grundwasser stammt.

4.5 Plausibilitätskontrolle des ermittelten Fassungseinzugsgebietes mittels Grundwasserbilanzierung

Wie in den Kapiteln 4.3 und 4.4 aufgezeigt, lässt sich das Fassungseinzugsgebiet anhand unterschiedlicher Methoden bestimmen. Es ist zwingend notwendig, die resultierende Fläche überschlagsmässig auf deren Plausibilität hin zu prüfen. Dazu bietet sich die Kontrolle mittels Grundwasserbilanzierung an. Anhand von Bilanzierungskennziffern wird der Flächeninhalt A_{FEG} des Fassungseinzugsgebietes abgeschätzt. Bei relevanten Abweichungen zwischen den beiden Werten ist das konzeptuelle Modell über die Strömungsverhältnisse zu überprüfen. Möglicherweise wurden falsche Annahmen getroffen, die ein deutlich zu grosses oder zu kleines Fassungseinzugsgebiet ergeben. Unter Umständen wurde auch von einer Bemessungsentnahmeleistung ausgegangen, die über der verfügbaren Ergiebigkeit des Grundwasserleiters am Standort der Fassung liegt (gemäss Art. 43 GSchG sorgen die Kantone dafür, dass einem Grundwasservorkommen langfristig nicht mehr Wasser entnommen wird, als ihm zufließt).

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Formeln für die Grundwasserbilanzierung zusammengefasst. Weiterführende Angaben finden sich in BUSSARD et al. (2004) und im Handbuch «Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern» (BLAU et al. 1984).

Fallweise liegen räumliche oder strukturelle Gegebenheiten vor, welche eine Plausibilitätskontrolle mittels Grundwasserbilanzierung verunmöglichen. Das gilt beispielsweise für Fassungen, die sich innerhalb oder im Abstrom einer flaschenhalsförmigen Verengung eines Grundwasserleiters befinden. Das durch die Verengung strömende Grundwasser stammt aus dem gesamten hydrogeologischen Einzugsgebiet des obliegenden Grundwasserleiters. Es entspricht somit dem Fassungseinzugsgebiet. Eine Berechnung mit den in Tabelle 3 angegebenen Formeln würde jedoch einen viel zu geringen Flächeninhalt für das Fassungseinzugsgebiet ergeben.

Sind weiterführende Untersuchungen mit unverhältnismässig hohem Aufwand verbunden oder bestehen unlösbare Ungewissheiten über den Perimeter des Fassungseinzugsgebietes (s. Kapitel 5.1), so sind die Untersuchungen abubrechen und das ermittelte Fassungseinzugsgebiet als **Zuströmbereich Z_u** zu bezeichnen.

Tabelle 3: Grundwasserbilanzierung.

Formel		Bedeutung
Flächeninhalt des Fassungseinzugsgebietes		
$A_{FEG} = \frac{Q_E + Q_W - Q_I}{q_N} \cdot D_f$	A _{FEG}	Flächeninhalt des Fassungseinzugsgebietes [m ²]
	Q _E	Bemessungsentnahmeleistung der entsprechenden Fassung [m ³ /s]
	Q _W	Grundwasserwegflüsse wie zusätzliche Entnahmen im Fassungseinzugsgebiet, Exfiltrationen in Oberflächengewässer und Exfiltrationen in Drainagen [m ³ /s]
	Q _I	Infiltrationen aus Oberflächengewässern [m ³ /s]
	q _N	Spezifische Grundwasserneubildung im Fassungseinzugsgebiet durch versickerndes Niederschlagswasser [m/s]
	D _f	Korrekturfaktor [-]: siehe unten
Grundwasserneubildung durch versickerndes Niederschlagswasser		
Basisformel: $Q_N = N - A_O - V$	Q _N	Grundwasserneubildung durch versickerndes Niederschlagswasser [m ³ /s]
	N	Gebietsniederschlag [m ³ /s]
	A _O	Oberflächenabfluss [m ³ /s]
	V	Verdunstung [m ³ /s]: Summe aus Evaporation, Interzeption und Transpiration
Simplifizierte Formel: $q_N = N \cdot f$	q _N	Spezifische Grundwasserneubildung durch versickerndes Niederschlagswasser [m/s]
	N	Niederschlag [m/s]
	f	Infiltrationskoeffizient [-] f ≈ 0.5 für Gebiete mit ausgeprägter Versickerung f ≈ 0.3 für Gebiete mit geringer Versickerung (feinkörnige Deckschichten, Hanglage usw.)
Mehrere Teilgebiete mit unterschiedlicher GW-Neubildung: $Q_N = Q_{N1} + Q_{N2} + Q_{N3} + \dots$	Q _N	Grundwasserneubildung des gesamten Fassungseinzugsgebietes [m ³ /s]
	Q _{N1...}	Grundwasserneubildung durch versickerndes Niederschlagswasser der einzelnen Teilgebiete [m ³ /s]
Korrekturfaktor D_f		
Für kleine Fassungseinzugsgebiete: $1 \leq D_f \leq 1.5$ Für grosse Fassungseinzugsgebiete (mehrere km ²): $1 \leq D_f \leq 2.5$	D _f	Die hydrodynamische Dispersion und die kontinuierlichen kleinräumigen Veränderungen in der Strömungsrichtung (instationäres Verhalten des Strömungsfeldes) haben eine Durchmischung des Grundwassers zur Folge. Durch die Implementierung des Korrekturfaktors D _f [-] wird diesen Prozessen Rechnung getragen.

5 Bestimmung von Z_u nach der 90-Prozent-Regel

5.1 Zielsetzung und erforderliche Rahmenbedingungen

Innerhalb eines Fassungseinzugsgebietes kann der Speisungsbeitrag einzelner Teilflächen sehr unterschiedlich verteilt sein. In der Folge wird aufgezeigt, wie das Einzugsgebiet der Fassung in Bilanzierungszellen mit mehr oder weniger homogenem Speisungsbeitrag aufgeteilt und letztlich das Gebiet bestimmt wird, aus dem etwa 90 Prozent des entnommenen Grundwassers stammen. Dieses Gebiet stellt den Zuströmbereich Z_u dar. Damit können Teilbereiche des Fassungseinzugsgebietes, die nur in untergeordnetem Masse zur Speisung der Fassung beitragen, vom Zuströmbereich ausgeklammert werden. Zudem lassen sich die Berechnungsergebnisse auch für die Abgrenzung von empfindlichen Gebieten verwenden.

Damit die 90-Prozent-Regel angewendet werden kann, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Der Perimeter des Fassungseinzugsgebietes muss genau bekannt sein.
- Das Fassungseinzugsgebiet muss auf zweckmässige Art in praxisrelevante Bilanzierungszellen aufgeteilt werden können. Das heisst, die Variabilität in der räumlichen Verteilung der Speisungsbeiträge muss signifikant und relativ grossflächig sein.
- Die Aufteilung in Bilanzierungszellen und die Berechnung der entsprechenden Speisungsbeiträge müssen nachvollziehbar sein.
- Das Kosten/Nutzen-Verhältnis solcher Untersuchungen muss gewährleistet sein.

Oft lässt sich, selbst bei umfangreichem Wissensstand, das Fassungseinzugsgebiet nicht mit Sicherheit abgrenzen⁷. Wenn grössere Ungewissheiten über die Zugehörigkeit von Flächen zum Fassungseinzugsgebiet bestehen, kann die 90-Prozent-Regel nicht angewendet werden.

Kann Z_u nicht nach der 90-Prozent-Regel bestimmt werden, dann ist das ganze Fassungseinzugsgebiet als **Zuströmbereich Z_u** zu bezeichnen.

5.2 Gebietsaufteilung in Bilanzierungszellen

Das konzeptuelle Modell über die Strömungsverhältnisse bildet die Grundlage für die Aufteilung des Fassungseinzugsgebietes in einzelne Bilanzierungszellen. Diese werden nach dem Prinzip des Flächenverschnittes anhand folgender Kriterien generiert:

- grossräumige, relevante Unterschiede in der Grundwasserneubildung (Q_{N+I})
- grossräumige, relevante Unterschiede im Anteil Grundwasser (P), das aus einem bestimmten Teilgebiet der Fassung zuströmt.

⁷ Zum Beispiel: Weit verzweigtes und von der Quelle weit entfernt liegendes Einzugsgebiet, dessen Umgrenzung nicht genau ermittelt werden kann oder Einzugsgebiete von Fassungen, die mehrere und zum Teil komplexe Strömungssysteme enthalten (vgl. Kapitel 4.2).

Der Begriff **Grundwasserneubildung** Q_{N+I} bezeichnet den Zufluss von infiltrierendem Wasser zum Grundwasser. Er beinhaltet sowohl die Neubildung durch Niederschlagswasser Q_N als auch die Neubildung durch infiltrierendes oberirdisches Wasser Q_I . Ein infiltrierendes Gewässer kann pro Flächeneinheit eine bedeutend höhere Neubildung bewirken, als dies bei den umliegenden Gebieten, in denen lediglich eine Speisung durch versickerndes Niederschlagswasser stattfindet, der Fall ist. Deshalb wird bei Anwendung dieser Methode grundsätzlich empfohlen, infiltrierende Oberflächengewässer als separate Bilanzierungszellen auszuscheiden.

Die Variabilität der auf die Versickerung von Niederschlagswasser zurückzuführenden Grundwasserneubildung Q_N ergibt sich vor allem durch die Heterogenität in der Zusammensetzung der Deckschichten und durch Unterschiede im Relief. Fallweise können auch Abweichungen der klimatischen Bedingungen innerhalb des Fassungseinzugsgebietes eine Rolle spielen.

Nachfolgend sind drei Beispiele aufgeführt, bei denen mit grossräumigen, relevanten Unterschieden in der Grundwasserneubildung zu rechnen ist:

Beispiel 1 Der Zuflussbereich der zu untersuchenden Fassung wird von einem Fluss durchquert. Die mittlere Infiltrationsrate wurde im Rahmen einer hydrogeologischen Grundlagenstudie bestimmt. Sie beträgt – umgerechnet pro Flächeneinheit – ein Mehrfaches der direkten Grundwasserneubildung, die aus versickerndem Meteorwasser hervorgeht.

Beispiel 2 In der Talebene versickert ein wesentlicher Anteil des Niederschlagswassers in den Untergrund. Andere Verhältnisse liegen im Bereich des randlichen Einzugsgebietes des Grundwasserleiters vor: Zahlreiche, in den randlichen Hangzonen entspringende Bäche zeugen davon, dass ein bedeutender Anteil des Niederschlagswassers oberirdisch abfließt. Die Grundwasserneubildung fällt im randlichen Einzugsgebiet wesentlich geringer aus als in der Talebene.

Beispiel 3 Der Teilbereich des Grundwasserleiters, der zur Speisung der Fassung beiträgt, lässt sich bezüglich der Überdeckung in zwei Gebiete aufteilen: Zum einen besteht die Deckschicht aus feinkörnigen Verlandungssedimenten. Die vertikale Versickerung ist stark eingeschränkt, ein Grossteil des Niederschlagswassers wird durch ein Drainagesystem abgeleitet respektive verdunstet. Zum anderen liegt ein Gebiet vor, in dem die Deckschicht aus gut durchlässigem Material besteht. Dieses Gebiet trägt massgeblich zur Grundwasserneubildung bei.

Der tatsächliche **Anteil an Grundwasser** P ($0 \leq P \leq 1$), das einer Fassung zuströmt, wird durch die hydrologischen Verhältnisse im Fassungseinzugsgebiet respektive durch die Eigenschaften der Fassung selbst bestimmt.

Auch hierzu einige Beispiele:

- Beispiel 1** Die Quellgruppe, für welche der Zuströmbereich bestimmt werden soll, entwässert das Einzugsgebiet zu 100 Prozent. Für das ganze Einzugsgebiet gilt somit $P = 1$, d.h. die Festlegung mehrerer Bilanzierungszellen basiert einzig auf der Variabilität in der Neubildungsrate.
- Beispiel 2** Die Fassung wurde als unvollständiger Brunnen erstellt und der Betrieb erfolgt intermittierend. Ungefähr 40 Prozent des Wassers aus dem Fassungseinzugsgebiet fließen ungenutzt unter der Fassung durch bzw. an ihr vorbei. Für die entsprechenden Bilanzierungszellen gilt somit $P = 0.6$.
- Beispiel 3** Im Einzugsgebiet einer Fassung liegt die Schlaufe eines Fließgewässers. Aus hydrogeologischen Untersuchungen ist bekannt, dass etwa 50 Prozent des Grundwassers ins Fließgewässer exfiltrieren, die restlichen 50 Prozent das Gewässer unterströmen und der Fassung zufließen. Für die Bilanzierungszellen in Anströmrichtung der Flussschlaufe gilt somit $P = 0.5$.
- Beispiel 4** Im Einzugsgebiet der zu untersuchenden Fassung befindet sich ein weiteres «konkurrierendes» Grundwasserpumpwerk. Fürs Einzugsgebiet der konkurrierenden Fassung nimmt man an, dass etwa 30 Prozent des Grundwassers weiterströmen und die zu untersuchende Fassung erreichen. Für die entsprechenden Bilanzierungszellen gilt somit $P = 0.3$.

In vielen Fällen ist davon auszugehen, dass P gegen den Rand des Fassungseinzugsgebietes abnimmt. Die Quantifizierung von P basiert auf Informationen aus Tracer-Untersuchungen, Ergebnissen aus hydrochemischen Untersuchungen, Grundwassermodellen oder Analogieschlüssen. Umfassende Angaben dazu finden sich in BUSSARD et al. (2004).

5.3 Berechnung des Speisungsbeitrages der einzelnen Bilanzierungszellen

Für jede Bilanzierungszelle wird der Speisungsbeitrag ermittelt. Dieser Speisungsbeitrag C_i ergibt sich für die Bilanzierungszelle i aus dem Produkt der effektiven Grundwasserneubildung $Q_{N+I,i}$ und dem Anteil Grundwasser P_i , das von der Zelle der Fassung zuströmt. Die Summe der Speisungsbeiträge der einzelnen Zellen entspricht somit der Entnahmeleistung der untersuchten Fassung. Die entsprechenden Formeln sind in Tabelle 4 aufgeführt. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode findet sich in BUSSARD et al. (2004).

Für die Bilanzierung einzelner Zellen sind sowohl an die Untersuchungstiefe, als auch an die Datenqualität bedeutend höhere Anforderungen zu stellen, als für die im Kapitel 4.5 aufgeführte Grobbilanzierung, welche nur der überschlagsmässigen Plausibilitätskontrolle bezüglich Flächeninhalt des Einzugsgebietes dient. Dementsprechend sind in der Regel zusätzliche Felduntersuchungen und/oder Modellberechnungen notwendig.

Tabelle 4: Berechnung des Speisungsbeitrages nach dem Prinzip der Zellenbilanzierung.

Formel	Zeichen	Bedeutung
Speisungsbeitrag		
$C_i = Q_{N+I,i} \cdot P_i$ $0 \leq P_i \leq 1$ $C_{tot} = \sum_{i=1}^n C_i$	C_i	Speisungsbeitrag der Bilanzierungszelle i [m^3/s]
	$Q_{N+I,i}$	Grundwasserneubildung der Bilanzierungszelle i [m^3/s]. Berücksichtigt wird sowohl die Neubildung aus versickerndem Niederschlag als auch Uferfiltrat.
	P_i	Anteil Grundwasser, das von der Bilanzierungszelle i die Fassung erreicht [-]
	C_{tot}	Summe der Speisungsbeiträge sämtlicher Bilanzierungszellen innerhalb des Fassungseinzugsgebietes [m^3/s]
Speisungsbeitrag im Vergleich zur Entnahmeleistung bzw. Quellschüttung		
$Q_E \approx C_{tot}$	Q_E	Bemessungsentnahmeleistung der zu untersuchenden Fassung [m^3/s]

5.4 Festlegung des Zuströmbereichs Z_u anhand der Zellenbilanzierung

Die Speisung C_{tot} ergibt sich aus der Summe der Speisungsbeiträge C_i der einzelnen Bilanzierungszellen. Für die Bestimmung des Zuströmbereichs Z_u werden so viele Bilanzierungszellen berücksichtigt, bis die Summe der einzelnen Speisungsbeiträge C_i in etwa 90 Prozent der totalen Speisung C_{tot} ergeben. Bei dieser Additionsprozedur werden zuerst die Bilanzierungszellen mit hohen Speisungsbeiträgen berücksichtigt (also beispielsweise Flussinfiltrat-Zellen). Auf diese Art und Weise lassen sich Bilanzierungszellen mit sehr geringem Speisungsbeitrag vom Zuströmbereich ausklammern.

Kann der **Zuströmbereich Z_u** nach der Methode der Zellenbilanzierung bemessen werden, so umfasst der Zuströmbereich die Summe derjenigen Bilanzierungszellen, von denen gesamthaft etwa 90 Prozent der totalen Grundwasserspeisung ausgehen.

6 Literatur

- BEAR J., JACOBS M. 1965: *On the movement of water bodies injected into aquifers*. Journal of Hydrology, 3, S. 37–57.
- BLAU R.V. et al. 1984: *Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental – Handbuch*. Sonderdruck Nr. 1056 aus Gas – Wasser – Abwasser 1984/5.
- BUSSARD T., TACHER L., PARRIAUX A., BAYARD D. MAITRE V. 2004: *Dimensionnement des aires d'alimentation Zu*. Document de base. Erschienen in: Vollzug Umwelt Nr. 183, BUWAL/OFEFP, 143 S.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 2004: *Wegleitung Grundwasserschutz*.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 1999: *Grundlagensammlung Nitratstrategie*. Schemenordner zusammengestellt durch die Arbeitsgruppe Nitratstrategie. Laufend aktualisiert.
- BWG/SGH (Bundesamt für Wasser und Geologie, Schweizerische Gesellschaft für Hydrogeologie) 2002: *Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie*, Praxishilfe.
- BWG 2001: *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. 5. Auflage, Ordner 2, Teil 8.
- KUHLMANN U., JORDAN P., TRÖSCH J. 2000: *Zuströmbereiche von Grundwasserentnahmen*. GWA (Gas – Wasser – Abwasser), 4/2000, S. 278–286.
- MICHEL P. 2001: *Zuströmbereiche für Grundwasserfassungen – Definition und Zweck*. GWA (Gas – Wasser – Abwasser), 1/2001, S. 5–9.