

> Grundwasserschutzzonen bei Lockergesteinen

Ein Modul der Vollzugshilfe Grundwasserschutz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Grundwasserschutzzonen bei Lockergesteinen

Ein Modul der Vollzugshilfe Grundwasserschutz

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist ein Modul der Vollzugshilfe Grundwasserschutz des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Es 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 BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (bisher oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Autoren

Daniele Biaggi, Sabine Schwienbacher und Lorenz Guldenfels, Geotechnisches Institut AG, Bern; Eduard Hoehn, Eawag, Dübendorf; Riccardo Bernasconi, Büro Dr. R. Bernasconi, Sargans; Paul Felber, Büro Dr. Lorenz Wyssling AG, Pfaffhausen.

Begleitung BAFU

Sektion Grundwasserschutz und Rechtsdienst 3

Zitierung

BAFU 2012: Grundwasserschutz zonen bei Lockergesteinen. Ein Modul der Vollzugshilfe Grundwasserschutz. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1207: 58 S.

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Titelbild

Kiesgrube bei Baar, Benjamin Meylan, BAFU

Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download

BBL, Vertrieb Bundespublikationen, CH-3003 Bern

Tel. +41 (0)31 325 50 50, Fax +41 (0)31 325 50 58

verkauf.zivil@bbl.admin.ch

Bestellnummer: 810.100.094d

www.bafu.admin.ch/uv-1207-d

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2012

> Inhalt

Abstracts	5	5.8 Beispiele zur Eignungsprüfung	31
Vorwort	7		
Zusammenfassung	8		
Einleitung	9		
1 Regelungsbereich und Rechtsgrundlagen	11	6 Bemessung der Schutzzonen	32
1.1 Regelungsbereich	11	6.1 Grundsätzliches zu den Methoden	32
1.2 Rechtsgrundlagen	11	6.2 Bestimmung des Fassungseinzugsgebietes	34
2 Grundwasser im Lockergestein: Vorkommen und Eigenschaften	13	6.3 Bestimmung des Absenkttrichters bzw. des Entnahmebereichs	34
2.1 Vorkommen	13	6.4 Bestimmung der 10-Tages-Isochrone	35
2.2 Filterwirkung	13	6.4.1 Die 10-Tages-Isochrone	35
2.3 Heterogenität	14	6.4.2 Markierversuche	35
2.4 Interaktion mit anderen Grundwasserleiter-Typen	14	6.4.3 Verfahren nach Wyssling	38
3 Grundwasserschutzzonen bei Lockergesteins-Grundwasserleitern	15	6.4.4 Grundwassermodelle	40
3.1 Fassungsgebiet (Zone S1)	15	6.5 Dimensionierung der Zonen S1, S2 und S3	42
3.2 Engere Schutzzone (Zone S2)	15	6.5.1 Zone S1	42
3.3 Weitere Schutzzone (Zone S3)	15	6.5.2 Zone S2	43
4 Empfohlener Verfahrensablauf zur Ausscheidung der Schutzzonen	17	6.5.3 Zone S3	44
5 Standortbeurteilung und Eignungsprüfung	20	6.5.4 Die «praktische» Umgrenzung von Schutzzonen	45
5.1 Allgemeine Überlegungen zur Eignung eines Fassungsstandortes im Hinblick auf die Schutzzonenausscheidung	20	7 Abklärungen zur Erstellung des Gefahrenkatasters und des Konfliktplans	46
5.2 Vorgehen bei geplanten Fassungen	20		
5.3 Vorgehen bei bestehenden Fassungen	23	8 Hydrogeologischer Schutzzonenbericht	48
5.4 Nachweis einer genügenden Grundwassermenge und einer einwandfreien Grundwasserqualität	26	8.1 Zweck und Anforderungen	48
5.5 Wasseraufbereitung	26	8.2 Grunddaten	48
5.6 Wassermenge, die höchstens entnommen werden darf	27	8.3 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse	49
5.7 Aufzeichnung des Gefährdungspotenzials auf Stufe Eignungsprüfung	28	8.4 Grundwasserqualität	51
		8.5 Gefahrenkataster und Konfliktplan	52
		9 Massnahmen in den Grundwasserschutzzonen	54
		9.1 Verweis auf die Begleitung Grundwasserschutz	54
		9.2 Massnahmenkatalog für die Sanierung bzw. Überwachung vorhandener Nutzungen mit Konfliktpotenzial	54
		Verzeichnisse	57
		Literatur	58

> Abstracts

This module of the enforcement guide groundwater protection indicates the procedure for delimiting groundwater protection zones in unconsolidated rock. The process involves a step by step approach: a suitability test is used to determine whether a location is suitable for a well, which forms the basis for the studies for dimensioning the protection zones. Special attention is given to recording and evaluating the hazard potential. The most common hydrogeological methods for dimensioning the protection zones and in particular analysis of the 10 day isochrones are listed. The enforcement guide is addressed primarily to the enforcement authorities and also to water utilities and consultant geologists.

Keywords:

Enforcement guide
Groundwater protection zones
Unconsolidated rock

Dieses Modul der Vollzugshilfe Grundwasserschutz zeigt die Vorgehensweise bei der Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen in Lockergesteinen auf. Der Verfahrensablauf sieht ein schrittweises Vorgehen vor: Die Feststellung der Zweckmässigkeit eines Fassungsstandortes durch eine Eignungsprüfung bildet die Voraussetzung, um die Untersuchungen zur Dimensionierung der Schutzzonen einzuleiten. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Aufzeichnung und Beurteilung des Gefährdungspotenzials gelegt. Zur Bemessung der Schutzzonen und insbesondere zur Bestimmung der 10-Tages-Isochrone sind die gängigen hydrogeologischen Methoden aufgeführt. Die Vollzugshilfe richtet sich primär an die Vollzugsbehörden sowie an die Wasserversorgungen und an beratende Geologinnen und Geologen.

Stichwörter:

Vollzugshilfe
Grundwasserschutzzonen
Lockergesteine

Ce module présente la marche à suivre pour délimiter les zones de protection des eaux souterraines en roches meubles. La procédure prévue se déroule par étapes: les investigations pour délimiter les zones de protection nécessitent tout d'abord un contrôle d'adéquation destiné à déterminer l'utilité d'un emplacement de captage. Il convient d'accorder une attention particulière à l'identification et à l'évaluation du danger potentiel. Les méthodes hydrogéologiques ordinaires servent à délimiter les zones de protection et notamment à déterminer l'isochrone 10 jours. L'aide à l'exécution s'adresse en premier lieu aux autorités d'exécution ainsi qu'aux services des eaux et aux géologues consultants.

Mots-clés:

Aide à l'exécution
Zones de protection des eaux
souterraines
Roches meubles

Questo modulo del aiuto a l'esecuzione protezione delle acque sotterranee illustra la procedura di delimitazione delle zone di protezione delle acque sotterranee in rocce incoerenti. La procedura si compone di più fasi: la determinazione dell'adeguatezza di un sito di captazione mediante una prova di idoneità costituisce il presupposto per avviare le analisi per il dimensionamento delle zone di protezione. Particolare attenzione è posta all'identificazione e alla valutazione del potenziale di minaccia. Per la misurazione delle zone di protezione e soprattutto per la determinazione dell'isocrono 10 giorni sono elencati i metodi idrogeologici tradizionali. Il presente aiuto all'esecuzione si rivolge in primo luogo alle autorità esecutive, agli addetti dell'approvvigionamento idrico e ai consulenti in ambito geologico.

Parole chiave:

aiuto all'esecuzione
zone di protezione delle acque
sotterranee
rocce incoerenti

> Vorwort

Grundwasserschutzzonen dienen dazu, Trinkwassergewinnungsanlagen und das Grundwasser unmittelbar vor seiner Gewinnung als Trinkwasser vor Beeinträchtigungen zu schützen. Sie sind gemäss Gewässerschutzgesetzgebung um die im öffentlichen Interesse liegenden Fassungen auszuscheiden. Grundwasserschutzzonen stellen ein wirksames planerisches Schutzinstrument dar. Zum Schutz des Grundwassers vor seiner Gewinnung als Trinkwasser sind die Nutzungen innerhalb der Grundwasserschutzzonen eingeschränkt.

Das Konzept der Grundwasserschutzzonen hat sich in den vergangenen Jahrzehnten in der Praxis gut verankert. Trotzdem tauchen immer wieder Fälle auf, die belegen, dass Schutzzonen nicht optimal dimensioniert oder Schutzmassnahmen nur ungenügend durchgesetzt wurden. Schwierigkeiten ergeben sich zudem durch Konflikte, die aus den in den Schutzzonen notwendigen Eigentums- und Nutzungsbeschränkungen resultieren.

Mit der «Wegleitung Grundwasserschutz» (BUWAL 2004) wurde die Grundlage geschaffen, gesamtschweizerisch eine Harmonisierung des Grundwasserschutzes auf hohem Niveau zu erzielen. Dazu werden für Themen, die für die Praxis nicht ausführlich genug behandelt werden konnten, ergänzende Module publiziert. Sie bilden zusammen die «Vollzugshilfe Grundwasserschutz». Für die Bemessung von Grundwasserschutzzonen in Karstgebieten und in geklüfteten Gesteinen liegen bereits entsprechende Module vor, ein solches für Grundwasservorkommen bei Lockergesteinen fehlte bislang. Mit dieser Publikation ist die Lücke nun geschlossen.

Willy Geiger
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Diese Publikation ist ein Modul der Vollzugshilfe Grundwasserschutz, welche alle relevanten Aspekte des Grundwasserschutzes umfasst. Sie zeigt die generelle Vorgehensweise zur **Festlegung von Grundwasserschutzzonen in Lockergesteins-Grundwasserleitern** auf. Zudem erläutert sie den Verfahrensablauf zur Ausscheidung von Schutzzonen, die allgemeinen Dimensionierungsgrundsätze und die methodischen Aspekte zur Bemessung von Schutzzonen in Lockergesteinen. **Rechtsgrundlagen** bilden insbesondere das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vom 24.01.1991 (GSchG, SR 814.20) und die Gewässerschutzverordnung vom 28.10.1998 (GSchV, SR 814.201).

Lockergesteins-Grundwasserleiter zeichnen sich unter anderem durch ihre hohe durchflusswirksame Porosität, eine hohe Speicherkapazität für Grundwasser und durch eine filtrierende und sorbierende Wirkung aus. Zudem ermöglichen die geringen Fliessgeschwindigkeiten des Grundwassers, dass gewisse Schadstoffe und Krankheitserreger innerhalb einer relativ kurzen Fliessdistanz abgebaut bzw. zurückgehalten werden.

Bevor Schutzzonen dimensioniert oder bestehende Zonen überprüft und gegebenenfalls modifiziert werden, gilt es, die **Eignung des Fassungsstandortes** grundsätzlich zu beurteilen. Erst wenn die Eignung eines Fassungsstandortes bejaht werden kann, sind die entsprechenden **Untersuchungen zur Bemessung der Schutzzonen** in die Wege zu leiten. Diese lassen sich unterteilen in hydrogeologische Untersuchungen, welche vor allem der Bestimmung des Entnahmebereichs und der 10-Tages-Isochrone dienen, und in Abklärungen zur Erstellung des Gefahrenkatasters bzw. des Konfliktplans.

Die Verfahrensregelung zum Erlass von Schutzzonen ist Sache der Kantone. Ein im vorliegenden Modul beispielhaft dargestelltes Ablaufschema zeigt auf, wie dieses Verfahren geregelt werden kann.

Schutzzonenplan und Schutzzonenreglement bilden zusammen eine Einheit. Der **hydrogeologische Schutzzonenbericht** ist die Grundlage dafür. Er sollte deshalb einer klaren Inhaltsstruktur folgen. In diesem Bericht sollen die Grunddaten zur Trinkwassergewinnungsanlage vollständig enthalten sein, die hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse innerhalb des Fassungseinzugsgebiets dargelegt werden und die Bemessung der Schutzzonen nachvollziehbar dokumentiert sein. Gefahrenkataster und Konfliktplan sind ebenfalls im Bericht enthalten; die daraus gewonnenen Erkenntnisse fliessen sowohl ins Schutzzonenreglement als auch in den Massnahmenkatalog ein. Schutzzonenplan und -reglement sind periodisch zu überprüfen und gegebenenfalls bei Änderungen des übergeordneten Rechts (insb. GSchG, GSchV, kantonale Gesetzgebung) oder wenn bessere Detailkenntnisse der hydrogeologischen Standortverhältnisse vorliegen, anzupassen. Führt das übergeordnete Recht weitergehende Nutzungseinschränkungen auf als das Schutzzonenreglement, ist immer das übergeordnete Recht massgebend.

> Einleitung

Zweck von Grundwasserschutzzonen

Der planerische Grundwasserschutz teilt den Raum zum Schutz des Grundwassers flächendeckend in Gewässerschutzbereiche, Grundwasserschutzzonen und -areale ein. Grundwasserschutzzonen bilden hierbei das wichtigste planerische Schutzinstrument. Sie sind um alle Grundwasserfassungen auszuscheiden, die im öffentlichen Interesse liegen.

Grundwasserschutzzonen dienen dazu, Trinkwassergewinnungsanlagen und das umgebende Grundwasser mittels gezielter Nutzungsbeschränkungen vor Beeinträchtigungen zu schützen. Sie sind unterteilt in die Zonen S1 (Fassungsbereich), S2 (Engere Schutzzone) und S3 (Weitere Schutzzone), wobei von aussen nach innen immer strengere Schutzvorschriften gelten.

Einordnung des Moduls

Die im Jahre 2004 publizierte *Wegleitung Grundwasserschutz (BUWAL)* des Bundes ist die Grundlage, um gesamtschweizerisch eine Harmonisierung des Grundwasserschutzes zu gewährleisten. Daneben bestehen weitere Module, die sich vor allem auf technischer Ebene mit der Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben auseinandersetzen. Für die Bemessung von Schutzzonen in Karstgebieten und in geklüfteten Gesteinen liegen bereits entsprechende Module vor (*Praxishilfe zur Kartierung der Vulnerabilität in Karstgebieten, BUWAL 1998* und *Praxishilfe zur Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen bei Kluft-Grundwasserleitern, BUWAL/BWG 2003*), eines für die Bemessung von Schutzzonen in Lockergesteins-Grundwasserleitern fehlte aber bisher. Mit dem nun vorliegenden Modul wird diese Lücke geschlossen.

Zielsetzung

Das vorliegende Modul der Vollzugshilfe Grundwasserschutz soll den methodischen Hintergrund zur ordnungsgemässen Bemessung von Schutzzonen im Lockergestein aufzeigen und durch Beispiele den gesamten Verfahrensablauf zur Ausscheidung der Schutzzonen veranschaulichen.

Adressaten

Die Zuständigkeit für den Vollzug des planerischen Gewässerschutzes und damit für die Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen liegt bei den Kantonen. Bei keinem anderen Element des planerischen Grundwasserschutzes sind aber Fassungsinhaber (in der Regel die Wasserversorgungen), die Standortgemeinden und die betroffenen Grundeigentümer derart stark in das Verfahren mit involviert, wie bei der Ausscheidung von Schutzzonen. Das vorliegende Modul richtet sich deshalb zwar in erster Linie an die kantonalen Fachstellen, ist aber auch für die Wasserversorgungen, Gemeinden

und Gutachterbüros, welche in enger Zusammenarbeit die Untersuchungen und Abklärungen zur Dimensionierung von Schutzzonen durchführen, eine wichtige Grundlage.

Aufbau des Moduls

Das vorliegende Modul der Vollzugshilfe Grundwasserschutz besteht aus 9 Kapiteln:

- > *Kapitel 1: Regelungsbereich und Rechtsgrundlagen*
ordnet das Modul ein, erläutert den Regelungsbereich des Moduls und seine rechtlichen Grundlagen.
- > *Kapitel 2: Grundwasser im Lockergestein: Vorkommen und Eigenschaften*
Hier werden Vorkommen, Filterwirkung und die Heterogenität des Lockergesteins-Grundwasser beschrieben.
- > *Kapitel 3: Grundwasserschutzzonen bei Lockergesteins-Grundwasservorkommen*
erklärt die Funktionen der Grundwasserschutzzonen S1, S2 und S3 im Kontext des planerischen Grundwasserschutzes.
- > *Kapitel 4: Empfohlener Verfahrensablauf zur Ausscheidung der Schutzzonen*
Hier wird ein zusammenfassendes Ablaufschema zur Schutzzonenausscheidung präsentiert.
- > *Kapitel 5: Standortbeurteilung und Eignungsprüfung*
zeigt auf, welche Kriterien zu berücksichtigen sind und welchen Stellenwert die Eignungsprüfung im Vorgehensablauf innehat.
- > *Kapitel 6: Bemessung der Schutzzonen*
zeigt die hydrogeologischen Methoden auf, die für die Bemessung von Schutzzonen zur Anwendung kommen. Der Schwerpunkt liegt hierbei bei der Bestimmung der 10-Tages-Isochrone. Zudem wird aufgezeigt, wie die Zonen zu dimensionieren sind.
- > *Kapitel 7: Abklärungen zur Erstellung des Gefahrenkatasters und des Konfliktplans*
gibt konkrete Hinweise, was in einem Gefahrenkataster berücksichtigt werden muss.
- > *Kapitel 8: Hydrogeologischer Schutzzonenbericht*
gibt Hinweise zum Inhalt hydrogeologischer Schutzzonenberichte.
- > *Kapitel 9: Massnahmen in den Grundwasserschutzzonen*
erläutert den Massnahmenkatalog als dynamisches Steuerungs- und Dokumentationsinstrument zum Vollzug der erforderlichen Massnahmen.

1 > Regelungsbereich und Rechtsgrundlagen

1.1 Regelungsbereich

Das vorliegende Modul zeigt die generelle Vorgehensweise zur **Bemessung von Grundwasserschutzzonen in Lockergesteins-Grundwasserleitern** auf. Es beinhaltet sowohl Hinweise zur Beurteilung eines Fassungsstandortes, methodisch-technische Aspekte, Angaben zu den hydrogeologischen Untersuchungen, als auch Empfehlungen zum Aufbau von hydrogeologischen Schutzzonenberichten und eine Auswahl der zu ergreifenden Massnahmen.

1.2 Rechtsgrundlagen

Artikel 20 des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991 (GSchG, SR 814.20) besagt, dass die Kantone für Grundwasserefassungen und -anreicherungsanlagen, die im öffentlichen Interesse liegen, Schutzzonen ausscheiden und die entsprechenden Eigentumsbeschränkungen festlegen. Im selben Artikel sind zudem die Pflichten der Inhaber solcher Grundwasserefassungen aufgeführt. Es sind dies die Durchführung der Erhebungen zur Abgrenzung von Schutzzonen, der Erwerb erforderlicher dinglicher Rechte und das Leisten von allfälligen Entschädigungen bei Eigentumsbeschränkungen¹.

Artikel 29 Absatz 2 der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201) präzisiert die Pflicht zur Ausscheidung von Schutzzonen, indem auf Anhang 4 Ziffer 12 GSchV verwiesen wird. In Anhang 4 Ziffer 12 GSchV werden allgemeines zu den Schutzzonen, die Unterteilung in die Zonen S1, S2 und S3, deren Zweck sowie die Dimensionierungsgrundsätze geregelt.

Artikel 30 GSchV verpflichtet die Kantone, Gewässerschutzkarten zu erstellen und zu veröffentlichen, welche unter anderem die Grundwasserschutzzonen enthalten. Die Karten sind bei Bedarf (z. B. nach Ausscheidung oder Anpassung einer Grundwasserschutzzone) zu aktualisieren.

Artikel 31 Absatz 1 GSchV sagt, dass derjenige, welcher in Schutzzonen Anlagen erstellt oder ändert oder dort andere Tätigkeiten, die eine Gefahr für die Gewässer darstellen, ausübt, Massnahmen zum Schutz der Gewässer treffen muss. Für die Grundwasserschutzzonen ist diesbezüglich insbesondere Anhang 4 Ziffer 22 GSchV zu

¹ Nach bundesgerichtlicher Rechtsprechung liegt eine entschädigungsbegründende Eigentumsbeschränkung (materielle Enteignung) dann vor, wenn der bisherige oder ein voraussehbarer künftiger Gebrauch der Sache untersagt oder in einer Weise eingeschränkt wird, die *besonders schwer* wiegt, weil dem Eigentümer eine wesentliche, aus dem Eigentum sich ergebende Befugnis entzogen wird, oder wenn die Einschränkung zwar weniger weit reicht, einzelne Eigentümer aber so betroffen werden, dass ihr Opfer gegenüber der Allgemeinheit als unzumutbar erschiene, wenn hierfür keine Entschädigung geleistet würde (vgl. BGE 102 Ia 243, E. 4a).

beachten, wo unter anderem Einschränkungen und Verbote im Zusammenhang mit der Bautätigkeit innerhalb der Schutzzonen aufgeführt sind.

Entsprechende Schutzmassnahmen müssen gemäss Artikel 31 Absatz 2 GSchV auch für bestehende Anlagen in den Schutzzonen, bei denen eine konkrete Gefahr einer Gewässerverunreinigung besteht, getroffen werden. Bestehende Anlagen in den Schutzzonen S1 und S2, die eine Grundwasserfassung oder -anreicherungsanlage gefährden, müssen innert angemessener Frist beseitigt werden, und bis dahin sind besondere Schutzmassnahmen zu treffen.

Anhang 2 Ziffer 2 GSchV enthält Anforderungen an die Wasserqualität von unterirdischen Gewässern, bei deren Nicht-Einhalten die Behörde die Verunreinigung und deren Ursachen untersucht und dafür sorgt, dass die erforderlichen Massnahmen getroffen werden (Art. 47 GSchV). Unter den Anforderungen nennt Anhang 2 Ziffer 22 GSchV unter anderem, dass die Wasserqualität von Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, so beschaffen sein muss, dass es nach Anwendung einfacher Aufbereitungsverfahren die Anforderungen der Lebensmittelgesetzgebung einhält. Die massgeblichen Anforderungen sind insbesondere in der Verordnung des EDI vom 23. November 2005 über Trink-, Quell- und Mineralwasser (SR 817.022.102) und in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung des EDI vom 26. Juni 1995 (FIV, SR 817.021.23) festgehalten.

In Grundwasserschutzzonen und -arealen gelten öffentlich-rechtliche Eigentumsbeschränkungen. Sie sind gemäss Anhang 1 der Geoinformationsverordnung vom 21. Mai 2008 (GeoIV, SR 510.620) als Geobasisdaten in den in Artikel 16 ff. des Geoinformationsgesetzes vom 5. Oktober 2007 (GeoIG, SR 510.62) und in der Verordnung vom 2. September 2009 über den Kataster der öffentlich-rechtlichen Eigentumsbeschränkungen (ÖREBKV, SR 510.622.4) geregelten Kataster der öffentlich-rechtlichen Eigentumsbeschränkungen aufzunehmen.

2 > Grundwasser im Lockergestein: Vorkommen und Eigenschaften

2.1 Vorkommen

Als Lockergesteins-Grundwasservorkommen werden Grundwasservorkommen in unverfestigten Gesteinskörpern bezeichnet, deren zusammenhängender Porenraum vollständig mit Wasser gefüllt ist bzw. von Grundwasser durchflossen wird. Lockergesteins-Grundwasservorkommen sind durch hohes Speichervermögen, geringe Grundwasserfliessgeschwindigkeiten und gute Filtereigenschaften gekennzeichnet und somit für die Trinkwassergewinnung sehr gut geeignet. Etwa 40 % des Trinkwassers der Schweiz werden durch Filterbrunnen aus Lockergestein gewonnen. Die Vielfalt dieser Wasservorkommen ist gross, da Schichtaufbau und Zusammensetzung der Grundwasserleiter je nach geologischer Situation sehr unterschiedlich sind. Kiesvorkommen in den Tälern (fluvioglaziale Lockergesteine und junge Talalluvionen) führen die ergiebigsten Grundwasservorkommen, an zweiter Stelle stehen Schottervorkommen ausserhalb der Talsohlen (Terrassenschotter, Deckenschotterablagerungen, isolierte Schotterbecken etc.). Weiter seien kiesige Moränen, Blockschutt- und Bachschuttablagerungen erwähnt sowie generell Quartärüberdeckungen von Berg- und Hügellagen, in denen Grundwasser fliesst. Die Grundwasserneubildung im Lockergestein erfolgt durch das Versickern von Niederschlägen direkt über dem Grundwasservorkommen, durch den Zufluss von Hangwasser aus randlichen Einzugsgebieten und durch Infiltration aus Oberflächengewässern. Während die Grundwassernutzung in den Talalluvionen in der Regel über ein Brunnenbauwerk erfolgt und das Wasser gepumpt werden muss, bilden die Lockergesteins-Grundwasservorkommen in Hanglage natürliche punktuelle Quellaustritte.

Vorkommen

2.2 Filterwirkung

Lockergesteine haben auf der einen Seite je nach mineralogischer Zusammensetzung und Korngrössenverteilung eine filtrierende und für gewisse Stoffe eine sorbierende Wirkung. Auf der anderen Seite ermöglicht die im Verhältnis zu Karst-Grundwasserleitern vorherrschend langsame Fliessgeschwindigkeit, dass gewisse Schadstoffe und Krankheitserreger innert relativ kurzer Fliessdistanz abgebaut bzw. zurückgehalten werden². Diese besonderen Eigenschaften von Lockergesteins-Grundwasserleitern spiegeln sich in den Grundzügen der Gesetzgebung wider: Die Instrumente des planerischen Grundwasserschutzes – allen voran die Schutzzonen – sind so konzipiert, dass bei Lockergesteins-Grundwasservorkommen eine Trinkwassernutzung in der Regel ohne Aufbereitung möglich sein soll.

² Ausnahmen: Grundwasser in Blockschuttablagerungen oder Rollkieslagen kann hohe Fliessgeschwindigkeiten aufweisen.

2.3 Heterogenität

Einer besonderen Eigenschaft von Lockergesteins-Grundwasservorkommen wird oft zu wenig Beachtung geschenkt, nämlich der räumlichen Variabilität, die in Folge variierender Sedimentationsprozesse entstanden ist. Die inneren Eigenschaften solcher Lockergesteinsablagerungen wie Porosität und Durchlässigkeit sind demzufolge in der Regel stark richtungsabhängig (anisotrop) und können sowohl in der Horizontalen wie in der Vertikalen variieren. Die vertikale Anisotropie ist entscheidend für den natürlichen Schutz, den das betreffende Grundwasservorkommen gegen das Einsickern von möglichen Schadstoffen aufweist. Örtlich können bei vertikal wechselnder Abfolge von Grundwasserleitern und -stauern spezielle Grundwasserverhältnisse vorliegen, z. B. mit sogenannten Grundwasserstockwerken, gespannten oder sogar artesisch gespannten Grundwasservorkommen.

Heterogenität und Anisotropie der Lockergesteins-Grundwasserleiter bilden eine der Hauptschwierigkeiten bei der Bemessung von Grundwasserschutzzonen. Ein möglichst gutes geologisches und hydrogeologisches Modell des zu schützenden Grundwasservorkommens sollte deshalb immer die Grundlage einer Schutzzonenausscheidung bilden.

Die Tatsache, dass zahlreiche mathematische Auswertungen auf der Annahme homogener und isotroper Bedingungen basieren, kann zu einer Unterbewertung der in Lockergesteinen auftretenden Heterogenitäten führen. Es sind vor allem die grobkörnigen Ablagerungen, welche grosse Variationen in der Durchlässigkeit aufweisen. So können sich in Alluvionen hochdurchlässige Rinnenstrukturen über mehrere Dekameter erstrecken. In diesen Strukturen ist mit bedeutend höheren Fliessgeschwindigkeiten zu rechnen als in den umgebenden feinkörnigeren und deshalb weniger durchlässigen Sedimenten. Solche **präferenzielle Fliesswege** sind oft schwierig nachzuweisen, spielen aber bei der Bemessung von Schutzzonen – insbesondere der Zone S2, welche u. a. nach der «10-Tages-Isochrone» dimensioniert wird – eine wichtige Rolle.

2.4 Interaktion mit anderen Grundwasserleiter-Typen

Zum Teil stehen Lockergesteins-Grundwasservorkommen in einer hydraulischen Beziehung zu umgebenden Karst- oder Kluft-Grundwasservorkommen. So sind beispielsweise im Jura mehrere Fassungen bekannt, die sich zwar in Lockergesteins-Grundwasserleitern befinden, das geförderte Grundwasser aber mehrheitlich aus unmittelbar angrenzenden Karstgebieten stammt. Das vorliegende Modul geht auf diese besonderen Verhältnisse, die zwangsläufig auch Auswirkungen auf die Dimensionierung von Grundwasserschutzzonen haben können, nicht ein. Eine Kombination der hier dargelegten Methoden und Dimensionierungsgrundsätze mit solchen, die für Karst-Grundwasserleiter (BUWAL 1998) oder für Kluft-Grundwasserleiter (BUWAL/BWG 2003) gelten, kann fallweise angemessen sein. Dies vor allem dann, wenn die 10-Tages-Isochrone (vgl. Kapitel 6.4) die Grenze zwischen Lockergesteinen und Karst- bzw. Kluftgesteinen überschreitet.

3 > Grundwasserschutzzonen bei Lockergesteins-Grundwasserleitern

3.1 Fassungsbereich (Zone S1)

Die Zone S1 dient dem Schutz der Fassungs- bzw. Anreicherungsanlagen und deren unmittelbaren Umgebung. Sie soll verhindern, dass Verunreinigungen direkt in die Anlage gelangen oder diese durch Eingriffe beschädigt oder gar zerstört wird. Mit einem absoluten Bau- und Nutzungsverbot gewährleistet die Zone S1, dass darin keine Aktivitäten stattfinden, ausser denjenigen, die für die Gewinnung des Trinkwassers notwendig sind.

Die Zone S1 soll im Besitz der Fassungsinhaberin bzw. der öffentlichen Hand sein und ist in der Regel mit einem Zaun oder einer Hecke abzugrenzen³. Im Interesse der einwandfreien Wasserversorgung ist eine Enteignung gerechtfertigt, sofern ein käuflicher Erwerb der Zone S1 nicht möglich ist.

3.2 Engere Schutzzone (Zone S2)

Die Zone S2 soll verhindern, dass

- > Krankheitserreger sowie abbaubare Stoffe in die Grundwasserfassung gelangen;
- > das Grundwasser durch Grabungen und unterirdische Arbeiten verunreinigt oder die natürliche Filterwirkung des Bodens und Untergrundes verringert wird;
- > Schadstoffe rasch und in hoher Konzentration in die Fassung gelangen können;
- > der Grundwasserzufluss durch unterirdische Anlagen behindert wird.

3.3 Weitere Schutzzone (Zone S3)

Die weitere Schutzzone bildet eine Pufferzone um die Zone S2. Sie gewährleistet den Schutz vor Anlagen und Tätigkeiten, die ein besonderes Risiko für das Grundwasser darstellen (z. B. Gewerbe- und Industriebetriebe mit wassergefährdenden Flüssigkeiten, Materialabbau) und soll ermöglichen, dass bei unmittelbar drohender Gefahr (z. B. Unfall mit Gefahrgut) für die erforderlichen Interventions- oder Sanierungsmaßnahmen genügend Zeit und Raum zur Verfügung stehen.

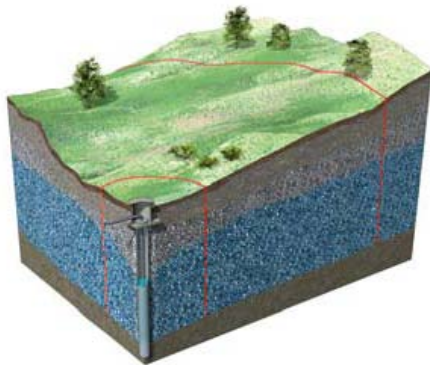
³ Ausnahmen sind in schwer zugänglichen Gebieten möglich.

Abb. 1 > Grundwasserschutzzonen als natürliche Trinkwasseraufbereitungsanlagen

Grundwasserschutzzonen sind integrale Bestandteile der Grundwasserfassung. Sie schützen das Grundwasser unmittelbar vor seiner Nutzung als Trinkwasser vor Beeinträchtigungen. Die Engere Schutzzone (Zone S2) soll sicherstellen, dass das Grundwasser auf seinem Weg zur Trinkwasserfassung auf natürliche Weise gereinigt wird, so dass auf eine Aufbereitung verzichtet werden kann. Insbesondere die Zone S2 wirkt – analog zu einem Seewasserwerk – als natürliche Aufbereitungsanlage des Grundwassers kurz vor seiner Nutzung als Trinkwasser. Damit kann in der Regel auf eine aufwändige Aufbereitung des Trinkwassers verzichtet werden. Innerhalb der Schutzzonen müssen bestehende Gefährdungen beseitigt werden, und es dürfen – genauso wenig wie bei Trinkwasseraufbereitungsanlagen von Seewasserwerken – keine neuen Gefährdungen geschaffen werden.



Bei einem Seewasserwerk wird das Oberflächenwasser mit aufwändiger Technik zu Trinkwasser aufbereitet.



Trinkwasser aus Lockergestein ist in der Regel so rein, dass es nicht aufbereitet werden muss.



Hier übernehmen der Boden und der Untergrund die Reinigung des Wassers auf natürliche Weise (in der Abbildung symbolisch als Anlage dargestellt). Daher gelten in der Engeren Schutzzone Nutzungseinschränkungen (z. B. Ausbringungsverbot für Gülle)

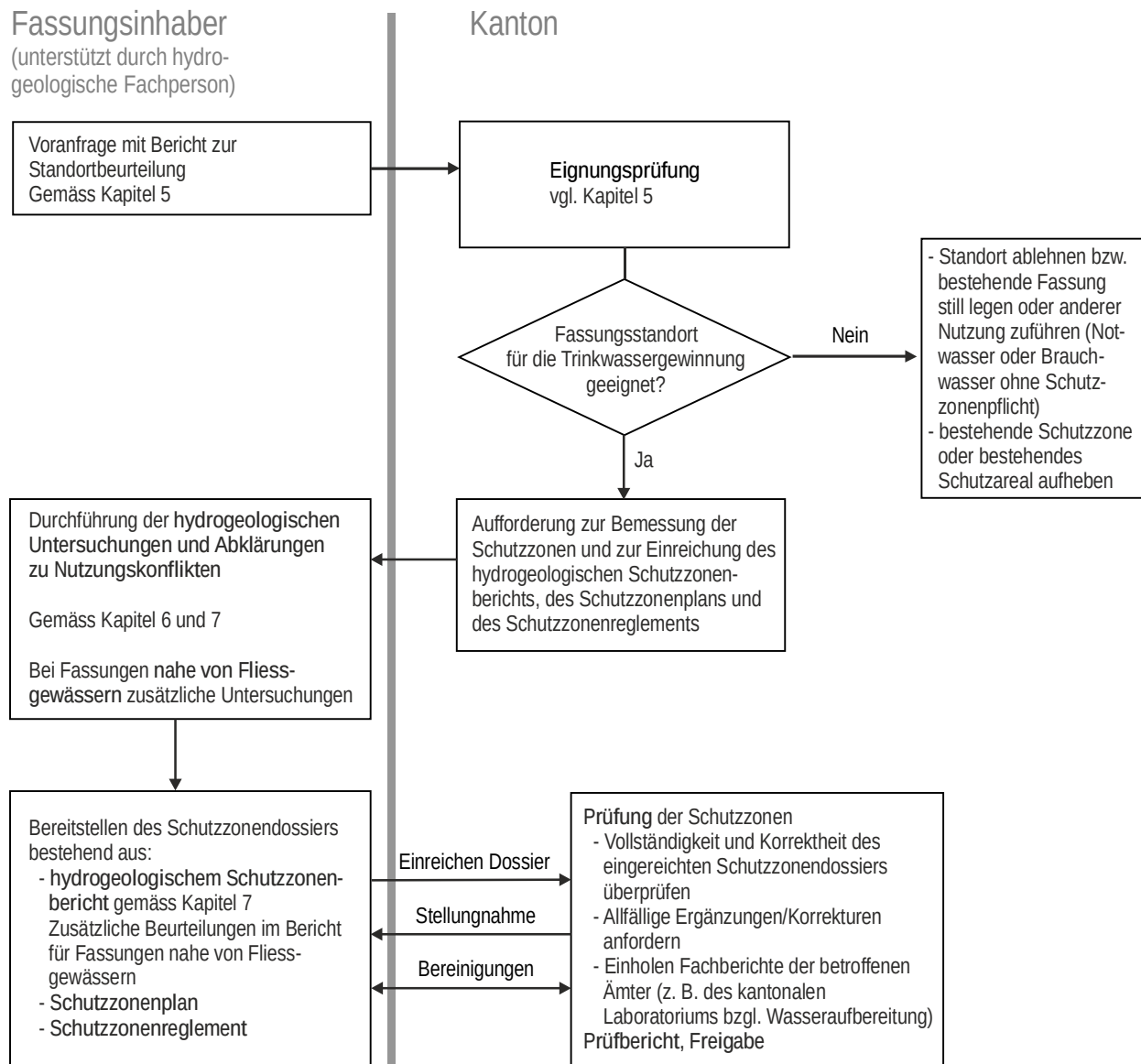
4 > Empfohlener Verfahrensablauf zur Ausscheidung der Schutzzonen

Die Verfahrensregelung zur Ausscheidung von Schutzzonen ist Sache der Kantone. Ein mögliches Ablaufschema ist in Abb. 2 dargestellt. Bei mehreren Verfahrensschritten sind im dargestellten Schema Bezüge zu den entsprechenden Kapiteln des vorliegenden Moduls angegeben.

Die ausgeschiedenen Schutzzonen werden im Schutzzonenplan und die darin geltenden Nutzungsbeschränkungen im Schutzzonenreglement festgehalten. Schutzzonenplan und Schutzzonenreglement bilden zusammen eine Einheit. Ein hydrogeologischer Schutzzonenbericht bildet die Grundlage für die Schutzzonenausscheidung.

Zahlreiche Elemente des empfohlenen Verfahrensablaufs weisen einen generellen Charakter auf, d.h. sie gelten unabhängig davon, ob ein Lockergesteins-, Karst- oder Kluft-Grundwasservorkommen betroffen ist. Eine komplette Gleichstellung liegt jedoch nicht vor, denn bei den übrigen Typen von Grundwasservorkommen sind zum Teil weitere Bearbeitungsetappen oder Entscheidungsschritte angebracht. Beispielsweise ist bei Kluft-Grundwasservorkommen im Verlauf der Bearbeitung zu entscheiden, welche der drei möglichen Methoden zur Schutzzonenausscheidung (nach BUWAL/BWG 2003: Distanz-Methode, Isochronen-Methode, DISCO-Methode) im konkreten Fall anzuwenden ist. Zudem lassen sich die im vorliegenden Modul beschriebenen Methoden zur Beurteilung des Gefährdungspotenzials (Kap. 5.7) sowie zur Erstellung von Gefahrenkataster und Konfliktplan (Kap. 8.5) nicht eins-zu-eins auf sehr grosse Schutzzonen in Karstgebieten übertragen.

Abb. 2 > Mögliches Ablaufschema zum Erlass von Grundwasserschutzzonen im Lockergestein



Fassungsinhaber

Gewährung des rechtlichen Gehörs:

- Orientierung der Grundeigentümer/-innen
- Empfehlung: Aufzeigen der vorgesehenen (meist freiwilligen) Entschädigungen durch die Wasserversorgung

Einreichen Schutzzonengesuch:
Gesuch um Publikation und öffentliche Auflage

Umsetzung
Allenfalls Ausrichtung der Entschädigungen (meist freiwillig) und Ausführung der Massnahmen gemäss Massnahmenkatalog sowie diesen mindestens jährlich aktualisieren. Gemäss Kapitel 9

Umfassende und regelmässige Information der Bevölkerung, speziell der von der Schutzzone direkt betroffene Landeigentümer, Mieter und Pächter.

Kanton, Standortgemeinde(n)

Publikation und öffentliche Auflage
Schutzzonenplan und Reglement

Einsprachen?

ja

Einsprache-
verhandlung, ggf.
Rekursverfahren

nein

Genehmigungsbeschluss (inkl. Entscheid über erledigte Einsprachen) und Inkraftsetzung.
Bei Änderungen bestehender Schutzzonen sind die «alten» Schutzzonen gleichzeitig ausser Kraft zu setzen. Ggf. Vergabe der Konzession.

Eintrag der Schutzzonen in die Gewässerschutzkarte, in den Kataster für öffentlich-rechtliche Eigentumsbeschränkungen, in den kommunalen Zonenplan, ggf. Anmerkung der Schutzzonen im Grundbuch.

5 > Standortbeurteilung und Eignungsprüfung

5.1 Allgemeine Überlegungen zur Eignung eines Fassungsstandortes im Hinblick auf die Schutzzonenausscheidung

Um unnötige Kosten zu vermeiden, sollte vor den eigentlichen Untersuchungen zur Abgrenzung der Schutzzonen nachgewiesen sein, dass der Fassungsstandort zur Trinkwassergewinnung geeignet ist. Insbesondere muss eine bundesrechtskonforme Schutzzone ausgeschieden werden können.

5.2 Vorgehen bei geplanten Fassungen

Die Standortwahl hängt einerseits von hydrogeologischen Kriterien wie der Ergiebigkeit und der Beschaffenheit des Grundwassers ab, andererseits von den Möglichkeiten, die nähere Umgebung der künftigen Trinkwasserfassung ordnungsgemäss schützen zu können.

Es empfiehlt sich, die mit den künftigen Schutzzonen verbundenen Nutzungseinschränkungen frühzeitig zu berücksichtigen.

Die nachfolgend aufgeführte Checkliste fasst die zu berücksichtigenden Kriterien zusammen. Es ist zu beachten, dass die Gefahr einer Verschmutzung des Trinkwassers einer Grundwasserfassung unter anderem vom Flurabstand und von der Mächtigkeit des Grundwasservorkommens bzw. von der Entnahmetiefe abhängt. Letzteres ist in der nachfolgenden Tabelle nicht berücksichtigt.

Tab. 1 > Checkliste zur Standortbewertung geplanter Fassungen**Hydraulische Eignungskriterien des Standortes**

- Erforderliche Feldergiebigkeit (bzw. Quellergiebigkeit) vorhanden ☐ ja
☐ nein
- Anvisierte Konzessionswassermenge $\leq$ nutzbares Dargebot unter Berücksichtigung bestehender Nutzungen ☐ ja
☐ nein

Schutzwirkung Überdeckung

minimaler Flurabstand

- ☐ 0–2 m hohes Risiko, dass Schadstoffe rasch ins Grundwasser gelangen
- ☐ 2–6 m je nach Ausbildung des ungesättigten Untergrundes:
hohes bis mittleres Risiko, dass Schadstoffe rasch ins Grundwasser gelangen
- ☐ > 6 m je nach Ausbildung des ungesättigten Untergrundes:
mittleres bis geringes Risiko, dass Schadstoffe ins Grundwasser gelangen

Vorhandensein bindiger, geringdurchlässiger Deckschichten

- ☐ homogene Ausbildung im Bereich der zukünftigen Schutzzone⁴
- ☐ 0–1 m, geringdurchlässige Deckschicht, sehr geringe Schutzwirkung
- ☐ 1–3 m, geringdurchlässige Deckschicht, geringe bis mittlere Schutzwirkung
- ☐ > 3 m, geringdurchlässige Deckschicht, mittlere bis grosse Schutzwirkung
- ☐ heterogene Ausbildung im Bereich der zukünftigen Schutzzone
- ☐ grössere Bereiche mit geringer Schutzwirkung vorhanden
- ☐ grössere Bereiche mit mittlerer Schutzwirkung vorhanden
- ☐ unbekannt⁵

Grundwasserqualität

- ☐ i.O.
- ☐ nicht i.O.
- ☐ Probleme mit grosser Wahrscheinlichkeit behebbbar, sofern
- ☐ die laut Gewässerschutzrecht geltenden Nutzungseinschränkungen in den Schutzzonen umgesetzt werden (z. B. Verbot der Verwendung bestimmter Pflanzenschutzmittel, Verbot des Umschlags wasser-gefährdender Flüssigkeiten)
- ☐ gegenüber dem Gewässerschutzrecht verschärfte Nutzungseinschränkungen in den Schutzzonen erlassen werden (z. B. verschärfte Anwendungseinschränkungen für Pflanzenschutzmittel)
- ☐ eine Sanierung im Rahmen des «Zuströmbereichs Z_u » erfolgen kann
- ☐ eine Sanierung im Rahmen des Vollzugs der Altlastenverordnung erfolgen kann
- ☐ bei natürlichen Qualitätsproblemen eine Wasseraufbereitung eingerichtet wird (z. B. Enteisung)
- ☐ Probleme mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht behebbbar

⁴ In der Regel darf (v. a. in glazialen bzw. glazifluvialen Sedimenten) nicht davon ausgegangen werden, dass eine bindige Schutzschicht über grössere Flächen homogen und unverletzt vorhanden ist.

⁵ Entsprechende Untersuchungen anordnen.

Gefährdungen/Konflikte

- ☐ keine relevanten Gefährdungen bzw. unzulässigen Nutzungen im Gebiet, das künftig in den Zonen S1, S2 oder S3 liegen dürfte.
- ☐ relevante Gefährdungen bzw. unzulässige Nutzungen im Gebiet, das künftig in den Zonen S1, S2 oder S3 liegen dürfte, vorhanden
- ☐ Gefährdungen bzw. unzulässige Nutzungen können voraussichtlich saniert oder entfernt werden.
- ☐ *Gefährdungen bzw. unzulässige Nutzungen können voraussichtlich nicht in genügendem Mass saniert oder entfernt werden.*

Infiltration eines Oberflächengewässers

- ☐ unbekannt⁶
- ☐ Anteil Infiltrat von untergeordneter Bedeutung (< 10 %)
- ☐ Grundwasser besteht aus einem nennenswerten Anteil aus Oberflächenwasserinfiltrat.
- ☐ Das infiltrierende Oberflächengewässer wird vermutlich im Bereich der künftigen Schutzzonen liegen, und zwar
- ☐ in der Zone S2 bzw. in den Zonen S2 und S3⁷
- ☐ gute Qualität des Oberflächenwassers und geringes Verschmutzungsrisiko im Einzugsgebiet⁸
- ☐ *schlechte Qualität des Oberflächenwassers und/oder relevantes Verschmutzungsrisiko im Einzugsgebiet*
- ☐ ausschliesslich in der Zone S3
- ☐ Das Oberflächengewässer wird vermutlich ausserhalb der künftigen Schutzzonen liegen.

Gewässerraum⁹

- ☐ der aktuelle Zustand erfüllt die Anforderungen an den Gewässerraum gem. GSchG
- ☐ der aktuelle Zustand erfüllt die Anforderungen an den Gewässerraum nicht

Heutiger planerischer Grundwasserschutz

- ☐ Grundwasserschutzareal
- ☐ Gewässerschutzbereich A_u
- ☐ übrige Bereiche

Die in *Kursivschrift* gemachten Aussagen sind im Hinblick auf eine geplante Schutzzonenausscheidung besonders kritisch. Es drängt sich in solchen Fällen die Suche nach einem Alternativstandort auf.

⁶ Infiltratanteil eruieren.

⁷ Kein idealer Standort. Abklären, wie stark das Grundwasser am geplanten Standort durch Hochwasserereignisse beeinflusst wird und ob künftig Nutzungskonflikte mit Revitalisierungsprojekten im Bereich der künftigen Schutzzone entstehen könnten.

⁸ In solchen Fällen kann unter Umständen trotz kurzer Aufenthaltszeit des infiltrierenden Oberflächenwassers im Untergrund eine neue Fassung in Betracht gezogen werden. Dazu ist eine eingehende Risikobeurteilung erforderlich. Gegebenenfalls kann auch mit der Ausscheidung eines Gewässerschutzbereichs A₀ für das Oberflächengewässer und auf das Verschmutzungsrisiko abgestimmten Nutzungseinschränkungen ein akzeptables Schutzniveau für die Fassung erreicht werden.

⁹ Als Gewässerraum wird der Raumbedarf eines Gewässers bezeichnet, der für die Gewährleistung der natürlichen Funktionen des Gewässers, den Schutz vor Hochwasser und der Gewässernutzung erforderlich ist (Art. 36a GSchG).

5.3 Vorgehen bei bestehenden Fassungen

Die in Tab. 2 dargestellte Checkliste zeigt die zu klärenden Fragen für bestehende Fassungen. Diese Abklärungen dienen unter anderem dazu, den Fortbestand einer Fassung beurteilen zu können. Erläuterungen zu einzelnen Bewertungskriterien finden sich in den Folgekapiteln.

Tab. 2 > Checkliste zur Standortbewertung bestehender Fassungen**Stellenwert der Fassung**

- Wasserversorgung ist auf Fassung zur Trinkwassergewinnung angewiesen¹⁰ ☐ ja
☐ nein
- Öffentliches Interesse anerkannt/nachgewiesen ☐ ja
☐ nein

Bakteriologische Rohwasserqualität

- ☐ i.O.
- ☐ nicht i.O. (z. B. Beanstandungen durch kantonales Laboratorium)
- ☐ Probleme mit grosser Wahrscheinlichkeit behebbar, sofern:
- ☐ die laut Gewässerschutzrecht und Reglement geltenden Bestimmungen umgesetzt werden (z. B. Gülleverbot in der Zone S2, Sanierung von lecken Kanalisationsleitungen)
 - ☐ das Reglement angepasst wird (z. B. verschärfte Vorschriften für den Einsatz von flüssigem Hofdünger auch in der Zone S3)
 - ☐ die Schutzzone neu bemessen wird
 - ☐ eine Wasseraufbereitung eingerichtet wird^{11F}
- ☐ Probleme mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht behebbar

Chemische Rohwasserqualität

- ☐ i.O.
- ☐ nicht i.O. (z. B. Beanstandungen durch kantonales Laboratorium)
- ☐ Probleme mit grosser Wahrscheinlichkeit behebbar, sofern
- ☐ die laut Gewässerschutzrecht und Reglement geltenden Bestimmungen umgesetzt werden (z. B. Verbot der Verwendung bestimmter Pflanzenschutzmittel in der Zone S2, Verbot des Umschlags wassergefährdender Flüssigkeiten in der Schutzzone)
 - ☐ das Reglement angepasst wird (z. B. verschärfte Verwendungseinschränkungen für Pflanzenschutzmittel in der Schutzzone)
 - ☐ eine Sanierung im Rahmen des «Zuströmbereichs Z_u» erfolgen kann
 - ☐ eine Sanierung im Rahmen des Vollzugs der Altlastenverordnung erfolgen kann
 - ☐ eine Wasseraufbereitung eingerichtet wird (z. B. Enteisung)
- ☐ Probleme mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht behebbar

Gefährdungen/Konflikte

- ☐ keine relevanten Gefährdungen bzw. unzulässigen Nutzungen in den heute vorliegenden Zonen S1 bis S3 bzw., wenn die Schutzzonen noch nicht ausgeschieden wurden, im Gebiet, das künftig die Zonen S1, S2 und S3 umfasst.
- ☐ Gefährdungen bzw. unzulässige Nutzungen in den heute vorliegenden Zonen S1 bis S3 bzw., wenn die Schutzzonen noch nicht ausgeschieden wurden, im Gebiet, das künftig in den Zonen S1, S2 oder S3 liegen dürfte, vorhanden.
- ☐ Gefährdungen bzw. unzulässige Nutzungen können saniert oder entfernt werden
 - ☐ Gefährdungen bzw. unzulässige Nutzungen liegen in einer nicht beherrschbaren Grössenordnung vor und können voraussichtlich nicht saniert oder entfernt werden

¹⁰ Hier muss die Gesamtsituation der Wasserversorgung betrachtet werden. Auch bei weiteren Grundwasserfassungen der Wasserversorgung bestehen unter Umständen relevante Nutzungskonflikte.

¹¹ Bei Lockergesteinsgrundwasserfassungen darf eine Wasseraufbereitung nur dann in Betracht gezogen werden, wenn das Wasser trotz korrekt bemessener Schutzzone und korrekt umgesetzten Schutzvorschriften den Anforderungen nicht genügt. Zulässig ist die Wasseraufbereitung auch als Übergangslösung, bis die Anlagen, welche die Grundwasserfassung gefährden, beseitigt worden sind.

Fassungen mit Oberflächenwasserinfiltrat

- ☐ Anteil Infiltrat unbekannt¹²
- ☐ Anteil Infiltrat von untergeordneter Bedeutung (< 10 %)
- ☐ Gefasstes Grundwasser besteht zu einem nennenswerten Anteil aus Oberflächenwasserinfiltrat. Dieses Infiltrat weist in der Regel:
 - ☐ eine Aufenthaltszeit im Untergrund von weniger als zehn Tagen auf¹³
 - ☐ gute Qualität des Oberflächenwassers und geringes Verschmutzungsrisiko im Einzugsgebiet¹⁴
 - ☐ *schlechte Qualität des Oberflächenwassers und/oder relevantes Verschmutzungsrisiko im Einzugsgebiet¹⁵*
 - ☐ eine Aufenthaltszeit im Untergrund von mindestens zehn Tagen auf
 - ☐ eine unbekannte Aufenthaltszeit im Untergrund auf¹⁶

Zustand der Fassungsanlage

- ☐ guter Zustand
- ☐ schlechter Zustand (z. B. Wurzeleinwuchs, defekte Sickerleitungen)

Status der Schutzzone

- ☐ keine rechtskräftige Schutzzone vorhanden¹⁷
- ☐ rechtskräftige Schutzzone vorhanden
 - ☐ Dimensionierung i.O.
 - ☐ Dimensionierung nicht i.O.¹⁸
 - ☐ undifferenziert (keine Zonen S1 bis S3 ausgeschieden)
 - ☐ unvollständig (z. B. keine Zone S1 oder S2 ausgeschieden)
 - ☐ Zone S2 oder ein Teil davon mit «beschränkter Wirkung»
 - ☐ zu klein bemessen
 - ☐ zu gross bemessen
 - ☐ Schutzzone falsch platziert
 - ☐ anderes

Bei den in *Kursivschrift* gemachten Aussagen muss die Eignung der Fassung zur Trinkwassergewinnung grundsätzlich in Frage gestellt werden. Das Schutzzonenverfahren ist abzubrechen und folglich die Nutzung der Fassung zu Trinkwasserzwecken aufzugeben.

¹² Abklärungen zum Infiltrationsanteil veranlassen.

¹³ Das Schutzdefizit ist falls nötig durch eine Wasseraufbereitung zu kompensieren. Bei häufig wiederkehrenden Verschmutzungen des Rohwassers ist eine Verlegung der Fassung in Erwägung zu ziehen.

¹⁴ Gegebenenfalls kann mit der Ausscheidung eines Gewässerschutzbereichs A₀ für das Oberflächengewässer und mit auf das Verschmutzungsrisiko abgestimmten Nutzungseinschränkungen ein höheres Schutzniveau für die Fassung erreicht werden.

¹⁵ Falls eine Sanierung des Oberflächengewässers erfolgversprechend ist oder die Kolmationsschicht eine mikrobielle Verunreinigung des Trinkwassers effizient zu verhindern vermag, ist der Fassungsstandort nicht grundsätzlich in Frage gestellt.

¹⁶ Abklärungen zur Aufenthaltszeit veranlassen.

¹⁷ Schutzzone ist rechtskräftig auszuscheiden.

¹⁸ Schutzzone ist nach den geltenden Regeln neu zu dimensionieren.

5.4 **Nachweis einer genügenden Grundwassermenge und einer einwandfreien Grundwasserqualität**

Lockergesteins-Grundwasserleiter zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der Regel über ein grosses Speichervolumen und ein gutes Filtrations- und Reinigungspotenzial verfügen. Das am Fassungsstandort entnommene Grundwasser soll in ausreichender Menge verfügbar sein und in hygienischer und chemischer Hinsicht den Qualitätsanforderungen an Trinkwasser entsprechen. Traten beispielsweise bei bestehenden Fassungen in der Vergangenheit mikrobielle Verunreinigungen auf, so muss gewährleistet sein, dass solche Beeinträchtigungen durch die in der künftigen Schutzzone geltenden Nutzungseinschränkungen oder -verbote (z. B. Gülleverbote oder Entfernung undichter Abwasserleitungen) beseitigt werden können. Bei geplanten Fassungsstandorten ist die Schutzwirkung der Überdeckung in die Überlegungen mit einzubeziehen.

5.5 **Wasseraufbereitung**

Der Grundsatz «Lockergesteins-Grundwasservorkommen sollen in der Regel ohne Aufbereitung als Trinkwasser verwendet werden können» findet sich in der Botschaft des Bundesrates zur Revision des Gewässerschutzgesetzes¹⁹. Nach Artikel 31 Absatz 2 GSchV müssen Anlagen und Nutzungen, von welchen eine Gefahr für das Trinkwasser ausgeht, gemäss den Vorschriften der Gewässerschutzverordnung (insb. Anhang 4 Ziffer 22) saniert oder aus der Schutzzone entfernt und die Schutzzonenvorschriften umgesetzt werden. Allenfalls kann eine Aufbereitung als Übergangslösung bis zur definitiven Sanierung des schutzzielwidrigen Zustands eingerichtet werden. Auf keinen Fall kann eine Wasseraufbereitungsanlage aber anstelle des rechtskonformen Vollzugs des Grundwasserschutzes eingesetzt werden (z. B. nicht Einhalten des Gülleverbotes oder der Versickerung von Abwasser in der Zone S2).

Besteht bei einer Fassung trotz korrektem Vollzug der erforderlichen Nutzungsbeschränkungen in den Schutzzeiten ein relevantes Restrisiko für eine Verunreinigung, ist eine entsprechende Aufbereitung des Rohwassers vorzusehen.

Repräsentative chemische und mikrobiologische Analysen sind Voraussetzung zur Beurteilung der Notwendigkeit einer Wasseraufbereitung. Hierbei ist auch die witterungsbedingte Dynamik der Grundwasserneubildung zu berücksichtigen. Nach länger anhaltenden Niederschlägen oder während der Schneeschmelze können Verunreinigungen ins Grundwasser bzw. in die Fassung gelangen, die bei normalen Witterungsbedingungen zurückgehalten und abgebaut werden. Wichtig ist deshalb für die qualitativen Untersuchungen auch Proben unter «ungünstigen» Bedingungen zu entnehmen.

Trinkwasser untersteht der Lebensmittelgesetzgebung. Fragen bezüglich der Wasseraufbereitung sind daher an das Kantonale Labor zu richten.

¹⁹ Botschaft zur Volksinitiative «zur Rettung unserer Gewässer» und zur Revision des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer vom 29. April 1987, BBl 1987 II 1061.

Die Vollzugshilfe *Anerkannte Aufbereitungsverfahren für Trinkwasser* (BAG 2010) zeigt auf, welches Verfahren zur Elimination von bestimmten chemischen Stoffen oder Stoffgruppen sowie von Mikroorganismen am besten angewendet wird und welche Voraussetzungen dafür gegeben sein müssen. Die Verfahren lassen sich nach ihrer Funktion wie folgt einteilen:

- > Vorbehandlung (Flockung, Fällung, Sedimentation)
- > Filtration (Langsandsandfiltration, Schnellfiltration, Membranfiltration)
- > Desinfektion, (Chlorung, Chlordioxid, Ozonung, UV-Verfahren).
- > Weitere Trinkwasseraufbereitungsverfahren (Oxidation, Enteisung, Entmanganung, Härtekorrektur, Ionenaustausch usw.)

5.6 Wassermenge, die höchstens entnommen werden darf

Je nach kantonaler Gesetzgebung sind die Kantone oder die Gemeinden für die Konzessionserteilung zur Grundwassernutzung zuständig (vgl. kantonale Rechtserlasse zur Wassernutzung). In der Regel sind diese Konzessionen zeitlich befristet und enthalten eine Leistungsangabe in Litern pro Minute, welche im Maximum gefördert werden darf.

Anhang 4 Ziffer 121 Absatz 2 GSchV besagt, dass für die Dimensionierung der Zonen S2 und S3 bei Lockergesteins-Grundwasserleitern von der Wassermenge auszugehen sei, die höchstens entnommen werden darf. Im Normalfall sind Schutzzonen deshalb auf diese Konzessionswassermenge zu bemessen. Konkret heisst dies, dass die 10-Tages-Isochrone (vgl. Kap. 6.4) für eine Dauerentnahme der konzessionierten Leistung ermittelt werden muss.

Es kann fallweise jedoch sinnvoll sein, dass die Behörde für die Ausscheidung einer Schutzzone nicht a priori die gegenwärtig geltende Konzessionswassermenge, sondern eine **Bemessungsentnahmeleistung** als Grundlage für die Dimensionierung der Schutzzonen festlegt. Dies ist beispielsweise dann sinnvoll, wenn die konzessionierte Entnahmemenge dem Grundwasservorkommen effektiv nur über kurze Zeit entnommen werden kann.

Dabei muss die Behörde berücksichtigen, dass gemäss Artikel 43 Absatz 1 GSchG einem Grundwasservorkommen nicht mehr Wasser entnommen werden darf, als ihm zufließt. Mit andern Worten darf der Grundwasserspiegel nicht weiträumig und langfristig bzw. dauernd abgesenkt werden. Massgebend ist das nutzbare Dargebot eines Grundwasservorkommens insgesamt unter Einbezug aller Nutzer und vom Grundwasservorkommen beeinflussten Lebensräume. Wird auf detaillierte Abklärungen (z. B. Modellierung des Einflusses einer Entnahme auf benachbarte Fassungen oder auf Exfiltrationsbäche) verzichtet, empfiehlt sich mit folgender Faustformel zu operieren:

Etwa 20 % des Gesamtdargebotes sind nutzbar ohne dass spürbare Veränderungen des Grundwasserhaushaltes wie regionale Absenkungen beziehungsweise eine relevante Abflussverminderung bei Exfiltrationsbächen stattfinden.

Kurzzeitig kann bei einem Fassungsstandort je nach Ausbau, Pumpenleistung, Grundwassermächtigkeit und Durchlässigkeit mehr als die oben erwähnten 20 % Grundwasser entnommen werden, was auch den Vorgaben des GSchG nicht widersprechen würde. Fallweise kann es deshalb sinnvoll sein, in einer Konzession Mengenbeschränkungen sowohl in Form einer kurzzeitigen Spitzenentnahme (z. B. ausgedrückt in m³/Tag) als auch einer langfristigen Maximalentnahme festzuschreiben (z. B. ausgedrückt in m³/Jahr).

5.7 **Aufzeichnung des Gefährdungspotenzials auf Stufe Eignungsprüfung**

Um den Standort einer geplanten oder bestehenden Fassung auf seine Eignung zur Trinkwassergewinnung zu prüfen, werden ein Gefahrenkataster und ein Konfliktplan (vgl. Kapitel 7) erstellt. Der Gefahrenkataster mit dem Konfliktplan ergibt eine Übersicht über die Konfliktsituation im Gebiet der künftigen Schutzzonen. Da bei Fassungen ohne Schutzzone oder bei geplanten Fassungen die genaue Bemessung der Schutzzonen erst später erfolgt, ist hier von Schätzungen auszugehen. Dabei sind die konzessionierte Entnahmemenge und allfällig bereits vorhandene Kenntnisse zur hydraulischen Leitfähigkeit, zum Grundwassergefälle, zur Fliessgeschwindigkeit usw. zu berücksichtigen. In der Regel kann für eine erste Risikoabschätzung von folgender Bemessung ausgegangen werden:

- > Der äussere Rand der Zone S2 in Zuflussrichtung liegt etwa 150 m von der Fassung entfernt.
- > Der äussere Rand der Zone S3 in Zuflussrichtung liegt etwa 300 m von der Fassung entfernt.

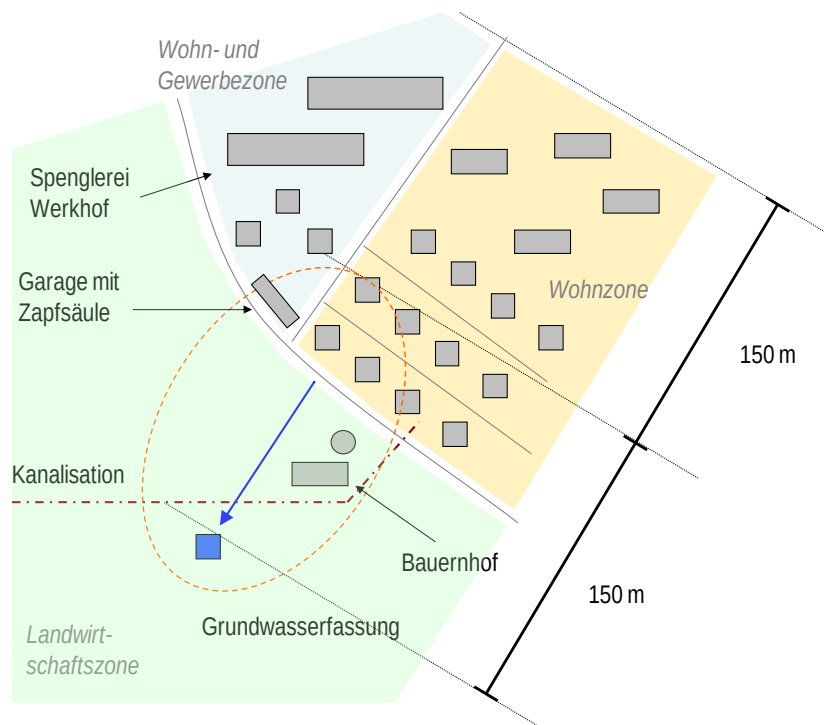
Würde in der zukünftigen Zone S1 eine Anlage (Strasse, Eisenbahnlinie, Gebäude, Transformatorenstation, Parkplätze usw.) liegen, die nicht entfernt werden könnte, ist der Standort – unabhängig davon, ob von dieser Anlage eine konkrete Gefahr für das Grundwasser ausgeht – ungeeignet.

Der Gefahrenkataster und der Konfliktplan beinhalten auf Stufe Eignungsprüfung nur eine grobe Aufzeichnung der Gefährdungen. Die Abklärungen sollen aufzeigen, ob relevante Gefährdungen bzw. Nutzungskonflikte vorliegen und sich diese voraussichtlich beherrschen lassen (siehe Abb. 3 und Abb. 4).

Konfliktplan und Gefahrenkataster

Beispiel 1

Abb. 3 > Konfliktplan eines Gebietes mit vielen Gefährdungen

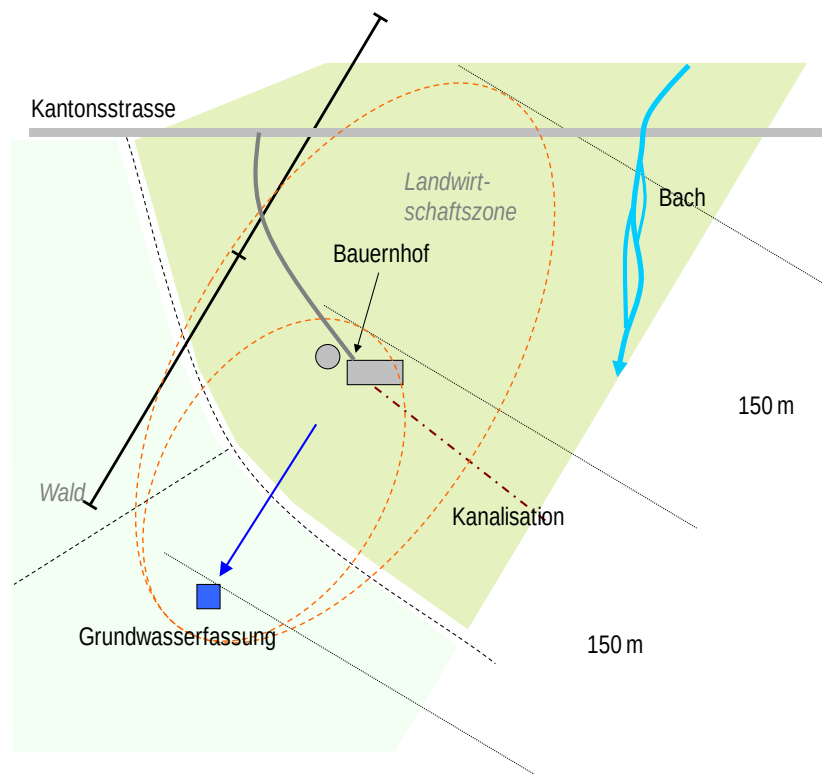


Anlagen und Tätigkeiten	Bestandesaufnahme
Oberirdische Bauten, Betriebe und Anlagen	Gemäss kommunalem Zonenplan liegt ein Grossteil der vermuteten künftigen Schutzzone in der Bauzone (ca. 50 % «Wohnzone», ca. 30 % «Wohn- und Gewerbezone») → v. a. Gewerbezone ist problematisch Bis zu einer Distanz von 150 m in Zuflussrichtung vom Fassungsstandort entfernt (ungefähre Umgrenzung einer künftigen S2) befinden sich mehrere Wohnhäuser, ein Bauernhof (mit Nutztierhaltung) und eine Garage (mit eigener Zapfsäule). → Bebauungsdichte ist problematisch; Garagen mit Zapfsäule oder Lagereinrichtungen für Hofdünger sind in der Zone S2 auf keinen Fall zulässig. In weiterer Entfernung (ungefähr im Gebiet einer künftigen Zone S3) liegt eine ähnliche Besiedelungsdichte vor. Zu erwähnen sind hierbei auch zwei Betriebe, nämlich eine Spenglerei und der Gemeindewerkhof. → Spenglerei und Werkhof sind in einer Zone S3 sehr problematisch.
Abwasseranlagen	Haupt-Kanalisationsleitung quert das Fassungsgebiet (kürzeste Distanz zur Fassung: 17 m). → sehr grosses Risiko, kann in der Zone S2 nicht zugelassen werden. Zahlreiche Hausanschlüsse → grosses Risiko in der Zone S2, sehr problematisch
etc.	etc.
	Beurteilung: Dieser Standort kann nicht ordnungsgemäss geschützt werden und ist daher ungeeignet zur Trinkwassergewinnung

Konfliktplan und Gefahrenkataster auf Stufe Eignungsprüfung

Beispiel 2

Abb. 4 > Konfliktplan eines Gebietes mit wenigen Gefährdungen



Anlagen und Tätigkeiten	Bestandesaufnahme
Oberirdische Bauten, Betriebe und Anlagen	Ein Bauernhof in 120 m Distanz zu Fassung (Zuflussrichtung). Sonst keine oberirdischen Bauten. → problematisch, mit Massnahmen beherrschbar
Abwasseranlagen	Vom oben genannten Bauernhof verläuft eine Abwasserleitung (Hausanschluss) Richtung Dorf, d. h. quer zur Grundwasser-Strömungsrichtung. → problematisch, mit Massnahmen beherrschbar
Strassen	Kantonsstrasse dürfte auf einem Abschnitt von etwa 50 m in die künftige S3 zu liegen kommen. → problematisch, mit Massnahmen beherrschbar Zufahrtsstrasse zum o.g. Bauernhof sowie diverse Feld- und Forstwege → wenig problematisch
Landwirtschaft	Etwa 50 % des Gebietes der vermuteten Schutzzone wird landwirtschaftlich genutzt (Weiden, Ackerflächen) → mit Massnahmen beherrschbares Risiko Lagereinrichtungen für Hofdünger (z. B. Güllegrube, Mistplatte) beim o.g. Bauernhof → in Zone S2 nicht zulässig, müssen aus der Zone S2 versetzt werden
Forstwirtschaft	Fassung liegt im Wald (50 m vom Waldrand entfernt). → positiv
Gewässerraumbedarf	Gewässerraumbedarf liegt ausserhalb der Schutzzonen



Beurteilung: Gefährdungspotenzial liegt in einer beherrschbaren Grössenordnung.
Die definitive Bemessung der Schutzzonen ist vorzunehmen.

5.8

Beispiele zur Eignungsprüfung

Basierend auf der Standortbeurteilung wird die Eignungsprüfung durch die kantonale Fachstelle vorgenommen, die damit der vorgesehenen Schutzzonenausscheidung grundsätzlich zustimmt oder sie verwirft. Diese Prüfung soll sowohl bei der Ausscheidung neuer als auch bei der Modifikation bestehender Schutzzonen angewendet werden.

Zwei Beispiele mit möglicher Beurteilung:

- > Die Trinkwassernutzung aus der zu beurteilenden Fassung ist von hohem öffentlichem Interesse. Im Gefahrenkataster bzw. Konfliktplan sind zwar einige Nutzungen wie der Gülleaustrag und die Querung einer Staatsstrasse in 120 m Entfernung von der Fassung aufgeführt. Durch das Gülleverbod in der künftigen Zone S2 und durch den Bau einer dichten Entwässerung bei obgenannter Strasse innerhalb des Schutzzonenperimeters lassen sich die Gefahren weitgehend beseitigen.

Beispiel 3

Beschluss: Die hydrogeologischen Untersuchungen für die Bemessung der Zonen S1, S2 und S3 sind durchzuführen. Der Ausscheidung einer Schutzzone wird im Grundsatz zugestimmt.

- > Gegenwärtig bezieht die Gemeindewasserversorgung ihr Trinkwasser zu 100 % aus mehreren nahe nebeneinander liegenden Quellen. Für diese wurde 1974 eine Schutzzone S ohne Unterteilung in die Zonen S1, S2 und S3 ausgeschieden. Diese Schutzzone S ist zu über 50 % überbaut. Im Gefahrenkataster wird aber nicht nur auf den hohen Überbauungsgrad, sondern auch auf Abwasserleitungen, Heizöltanks und mehrere nicht versiegelte Parkplätze hingewiesen. Zudem weist das geförderte Wasser Spuren von chlorierten Lösungsmitteln auf. Auch wurde durch das kantonale Laboratorium die Rohwasserqualität in bakteriologischer Hinsicht mehrfach bemängelt. Ein Anschluss an die Wasserversorgung der Nachbargemeinde ist technisch machbar und mit relativ einfachen Mitteln auszuführen, dort sind die Fassungen mit rechtskräftigen Schutzzonen ausgestattet und es bestehen keine relevanten Gefährdungen für das Trinkwasser.

Beispiel 4

Beschluss: Auf die Überarbeitung der bestehenden Schutzzone ist zu verzichten. Die Gemeinde wird aufgefordert, innert angemessener Frist ihre Trinkwasserversorgung umzustellen, so dass künftig der Trinkwasserbezug von der Nachbargemeinde erfolgt. Auf die Nutzung der Quellen für Trinkwasserzwecke ist sodann zu verzichten. Die Quelfassungen sind für die Notwasserversorgung weiterhin zu unterhalten.

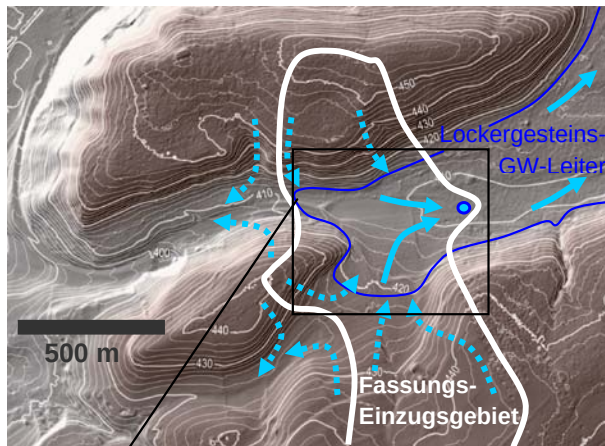
6 > Bemessung der Schutzzonen

6.1 Grundsätzliches zu den Methoden

Eine Wiedergabe aller in der Hydrogeologie angewandten Methoden, die zur Festlegung des optimalen Fassungsstandortes, zur Bestimmung der Brunnenenergiebigkeit und zur Dimensionierung von Fassungen angewendet werden, würde den Rahmen des vorliegenden Moduls sprengen. Es werden deshalb diejenigen methodischen Aspekte hervorgehoben, welche bei Schutzzonenabklärungen besonders zu beachten sind. Sie gelten sinngemäss sowohl für Untersuchungen bei bestehenden Fassungen als auch bei der Projektierung neuer Fassungen (Versuchsbrunnen etc).

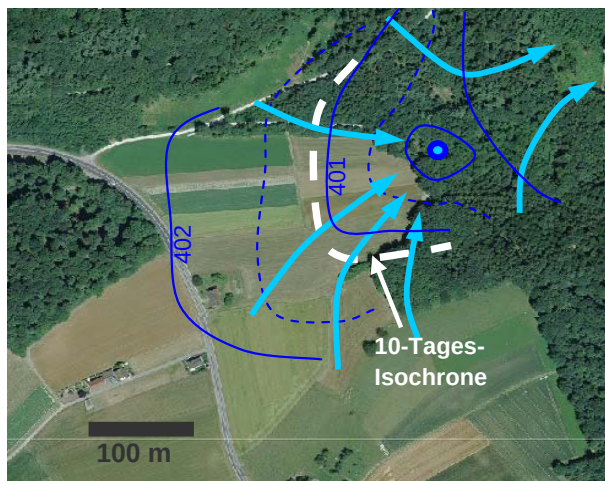
Die vor allem bei grobkörnigen Lockergesteinen vorherrschenden Heterogenitäten können dazu führen, dass die Anströmbedingungen zu einer Fassung räumlich stark variieren. Dem ist bei den hydrogeologischen Untersuchungen, z. B. mittels geophysikalischen Kartierungen, bzw. bei der Interpretation von Resultaten Rechnung zu tragen.

Grundsätzlich gilt für alle Methoden, dass deren Anwendung nachvollziehbar zu dokumentieren ist und sie dem aktuellen Stand der Technik entsprechen müssen. In Abhängigkeit der existierenden und potenziellen Nutzungskonflikte ist beim Untersuchungsaufwand auch die Verhältnismässigkeit zu beachten. Das bedingt aber, dass je geringer der Untersuchungsaufwand ist, umso konservativer (d. h. im Zweifelsfall grösser) die Schutzzonen auszuscheiden sind.

Abb. 5 > Vorgehen bei der Bemessung von Schutzzonen im Überblick

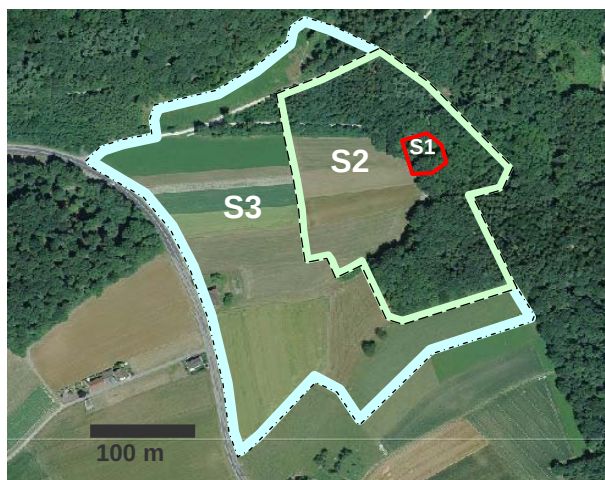
Bestimmung des Fassungseinzugsgebietes

vgl. Kapitel 6.2



Bestimmung des Absenkttrichters
bzw. des Entnahmebereichs

vgl. Kapitel 6.3



Dimensionierung der Zonen S1, S2 und S3

vgl. Kapitel 6.5

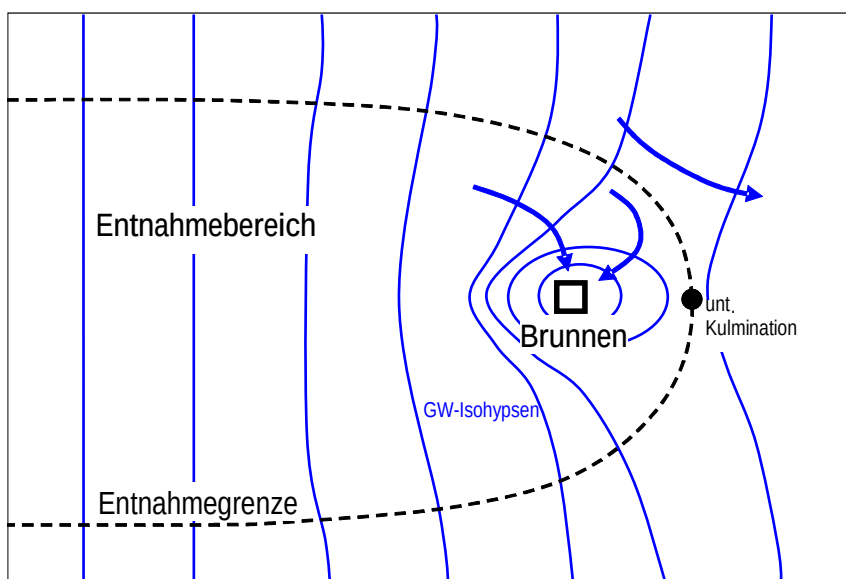
6.2 Bestimmung des Fassungseinzugsgebietes

Das Fassungseinzugsgebiet stellt das Gebiet dar, aus dem das Wasser stammt, das im Brunnen entnommen wird respektive bei der Quelle austritt. Dessen Bemessung ist in der **Praxishilfe zur Bemessung des Zuströmbereichs Z_u** (BUWAL 2005) beschrieben. Kenntnisse über Ausdehnung bzw. Flächeninhalt des Fassungseinzugsgebietes dienen der Optimierung der in der Folge aufgeführten Abklärungen. Man beachte, dass Schutzzonen von Quellen mit eher geringeren Schüttungen praktisch das ganze Fassungseinzugsgebiet abdecken können.

6.3 Bestimmung des Absenktrichters bzw. des Entnahmebereichs

Der sich um einen Entnahmebrunnen ausbildende Absenktrichter wird nebst der Entnahmemenge von der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und dem natürlichen Gradienten der Grundwasserströmung beeinflusst. Bei einem sehr geringen natürlichen Grundwasserspiegelgefälle (kleiner Gradient), liegt ein fast kreisförmiger Absenktrichter vor, bei einem steilen Gefälle (also bei einem grossen Gradienten) bildet sich eine eher schmale, lang gezogene Parabel aus. Die Ausbildung des Absenktrichters diktiert die Entnahmegrenze und die Lage der unteren Kulmination (Abb. 6). Diese Begriffe sind in der Fachliteratur eingehend behandelt (z. B. Taschenbuch der Wasserversorgung 2007). Die Ausdehnung des Entnahmebereichs (ob schmal, breit, oder bis hin zu kreisförmig) widerspiegelt sich in der Form der Schutzzonen, insbesondere der Zonen S2 und S3.

Abb. 6 > Entnahmebereich



Nach Taschenbuch der Wasserversorgung, 2007

Als Grundlage zur Bestimmung des Absenkttrichters dient in der Regel ein Grosspumpversuch mit umfassenden piezometrischen Messungen in der Umgebung des Brunnens. Ergänzende Informationen über die Strömungsverhältnisse lassen sich aus Tracerversuchen gewinnen. Des Weiteren ist als Ergänzung zu den hydrogeologischen Felduntersuchungen die Entwicklung eines Grundwassermodells in Betracht zu ziehen. Das bestmögliche Ergebnis kann aus einer Synthese der einzelnen Methoden, auf welche in den folgenden Abschnitten noch genauer eingegangen wird, erreicht werden.

6.4 Bestimmung der 10-Tages-Isochrone

6.4.1 Die 10-Tages-Isochrone

Die 10-Tages-Isochrone entspricht der Grenzlinie, von der aus das Grundwasser bis zum Erreichen der Fassungsanlage 10 Tage benötigt. Die Dauer der Versickerung des Niederschlagswassers von der Geländeoberfläche bis zum Grundwasserspiegel fliesst in diesen Berechnungen nicht mit ein. Die Fliessstrecke, d. h. die Distanz von der 10-Tages-Isochrone bis zur Fassungsanlage, berechnet sich nach folgender Gleichung:

allgemein: $\Delta z = v \times t$

für die Distanz der 10-Tages-Isochrone: $\Delta z_{10d} = v \times 10d$

wobei:

Δz	= Fliessdistanz in [m]
v	= Fliessgeschwindigkeit in [m/d]
t	= Verweilzeit in [d]

Massgebend für die Ermittlung der 10-Tages-Isochrone sind gute Kenntnisse über die Fliessverhältnisse und die Verweilzeiten des Grundwassers im Fassungseinzugsgebiet. Die gebräuchlichsten Methoden zur Bestimmung der 10-Tages-Isochrone werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

6.4.2 Markierversuche

6.4.2.1 Allgemeines zu Markierversuchen

Markierversuche (auch Tracer- oder Färbversuche genannt) sind nach wie vor die verlässlichste und deshalb auch die am häufigsten angewandte Methode zur Ermittlung von Fliessgeschwindigkeiten respektive Verweilzeiten. Die Vollzugshilfe *Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie* (BWG 2002) vermittelt die wichtigsten Grundlagen zur Durchführung und Auswertung solcher Versuche.

An dieser Stelle wird auf diejenigen Aspekte eingegangen, die bei Tracerversuchen im Rahmen von Schutzzonenabklärungen in Lockergesteins-Grundwasserleitern besonders zu beachten sind.

In der Regel stehen folgende Fragestellungen im Vordergrund:

Eingabestandort

- > Fliessgeschwindigkeit in direkter Zuflussrichtung zur Fassung?
- > Befindet sich eine besondere Gefährdung im näheren Fassungseinzugsgebiet?

Die Wahl der Injektionsstandorte ist auf diese Fragestellungen hin auszurichten. Die mittleren Fliessgeschwindigkeiten betragen in Lockergesteins-Grundwasserleitern der Talebene häufig 1 bis 20 m/Tag. Erfahrungsgemäss ergibt eine Entfernung zwischen Tracereingabe und Fassung in der Grössenordnung von 100 m gute Resultate im Hinblick auf eine möglichst präzise Festlegung der 10-Tages-Isochrone. Im Fall, dass grosse Gradienten mit hohen Wasserdurchlässigkeiten einhergehen, wie sie z. B. bei Quellen im voralpinen und alpinen Gebiet üblich sind, muss mit Fliessgeschwindigkeiten von bis über 200 m/Tag gerechnet werden. Insbesondere sind die Ergebnisse des Gefahrenkatasters mit zu berücksichtigen: Ausser in der direkten Zuflussrichtung des Grundwassers zur Fassung sind Tracerimpfungen wenn möglich auch dort vorzunehmen, wo das Konfliktpotenzial am höchsten ist.

Die 10-Tage-Regel bezieht sich auf die Verweilzeit eines Wasserteilchens im gesättigten Untergrund. Die Verweilzeit im nicht wassergesättigten Untergrund darf nicht mit berücksichtigt werden. Deshalb sind die Markierstoffe direkt in den gesättigten Untergrund einzugeben (z. B. über Piezometerrohre, welche bis ins Grundwasser reichen). Sollte dies aufgrund hoher Flurabstände und fehlender Bohrungen nicht möglich sein bzw. unverhältnismässige Mehrkosten verursachen, so wird folgendes Vorgehen empfohlen:

Eingabe direkt ins Grundwasser

- > Rammen eines Stahlpiezometers bis in möglichst grosse Tiefen (sofern keine Blocklagen vorhanden sind, ist bei Schottern eine Rammtiefe von 6 bis 8 m durchaus erreichbar).
- > Vorspülen mit Leitungswasser, so dass schon vor der Tracereingabe eine vertikale Sickerströmung bis ins Grundwasser erzeugt werden kann (kein Oberflächenwasser um die Kolmatierung des Piezometers durch organisches Material oder Partikel zu verhindern).
- > Tracereingabe mit intensiver Nachspülung.

In der Regel erfolgt die Probenahme in den ersten 12 Tagen ab Tracereingabe täglich, anschliessend kann das Probenahmeintervall sukzessive verlängert werden. In dieser Versuchsphase ist bei Grundwasserfassungen durchgehend die Konzessions- bzw. Bemessungsentnahmeleistung zu pumpen.

Probenahmeintervall

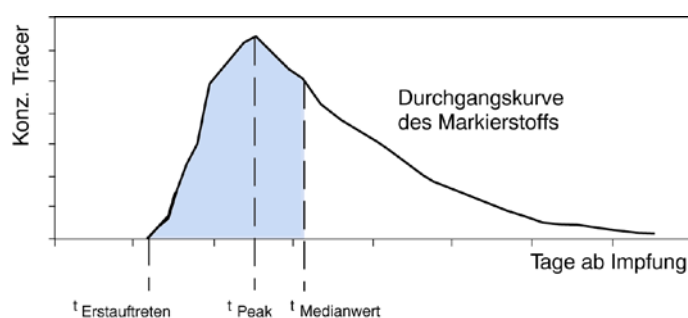
Bei Tracerversuchen ist für die Bestimmung der 10-Tages-Isochrone in der Regel der Peak der Markierstoff-Durchgangskurve (Abb. 7) massgebend. Jeder Einzelfall ist aber situationsgerecht zu interpretieren.

Massgebende
Fliessgeschwindigkeit

Abb. 7 > Interpretation von Markierstoff-Durchgangskurven

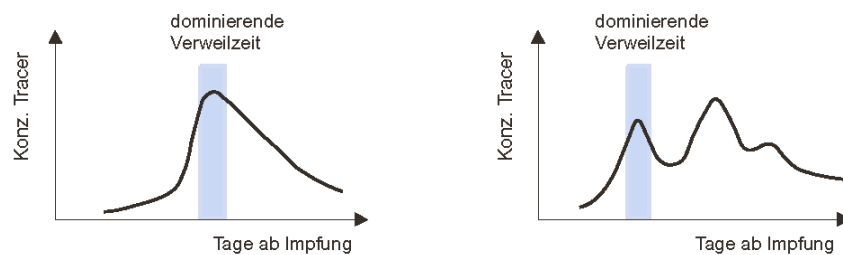
Bei der zu untersuchenden Grundwasserfassung ist die über längere Zeit maximal zulässige Fördermenge zu entnehmen (konzessionierte Förderleistung bzw. maximale tägliche Fördermenge). Aus der Durchgangskurve des Markierstoffes lassen sich für den Abstand d zwischen Impfstelle und Entnahmestelle unterschiedliche Verweilzeiten t ermitteln:

Minimale Verweilzeit	t Erstaufreten
Dominierende Verweilzeit	t Peak
Mittlere Verweilzeit	t Medianwert

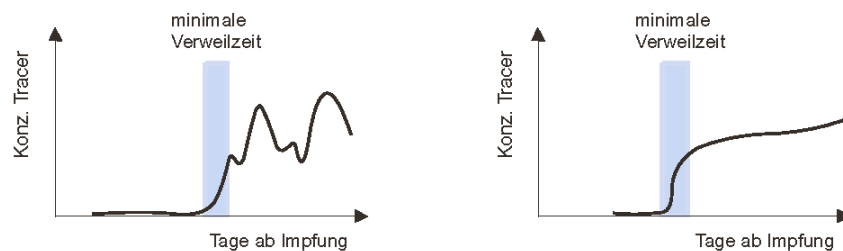


Durchgangskurven können unterschiedliche Formen haben. An je zwei Beispielen wird gezeigt, welche Verweilzeiten in Lockergesteins-Grundwasserleitern für die Bestimmung der 10-Tages-Isochrone massgebend sind. Mehr dazu findet sich in der Praxishilfe «Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie» (BWG 2002).

Die Berechnung der 10-Tage-Isochrone erfolgt in der Regel aufgrund der dominierenden Verweilzeit. Bei Kurven, welche mehrere annähernd gleichwertige Konzentrationsmaxima aufweisen, ist der Zeitpunkt des ersten Peaks massgebend.



Bei Fassungen in sehr heterogenen Grundwasserleitern (z.B. ausgeprägte Rinnenstrukturen.) sollte in der Regel der Zeitpunkt des Erstaufretens, d. h. die minimale Verweilzeit, als Grundlage für die Bestimmung der 10-Tages-Isochrone verwendet werden. Dies gilt auch für alle Markierversuche, die zur Ermittlung der Interventionszeit bei Störfall- und Havarieszenarien durchgeführt werden.



6.4.2.2 Tracerversuche bei Quellen

Werden Quellen durch Lockergesteins-Grundwasser gespeist, so können die geologischen Verhältnisse Rinnenstrukturen und lokal ausgebildete kiesige Schichten aufweisen. Um den Heterogenitäten des Untergrundes Rechnung zu tragen, sind folgende Empfehlungen zu beachten:

- > Optimal ist die Durchführung von Tracerversuchen im Winterhalbjahr und zwar in Perioden mit erhöhter Niederschlagsintensität (grössere Wahrscheinlichkeit, dass die Tracer bei der Quelle nachgewiesen werden können). In höheren Lagen verschiebt sich die Durchführung auf die Zeit nach erfolgter Schneeschmelze.
- > Die Tracereingabe erfolgt wenn möglich über Piezometerrohre, die bis ins Grundwasser reichen. Um den oben beschriebenen Heterogenitäten Rechnung tragen zu können, wird empfohlen, die Tracermenge gegebenenfalls aufzuteilen und in mehrere nebeneinander liegende Rohre einzugeben. Es wird somit nicht die hydraulische Verbindung zwischen einem eng begrenzten Punkt und der Quelle, sondern diejenige zwischen einem etwas grösseren Bereich und der Quelle untersucht. So kann die Wahrscheinlichkeit des Tracernachweises in der Quelle erhöht werden. Vorspülung und Nachspülung erfolgen wie oben beschrieben.
- > Der Beprobungsrhythmus ist besonders in der Startphase sehr dicht anzuordnen (täglich mindestens eine Probenahme). Besonders heikel sind Quellen im Bereich von Bergsturzablagerungen. In diesen ist wegen möglicher kavernöser Porosität mit extrem hohen Fliessgeschwindigkeiten zu rechnen (vergleichbar mit Fliessgeschwindigkeiten in Karstsystemen).

6.4.2.3 Multitracerversuche

Unter dem Begriff «Multitracerversuch» wird die Eingabe von mehreren Tracern im gleichen Feldversuch verstanden. Durch die bessere geographische Abdeckung steigert sich die Aussagekraft des Versuchs. Ebenfalls lassen sich allfällige, durch die Heterogenität von Lockergesteinen bedingte Variationen der Fliessgeschwindigkeit besser ermitteln. Die Anzahl verfügbarer Tracer, welche für Untersuchungen in Lockergesteinen geeignet sind, ist allerdings limitiert. Ausführliche Angaben dazu finden sich in der Vollzugshilfe *Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie* (BWG 2002).

6.4.3 Verfahren nach Wyssling

L. Wyssling (1979)²⁰ hat eine Formel entwickelt, welche als mathematisches Hilfsmittel bei der Bemessung von Schutzzonen für Grundwasser-Pumpwerke dienen kann. Sie erlaubt eine direkte Berechnung der Fliessdauer des Grundwassers von einem beliebigen Punkt auf der Strömungsachse bis zu einem in Betrieb stehenden Grundwasser-Pumpwerk. Es handelt sich um ein vergleichsweise einfaches und gemäss langjährigen Erfahrungen auch praxistaugliches Verfahren. Dabei wird von der grundsätzlichen Annahme ausgegangen, die Verhältnisse des Grundwasserleiters seien einigermassen homogen und die im Pumpwerk getätigte Entnahme Q sei deutlich kleiner als die Gesamtabflussmenge des Grundwasserstroms.

²⁰ WYSSLING L. 1979: Eine neue Formel zur Berechnung der Zuströmungsdauer (Laufzeit) des Grundwassers zu einem Grundwasser-Pumpwerk. – *Eclogae geologicae Helvetiae* 72/2, S. 401–406.

6.4.3.1 Gegebene Größen (hydrologische Kennwerte)

Folgende hydrologischen Kennwerte sind gegeben oder zu ermitteln und werden als Grundlage für die weiteren Berechnungen verwendet:

H = Grundwassermächtigkeit, in m

k = Durchlässigkeit des Grundwasserleiters, in m/s

i_o = natürliches Gefälle des Grundwasserstroms, für $Q = 0$

$p(\omega)$ = beim Strömungsvorgang wirksame Porosität²¹

Q = Entnahmemenge Brunnen, in m³/s

6.4.3.2 Zu berechnende Größen des Strömungsbildes

Unter Verwendung der bekannten hydrologischen Kennwerte lassen sich die für die Schutzzonendimensionierung erforderlichen weiteren Größen wie folgt berechnen:

$$(1) \quad B = \frac{Q}{H \cdot k \cdot i_o} \quad B = \text{Entnahmebreite Oberstrom, in m, bei Entnahme } Q$$

$$(2) \quad b = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2 \cdot H \cdot k \cdot i_o} \quad b = \text{Entnahmebreite auf Fassungshöhe, in m}$$

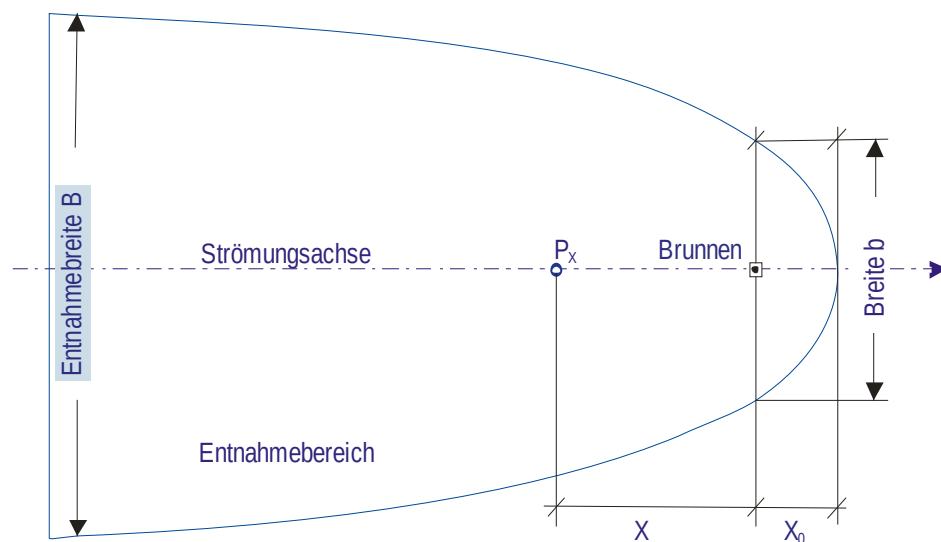
$$(3) \quad x_o = \frac{B}{2\pi} = \frac{Q}{2\pi \cdot H \cdot k \cdot i_o} \quad x_o = \text{Strecke vom Brunnen bis zur talseitigen Begrenzung des Entnahmebereichs, in m}$$

$$(4) \quad v_o = \frac{k \cdot i_o \cdot 86400}{p(\omega)} \quad v_o = \text{natürliche Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers, in m/d}$$

$$(5) \quad t = \frac{x - x_o \cdot \ln\left(1 + \frac{x}{x_o}\right)}{v_o} \quad t = \text{Laufzeit in Tagen, von einem Punkt } P_x \text{ (Abb. 8) bis zum Pumpwerk (x ist stromaufwärts des Brunnens positiv, stromabwärts desselben negativ in Rechnung zu setzen)}$$

²¹ Betreffend Erfahrungswerte für die Porosität: siehe Kap. 6.4.4.

Abb. 8 > Strömungsbild bei einem Brunnen mit eingetragenen Bezugsgrößen zu den Formeln nach Wyssling



6.4.3.3 Bemessung der hydrogeologischen Mindestgröße der Zone S2

Für die Berechnung ist grundsätzlich von der Bemessungsentnahmeleistung Q im Dauerbetrieb auszugehen. Als Mindestgröße der Zone S2 wird in der Regel die 10-Tages-Isochrone gewählt. Man erhält deren zu- und abstromseitige Bemessung mit Hilfe der Formel (5), wobei man die Strecke x iterativ so eingabelt, dass für die zugehörige Laufzeit $t = 10$ Tage resultiert. Nachdem man diese Punkte auf der Strömungsachse bestimmt hat, lässt sich die Form der Zone S2 (Mindestgröße 10-Tages-Isochrone) durch sinnvolle Anlehnung an den Verlauf der Begrenzung des Entnahmebereichs gut festhalten. In welchem Masse man nach allen Seiten eine gewisse Sicherheitsreserve einbauen muss, hängt nicht zuletzt auch von der Güte der verwendeten hydrologischen Kennwerte (z.B. Bandbreite der k -Werte, vgl. Kap. 6.4.4) ab. Schliesslich kann aus keiner Formel und keinem Grundwassermodell mehr herausgeholt werden als das, was durch die Aussagekraft der verwendeten Grundlagen hineingebracht worden ist.

6.4.4 Grundwassermodelle

Numerische Grundwassermodelle werden nach der Lösungsmethode in *Finite-Differenzen-* und *Finite-Elemente-Modelle* unterteilt. Weitere Unterscheidungsmerkmale sind die Dimensionalität (*2-D-horizontal*, *2-D-vertikal* und *3-D*) sowie physikalische Optionen (z. B. *gespannter/freier Aquifer*, *isotrop/anisotrop*). Für die Bemessung von Grundwasserschutzzonen in Lockergesteinen wird oft der 2-D-horizontale Lösungsansatz gewählt. Die meisten Programme erlauben die Berechnung von Stromlinien (*particle-tracking*) und damit die Darstellung von Isochronen, d. h. der Linien gleicher Fliesszeitabstände. Für die Ermittlung der 10-Tages-Isochrone nach dem *Backtracking-*Verfahren wird somit für jedes «Wasserteilchen» berechnet, welchen Weg es bis zum Erreichen der Fassung zurückgelegt hat.

Die Aussagekraft der Ergebnisse von Grundwassermodellen hängt in grossem Mass von Qualität und Detaillierungsgrad der hydrogeologischen Kenntnisse im Modellgebiet ab, was bei komplexen, dreidimensionalen Strukturen von besonderer Bedeutung ist. Die k-Wert-Verteilung bzw. die Verteilung der Transmissivität ist in der Regel das Schlüssel-Kriterium für die Zuverlässigkeit und für die Aussagekraft eines Strömungsmodells. Bei besonders relevanten Fragestellungen ist zur besseren räumlichen Interpretation eine geophysikalische Kartierung mit einer geeigneten Methode zu prüfen. Als erprobte und aussagekräftige Methoden gelten z.B. Geoelektrik, Georadar und Radio-Magnetotellurik (RMT, VLF).

Methodische Hinweise

- > Die Vorgehensweise bei der Modellierung ist in der Fachliteratur umfassend beschrieben. Das vorliegende Modul beschränkt sich auf methodische Hinweise, die bei der Berechnung der 10-Tages-Isochrone als Grundlage für die Schutzzonendimensionierung in Lockergesteinen besonders zu berücksichtigen sind.
- > Wenn immer möglich entspricht der Modellrand der natürlichen Begrenzung des Grundwasserleiters. Gerade bei Schutzzonenuntersuchungen deckt aber das numerische Modell oft nur einen Teilbereich des gesamten Grundwasservorkommens ab. Die Berandungen eines Strömungsfeldes mit den dort herrschenden Randbedingungen (Festpotenziale, vorgeschriebenen Zu- oder Wegflüsse senkrecht zum Modellrand) dürfen bei solchen Teilmodellen nicht zu nahe am Fassungsstandort liegen. Es ist sicherzustellen, dass ein nicht der natürlichen Begrenzung des Grundwasserleiters folgender Modellrand mit vorgeschriebenen Randbedingungen so weit von der Fassung entfernt ist, dass der Einfluss der Entnahme auf das Grundwasserpotenzial am gewählten Modellrand vernachlässigt werden kann.
- > Die im Modell berücksichtigte Durchlässigkeit im Umfeld der Grundwasserfassung soll dem Wertebereich entsprechen, der aus einem Grosspumpversuch hervorgeht (*Gebiets-k-Wert*). Dabei empfiehlt es sich mittels einer Sensitivitätsanalyse, bei der die Auswirkungen von Parametervariationen auf das Modellergebnis geprüft wird, die 10-Tages-Isochrone für diverse k-Wert-Annahmen innerhalb der aus den Versuchsdaten resultierenden Bandbreite zu berechnen.
- > Ein weiterer Modellparameter, der die Entfernung der 10-Tages-Isochrone von der Fassung massgebend beeinflusst, ist die Porosität. Im Idealfall lässt sich diese aus Ergebnissen von Tracerversuchen ableiten. Bei Kiesschottern beträgt die Gesamtporosität rund 25–35 %. Der Volumenanteil der durchströmbaren Poren am Gesamtvolumen des Lockergesteinskörpers, d.h. die *durchflusswirksame Porosität*, ist aber bedeutend kleiner. Beim Vergleich zwischen Tracerergebnissen und Modellberechnungen zeigt sich, dass sich die aus einzelnen Tracerversuchen resultierenden dominierenden Fliessgeschwindigkeiten mit einer im Modell eingegebenen durchflusswirksamen Porosität für sandige Kiese von 10–15 % am besten abbilden lassen. Eine konservativ gewählte Porositätsannahme kann darüber hinaus im Sinne einer Kompensation betrachtet werden, um den in der Natur vorherrschenden Heterogenitäten (präferenzielle Fliesswege) gerecht zu werden.

Modellrand

Gebiets-k-Wert

Porosität

6.5 Dimensionierung der Zonen S1, S2 und S3

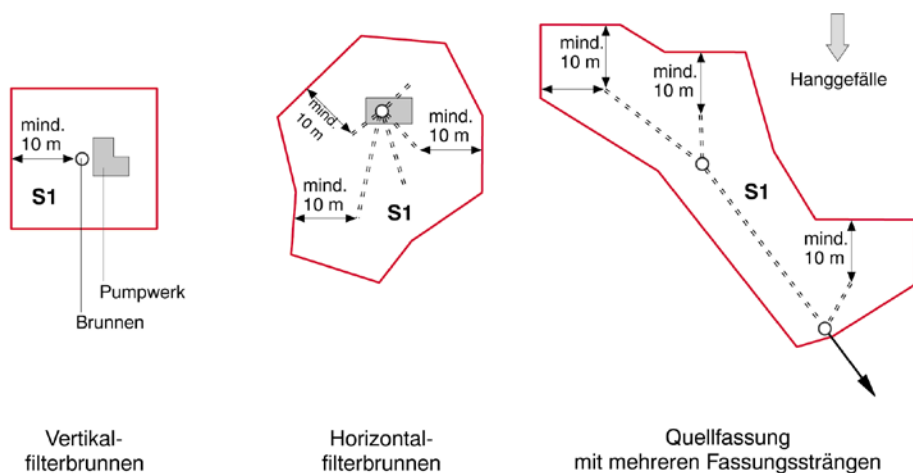
6.5.1 Zone S1

Die Zone S1 umfasst einen Bereich von minimal 10 m um alle Elemente einer Trinkwassergewinnungsanlage (Abb. 9).

Diese umfassen:

- > die Fassungsanlage, d.h. bei Vertikalfilterbrunnen den Brunnenschacht; bei Horizontalfilterbrunnen den Brunnenschacht und die Horizontalstränge; bei *Quellfassungen* den *Fassungsstrang* mit Filterrohren, evtl. mit Einbezug der Brunnenstube;
- > den durch den Bohr- oder Bauvorgang aufgelockerten Bereich;
- > im Falle von Anreicherungsanlagen die ganze Anlage einschliesslich der gesamten für die Anreicherung vorgesehenen Sickerfläche.

Abb. 9 > Bemessung der Zone S1



Bei Quellfassungen kann der Grenzabstand talseitig weniger als 10 m betragen. Je nach Topographie ist bergseitig zum Schutz vor Einschwemmungen der Grenzabstand auch grösser als 10 m zu wählen.

Bei Horizontalfilterbrunnen mit tief liegenden Fassungssträngen oder bei Fassungen, bei denen genügend mächtige Deck- bzw. Zwischenschichten mit geringer Durchlässigkeit vorhanden sind, kann sich die Zone S1, je nach Situation, auf den Schutz der unmittelbaren Umgebung der oberirdischen Anlageteile beschränken.

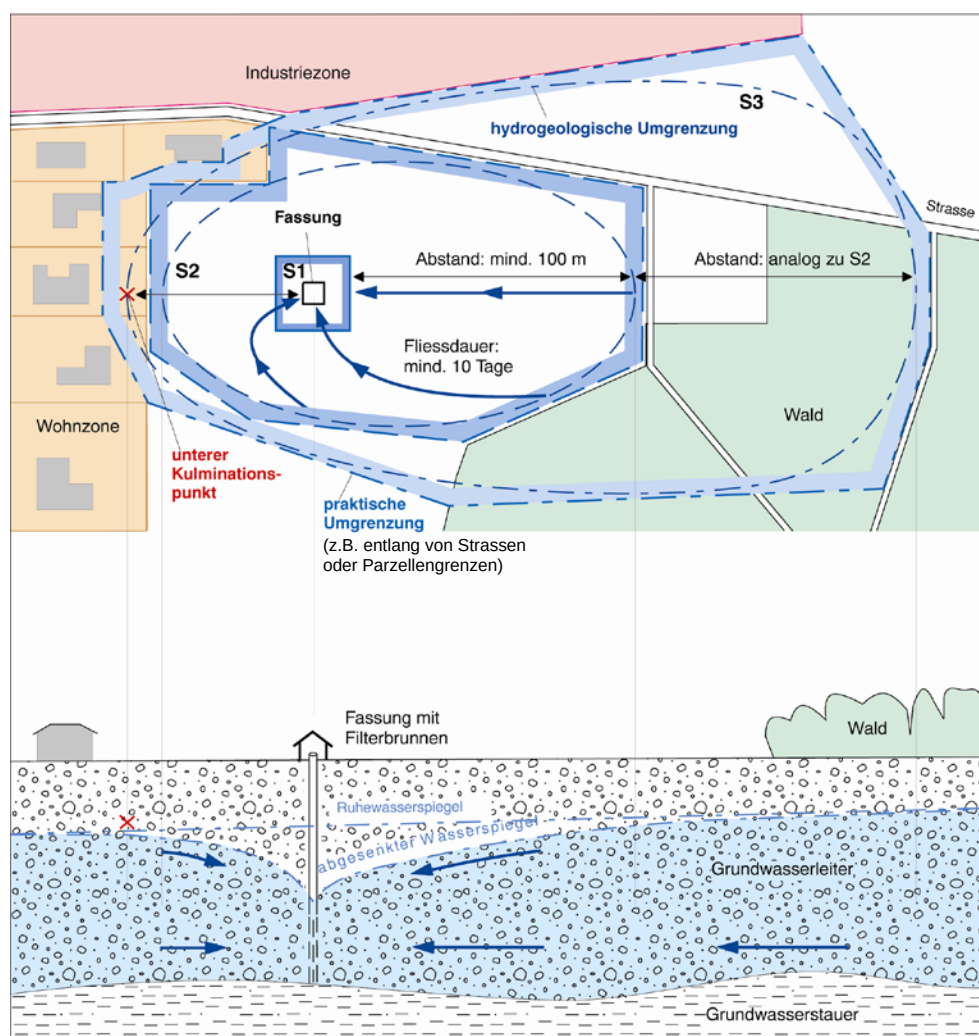
6.5.2 Zone S2

Die Zone S2 (Abb. 10) wird so dimensioniert, dass:

- > die Verweilzeit (Fließdauer, Aufenthaltszeit, Verweildauer) des Grundwassers vom äusseren Rand der Zone S2 bis zur Grundwasserfassung mindestens 10 Tage beträgt,
- > der Abstand von der Zone S1 bis zum äusseren Rand der Zone S2 in Zustromrichtung mindestens 100 Meter beträgt.

Für die Dimensionierung sollten grundsätzlich immer beide Bedingungen erfüllt sein, d.h. liegt der Abstand der 10-Tages-Isochrone näher als 100 m zur Grenze S1/S2, kommt die 100 m-Regel zum Tragen. Die 10-Tages-Isochrone entspricht der Linie, von der aus das Grundwasser bis zum Erreichen der Fassung bei kontinuierlicher Entnahme der Konzessions- bzw. Bemessungsentnahmeleistung 10 Tage benötigt (vgl. Kap. 6.4).

Abb. 10 > Bemessung der Zonen S2 und S3



Bei der Dimensionierung der Zone S2 ist einzig die Verweilzeit des Grundwassers im wassergesättigten Untergrund zu berücksichtigen. Die Dauer der Versickerung des Niederschlagswassers von der Geländeoberfläche bis zum Grundwasserspiegel soll nicht in die Berechnung miteinbezogen werden.

In Ausnahmefällen, bei Vorliegen spezieller hydrogeologischer Verhältnisse, kann von den oben genannten Minimalanforderungen abgewichen werden. Insbesondere kann der Abstand von der Zone S1 bis zum äusseren Rand der Zone S2 in Zuströmrichtung kleiner als 100 m sein, wenn durch hydrogeologische Untersuchungen nachgewiesen ist, dass eine durchgehende, gering durchlässige und nicht verletzte Deckschicht einen gleichwertigen Schutz gewährleistet. Die oben genannte Minimaldistanz von 100 m kann also unter den nachfolgend genannten Voraussetzungen reduziert werden:

- > Bei einstöckigen Grundwasservorkommen, wenn mit Baggerschlitten, Sondierbohrungen und/oder geophysikalischen Untersuchungen ein homogener Aufbau der Deckschicht nachgewiesen wird, ohne dass die Sondierungen die Schutzwirkung der Deckschicht beeinträchtigen. Die Deckschicht soll eine geringe Durchlässigkeit ($k < 1 \times 10^{-7}$ m/s) und eine Mächtigkeit von mindestens 5 Metern aufweisen, und es dürfen keine besser durchlässigen Linsen auftreten. Die Durchlässigkeit der Deckschicht soll mittels Versuchen (z. B. Versickerungsversuche) bestimmt werden. Der Grenzabstand zwischen den Zonen S1 und S2 darf jedoch 50 m nicht unterschreiten.
- > Bei mehrstöckigen Grundwasservorkommen, wenn das zur Trinkwassernutzung geförderte Grundwasser nachweislich aus einem tiefer liegenden Grundwasserstockwerk stammt, und eine hydraulische Verbindung zwischen dem oberflächennahen Grundwasser und dem genutzten tief liegenden Vorkommen auch langfristig ausgeschlossen werden kann. Dies kann z. B. bei Horizontalfilterbrunnen mit tief liegenden Fassungssträngen oder bei Quelfassungen mit gebohrten oder bergmännisch erstellten Fassungssträngen der Fall sein.

6.5.3 Zone S3

Für die Dimensionierung der Zone S3 (Abb.10) gelten folgende Regeln:

- > Stromabwärts soll die Zone S3 zumindest den Entnahmebereich bis zum unteren Kulminationspunkt umfassen. Es ist dies derjenige Punkt, von dem aus das Grundwasser auch bei ungünstigen Voraussetzungen nicht mehr zur Fassung zurückströmen kann.
- > Stromaufwärts soll der Abstand vom äusseren Rand der Zone S2 bis zum äusseren Rand der Zone S3 etwa gleich gross sein wie der Abstand von der Zone S1 bis zum äusseren Rand der Zone S2.

6.5.4 Die «praktische» Umgrenzung von Schutzzonen

Die praktische Umgrenzung umhüllt die hydrogeologische Umgrenzung und berücksichtigt die örtlichen Gegebenheiten (Abb. 10). Sie stellt im Schutzzonenplan die rechtskräftige Abgrenzung dar.

Mögliche Elemente der praktischen Umgrenzung können sein:

- > Parzellengrenzen
- > Waldrand
- > Strassen und Wege
- > Gewässer

Schläge (Grenzen der Bewirtschaftungsflächen)

7 > Abklärungen zur Erstellung des Gefahrenkatasters und des Konfliktplans

Der Gefahrenkataster und der Konfliktplan zeigen die in einer bestehenden oder geplanten Schutzzone vorhandenen Nutzungskonflikte zwischen der Trinkwassernutzung und anderen Nutzungen. Sie sind integraler Bestandteil des hydrogeologischen Schutzzonenberichts und Grundlage für die Massnahmen, die im Schutzzonenreglement festgelegt werden. Allfällige Gefährdungen sind parzellenscharf zu erfassen.

Für die Erstellung des Gefahrenkatasters mit dazugehörendem Konfliktplan sind je nach Standort folgende Grundlagen auszuwerten:

- > Richt- und Zonenpläne
 - Kantonale, regionale und kommunale Richt- und Teilrichtpläne (z. B. Richtpläne für Abbau- und Deponiestandorte, Gewässerraum, Verkehrs- und Tourismusinfrastrukturen usw.)
 - Kommunale Zonenpläne: Genereller Überbauungsgrad, Industrie- und Gewerbezone, Wohnzone, gemischte Zonen, Zonen für öffentliche Nutzung, Landwirtschaftszonen, Waldgebiete, Naturschutzgebiete usw.
- > Kommunale Kataster (einschliesslich erdverlegte Leitungen, Kanalisation, Siedlungsentwässerung)
 - Leitungspläne Kanalisation, Elektrizität, Telekommunikation, Kabelfernsehen, Gas (inkl. Transitgasleitungen)
 - Genereller Entwässerungsplan (GEP) mit Kanalisationsleitungen
 - Kommunales Verzeichnis der Versickerungsanlagen inkl. Wartungsstand und ggf. Versickerungskarte (GEP)
 - Meliorationspläne mit Drainageleitungen und eingedolten Bächen
- > Belastete Standorte und Betriebe
 - Kataster der belasteten Standorte
 - Betriebskataster
 - Tankkataster
- > Verkehrswege
 - Bei Strassen: Strassenentwässerung (sofern auf dem Kanalisationsplan nicht aufgeführt), Anfrage bei der Kantonspolizei bzgl. Unfallstatistik
 - Bei Bahnlinien: Anfrage bzgl. Anzahl Gefahrguttransporte, vorhandene Gleisentwässerung, Pflanzenschutzmitteleinsatz, Ausbau- und Sanierungspläne
- > Naturgefahren
 - Gefahrenkarten (Überschwemmung, Steinschlag, Erdbeben usw.)

> Grundwassernutzungen

- Grundbuchauszüge mit Quellrechten und evtl. anderen Dienstbarkeiten
- Quellenkataster
- Kantonaler Kataster Grundwasserentnahmen, Erdsonden und Wärmepumpen
- Gewässerschutzkarte, Grundwasserkarte, Wasserversorgungsatlas

Sofern wichtige Plangrundlagen oder Datenbankauszüge fehlen, sind die entsprechenden Informationen durch Befragungen innerhalb der Gemeinde- und/oder Kantonsverwaltung einzuholen.

Vor Ort sind – sofern aus den vorhandenen Unterlagen noch nicht ersichtlich – oft zusätzliche Aufnahmen bzw. Kartierungen vorzunehmen. Diese beinhalten in der Regel:

- > Inventarisierung von landwirtschaftlichen baulichen Anlagen wie Lagereinrichtungen für häusliches Abwasser und Hofdünger (Güllebehälter, Schwemm- und Sammelkanäle, Silosafthälter, Mistplatten), Gülle- und Silosaftleitungen bzw. Gülleleitungssystemen mit Schiebern, Pumpen und Zapfstellen, Futtersilos, Kompostplätzen, Lokalen zur Lagerung und Zubereitung von Pflanzenschutzmitteln, Mineraldüngern und anderen Agrochemikalien, Plätzen für die Auffüllung von Spritzgeräten, Remisen und Plätzen für Wartung, Reinigung und Aufbewahrung von landwirtschaftlichen Fahrzeugen und Maschinen (z. B. von Spritzgeräten für Pflanzenschutzmittel), unbefestigten Laufhöfen, Tauchanlagen für die Behandlung von Schafsräude, Umschlagplätzen für Hofdünger, Recyclingdünger, wassergefährdende Stoffe, usw.
- > Fliessgewässer, Weiher, Teiche und Biotope.
- > Gegebenenfalls Sichtung und Beurteilung von Versickerungsanlagen.
- > Besondere landwirtschaftliche Nutzungen (z. B. Zwischenlagerung von Mist auf dem Feld, Feldrandkompostierung, Freilandhaltung von Schweinen, Geflügel, Wasserbüffeln oder Robustrindern, Bereiche mit zerstörter Grasnarbe bei Tränken oder Futterstellen, Intensivobst- oder Gemüsekulturen, Rebberge).
- > Besondere Nutzungen wie Baumschulen, Familiengärten, Reitparcours, Golfplätze, Grillplätze, etc.
- > Vorhandene Abirrschutzmassnahmen wie Leitplanken oder Dämme bei verkehrsreichen oder exponierten Strassen.
- > Ölheizungen und -tanks in Liegenschaften.
- > Detaillierte Erhebung über Lagerung, Verwendung und Umschlag von wassergefährdenden Stoffen in Industrie- und Gewerbebetrieben.
- > Parkplätze, deren Ausgestaltung (Belag, Randbordüren, Entwässerung, Wasseranschluss usw.) und Belegungsfrequenzen.
- > usw.

Die so gewonnen Informationen bilden die Grundlage für den Gefahrenkataster bzw. Konfliktplan (siehe Kapitel 8.5).

8 > Hydrogeologischer Schutzzonenbericht

8.1 Zweck und Anforderungen

Der hydrogeologische Schutzzonenbericht beinhaltet die fachlichen Grundlagen, welche für die Bemessung der Schutzzonen und für die Festlegung von Rahmenbedingungen für die Bewirtschaftung der Schutzzone erforderlich sind. Die Ergebnisse der hydrogeologischen Untersuchungen und Abklärungen werden in diesem Bericht festgehalten.

In der Regel lassen sich die im Bericht zur Eignungsprüfung gemachten Angaben in den hydrogeologischen Schutzzonenbericht übernehmen und durch Erkenntnisse, die sich aus den zusätzlich durchgeführten Untersuchungen und Abklärungen ergeben, ergänzen. Die *Wegleitung Grundwasserschutz* (BUWAL 2004) hält fest, welche Angaben im hydrogeologischen Schutzzonenbericht enthalten sein sollen.

8.2 Grunddaten

Unter Grunddaten verstehen sich Angaben zu Fassungsstandort, Fassungsausbau, Konzession und effektiver Nutzung. Es wird empfohlen, die Grunddaten im Schutzzonenbericht in tabellarischer Form darzustellen. Hierzu folgendes Beispiel einer Fassung im Lockergestein:

Tab. 3 > Fassung A

Standortgemeinde	Musterdorf				
Koordinaten:	600 000/200 000		OK Terrain 464.50 m ü.M.		
Eigentümerin der Fassungen:	Gemeindeverband Wasserversorgung Mustertal Talstrasse 1 9999 Musterdorf				
Konzession:	Laufnummer:	596			
	Konzessionsleistung:	12 000 l/min			
	Datum der Konzession:	20. April 1977			
	Ablauf der Konzession:	30. Juni 2031			
Archivnummern:	Kant. Geologie-Archiv:	600/200.001			
	Kantonschemiker-Nr:	13001			
Bauliche Angaben:	Horizontalfilterbrunnen mit einer Gesamttiefe von 20 m, 8 Filterstränge angelegt bei 18 m, kumulierte Länge der Stränge 216.4 m. Baujahr 1951.				
Ruhegrundwasserstände 1984–2004:		Abstich ab OK Terrain in m:	Kote in m ü.M.:		
	Mittelwert		14.65	449.85	
	Max. (27.3.1988)		10.46	454.04	
	Min. (8.1.2004)		16.48	448.02	
Maximale Leistung der installierten Pumpen:	Zwei Bohrlochpumpen (Parallelbetrieb nicht möglich) à 6'000 l/min.				
Entnahmen 2002–2005 (in Kursivschrift umgerechnete Werte):		m³/Jahr	m³/Monat	m³/Tag	l/min
	Durchschnitt:	442 450	36 871	1 212	842
	Minimum:		17 170	613	426
	Maximum:		58 820	1 897	1 318
Wasseraufbereitung:	keine				

8.3

Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

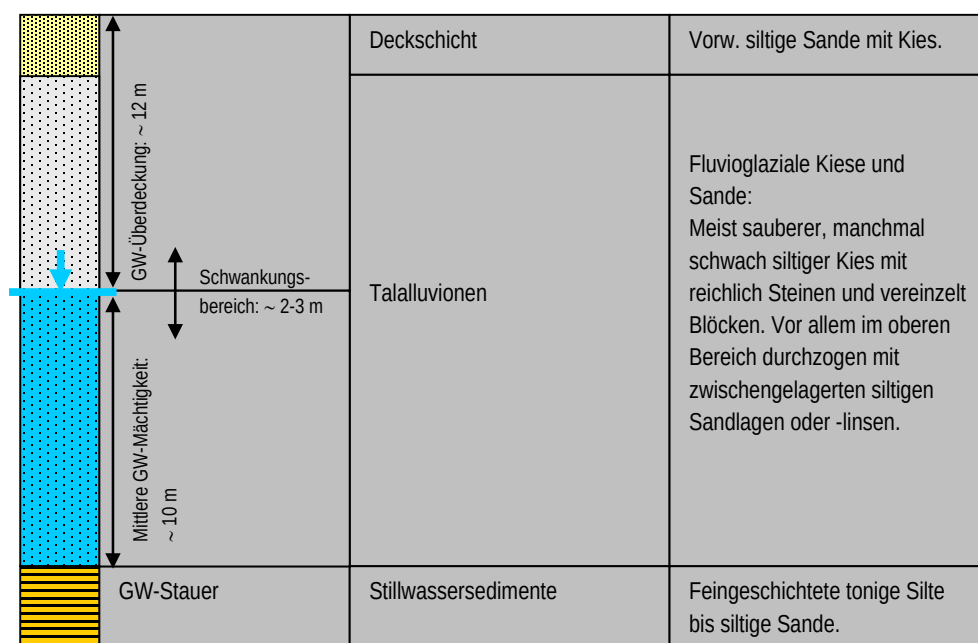
Im Schutzzonenbericht sind die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse zu beschreiben. Einzelne Methoden, die bei schutzzonenspezifischen Untersuchungen angewendet werden können, sind im Kapitel 6 dargelegt.

Nebst der allgemeinen Beschreibung des Grundwasservorkommens und der Strömungsverhältnisse sind bei Lockergesteins-Grundwasserleitern folgende Aspekte von Bedeutung:

- > Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung (Flurabstand und Sickerfähigkeit des ungesättigten Untergrundes).
- > Anströmrichtung, Einzugsparabel, Entnahmebreite und Lage der unteren Kulmination (siehe Kapitel 6)
- > Kenntnisse über Fliessgeschwindigkeiten (Grundlage für die Bestimmung der 10-Tages-Isochrone).

Zum möglichen Aufbau einer solchen Beschreibung folgendes Beispiel (Abb. 11):

Abb. 11 > Schematisches hydrogeologisches Profil



Deckschicht, Grundwasserleiter und Stauer

Die hydrogeologischen Verhältnisse präsentieren sich im Fassungsgebiet wie folgt:

Das Grundwasser fließt in den Talalluvionen. Dabei handelt es sich um Ablagerungen, die nach der letzten Vergletscherung durch ein Flusssystem geschüttet wurden. Die vorliegende Grundwasserüberdeckung gewährleistet einen recht guten Schutz des Grundwassers. Einerseits beträgt der Flurabstand ca. 12 m, andererseits enthält nicht nur die Deckschicht mit variierenden Mächtigkeiten von 0.5 bis 3 m einen erhöhten Feinkornanteil, auch in den Schottern finden sich vor allem im oberen, ungesättigten Untergrund gering durchlässige Silt- und Sandlagen.

Die Grundwassermächtigkeit beläuft sich auf etwa 10 m. Die Durchlässigkeit der fluvialen Schotter ist mit k-Werten von 8×10^{-3} m/s bis $1,5 \times 10^{-2}$ m/s als sehr hoch zu bezeichnen.

Strömungsverhältnisse und Bestimmung der 10-Tages-Isochrone

Die generellen Strömungsverhältnisse gehen aus der Isohypsendarstellung (Verweis auf Berichtsbeilage) hervor. Das Grundwasser fließt parallel zum Tal von Süd nach Nord. Im Fassungsgebiet beträgt der Gradient im unbeeinflussten Zustand 0.2 %.

Bei einem Grosspumpversuch konnte die Lage der «unteren Kulmination» geltend für Konzessionsentnahmeverhältnisse mittels Grundwasserstandsmessungen sehr genau bestimmt werden. Sie liegt 40 Meter nördlich der Fassung.

Im Hinblick auf die Überarbeitung der Schutzzonenumgrenzungen sind in erster Linie Informationen über die Fließgeschwindigkeit respektive über den Verlauf der 10-Tages-Isochrone von Interesse. Massgebend für die Bestimmung der 10-Tages-Isochrone ist bei Tracer-Versuchen die Peak-Geschwindigkeit. Diverse im Fassungsgebiet ausgeführte Markerversuche führen zu folgenden Ergebnissen: In direkter Zuflussrichtung variiert die Peak-Geschwindigkeit von 11 bis 15 m/Tag. Angesichts der Tatsache, dass nicht bei allen Versuchen die volle Konzessionsleistung durchgehend gefördert wurde, ist für die Schutzzonenausscheidung von einer Fließgeschwindigkeit in direkter Zuflussrichtung von 15 m/Tag auszugehen. Dies bedeutet, dass die 10-Tages-Isochrone, welche gemäss GSchV die äussere Begrenzung der Zone S2 darstellt, in direkter Zuflussrichtung ca. 150 m von der Fassung entfernt liegen muss. Der im Rahmen des Grosspumpversuchs am Rande des Industriegebietes eingegebene Tracer wurde bei der Fassung nicht nachgewiesen. Dieses Ergebnis bestätigt die Vermutung, welche bereits aus der Interpretation der Grundwasserisohypsen (Zustand bei Pumpbetrieb, Verweis auf Berichtsbeilage) hervorgeht: Das östlich des Fassungsgebietes liegende Industriegebiet befindet sich ausserhalb des Entnahmebereichs und somit ausserhalb der festzulegenden Schutzzone.

8.4

Grundwasserqualität

Der hydrogeologische Schutzzonenbericht soll eine ausführliche Bestandesaufnahme der hygienischen und chemischen Grundwasserqualität enthalten. Im Vordergrund steht die Beurteilung des Grundwassers am Fassungsstandort (bestehende Fassung oder Versuchsbrunnen für geplante Fassungen). Fallweise sind aber auch Analysen von Messstellen im Einzugsgebiet in die Betrachtung mit einzubeziehen (v. a. wenn sich im Fassungseinzugsgebiet belastete Standorte befinden).

Die gemessenen Parameter sind den qualitativen Anforderungen an Trinkwasser und an Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, gegenüberzustellen. Das heisst, es ist nachzuweisen, dass das gefasste Wasser diesen Anforderungen entspricht. Eine umfassende Liste von Hinweisparametern für mögliche Verschmutzungen ist im Anhang A1 der *Wegleitung Grundwasserschutz* (BUWAL 2004) sowie im Anhang 5 der *Praxishilfe Grundwasserprobenahme* (BUWAL 2003) enthalten. Hilfreich für die Interpretation von Analyseergebnissen ist zudem die tabellarische Zusammenstellung im Kapitel 27A des *Schweizerischen Lebensmittelbuchs* (BAG 2003).

8.5

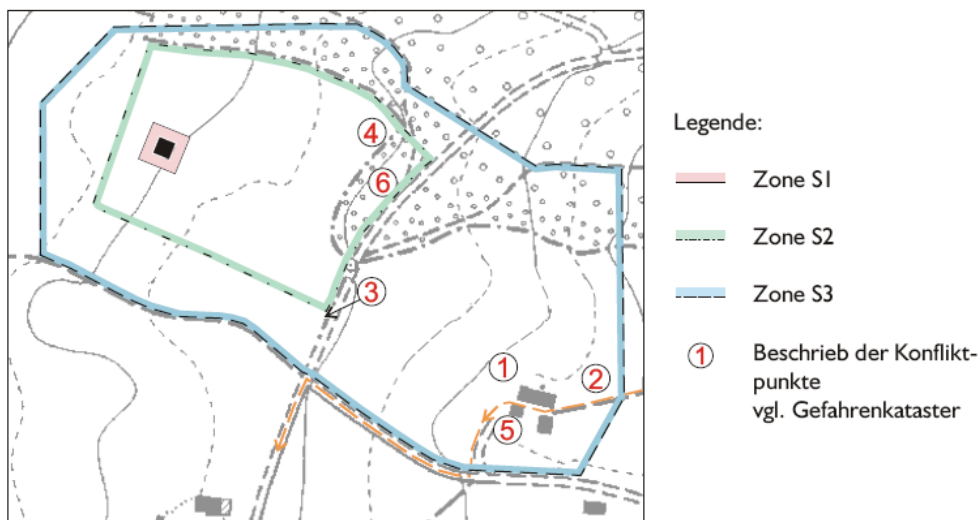
Gefahrenkataster und Konfliktplan

In einem Gefahrenkataster werden die zum jeweiligen Zeitpunkt bekannten Anlagen bzw. Nutzungen tabellarisch aufgeführt und der jeweilige Nutzungskonflikt zwischen Anlage und Schutzzone aufgezeigt. Nutzungskonflikte werden stichwortartig beschrieben. Für fehlende Schutzmassnahmen müssen Vorschläge und Kostenabschätzungen gemacht und Fristen veranschlagt werden.

Im Konfliktplan (Abb. 12) wird der für die Schutzzonenausscheidung relevante Kartenausschnitt mit den Nutzungskonflikten des Gefahrenkatasters zeichnerisch dargestellt.

Gefahrenkataster und Konfliktplan bilden die Grundlage für den Massnahmenkatalog (vgl. Kap. 9.2), der periodisch zu aktualisieren ist.

Abb. 12 > Schematische Darstellung des Konfliktplans



Tab. 4 > Gefahrenkataster (zum Konfliktplan gemäss Abb. 12)

Zone	Parzelle	Nr. gem. Plan	Beschreibung, empfohlene Massnahmen
Oberirdische Bauten, Betriebe und Anlagen			
S3	1000	1	Bauernhof mit Ölheizung (Tank 1999 eingebaut, gemäss Auskunft der kant. Fachstelle entspricht dieser den für Schutzzonen geltenden Vorschriften). Kontrolle mit regelmässigen Nachkontrollen erforderlich alle 10 Jahre für den Tank, alle 2 Jahre für die Leckanzeigesysteme (gemäss Art. 32a GSchV).
Abwasseranlagen			
S3	1000	2	Abwasserleitung (inkl. Grundstückanschluss). Ca. 1975 verlegt. Zustand unbekannt. Kontrolle mit regelmässigen Nachkontrollen (alle 5 Jahre) erforderlich.
Strassen			
S3	1000, 8203	3	Nicht-asphaltierte Flurstrasse. Gemäss Auskunft Bauverwaltung sei Belagsbau geplant. In Kontakt bleiben und sicherstellen, dass Entwässerung den Vorschriften entsprechend geplant und erstellt wird.
S2, S3	1000, 8203		Diverse Feld- und Forstwege. Keine besonderen Massnahmen erforderlich.
Landwirtschaft			
S1	7555		Parzelle im Eigentum der Wasserversorgung, eingezäunt mit verschliessbarem Tor. Keine besonderen Massnahme erforderlich
S2, S3	1000		Weiden und Ackerflächen. Massnahmen: schriftliche Information über das Gülleverbot in der Zone S2 und die in der Zone S2 verbotenen Pflanzenschutzmittel. Betroffener Landwirt wurde durch die Wasserversorgung bereits vorinformiert.
S2	1000	4	Siloballen: Verlegung in S3 (Landwirt ist vorinformiert)
S3	1000	5	Güllegrube, Mistplatte und Leitungen beim o.g. Bauernhof. Massnahme: Güllegrube, Mistplatte und Leitungen durch Spezialisten inspizieren lassen. Nachkontrollen alle 5 Jahre.
Forstwirtschaft			
S2, S3	8203		Bürgerwald. Bürgergemeinde ist über Nutzungseinschränkungen (bzgl. Holzschutzmittel, Lagerung und Berieselung) bereits orientiert.
S2	8203	6	Holzlager (wird laut Bürgergemeinde im Herbst an neuen Standort ausserhalb Schutzzone verlegt). Kontrolle, ob dies erfolgt ist.

Gefahrenkataster und Konfliktplan widerspiegeln eine Bestandsaufnahme nicht zonenkonformer Anlagen und Nutzungen zum Zeitpunkt der Schutzzonenausscheidung. Die weiterführende Steuerung und Dokumentation von erforderlichen Massnahmen erfolgt durch den Massnahmenkatalog gemäss Kap. 9.2.

9 > Massnahmen in den Grundwasserschutzzonen

9.1 Verweis auf die Wegleitung Grundwasserschutz

Die *Wegleitung Grundwasserschutz* (BUWAL 2004) zeigt in Kapitel 4 auf, welche Massnahmen nach Erlass der Schutzzonen einzuleiten sind. Unter anderem gibt sie Empfehlungen zu folgenden Aspekten:

- > Vorgehen bei Schutzzonen mit nicht zonenkonformen Nutzungen
- > Gesetzlicher Spielraum für Ausnahmemöglichkeiten
- > Eigentumsbeschränkungen und Entschädigungen
- > Verwendung von Gülle und flüssigen Recyclingdüngern in der Zone S2

9.2 Massnahmenkatalog für die Sanierung bzw. Überwachung vorhandener Nutzungen mit Konfliktpotenzial

Das vorliegende Modul zeigt anhand eines Beispiels die Methodik auf, wie nicht zonenkonforme Nutzungen und Anlagen inventarisiert und die entsprechenden Massnahmen festgehalten werden können.

Der Massnahmenkatalog ist ein Werkzeug, das durch den Schweizerischen Verein des Gas- und Wasserfaches entwickelt wurde (SVGW, 2005b). Die Grundlage dazu bildet der Gefahrenkataster aus dem hydrogeologischen Schutzzonenbericht. Im Unterschied zu diesem ist der Massnahmenkatalog aber ein *dynamisches* Instrument für die Wasserversorgung und Vollzugsbehörden, um die in der Schutzzone erforderlichen Massnahmen gemäss Schutzzonenreglement steuern und dokumentieren zu können.

Das Vorgehen geht aus dem unten stehenden Beispiel hervor. Die Reihenfolge der aufgeführten Objekte und Nutzungen richtet sich nach den Referenztabelle gemäss *Wegleitung Grundwasserschutz* (BUWAL 2004). Es empfiehlt sich, den Massnahmenkatalog mindestens einmal jährlich zu aktualisieren.

Tab. 5 > Massnahmenkatalog zum Vollzug der Schutzzonenbestimmungen

Zone	Parzelle	Massnahme
Massnahmenkatalog erstellt bei Inkraftsetzung der Schutzzone		
Abwasserleitung (Grundstückanschluss)		
S3	1000, 1001, 1002	Besprechung mit für Kanalisation zuständigem Gemeinderat. Auftrag an Spezialunternehmen zur Kontrolle der Leitung mittels Kanalfernsehen fordern (vgl. SIA Norm 190).
Kantonsstrasse		
S3	1003	Sitzung mit Vertretern des kantonalen Tiefbauamtes und der Fachstelle Gewässerschutz organisieren. Vorgaben des Schutzzonenreglements erläutern und dichte Entwässerung des Strassenabschnittes inkl. Leitplanken fordern.
Zufahrtsstrasse zur Fassung		
S1, S2	1004	Allgemeines Fahrverbot am Waldrand wurde durch Gemeinde bereits montiert. Beachtung des Fahrverbots stichprobenartig überwachen. Gegebenenfalls Barriere einrichten.
Landwirtschaft: Gülleverbot und Einschränkung von Pflanzenschutzmitteln in S2		
S2	1000 (Nordteil), 1005	Gülleverbot und in der Zone S2 verbotene Pflanzenschutzmittel wurden den zwei betroffenen Landwirten kommuniziert. Vereinbarung über eine Entschädigung beim freiwilligen Verzicht auf die Verwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln wurde bereits verfasst, dürfte in den kommenden Wochen unterzeichnet werden.
Güllegrube bei Bauernhof		
S3	1000	In Absprache mit dem betroffenen Landwirt Auftrag an Spezialisten zur Inspektion der Güllegrube erteilen.
Massnahmenkatalog aktualisiert ein Jahr nach Inkraftsetzung der Schutzzone		
Abwasserleitung (Grundstückanschluss)		
S3	1000, 1001, 1002	Kanalfernsehuntersuchung durchgeführt. Eine Schadensstelle mit Wurzeleinwuchs wurde sofort repariert. Ansonsten Zustand i.O. Unternehmerleistungen für Sanierungskosten wurden durch Grundeigentümer übernommen. Nächste Kontrolle in 4 Jahren.
Kantonsstrasse		
S3	1003	Gemäss Auskunft Tiefbauamt sei Projektierung für dichte Entwässerung und Leitplanken im Gange. Arbeiten für nächstes Jahr budgetiert.
Landwirtschaft: Gülleverbot und Einschränkung von Pflanzenschutzmitteln in S2		
S2	1000 (Nordteil), 1005	Entschädigungsvereinbarung mit den beiden betroffenen Landwirten in Kraft gesetzt.
Güllegrube bei Bauernhof		
S3	1000	Zustandskontrolle ist erfolgt. Kleiner Riss wurde repariert. Nächste Kontrolle in 4 Jahren.

Zone	Parzelle	Massnahme
------	----------	-----------

Massnahmenkatalog aktualisiert zwei Jahre nach Inkraftsetzung der Schutzzone

Abwasserleitung (Grundstückanschluss)

S3	1000, 1001, 1002	Nächste Kontrolle in 3 Jahren.
----	------------------	--------------------------------

Kantonsstrasse

S3	1003	Vollentwässerung und Leitplanken sind erstellt. Reguläre Kontrolle der Entwässerungsleitung erfolgt durch Tiefbauamt.
----	------	---

Zufahrtsstrasse zur Fassung

S1, S2	1004	Trotz Fahrverbot parkieren Ausflügler ihre Autos immer wieder vor der Umzäunung (Grenze S1). Mit einer Barriere an der Aussengrenze der Zone S2 ist dies zu verhindern. Koordination mit Burgergemeinde.
--------	------	--

Güllegrube bei Bauernhof

S3	1000	Nächste Kontrolle in 3 Jahren.
----	------	--------------------------------

Massnahmenkatalog aktualisiert drei Jahre nach Inkraftsetzung der Schutzzone

Abwasserleitung (Grundstückanschluss)

S3	1000, 1001, 1002	Nächste Kontrolle in 2 Jahren.
----	------------------	--------------------------------

Zufahrtsstrasse zur Fassung

S1, S2	1004	Misstände bzgl. Parkieren entlang Umzäunung konnten durch den Bau einer Barriere behoben werden. Keine weiteren Massnahmen erforderlich.
--------	------	--

Güllegrube bei Bauernhof

S3	1000	Nächste Kontrolle in 2 Jahren.
----	------	--------------------------------

Verwendung von Pflanzenschutzmitteln

?	?	Die jüngsten Ergebnisse der Trinkwasseranalysen zeigen, dass Pflanzenschutzmittel in Konzentrationen knapp unter dem Toleranzwert auftreten. Die kant. Umweltschutzfachstelle wurde informiert. Sie wird eine Fachperson beauftragen, entsprechende Abklärungen über die möglichen Ursachen durchzuführen. Aufwendungen Fachperson zu Lasten Wasserversorgung. Analysen auf Pflanzenschutzmittel bis auf weiteres 3 mal jährlich durchführen.
---	---	---

> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1 Grundwasserschutzzonen als natürliche Trinkwasseraufbereitungsanlagen	16
Abb. 2 Mögliches Ablaufschema zum Erlass von Grundwasserschutzzonen im Lockergestein	18
Abb. 3 Konfliktplan eines Gebietes mit vielen Gefährdungen	29
Abb. 4 Konfliktplan eines Gebietes mit wenigen Gefährdungen	30
Abb. 5 Vorgehen bei der Bemessung von Schutzzonen im Überblick	33
Abb. 6 Entnahmebereich	34
Abb. 7 Interpretation von Markierstoff-Durchgangskurven	37
Abb. 8 Strömungsbild bei einem Brunnen mit eingetragenen Bezugsgrössen zu den Formeln nach Wyssling	40
Abb. 9 Bemessung der Zone S1	42
Abb. 10 Bemessung der Zonen S2 und S3	43
Abb. 11 Schematisches hydrogeologisches Profil	50
Abb. 12 Schematische Darstellung des Konfliktplans	52

Tabellen

Tab. 1 Checkliste zur Standortbewertung geplanter Fassungen	21
Tab. 2 Checkliste zur Standortbewertung bestehender Fassungen	24
Tab. 3 Fassung A	49
Tab. 4 Gefahrenkataster (zum Konfliktplan gemäss Abb. 12)	53
Tab. 5 Massnahmenkatalog zum Vollzug der Schutzzonenbestimmungen	55

> Literatur

Bundesamt für Gesundheit BAG 2003: Schweizerisches Lebensmittelbuch SLMB. Erhältlich als CD-Rom, wird fortlaufend aktualisiert.

Bundesamt für Gesundheit BAG 2010: Anerkannte Aufbereitungsverfahren für Trinkwasser.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL 1998: Kartierung der Vulnerabilität in Karstgebieten (Methode EPIK). Praxishilfe, Vollzug Umwelt.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL 2003: Grundwasserprobenahme. Praxishilfe, Vollzug Umwelt.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL 2004: Wegleitung Grundwasserschutz. Vollzug Umwelt.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL 2005: Bemessung des Zuströmbereichs Z_u . Praxishilfe, Vollzug Umwelt.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL und Bundesamt für Wasser und Geologie BWG 2003: Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen in Kluft-Grundwasserleitern. Praxishilfe, Vollzug Umwelt.

Bundesamt für Wasser und Geologie BWG 2002: Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie, Praxishilfe. Berichte BWG, Serie Geologie, Nr. 3.

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA 2000: Norm 190. Kanalisationen.

Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW 2005: Richtlinien für die Qualitätsüberwachung in der Trinkwasserversorgung. Regelwerk, W1d.

Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW 2005: Richtlinie für die Qualitätssicherung in Grundwasserschutzzonen. Regelwerk, W2d.

Taschenbuch der Wasserversorgung 2007: 14. Auflage, Hrsg. Mutschmann J. und Stimmelmayer F. Vieweg Verlag, Wiesbaden.

Wyssling L. 1979: Eine neue Formel zur Berechnung der Zuströmungsdauer (Laufzeit) des Grundwassers zu einem Grundwasser Pumpwerk. *Eclogae geol. Helv.* 72.2, 401–406.