

Vollzug Umwelt

PRAXISHILFE

Ausscheidung von Grundwasserschutz- zonen bei Kluft- Grundwasserleitern



PRAXISHILFE

Ausscheidung von Grundwasserschutz- zonen bei Kluft- Grundwasserleitern

Distanz-Methode
Isochronen-Methode
Methode DISCO

Con riassunto in italiano

**Herausgeber:
Bundesamt für Umwelt, Wald und
Landschaft BUWAL und Bundesamt
für Wasser und Geologie BWG
Bern, 2003**

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BUWAL als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis ermöglichen. Das BUWAL veröffentlicht solche Vollzugshilfen (oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Vollzug Umwelt».

Die Vollzugshilfen gewährleisten einerseits ein grosses Mass an Rechtsgleichheit und Rechtssicherheit; andererseits ermöglichen sie im Einzelfall flexible und angepasste Lösungen. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen. Andere Lösungen sind nicht ausgeschlossen; gemäss Gerichtspraxis muss jedoch nachgewiesen werden, dass sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL),
Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG).
Das BUWAL und das BWG sind Ämter des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Alain Pochon
François Zwahlen
*Université de Neuchâtel
Centre d'Hydrogéologie (CHYN)
Rue Emile-Argand 11
2007 Neuchâtel*

Zitiervorschlag

POCHON, A. & ZWAHLEN, F. 2003: Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen bei Kluft-Grundwasserleitern – Praxishilfe. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern, 83 S.

Redaktion und Umsetzung

François Pasquier
Hydrogéologue - conseil, 2108 Couvet

Expertengruppe

Jean-Pierre Tripet*, Präsident
BWG, Landesgeologie
Nathalie Doerfliger*
BRGM, Service EAU, Montpellier, Frankreich
Benjamin Meylan
BUWAL, Abteilung Gewässerschutz und Fischerei
Philippe Renard*
ETH Zürich, Ingenieurgeologie
Gianni della Valle*
Hydrogeologe, Stettlen / BE
Andres Wildberger*
Dr. von Moos AG, Zürich

* Vertreter der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrogeologie (SGH)

Layout

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Übersetzung

Michael Sinreich
Université de Neuchâtel, Centre d'Hydrogéologie (CHYN)
mit Beiträgen von Andres Wildberger
Dr. von Moos AG, 8037 Zürich

Titelbild

Granit des Aarmassivs in der Nähe des Grimselpasses
(Foto Beat Sigrüst, BWG)

Bezug

BUWAL
Dokumentation
CH-3003 Bern
Fax + 41 (0) 31 324 02 16
docu@buwal.admin.ch
www.buwalshop.ch

Bestellnummer / Preis:

VU-2505-D / gratis.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache erhältlich – Originalsprache (VU-2505-F).

Abschluss der methodischen Entwicklung: März 2002

© BUWAL 2003 3.2004 1200 09090/202

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	5.3.1 Schritt 1: Erfassung der Parameter Trennflächen» und «schützende Deckschicht»	31
Vorwort / Premessa	7	5.3.2 Schritt 2: Berechnung des provisorischen Schutzfaktors F_{int}	33
Zusammenfassung	8	5.3.3 Schritt 3: Bestimmung des definitiven Schutzfaktors F	33
Riassunto	10	5.3.4 Schritt 4: Bemessung der Schutzzonen	33
1 Einleitung	13	5.4 Anpassung und Überprüfung der Methode, Empfehlungen	38
2 Charakteristik von Kluft-Grundwasserleitern	16	6 Anwendungsbeispiele	39
2.1 Generelle Eigenschaften, vereinfachtes Funktionsschema	16	6.1 Sarreyer (VS) – Gneise und Schiefer der Siviez-Mischabel-Decke. Gering vulnerable Grundwasserfassung (Gruppe a), Distanz-Methode	40
2.2 Verbreitung und Eigenschaften von Kluft-Grundwasserleitern in der Schweiz	16	6.2 Ronco sopra Ascona (TI) – Gneise und Amphibolite der Ivrea-Zone. Vulnerable Grundwasserfassung, schwach heterogener Grundwasserleiter (Fall b1), Isochronen-Methode	43
2.3 Bestimmende Faktoren für die Funktionsweise eines Kluft-Grundwasserleiters	18	6.3 Rieden (SG) – Nagelfluh, Sandsteine und Mergel der subalpinen Molasse. Vulnerable Grundwasserfassungen, stark heterogener Grundwasserleiter (Fall b2), Multikriterien-Methode «DISCO»	48
2.4 Nutzung und Schutz der Trinkwasserressourcen	19	6.4 Wyssberg (BE) – Flysch-Sandsteine und -Schiefer der Niesen-Decke. Vulnerable Grundwasserfassungen, stark heterogener Grundwasserleiter (Fall b2), Multikriterien-Methode «DISCO»	55
3 Methodik zur Bemessung der Schutzzonen	20	6.5 Sonderfälle	62
3.1 Erheben der Basisdaten – Einstufung der Vulnerabilität der Grundwasserfassung	20	6.5.1 Deutlich aufgelockerte Kluft-Grundwasserleiter und instabile Zonen	62
3.2 Weiterführende Untersuchungen bei vulnerablen Grundwasserfassungen – Bestimmung des Heterogenitätsgrades des Grundwasserleiters	24	6.5.2 Gemischte Grundwasserleiter (Korn- und Kluftporosität)	65
4 Bemessung der Schutzzonen – Kluft-Grundwasserleiter mit annähernd kontinuierlichen Eigenschaften	27	6.5.3 Versickerung von Wasserläufen im Umfeld einer Fassung	68
4.1 Gering vulnerable Grundwasserfassungen (Gruppe a), Distanz-Methode	27	7 Empfehlungen, finanzielle Aspekte	69
4.2 Vulnerable Grundwasserfassungen, schwach heterogener Grundwasserleiter (Fall b1), Isochronen-Methode	28	7.1 Empfehlungen	69
5 Bemessung der Schutzzonen – stark heterogene Kluft-Grundwasserleiter, Methode «DISCO»	30	7.2 Finanzielle Aspekte	69
Vulnerable Grundwasserfassungen, stark heterogene Grundwasserleiter (Fall b2), Multikriterien-Methode «DISCO»		8 Schlussfolgerungen und Ausblick	71
5.1 Anwendungsbereich	30	9 Literaturverzeichnis	72
5.2 Prinzip, Modellvorstellung	31		
5.3 Vorgehensweise	31		

Anhänge		74
1	Bestimmung der Einzugsgebietsgrösse mit der Bilanz des Jahresniederschlags	74
2	Generelle Einstufung der Vulnerabilität einer Grundwasserfassung	76
3	Charakterisierung der Grundwasserleiter mittels Hydrogrammen	78
4	Empfehlungen für Markerversuche in geklüfteten Gesteinen	80
5	Charakterisierung der Böden (Boden im pedologischen Sinn und Lockergesteine)	81
6	Versickerungsversuche (Durchlässigkeitsbestimmung der Deckschicht)	82

Abstracts

Delineating groundwater protection zones in fractured media

Under the Swiss Water Resources Protection Ordinance (Gewässerschutzverordnung – GSchV, SR 814.201) of October 28, 1998, the degree of vulnerability in the catchment area of springs and wells determines, in fractured media, the delineation of groundwater protection zones. The present practical guide explains the procedure for delineating such protection zones.

Due to the great diversity of geological and hydrogeological conditions prevailing in fractured media, it is not possible to delineate protection zones for such aquifers according to an uniform method. Consequently, the first step of the systematic methodological approach is to survey and evaluate basic data of the specific catchment facility (spring or well) and of the aquifer. The data such as discharge, physico-chemical parameters, turbidity and biology allow the vulnerability of the catchment facility to be evaluated. If vulnerability is low, protection zones can be defined with a minimum size (Distance Method). For vulnerable catchments, additional investigations need to be conducted in order to gain more precise information on the groundwater flow behaviour and degree of heterogeneity of the aquifer. If the degree of heterogeneity is found to be low, the protection zone is delineated by means of isochrones (Isochrone Method). The «DISCO» Method, a more complex multi-criteria method, is only applied if the aquifer is highly heterogeneous and the catchment is vulnerable.

Key words: Groundwater, joint aquifer, vulnerability, catchment area, mapping, groundwater protection zones, DISCO.

Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen bei Kluft-Grundwasserleitern

Gemäss Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201) ist für die Dimensionierung der Grundwasserschutzzonen bei Kluftgesteinsgrundwasser die Vulnerabilität im Einzugsgebiet der Fassung massgebend. Die vorliegende Praxishilfe erläutert das Vorgehen für die Bemessung solcher Schutzzonen.

Die grosse Vielfalt der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse bei Kluft-Grundwasserleitern lässt es nicht zu, die Schutzzonen in diesen Gebieten nach einer einheitlichen Methode zu bemessen. Das systematische methodische Vorgehen beinhaltet daher in einem ersten Schritt die Erhebung und Auswertung von Basisdaten der Fassung und des Aquifers. Die Daten wie Schüttung, physikalisch-chemische Parameter, Trübung und Biologie ermöglichen es, Rückschlüsse auf die Vulnerabilität der Fassung zu ziehen. Bei gering vulnerablen Fassungen können die Schutzzonen mit einer Mindestausdehnung ausgedehnt werden (Distanz-Methode). Für vulnerable Fassungen sind zusätzliche Untersuchungen durchzuführen, um genauere Informationen über das unterirdische Fliessverhalten und den Heterogenitätsgrad des Grundwasserleiters zu erhalten. Bei schwach heterogenen Grundwasserleitern werden die Schutzzonen mittels Isochronen bemessen (Isochronen-Methode). Die aufwändigere Multikriterien-Methode «DISCO» gelangt nur bei einem stark heterogenen Grundwasserleiter und einer erhöhten Vulnerabilität der Fassung zur Anwendung.

Stichworte: Grundwasser, Kluft-Grundwasserleiter, Vulnerabilität, Einzugsgebiet, Kartierung, Grundwasserschutzzonen, DISCO.

Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré

S'agissant des eaux souterraines en milieu fissuré, l'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux, RS814.201) retient que le dimensionnement des zones de protection est déterminé par la vulnérabilité du bassin d'alimentation du captage. Le présent guide pratique expose la procédure à suivre pour délimiter des zones de protection de ce type.

Les conditions géologiques et hydrogéologiques régnant dans les aquifères en milieu fissuré sont si diverses qu'il n'est pas possible d'appliquer une méthode unique. C'est pourquoi la démarche méthodologique systématique à mettre en œuvre prévoit une première étape consistant à recueillir et interpréter des données de base relatives au captage et à l'aquifère. Les données telles que débit, paramètres physico-chimiques, turbidité et caractéristiques biologiques permettent d'évaluer la vulnérabilité du captage. Si celui-ci s'avère peu sensible aux contaminations, on est en droit de délimiter des zones de protection d'extension minimale (méthode des distances). Un captage vulnérable requiert des investigations complémentaires destinées à mieux appréhender les écoulements souterrains et le degré d'hétérogénéité de l'aquifère. Si celui-ci est relativement homogène, les zones de protection sont délimitées en se basant sur les isochrones d'écoulement (méthode des isochrones). La méthode multicritère « DISCO », plus complexe, ne s'applique qu'aux aquifères très hétérogènes exploités par des captages vulnérables.

Mots clés: Eaux souterraines, aquifère en milieu fissuré, vulnérabilité des captages, bassin d'alimentation, cartographie, zones de protection, DISCO.

Delimitazione delle zone di protezione delle acque sotterranee in roccia fessurata

Secondo l'ordinanza del 28 ottobre 1998 sulla protezione delle acque (OPAc, RS814.201), il dato fondamentale per la determinazione delle zone di protezione delle acque sotterranee in presenza di roccia fessurata è la vulnerabilità del bacino imbrifero delle captazioni. Il presente documento indica il procedimento da seguire per delimitare le suddette zone.

L'ampia varietà delle condizioni geologiche e idrogeologiche degli acquiferi in terreno fessurato non permette di determinare le zone di protezione basandosi su di un unico metodo. Il procedere metodologico sistematico da applicare consiste dunque in una prima tappa di raccolta e interpretazione dei dati relativi all'acquifero e alla captazione, come la sua portata, i parametri fisici e chimici, il grado di torbidità, e la sua biologia. Questi dati permettono di valutare la vulnerabilità della captazione. In presenza di captazioni solo lievemente vulnerabili, è possibile minimizzare l'estensione delle zone di protezione (metodo delle distanze). Al contrario, per le captazioni vulnerabili bisogna eseguire delle analisi supplementari, in modo da raccogliere più precise informazioni sul flusso sotterraneo e sul grado di eterogeneità dell'acquifero. Nel caso di un acquifero a bassa eterogeneità, le zone di protezione dovranno essere determinate tramite isocrone (metodo delle isocrone). Per ciò che riguarda gli acquiferi che presentano un alto livello di eterogeneità e una captazione vulnerabile, bisognerà ricorrere ad un metodo di analisi a più parametri e più complesso, cioè il metodo «DISCO».

Parole chiave: falde acquifere sotterranee, acquifero in roccia fessurata, vulnerabilità, bacino imbrifero, rilievo cartografico, zone di protezione delle acque sotterranee, DISCO.

Vorwort

Zum Schutz vor Verschmutzungen von im öffentlichen Interesse liegenden Trinkwasserfassungen werden gemäss Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 Grundwasserschutz zonen ausgeschieden. Die Dimensionierung dieser Schutzzonen beruht in Lockergesteins-Grundwasserleitern auf einer bestimmten Fliesszeit des Grundwassers, welche dieses braucht, um zur Fassung zu gelangen.

Bei Kluft-Grundwasserleitern sind die Fliessgeschwindigkeiten des Grundwassers teilweise sehr heterogen verteilt. Eine Dimensionierung der Schutzzonen auf Grund der Fliessgeschwindigkeiten des Grundwassers ist daher nicht ohne Vorbehalte möglich. Die Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 berücksichtigt diese Tatsache und legt fest, dass für die Dimensionierung der Grundwasserschutz zonen bei Kluft-Grundwasserleitern die Vulnerabilität im Einzugsgebiet der Fassung massgebend sei.

Die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Vulnerabilität im Einzugsgebiet von Grundwasserfassungen in Kluft-Grundwasserleitern und der darauf basierenden Dimensionierung der Grundwasserschutz zonen ist jedoch in der Praxis noch nicht etabliert und bedarf daher einiger Erläuterungen. Die vorliegende Praxishilfe hat zum Ziel – analog wie dies bereits für Karst-Grundwasservorkommen erfolgte (Kartierung der Vulnerabilität in Karstgebieten, Methode EPIK) – die nötigen Erklärungen an Hand von konkreten Beispielen zu geben und so eine einheitliche Vollzugspraxis zu ermöglichen (siehe Impressum). Die Praxishilfe richtet sich an beratende Geologen und Ingenieure und stellt für die Fachbehörden eine Vollzugshilfe dar.

Die Praxishilfe wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) durch das Centre d'Hydrogéologie (CHYN) an der Universität Neuenburg entwickelt. Eine Arbeitsgruppe, bestehend aus Mitgliedern der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrogeologie (SGH) sowie Experten aus dem Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) und dem BUWAL begleitete das Projekt.

*Bundesamt für Umwelt,
Wald und Landschaft*

Bundesamt für Wasser und Geologie

Premessa

La legge del 24 gennaio 1991 sulla protezione delle acque sancisce che le zone di protezione delle acque sotterranee devono essere dimensionate al fine di salvaguardare dall'inquinamento la captazione di acqua potabile d'interesse pubblico. Per le acque sotterranee in rocce incoerenti, il dimensionamento delle zone di protezione viene calcolato sulla base della durata del flusso che corrisponde al tempo impiegato dalle acque sotterranee per raggiungere il luogo di captazione.

Nelle falde acquifere in rocce fessurate, le velocità del flusso delle acque sotterranee sono distribuite a tratti in modo assai eterogeneo. A priori pertanto, il metodo di dimensionamento delle zone di protezione sulla base di velocità di flusso omogenee nell'aquifero non è in generale il più indicato. L'ordinanza del 28 ottobre 1998 sulla protezione delle acque tiene conto di tale fatto e sancisce che per le condotte delle acque sotterranee in rocce fessurate, il dimensionamento delle zone di protezione delle acque sotterranee sia determinato dalla vulnerabilità del bacino di alimentazione della captazione.

Tuttavia, la modalità che consente di definire la vulnerabilità del bacino di alimentazione della captazione in acquiferi in rocce fessurate, e pertanto, di dimensionare le zone per la protezione delle acque sotterranee non è ancora stata messa in pratica e necessita di alcune delucidazioni. La presente guida mira a fornire le necessarie spiegazioni tramite esempi concreti, così come è già avvenuto per le falde acquifere nelle regioni carsiche («Cartografia della vulnerabilità nelle regioni carsiche – metodo EPIK») – al fine di uniformare l'esecuzione (cfr. sigla editoriale). È rivolta ai geologi e agli ingegneri consulenti, e costituisce un ausilio per l'esecuzione per le autorità specializzate.

La presente guida è stata redatta dal «Centre d'hydrogéologie» dell'Università di Neuchâtel su mandato dell'Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio (UF AFP). Il progetto è stato seguito da un gruppo di lavoro composto da membri della Società svizzera d'idrogeologia (SSI) in collaborazione con l'Ufficio federale delle acque e della geologia (UFAEG) e con l'UF AFP.

*Ufficio federale dell'ambiente,
delle foreste e del paesaggio*

Ufficio federale delle acque e della geologia

Zusammenfassung

Wasser aus Kluft-Grundwasserleitern bildet in zahlreichen Regionen der Schweiz eine wichtige Ressource für die Trinkwasserversorgung. Aufgrund der besonderen Eigenschaften der Kluft-Grundwasserleiter und ihrer hydrogeologischen Vielfalt wurde die Entwicklung einer Methodik notwendig, welche die Bemessung und Ausscheidung von Schutzzonen für Grundwasserfassungen in allen Arten von Kluft-Grundwasserleitern erlaubt. Die bisherige Praxis bei der Bemessung der Grundwasserschutzzonen in Kluft-Grundwasserleitern erwies sich als ungeeignet, da deren Heterogenität nicht mitberücksichtigt werden konnte. Die für Karst-Grundwasserleiter entwickelte Methode EPIK (Doerflinger & Zwahlen 1998) eignet sich ebenfalls nicht für geklüftete Gesteine.

Die hier vorgestellte Methodik für die Bemessung von Grundwasserschutzzonen bei Kluft-Grundwasserleitern ermöglicht es, mit Hilfe eines Entscheidungsbaums, aus drei Methoden diejenige auszuwählen, die den hydrogeologischen Verhältnissen des jeweiligen Einzugsgebietes am besten entspricht. Die dargelegte Methodik bei der Bemessung der Schutzzonen wurde an zahlreichen Standorten erarbeitet. Diese sind über das gesamte Gebiet der Schweiz verteilt und spiegeln die unterschiedlichsten geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse wider. Vier dieser Standorte werden in dieser Praxishilfe beschrieben. Ausserdem sind – zur Darstellung von Sonderfällen – weitere untersuchte Standorte in Kurzform aufgeführt. Mit Hilfe dieser Anwendungsbeispiele kann die hier dargelegte Methodik veranschaulicht und verifiziert werden.

Methodisches Vorgehen:

Erhebung der Basisdaten:

- *Charakterisierung der hydrogeologischen Rahmenbedingungen, Bestimmung der Grenzen des Einzugsgebietes,*
- *Bestimmung der Eigenschaften der Fassung,*
- *Beurteilung der Vulnerabilität der Fassung auf Grund des zeitlichen Verlaufs der Schüttung, der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur des Wassers, in Verbindung mit den meteorologischen Verhältnissen sowie anhand chemischer und bakteriologischer Analysen.*

Der letzte Punkt ist entscheidend für die Methode, die angewendet werden soll.

Im Rahmen dieses ersten Schritts ist eine Aussage möglich, ob eine Fassung gegenüber einem Schadstoffeintrag innerhalb ihres Einzugsgebietes gut geschützt ist (gering vulnerable Grundwasserfassungen \Rightarrow Gruppe a) oder ob Schadstoffeinträge innerhalb des Einzugsgebietes ohne weiteres in die Fassung gelangen können (vulnerable Grundwasserfassungen \Rightarrow Gruppe b).

Gruppe a: Gering vulnerable Grundwasserfassungen, geringe Fließgeschwindigkeit

Gering vulnerable Fassungen zeichnen sich – selbst in Zeiten starker Niederschläge – durch eine konstante Schüttung, elektrische Leitfähigkeit und Temperatur, durch stabile chemische Parameter sowie durch eine gleichbleibend gute Wasserqualität hinsichtlich Bakteriologie und Trübung aus. Diese charakteristischen Eigenschaften erlauben den Rückschluss auf eine geringe Fließgeschwindigkeit und eine lange Verweilzeit des Wassers im Untergrund (z.B. gering durchlässige Gesteine, Aufstieg aus der Tiefe). Das Wasser verbleibt folglich lange genug im Untergrund, um vor seiner Fassung eine hinreichende Reinigung erfahren zu haben. Auf Grund dieser Beurteilung ist für diese Gruppe die Bemessung der Schutzzonen in der Regel direkt möglich.

Bemessung der Schutzzonen für Fassungen der Gruppe a: Distanz-Methode

Für gering vulnerable Grundwasserfassungen reicht im Allgemeinen die gesetzlich geforderte Mindestausdehnung der Grundwasserschutzzonen aus. Die Bemessung erfolgt demnach gleich wie bei Lockergesteins-Grundwasserleitern. Der Abstand zwischen der Schutzzone S1 bis zur äusseren Grenze der Schutzzone S2 soll demnach in Zuströmrichtung mindestens 100 Meter und der Abstand zwischen der Zone S1 und der äusseren Grenze der Zone S3 mindestens das Doppelte davon betragen (falls Entfernung $S1-S2 = 100\text{ m} \Rightarrow$ Entfernung $S1-S3 = 200\text{ m}$).

Gruppe b: Vulnerable Grundwasserfassungen, hohe Fließgeschwindigkeit

Vulnerable Grundwasserfassungen sind durch eine deutliche Variabilität der Schüttung, der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur nach starken Niederschlagsereignissen und/oder durch Beeinträchtigungen der Wasserqualität (Bakteriologie, Trübung) gekennzeichnet. Dies wiederum belegt die Anwesenheit schneller Fließverbindungen zwischen der Oberfläche

und der Fassung (z.B. hohe Fliessgeschwindigkeit entlang des Kluftnetzes, hoher Anteil von Meteorwasser, das im nahen Umfeld der Fassung versickert). Ein Teil des Wassers verbleibt nicht lange genug im Untergrund, um vor der Entnahme auf natürliche Weise ausreichend gefiltert und gereinigt worden zu sein.

Zusätzliche Untersuchungen sind infolgedessen unumgänglich, um die Flächen ausfindig zu machen, welche die Fassung entlang schneller Fliesswege speisen und um den Grad der Heterogenität des Grundwasserleiters abzuschätzen.

Erhebung zusätzlicher Daten:

- Erfassen des Trennflächengefüges und Bestimmen seiner hydraulischen Bedeutung,
- Untersuchen möglicherweise vorhandener Stellen bevorzugter Versickerung,
- Beobachten der Reaktion der Fassung auf Hochwasserereignisse,
- Markierversuche.

Mit den Resultaten dieser weiterführenden Untersuchungen lässt sich die Herkunft der schnellen Wasseranteile und der Grad der Heterogenität des Grundwasserleiters bestimmen. Je nach Heterogenität (Fall b1 oder Fall b2) werden für die Bemessung der Schutzzonen unterschiedliche Methoden angewendet:

Fall b1: Schwache Heterogenität

Bei schwacher Heterogenität des Grundwasserleiters erhöhen sich die Fliesszeiten des Grundwassers generell mit zunehmender Distanz zur Fassung. Die Dimensionierung der Schutzzonen basiert auf der Annahme, dass der Grundwasserleiter insgesamt als kontinuierlich – analog zu Lockergesteinen – betrachtet werden kann, obwohl er im Meter- und Dekameter-Bereich Heterogenitäten aufweisen kann.

Bemessung der Schutzzonen für Fassungen im Fall b1: Isochronen-Methode

Die Bemessung der Schutzzonen erfolgt nach dem gleichen Prinzip wie bei Lockergesteinen:

- Bestimmung der Abstandsgeschwindigkeiten des Grundwassers und der 10-Tages-Isochrone als äussere Grenze der Schutzzone S2 (mindestens 100 m in Zuströmrichtung).
- Zone S3 wird dann so festgelegt, dass die Entfernung zwischen den äusseren Grenzen von S2 und S3 mindestens der Entfernung zwischen den äusseren Grenzen von S1 und S2 entspricht.

Fall b2: Starke Heterogenität

In diesem Fall fliesst das Grundwasser entlang eines ausgeprägten Kluftnetzes. Dieses weist teilweise sehr grosse Durchlässigkeiten auf und zeichnet sich aus durch schnelle Verbindungen (einige Stunden bis Tage) zwischen bestimmten Stellen an der Oberfläche und der Fassung.

Für solche Verhältnisse nimmt die Verweilzeit des Grundwassers nicht zwangsläufig mit der Entfernung von der Fassung zu. Der Kluft-Grundwasserleiter weist also nicht mehr näherungsweise kontinuierliche Eigenschaften auf. Die Bemessung der Schutzzonen erfolgt daher über die Erfassung der wesentlichen Faktoren, welche die Vulnerabilität beeinflussen, wobei der starken Heterogenität des Systems Rechnung getragen werden muss.

Bemessung der Schutzzonen für Fassungen im Fall b2: Vulnerabilitätskartierung mittels Multikriterien-Methode «DISCO»

Dieser Methode liegt die Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten als bestimmende Faktoren für die Funktionsweise des Kluft-Grundwasserleiters zugrunde.

Zur Bewertung der Vulnerabilität werden die Ausbildung der Trennflächen (**DIS**continuités) und die Schutzwirkung der Deckschichten (**CO**uverture protectrice) sowie gegebenenfalls die Art des Oberflächenabflusses herangezogen. Die Erfassung dieser zwei bzw. drei Parameter ermöglicht eine Charakterisierung der Wasserfliesswege von jedem Punkt des Einzugsgebietes bis zur Ankunft in der Fassung.

Durch die Kartierung im Gelände sowie die Kombination und Gewichtung der Parameter kann für jeden Ort des Einzugsgebietes ein natürlicher Schutzfaktor F angegeben werden. Die Bemessung der Schutzzonen ergibt sich durch eine Verknüpfung des Schutzfaktors F mit den Schutzzonen S1, S2 und S3:

- S1: Flächen mit einem sehr geringen bzw. gar keinem natürlichen Schutzfaktor (besonders hohe Vulnerabilität)
- S2: Flächen mit einem geringen natürlichen Schutzfaktor (hohe Vulnerabilität)
- S3: Flächen mit einem mittleren natürlichen Schutzfaktor (mittlere Vulnerabilität)

Riassunto

Gli acquiferi fessurati costituiscono un'importante risorsa d'acqua potabile per molte regioni svizzere. Viste le particolari caratteristiche di questi ambienti e la grande diversità dei contesti idrogeologici rilevati, si è dovuto mettere a punto un nuovo metodo che consentisse di delimitare le zone di protezione per tutte le captazioni interessate. Infatti, il metodo usato attualmente, fondato sull'assimilazione degli acquiferi fessurati a un ambiente equivalente continuo, non è applicabile sistematicamente a causa dell'eterogeneità del campo di permeabilità nelle rocce fessurate. Nemmeno il metodo sviluppato per gli ambienti carsici, EPIK (Doerfliger & Zwahlen 1998), può essere usato per gli ambienti fessurati non carsici.

Il metodo illustrato qui appresso permette di scegliere una procedura per la delimitazione delle zone di protezione delle acque sotterranee (zone S) che sia compatibile con il funzionamento idrogeologico dei siti analizzati. Il metodo e le diverse procedure sono stati messi a punto in base all'osservazione di numerosi siti sparsi in tutto il territorio svizzero in contesti geologici e idrogeologici differenti. Quattro di questi siti sono presentati in modo riassuntivo nella presente guida pratica. Qualche altro è citato brevemente al fine di illustrare dei casi particolari. Gli esempi d'applicazione consentono di presentare e giustificare l'uso dei tre diversi metodi sottomenzionati.

Il metodo comprende le fasi seguenti:

Rilevamento dei dati di base:

- *caratterizzazione del contesto idrogeologico, determinazione dei limiti del bacino d'alimentazione della captazione,*
- *determinazione delle caratteristiche della captazione,*
- *caratterizzazione globale della vulnerabilità della captazione (analisi delle fluttuazioni della portata, della conduttività elettrica dell'acqua, della temperatura dell'acqua in funzione delle condizioni meteorologiche, analisi chimiche e batteriologiche).*

Questo ultimo punto è determinante per la scelta del metodo.

Al termine di questa prima fase, è possibile stabilire se la captazione è naturalmente ben protetta dagli impatti naturali o antropogeni sul bacino d'alimentazione (*captazione poco vulnerabile all'inquinamento* ⇒ gruppo a)

o se invece è sensibile agli impatti (*captazione vulnerabile all'inquinamento* ⇒ gruppo b).

Gruppo a: captazioni poco vulnerabili, ambienti con circolazioni lente

Queste captazioni si contraddistinguono per la stabilità della portata, della conduttività e della temperatura anche durante i periodi di forti precipitazioni e per la buona qualità costante dell'acqua dal punto di vista biologico e della torbidezza, come per una stabilità dei parametri chimici. Tali caratteristiche lasciano presupporre che la velocità di deflusso sia bassa e che i tempi di residenza nell'acquifero siano elevati (p.es.: ambienti con permeabilità limitata; risalita di acque relativamente profonde). Le acque rimangono quindi abbastanza a lungo nell'acquifero, tanto da poter essere depurate naturalmente prima della captazione.

Sulla base dei dati rilevati durante la prima fase, è in via di massima possibile delimitare direttamente le zone di protezione.

Delimitazione delle zone S per le captazioni del gruppo a: metodo delle distanze

In questo contesto, è in genere sufficiente una delimitazione delle zone di protezione con un'estensione minima che considera l'acquifero fessurato un ambiente continuo equivalente. Se le circolazioni sono lente, si procede pertanto secondo lo stesso principio applicato per gli ambienti porosi. Tra i limiti esterni delle zone S1 e S2 ci dev'essere una distanza minima di 100 metri verso monte nella direzione generale dei deflussi, e la distanza tra i limiti esterni di S1 e S3 dev'essere almeno due volte più grande (se la distanza S1–S2 = 100m ⇒ distanza S1–S3 = 200m).

Gruppo b: captazioni vulnerabili, ambienti con circolazioni rapide

Queste captazioni si contraddistinguono per la fluttuazione marcata della portata, della conduttività e della temperatura durante i periodi di forti precipitazioni e/o per i problemi della qualità dell'acqua (biologia, torbidezza). Ciò conferma la presenza di collegamenti rapidi tra il bacino d'alimentazione e la captazione (p.es.: deflussi rapidi lungo le reti di fratture, apporti dovuti a infiltrazioni nei pressi della captazione). Una parte delle acque non rimane abbastanza a lungo nell'acquifero

per essere filtrata a sufficienza e depurata in modo naturale prima della captazione.

Un'analisi complementare si rende dunque necessaria al fine di localizzare le zone che alimentano la captazione tramite circolazioni rapide e per valutare il grado di eterogeneità dell'acquifero.

Rilevamento dei dati complementari:

- *analisi dei sistemi di discontinuità e valutazione della loro funzione idrogeologica,*
- *ricerca di eventuali zone di infiltrazione preferenziale,*
- *controllo della reazione della fonte durante gli eventi di piena,*
- *prova di tracciatura.*

L'analisi permette di precisare l'origine degli apporti rapidi e il grado di eterogeneità dell'acquifero (debole o forte). Si sceglie un metodo adeguato per delimitare le zone di protezione in base alle due opzioni possibili (casi b1 e b2).

Caso b1: ambiente debolmente eterogeneo a livello del bacino d'alimentazione della captazione

In questo caso, i tempi di transito aumentano globalmente man mano che ci si allontana dalla captazione. La delimitazione delle zone di protezione assimilando l'acquifero a un ambiente equivalente continuo può pertanto essere ammessa, anche se l'ambiente rimane solitamente eterogeneo a livello di un metro o di una decina di metri.

Delimitazione delle zone S per le captazioni del caso b1: metodo delle isocrone

Le zone di protezione vengono delimitate secondo lo stesso principio applicato per gli ambienti porosi:

- valutazione delle velocità di transito massimo nell'acquifero e delimitazione dell'isocrona di 10 giorni per il limite della zona S2 (almeno 100 m a monte dell'impianto di captazione),
- la zona S3 deve successivamente essere determinata in modo tale che la distanza tra i limiti esterni di S2 e S3 sia uguale almeno alla distanza che separa i limiti esterni di S1 e S2.

Caso b2: ambiente fortemente eterogeneo a livello del bacino d'alimentazione della captazione

Le acque circolano lungo una rete di fessure localmente molto permeabili con raccordi rapidi (da qualche ora a qualche giorno) tra la captazione e le zone sparse sull'insieme del bacino d'alimentazione.

In questo caso, i tempi di transito non aumentano necessariamente man mano che ci si allontana dalla captazione. L'assimilazione dell'acquifero a un ambiente continuo equivalente non è dunque ammessa. Solo uno studio secondo diversi criteri della vulnerabilità sull'insieme del bacino d'alimentazione permette di delimitare le zone di protezione tenendo conto della forte eterogeneità dell'ambiente.

Delimitazione delle zone S per le captazioni del caso b2: metodo di cartografia della vulnerabilità a criteri multipli «DISCO»

Questo metodo considera i fattori geologici e idrogeologici che determinano il funzionamento dell'acquifero fessurato.

La valutazione di due o tre parametri (**DIS**continuità, **CO**pertura di protezione, e se del caso, ruscellamento) permette di caratterizzare il trasporto di un agente inquinante da un punto qualsiasi del bacino d'alimentazione fino all'arrivo alla captazione.

La cartografia, l'abbinamento e la ponderazione di questi parametri permettono di determinare un fattore di protezione naturale F per ogni punto del bacino d'alimentazione della captazione. Le zone S sono in seguito delimitate tramite una relazione d'equivalenza tra il fattore F e le zone S1, S2 e S3.

- S1: zone con un fattore di protezione naturale o molto debole (vulnerabilità particolarmente forte),
- S2: zone con un fattore di protezione naturale debole (vulnerabilità forte),
- S3: zone con un fattore di protezione naturale medio (vulnerabilità media).

1 Einleitung

Kluft-Grundwasserleiter stellen in der Schweiz, vor allem in den ländlichen Gebieten, eine bedeutende Ressource für die Wasserversorgung dar. So wird in den alpinen Regionen und in einigen Gebieten des schweizerischen Mittellandes der Trinkwasserbedarf zum grössten Teil aus Kluft-Grundwasserleitern gedeckt. Die Ergiebigkeit der einzelnen Fassungen ist mit einer Schüttung von meist weniger als 1000 l/min im Regelfall geringer als in Karstgebieten oder im Lockergestein. Die Anzahl der Fassungen und daher auch der Grundwasserschutzzonen ist jedoch grösser.

Die für die Ausscheidung von Schutzzonen in Karstgebieten entwickelte Methode EPIK (Doerflinger & Zwahlen 1998) lässt sich für unverkarstete Kluft-Grundwasserleiter nicht anwenden. Die hydraulischen Eigenschaften von Kluft-Grundwasserleitern können stark voneinander abweichen und hängen hauptsächlich von den geologischen (Gesteinsart, Tektonik) und topographischen Gegebenheiten ab, welche wiederum die Struktur des Grundwasserleiters (z.B. räumliche Verteilung der Durchlässigkeit, Heterogenität, Anisotropie) und dessen Hydrodynamik (z.B. Tiefenlage des Grundwassers, Abstandsgeschwindigkeit, Verweilzeit) beeinflussen.

Vulnerabilität von Grundwasser

Mit dem Begriff der Vulnerabilität werden die Eigenschaften eines Grundwassersystems im Hinblick auf eine potenzielle Verschmutzung beschrieben. In Betracht fallen dabei die geologischen, hydrologischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes, unabhängig von der Art eines Schadstoffs (nach Daly et al. 2002).

Für die Bemessung von Grundwasserschutzzonen wird die Vulnerabilität für jeden Punkt des Einzugsgebietes einer Fassung ermittelt. Damit lässt sich aussagen, in welchem Masse die Wasserqualität in der Fassung infolge eines Schadstoffeintrages beeinträchtigt würde.

Für die Bemessung und Ausscheidung von Schutzzonen ist es unerlässlich, das hydrologische Verhalten einer Grundwasserfassung zu kennen, da dies bereits in einem frühen Untersuchungsstadium die Beurteilung der Empfindlichkeit einer Fassung gegenüber einem Schadstoffeintrag (=Vulnerabilität) erlaubt.

Eine Grundwasserfassung wird als gering vulnerabel bezeichnet, wenn die Aufenthaltszeit im geschützten Untergrund eine ausreichende Filterung und Reinigung des geförderten Wassers gewährleistet. Bei gering vulnerablen Fassungen sind die chemisch-physikalischen Parameter des Wassers, unabhängig von den herrschenden meteorologischen Verhältnissen, nur sehr geringen Schwankungen unterworfen. Eine Beeinträchtigung der Wasserqualität (Bakteriologie, Trübung) tritt in der Regel nicht auf. Auch die Schüttung bleibt beständig, ausser bei Quellen mit einem Piston-Effekt. Markierversuche sind, bedingt durch eine zu kleine Rückgewinnung, für die Untersuchung solcher Verhältnisse in der Regel nicht geeignet. Der Grund für die geringe Rückgewinnung sind die geringen Abstandsgeschwindigkeiten und/oder tief liegende Fliessysteme. Für den relativ einfachen Fall einer gering vulnerablen Fassung werden keine detaillierten Untersuchungen bezüglich der Struktur und der Heterogenität des Grundwasserleiters benötigt. Für die Bemessung der Schutzzonen – und dem damit verbundenen Schutz der Wasserqualität – sind einfache Annahmen ausreichend.

Eine Grundwasserfassung wird als vulnerabel bezeichnet, wenn ein bedeutender Anteil des gefassten Wassers nur kurze Zeit im Untergrund verweilt. Für diesen Anteil sind die Selbstreinigungsprozesse unzureichend. Um eine ausreichende Qualität des geförderten Wassers zu gewährleisten, müssen die Schutzzonen daher mit besonderer Sorgfalt dimensioniert werden. Dafür ist es unerlässlich, die Struktur und den Grad der Heterogenität des Grundwasserleiters zu erfassen (Abb. 1) und bei der Dimensionierung zu berücksichtigen.

Es wird somit deutlich, dass für die Bemessung von Schutzzonen bei Kluft-Grundwasserleitern nicht eine einzige Methode verwendet werden kann. Grundlage für die Bemessung der Schutzzonen bilden Basisdaten über die Reaktion der Fassung auf äussere Einflüsse und die Vulnerabilität der Fassung. Für vulnerable Fassungen sind in einem zweiten Schritt zusätzliche Daten über die Struktur des Grundwasserleiters sowie über die Flieseigenschaften des Grundwassers zu erheben.

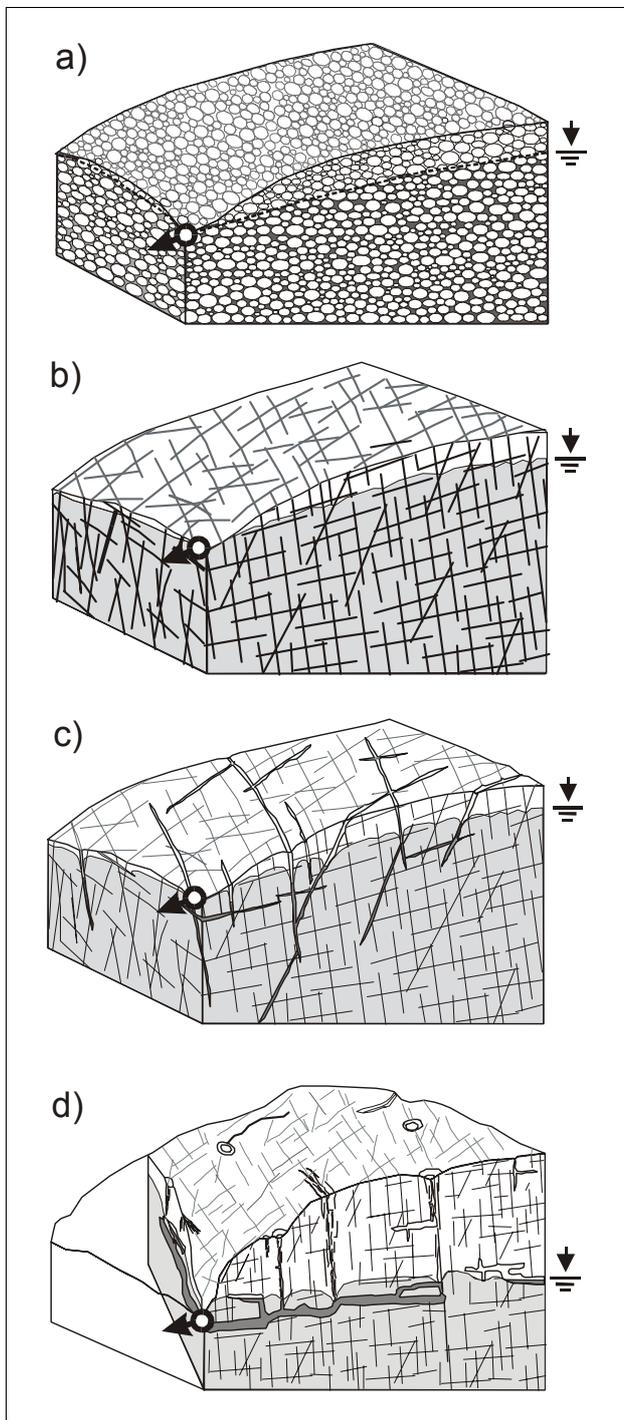


Abb. 1: Schematische Darstellung von Grundwasserleitern mit zunehmender Heterogenität
 a) homogener Lockergesteins-Grundwasserleiter
 b) schwach heterogener Kluft-Grundwasserleiter
 c) stark heterogener Kluft-Grundwasserleiter
 d) Karst-Grundwasserleiter.

Mit den Grundwasserschutz zonen sollen durch Nutzungsbeschränkungen festgelegte Schutzziele erreicht werden (siehe folgender Rahmen):

Grundwasserschutz zonen

Die Zone S1 (Fassungsbereich) soll verhindern, dass Fassungsanlagen beschädigt oder deren unmittelbare Umgebung verschmutzt werden. Bei Kluft-Grundwasserleitern kann die Zone S1 zusätzliche Flächen einschliessen, falls diese eine besonders hohe Vulnerabilität aufweisen (z.B. offene Klüfte an der Oberfläche) und falls diese nachweislich bzw. wahrscheinlich in direkter Verbindung mit der Fassung stehen.

Die Zone S2 (engere Schutzzone) soll verhindern, dass mikrobielle Verunreinigungen in die Fassung gelangen, dass Grabungen und unterirdische Arbeiten das Grundwasser verunreinigen und dass der Grundwasserzufluss durch unterirdische Bauten gestört wird.

Die Zone S3 (weitere Schutzzone) soll gewährleisten, dass bei unmittelbar drohenden Gefahren, wie beispielsweise bei Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen, ausreichend Zeit und Raum für die erforderlichen Massnahmen zur Verfügung stehen.

Die in der vorliegenden Praxishilfe dargelegte Methodik zur Ausscheidung von Schutz zonen bei Kluft-Grundwasserleitern wurde durch das Centre d'Hydrogéologie der Universität Neuenburg, in enger Zusammenarbeit mit einer Expertengruppe, entwickelt. Die Expertengruppe bestand aus Vertretern der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrogeologie und den Fachbehörden des Bundes. Die Methodik beruht auf der Ermittlung der Vulnerabilität einer Fassung sowie der Beschreibung der Methoden für die Bemessung von Schutz zonen bei unterschiedlich heterogenen Kluft-Grundwasserleitern. Die Methodik eignet sich in erster Linie für Quelfassungen. Sie ist nur beschränkt auf gebohrte Fassungen oder tiefreichende Stollen anwendbar. Diese sind in der Schweiz allerdings selten – und wenn – dann meistens an Fließsysteme regionalen Massstabs gebunden. Ein Beispiel für einen solchen Fall ist im Kapitel 6.5.2 a beschrieben.

Bei der hier vorgestellten Methodik wird für eine Fassung mit bestimmter Vulnerabilität – mit Hilfe eines Entscheidungsablaufes – von drei Methoden die geeignete gewählt. Die Methodik wurde anhand zahlreicher konkreter Beispiele erarbeitet. Die Standorte sind über das gesamte Gebiet der Schweiz verteilt und spiegeln die unterschiedlichsten geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse wider. Von diesen Standorten wurden vier ausgewählt und im Kapitel 6 umfassend dargestellt. Ausserdem sind, zur Verdeutlichung möglicher Sonderfälle, Resultate weiterer Untersuchungsorte aufgeführt.

Das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer – Gewässerschutzgesetz (GSchG) vom 24. Januar 1991 (SR 814.20) – fordert in Artikel 20 die Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen für sämtliche im öffentlichen Interesse (Definition: siehe BUWAL 2004, Wegleitung Grundwasserschutz) liegenden Grundwasserfassungen (Quellen, Stollen, Brunnen) und Anlagen

zur künstlichen Anreicherung von Grundwasser. Der Vollzug dieses Gesetzes liegt bei den Kantonen. Innerhalb der Schutzzonen gelten Nutzungsbeschränkungen, wie etwa die Einschränkung gewerblicher und industrieller Bauten oder das Verbot von Materialabbau. Gemäss Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201) wird die Grundwasserschutzzone unterteilt in den Fassungsbereich (Zone S1), die engere Schutzzone (Zone S2) und die weitere Schutzzone (Zone S3).

Für Kluft-Grundwasserleiter ist bei der Dimensionierung der Schutzzonen gemäss GSchV die Vulnerabilität des Einzugsgebietes der Grundwasserfassung entscheidend, die nach folgenden Kriterien zu bestimmen ist: Ausbildung des oberflächennahen Felsbereichs (wie der Auflockerungszone), Ausbildung der Deckschichten, Versickerungsverhältnisse und Ausbildung des Trennflächengefüges.

2 Charakteristik von Kluft-Grundwasserleitern

2.1 Generelle Eigenschaften, vereinfachtes Funktionsschema

In geklüfteten Gesteinen fließt das Grundwasser hauptsächlich entlang eines Gefüges aus tektonischen Trennflächen (Störungen, Klüfte, Spalten) und Schichtdiskontinuitäten. Wie in Brunnen und Stollen beobachtet werden kann, liegt ein Wechsel vor zwischen schwach durchlässigen Bereichen mit geringem Wassertransport und stärker geklüfteten Gesteinen, wo sich auf Grund der besseren Durchlässigkeit die Hauptfließwege des Wassers konzentrieren (Jamier 1975, Dubois 1991, Maréchal 1998).

Die hydraulische Funktionsweise eines Kluft-Grundwasserleiters kann somit durch folgendes Modell beschrieben werden (Abb. 2):

- Es existiert ein Trennflächengefüge mit erhöhter hydraulischer Leitfähigkeit. Die Trennflächen leisten einen entscheidenden Beitrag zur Durchlässigkeit des Grundwasserleiters. Durch sie fließt der Hauptteil des Grundwassers und sie speisen ausserdem die Wasseraustrittsstellen.
- Die Gesteinsblöcke zwischen den Trennflächen können als relativ homogen angesehen werden. Sie zeichnen sich durch einen Hohlraumanteil infolge primärer Kornporosität (z.B. Sandstein) oder kleiner Risse aus. Die Wasserdurchlässigkeit ist gegenüber dem Hauptkluftnetz deutlich geringer. Diese gering durchlässigen Gesteinsblöcke sind wichtig für das Speichervermögen des Grundwasserleiters.
- Versickerndes Wasser speist sowohl die durch Klüfte gebildeten Hohlräume, wie auch die Poren und Risse in den weniger durchlässigen Gesteinsblöcken.
- Das an den Quellen gefasste Wasser ist in der Regel eine Mischung aus jungem Wasser (Anteil, der direkt über das gut durchlässige Kluftnetz zur Quelle transportiert wird) und älterem Wasser (Anteil aus den Gesteinsblöcken geringerer Durchlässigkeit, welche langsam über die Hauptfließwege entwässert werden).

Die hydrogeologischen Verhältnisse sind für jeden Kluft-Grundwasserleiter verschieden (Tiefenlage der Fließwege, Grad der Heterogenität bezogen auf den Massstab des Einzugsgebietes). Auflockerungspro-

zesse können eine Erweiterung der Trennflächen und damit eine Zunahme der oberflächennahen Gebirgsdurchlässigkeit bewirken (Avias 1982, Cruchet 1985). Die Intensität dieser Prozesse und die Mächtigkeit der Auflockerungszone sind vom jeweiligen Standort abhängig.

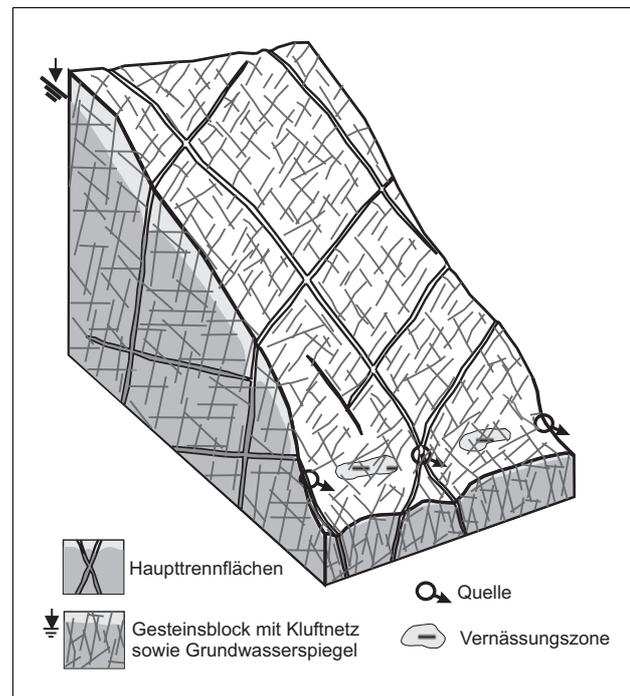


Abb. 2: Schematisches Modell eines Kluft-Grundwasserleiters. Deckschichten (Boden, Moräne etc.) sind nicht dargestellt.

2.2 Verbreitung und Eigenschaften von Kluft-Grundwasserleitern in der Schweiz

In der Schweiz kommen Kluft-Grundwasserleiter in den unterschiedlichsten Gesteinseinheiten und unter den verschiedensten tektonischen Verhältnissen vor. Beinahe alle genutzten Kluft-Grundwasserleiter der Schweiz befinden sich in Gebieten, die ein deutliches Relief aufweisen (Alpen, Voralpen, Mittelland). Die quartären Ablagerungen der Ebenen und grossen Täler, mit ihren Lockergesteins-Grundwasserleitern, bedecken ebenfalls sehr häufig geklüftete Festgesteine.

Die vorliegende Praxishilfe unterscheidet drei Klassen von Kluft-Grundwasserleitern aufgrund ihrer lithologischen und tektonischen Eigenschaften. Karst-Grundwasserleiter werden nicht berücksichtigt. Für die Ausscheidung von Schutzzonen in Karstgebieten wurde die Methode EPIK entwickelt (Doerfliger & Zwahlen 1998).

Die grosse Bedeutung der quartären Ablagerungen in der Schweiz hat zur Folge, dass Grundwasserfassungen oft gleichzeitig von einem geklüfteten und einem quartären Grundwasserleiter (z.B. Moräne, Hangschutt) gespeist werden.

Folgende Klassen werden unterschieden:

Sedimentäre klastische Festgesteine, tektonisch schwach beansprucht (Molasse des Mittellandes und der Jurasynklinalen)

Es handelt sich hierbei um schwach geklüftete Einheiten aus Sandsteinen, Konglomeraten und Mergeln (Abb. 3; vgl. auch Klasse 2 der Abb. 16 in Kapitel 6). Die Durchlässigkeiten sind insgesamt gering, jedoch lässt sich stellenweise ein erhöhter Abfluss entlang von Störungen und Schichtfugen beobachten. Die Speisung dieser Trennflächen erfolgt häufig über poröse Bereiche (z.B. primäre Porosität von Sandsteinen, oberflächlich verwitterte oder entkalkte Schichten der Molasse, quartäre Ablagerungen).



Abb. 3: Sedimentäre Festgesteine der Oberen Meeres-Molasse bei Moudon (Mittelland). Die Schichten sind porös und nur schwach geklüftet. Das Wasser fliesst entlang der Bankungsfugen (Foto F. Pasquier).

Sedimentäre Festgesteine, tektonisch stark beansprucht (subalpine Molasse, Flysch, Verrucano, Schistes lustrés und Bündnerschiefer, z.T. helvetische Kieselkalke sowie ost- u. südalpine Dolomite)

Zu dieser Klasse gehören verschiedenste Gesteinsarten: Sandsteine, Konglomerate, Mergel, Schiefer, Kalkschiefer, unverkarstete Kieselkalke und Dolomite. Die entsprechenden Einheiten sind deutlich von der alpinen Gebirgsbildung geprägt, was sich in tektonischer Verformung mit Faltung und intensiver Zerklüftung äussert (Abb. 4, vgl. auch Klasse 3 der Abb. 16 in Kapitel 6). Oft kommt es zu Lösungs- oder Erosionserscheinungen entlang der Trennflächen und damit zu einer Erhöhung der Durchlässigkeit. Dagegen ist die primäre Porosität für diese Gesteine, bedingt durch die Kompaktierung und einen höheren Zementierungsgrad, geringer als für Gesteine der mittelländischen Molasse (Keller 1992).



Abb. 4: Sedimentäre Festgesteine der subalpinen Molasse bei Vaulruz. Die Schichten (Vaulruz-Sandstein) sind aufgestellt, kompaktiert und geklüftet (Foto F. Pasquier).

Die Fliessgeschwindigkeiten der entsprechenden Grundwasser sind generell hoch, insbesondere wenn – wie etwa in den Voralpen und Alpen – ein hohes Geländere relief hinzukommt (erhöhter hydraulischer Gradient). Diese Gesteinsklasse ist aufgrund ihrer internen Instabilität anfällig für Massenbewegungen. In diesem Umfeld sind Felsrutschungen, Sackungsmassen und mächtige Hangschuttablagerungen verbreitet. Häufig bilden diese Strukturen, manchmal in Kombination mit quartären fluvio-glazialen Ablagerungen, komplexe hydrogeologische Verhältnisse, bei denen sich verschiedene Grundwasserleiter gegenseitig beeinflussen.



Abb. 5:
Paragneise und Amphibolite am Rhone-Gletscher. Die metamorphen Gesteine zeigen einen kompakten Habitus und weisen subvertikale Trennflächen auf (Foto B. Sigrist).

Kristallingesteine (Magmatite und Metamorphite) und stark verfestigte Sedimentgesteine (Permo-Karbon der penninischen Decken)

Diese Klasse beinhaltet lithologisch sehr verschiedenartige Gesteine wie z.B. Granite, Gneise, Schiefer, ebenso wie Konglomerate und Sandsteine (Abb. 5; vgl. Klasse 4 der Abb. 16 in Kapitel 6). Sie wurden einer intensiven alpinen Tektonik ausgesetzt und sind entweder kristallin oder stark verfestigt. Ihre primäre Porosität ist vernachlässigbar gering und auch Lösungs- oder Erosionserscheinungen entlang von Trennflächen sind generell gering entwickelt. Die Charakteristik des Kluftnetzes (Verteilung, Öffnungsweite) ist im Wesentlichen von der Tektonik und von gravitativen Kräften geprägt (z.B. Zerrklüfte, Auflockerung, Hakenwurf). Probleme hinsichtlich der Wasserqualität sind weniger zu befürchten als in der vorhergehenden Klasse. Bei stark geklüfteten Oberflächen kann jedoch eine rasche Zufuhr von qualitativ schlechtem Wasser zur Fassung hin erfolgen, hauptsächlich wenn der Grundwasserleiter in direkter Verbindung zu Oberflächengewässern steht (Druckaufbau in gewissen Klüften).

2.3 Bestimmende Faktoren für die Funktionsweise eines Kluft-Grundwasserleiters

Die Resultate der Untersuchung zahlreicher Fassungseinzugsgebiete innerhalb der drei Gesteinsklassen erlauben, die entscheidenden Einflussfaktoren für

die hydrogeologische Funktionsweise von Kluft-Grundwasserleitern aufzuzeigen:

Lithologie

- Vorkommen von Schichtfugen oder Schieferungsflächen (⇒ Fließbewegung entlang der Bankungs- und Schichtgrenzen).
- Auftreten einer primären Matrixporosität (⇒ Doppelte Porosität).
- Gehalt an löslichen oder oxidierbaren Mineralen, Grad der Verfestigung (⇒ potenzielle Erweiterung der Trennflächen durch Lösung oder Erosion).
- Verhalten des Gesteins bei mechanischer Beanspruchung: spröde brechend oder plastische Verformung (⇒ unterschiedliches Ausmass der Klüftung für verschiedene Gesteinsarten innerhalb des gleichen tektonischen Regimes).

Tektonik

- Tektonischer Rahmen (⇒ Stärke der Verformung, Verteilung der Trennflächen, spröde/duktile Deformation).

Oberflächenrelief

- Verteilung des hydraulischen Potenzials im Grundwasserleiter (⇒ im Falle eines höheren Oberflächenreliefs sind deutlich grössere Gradienten mit schnelleren Grundwasserflussgeschwindigkeiten zu beobachten).
- Lösungserscheinungen und Erosion (⇒ in Bereichen mit starkem hydraulischen Gradienten: Erhöhung der

Durchlässigkeit entlang der Trennflächen, besonders in Richtung des grössten Gefälles).

- Öffnung des Kluftsystems durch gravitative Kräfte (⇒ durch Destabilisierung Erhöhung der Durchlässigkeit in den obersten Metern, manchmal sogar bis zu einigen hundert Metern).

Zusätzlich beeinflussen folgende Faktoren die Funktionsweise eines Kluft-Grundwasserleiters:

Einfluss der Vergletscherung:

- Vorkommen fluvio-glazialer Ablagerungen (⇒ Ausbildung von Lockergesteins-Grundwasserleiter mit unterschiedlicher Durchlässigkeit über dem Kluft-Grundwasserleiter),
- Exfoliation (⇒ Öffnung der Trennflächen durch post-glaziale Entlastung).

Beziehung zu Oberflächengewässern:

- Direkte Versickerung von Oberflächenwasser über Klüfte an der Oberfläche und Möglichkeit eines Druckaufbaus (⇒ schnelle Verbindung zur Fassung möglich).

2.4 Nutzung und Schutz der Trinkwasserressourcen

Art der Fassung

In der Schweiz wird Grundwasser aus geklüfteten Gesteinen im Wesentlichen in den Voralpen und Alpen sowie im Mittelland genutzt. Das Grundwasser wird am häufigsten an Quellaustritten gefasst, teilweise auch in Stollen (mittelländische Molasse) und in Ausnahmefällen in Filterbrunnen (einige Brunnen fördern Wasser der Oberen Meeres-Molasse).

Im Rahmen der vorliegenden Praxishilfe wurde der Schwerpunkt auf den Schutz von Quellen und Stollen gelegt. Die besonderen Aspekte für die Ausscheidung von Schutzzonen bei Brunnenfassungen werden nicht speziell behandelt. Nur wenige Brunnen fördern in der Schweiz Grundwasser aus geklüfteten Gesteinen. Dabei handelt es sich stets um tiefe Wässer mit langen Verweilzeiten (oft mehrere Dutzend Jahre).

Verschmutzungsrisiken und Qualitätsprobleme

Da sich die Mehrzahl der erschlossenen Kluft-Grundwasserleiter der Schweiz in Gebirgsregionen befindet

(Voralpen, Alpen), sind die Risiken einer Verschmutzung des Grundwassers hauptsächlich an die Tierhaltung in der Landwirtschaft (z.B. Vieh, Güllegruben, Düngung) und an den Tourismus (z.B. Klärgruben) gebunden. Die häufigsten Probleme ergeben sich im Zusammenhang mit Fäkalbakterien im Grund- und Trinkwasser, aber auch andere Substanzen – wie z.B. Kohlenwasserstoffe (Fahrzeuge, Beheizung, Gewerbe, Transport) – stellen einen wichtigen Risikofaktor dar. In den tiefer gelegenen Gebieten (Mittelland sowie Ausläufer der Voralpen) können von der Intensivlandwirtschaft eingesetzte Substanzen (Düngemittel, Pestizide) und industrielle Verunreinigungen zu einer zusätzlichen Beeinträchtigung des Grundwassers führen.

Eigenschaften der Kluft-Grundwasserleiter und Bemessung der Schutzzonen

Für Quelfassungen oder Stollen ist es nicht möglich, die Eigenschaften des Grundwasserleiters (Durchlässigkeit, Speicherkoeffizient) durch Pumpversuche zu ermitteln. Um die Wasserressourcen in geklüfteten Gesteinen ausreichend zu schützen, sind deshalb Kenntnisse über den Grundwasserleiter auf eine andere Art zu erlangen. So ist es unabdingbar, die geologischen und tektonischen Verhältnisse (Lithologie, Klüftung) gut zu kennen und das hydrologische Verhalten der Fassung (zeitlicher Gang der Schüttung und der physikalisch-chemischen Parameter) zu charakterisieren. Dadurch kann die generelle Funktionsweise des Grundwasserleiters verstanden werden.

Die Untersuchung zahlreicher Fassungseinzugsgebiete in geklüfteten Gesteinen hat gezeigt, dass die hydrogeologischen Verhältnisse der einzelnen Kluft-Grundwasserleiter stark voneinander abweichen können. Es ist deshalb nicht möglich, eine einzige Methode vorzuschlagen, die für die Bemessung von Schutzzonen jeder Art von Kluft-Grundwasserleiter der Schweiz gültig sein soll.

Ein Vorgehen in mehreren Schritten erlaubt es, bei ausreichender Kenntnis der Funktionsweise des jeweiligen Kluft-Grundwasserleiters, unter den in den folgenden Kapiteln entwickelten und beschriebenen Methoden, die geeignete auszuwählen.

3 Methodik zur Bemessung der Schutzzonen

Die hier vorgestellte Methodik wurde aus den Resultaten zahlreicher Untersuchungen von Fassungseinzugsgebieten in geklüfteten Gesteinen entwickelt (siehe Kapitel 6) und ermöglicht die Bemessung von Grundwasserschutzzonen für jede Art von Kluft-Grundwasserleiter, egal welchen hydrogeologischen Rahmenbedingungen dieser unterliegt. Die Methodik wird, je nach Komplexität des betrachteten Grundwasserleiters, in zwei oder drei Schritten abgewickelt (Abb. 7):

- Erheben von Basisdaten (Klären des hydrogeologischen Rahmens, der Grenzen des Einzugsgebietes, der Verschmutzungsrisiken sowie der Vulnerabilität der Fassung).
- Gegebenenfalls (für vulnerable Fassungen) Erheben von zusätzlichen Daten (Markierversuche, Erfassen der Heterogenität des Grundwasserleiters).
- Bemessen der Schutzzonen S entsprechend der angewendeten Methode.

Die nach hydrogeologischen Kriterien ermittelten Grundwasserschutzzonen müssen für die praktische Umsetzung noch an die bestehenden topografischen und geografischen Verhältnisse angepasst werden.

3.1 Erheben der Basisdaten – Einstufung der Vulnerabilität der Grundwasserfassung

Mit Hilfe der bereits vorliegenden Unterlagen, allenfalls ergänzt durch gezielte Untersuchungen, müssen folgende Angaben zur Fassung gemacht werden können:

Quellsituation sowie Art und Zustand der Fassung:

- Charakterisierung des Quellaustritts (z.B. direkt am Fuss eines geklüfteten Gesteinskomplexes, in einem Gebiet mit Hangschutt oder Moräne, in der Nähe eines Wasserlaufs, Abb. 6).
- Fassungsart (z.B. Horizontalbohrung, Drainagegraben), inkl. Plan der Entnahmestelle.

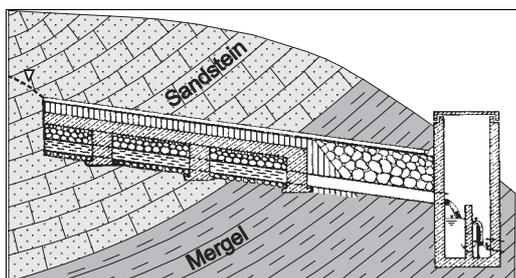


Abb. 6:

Schema einer Fassung mit Filterstrang und Sammelschacht sowie deren Lage zum Grundwasserleiter (verändert nach Schneider 1988).

- Zustand der Fassung (z.B. Ablagerung von Feinpartikeln) und Aufnahme eventueller Schäden (z.B. Risse, schlecht schliessender Deckel).

Charakterisierung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse:

- Beschreiben der geologischen Einheiten im Einzugsgebiet und deren hydraulischer Eigenschaften.
- Kartierung der wichtigsten Trennflächensysteme im lokalen (z.B. ausstreichende Störungen) und regionalen Massstab (z.B. Überschiebungen, Verwerfungen mit grosser Ausdehnung).

Grenzen des Quelleinzugsgebietes:

- Abschätzen der Fläche des Einzugsgebietes mit Hilfe einer überschlägigen Jahreswasserbilanz (Anh. 1).
- Auswertung allfällig durchgeführter Markierversuche (Anhang 4).
- Gegenüberstellung der Ergebnisse mit dem topografischen Einzugsgebiet, dem geologischen Untergrund und mit dem allfälligen Vorkommen weiterer Quellen im Einzugsgebiet.
- Bestimmen der Grenzen des Quelleinzugsgebietes.

Aufnahme bestehender und potenzieller Schadstoffquellen im Einzugsgebiet:

- Grundlage dafür bilden entsprechende Informationen, die bei der betreffenden Gemeinde oder bei der kantonalen Fachstelle eingeholt werden können. Nützlich ist ein Verzeichnis mit den Anlagen und Tätigkeiten, die das grösste Verschmutzungspotenzial aufweisen, verbunden mit Angaben, in welchen Jahreszeiten diese Gefährdungen am ehesten zu erwarten sind. Letzteres hat zum Ziel, den geeigneten Zeitpunkt für eine Überprüfung der Wasserqualität zu ermitteln. Unterlagen zur Raumplanung (Richtplan und Nutzungsplan) müssen eingesehen und allfällig vorhandene belastete Standorte lokalisiert werden.

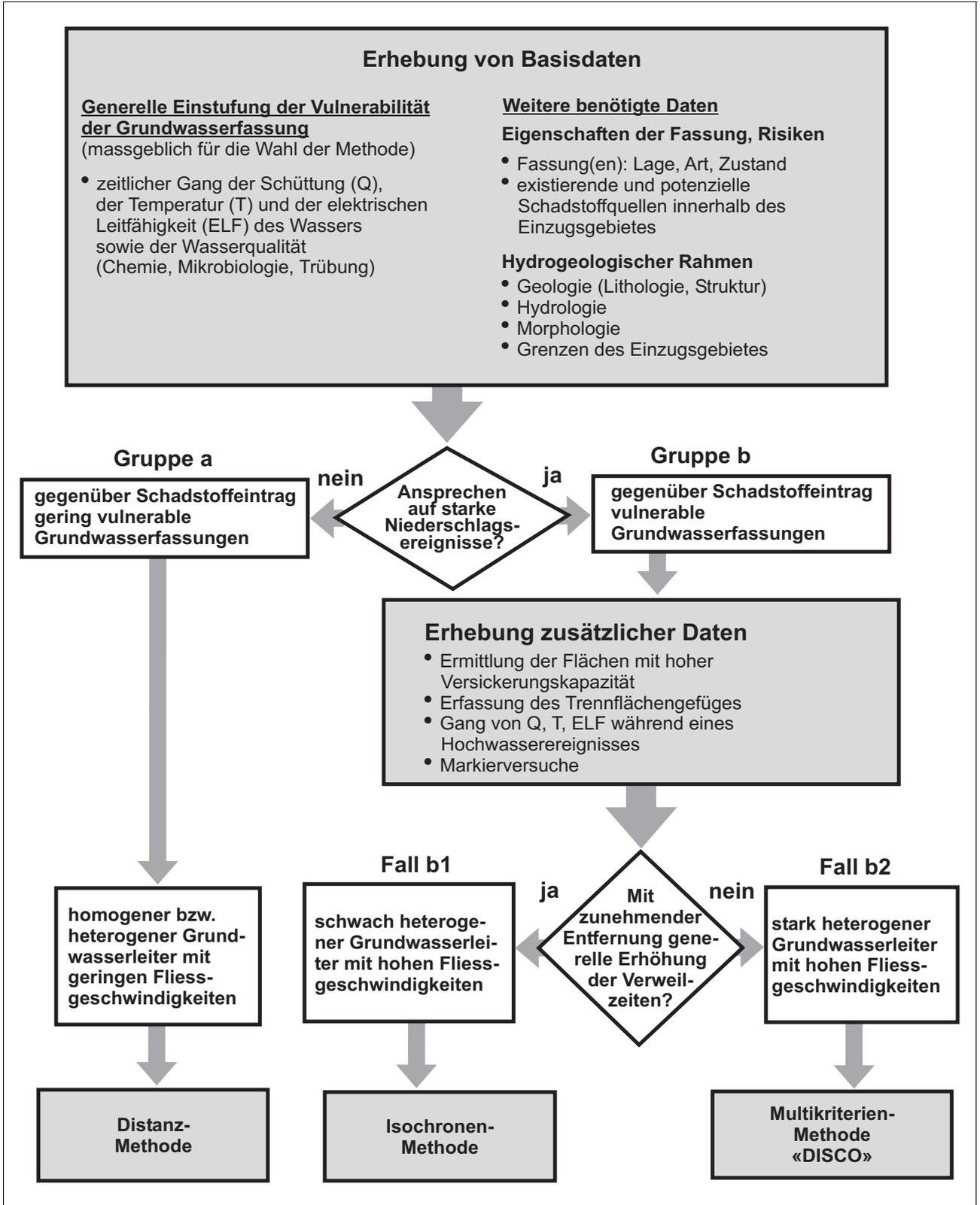


Abb. 7: Entscheidungsablauf für die Bemessung von Grundwasserschutzzonen bei Kluft-Grundwasserleitern.

Generelle Einstufung der Vulnerabilität

der Fassung (Anhang 2):

Grundlage zur Bestimmung der Vulnerabilität bilden:

- Der zeitliche Gang der Schüttung, der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur des Wassers über einen längeren Zeitraum (mindestens 10 Messungen verteilt über ein hydrologisches Jahr), wobei für Zeiten starker Niederschläge mehrere Messungen vorliegen sollten.
- Stichproben der Wasserqualität (Chemie, Bakteriologie, physikalische Parameter) unter ungünstigen Bedingungen, z.B. nach Starkniederschlägen während der Weidesaison.

Innerhalb der Basisdaten sind die hydrologischen Reaktionen der Grundwasserfassung (Schüttung, physikalisch-chemische Parameter und Wasserqualität) auf wechselnde meteorologische Verhältnisse von grosser Bedeutung. Diese Daten sind entscheidend für die Bestimmung der **Vulnerabilität** der Fassung und damit für die Wahl der anzuwendenden Methode.

Nach diesem ersten Schritt kann mit Hilfe der ermittelten Basisdaten angegeben werden, wie die Grundwasserfassung auf einen Schadstoffeintrag im Einzugsgebiet reagieren würde. Ausserdem sind in diesem Stadium die hydrogeologischen Verhältnisse des Grundwasserleiters bereits soweit bekannt, dass ein konzeptionelles Grundwassermodell erstellt werden kann. Grundwasserfassungen können demnach in zwei Gruppen eingeteilt werden:

Gruppe a: gering vulnerable

Grundwasserfassungen (Abb. 8a)

Gering vulnerable Fassungen (siehe Kapitel 1) zeichnen sich – unabhängig von den meteorologischen Verhältnissen – durch eine Konstanz der physikalisch-chemischen Parameter und durch eine gleichbleibend gute Wasserqualität (Bakteriologie, Trübung) aus. Die Fassungen stehen meistens in Zusammenhang mit homogenen Grundwasserleitern (gleichmässig über das Einzugsgebiet verteilte Klüfte mit geringer Öffnungsweite). Der Grundwasserleiter kann jedoch auch heterogen aufgebaut sein wie z.B. bei langsamer Fliessbewegung des Grundwassers entlang drainierender geologischer Grossstrukturen, Maréchal 1998). Da das Grundwasser im Einzugsgebiet solcher Fassungen natürlicherweise gut geschützt ist, reicht für die

Bemessung der Schutzzonen ein einfaches Verfahren aus. Es müssen keine zusätzlichen Daten erhoben werden. In einem solchen Fall können die Schutzzonen direkt bemessen werden mit der Annahme, dass der Grundwasserleiter kontinuierliche Eigenschaften aufweist (siehe Kapitel 4.1).

Gruppe b:

vulnerable Grundwasserfassungen (Abb. 8b)

Vulnerable Fassungen (siehe Kapitel 1) sind gekennzeichnet durch deutliche Schwankungen der Schüttung, der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur. Häufig werden auch Trübungen und bakterielle Verschmutzungen beobachtet. Der Anteil des gering mineralisierten und oft qualitativ schlechten Wassers (Bakteriologie, Trübung) hängt stark von den hydrologischen Bedingungen ab (maximaler Anteil bei Hochwasser und minimaler Anteil nach längerer Trockenzeit). Fassungen, die in dieser Weise reagieren, stehen in Zusammenhang mit einem Grundwasserleiter, der in seiner hydrogeologischen Funktionsweise entweder eher einem Lockergestein gleicht (homogen geklüftetes Einzugsgebiet) oder eher einem Karst-Grundwasserleiter entspricht (stark heterogen geklüftetes Einzugsgebiet).

Solche Fassungen sind besonders anfällig auf Verschmutzungen, da ein bedeutender Anteil des Wassers nicht lange genug im Untergrund verweilt, damit die Filtrations- und Selbstreinigungsprozesse hinreichend wirksam werden können.

Für solche Fassungen muss in einem zweiten Schritt der Heterogenitätsgrad des Grundwasserleiters erfasst und untersucht werden, welche Flächen im Einzugsgebiet die Fassung entlang schneller Fliesswege speisen.

Sonderfälle

Piston-Effekt: Ein deutlicher und schneller Anstieg der Schüttung bedeutet bei gewissen Quellen nicht zwangsläufig, dass es sich dabei um frisch infiltriertes Wasser mit geringer elektrischer Leitfähigkeit handelt. Im Falle eines **Piston-Effekts** bewirkt der Anstieg des hydraulischen Drucks nach starken Niederschlägen, dass älteres Wasser in Richtung des Quellaustritts gedrückt wird. **Der Anstieg der Schüttung geht also nicht mit einer Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit einher.**

Vulnerabilität einer Grundwasserfassung gegenüber Schadstoffen

Die Vulnerabilität einer Fassung hängt im Wesentlichen davon ab, wie schnell versickerndes Wasser (Niederschlags- oder Oberflächenwasser) die Quellaussparung erreicht. Es ist also ausschlaggebend, wie gross der Anteil des Wasser ist, der innert kurzer Zeit von der Oberfläche in die Fassung gelangt.

Der Anteil des Wassers, der nur kurze Zeit im Untergrund verbleibt (\Rightarrow wenig wirksame Filtrations- und Selbstreinigungsprozesse) variiert von einem Quellaustritt zum anderen und hängt stark von den herrschenden hydrologischen Bedingungen ab.

Für gering vulnerable Grundwasserfassungen (Gruppe a) bleibt der Anteil des Wasser mit kurzer Verweilzeit im Untergrund – selbst nach starken Niederschlägen – gering. Dies äussert sich in einer Konstanz der Schüttung, der physikalisch-chemischen Parameter und der Wasserqualität (Abb. 8a).

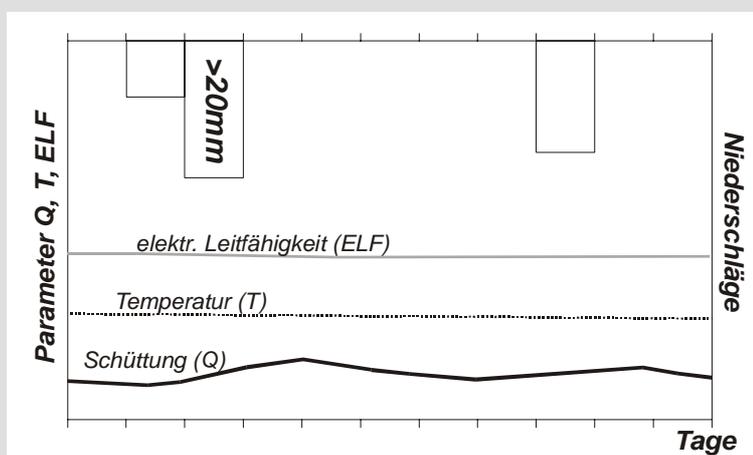


Abb. 8a: Hydrogramm einer gering vulnerablen Fassung (Gruppe a), fiktives Beispiel.

Bei vulnerablen Grundwasserfassungen (Gruppe b) besteht – nach starken Niederschlägen – ein bedeutender Teil des gefassten Wassers aus solchem, das nur kurz im Untergrund verblieb. Während Trockenperioden ist der Anteil dieses Wassers gering bis fehlend. Dies äussert sich deutlich im Verlauf der Schüttung, der physikalisch-chemischen Parameter und der Qualität des geförderten Wassers (Abb. 8b).

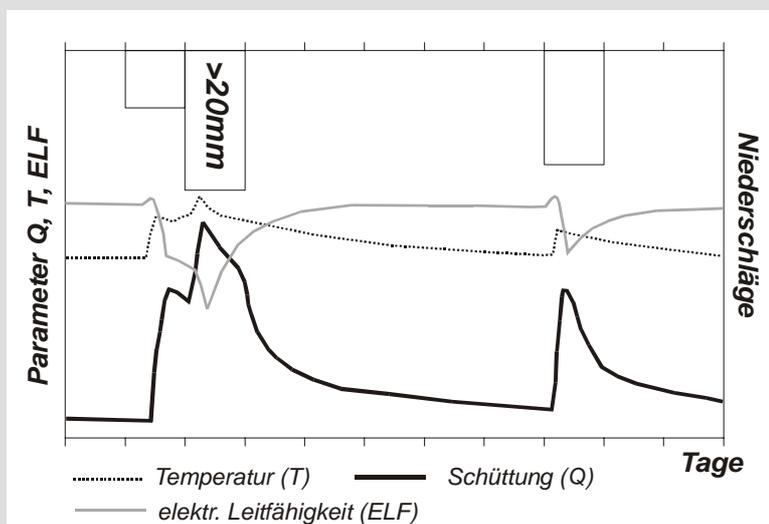


Abb. 8b: Hydrogramm für eine vulnerable Fassung (Gruppe b), fiktives Beispiel.

In den meisten Fällen beschränkt sich dieser Piston-Effekt auf den Beginn eines Hochwasserereignisses und wird dann schnell von der Ankunft gering mineralisierten Wassers abgelöst (= vulnerable Fassung). In besonderen Fällen handelt es sich während des gesamten Hochwasserdurchgangs ausschliesslich um älteres Wasser (= gering vulnerable Fassung).

Geringe Variabilität der Schüttung bei vulnerablen Fassungen: In einigen Fällen ist der Anstieg der Schüttung nach Niederschlägen sehr schwach und die Wasserqualität nimmt dabei trotzdem ab (= vulnerable Fassung). Gründe dafür können sein:

- Ein Hochwasserüberlauf oder ein temporärer Wasseraustritt im Einzugsgebiet der Fassung. In diesem Fall sind die Schwankungen in der elektrischen Leitfähigkeit, in der Temperatur und in der Wasserqualität deutlich.
- Versickerung einer geringen Menge verunreinigten Wassers in der Nähe der Fassung. In diesem Fall können elektrische Leitfähigkeit und Temperatur konstant bleiben, während die Wasserqualität abnimmt.

3.2 Weiterführende Untersuchungen bei vulnerablen Grundwasserfassungen – Bestimmung des Heterogenitätsgrades des Grundwasserleiters

Diese weiterführenden Untersuchungen beinhalten folgende Punkte:

Erkundung bevorzugter

Versickerungs-/Infiltrationsstellen

- Geologische und geomorphologische Feldbeobachtungen, bei Bedarf ergänzt durch Luftbilddauswertung,
- Geländebegehung während starker Niederschläge oder bei Schneeschmelze (Besonderheiten des Oberflächenabflusses, Infiltrationsstellen),
- Beobachtung des Gewässernetzes (Infiltration, versinkende Bäche).

Charakteristik des Trennflächengefüges

- Aufnahme der ausstreichenden Störungen (wenn möglich auch in vorhandenen Stollen), Bewertung der Eigenschaften des Trennflächengefüges (Rich-

tung, Flächenabstand, laterale Extension, Öffnungsweite, Lösungserscheinungen, Kolmatierung).

Gang der Parameter Schüttung (Q), Temperatur (T) und elektrische Leitfähigkeit (ELF) während Hochwasserereignissen

- Eine dichte oder gar kontinuierliche Messreihe über ein oder mehrere Hochwasserereignisse erlaubt, mit Hilfe der Hydrogramme die Durchlässigkeit des Klufnetzes zu ermitteln (Entleerung des Grundwasserleiters), den Prozentsatz des schnellen Abflussanteils während eines Hochwassers grob abzuschätzen und die generellen Eigenschaften des Grundwasserleiters besser zu bestimmen (Anhang 3).



Abb. 9: Eingabe des Farbtracers Sulforhodamin B in ein ausgehobenes Erdloch (Foto I. Favre).

Markierversuche

- Mit Markierversuchen können die Verweilzeiten im Grundwasserleiter bestimmt, bevorzugte Versickerungsstellen kontrolliert und die Heterogenität des Grundwasserleiters überprüft werden. Vor einem Markierversuch (Abb. 9) sollen zunächst alle verfügbaren geologischen Daten zusammengestellt werden, um die Wahrscheinlichkeit eines positiven Ergebnisses zu erhöhen. Für die Durchführung von

Markiersuchen in geklüfteten Gesteinen sind in Anhang 4 eine Reihe von Empfehlungen zusammengestellt.

Aufgrund dieser genannten Untersuchungen kann die Herkunft der schnellen Wasseranteile ermittelt und der Grad der Heterogenität des Grundwasserleiters bestimmt werden (siehe Kasten). Die Methode, die für die Bemessung der Schutzzonen angewendet werden soll, hängt von der Heterogenität des Grundwasserleiters – bezogen auf das Einzugsgebiet als Ganzes – ab:

Fall b1:

Gering heterogener Grundwasserleiter

In diesem Fall nehmen die Verweilzeiten des Grundwassers generell mit der Entfernung zur Fassung zu. Man kann somit den Kluft-Grundwasserleiter als annähernd kontinuierlich betrachten, auch wenn das geklüftete Gestein im Meter- oder Dekameter-Bereich hete-

rogen ist. Die Dimensionierung der Schutzzonen erfolgt nach demselben Prinzip wie bei Lockergesteins-Grundwasser, nämlich anhand der ermittelten Abstandsgeschwindigkeiten im Grundwasserleiter (siehe Kapitel 4.2).

Fall b2:

Stark heterogener Grundwasserleiter

In diesem Fall fließt ein Teil des Grundwassers durch sehr durchlässige Klüfte. Stellenweise bestehen schnelle Fließverbindungen (einige Stunden bis Tage) zwischen der Oberfläche und der Fassung. Diese Infiltrationsstellen können über das gesamte Einzugsgebiet verteilt sein. Für solche Verhältnisse wurde im Rahmen dieser Praxishilfe die Multikriterien-Methode «DISCO» entwickelt. Sie erlaubt die Kartierung der Vulnerabilität sowie die Bemessung von Schutzzonen, unter Berücksichtigung der starken Heterogenität des Grundwasserleiters (siehe Kapitel 5).

Bestimmung der Heterogenität des Grundwasserleiters

Stark heterogene Grundwasserleiter unterscheiden sich in ihrer Funktionsweise von schwach heterogenen Grundwasserleitern in folgenden Eigenschaften:

Schwach heterogene Grundwasserleiter: Die Verweilzeiten des Grundwassers innerhalb des Kluftnetzes steigen generell mit der Entfernung zur Fassung an.

Stark heterogene Grundwasserleiter: Die Verweilzeiten des Grundwassers innerhalb des Kluftnetzes nehmen nicht zwangsläufig mit der Entfernung zur Fassung zu. Schnelle Fliessverbindungen zur Fassung (einige Stunden bis Tage) sind also von jedem Punkt des Einzugsgebietes aus möglich.

Folgende Angaben erlauben eine Bestimmung der Heterogenität des Grundwasserleiters:

Eigenschaften des Trennflächengefüges und Stellen bevorzugter Infiltration

Das Auftreten bevorzugter Infiltrationsstellen, das Vorkommen gelöster oder erodierter Bereiche entlang von Trennflächen oder das Vorherrschen grosser Kluftöffnungen lassen ein sehr durchlässiges Trennflächensystem vermuten (stark heterogener Grundwasserleiter).

Gang der Schüttung, der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur im Verlauf von Hochwasserereignissen

Falls ein Quellaustritt auf starke Niederschläge mit einer schnellen Reaktion der Schüttung und der elektrischen Leitfähigkeit reagiert und falls sich diese Parameter ebenso schnell wieder normalisieren, kann auf ein Kluftnetz mit hoher Durchlässigkeit geschlossen werden, das sich zudem sehr schnell entleert (stark heterogener Grundwasserleiter).

Wenn sich die Schwankungen der Schüttung und der elektrischen Leitfähigkeit dagegen durch eine gewisse Trägheit auszeichnen (verzögerter Anstieg und langsames Abklingen), kann von einer mässigen Durchlässigkeit und/oder einer schlechten hydraulischen Anbindung an die Fassung ausgegangen werden (schwach heterogener Grundwasserleiter).

Markierversuche

Interpretation der ermittelten Abstandsgeschwindigkeiten

Der Grundwasserleiter muss als stark heterogen angesehen werden, sobald

- die maximalen Geschwindigkeiten in der Grössenordnung von hundert Metern pro Tag oder darüber liegen,
- das Grundwasser weniger als 10 Tage braucht, um vom äusseren Rand des Einzugsgebiets bis zur Fassung zu gelangen und/oder die 10-Tages-Isochrone eine unverhältnismässig grosse Zone S2 nach sich ziehen würde.

Interpretation der ermittelten Wiedergewinnungsrate

Eine hohe Wiedergewinnungsrate des eingesetzten Markierstoffs und eine peakförmige Durchgangskurve deuten auf einen Grundwasserdurchfluss entlang stark durchlässiger Klüfte (stark heterogener Grundwasserleiter).

Eine ausgeprägte Dispersion der Durchgangskurve über einen längeren Zeitraum kann auf Fliesswege entlang ausgedehnter, aber mässig durchlässiger Strukturen oder auf ein dichtes und verbundenes Kluftnetz zurückgeführt werden (schwach heterogener Grundwasserleiter).

Hinweis: Die Ergebnisse eines Markierversuchs hängen stark von den Bedingungen seiner Durchführung ab (Anhang 4).

4 Bemessung der Schutzzonen – Kluft-Grundwasserleiter mit annähernd kontinuierlichen Eigenschaften

4.1 Gering vulnerable Grundwasserfassungen (Gruppe a), Distanz-Methode

Anwendungsbereich

Diese Methode wird angewendet, wenn die Fassung keine deutliche Reaktion auf starke Niederschläge zeigt (Abb. 8a) und die Wasserqualität gleichbleibend gut ist. Dem gefassten Wasser ist eine lange Verweilzeit zuzuschreiben (z.B. mässige Durchlässigkeiten, Wasser aus grösserer Tiefe). Das Risiko einer Verunreinigung beschränkt sich in diesem Fall im Wesentlichen auf den Nahbereich der Fassung. Grundwasserfassungen, die dieses Verhalten zeigen, werden als gering vulnerabel angesehen (siehe Kapitel 1). Sie können sowohl mit einem heterogenen (langsame Fließbewegung entlang drainierender geologischer Grossstrukturen, Maréchal 1998), als auch mit einem homogenen Grundwasserleiter (über das Einzugsgebiet verteilte Trennflächen mit geringer Öffnungsweite) in Verbindung stehen.

Prinzip

Ungeachtet der Struktur und der Heterogenität des Grundwasserleiters reicht bei gering vulnerablen Fassungen eine Mindestausdehnung der Schutzzonen in der Regel aus, um den Schutz des Trinkwassers zu gewährleisten. Markierversuche bringen bei solchen Fassungen nur sehr selten positive Ergebnisse (kein Nachweis des Tracers, selbst bei einer Überwachung über mehrere Wochen oder Monate). Allerdings können Markierversuche durchaus herangezogen werden, um besondere Annahmen zu bestätigen oder um – im Falle unzureichender Kenntnisse – das hydrologische Verhalten des Grundwasserleiters zu eruieren.

Vorgehensweise

Die Schutzzonen werden wie folgt bemessen (siehe GSchV):

Zone S1

Die Zone S1 erstreckt sich mindestens 10 Meter um die Fassung sowie um Fassungsstränge, Sickergräben, Stollen etc. (Abb. 10, a). Falls die Grundwasserfassung in direkter Verbindung mit einer drainierenden Kluft steht, ist diese ebenfalls der Zone S1 zuzurechnen (Abb. 10, b).

Falls Hangwasser in die Fassung gelangen kann, muss die Zone S1 dementsprechend ausgeweitet werden, so dass der Eintrag von Schadstoffen in die unmittelbare Umgebung der Fassung ausgeschlossen werden kann.

Zone S2

Der Abstand zwischen den äusseren Grenzen der Zonen S1 und S2 muss in Zuflussrichtung mindestens 100 Meter betragen.

Zone S3

Der Abstand zwischen den äusseren Grenzen der Zonen S2 und S3 muss mindestens gleich dem Abstand zwischen den äusseren Grenzen der Zonen S1 und S2 sein.

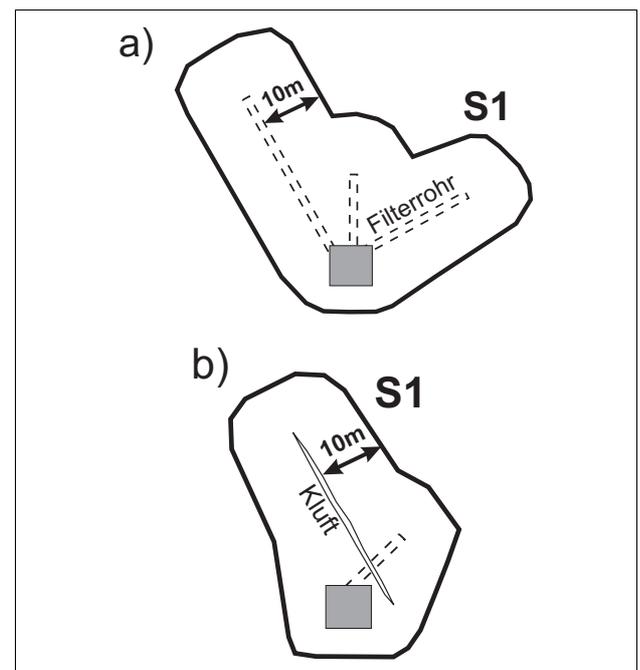


Abb. 10: Ausdehnung der Schutzzone S1 im Falle von Fassungssträngen (a) und im Falle einer oberflächennahen Störung, die in direkter Verbindung mit der Fassung steht (b).

Anmerkung

In einigen Fällen, in denen ausschliesslich Wasser mit hoher Verweildauer gefördert wird (z.B. tief verfiltrierte Brunnen), kann sich eine Ausscheidung der Zonen S2 und S3 als überflüssig erweisen. Dafür ist jedoch zuvor die genaue Kenntnis der hydrogeologischen Zusammenhänge erforderlich.

4.2 Vulnerable Grundwasserfassungen, schwach heterogener Grundwasserleiter (Fall b1), Isochronen-Methode

Anwendungsbereich

Diese Methode ist für Grundwasserfassungen geeignet, die auf starke Niederschläge zwar ansprechen (vulnerable Grundwasserfassungen, siehe Kapitel 1), wo das Trennflächengefüge des Grundwasserleiters jedoch, bezogen auf den Massstab des Einzugsgebietes, schwach heterogen ausgebildet ist. Solche Fassungen sind einem Kluft-Grundwasserleiter zuzuordnen, der in seiner hydrogeologischen Funktionsweise eher einem Lockergestein entspricht (homogen geklüftetes Einzugsgebiet).

Prinzip

Die Bemessung der Schutzzonen erfolgt nach dem gleichen Prinzip wie bei Lockergesteinen und zwar auf der Basis der Verweilzeiten des Grundwassers im Grundwasserleiter.

Vorgehensweise

Auch wenn der Kluft-Grundwasserleiter als Ganzes – analog einem Lockergestein – homogen erscheint, so ist er im Meter- bis Dekameter-Bereich trotzdem heterogen aufgebaut.

Da eine Bestimmung der hydraulischen Gradienten und der Durchlässigkeiten in der Regel nicht praktikabel ist (nicht repräsentative Grundwassermessstellen, keine Pumpversuche an natürlichen Austrittsstellen durchführbar), bieten meist nur Markierversuche die Möglichkeit zur Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeiten im Grundwasserleiter. Die Durchführung kombinierter Tracerversuche erhöht die Wahrscheinlichkeit eines positiven Markierstoffnachweises und liefert eine grössere Informationsdichte für die Erfassung der Fließgeschwindigkeiten im Grundwasserleiter, ohne dabei die Untersuchung unangemessen zu verteuern.

Die ermittelten Geschwindigkeiten hängen stets von der gewählten Eingabestelle ab. Auf Grund von Geländebegehung und von Versickerungsversuchen ist als Eingabestelle ein gut durchlässiger und nicht zu begrenzter Bereich zu wählen (Anhang 4).

Mit den Ergebnissen aus den Markierversuchen können die Schutzzonen folgendermassen bestimmt werden:

Zone S1

Siehe Kapitel 4.1 und Abb. 10.

Zone S2

Die äussere Grenze der Schutzzone S2 entspricht der 10-Tages-Isochrone, die mit Hilfe eines Tracerversuches bestimmt werden kann. Die Entfernung zwischen den äusseren Grenzen der Zonen S1 und S2 muss in Zuströmrichtung mindestens 100 Meter betragen (Abb. 11).

Zone S3

Der Abstand zwischen den äusseren Grenzen der Zonen S2 und S3 muss mindestens gleich dem Abstand zwischen den äusseren Grenzen der Zonen S1 und S2 sein (Abb. 11).

Sonderfälle

Wenn Schadstoffe durch Oberflächenabfluss (z.B. infiltrierende Oberflächengewässer, Abschwemmungen, natürliche oder künstliche Drainagen) in die gemäss obiger Methode bemessenen Zonen S1 oder S2 gelangen könnten, wird wie folgt verfahren:

- Bei diffusem Oberflächenabfluss oder bei vorhandenen Drainagen innerhalb des Einzugsgebietes sind die Zonen S1 und S2 entsprechend zu vergrössern (Abb. 12, a).
- Infiltrierende Fließgewässer (Abb. 12, b) können durch den Bereich A_0 geschützt werden (Art. 29 GSchV).
- Bei einer punktuellen Versickerung eines Oberflächengewässers mit direkter Verbindung zur Grundwasserfassung ist zu prüfen, ob eine Abdichtung der Sohle in Betracht gezogen werden kann.

Falls aufgrund der geologischen, morphologischen und geophysikalischen Daten oder mit Hilfe der Ergebnisse von Markierversuchen festgestellt wurde, dass die Grundwasserfassung in direkter Verbindung mit einer oder mehreren Störungen steht, muss dies bei der Bemessung der Schutzzonen S1 und S2 mitberücksichtigt und deren Grenzen entsprechend angepasst werden (Abb. 10, b und 12, c).

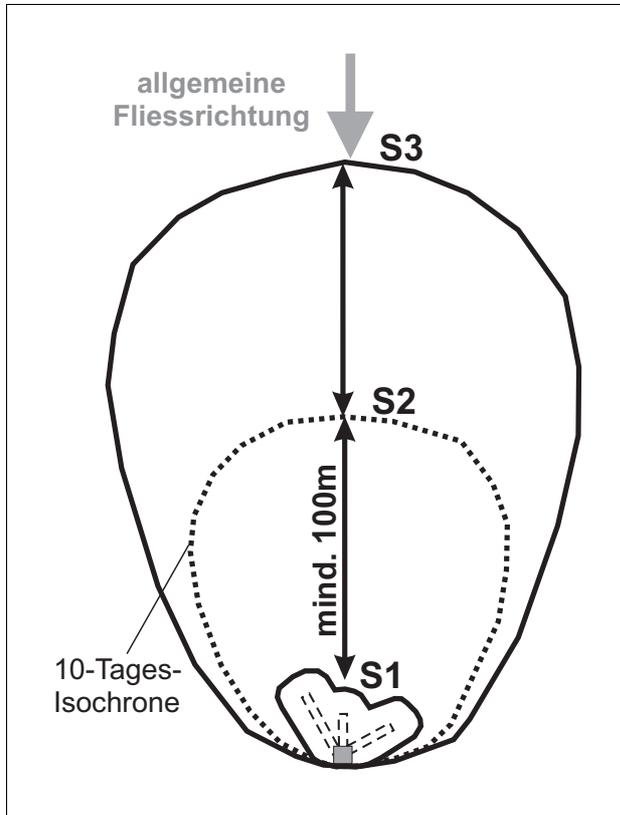


Abb. 11: Bemessung der Schutzzonen im Fall eines schwach heterogenen Kluft-Grundwasserleiters.

Anmerkungen

Falls die durchgeführten Markierversuche keine positiven oder repräsentativen Ergebnisse bezüglich der Verweilzeiten im Grundwasserleiter liefern, müssen die Isochronen auf andere Art festgelegt werden. Für vulnerable Grundwasserfassungen, deren rasche Reaktion auf Niederschlagsereignisse auf einen bedeutenden Anteil neu infiltrierten Wassers hinweist, ist es in der Tat nicht zulässig, allein aufgrund eines negativ ausgefallenen Tracerversuchs oder eines spät ankommenden Tracers (impliziert langsame Fließgeschwindigkeiten von z.B. einigen Meter pro Tag) die Zone S2 minimal zu bemessen.

In einem solchen Fall können, als letztes Mittel, die Fließgeschwindigkeiten oder die Durchlässigkeiten auf der Grundlage hydrogeologisch vergleichbarer Gebiete abgeschätzt werden. Mit diesen Werten, die stets hinreichend begründet werden müssen, ist die Bestimmung der 10-Tages-Isochrone möglich.

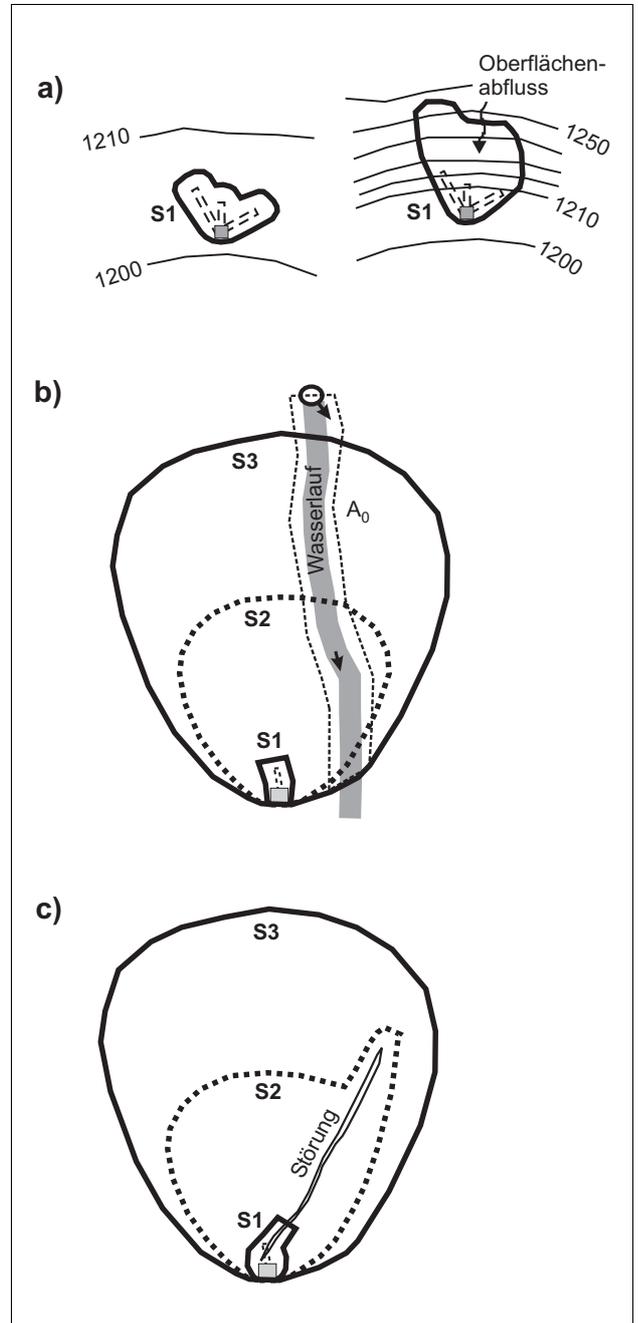


Abb. 12: Besonderheiten bei Schutzzonen

- Bemessung der Zone S1 mit einer Ausdehnung von mindestens 10 m (links). Im Falle von Hangwasserzuluß muss die Zone S1 vergrößert werden (rechts).
- Schutz eines infiltrierenden Wasserlaufs innerhalb der Zone S2.
- Anpassung der Zonen S1 und S2 aufgrund einer direkt mit der Fassung in Verbindung stehenden Störung.

5 Bemessung der Schutzzonen – stark heterogene Kluft-Grundwasserleiter, Methode «DISCO»

Vulnerable Grundwasserfassungen, stark heterogene Grundwasserleiter (Fall b2), Multikriterien-Methode «DISCO»

5.1 Anwendungsbereich

Bei Grundwasserfassungen, die an einen stark heterogenen Grundwasserleiter – mit teilweise schnellen Fließgeschwindigkeiten (bis zu 100 Metern und mehr pro Tag) entlang diskreter Trennflächen – gebunden sind, muss die Vulnerabilität des Einzugsgebietes kartiert werden. Diese Fassungen werden als besonders vulnerabel eingestuft (siehe Kapitel 1). In diesem Fall nehmen die Verweilzeiten nicht stetig mit der Entfernung zur Fassung zu. Es kann somit keine Gleichsetzung mit einem homogenen und isotropen Grundwasserleiter, analog einem Lockergestein, erfolgen. Der Anteil gering mineralisierten und oft qualitativ schlechten Wassers (Bakteriologie, Trübung) hängt stark von den herrschenden hydrologischen Bedingungen ab (maximaler Anteil bei Hochwasser und minimaler Anteil nach längerer Trockenzeit).

Eine grosse Anzahl an Tracerversuchen würde die direkte Bestimmung der Vulnerabilität an jedem Ort des Einzugsgebietes erlauben. Da dies jedoch nicht realisierbar ist, muss statt dessen eine kartografische Aufnahme der Vulnerabilität nach einer Multikriterien-Methode durchgeführt werden.

Die Multikriterien-Methode «DISCO» (**DIS**continuités = Trennflächen / **CO**verture protectrice = schützende Deckschicht) hat zum Ziel, die Schutzzonen unter Berücksichtigung der Heterogenität des Grundwasserleiters zu bemessen. Sie beruht auf der intrinsischen Vulnerabilität des Grundwassers. Diese wird durch geologische und hydrogeologische Faktoren bestimmt, welche ihrerseits die Funktionsweise des Kluft-Grundwasserleiters sowie einen allfälligen Schadstofftransport beeinflussen.

Die kartografische Aufnahme der Vulnerabilität soll ungünstige hydrologische Bedingungen (z.B. Hochwasserperioden) berücksichtigen.

Vulnerabilität des Grundwassers

Definitionen (nach Daly et al. 2002)

Die Vulnerabilität kann auf eine Grundwasserressource oder auf eine Grundwasserfassung bezogen werden. Bei der Bemessung einer Grundwassererschutzzone wird die Vulnerabilität in Bezug auf die Fassung definiert. Dabei wird für jeden Punkt des Einzugsgebietes abgeschätzt, welche Auswirkungen ein dort eingetragener Schadstoff auf die Qualität des geförderten Wassers haben würde. Der Schadstoffdurchgang an der Fassung kann theoretisch durch die folgenden drei Faktoren ausreichend beschrieben werden (Abb. 13): **Verweilzeit**, **Abschwächung der Konzentration (Dämpfung)**, **Rückgewinnungsrate des Tracers**.

Der Begriff der **intrinsischen Vulnerabilität** charakterisiert auf umfassende Weise die Empfindlichkeit des Grundwassers gegenüber eingetragenen Schadstoffen. Die intrinsische Vulnerabilität beinhaltet die geologischen, hydrologischen und hydrogeologischen Eigenschaften eines Grundwasserleiters, ist aber unabhängig von der Art des Schadstoffs und der Geländenutzung.

Der Begriff der **spezifischen Vulnerabilität** wird benutzt, um die Empfindlichkeit des Grundwassers in Bezug auf einen einzelnen Schadstoff bzw. eine Gruppe von Schadstoffen mit gleichen Eigenschaften zu definieren. Die spezifische Vulnerabilität berücksichtigt also die Eigenschaften eines Schadstoffs sowie die intrinsische Vulnerabilität des Grundwasserleiters.

Die Methode «DISCO» beruht auf der Bestimmung der intrinsischen Vulnerabilität. Diese ist keine direkt messbare Grösse, kann aber kartografisch erfasst werden. Dabei wird die Empfindlichkeit der einzelnen Teilbereiche gegenüber anthropogenen Belastungen beurteilt. Durch die Kartierung können Nutzung und Schutz des Grundwassers optimiert werden.

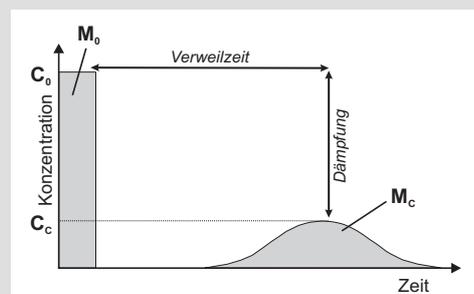


Abb. 13: Durchgangskurve bei der Fassung nach dem Eintrag eines Stoffs an einem Punkt im Einzugsgebiet. C_0 und M_0 = Ausgangskonzentration und -menge. C_c und M_c = maximale Konzentration und Menge des Schadstoffs in der Fassung.

5.2 Prinzip, Modellvorstellung

Die hydrogeologische Funktionsweise stark heterogener Kluft-Grundwasserleiter kann mit einem Modell beschrieben werden, welches bereits in Kapitel 2 dargestellt wurde (Abb. 2). Dieses Schema ist für Kluft-Grundwasserleiter allgemein gültig, jedoch sind bei stark heterogenen Grundwasserleitern die Unterschiede in der Durchlässigkeit des Hauptentwässerungsnetzes und der dazwischen liegenden Blöcke sehr gross. Entlang der Entwässerungsbahnen herrscht teilweise turbulentes Fliessen mit hohen Geschwindigkeiten von bis zu einigen hundert Metern pro Tag (ersichtlich anhand der starken Trübung bei Hochwasserereignissen), während in den weniger durchlässigen Blöcken das Fliessen mit maximal 10 Metern pro Tag relativ langsam und laminar vonstatten geht (ersichtlich anhand der guten Wasserqualität an der Entnahmestelle bei Niedrigwasser).

Da die Isochronen-Methode in diesem Zusammenhang nicht anwendbar ist, muss eine kartografische Aufnahme der Vulnerabilität zur Bemessung der Schutz-zonen herangezogen werden. Mit einer solchen Multi-kriterien-Kartierung muss es möglich sein, für jeden Punkt des Einzugsgebietes aussagen zu können, wie leicht ein potenzieller Schadstoff die Grundwasserfassung erreichen kann.

Drei Parameter sind nötig und ausreichend, um den Transport eines potenziellen Schadstoffs von jedem Punkt des Einzugsgebietes bis zur Ankunft in der Fassung zu bewerten (Abb. 14):

- Der **Parameter «Trennflächen»** charakterisiert die Wasserfliesswege durch das geklüftete Gestein vom Ort der Versickerung bis hin zur Fassung (z.B. stark durchlässige Störung mit guter Anbindung an die Fassung; gering geklüfteter Bereich).
- Der **Parameter «schützende Deckschicht»** trägt der Tatsache Rechnung, dass überlagernde Einheiten eine schützende Wirkung auf den Grundwasserleiter ausüben (Böden, quartäre Ablagerungen, prä-quartäre Schichten).
- Der **Parameter «Oberflächenabfluss»** berücksichtigt das Abflussverhalten (z.B. Hangabfluss, perma-

nente und temporäre Wasserläufe) bevor das Wasser in den Untergrund versickert.

Die Gewichtung und die Art der Verknüpfung der drei Parameter beruht auf den Ergebnissen zahlreicher Geländestudien. Werden die drei genannten Parameter kombiniert, kann für jeden Punkt des Einzugsgebietes ein Schutzfaktor definiert werden.

5.3 Vorgehensweise

Die Methode «DISCO» wird in vier Schritten durchgeführt (Abb. 15):

1. Bewertung und Kartierung der Parameter «Trennflächen» und «schützende Deckschicht» im gesamten, in kleine Polygone aufgeteilten Einzugsgebiet. Dabei weisen diese Polygone je einheitliche Eigenschaften bezüglich der Parameter «Trennflächen» und «schützende Deckschicht» auf.
2. Berechnung des provisorischen Schutzfaktors F_{int} (intermediärer Schutz-Faktor) für jedes einzelne Polygon des Einzugsgebietes, indem die Parameter «Trennflächen» und «schützende Deckschicht» gewichtet und addiert werden.
3. Für den Fall, dass der Wert für F_{int} gering oder sogar sehr gering ist, wird der Parameter «Oberflächenabfluss» für die Bestimmung des definitiven Schutzfaktors F einbezogen.
4. Bemessung der Schutzzonen, indem die Werte des definitiven Schutzfaktors F mit den Zonen S1, S2 und S3 in Beziehung gesetzt werden.

5.3.1 Schritt 1: Erfassung der Parameter «Trennflächen» und «schützende Deckschicht»

Parameter «Trennflächen»

Die Kartierung dieses Parameters bezweckt,

- die Unterschiede in der Durchlässigkeit innerhalb des Grundwasserleiters ersichtlich zu machen (z.B. regionale Verwerfungen, mehr oder weniger stark geklüftete Bereiche, unterschiedliche Öffnungsweiten der Trennflächen),
- die hydraulische Anbindung der einzelnen Strukturen an die Grundwasserfassung zu überprüfen (insbesondere mittels Markierversuchen).

Die Aufnahme des Trennflächengefüges erfolgt im ganzen Einzugsgebiet und zwar mit Hilfe bereits vorliegender Daten (z.B. geologische Karten), Geländebegehung (Geologie, Geomorphologie), Luftbildauswertung und gegebenenfalls auch mittels geophysikalischer Profile.

Die Eigenschaften der einzelnen Trennflächensysteme können einerseits durch Gelände- und wenn möglich auch Stollenaufnahmen (Ausdehnung, Öffnungsweite, Dichte, Richtung, Kolmation, bevorzugte Infiltrationsstellen), andererseits durch die Ergebnisse von Markerversuchen erfasst werden.

Für die Ermittlung des Parameters «Trennflächen» wurden vier verschiedene Klassen definiert (Tab. 1). Die Klasse D_0 stellt dabei den höchsten Vulnerabilitätsgrad dar.

In Ausnahmefällen kann ein schnelles Fliessverhalten vorliegen, ohne dass es geologische oder geomorphologische Anzeichen für einen Bereich erhöhter Gebirgsdurchlässigkeit gibt. Um auf der sicheren Seite zu stehen, muss dann trotz fehlender Kenntnis der Trennflächenverteilung D_1 oder D_2 eingesetzt werden. D_3 darf nur dann eingesetzt werden, wenn nach ausreichender Beobachtung tatsächlich ein Bereich geringer Durchlässigkeit festgestellt wurde und dieser auch weit genug von entwässernden und die Fassung speisenden Trennflächen entfernt liegt. Wenn nachgewiesen ist, dass eine Struktur erhöhter Durchlässigkeit nicht mit der Fassung in direkter Verbindung steht, wird sie einem Bereich mittlerer Durchlässigkeit zugeordnet (D_2).

Parameter «schützende Deckschicht»

Die Verwendung dieses Parameters hat zum Ziel, die Schutzfunktion des Bodens (im pedologischen Sinne) und der Überdeckung als Ganzes zu berücksichtigen. Von der Mächtigkeit und der Durchlässigkeit der Deckschichten hängt es ab, wie lange sich einsickerndes Wasser bis zum Erreichen des Grundwasserleiters im Untergrund befindet und inwieweit eingetragene Schadstoffe, noch vor Erreichen des Grundwassers, Rückhalte-, Abbau- und Dispersionsprozessen unterworfen sind.

Bezüglich der Durchlässigkeit werden die Böden in drei Klassen (sehr, mittel und gering durchlässig) eingeteilt (Tab. 2, a). Diese Einstufung stützt sich sowohl auf Geländebeobachtungen (Versickerungsversuche, Bodenuntersuchungen), als auch auf Literaturdaten (Beziehung zwischen Zusammensetzung, Durchlässigkeit und Reinigungsvermögen eines Bodens). Der Einfachheit halber werden keine weiteren Parameter – wie etwa die Vegetationsdecke (z.B. Felder, Wiesen, Wald) oder der Gehalt des Bodens an organischem Material (der den Abbau organischer und bakterieller Schadstoffe merklich beeinflusst) – berücksichtigt. Die Bewertung der Böden aufgrund ihrer Mächtigkeit basiert auf Verhältnissen, die üblicherweise in der Schweiz anzutreffen sind. Die Mächtigkeitsbereiche wurden so festgelegt, dass die Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten bestmöglich zur Geltung kommen. Die Mächtigkeit der Bodenbedeckung ist in den meisten Einzugsgebieten allerdings geringer als 1,5 Meter.

Sind zwischen der Bodenbedeckung und dem Grundwasserleiter gering durchlässige Gesteinsschichten (z.B. Moräne, Gehängelehm, Mergel, tonreiche Verwitterungshorizonte) eingeschaltet, muss der für den Boden ermittelte Index (Tab. 2, a) modifiziert werden, um den zusätzlichen schützenden Einfluss dieser Deckschichten zu berücksichtigen (Tab. 2, b). Punktuelle Sondierungen mit einem Handbohrgerät bieten die Möglichkeit, die Mächtigkeit der Bodenbedeckung zu bestimmen und deren Beschaffenheit vor Ort zu begutachten (Anhang 5). Die Bodenkartierung erfolgt aufgrund von Sondierungen, die in ausreichender Anzahl und über das gesamte Einzugsgebiet verteilt vorgenommen werden sollen. Die punktuellen Daten werden anschliessend auf Flächen gleicher morphologischer Verhältnisse (Gelände, Luftbilder) ausgeweitet.

Die gering durchlässigen geologischen Einheiten können anhand morphologischer (z.B. Gehängelehm, Moränenmaterial) und geologischer Beurteilung (prä-quartäre Schichten) sowie durch Handbohrungen lokalisiert werden. Die Mächtigkeit und Beschaffenheit dieser Schichten sind jedoch oft schwierig zu ermitteln. Hier können aktuelle Bautätigkeiten (z.B. Baugruben) oder auch geophysikalische Untersuchungen weiterhelfen.

Durch Versickerungsversuche (Anhang 6) kann die angenommene Durchlässigkeit der Deckschichten punktuell verifiziert werden.

5.3.2 Schritt 2: Berechnung des provisorischen Schutzfaktors F_{int}

Der provisorische Schutzfaktor F_{int} ermöglicht es, für jeden Punkt des Einzugsgebietes anzugeben, wie leicht ein potenzieller Schadstoff in den Untergrund eindringen und zur Grundwasserfassung gelangen kann. Ein sehr geringer Schutzfaktor entspricht einer extrem hohen Vulnerabilität. Dies bedeutet, dass ein Schadstoff, der in einem Bereich mit sehr geringem Schutzfaktor versickert, sehr schnell an der Entnahmestelle ankommen wird, ohne dass Abschwächungsprozesse (Filterung, Selbstreinigung, Verdünnung) ausreichend wirksam wurden.

Der provisorische Schutzfaktor F_{int} (Tab. 3) wird folgendermassen ermittelt:

$$F_{int} = 2 \cdot D + 1 \cdot P$$

D: Wert für den Parameter «Trennflächen»

P: Wert für den Parameter «schützende Deckschicht»

Der Parameter D ist für die Ermittlung des Schutzfaktors von überwiegender Bedeutung. Durchlässige Gesteinsbereiche können nämlich dazu führen, dass in Deckschichten bevorzugte Versickerungsstellen – zum Beispiel in Form von Dolinen – entstehen. Teilweise bestehen entlang von Grabgängen, Wurzeln oder Trockenrissen bevorzugte Fliesswege. Durch sie können Stoffe, selbst durch mächtige Böden, innert kurzer Zeit in den Grundwasserleiter gelangen.

5.3.3 Schritt 3: Bestimmung des definitiven Schutzfaktors F

Parameter «Oberflächenabfluss»

Über den Oberflächenabfluss kann es zu einer lateralen Verfrachtung von Schadstoffen über mehrere Dekameter im Falle eines diffusen Abflusses und über mehrere hundert Meter entlang von Abflussrinnen oder natürlichen Entwässerungsbahnen (z.B. permanente oder zeitweilige Wasserläufe, Drainagegräben, Wege) kommen. Es ist deshalb unerlässlich, diesen Sachverhalt in die Multikriterien-Kartierung einzubeziehen.

Im Gegensatz zu den beiden anderen Parametern, die stets über das gesamte Einzugsgebiet kartiert werden

müssen, wird der Oberflächenabfluss nur dann berücksichtigt, wenn die Parameter «Trennflächen» und «schützende Deckschicht» einen geringen oder sehr geringen natürlichen Schutzfaktor ausweisen und wenn ein signifikanter Oberflächenabfluss vorhanden ist. Durch die Kartierung dieses Parameters sollen also diejenigen lokalen Einzugsgebiete erfasst werden, welche über den Oberflächenabfluss vulnerable Stellen speisen.

Der definitive Schutzfaktor F eines lokalen Einzugsgebietes entspricht dem Wert für F_{int} des im Abstrom liegenden vulnerablen Bereichs (Abb. 15). Ausserhalb eines solchen lokalen Einzugsgebietes entspricht der definitive Schutzfaktor F dem im zweiten Schritt ermittelten Faktor F_{int} .

Drei Faktoren beeinflussen den Oberflächenabfluss: die Hangneigung, die Durchlässigkeit des Bodens und der Grad der Wassersättigung. Vereinfachend werden für die Kartierung des Parameters «Oberflächenabfluss» nur die Hangneigung und das Vorhandensein von Oberflächengewässern berücksichtigt (Tab. 4). Der Oberflächenabfluss, in Verbindung mit den im Abstrom liegenden Flächen, die einen geringen oder sehr geringen Schutzfaktor aufweisen, kann mit Hilfe von topografischen Karten (Massstab 1:10'000 oder 1:5'000), mit Luftbildern oder mit numerischen Höhenmodellen (zur Zeit aufgrund der geringen Auflösung von bis zu 25 Metern noch wenig genutzt) bewertet werden. Zusätzlich sind Geländebegehungen, insbesondere zu Zeiten starker Niederschläge oder während der Schneeschmelze, unerlässlich.

5.3.4 Schritt 4: Bemessung der Schutzzonen

Überprüfung der Daten

Vor der Bemessung der Schutzzonen muss zunächst die Plausibilität der erstellten Karte mit den Schutzfaktoren überprüft werden. Dabei sind folgende Fragen zu stellen:

- Sind die für die Kartierung verwendeten Daten für das gesamte Einzugsgebiet verlässlich? Ist es möglich und nützlich zusätzliche Daten zu erheben? Wurden die Werte so gewählt, dass man sich auf der sicheren Seite befindet?

- Stehen die kartierten Flächen mit geringem oder sehr geringem Schutzfaktor in Einklang mit der hydrogeologischen Modellvorstellung des Untersuchungsgebietes? Stimmen sie auch mit dem Konzept der Methode «DISCO» und mit der Reaktion des Systems

überein? Als Reaktion des Systems wird in diesem Zusammenhang der Anteil jenes Wassers verstanden, das bei starken Niederschlägen versickert und schnell (innerhalb weniger Tage) in die Fassung gelangt.

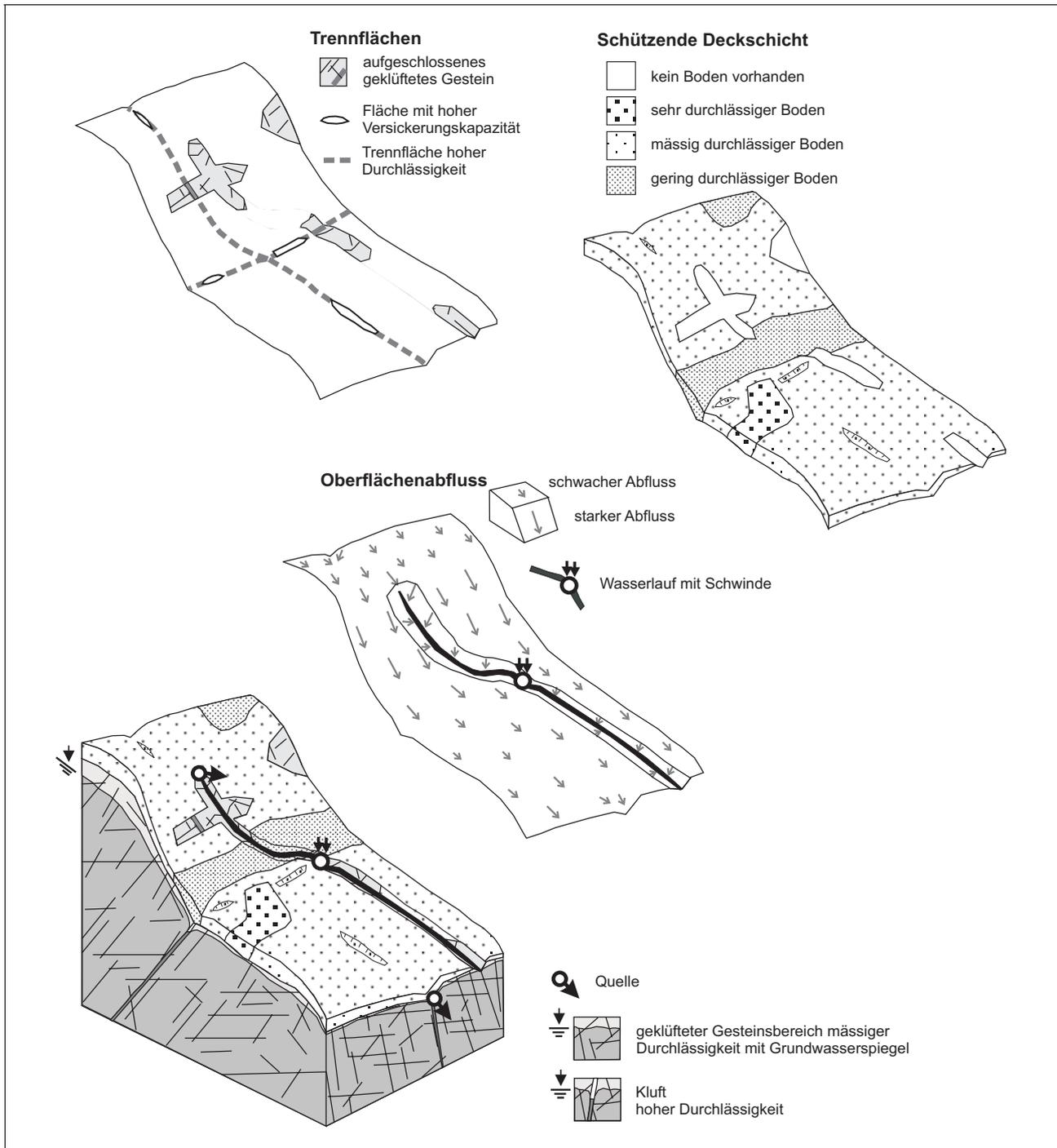


Abb. 14: Darstellung der drei berücksichtigten Parameter bei der Methode «DISCO».

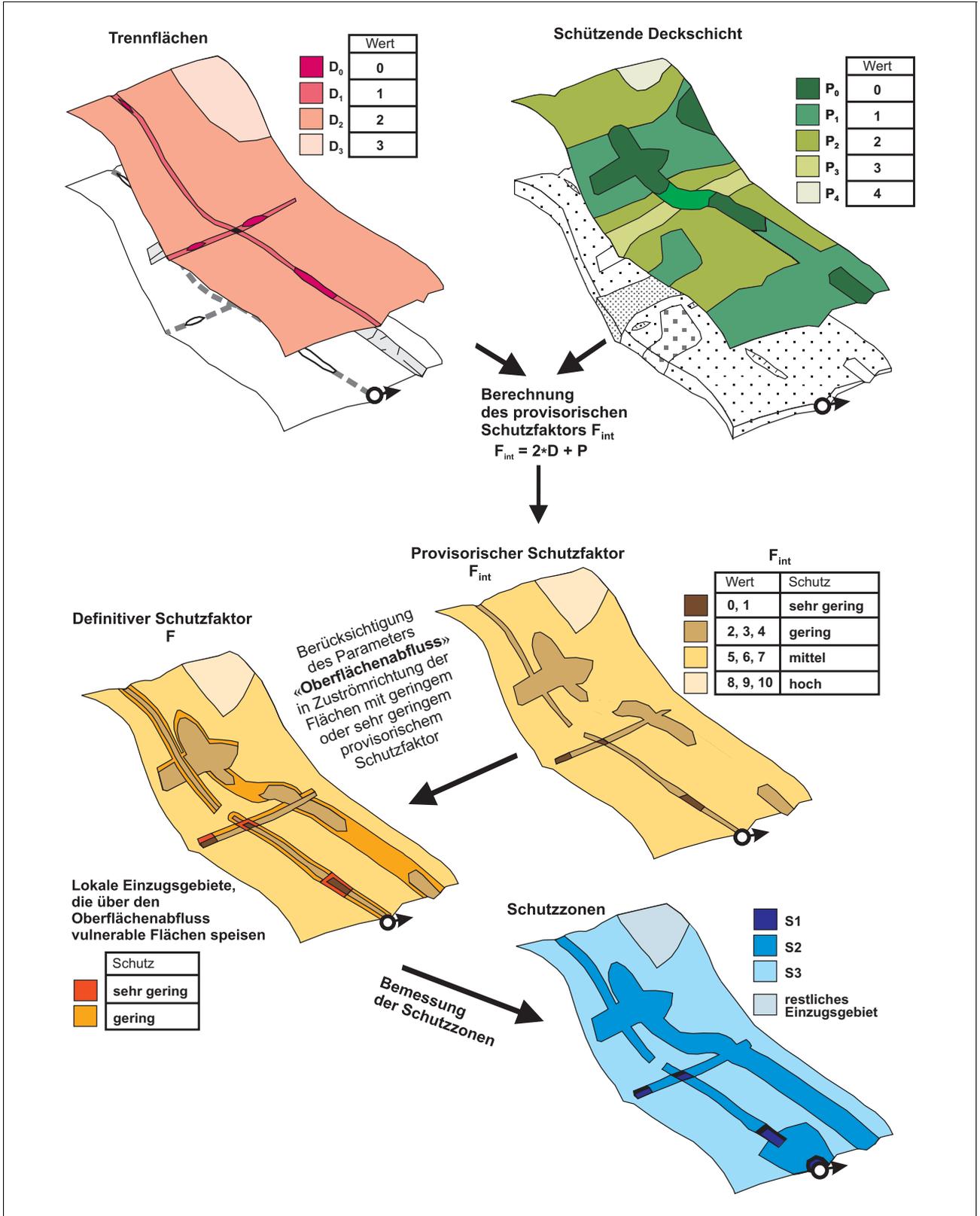


Abb. 15: Ausscheidung der Grundwasserschutzzonen nach der Multikriterien-Methode «DISCO».

Tabelle 1: Ermittlung des Parameters «Trennflächen».

Klasse	Wert	Bewertungskriterien
D ₀	0	sehr schnelle Verbindung zwischen den ausstreichenden Trennflächen und der Grundwasserfassung (Grössenordnung von etwa 10 Stunden) / keine erkennbaren Rückhalteeigenschaften
D ₁	1	schnelle Verbindung zwischen den ausstreichenden Trennflächen und der Grundwasserfassung (Grössenordnung von einigen Tagen) / begrenzte Rückhalteeigenschaften
D ₂	2	langsame Verbindung zwischen den ausstreichenden Trennflächen und der Grundwasserfassung (Grössenordnung von etwa 10 Tagen) bzw. Bereiche mässiger Durchlässigkeit / wirksame Rückhalteeigenschaften
D ₃	3	sehr langsame Verbindung zwischen den ausstreichenden Trennflächen und der Grundwasserfassung (einige Wochen) bzw. Bereiche geringer Durchlässigkeit / sehr wirksame Rückhalteeigenschaften

Tabelle 2: Ermittlung des Parameters «schützende Deckschicht».

a) Böden (im pedologischen Sinne)			
Mächtigkeit (m)	sehr durchlässig (Sand, Blöcke)	mittel durchlässig (Silt, Lehm)	gering durchlässig (Ton, Lehm)
0–0.2	P ₀	P ₀	P ₀
0.2–0.5	P ₀	P ₀	P ₁
0.5–1.00	P ₀	P ₁	P ₂
> 1.00	P ₁	P ₁	P ₃

(Werte für den Parameter P: P₀ = 0, P₁ = 1, P₂ = 2, P₃ = 3, P₄ = 4)

b) Vorkommen gering durchlässiger Locker- und Festgesteinseinheiten (Ton, Lehm, Mergel)				
Mächtigkeit	mit Boden P ₀	mit Boden P ₁	mit Boden P ₂	mit Boden P ₃
< 1 m	P ₁	P ₂	P ₃	P ₃
1–2 m	P ₂	P ₃	P ₃	P ₄
> 2 m	P ₃	P ₃	P ₄	P ₄

Tabelle 3: Werte für den provisorischen Schutzfaktor F_{int}.

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
D ₀	0	1	2	3	4
D ₁	2	3	4	5	6
D ₂	4	5	6	7	8
D ₃	6	7	8	9	10

Wert	F _{int} = 0, 1	F _{int} = 2, 3, 4	F _{int} = 5, 6, 7	F _{int} = 8, 9, 10
Schutzwirkung	sehr gering	gering	mittel	hoch
Vulnerabilität	besonders hoch	hoch	mittel	gering

Tabelle 4: Bestimmung der Grösse des lokalen Einzugsgebietes für die Berücksichtigung des Parameters «Oberflächenabfluss», Richtwerte.

a) diffuser Oberflächenabfluss an Hängen (lokales Einzugsgebiet ohne direkte Zuflüsse oder Drainagesysteme)	
Hangneigung	Grösse des lokalen Einzugsgebietes
2–10%	10 Meter um die als vulnerabel betrachtete Fläche oder 10 Meter in deren Zuströmrichtung
10–25%	20 Meter in Zuströmrichtung der als vulnerabel betrachteten Fläche
>25%	30 Meter in Zuströmrichtung der als vulnerabel betrachteten Fläche
<p>Falls Oberflächenwasser entlang von Tälern, Gräben, Wegen oder Drainagen konzentriert zu den vulnerablen Stellen gelangen kann, muss das lokale Einzugsgebiet entsprechend vergrössert werden.</p> <p>Die obigen Angaben zur Grösse des lokalen Einzugsgebietes gelten für Weidegebiete. Im Wald ist der Anteil des Oberflächenabflusses infolge besser durchlüfteter Böden jedoch in der Regel kleiner. In Waldgebieten kann das lokale Einzugsgebiet daher gegenüber den obigen Empfehlungen verkleinert werden (z.B. nur 10 Meter trotz einer Hangneigung von mehr als 25%).</p>	
b) permanent oder temporär infiltrierende Wasserläufe	
Grösse des lokalen Einzugsgebietes:	Sohle und Uferböschung; zusätzlich wird die Hangneigung gemäss den obgenannten Kriterien berücksichtigt.

Tabelle 5: Beziehung zwischen dem Schutzfaktor F und den Grundwasserschutzzonen S.

Schutzfaktor F	Vulnerabilität	Schutzzonen
F sehr gering (0, 1)	sehr hoch	S1
F gering (2, 3, 4)	hoch	S2
F mittel (5, 6, 7)	mittel	S3
F hoch (8, 9, 10)	gering	restliches Einzugsgebiet

Bemessung der Schutzzonen

Die Bemessung der Schutzzonen erfolgt aufgrund des ermittelten definitiven Schutzfaktor F. Aus dem Schutzfaktor F lässt sich die Vulnerabilität und aus dieser die auszuscheidende Grundwasserschutzzone ableiten. Diese Beziehungen sind in Tab. 5 dargestellt.

Anmerkungen

- Die Fassung selbst wird als sehr vulnerabel ausgewiesen. Die Ausdehnung der Zone S1 beträgt von der Fassung aus gemessen – je nach Hangneigung – zwischen 10 und 30 Meter (Abb. 10 und 12, a).
- Sicherheitshalber darf in Zuströmrichtung des Grundwassers keine Zone S3 in weniger als 100 Meter Entfernung von der die Fassung umgebenden Zone S1

ausgeschieden werden. Zudem darf in Zuströmrichtung des Grundwassers kein «restliches Einzugsgebiet» in weniger als 200 Meter Entfernung von der die Fassung umgebenden Zone S1 festgesetzt werden.

- Vor der definitiven Ausscheidung müssen in der Regel die nach hydrogeologischen Kriterien ermittelten Schutzzonen geometrisch vereinfacht werden. Dabei soll auf die örtlichen Gegebenheiten – etwa auf Grundstücksgrenzen – Rücksicht genommen werden (siehe BUWAL 2004). Die Vereinfachung der Schutzzonen soll jedoch das Schutzniveau der Schutzzone nicht verringern.

5.4 Anpassung und Überprüfung der Methode, Empfehlungen

Die den Parametern zugeordneten Werte, die Art und Weise wie sie miteinander verknüpft werden und die Beziehungen zwischen Schutzfaktoren und Schutz-zonen basieren auf den Untersuchungsergebnissen von mehreren Teststandorten (Kapitel 6). Insbesondere durch Markier- und Versickerungsversuche, aber auch durch geophysikalische Messungen, konnte das in dieser Praxishilfe dargelegte Vorgehen bei der Bestimmung der Schutzfaktoren und der daraus abgeleiteten Schutz-zonen bestätigt werden. **Die in dieser Praxishilfe festgelegten Werte sind grundsätzlich auf alle Typen von stark heterogenen Kluft-Grundwasserleitern, die in der Schweiz in sehr unterschiedlichen Konstellationen vorkommen, anwendbar.**

Voraussetzung für die richtige Anwendung der Methode sind gute Kenntnisse der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet. Die Bestimmung der Werte für die Parameter «Trennflächen» und «schützende Deckschicht» erfordert für das Einzugsgebiet eine genaue Kenntnis der Bodenverhältnisse sowie der hydraulischen Eigenschaften der

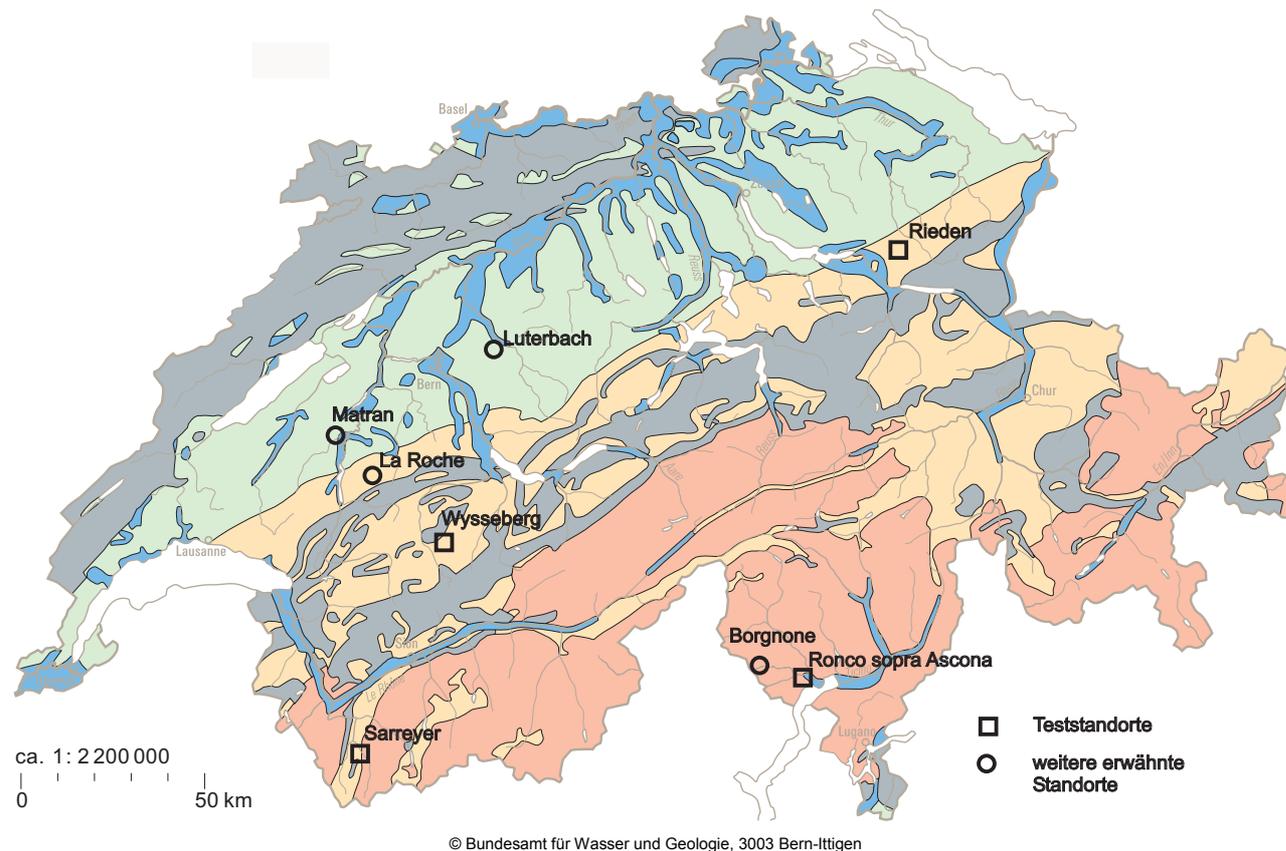
Trennflächen (Bereiche höherer und geringerer Durchlässigkeit, schnellere oder langsame Fliessverbindung zur Fassung).

Zur Überprüfung der ermittelten Schutz-zonen bietet sich die Durchführung von Markierversuchen an. Eine Überprüfung der Ergebnisse sollte aber nur ausnahmsweise nötig sein. Bei der Planung einer Schutz-zonenausscheidung sollte eine möglichst grosse Informationsdichte (Markierversuche, Geophysik) angestrebt werden, bevor die Kartierung der Vulnerabilität in Angriff genommen wird. Damit kann vermieden werden, das Budget mit aufwändigen Überprüfungen zu belasten. Wenn allerdings der Wert für den Schutz-faktor für einen bestimmten Bereich unsicher ist bzw. nicht plausibel erscheint, soll der bearbeitende Hydrogeologe die Ergebnisse überprüfen (beispielsweise mit Tracerversuchen). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse von Tracerversuchen stets von den Eingabebedingungen und von den herrschenden hydrologischen Verhältnissen abhängen (Anhang 4). Deshalb sollte die Einspeisung von Tracern unter ähnlichen Bedingungen wie ein zu erwartender Schadstoffeintrag sowie zu hydrologisch ungünstigen Zeiten (z.B. bei Hochwasser) erfolgen.

6 Anwendungsbeispiele

In der vorliegenden Praxishilfe werden vier Untersuchungsstandorte als Beispiele aufgeführt und ausführlich beschrieben. Anhand dieser Standorte wird die Anwendung der in den vorderen Kapiteln beschriebenen

Methodik veranschaulicht. Zusätzlich werden kurz weitere Untersuchungen erläutert, um Besonderheiten gewisser Kluft-Grundwasserleiter darzustellen. Alle ausgewählten Fallbeispiele (Abb. 16) betreffen relativ



Klasse	Art des Gesteins	Lithologie <i>lithostratigraphische Einheiten</i>	Porosität		Grundwasserleiter / Wasserwegsamkeiten	örtliche Verbreitung		
			Kornporosität	Kluftporosität				
1	Locker- gestein	Fluvio-glaziale Ablagerungen, Alluvionen	hoch primär	-	Poren- Grundwasserleiter	Mittelland, Täler des Jura und der Alpen		
2	Fest- gestein	Sandsteine, Konglomerate, Mergel <i>Molasse des Mittellandes und der Jura-Synklinalen</i>	mittel bis gering sekundär (Ent- kalkung) und primär	gering	Kluft-Grundwasserleiter	Südrand des Mittellandes, Voralpen, Alpen		
3		Sandsteine, Konglomerate, Mergel, Schiefer, Kalk- schiefer, Kieselkalke und unverkarstete Dolomite <i>Subalpine Molasse, Flysch, Verrucano, Schistes lustrés und Bündnerschiefer, tlw. helvetische Kieselkalke sowie ost- und südalpine Dolomite</i>	gering bis fehlend hauptsächlich sekundär (Entkalkung)	mittel bis gering			hauptsächlich Klüfte, örtlich durch Lösung erweitert	
4		Granite, Gneise, Schiefer, Grüngesteine, Sandsteine <i>Kristalline Einheiten, Permo-Karbon der penninischen Decken</i>	-	mittel bis gering			Klüfte	Alpen
5		Kalke, Mergel, Gips, Marmor <i>Mesozoikum des Jura und des Helvetikum, ostalpine und penninische Karbonatgesteine</i>	-	hoch Verkarstung			Karst- Grundwasserleiter	Jura, Voralpen, Alpen

Abb. 16: Hydrogeologische Übersichtskarte der Schweiz mit Lage der in diesem Kapitel betrachteten Teststandorte. Die Kluft-Grundwasserleiter (Beschreibung siehe Kapitel 2) gehören den Klassen 2, 3 und 4 an (Karte A. Pochon, CHYN).

kleine Einzugsgebiete, was wohl typisch für die in der Schweiz anzutreffenden Kluft-Grundwasserleiter ist.

6.1 Sarreyer (VS) – Gneise und Schiefer der Siviez-Mischabel-Decke

Gering vulnerable Grundwasserfassung

(Gruppe a), Distanz-Methode

Einführung

Oberhalb des Ortes Sarreyer (Kanton Wallis) sind zwischen 1330 und 1420 m ü.M. drei Quellen gefasst. Die Quellen Rives, Champi und Rocher (Abb. 17) sind Teil der Trinkwasserversorgung der Gemeinde Bagnes und wurden bereits einmal einer Schutzzonenausscheidung unterzogen (Bruttin 1994). Im Rahmen dieses Kapitels wird für die Quelle Champi die praktische Anwendung der Methodik dargestellt.

Basisdaten – Einstufung der Vulnerabilität der Grundwasserfassung

Eigenschaften der Fassung

Das Wasser der Quelle Champi ist durch vier Fassungsstränge von 20 bis 30 m Länge gefasst, welche in einer Tiefe zwischen 3 und 10 m subhorizontal in das geklüftete Gestein gebohrt wurden (Bruttin 1994). Das Wasser wird zunächst in einem Schacht zusammengeführt, dann 90 m unterhalb in eine Kammer geleitet, in die auch das Wasser der 150 m oberhalb gelegenen Quelle Rives gelangt. Ein mit einem Messwehr ausgestattetes Becken ermöglicht es, die Schüttung der Quelle Champi mit einer Genauigkeit von 5% zu bestimmen. Der Zustand der Fassung selbst kann nicht eingesehen werden, jedoch ist der Bau, in dem die Messungen vorgenommen wurden, in einem einwandfreien Zustand.

Geologischer und hydrogeologischer Rahmen

Der Grundwasserleiter besteht aus Gneisen und Schiefen der penninischen Siviez-Mischabel-Decke, die eine Untereinheit der Bernhard-Decke bildet (Schaer 1960, Steck et al. 1999).

Oberhalb der Wasseraustrittszone ist das geklüftete Gestein grösstenteils durch 1 bis 2 m mächtiges umgelagertes Moränenmaterial und durch Hangschutt bedeckt. Oberhalb 1500 m ü.M. beträgt die Mächtigkeit der Moräne im Allgemeinen mehr als 2 m.

Die wichtigsten Trennflächensysteme in den Aufschlüssen sind die Schieferung (mit etwa 50° nach Osten einfallend) und zwei Kluftscharen (240/70 und 340/70). Dieses Flächengefüge macht sich auch im regionalen Massstab morphologisch bemerkbar, besonders im Verlauf der Bachläufe.

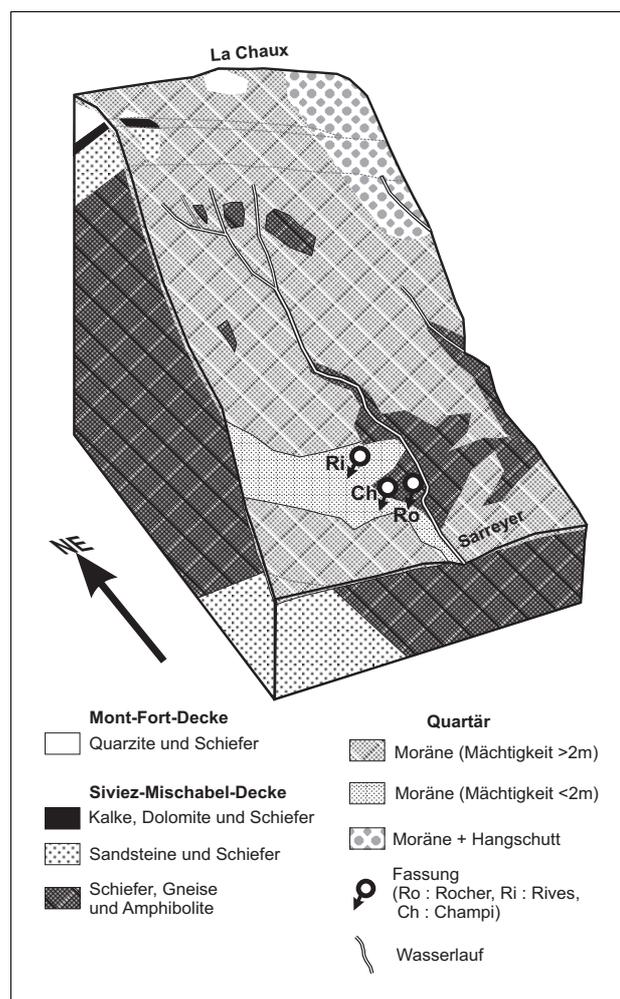


Abb. 17: Schematisches Blockdiagramm der geologischen Verhältnisse am Standort Sarreyer.

Die beiden Quellen Champi und Rives befinden sich an einer morphologischen Mulde in der Fortsetzung des Oberlaufs des Sarreyer-Baches (Abb. 18).

Ausdehnung und Grenzen des Einzugsgebietes

Um das Einzugsgebiet der Wasseraustrittszone zu bestimmen, wurde – in Anbetracht der Tatsache, dass die drei Quellen ähnliche physikalisch-chemische Eigen-

schaften besitzen – eine gemeinsame Wasserbilanz erstellt. Nimmt man dabei eine durchschnittliche jährliche Niederschlagshöhe von ca. 1400 mm (Kirchhofer & Sevruck 1992; MeteoSchweiz 2000), eine Evapotranspiration von 450 mm (Menzel et al. 1999) und einen oberirdischen Abfluss von 300 mm (~20% des Niederschlags) an, ergibt sich eine effektive Infiltrationsrate von etwa 650 mm/Jahr. Die mittlere jährliche Schüttung beträgt für die Quelle Champi etwa 300 l/min und für die Quellen Rives und Rocher zusammen etwa 200 l/min. Berücksichtigt man eine zusätzliche Schüttung von 100 l/min für kleinere, nicht gefasste Wasserstellen, so summiert sich der mittlere Ertrag der Quellzone auf etwa 600 l/min. Für die Alimentation entspricht dies einer Geländeoberfläche von mindestens 0,5 km². Man erhält somit für die Quellen ein Einzugsgebiet, welches sich bis zu einer Höhe ungefähr 2000 m ü.M. in Richtung La Chaux erstreckt (Abb. 18).

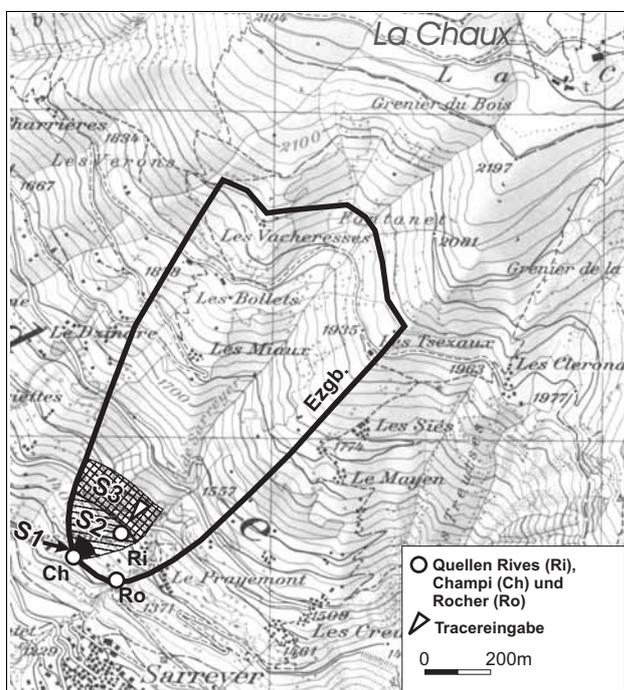


Abb. 18: Schutzzonenbemessung (Vorschlag im Rahmen der vorliegenden Studie, ausschliesslich für die Quelle Champi) und wahrscheinliche Ausdehnung des Einzugsgebietes (Ezgb.) der gesamten Wasseraustrittszone.

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035259)

Existierende und potenzielle Schadstoffquellen im Einzugsgebiet

Im Abstand von 100 bis 200 m zur Fassung gibt es etwa 15 Chalets und Alphütten und etwa 30 weitere in einer Entfernung zwischen 200 und 1000 m (Les Vacheresses, Les Bollets, Les Miaux). Ausserdem befindet sich etwa 900 m von der Fassung entfernt nordöstlich von Les Bollets eine Stallung. Eine wenig befahrene, asphaltierte Strasse durchquert das Einzugsgebiet relativ nahe der Quelle Champi (Entfernung etwa 140 m). Die Talstation des Skiliftes und das Restaurant von La Chaux liegen fast 2 km oberhalb der Quellen und somit sicherlich ausserhalb deren Einzugsgebiet (Abb. 18).

Generelle Einstufung der Vulnerabilität der Fassung

Die Quellfassung Champi zeichnet sich durch eine deutliche Konstanz der Parameter Schüttung, elektrische Leitfähigkeit und Temperatur aus. Die regelmässigen Beobachtungen von Juli bis November 1997 mit kontinuierlicher Datenaufzeichnung für die Monate Oktober und November ergaben keine signifikanten Veränderungen dieser Werte:

Schüttung: 290 (± 15) l/min

Leitfähigkeit (20 °C): 234 (± 4) µS/cm

Temperatur: 8.4 (± 0,2) °C

Die geringen Schwankungen deuten an, dass das Wasser aus relativ grosser Tiefe stammt (keine Erhöhung der Temperatur im Laufe des Sommers) und dass es sich um ein nur langsames Leerlaufen des Wasserspeichers handelt (keine Schüttungsabnahme trotz trockenem Spätsommer und Herbst). Wie die Quelle auf extreme Niederschläge anspricht, bleibt dagegen etwas unsicher, da diese während der kontinuierlichen Datenaufzeichnung ausblieben. Jedoch zeigte ein Niederschlagsereignis von 10 bis 15 mm keinerlei Auswirkung auf die gemessenen Parameter. Auch eine Starkregenperiode (60 mm in drei Tagen) liess innerhalb von drei Tagen keine Veränderung der Messdaten erkennen.

Eine im Rahmen der Schutzzonenbemessung vorgenommene Messung (Bruttin 1994) scheint am Winterende eine signifikante Abnahme der Schüttungen aufzuzeigen (auf ungefähr 120 l/min im März 1994). Der

Schüttungsrückgang, der nicht mit einer Zunahme der Leitfähigkeit einherging, kann damit erklärt werden, dass der Grundwasserleiter aufgrund der Zwischenspeicherung der Niederschläge von drei bis vier Monaten in Form von Schnee nicht wieder aufgefüllt werden konnte. Die zur Verfügung stehenden Daten reichen jedoch nicht aus, um die jahreszeitlichen Schwankungen zu charakterisieren.

Bezüglich der Wassergüte sind – abgesehen von zwei Proben mit erhöhter Keimzahl in einem Wasserreservoir für alle drei Quellen – kaum Anzeichen für Beeinträchtigungen durch Bakterien oder durch Trübung bekannt. Das Wasser kann als qualitativ sehr gut bezeichnet werden und bedarf keiner besonderen Aufbereitung.

Eine rasche hydraulische Verbindung zwischen der Fassung Champi und dem Bach Sarreyer ist aufgrund der Distanz von mehreren hundert Metern, der Konstanz der physikalisch-chemischen Parameter (keine Veränderung der Quelltemperatur bei deutlich schwankender Bachwassertemperatur) und der fehlenden Trübung wenig wahrscheinlich.

Aufgrund der vorliegenden Daten scheint die Fassung gegen Schadstoffeinträge gut geschützt zu sein. Diese geringe Vulnerabilität muss daher rühren, dass die Fließwege des Wassers tiefgründig verlaufen, was zu erhöhten Verweilzeiten im Grundwasserleiter führt, und dass ein grosser Teil des Einzugsgebietes eine bedeutende Bodenbedeckung aufweist. Die Art der Fassung (subhorizontale Bohrungen im geklüfteten Gestein) spricht zudem für eine geringe Vulnerabilität gegenüber oberflächennahem Grundwasser. Allerdings wären noch einige zusätzliche Messungen der Schüttung, der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur nützlich, um die saisonalen Schwankungen und das Ansprechen der Fassung auf sehr starke Niederschläge (>20 mm pro Tag) besser abschätzen zu können.

Weitere verfügbare Daten

Im Rahmen der Schutzzonenausscheidung (Bruttin 1994) wurde an einer Stelle 40 m oberhalb der Quellfassung Rives und 150 m oberhalb der Quelle Champi ein Markerversuch durchgeführt (Abb. 18). Dabei wurden 2 kg Naphtionat mit 4 m³ Wasser in eine 1.5 m tiefe Grube eingespeist (Durchlässigkeit des Untergrun-

des in der Grössenordnung von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s). Der Versuch erbrachte für alle drei Quellen – trotz eines Beprobungszeitraums von 15 Tagen – keinerlei Rückgewinnung des Tracers. Der negative Verlauf bestätigt die geringe Vulnerabilität der Fassung (Fall a der Abb. 7).

Bemessung der Schutzzonen

Für die Bemessung der Schutzzonen und die damit bezweckte Sicherstellung der Wassergüte der Quelle Champi würde somit die Mindesterstreckung ausreichen.

Die Zone S1 müsste entsprechend der subhorizontal gebohrten Fassungsstränge auf etwa 30 m bergseits der Fassung dimensioniert werden. Die Entfernung zwischen den äusseren Grenzen der Zonen S1 und S2 sollte mindestens 100 m und die zwischen den äusseren Grenzen der Zonen S1 und S3 mindestens 200 m betragen. Zu beachten ist, dass bei den vorgeschlagenen Zonen die Aufteilung der Grundstücke nicht mitberücksichtigt wurde (hydrogeologische Begrenzung, Abb. 18).

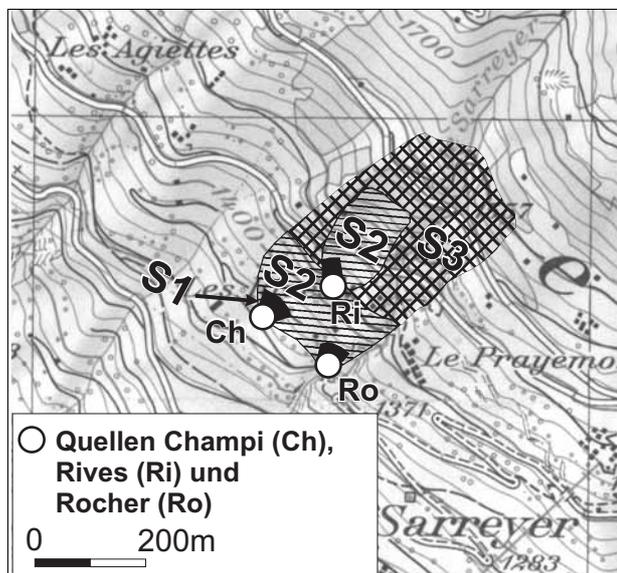


Abb. 19: Darstellung der aktuellen Schutzzonen der Quellen Champi, Rocher und Rives (nach Bruttin 1994).

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035259)

Vergleich mit den existierenden Schutzzonen

Aufgrund ihrer geringen Entfernung zueinander waren für die Quellen Champi und Rocher eine gemeinsame Zone S2 und für alle drei Quellen eine gemeinsame Zone S3 ausgeschieden worden (Bruttin 1994) (Abb. 19). Die Ausdehnung der Zone S2 oberhalb der Fassung Champi beträgt derzeit etwa 120 m, was in Einklang mit dem Verhalten der Fassung steht (gering vulnerabel, langsame Fliessbewegung).

Für die Anwendung des in dieser Praxishilfe entwickelten Verfahrens wäre jedoch eine grössere Beobachtungsdichte erforderlich (Schüttung, Leitfähigkeit, Temperatur), um das Verhalten der beiden anderen Quellen besser einschätzen zu können, da diese nämlich nicht genau die gleichen Eigenschaften wie die Quelle Champi aufweisen:

- Die durch subhorizontale Bohrungen gefasste Quelle Rocher scheint durch ein konstantes hydrologisches Verhalten gekennzeichnet zu sein. Allerdings müsste noch untersucht werden, inwieweit die Quelle durch Infiltration des Gebirgsbaches Sarreyer beeinflusst wird.
- Die durch Drainagegräben gefasste Quelle Rives weist eine erkennbare Schüttungsvariabilität auf. Ein Anteil gering mineralisierten und eventuell qualitativ schlechten Wassers zur Zeit starker Niederschläge ist möglich. Dies müsste durch zusätzliche Messungen der Schüttung, der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur bestätigt werden. Das negative Ergebnis des Markerversuches allein reicht nicht aus, um die geringe Vulnerabilität der Fassung zu belegen.

6.2 Ronco sopra Ascona (TI) – Gneise und Amphibolite der Ivrea-Zone

Vulnerable Grundwasserfassung, schwach heterogener Grundwasserleiter (Fall b1), Isochronen-Methode

Einführung

Die Quelle von Livurcio liegt in der Gemeinde Ronco sopra Ascona (Kanton Tessin). Sie ist momentan nicht an das dortige Trinkwassernetz angeschlossen, was hauptsächlich auf ihre Lage etwa 10 m talwärts einer Landstrasse zurückzuführen ist (Abb. 23).

Trotzdem wurde dieser Standort für eine Untersuchung und für die Veranschaulichung der dargelegten Methodik ausgewählt, da er bestimmte hydrogeologische und logistische Kriterien erfüllt (Möglichkeit der Geräteinstallation und der Wasserbeschaffung für die Tracereingabe, regelmässige Erfassung der Quelldaten in Zusammenarbeit mit dem Institut für Erdwissenschaften des Kantons Tessin).

Basisdaten – Einstufung der Vulnerabilität der Grundwasserfassung

Eigenschaften der Fassung

Das Wasser tritt in 415 m ü.M. in einem kleinen Tal aus einer Felsspalte aus. Es wird in einer älteren Kammer gesammelt, die direkt auf dem anstehenden Fels errichtet wurde. Die Mauern des Verbaus sind rissig und bieten keinen optimalen Schutz gegen eventuellen Oberflächenabfluss von der Strasse. Bei hohen Grundwasserständen tritt zeitweise Wasser oberhalb der Kammer aus und fliesst über deren Dach.

Geologischer und hydrogeologischer Rahmen

Der Grundwasserleiter besteht hauptsächlich aus Meta-Dioriten und Meta-Gabbros der Ivrea-Zone. Diese Gesteine wurden bei hohen Temperaturen stark deformiert und bilden mehr oder weniger basische Wechsellagerungen. Beim Ausstreichen erscheint das Gestein relativ homogen geklüftet. Trotz der starken Hangneigung (40 bis 50%) wurden keine Sackungserscheinungen beobachtet, ebenso wie keine besondere Erweiterung der Klüfte durch Entlastung und Auflockerung festgestellt werden konnte. Im regionalen Massstab lassen einige NW-SE bis N-S verlaufende Trockentäler das Auftreten von Trennflächen mit relativ grosser Erstreckung vermuten.

Die Bodenbedeckung ist im Allgemeinen gering mächtig (0 bis 50 cm gut durchlüfteter und durchlässiger Boden). Im grössten Teil des Einzugsgebietes und auch an der Wasseraustrittszone selbst ist das Festgestein aufgeschlossen oder lediglich gering mächtig von Lockergestein überdeckt.

In der unmittelbaren Umgebung der Fassung gibt es keine Wasserläufe und nach Beobachtungen während Hochwasserperioden erscheint es auch unwahrscheinlich, dass das dort durchziehende Trockental Oberflächenwasser sammelt.

Ausdehnung und Grenzen des Einzugsgebietes

Eine näherungsweise Jahreswasserbilanz, bei der ein Niederschlag von 2100 mm (Kirchhofer & Sevruck 1992, MeteoSchweiz 1999), eine Evapotranspiration von 700 mm (Menzel et al. 1999) und ein Oberflächenabfluss von 200 mm (10% des Niederschlags) angesetzt wird, ergibt eine effektive Infiltration von ungefähr 1200 mm. Für eine Schüttung von 400 l/min im Jahresmittel kommt man somit auf eine Einzugsgebietsfläche von mindestens 0.2 km² (Abb. 23).

Existierende und potenzielle Schadstoffquellen im Einzugsgebiet

Abgesehen von der asphaltierten Strasse, die direkt oberhalb der Fassung verläuft, ist der Grossteil des Einzugsgebietes bewaldet. Eine zweite Strasse befindet sich etwa 500 m nordwestlich der Fassung. Die nächstgelegene Siedlung liegt 400 m nördlich der Quelle, eine weitere 500 m nordwestlich von ihr (Abb. 23).

Generelle Einstufung der Vulnerabilität der Fassung

Die Schüttung der Quelle von Livurcio wurde ab 1997 im Rahmen eines örtlichen Tunnelbauprojekts regelmässig durch das Institut für Erdwissenschaften des Kantons Tessin aufgezeichnet. Die dadurch vorliegenden Daten zeigen im Laufe eines Jahres signifikante Veränderungen der Schüttung (Abb. 20). Die Wassertemperatur (jahreszeitliche Variationen) und die elektrische Leitfähigkeit sind ebenfalls deutlichen Schwankungen unterworfen. Da die Quelle zur Zeit nicht für die Trinkwasserversorgung genutzt wird, liegen keine bakteriologischen Befunde vor.

Es kann geschlossen werden, dass das Wasser, welches die Quelle von Livurcio speist, ausschliesslich aus dem Kluft-Grundwasserleiter stammt. Die deutlichen Änderungen der Schüttung infolge starker Niederschläge und die Schwankungen in der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit lassen vermuten, dass die Grundwasserfassung vulnerabel gegenüber Schadstoffen sein könnte. Weitere Datenerhebungen sind somit notwendig (Gruppe b der Abb. 7).

Zusätzliche Daten – Erfassung des Heterogenitätsgrades des Grundwasserleiters

Bevorzugte Infiltrationsstellen, Eigenschaften der Trennflächen

Es konnten keine bevorzugte Infiltrationsstellen festgestellt werden. Jedoch sind die Talrinnen möglicherweise stärker durchlässig als der Rest des geklüfteten Grundwasserleiters. Dieser Zusammenhang zwischen der Klüftung des Gesteins und den morphologischen Elementen wurde durch geophysikalische Profile (elektromagnetische (VLF-em) und elektrische (PS) Methoden) bestätigt. Ausserdem wurden in den Profilen weitere Anomalien ausgemacht, welche sich nicht in der Morphologie widerspiegeln und das Auftreten von Trennflächen alle 15 bis 20 m aufzeigen.

Aufzeichnung der Parameter Q, T, ELF

Von März bis Juli 2000 wurden im Rahmen der Erstellung dieser Praxishilfe kontinuierliche Datenaufzeichnungen (Schüttung, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit) vorgenommen (Abb. 21). Mitte April wurde infolge sehr heftiger Niederschläge (300 mm innerhalb einer Woche) ein starkes Ansteigen der Schüttung – begleitet von einem Abfallen der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit – beobachtet, was eine deutliche Zumischung von frisch infiltriertem Wasser anzeigt. Im Gegensatz dazu hatten zwei Niederschlagsereignisse von 20 bis 40 mm im März und Anfang April nahezu keinen Einfluss auf das Verhalten der Quelle. Dies könnte daran liegen, dass der Boden und der ungesättigte Untergrund, aufgrund der trockenen Periode von Dezember bis Mitte März, wenig Wasser enthielten. Trotz allem ist die Fassung grundsätzlich durch eine gewisse Trägheit gekennzeichnet, wie das geringe Ansprechen auf mittlere Niederschlagsmengen und das relativ langsame Abklingen während Trockenzeiten belegen.

Markerversuche

In einer Zeit hoher Wasserstände (19.05.2000) wurden für diese Studie zwei Markierstoffe in einer Entfernung von 25 m (Tinopal) bzw. 80 m (Uranin) zur Fassung eingespeist (Abb. 23). Beide Eingabestellen befinden sich in einer Talrinne oberhalb der Quellfassung. Die Ergebnisse zeigen Fliessgeschwindigkeiten von etwa 15 m pro Tag für den Tracer Tinopal, welcher in die

Abb. 20:
 Monatliche Aufzeichnung
 der Schüttung (●), der
 elektrischen Leitfähigkeit
 (□) und der Temperatur
 (Δ) der Quelle von
 Livurcio (Messungen des
 Instituts für Erdwissen-
 schaften des Kantons
 Tessin).

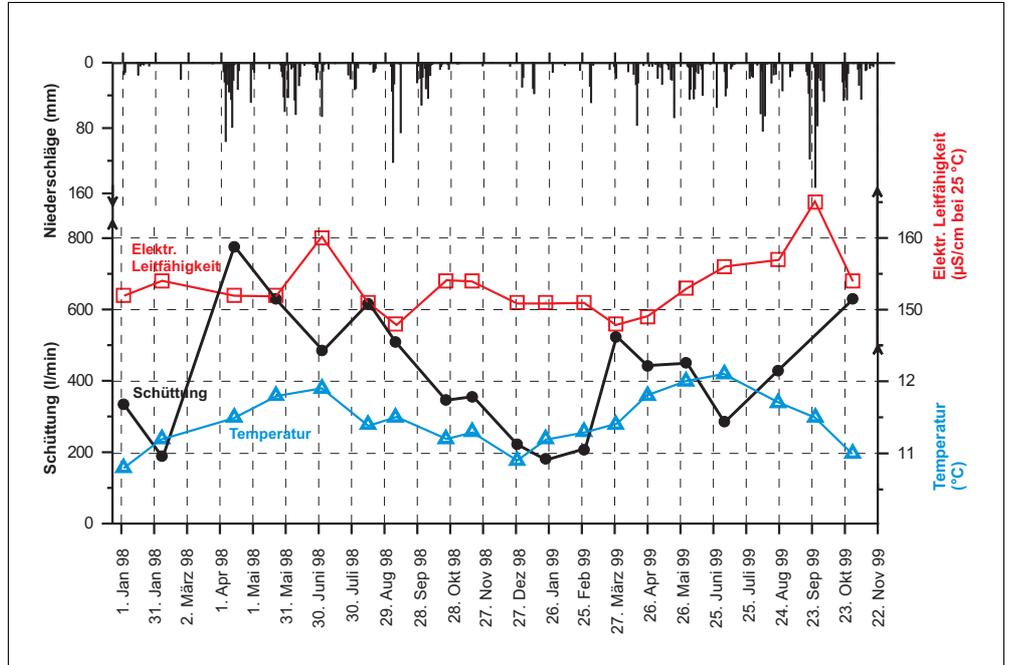
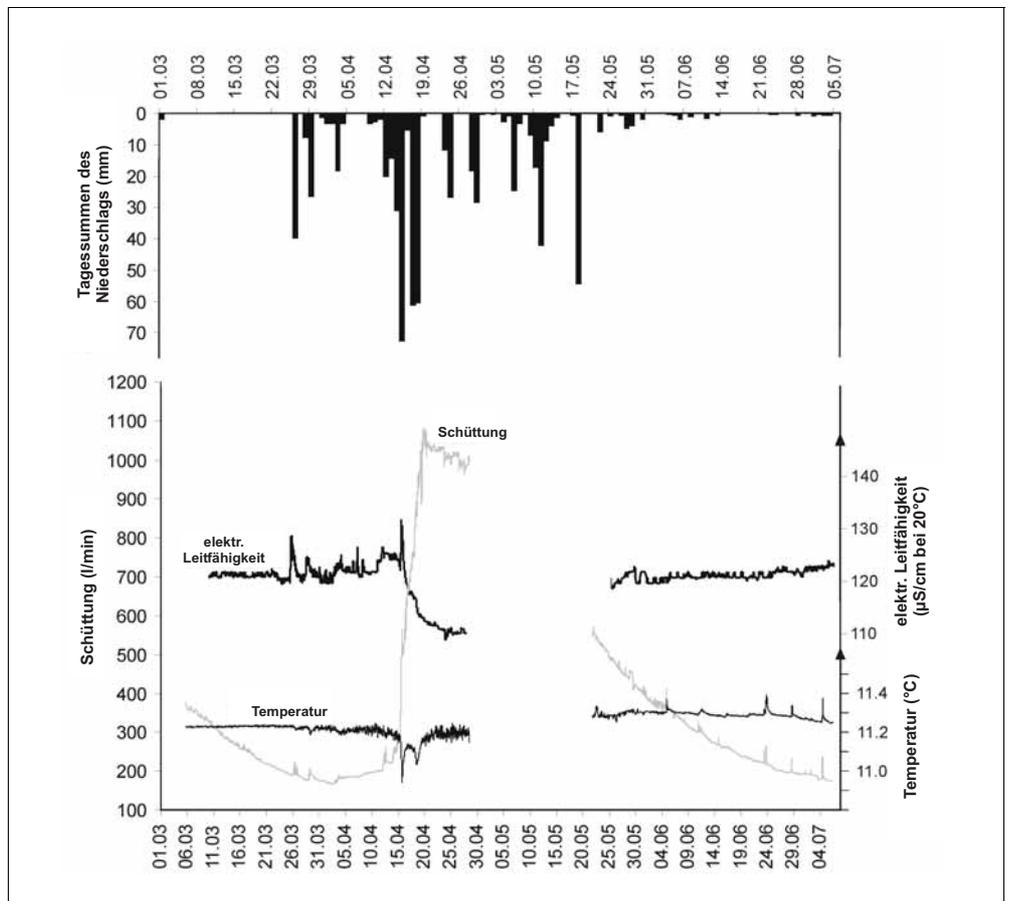


Abb. 21:
 Kontinuierliche
 Datenaufzeichnung an
 der Quelle von Livurcio im
 Rahmen der vorliegenden
 Studie. Offensichtlich
 erreicht nur im Zeitraum
 sehr starker
 Niederschläge, vom 12.
 bis 18. April 2000, gering
 mineralisiertes Wasser
 die Fassung.



direkt auf die Quelle zuführende Talrinne eingegeben wurde, und von ca. 8 m pro Tag für den Tracer Uranin (Abb. 22). Die Wiedergewinnungsrate der Tracer ist nur gering und liegt zwischen 3 und 5%.

Grad der Heterogenität des Grundwasserleiters

Die durch den Markierversuch ermittelten Geschwindigkeiten lassen den Schluss zu, dass die Fließzeiten generell mit der Entfernung zur Fassung ansteigen und dass keine sehr schnelle Fließbewegung entlang besonders durchlässiger Strukturen besteht. Das moderate Ansprechen des Grundwasserleiters sogar auf die für das Tessin typischen extremen Starkregen spricht ebenfalls für ein Fehlen von Strukturen hoher Durchlässigkeit. Der Grundwasserleiter kann demzufolge als gering heterogen bezeichnet werden (Fall b1 der Abb. 7).

Bemessung der Schutzzonen

Für die oben beschriebene Situation ist die Bemessung der Schutzzonen mit der Isochronen-Methode durchzuführen. Die Zone S1 würde sich bis zur Strasse – etwa 10 m von der Fassung entfernt – erstrecken. Die äussere Grenze der Zone S2 müsste aufgrund der Ergebnisse des Markierversuches in einer Entfernung von 150 m zur Fassung (Geschwindigkeit von etwa 15 m/d) und die äussere Grenze der Zone S3 140 m von der äusseren Grenze der Zone S2 angesetzt werden (Abb. 23).

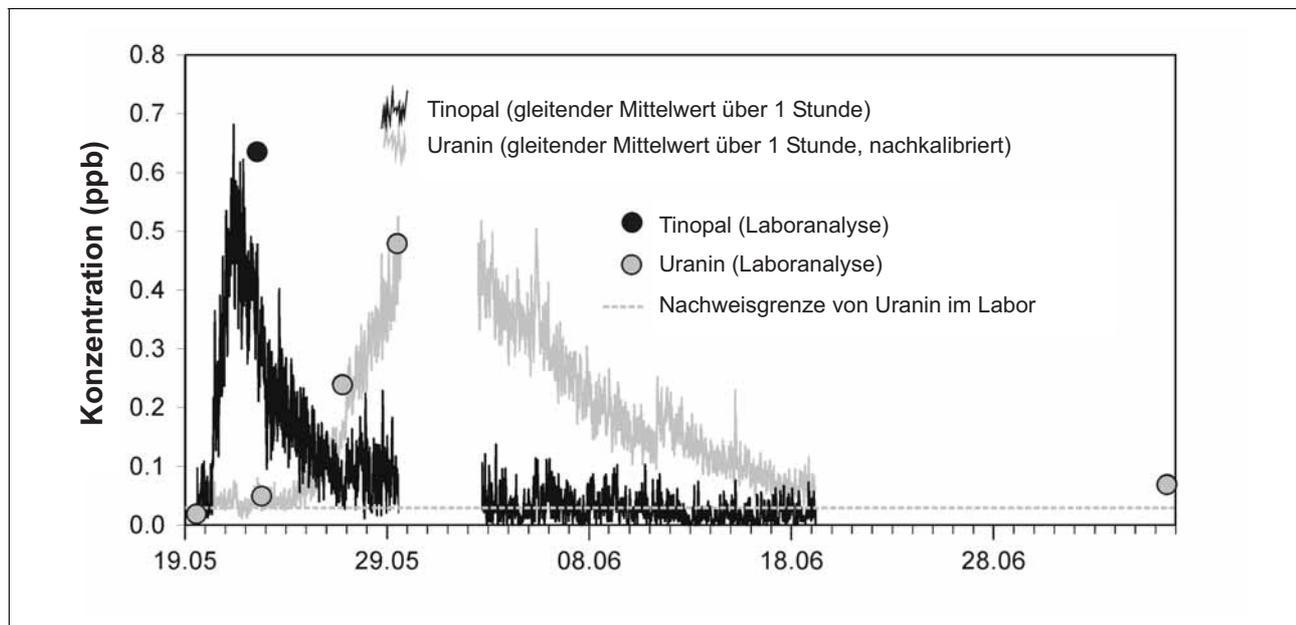


Abb. 22: Ergebnisse des Markierversuches vom Mai 2000 in Livurcio. Die Daten wurden mit Hilfe eines Feldspektralfluorimeters kontinuierlich aufgezeichnet. Zu deren Überprüfung wurden zusätzlich einige Wasserproben von Hand entnommen und im Labor analysiert.

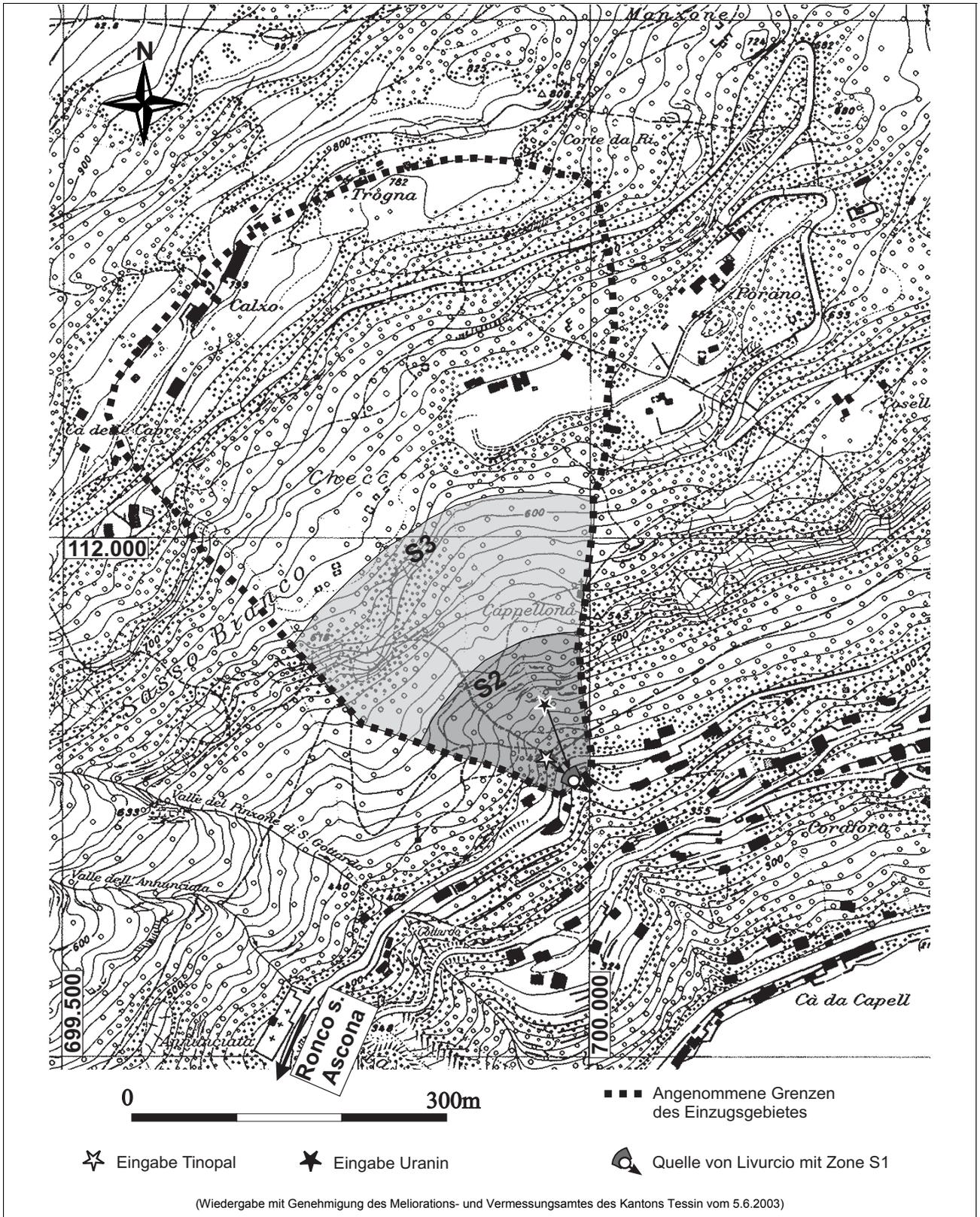


Abb. 23: Bemessung der Schutzzonen nach der Isochronen-Methode für den Standort Livurcio.

6.3 Rieden (SG) – Nagelfluh, Sandsteine und Mergel der subalpinen Molasse

Vulnerable Grundwasserfassungen,
stark heterogener Grundwasserleiter (Fall b2),
Multikriterien-Methode «DISCO»

Einführung

Die Gemeinde Rieden (Kanton St. Gallen) bezieht ihr Trinkwasser aus Quelfassungen, die in Sandsteinen und Konglomeraten der subalpinen Molasse gelegen sind. Im Rahmen einer Untersuchung zur Schutz-zonenausscheidung wurden zwischen 1991 und 1993 Daten über den Abfluss der Quelle erhoben (Grubemann 1994). Aufgrund der sehr hohen Vulnerabilität der Fassungen und wegen der besonderen Eigenschaften des Grundwasserleiters wurde eine Bemessung der Schutzzonen vorgeschlagen, welche die Einstellung der gesamten Weidehaltung innerhalb des Einzugsgebietes der Quellen nach sich ziehen würde. Solche Massnahmen wurden jedoch von der Gemeinde Rieden als zu einschneidend angesehen, so dass zusätzliche Untersuchungen durchgeführt wurden, um die Anforderungen an die Trinkwassergewinnung und an die Tierhaltung in dieser Region aufeinander abzustimmen.

Die Einzugsgebiete der beiden Fassungen (Marxenwald und Unter Howald, Abb. 24) wurden als Untersuchungsstandorte für diese Praxishilfe ausgewählt und im Rahmen einer Detailstudie untersucht (Schaul 1999).

Basisdaten – Einstufung der Vulnerabilität der Grundwasserfassungen

Eigenschaften der Fassungen

Die Quelle Marxenwald ist in einer Tiefe von 4 bis 5 m unter Geländeoberfläche in einem 8 m langen betonierten Stollen gefasst. Das Wasser tritt an zwei Spalten aus dem Fels aus und wird von einem Becken aufgenommen. In diesem Becken setzen sich auch grosse Mengen Kies und Feinpartikel ab, die von der Erosion der Sandsteine und der Konglomerate stammen. Um ein Aufwirbeln dieser Sedimente bei einem starken Anstieg der Schüttung zu verhindern, muss die Fassung regelmässig gereinigt werden.

Die Fassung Unter Howald ist neu errichtet und in einem einwandfreien Zustand. Das Wasser wird mit Hilfe einer in etwa 4 m Tiefe angebrachten Drainageröhre gefasst und in eine Betonkammer mit einem Sammelbecken geleitet. Dieses Becken ist mit einem Trübungsmessgerät ausgestattet. Wegen der oft erhöhten Trübung wird diese Quelle nur bei geringer Schüttung genutzt, wenn die Ergiebigkeit der anderen Quellen nicht mehr für die kommunale Wasserversorgung ausreicht.

Geologischer und hydrogeologischer Rahmen

Der Grundwasserleiter besteht aus einer Wechsellagerung von Sandsteinen, Nagelfluh und Mergeln der Unteren Süsswasser-Molasse (Habicht 1945). Während der alpinen Gebirgsbildung wurden diese Schichten stark geklüftet und aufgestellt (Fallen von 20° bis 60° nach SSE, Abb. 24). Die alpine Tektonik äussert sich im regionalen Massstab im Auftreten grosser Überschiebungen (Tanzboden-Aufschiebung, Schorhüttenberg-Aufschiebung), die subparallel zur Schichtung verlaufen. Diese Gruppe von Trennflächen findet man auch auf lokaler Ebene, ebenso wie subvertikale Flächen in Streichrichtung ENE. Ein dritte, etwas zurücktretende Trennflächenschar fällt mit ungefähr 60° nach WNW ein (Schaul 1999).

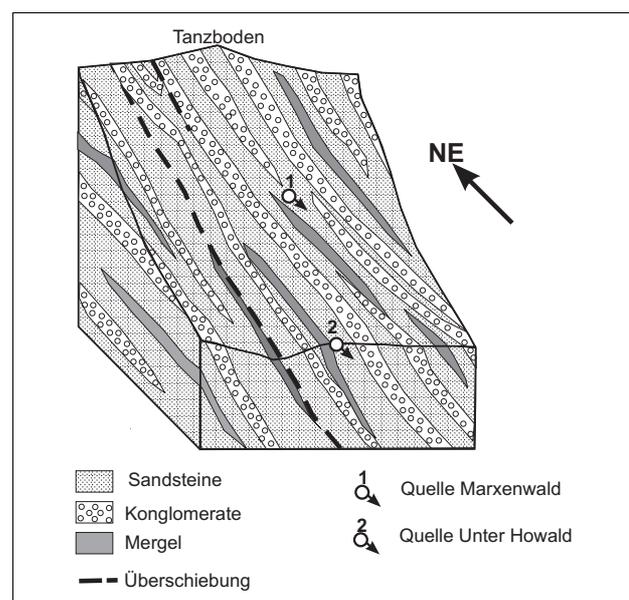


Abb. 24: Blockdiagramm mit schematischer Darstellung der geologischen Verhältnisse am Standort Rieden.

Die lithologischen Eigenschaften der Gesteine und die alpine Verformung bewirkten die Entstehung einer sehr hohen Kluftporosität. Die chemische Lösung des kalkigen Bindemittels der Konglomerate und Sandsteine führte zusammen mit dem erosiven Abtrag des weniger löslichen Residualmaterials zu einer Aufweitung der Trennflächen und äussert sich lokal in beträchtlichen Kluftöffnungsweiten (cm-Bereich). Dadurch bildet sich eine gewisse «Karstmorphologie» mit vielen kleinen Dolinen aus (Durchmesser meist zwischen 1 und 2 m), welche sich entlang der tektonischen Strukturen oder der Bankungsgrenzen aneinanderreihen (Abb. 25).

Es handelt sich jedoch nicht wirklich um ein Karstsystem, das mit Karstgebieten des Jura oder der Alpen vergleichbar wäre. Vielmehr verweisen zahlreiche Einzelquellen mit einer mittleren Schüttung von weniger als 500 l/min auf die Existenz von vielen kleinen, voneinander unabhängigen Grundwasserleitern. Selbst wenn die Lösung entlang der Kluftflächen sehr starke Ausmasse annimmt, entsteht wohl kein wirklich organisiertes Netz an Wasserwegsamkeiten, wie dies von entwickelten Karstsystemen bekannt ist. Im Gegensatz zu den Karstgebieten der Schweiz, ist hier der Oberflächenabfluss oft gut ausgebildet. Dies liegt am Auftreten einzelner Mergellagen oder relativ gering durchlässiger Böden, die sich aufgrund des hohen Tonanteils der Molassegesteine gebildet haben.



Abb. 25: Charakteristische Morphologie des Gebietes Tanzboden am Standort Rieden mit Reihen kleiner Dolinen (Foto A. Pochon).

Ausdehnung und Grenzen des Einzugsgebietes

Durch eine approximative Wasserbilanz konnte die Höhe der jährlich infiltrierten Wassermenge auf ungefähr 1100 mm abgeschätzt werden ($N = 2000$ mm, $ETP = 400$ mm und Q_0 geschätzt auf 25% des Niederschlags, entspricht 500 mm). Bei mittleren jährlichen Schüttungen von 400 und 500 l/min benötigt man demnach für die Speisung der beiden Quellen Infiltrationsflächen von etwa 0.2 und 0.25 km². Berücksichtigt man zudem die topographischen Gegebenheiten, die Ergebnisse der Markierversuche (Grubenmann 1994) und die ungenutzten Quellen, so muss von einer gesamten Einzugsgebietsfläche von ungefähr 1 km² ausgegangen werden (Abb. 31).

Existierende und potenzielle Schadstoffquellen im Einzugsgebiet

Die einzigen potenziellen Schadstoffquellen im Einzugsgebiet betreffen die Rinderhaltung in den Monaten Mai bis Oktober und das Alpgasthaus Tanzboden, welches das ganze Jahr über geöffnet ist. Die Wasserqualität wird während der Sömmerung ungenügend, so dass die Rinderhaltung eindeutig als die Ursache für die bakteriologische Beeinträchtigung des Wassers angesehen werden kann. Dagegen ist die Problematik der Wassertrübung ausschliesslich auf die speziellen Eigenheiten des Grundwasserleiters zurückzuführen.

Generelle Einstufung der Vulnerabilität der Fassungen

Für die Quellen Marxenwald und Unter Howald hat der monatlich aufgezeichnete Gang der Schüttung und der elektrischen Leitfähigkeit im Laufe eines Jahres extreme Schwankungen aufgewiesen (Grubenmann 1994). Die Variabilität der Schüttungen ist mit einem Faktor von etwa 25 äusserst hoch (Verhältnisse von 2000 zu 85 und von 1500 zu 65 l/min), begleitet von Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit von bis zu 150 µS/cm. Ab Juni (Beginn der Sömmerung) bis November wurde eine stetige Abnahme der Wassergüte beobachtet. Ausserdem wurden nach Starkregenereignissen eine Verschlechterung der Wasserqualität hinsichtlich Bakteriologie und ein Anstieg des Ammoniumgehaltes verzeichnet. Dagegen entspricht das Wasser in den Monaten Dezember bis Mai im Allgemeinen den Trinkwasserrichtlinien, abgesehen von der

Trübung, die zeitweise über dem Wert von 1 NTU liegt. Das Wasser wird dann vor seiner Einspeisung in das Versorgungsnetz einer Behandlung unterzogen.

Die vorliegenden Daten offenbaren die hohe Vulnerabilität der beiden Grundwasserfassungen gegenüber Schadstoffeintrag (Gruppe b der Abb. 7). Weiterführende Detailuntersuchungen sind in einem solchen Fall unerlässlich.

Zusätzliche Daten – Erfassung des Heterogenitätsgrades des Grundwasserleiters

Bevorzugte Infiltrationsstellen, Eigenschaften der Trennflächen

Die morphologische Geländeaufnahme zeigt eine grosse Anzahl kleiner Dolinen (etwa 80 Stück auf 0.7 km² Weidefläche), die oft als bevorzugte Infiltrationsstellen wirken, aber auch vollständig durch undurchlässiges Material abgedichtet sein können. Diese Dolinen sind häufig in Gruppen zusammengefasst und entlang lithologischer Grenzflächen oder tektonischer Strukturen angeordnet. Zusätzlich zu den punktuellen Infiltrationsstellen existieren noch zahlreiche Rinnen. Einige geophysikalische Profile lassen den Schluss zu, dass diese an tektonische Strukturen gebunden sind (Schaul 1999). Trotzdem ist die Infiltration entlang dieser Tälichen wahrscheinlich nicht so bedeutend, da an ihnen ein Grossteil des Regenwassers oberflächlich oder zumindest oberflächennah abfließt. Öfters folgen permanente oder temporäre Wasserläufe tektonischen oder lithologischen Trennflächen bzw. sie schneiden diese, so dass sie als bevorzugte Infiltrationsstellen in Betracht kommen. Das vollständige Versickern von Wasserläufen innerhalb einer Strecke von einigen Dekametern in Niedrigwasserperioden zeigt die Bedeutung dieser Stellen für die Speisung des Grundwassers.

Insgesamt weisen die Trennflächen bei ihrem Ausstreichen deutliche Anzeichen von durch Lösungsprozesse hervorgerufenen Aufweitungen auf.

Aufzeichnung der Parameter Q, T, ELF

Die Quellen Marxenwald und Unter Howald wurden während der Monate August, September und Oktober 1999 einer kontinuierlichen Messung unterzogen. Dabei zeigte sich, dass die Schwankungen der Schüt-

tung, der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit sehr ausgeprägt sind und sich der zeitliche Wechsel ausserordentlich schnell vollzieht (Abb. 26). So ist nach einer Abflussspitze der Basisabfluss bereits innerhalb eines Tages (Quelle Marxenwald) respektive nach weniger als vier Tagen (Quelle Unter Howald) wieder erreicht.

Dies hat zur Folge, dass ein Grossteil des im Einzugsgebiet infiltrierten Wassers an der Fassung ankommt, ohne nennenswerte Selbstreinigungsprozesse erfahren zu haben. Das deutliche Ansprechen der Quellen kann mit einem Auffüllen des Grundwasserleiters an bevorzugten Infiltrationszonen (Versickerung von diffussem Oberflächenwasser, Versinkung von Bachläufen) und durch einen schnellen unterirdischen Wassertransport entlang eines sehr durchlässigen Trennflächennetzes erklärt werden.

Markierversuche

Bei der Untersuchung zur Schutzzonenbemessung für die Gemeinde Rieden wurde bereits ein kombinierter Markierversuch durchgeführt (Abb. 31), bei dem fünf Tracer eingespeist wurden (Grubenmann 1994). Es zeigte sich, dass die beiden Quellen (und weitere benachbarte Wasseraustritte) verschiedene Einzugsgebiete besitzen, welche wahrscheinlich durch Schichtwechsel (Mergellagen) und die Hauptüberschiebungen getrennt sind. Die durch diese Versuche ermittelten Fliessgeschwindigkeiten (300 bis 1500 Meter pro Tag) veranschaulichen, dass auch noch weit entfernt von der Quelfassungen Stellen hoher Vulnerabilität vorliegen können.

Grad der Heterogenität des Grundwasserleiters

Aufgrund der hohen Vulnerabilität der Fassungen und der starken Heterogenität des Grundwasserleiters muss für die Vulnerabilitätskartierung eine Multikriterien-Methode herangezogen werden. Nur so kann eine Abgrenzung der Schutzzonen vorgenommen werden, die diesen speziellen Eigenschaften des Grundwasserleiters Rechnung trägt (Fall b2 der Abb. 7). Ein Grossteil des Grundwassers verweilt nur sehr kurze Zeit im Grundwasserleiter. Diese Tatsache wirft Probleme bezüglich der Vereinbarkeit von intensiver Tierhaltung innerhalb der Quelleinzugsgebiete und der Entnahmemöglichkeit von qualitativ gutem Wasser

während der Zeit von Mai bis Oktober auf. Die Kartierung der Vulnerabilität ermöglicht im Hinblick auf diese Problematik eine Unterscheidung zwischen Gebieten, die gegenüber einem anthropogenen Eintrag relativ unempfindlich und solchen, die besonders vulnerabel bezüglich Schadstoffen sind.

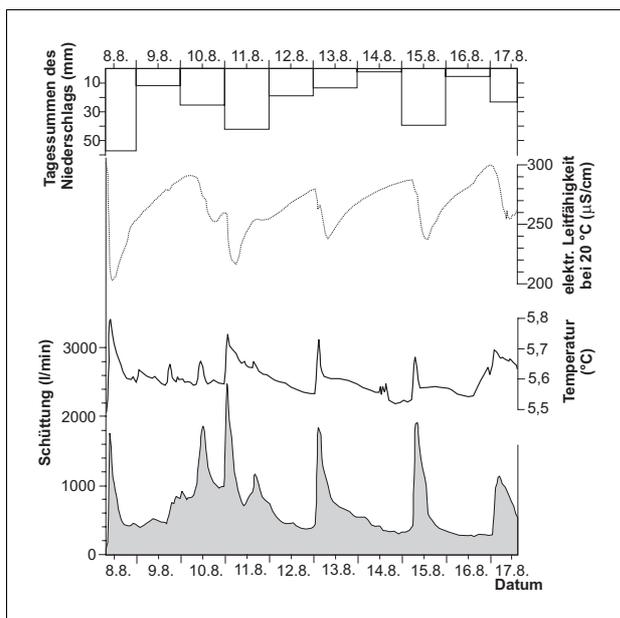


Abb. 26: Hydrogramm der Quelle Marxenwald für den Zeitraum 8. bis 17. August 1999 (nach Schaul 1999).

Anwendung der Methode «DISCO» zur Bemessung der Schutzzonen

Obwohl der Grundwasserleiter eine gewisse Verkarstung aufweist, ist die EPIK-Methode, die speziell für Karst-Grundwasserleiter des Jura und der Alpen entwickelt wurde, in diesem Fall nicht einsetzbar. Die hier zahlreich auftretenden Bereiche geringer Durchlässigkeit mit fehlender Verkarstung (Mergel, tonige Böden) haben zur Folge, dass die Schadstoffe in bedeutendem Masse lateral transportiert und Zonen bevorzugter Infiltration zugeführt werden. Dieser Aspekt ist in der EPIK-Methode nicht in ausreichender Weise berücksichtigt. Hier muss die Kartierungsmethode «DISCO» angewendet werden, die speziell für die Bemessung von Schutzzonen für Grundwasserfassungen entwickelt wurde, welche sich in stark heterogenen Kluft-Grundwasserleitern befinden:

Parameter «Trennflächen» und «schützende Deckschicht» (Abb. 27 und 28)

Die Aufnahme des Parameters «Trennflächen» erfolgte hauptsächlich auf Grundlage einer morphologischen Kartierung (Abb. 27). Die Zuordnung der einzelnen Indexwerte konnte zudem durch die Tracerversuche (Grubemann 1994), einige geophysikalische Profile (VLF-em) und durch Geländebeobachtungen während starker Niederschläge überprüft werden.

Die Klasse D_0 wurde einzelnen Dolinen oder Dolinengruppen zugeteilt, wenn diese gut entwickelt sind und dadurch als bevorzugte Infiltrationsstellen fungieren. Ebenfalls diesen Index erhielten Trennflächen, für die eine sehr schnelle hydraulische Verbindung zur Fassung angenommen werden kann (Talsohlen und versickernde Wasserläufe nahe der Fassung).

Die Klasse D_1 wurde an alle anderen Strukturen vergeben, die vermutlich in guter hydraulischer Verbindung mit der Fassung stehen (wenig entwickelte Senken, Talrinnen und Wasserläufe entlang von Trennflächen).

Die Klasse D_2 erhielt der Rest des Einzugsgebietes, der keine spezifischen morphologischen Strukturen aufweist. Da der Grundwasserleiter in seiner Gesamtheit stark geklüftet erscheint, wurde D_3 überhaupt nicht vergeben.

Die Erhebung des Parameters «schützende Deckschicht» erfolgte mittels Bodenkartierung (P_0 bis P_3), welche hauptsächlich auf Bohrstocksondierungen und einigen Versickerungsversuchen beruhte (Abb. 28). In den bewaldeten Gebieten wurde keine detaillierte Kartierung der Bodenbedeckung vorgenommen. Im Allgemeinen sind hier die Bodenmächtigkeiten geringer und die Durchlässigkeiten höher als auf den Weideflächen. In Tälchen und Bachbetten ist das Festgestein häufig aufgeschlossen. Aus Gründen der Vereinfachung wurde deshalb das gesamte Waldgebiet als P_1 ausgewiesen, mit Ausnahme der Bachbetten und der Tälchen, die P_0 erhielten. Die örtlichen Gegebenheiten haben nirgends die Ausscheidung von P_4 erlaubt.

«Provisorischer Schutzfaktor» (Abb. 29)

Auf der Karte des provisorischen Schutzfaktors wird sehr deutlich, dass die mit einer geringen Schutzschicht ausgestatteten Dolinen und Dolinengruppen

sowie nahe der Fassungen gelegene Tälchen und Bachbetten durch eine sehr hohe Vulnerabilität gekennzeichnet sind (sehr geringer Schutzfaktor). Diejenigen Dolinen, die eine Schutzschicht aufweisen, sowie ein Grossteil der Talrinnen und morphologischen Mulden sind durch einen geringen Schutzfaktor gekennzeichnet. Der grösste Teil des Einzugsgebietes weist einen mittleren Schutzfaktor auf (Abwesenheit von spezifischen morphologischen Strukturen in Kombination mit bedeutenden Bodenbildungen). Es gibt nur wenige Stellen, die sowohl durch eine mächtige Bedeckung geschützt sind, als auch eine geringe Durchlässigkeit aufweisen und demnach einen hohen Schutzfaktor besitzen.

«**Definitiver Schutzfaktor**» (Abb. 30)

Wegen des hohen Anteils an oberflächlichem Abfluss (eher gering durchlässige Böden und starke Hangneigung) werden die sehr vulnerablen Stellen von grossflächigen Gebieten gespeist. Die Karte für den definitiven Schutzfaktor weist folglich einen relativ grossen Flächenanteil mit sehr geringem und geringem Schutzfaktor aus.

Bemessung der Schutzzonen (Abb. 31)

Die Karte für den definitiven Schutzfaktor dient als Grundlage für die Bemessung der Schutzzonen (hydrogeologische Begrenzung), wobei folgende Anpassungen vorgenommen wurden:

- Die Zonen S3 mit einer Entfernung von weniger als 100 m zur Fassung wurden in Zonen S2 umgewandelt.
- Um die Anwendung zu erleichtern, wurde die Geometrie der Zonen S2 und S3 vereinfacht.
- Aus praktischen Gründen wurden einzelne kleine Flächen mit hohem Schutzfaktor in die Zone S3 miteinbezogen.
- Für den Standort Rieden wurden die Zonen S1 auf 30 m ausgedehnt, um die hohe Wahrscheinlichkeit zu berücksichtigen, mit der lokale Störungen direkt mit den zwei Fassungen oder deren unmittelbarer Umgebung in Verbindung stehen können.

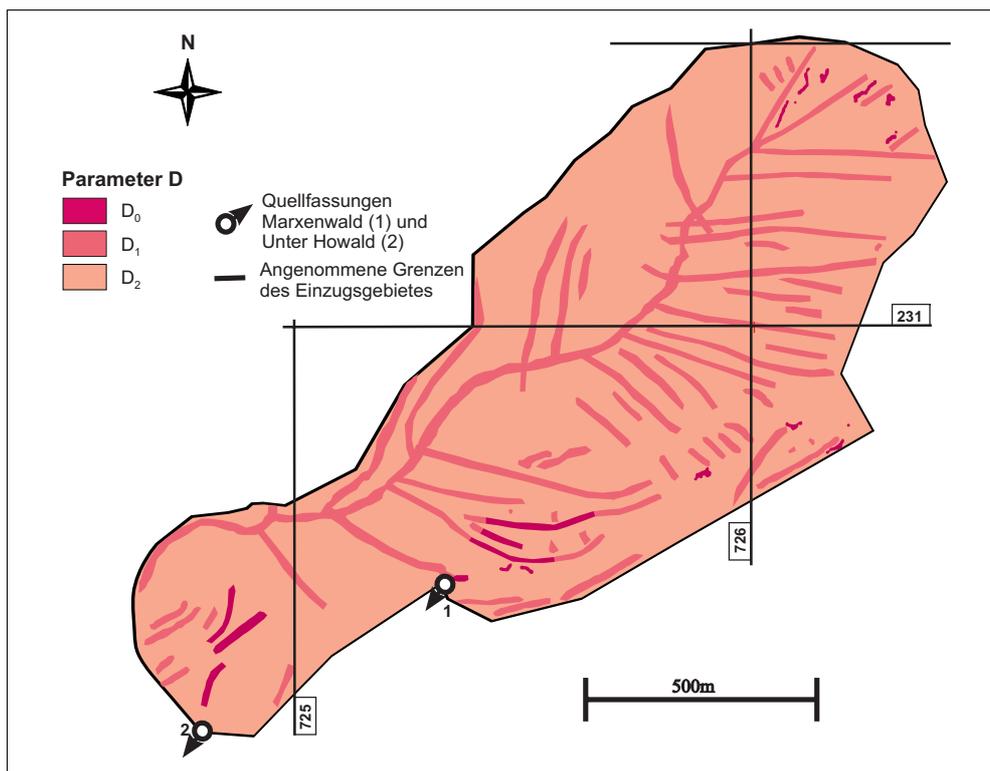


Abb. 27:
Karte des Parameters
«Trennflächen» für den
Standort Rieden.

Abb. 28:
Karte des Parameters
«schützende Deck-
schicht» für den Standort
Rieden.

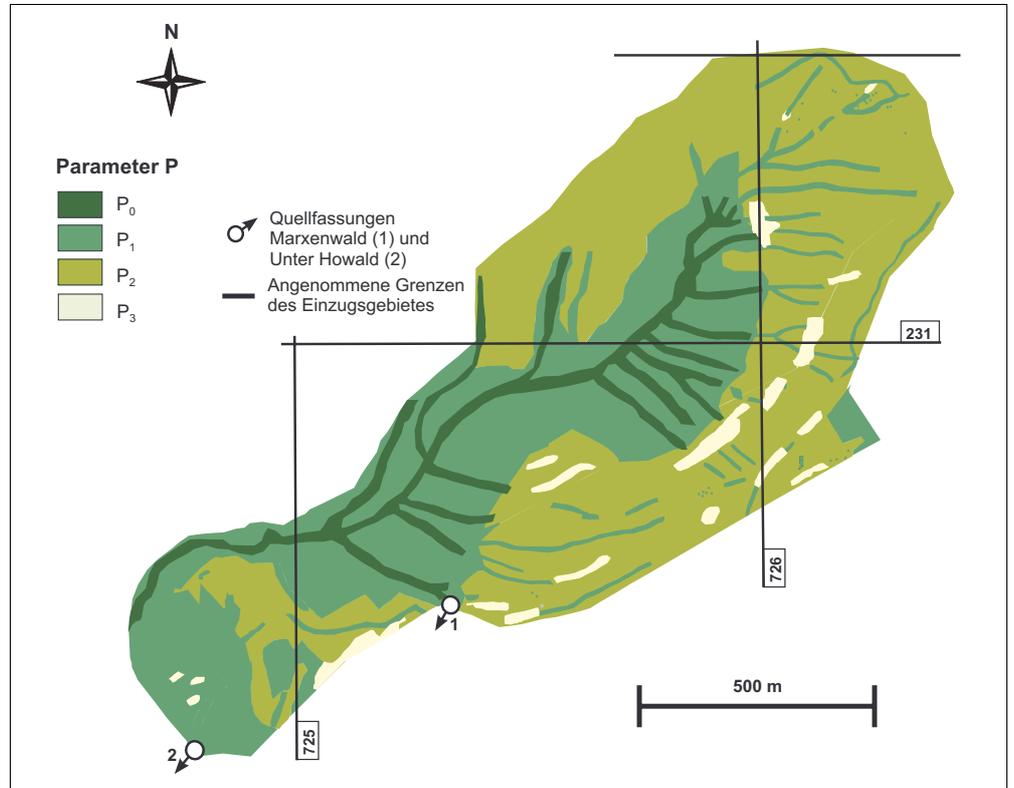
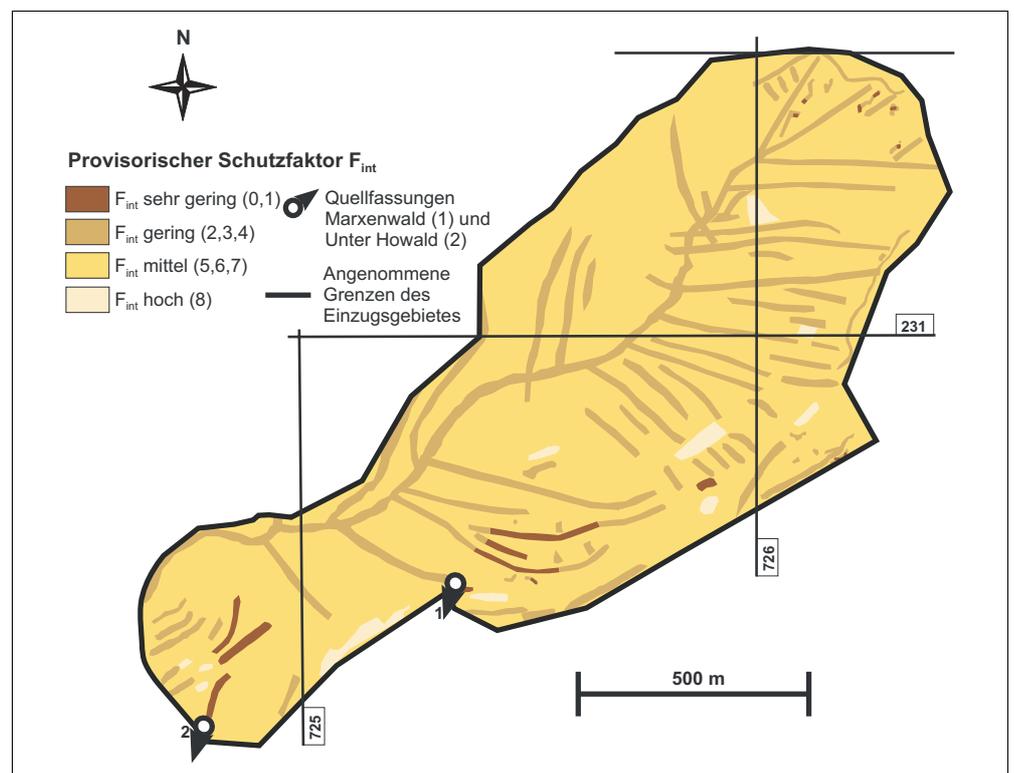


Abb. 29:
Karte des «provisori-
schen Schutzfaktors» für
den Standort Rieden.



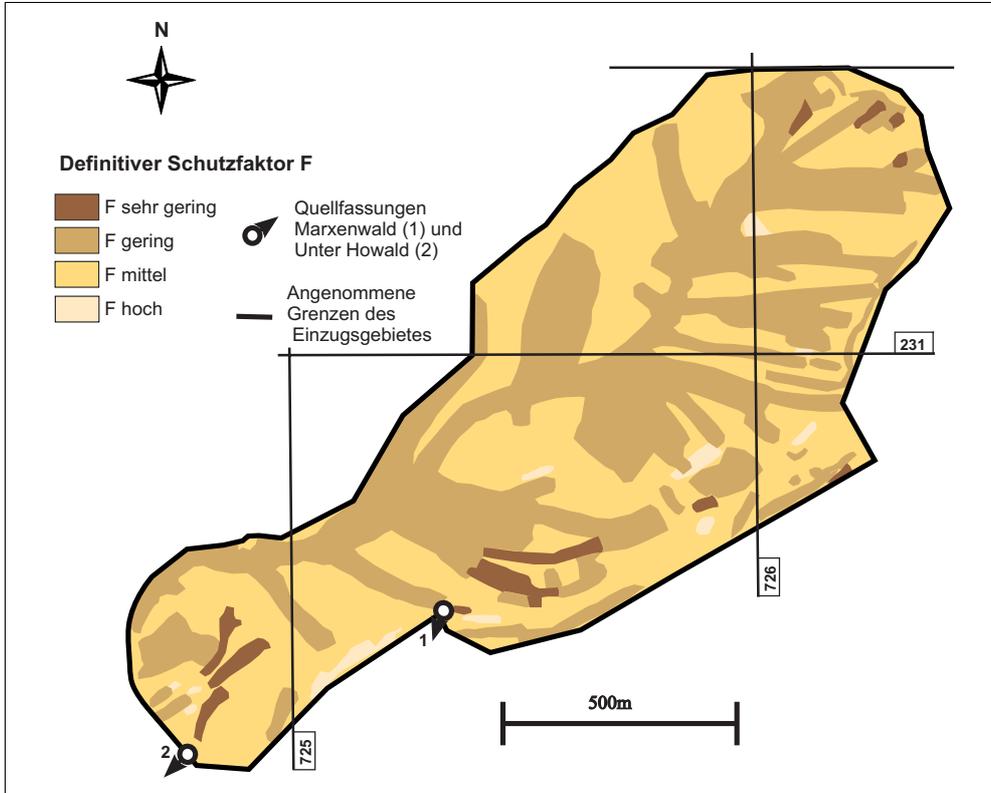


Abb. 30:
Karte des «definitiven Schutzfaktors» für den Standort Rieden.

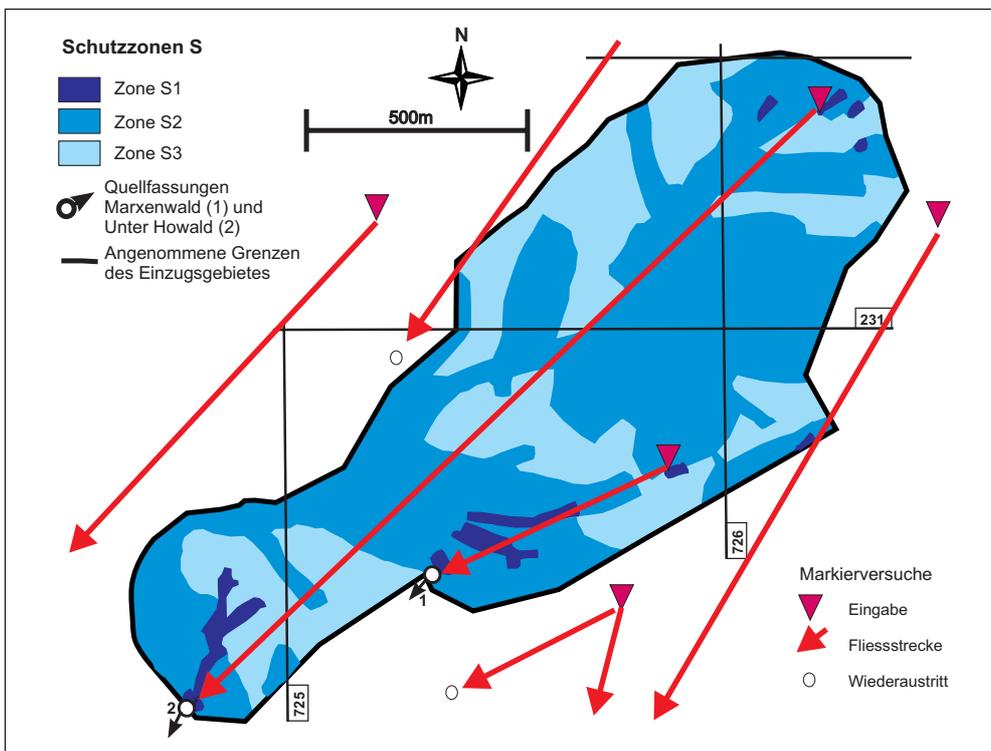


Abb. 31:
Bemessung der Schutzzone für den Standort Rieden (hydrogeologische Begrenzung).

6.4 Wyссеberg (BE) – Flysch-Sandsteine und -Schiefer der Niesen-Decke

Vulnerable Grundwasserfassungen, stark heterogener Grundwasserleiter (Fall b2),
Multikriterien-Methode «DISCO»

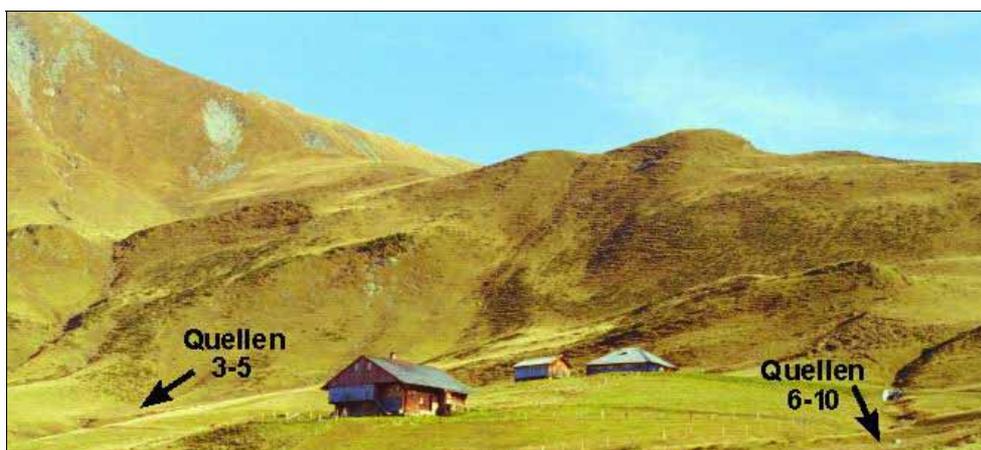


Abb. 32:
Lage der Quellen
im Gebiet Wyssäberg
(Foto A. Pochon).

Einführung

In der Region Wyssäberg im Simmental (Kanton Bern) sind etwa 15 Quellen gefasst, welche die Siedlungen Bleiken (Gemeinde Lenk) und Obersteg (Gemeinde St. Stephan) versorgen. Es werden im Folgenden die Einzugsgebiete von zwei Quellgruppen unterschieden (Nr. 3, 4, 5 sowie Nr. 6, 7, 8, 9, 10, Abb. 32 und 33). Zwar wurden in diesem Gebiet die Schutzzonen bereits ausgeschieden (CSD 1985), jedoch wird in diesem Kapitel eine andere Bemessung entsprechend des neuen Verfahrens vorgeschlagen und eine vergleichende Betrachtung durchgeführt.

Basisdaten – Einstufung der Vulnerabilität der Grundwasserfassungen

Eigenschaften der Fassungen

Die Grundwasserfassungen Nr. 3, 4, 5 befinden sich auf einer Höhe zwischen 1910 und 1920 m ü.M. Sie sind entlang eines Tälchens auf einer Strecke von etwa 30 m aneinandergereiht. Mittels in ungefähr 2 m Tiefe liegenden Drainagerohren wird Wasser hauptsächlich aus Klüften der Flyschgesteine gefördert. Die Wasserzufuhr erfolgt wahrscheinlich über eine in geringer Tiefe liegende angewitterte Sandsteinlage. Das Wasser wird in zwei Kammern gesammelt (eine gemeinsame Kammer für die Quellen 3 und 4), wo die Schüttungen mit einem Messeimer bestimmt werden können.

Die zweite Quellgruppe (Nr. 6, 7, 8, 9, 10) liegt zwischen 1890 und 1900 m ü.M. Das Wasser wird ebenfalls durch Drainagerohre gefasst, die in geringer Tiefe in das geklüftete und angewitterte Gestein eingelassen sind.

Die Fassungen aller Quellen wurden 1984 erneuert, so dass sich die Kammern in einem guten Zustand befinden. Geringe Ablagerungen von Sand und Feinpartikeln lassen eine gewisse Trübung der Quellen während Hochwasserereignissen vermuten.

Geologischer und hydrogeologischer Rahmen

Das Gebiet von Wyssäberg (Abb. 33) liegt innerhalb der unteren Schichtabfolge des Niesen-Flysch (Furrer et al. 1993), die sich durch eine Wechsellagerung aus Schiefen und Sandsteinen mit kalkigem Bindemittel auszeichnen.

Die Schichten sind lokal gefaltet, fallen jedoch generell mit etwa 30° nach Norden ein. Es sind zwei vertikale Hauptklüftscharen in Richtung NW-SE und N-S zu verzeichnen, die sowohl im anstehenden Gestein als auch im regionalen Massstab (Photogeologie) zu erkennen sind. Diese regionalen Strukturen scheinen eine wichtige hydrogeologische Rolle zu spielen, denn beide Quellgruppen sind an zwei NW-SE streichende Störungen gebunden.

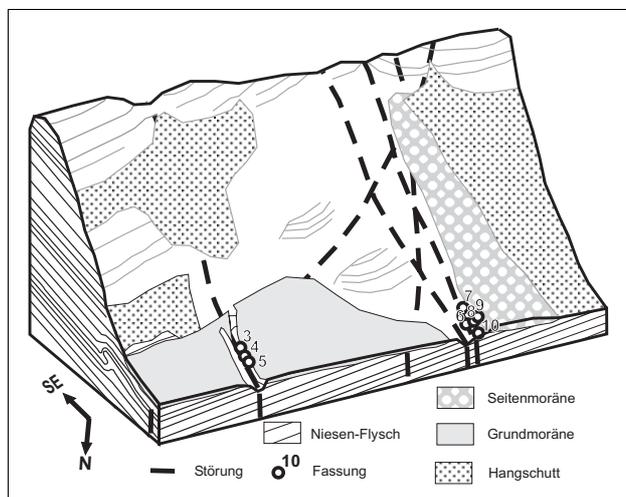


Abb. 33: Blockdiagramm mit schematischer Darstellung der geologischen Zusammenhänge am Standort Wyssberg.

Das geklüftete Gestein ist an mehreren Stellen von einem höchstens 1 m mächtigen Boden bedeckt, der aus einem Braunerdehorizont (10 bis 20 cm) und einem darunterliegenden lehmigen Horizont (0 bis 70 cm) besteht. Der obere Bereich des Festgesteins ist auf mehreren Dezimetern angewittert und entkalkt. Dadurch erscheinen die Sandsteine porös und mürbe, die Schiefer plastisch. Im unteren Bereich des Untersuchungsgebietes (siehe Abb. 33) ist vereinzelt Grundmoränenmaterial abgelagert. Dieses ist bis zu 1 m mächtig und besteht aus cm- bis dm-grossen Blöcken aus verwittertem Sandstein in einer tonigen Matrix. Im Westen des Untersuchungsgebietes steht oberhalb der zweiten Quellgruppe (Nr. 6–10) eine mehrere Meter mächtige Seitenmoräne an. Ebenfalls grossflächig vertreten ist Hangschutt.

Ausdehnung und Grenzen des Einzugsgebietes

Aus einer Wasserbilanz mit einer angesetzten Niederschlagsmenge von 1900 mm, einer Evapotranspiration von 350 mm und einem oberflächlichen Abfluss von 850 mm ergibt sich eine effektive Infiltration von etwa 700 mm pro Jahr. Die Annahme eines so hohen Anteils an Oberflächenabfluss ist gerechtfertigt aufgrund der gering durchlässigen Deckschichten und der Zwischenspeicherung einer grossen Menge von Niederschlag als Schnee, der sich von Oktober bis April an-

sammelt und während der Schneeschmelze zur Hauptsache oberflächlich abfließt. Bei einer mittleren Gesamtschüttung der Quellen Nr. 3–5 von 60 l/min muss das Einzugsgebiet etwa 0.05 km² umfassen. Es erstreckt sich demnach bis zum 300 bis 400 m oberhalb gelegenen Bergkamm. Das Ausmass des Einzugsgebietes der zweiten Quellgruppe (Nr. 6–10) ist näherungsweise 0.12 km² bei einer angenommenen Schüttung von 160 l/min.

Existierende und potenzielle Schadstoffquellen im Einzugsgebiet

Das Risiko einer Verunreinigung der Quellen ist im Untersuchungsgebiet auf die Rinderhaltung und das Ausbringen von Gülle in der Zeit von Juni bis September beschränkt. Die Düngung erfolgt jedoch nur in den flacheren und leichter zugänglichen Bereichen im unteren Teil des Einzugsgebietes. Die Ställe liegen etwas talabwärts der Fassungen Nr. 3–5 und stellen damit kein Risiko für diese Quellgruppe dar. Die andere Quellgruppe dagegen ist einer stärkeren Schadstoffbelastung ausgesetzt, da sie sich nur einige 10er Meter unterhalb einer asphaltierten Strasse (Passage einzelner Fahrzeuge sowie Viehtrieb) und ausserdem nahe den Ställen befindet.

Generelle Einstufung der Vulnerabilität der Fassungen

Wegen des schwierigen Zugangs zu den Fassungen stehen nur Daten für einen begrenzten Zeitraum des Jahres zur Verfügung (April bis Dezember). Für die bereits erfolgte Schutzzonenbemessung (CSD 1985) wurden starke Schwankungen der Quellschüttungen vermerkt. Die kleinste Gesamtschüttung der Quellen Nr. 3–5 wurde am Ende des Winters mit etwa 20 l/min, die grösste mit mehr als 200 l/min verzeichnet. Die im Laufe eines Jahres deutlich variierende Wassertemperatur (2 bis 5 °C) weist auf einen nur in geringer Tiefe liegenden Grundwasserleiter hin. Die elektrische Leitfähigkeit schwankt ebenfalls deutlich zwischen 290 und 380 µS/cm (CSD 1985, Basabe-Rodriguez 1993, vorliegende Arbeit), was die Empfindlichkeit der Fassung auf unterschiedliche hydrologische Bedingungen verdeutlicht. Die zweite Quellgruppe (Nr. 6–10) wurde zwar nicht regelmässig untersucht, jedoch zeigen bereits vorliegende Daten ein ebenfalls instabiles Quell-

verhalten (Gesamtschüttung zwischen 40 und 400 l/min). An bakteriologischen Analysen steht für die Quellen Wyseberg nur eine begrenzte Anzahl zur Verfügung. Obwohl diese erst im November und Dezember entnommen wurden, also bereits zwei bzw. drei Monate nach dem Alpabzug, wurden an beiden Quellgruppen Keime (>20 pro ml) und einige Escherichia coli pro 100 ml nachgewiesen. Eine Probenahme während der sommerlichen Weidezeit erbrachte aufgrund der geringen Entfernung zwischen Viehweide und Quellen sicherlich noch hygienisch schlechtere Resultate.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen die Vulnerabilität der Fassungen und die Notwendigkeit einer weiterführenden Datenerhebung (Gruppe b der Abb. 7).

Zusätzliche Daten – Erfassung des Heterogenitätsgrades des Grundwasserleiters

Bevorzugte Infiltrationsstellen, Eigenschaften der Trennflächen

Die Morphologie des Untersuchungsgebietes weist keine Dolinen oder andere bevorzugte Infiltrationsstellen auf. Jedoch zeigte die Auswertung von Luftbildern das Auftreten NW-SE und N-S streichender subvertikaler Strukturen, die in Verbindung mit den beiden Austrittsstellen stehen. Diese beiden Scharen von Trennflächen sind auch im ausstreichenden Gestein erkennbar und bestimmen zusammen mit den Schichttrennflächen das Fliessverhalten im geklüfteten Grundwasserleiter.

Durch Photogeologie wurden weitere morphologische Senken festgestellt, die als mögliche durchlässige Strukturen angesehen werden müssen.

Entlang der Gesteinstrennflächen treten Lösungserscheinungen auf und die oberflächennahen Schichten sind entkalkt. Die Entkalkung bewirkt sowohl eine gewisse Kornporosität innerhalb der Sandsteinlagen, als auch eine Erhöhung der Kluftdurchlässigkeit, die einen schnellen Wassertransport entlang der Trennflächen erlaubt. In Bachbetten kann man erkennen, dass die Trennflächen Öffnungsweiten von bis zu einigen Zentimetern aufweisen (Abb. 34).

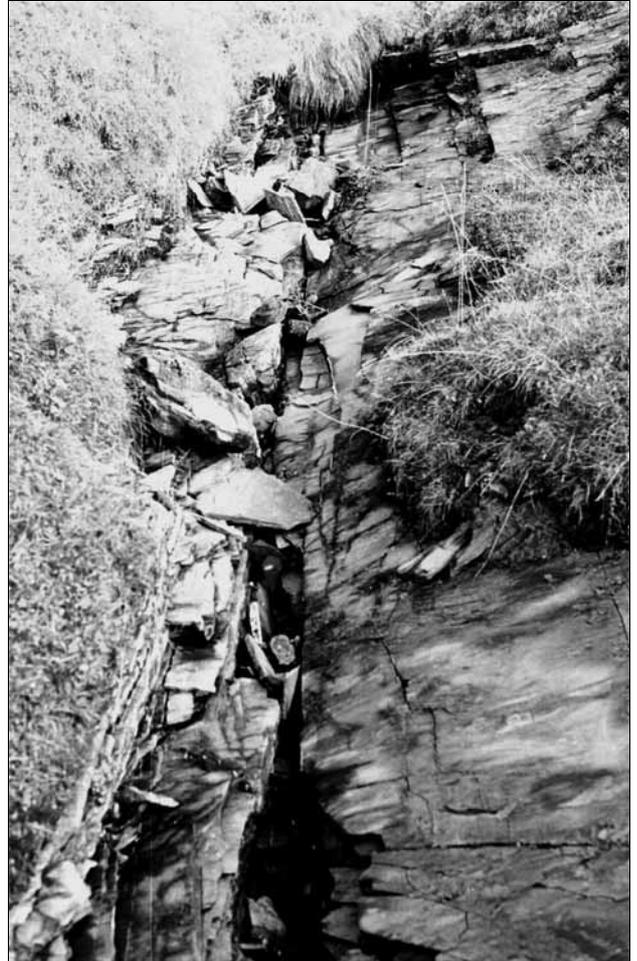


Abb. 34: In einem Bachbett aufgeschlossene Kluft mit einer Öffnungsweite von einigen Zentimetern am Standort Wyseberg (Foto A. Pochon).

Aufzeichnung der Parameter Q, T, ELF

Da in den Fassungskammern keine Möglichkeit zum Aufstellen eines Messwehrs besteht, konnten keine kontinuierlichen Datenaufzeichnungen bezüglich der Schüttung, der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit gesammelt werden.

Markierversuche

Im Dezember 1984 wurden oberhalb der zwei betrachteten Wasseraustrittszonen Tracerversuche durchgeführt (CSD 1985).

Zur Untersuchung der Quellgruppe Nr. 3–5 wurde 25 m oberhalb der Fassung Nr. 3 der Farbstoff Uranin über einen etwa 2 m tiefen Schlitz direkt ins geklüftete Flyschgestein eingespeist. Bei diesem Versuch stellte man eine Fliessgeschwindigkeit von ca. 25 m/h fest (600 Meter pro Tag). Für die Quellgruppe Nr. 6–10 fanden zwei weitere Tracereingaben ebenfalls in einen Schlitz statt. Die erste erfolgte 30 m oberhalb der Quelle Nr. 7 (Rhodamin), die zweite 20 m oberhalb der Quelle Nr. 9 und 60 m oberhalb der Quelle Nr. 10 (Uranin). Die Fliessgeschwindigkeiten lagen bei 480 m/Tag zur Fassung Nr. 7 und bei 72 bzw. 48 m/Tag zu den Fassungen Nr. 9 und 10.

Zu beachten bleibt, dass durch das Einspülen der Farbstoffe mittels mehrerer Kubikmeter Wasser nahe der Austrittsstelle künstlich ein erhöhter hydraulischer Gradient geschaffen wurde, der wiederum höhere Geschwindigkeiten erzeugt, als sie unter natürlichen hydrologischen Bedingungen vorkommen.

Grad der Heterogenität des Grundwasserleiters

Durch die Markierversuche wurden sehr hohe Fliessgeschwindigkeiten ermittelt (50 bis 600 m/Tag), welche die Existenz bevorzugter Fliesswege entlang sehr durchlässigen Trennflächen belegen. Der Grundwasserleiter muss also als stark heterogen eingestuft werden (Fall b2 der Abb. 7). In diesem Fall soll eine Vulnerabilitätskartierung mittels der Multikriterien-Methode «DISCO» angewendet werden.

Anwendung der Methode «DISCO» zur Bemessung der Schutzzonen

Parameter «Trennflächen» und

«schützende Deckschicht» (Abb. 35 und 36)

Die Aufnahme des Parameters «Trennflächen» (Luftbilder, Geländebegehung) erbrachte grossräumige tektonische Extensionsstrukturen, an welche die Wasseraustrittsstellen gebunden sind. D₁ wurde entlang dieser

Hauptstrukturen in einer Breite von 20 bis 30 m kartiert, um der Bedeutung der starken Klüftung als auch der Störungsfläche selbst gerecht zu werden. Der Rest des Einzugsgebietes erhielt D₂ für ein relativ dichtes Trennflächengefüge mit geringeren Klüftöffnungsweiten.

Oberhalb der Quellen Nr. 3–5 wurden in mit Boden und Grundmoräne bedeckten Bereichen Versickerungsversuche durchgeführt. Diese bestätigten die geringe Durchlässigkeit der abgelagerten Deckschichten (k-Wert zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ und $1 \cdot 10^{-7}$ m/s).

Die Klassen P₀, P₁, und P₂ wurden dann zugewiesen, wenn das geklüftete Gestein an der betreffenden Stelle direkt anstand (P₀) oder nur durch einen Boden bedeckt war (P₁ oder P₂ je nach Mächtigkeit). Die Klasse P₃ verweist auf ein gemeinsames Auftreten eines Bodens mit einer bedeutenden Grundmoräne (zwischen 50 und 100 cm). Die Seitenmoräne ist relativ reich an angewitterten, gut durchlässigen Sandsteinblöcken, weshalb dieses Material trotz seiner Mächtigkeit von mehreren Metern ebenfalls P₃ erhielt. Die Hangablagerungen erscheinen meistens als P₂, bei einer Mächtigkeit über 1 m auch als P₃.

«Provisorischer Schutzfaktor» (Abb. 37)

Werden die grossen Störungen von einer weniger als 1 m mächtigen Bedeckung geschützt, besitzen sie einen geringen Schutzfaktor. Ebenso sind solche Bereiche des Einzugsgebietes mit einem geringen Schutzfaktor ausgestattet, an denen das geklüftete Gestein direkt ausstreicht oder knapp unter der Oberfläche ansteht (Bedeckung kleiner 20 cm).

«Definitiver Schutzfaktor» (Abb. 38)

Der diffuse Oberflächenabfluss ist bedeutend, da der grösste Teil des Einzugsgebietes von einer gering durchlässigen Deckschicht bedeckt ist. Es muss deshalb überall dort ein geringer definitiver Schutzfaktor ausgewiesen werden, wo das an den Hängen abfließende Wasser sehr vulnerable Stellen erreicht.

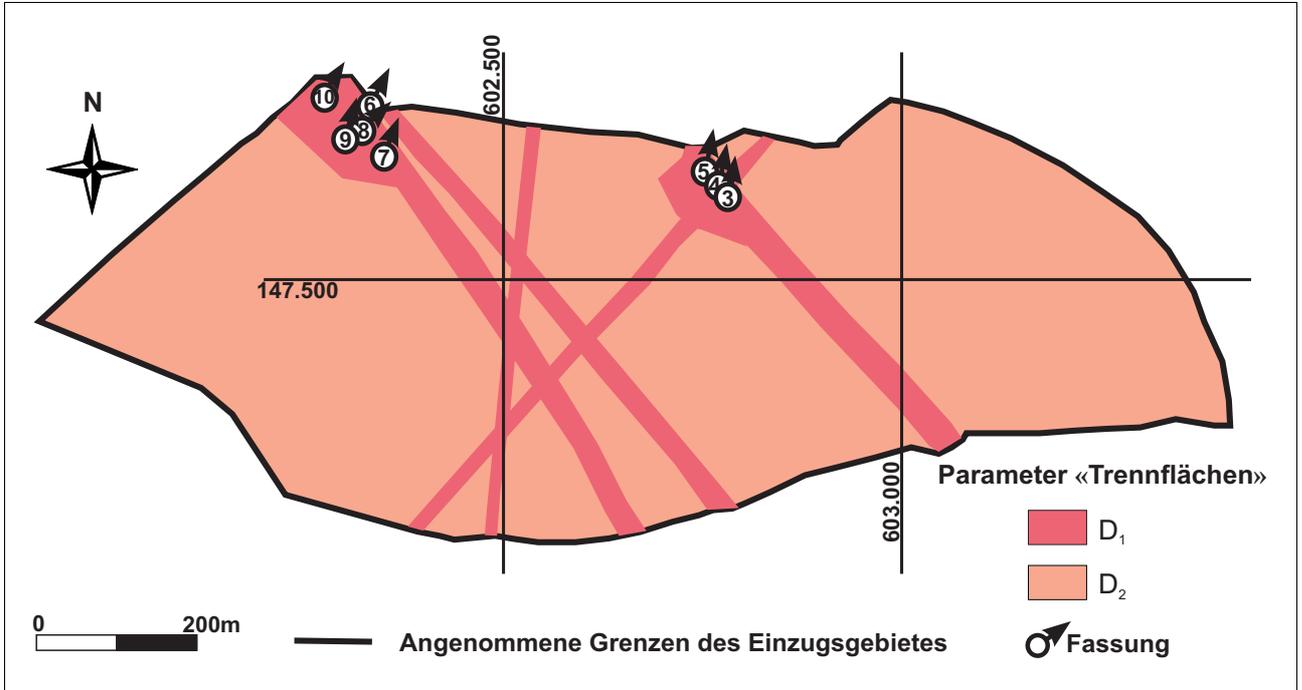


Abb. 35: Karte des Parameters «Trennflächen» für den Standort Wysseberg.

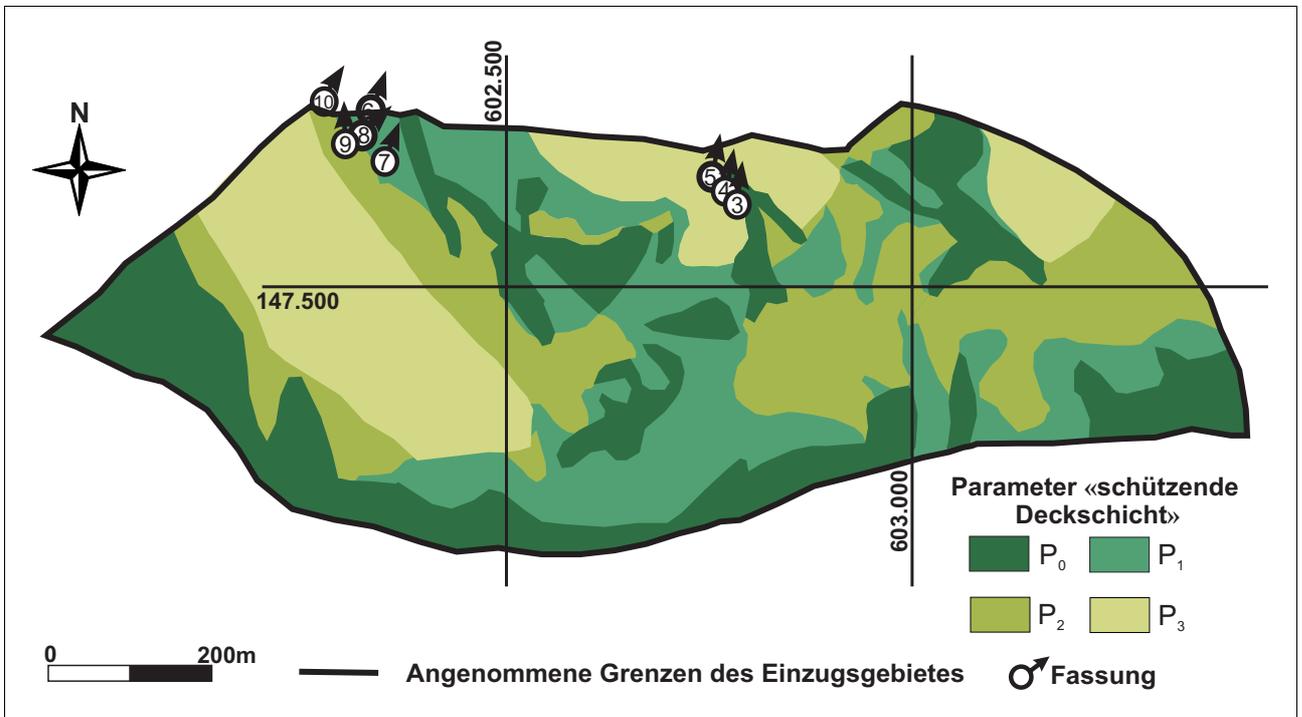


Abb. 36: Karte des Parameters «schützende Deckschicht» für den Standort Wysseberg.

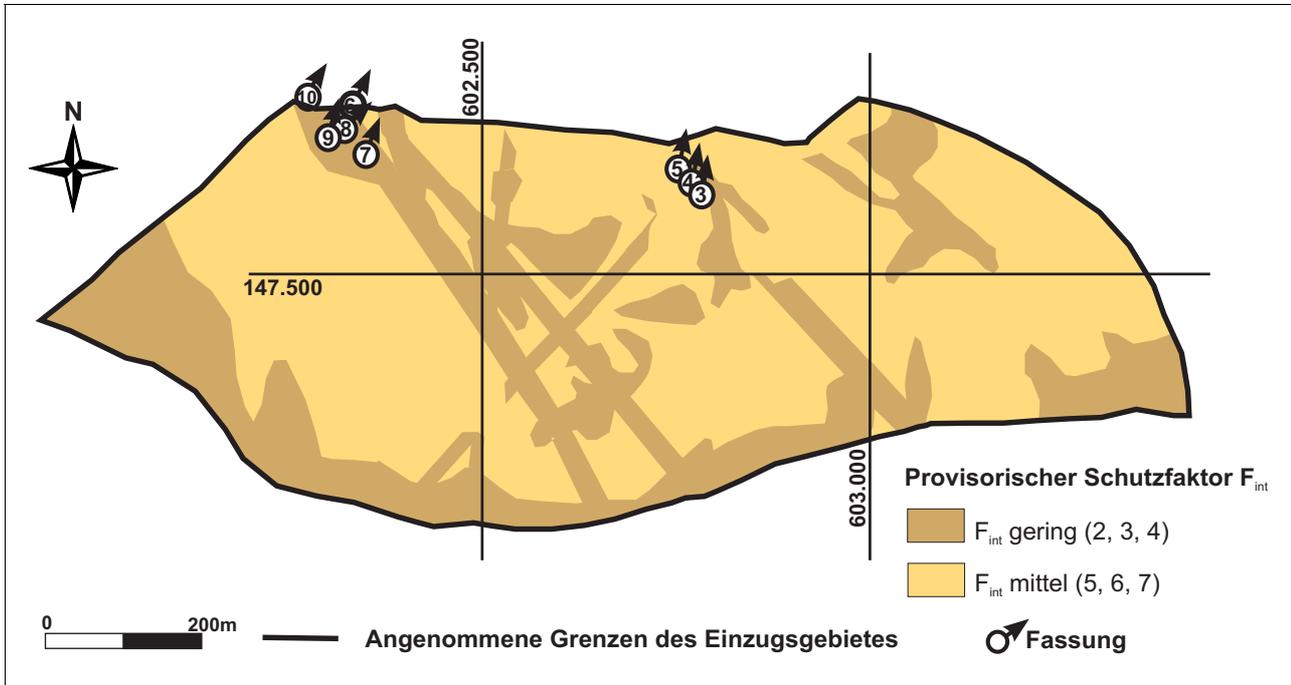


Abb. 37: Karte des «provisorischen Schutzfaktors» für den Standort Wyseberg.

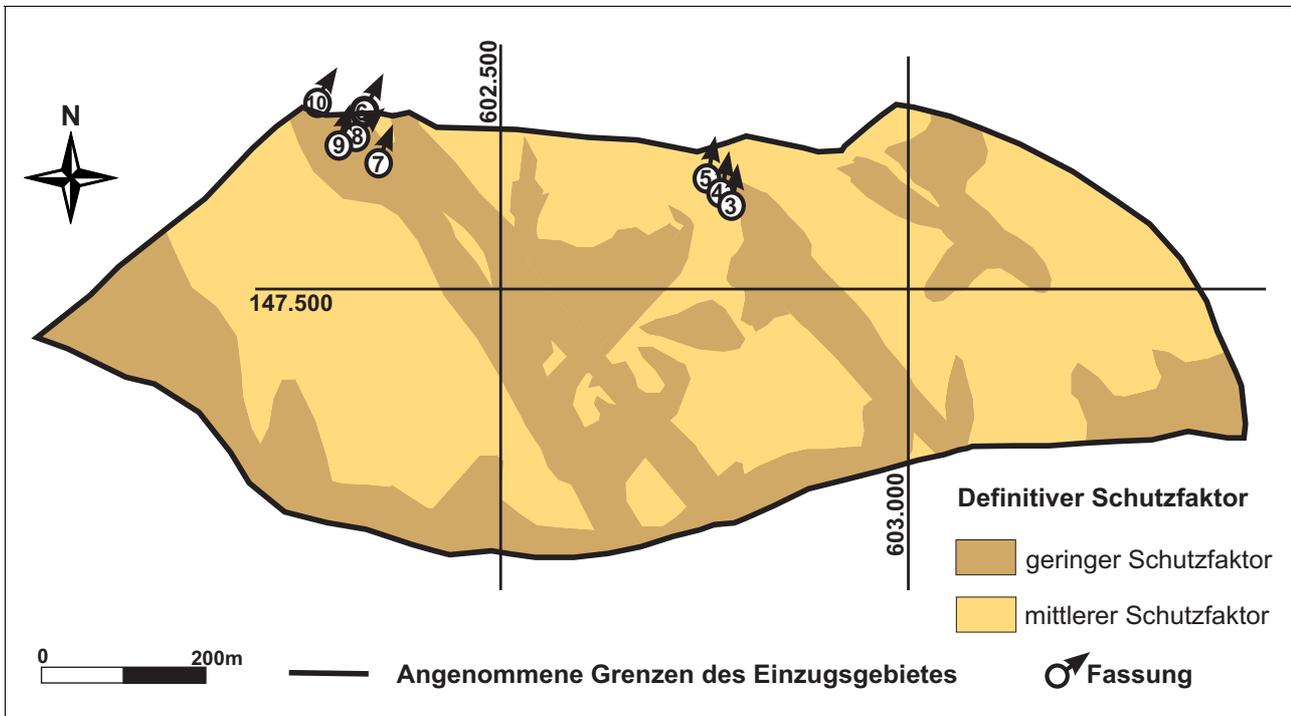


Abb. 38: Karte des «definitiven Schutzfaktors» für den Standort Wyseberg.

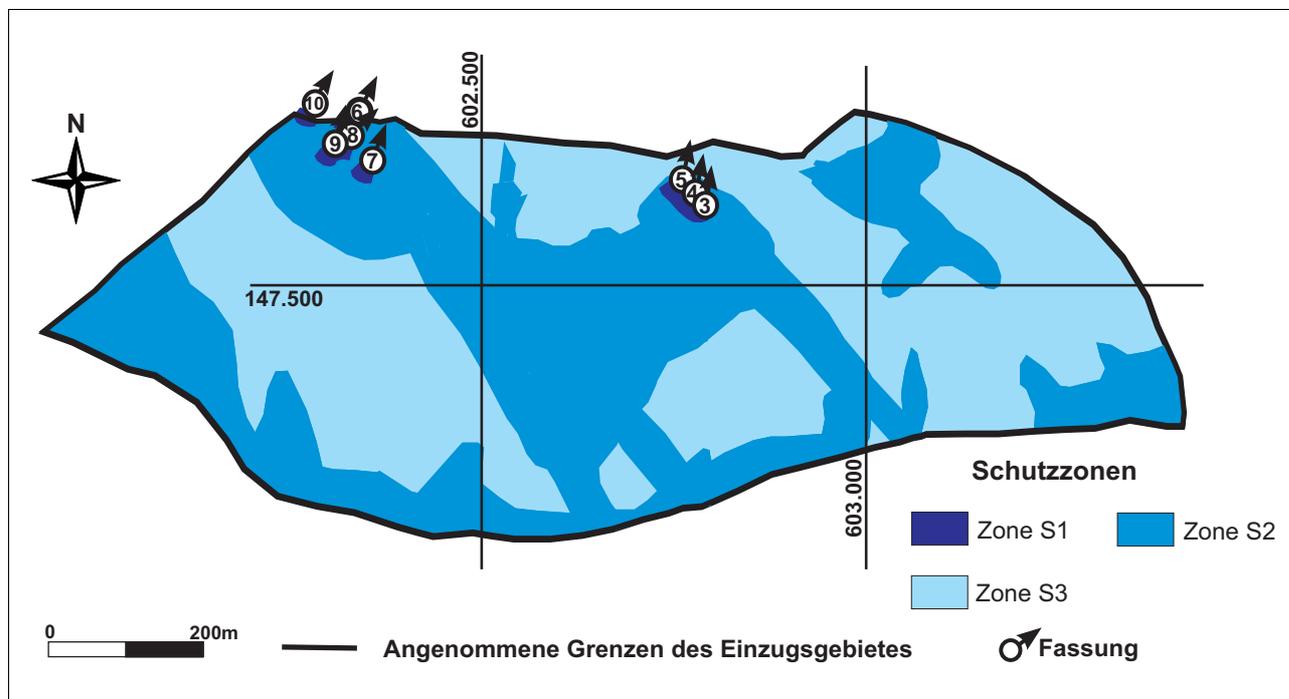


Abb. 39: Karte der Schutzzonen der Grundwasserfassungen für den Standort Wyssberg (hydrogeologische Begrenzung).

Bemessung der Schutzzonen (Abb. 39)

Die Zonen S1 wurden oberhalb der Grundwasserfassungen so gewählt, dass dabei die Drainagen, deren Lage nicht genau bekannt ist, miteinbezogen und der Oberflächenabfluss in Richtung der Entnahmestellen berücksichtigt wurde (Hangneigung von 10 bis 20%). Wegen des jeweils geringen Abstands der Quellen Nr. 3–5 und der Quellen Nr. 6, 8, 9 zueinander, wurde jeweils eine gemeinsame Zone S1 vorgeschlagen (20 bis 30 m). Das übrige Einzugsgebiet wurde entsprechend der Vulnerabilität den Zonen S2 und S3 zugeordnet, wobei keine Zone S3 in einer Entfernung unter 100 m zu den Fassungen ausgeschieden wurde. Praktisch bedeutet dies, dass keine Gülle in geringem Abstand oberhalb der Quellgruppe 3–5 ausgebracht werden darf.

Vergleich mit den bereits existierenden Schutzzonen

Bei der Bemessung der Schutzzonen von 1985 wurde die geringe Durchlässigkeit der Deckschichten als ausreichend dafür angesehen, keine Zone S2 berücksichtigen zu müssen. Daher wurde das gesamte Einzugsgebiet mit Ausnahme der unmittelbaren Umgebung der Quellfassungen (S1) als S3 ausgeschieden. Die Karte für den Parameter P (Abb. 36) zeigt aber, dass die Verteilung der Schutzschichten sehr ungleichmässig ist. Ausserdem ist die Gesamtmächtigkeit von Boden und Moräne abgesehen von der Seitenmoräne überall kleiner als 2 m. Da die beobachteten Fliessgeschwindigkeiten im geklüfteten Flyschgestein ausserordentlich hoch sind (50 bis 600 m/Tag), ist eine strikte Auskartierung der Schutzschichten absolut notwendig. Die Anwendung der Methode «DISCO» ermöglicht in diesem Fall eine effizientere Festlegung der Grundwasserschutzzonen.

6.5 Sonderfälle

Einige Kluft-Grundwasserleiter weisen, gegenüber den bisher betrachteten, Besonderheiten auf. Diese haben Auswirkungen auf die Bemessung der Schutzzonen und werden deshalb in diesem Kapitel kurz erläutert. Die aufgeführten Beobachtungen stammen aus Untersuchungen verschiedener Standorte, die im Rahmen der Entwicklung der hier dargelegten Methodik durchgeführt wurden. Einige Beispiele verdeutlichen auch, in welchen Situationen die dargelegten Methoden an ihre Grenzen stossen und welche Fälle vom bearbeitenden Hydrogeologen besondere Beachtung erfordern.

6.5.1 Deutlich aufgelockerte Kluft-Grundwasserleiter und instabile Zonen

Auflockerungsprozesse verändern die Durchlässigkeit eines kristallinen Gebirgskörpers auf den ersten 10 bis zu mehreren 100 m unterhalb der Oberfläche (Avias 1982, Cruchet 1985, Maréchal 1998). Das Ausmass der Auflockerung hängt von der Art des Gesteins, von den tektonischen Gegebenheiten (Schieferung, Klüftung), von der postglazialen Entlastung (Exfoliation) und von der Topographie ab. Stark aufgelockerte Stellen sind oft instabil und besitzen besondere geologische und hydrogeologische Eigenschaften. Haken schlagen, Sackungen und Rutschungen sind in solchen Fällen weit verbreitet, zudem sind die Grundwasserfliesswege nicht prognostizierbar und die Fliessgeschwindigkeiten extrem variabel. Obwohl solche Systeme oft durch eine starke Heterogenität gekennzeichnet sind, ist eine Vulnerabilitätskartierung mittels Multikriterien-Methode nicht immer möglich, da diese Heterogenität des Untergrundes an der Geländeoberfläche nicht erfasst werden kann.

Beispiel 1: La Roche (FR)

Region La Berra (Flysch-Sandsteine und -Mergel der Gurnigel-Decke)

Fassung

Die Fassung «Gormande à Léon» ist an das Trinkwassernetz der Gemeinde La Roche angeschlossen. Es handelt sich um eine Anlage in einwandfreiem Zustand aus dem Jahr 1995 (ABA GEOL 1996), die in einem

Bereich installiert wurde, an dem das Flyschgestein stark geklüftet und aufgelockert ist (Abb. 40). Die Instabilität des Gesteinskörpers wird auch daran deutlich, dass sich einige Dekameter unterhalb der Fassung eine Hangschuttmasse und etwa 100 m weiter unten eine grosse Rutschung befinden.

Geologischer Rahmen

In der Region von La Berra ist der Gurnigel-Flysch aus einer Wechsellagerung von Sandstein- und Mergelbänken mit Mächtigkeiten im dm- bis m-Bereich und einem generellen Einfallen von ca. 50° nach Süd bis Südwest aufgebaut.

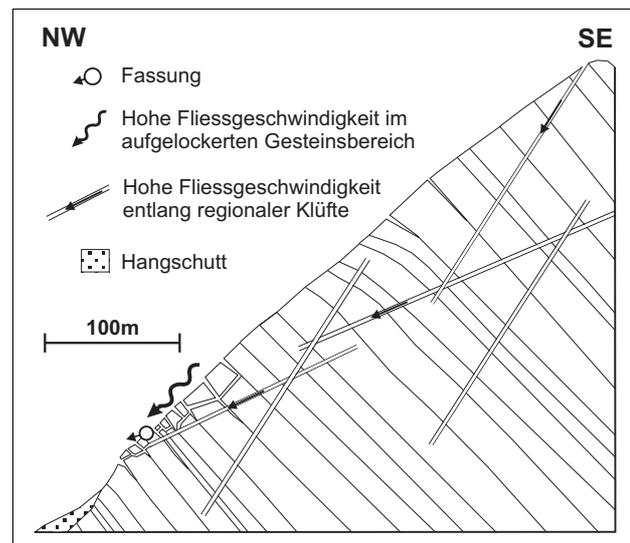


Abb. 40: Schematischer Profilschnitt mit hydrogeologischen Verhältnissen der Quelfassung Gormande à Léon.

Vorliegende Daten und Vulnerabilität der Fassung

Die Vulnerabilität der Grundwasserfassung äussert sich in deutlichen Schwankungen der Schüttung, der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit entsprechend den hydrologischen Bedingungen sowie durch eine zeitweilige Verminderung der Wasserqualität hinsichtlich bakteriologischer Belastung (ABA GEOL 1996). Ein Markierversuch, der mehr als 500 m von der Fassung entfernt im Bereich der Kammlinie durchgeführt wurde (ABA GEOL 1996), bestätigte schnelle Fliessbewegungen entlang des Trennflächennetzes (Geschwindigkeiten zwischen 75 und 150 m/Tag).

Im Herbst 2000 wurden während Starkniederschlägen an der Quellfassung Ansammlungen von Feinpartikeln, Erde und Baumnadeln festgestellt. Der Zufluss dieses qualitativ schlechten Wassers erfolgte offenbar durch Regenwasser, das nahe bei der Fassung versickerte. Da diese Probleme in den vorangegangenen Jahren nicht aufgetreten waren, kann man davon ausgehen, dass neue Fliesswege in Richtung Fassung gebildet wurden, wodurch die Wassergüte beeinträchtigt wurde. Für diese Neuorganisation der Fliesswege könnte der Orkan Lothar verantwortlich gewesen sein, der im Dezember 1999 diese Region stark mitgenommen hatte und zur Entwurzelung zahlreicher Bäume sowie zur Umlagerung der obersten Gesteinsbereiche geführt hatte (F. Pasquier, mündl. Mitt.).

Grad der Heterogenität des Grundwasserleiters

Die Quellfassung wird von Wasser gespeist, das teilweise aus der Auflockerungszone und teilweise aus tieferen Bereichen des geklüfteten Systems stammt. Die durch Markierversuche (ABA GEOL 1996) ermittelten Fliessgeschwindigkeiten sind so hoch, dass Grundwasser weniger als 10 Tage braucht, um vom äusseren Rand des Einzugsgebietes zur Fassung zu gelangen. Es handelt sich also um eine vulnerable Quellfassung in einem stark heterogenen Grundwasserleiter (Fall b2 der Abb. 7). Eine Bemessung der Schutzzonen kann dieser starken Heterogenität nur mit Hilfe einer Vulnerabilitätskartierung gerecht werden.

Anwendung der Methode «DISCO» zur Bemessung der Schutzzonen

Kartierung der Vulnerabilität

Im vorliegenden Fall können die unterschiedlich durchlässigen Stellen durch die Kartierung des Parameters «Trennflächen» nicht ausreichend erfasst werden, da das Gestein einerseits nicht direkt ausstreicht und sich andererseits die entwässernden Untergrundstrukturen nicht durch morphologische Besonderheiten bemerkbar machen. Es konnte nur eine begrenzte Anzahl Trennflächen im Hektometerbereich nach geologischen (Weidmann 2002) und morphologischen Kriterien kartiert werden.

Die Auflockerungszone oberhalb der Fassung steht höchstwahrscheinlich mit dieser in schneller hydraulischer Verbindung (D_0), ebenso wie einige dolinenähnliche Senken, die sich nahe der Kammlinie befinden. Den Rest des Einzugsgebietes muss man vorsichtshalber als geklüftet ansehen, wodurch eine gute Anbindung an die Quellfassung angenommen werden muss (D_1).

Der tonig-siltige Boden hat wegen seiner geringen Mächtigkeit von höchstens 1 m eine beschränkte Schutzwirkung (P_0 bis P_2).

Schutzzonen

Die Zone S1 muss aufgrund des schnellen und un-tiefen Grundwasserflusses innerhalb der Auflockerungszone relativ weiträumig bemessen werden, mindestens aber bis 20 m oberhalb der Drainagen. Die Zone S2 erstreckt sich über das restliche Einzugsgebiet und beinhaltet die Wald- und Weideflächen. Solch eine Vorsichtsmassnahme dient der Risikominderung eines punktuellen Schadstoffeintrags innerhalb des Einzugsgebietes (Berggasthof, Ställe, im Winter Pistenfahrzeuge).

Vergleich mit bereits bestehenden Schutzzonen

Da keine Informationen bezüglich der Trennflächenverteilung erhältlich sind, erscheint fast das gesamte Einzugsgebiet als Zone S2, was mit den bereits existierenden Schutzzonen übereinstimmt (ABA GEOL 1996). In einem solchen Fall ist die Methode «DISCO» also nicht in der Lage, die Unterschiede in der Vulnerabilität im Massstab des Einzugsgebietes differenzierter darzustellen. Trotzdem sollte in einer solchen Situation die Methode «DISCO» angewendet werden, da man durch sie zusätzliche Schlussfolgerungen ziehen kann. So ermöglicht sie es, hauptsächlich aufgrund von Bodenkartierungen, unterschiedlich vulnerable Gebiete zu ermitteln (unterschiedliche Schutzfaktoren zwischen 2 und 4). Die Schutzfaktorkarte könnte für die Raumplanung genutzt werden und so zur Minimierung des Verschmutzungsrisikos der Quellfassung infolge Tierhaltung und Tourismus beitragen.

Beispiel 2: Borgnone (TI)

(Gneise und basische bis ultrabasische Gesteine der penninischen Orsellina-Zone)

Fassung

Die beschriebene Quelfassung befindet sich am Südhang der Centovalli, etwa 20 m oberhalb der Strasse zwischen den Orten Borgnone und Lionza. Die Fassungsanlage ist eingesandet und schon seit mehreren Jahren aufgelassen. Sie liegt innerhalb des oberen Teils einer Rutschmasse, welche aus einer Mischung von Blöcken und Feinmaterial besteht.

Geologischer Rahmen

Die Gesteine sind von einer WSW–ENE-Schieferung, die parallel zu den wichtigsten regionalen Strukturen verläuft (Centovalli-Störung), und von zwei Störungssystemen in Richtung NW-SE und N-S erfasst. Die intensive Klüftung äussert sich zusammen mit einer steilen Geländeneigung in einer deutlichen Hanginstabilität.

Vorliegende Daten und Vulnerabilität der Fassung

Monatliche Aufzeichnungen der Schüttung, der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit liegen für die Jahre 1981–82 (Ammann 1983) und 1992–93 (IGC 1993) vor. Die Daten wurden im Rahmen eines Tunnelbauprojekts zur Sicherheitsverbesserung der durch Hangbewegungen bedrohten Strasse erhoben. Die festgestellten Schwankungen der drei Parameter und die geringe Mineralisierung des Wassers (ähnlich dem Regenwasser) machen die Vulnerabilität der Fassung und die geringe Tiefe der Grundwasserfliesswege deutlich. Angenommen die mittlere Schüttung beträgt 30 l/min, ergibt sich eine Ausdehnung des Einzugsgebietes von 100 bis 200 m oberhalb der Austrittszone (Anhang 1). Der Grossteil des Einzugsgebietes liegt somit oberhalb der Rutschmasse. Die dortigen Gesteine streichen dicht unterhalb der Oberfläche aus, jedoch ist schwer festzustellen, ob sie hier direkt anstehen oder versackt sind.

Grad der Heterogenität des Grundwasserleiters

Im Rahmen der Erstellung dieser Praxishilfe wurden beidseits eines zur Quelfassung führenden Tälchens gleichzeitig 500 g Uranin und 500 g Sulforhodamin B eingespeist. An der Fassung trat nur das Uranin wieder aus. Obwohl der Wiedererhalt von Sulforhodamin B

auch aufgrund der Adsorptionsfähigkeit des Untergrunds relativ gering sein kann (lehmige Hangablagerungen verbunden mit aufgelockertem Gestein), bestätigt das Ergebnis doch die starke Heterogenität des Grundwasserleiters. Die gemessene Fliessgeschwindigkeit beträgt etwa 14 m/Tag. Der Durchgang des Tracers (Abb. 41) steht offenbar mit starken Niederschlägen (80 mm in zwei Tagen) in Verbindung, so dass die ermittelte Fliessgeschwindigkeit wahrscheinlich Hochwasserbedingungen entspricht.

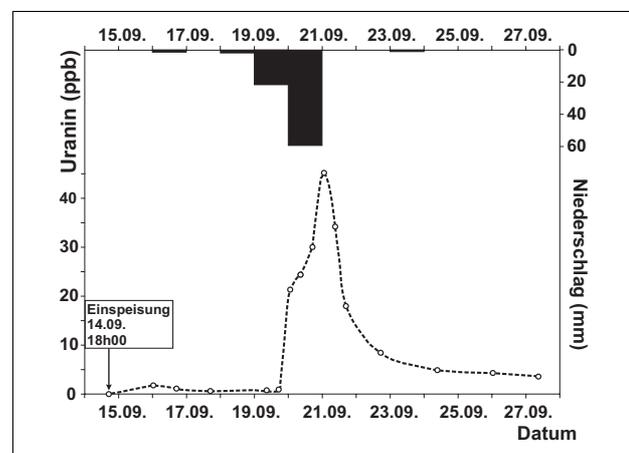


Abb. 41: Markierversuch an der Quelle Borgnone im September 2000 im Rahmen der Erstellung dieser Praxishilfe. Eingabe 90 m oberhalb der Fassung, Nachspülung mit 3 bis 5 m³ Wasser.

Bemessung der Schutzzonen

Der kombinierte Tracerversuch hat die schnelle Grundwasserströmung und die starke Heterogenität des Grundwasserleiters deutlich gemacht. Es ist jedoch nicht möglich, die Heterogenität des Kluft-Grundwasserleiters zu erfassen, ebenso wie die Eigenschaften der schützenden Deckschicht schwierig aufzunehmen sind (heterogene Mischung aus Blöcken und Hangablagerungen mit wechselnder Zusammensetzung und Mächtigkeit). Unter Berücksichtigung der geringen Ausdehnung des Einzugsgebietes und der Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers von etwa 20 m/Tag erscheint die Annahme eines Kontinuums analog einem Lockergestein als angemessen (Abb. 7, Fall b1). Dies hat zur Folge, dass – abgesehen von der Zone S1 – das gesamte Einzugsgebiet als Zone S2 eingestuft werden sollte.

Anmerkungen

Die beiden dargestellten Beispiele zeigen, wie schwierig es ist, Trinkwasser aus instabilen und stark aufgelockerten Grundwasserleitern zu nutzen und zu schützen. Dies liegt einerseits an der stellenweise schnellen und unvorhersagbaren Fliessbewegung, andererseits am Risiko einer kurz- oder langfristigen Beschädigung der Fassungsanlagen. In solchen Fällen muss – um sich auf der sicheren Seite zu befinden – die Zone S2 auf fast das gesamte Einzugsgebiet ausgeweitet werden.

6.5.2 Gemischte Grundwasserleiter (Korn- und Kluftporosität)

a) Doppelte Porosität

Einige Festgesteine – hauptsächlich Sandsteine – besitzen neben der Kluftporosität eine ausgeprägte primäre Kornporosität. Diese hängt von den Eigenschaften des jeweiligen Gesteins ab (Korngrößenverteilung, Kompaktion, Metamorphose). In der Schweiz sind es hauptsächlich die Gesteine der Oberen Meeres-Molasse, die eine bedeutende Kornporosität aufweisen (Abb. 42).

Zudem trifft man in der Molasse und im Flysch häufig auf Gesteine, die innerhalb der obersten Meter eine sekundäre Kornporosität entwickelt haben. Diese Schicht fungiert dann analog einem Lockergesteins-Grundwasserleiter, der in die tiefer liegenden Klüfte entwässern kann (Abb. 43). Dieser Fall wird weiter hinten unter b) behandelt.

Beispiel 3: Matran (FR)

Tiefbohrung in Sandsteinen der Oberen Meeres-Molasse (Abb. 42)

Fassung

Die Gemeinde Matran bezieht ihr Trinkwasser aus vier Brunnen, die etwa 100 m tief in die Sandsteine des «Burdigalien» abgeteuft wurden.

Vorliegende Daten (nach Thierrin 1990)

Trotz der geringen Durchlässigkeit der Sandsteine (10^{-6} bis 10^{-7} m/s) werden pro Brunnen zwischen 50 und 200 l Wasser in der Minute gefördert. Das Gestein ist nur schwach geklüftet, so dass der Wassertransport hauptsächlich innerhalb des porösen Sandsteinmate-

rials erfolgt. Die Schichtfugen scheinen jedoch durchlässige Trennflächen darzustellen und deshalb eine nicht zu vernachlässigende Rolle bei der Entwässerung zu spielen. Das Wasser fliesst dem Brunnen ab etwa 30 m Tiefe zu und ist artesisch gespannt. Tritiumanalysen belegen, dass die geförderten Wässer vor 1950 infiltriert wurden.

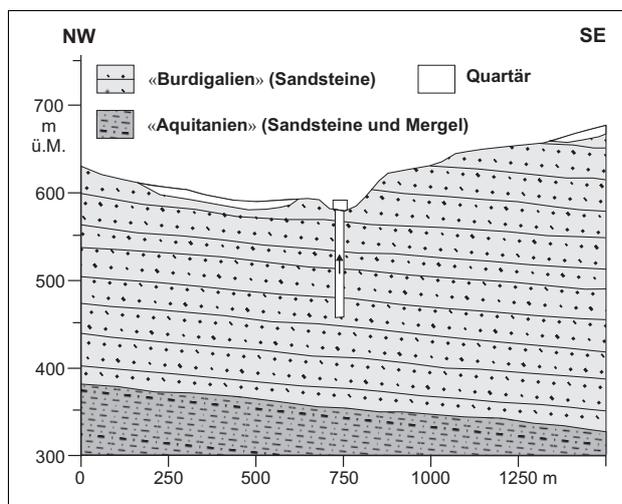


Abb. 42: Schematischer geologischer Profilschnitt im Bereich einer der Brunnenbohrungen von Matran in der Oberen Meeres-Molasse, «Burdigalien» (nach Thierrin 1990).

Schlussfolgerungen, Bemessung der Schutzzonen

Die hohe Verweilzeit des Grundwassers bescheinigt der Fassung eine sehr geringe Vulnerabilität (Fall a der Abb. 7). Die langsame Wasserbewegung wird dadurch verursacht, dass der Sandstein nur eine geringe Porosität aufweist und zudem nur schwach geklüftet ist. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit der Sandsteine ist der Grundwasserfluss recht langsam und Filtrationsprozesse werden wirksam. Ausserdem fasst der Brunnen artesisch gespanntes Wasser aus grosser Tiefe, welches wahrscheinlich regionalen Fliesssystemen angehört. In einem solchen Fall muss nur eine Zone S1 ausgeschieden werden, um einer direkten Verschmutzung der Fassung vorzubeugen. Jedoch müssen auch im Einzugsgebiet Beschränkungen gelten, die tiefliegende Anlagen (z.B. Wärmepumpen) oder Aktivitäten mit einem Langzeiteintrag von Schadstoffen in den Grundwasserleiter (z.B. Mülldeponien) betreffen.

Um gänzlich sicherzustellen, dass die Fassung keinen Zufluss aus oberflächennahen Schichten erhält, muss der Gang der physikalisch-chemischen Parameter während sehr starker Niederschlagsereignisse verfolgt werden. Eine Langzeitüberwachung ist auch deshalb notwendig, um eine ungünstige Veränderung der Charakteristiken des Grundwasserflusses im Laufe des Fassungsbetriebs rechtzeitig zu erkennen.

b) Speisung eines Kluft-Grundwasserleiters durch einen schwebenden Poren-Grundwasserleiter

Diese Situation tritt in der Schweiz in vielen geklüfteten Gesteinen auf. Bei den Poren-Grundwasserleitern handelt es sich dabei entweder um quartäre Ablagerungen (fluvioglaziale Rinnen, stellenweise durchlässige Moränen) oder aber im Fall klastischer Sedimentgesteine um oberflächennahe Verwitterungszonen (Entkalkung, Oxidation).

Beispiel 4: Luterbach (BE)

Quellen und Stollen in Sandsteinen, Konglomeraten und Mergeln der Oberen Meeres-Molasse (Abb. 43)

Der Standort Luterbach wurde im Rahmen eines internationalen Forschungsprojekts über Markierstoffe eingehend untersucht (Hötzl & Klaiber 1987, Schotterer & Müller 1987, Wernli 1987).

Fassungen und Quellen

Das Wasser wird in zwei Stollen gefasst, die am Fuss eines steilen Hangs in die Molasseschichten vorgetrieben worden sind. Die Stollen tragen zur Trinkwasserversorgung der Gemeinde Burgdorf bei. Ausserdem treten in dieser Gegend zahlreiche nicht gefasste Quellen an den Hügelflanken aus.

Vorliegende Daten

Die komplexe Funktionsweise des Standorts Luterbach wurde durch geophysikalische Messungen, durch Tracereingaben sowie durch physikalisch-chemische und isotopehydrologische Analysen des Quell- und Stollenwassers deutlich gemacht (Hötzl & Kleiber 1987, Schotterer & Müller 1987, Wernli 1987). Insgesamt er-

gaben die Untersuchungen relativ geringe Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers (2 bis 5 m/Tag), was mit der langen unterirdischen Aufenthaltszeit (mehrere Jahre gemäss den Isotopenmessungen) übereinstimmt. Die einzelnen Quellen haben voneinander abweichende physikalisch-chemische Eigenschaften, was auf Wasser unterschiedlicher Herkunft hinweist.

Schlussfolgerungen, Bemessung der Schutzzonen

Am Standort Luterbach lassen sich die verschiedenen Arten der Grundwasserbewegung, wie sie in der mittelländische Molasse vorkommen, beispielhaft veranschaulichen (siehe Abb. 43, 1 bis 5).

Für die Einstufung der Vulnerabilität einer Stollenfassung ist es wichtig, die einzelnen Wasserzuflüsse getrennt zu betrachten, da sie unterschiedlicher Herkunft sein können. Falls die Messungen zu generalisierend durchgeführt würden, könnten kleine Anteile von verunreinigtem Wasser unerkannt bleiben.

Im Fall Luterbach wurden für den gesamten Stollen Fließgeschwindigkeiten deutlich unter 10 m/Tag beobachtet, was mit den wenig variablen Eigenschaften des gefassten Wassers übereinstimmt. Zwar besitzen die einzelnen zufließenden Wässer voneinander abweichende physikalisch-chemische Eigenschaften und machen dadurch ihre unterschiedliche Herkunft deutlich. Dennoch veranschaulichen die Konstanz dieser Parameter und die Stabilität der Schüttungen (Wernli 1987) die geringe Vulnerabilität der Stollenwässer als Ganzes.

Für die Bemessung der Schutzzonen kann man die meisten Kluft-Grundwasserleiter innerhalb der mittelländischen Molasse als mehr oder weniger homogen bezeichnen, da sie stark von den Grundwasservorkommen des überlagernden porösen Gesteins bestimmt werden und die Kluftporosität relativ bescheiden entwickelt ist. Wenn die Klüfte einzig den überlagernden Poren-Grundwasserleiter entwässern, ist die Bemessung wie für Schutzzonen in Lockergesteinen durchzuführen (Anhang 4 der GSchV 1998).

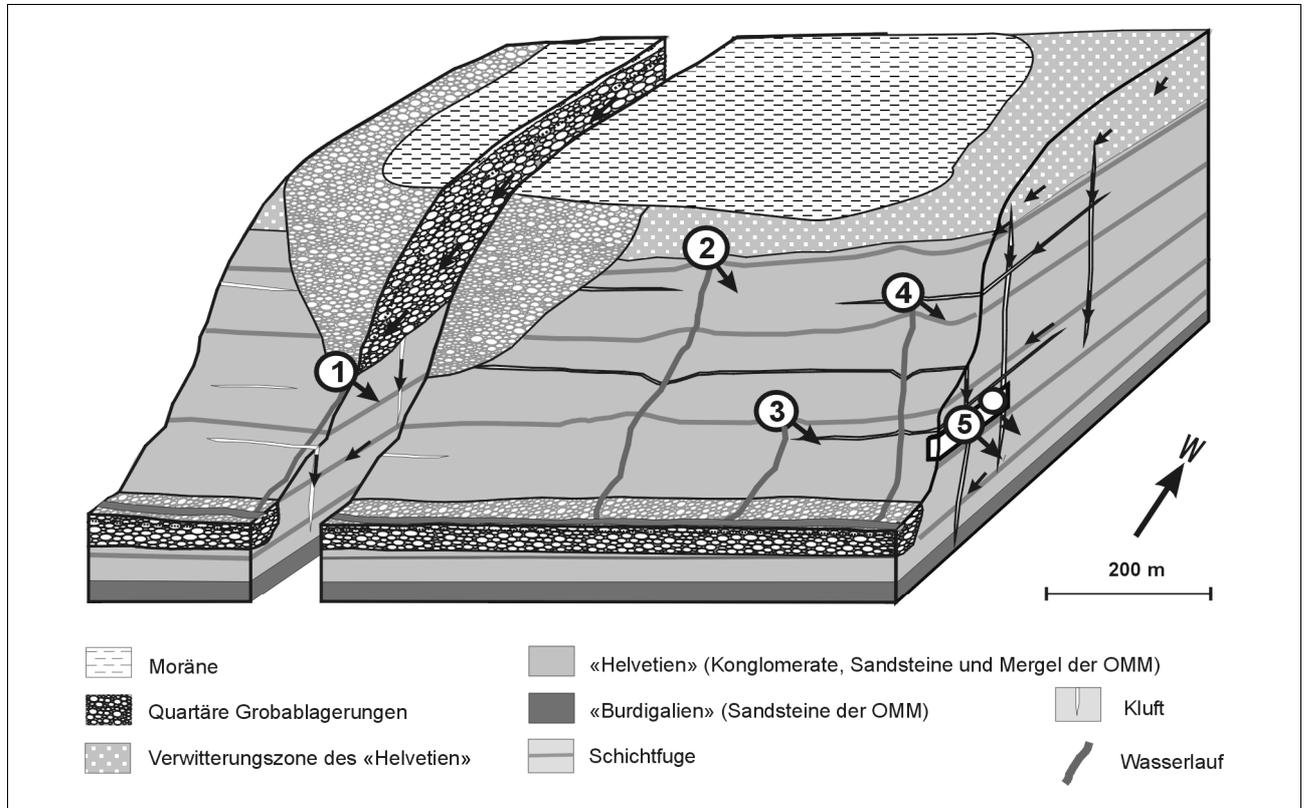


Abb. 43: Schematisches Blockdiagramm der verschiedenen Arten von Grundwasserbewegung am Standort Luterbach:

- 1) Quelle, die an eine quartäre Rinne gebunden ist,
 - 2) Quelle, die an eine oberflächlich verwitterte und entkalkte Molasseschicht gebunden ist,
 - 3) Quelle, die über einer mergeligeren Schicht austritt,
 - 4) Quelle, die an eine Kluft in nicht alteriertem Molassegestein gebunden ist, aber Wasser erhält, das in der alterierten Zone zwischengespeichert wurde,
 - 5) Stollenfassung, der Wasser entlang subvertikaler Klüfte zufließt, welche infolge der postglazialen Entlastung entstanden sind; diese Klüfte sind ebenfalls mit dem Grundwasservorkommen des porösen Gesteins in Verbindung.
- OMM = Obere Meeres-Molasse.

Anmerkungen

Für vulnerable Grundwasserfassungen innerhalb des schweizerischen Mittellandes sollte stets der Einsatz geophysikalischer Untersuchungsmethoden erwogen werden, da Aufschlüsse des Grundwasserleiters und auch morphologische Hinweise selten sind und deshalb die Struktur des Grundwasserleiters nur schwierig zu erfassen ist.

c) Wasseraustritt im Lockergestein

Angesichts der Allgegenwart quartärer Sedimente in den Alpen und im Mittelland stehen auch an den Aus-

trittszonen der Kluft-Grundwasserleiter oft unverfestigte Sedimente (Abb. 44) beträchtlicher Mächtigkeit und guter Durchlässigkeit an (Seitenmoräne, fluvio-glaziales Material, Hang- und Bergsturzschild). Unter diesen Bedingungen gefasstes Grundwasser ist dann eine Mischung aus Wasser des Kluft- und des quartären Grundwasserleiters.

Für vulnerable Fassungen muss in einem solchen Fall die Fließgeschwindigkeit sowohl im Kluft- als auch im Lockergesteins-Grundwasserleiter bestimmt werden, um Kenntnisse über das Fließsystem und die Herkunft des Wasseranteils mit einer geringen Aufenthaltszeit

im Untergrund zu erlangen. Bezüglich Markierversuchen ist eine Einspeisung sowohl in das geklüftete Gestein («regionales» Fließsystem), als auch in das Lockergestein («lokales» Fließsystem) erforderlich.

Schlussfolgerungen, Bemessung der Schutzzonen

Falls die hydraulischen Eigenschaften von Kluft- und Lockergestein deutlich voneinander abweichen (Heterogenität, Fließgeschwindigkeiten), müssen für beide Grundwasserleiter separate Schutzzonen nach unterschiedlichen Kriterien festgelegt werden:

- Isochronen-Methode für das Lockergestein (GSchV 1998).
- Anwendung der im Rahmen dieser Praxishilfe dargestellten Methodik (Abb. 7) für Kluft-Grundwasserleiter.

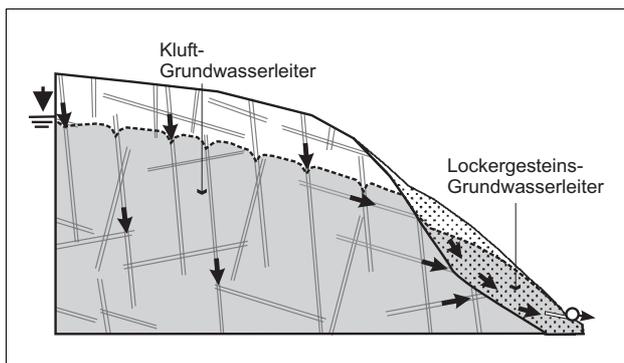


Abb. 44: Schematischer Profilschnitt durch einen Kluft-Grundwasserleiter mit Wasserübertritt in einen Lockergesteins-Grundwasserleiter.

6.5.3 Versickerung von Wasserläufen im Umfeld einer Fassung

Für nahe an Wasserläufen gelegene Grundwasserfassungen ist des öfteren eine bedeutende Zumischung von unmittelbar versickertem Oberflächenwasser zu beobachten. Die Fließgeschwindigkeiten sind in solchen Fällen, wegen des vom Bach her unter Druck stehenden Kluftwassers, häufig recht hoch (Abb. 45).

Besonders in gebirgigen Regionen, wo sich die Wiederaustrittszonen an topographisch tiefen Punkten befinden, ist diese Situation weit verbreitet. Zahlreiche Fassungen wurden an den Flanken von Quertälern nahe von Wasserläufen errichtet.

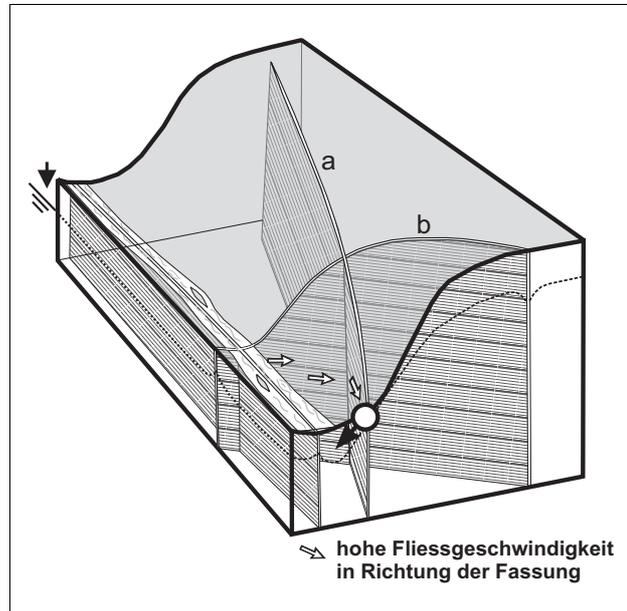


Abb. 45: Skizze der Quellsituation nahe eines Wasserlaufs. Das Bachwasser versickert und gelangt entlang der miteinander verbundenen Trennflächen a und b in kurzer Zeit in die Quelle.

Diese Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasser können durch Markierversuche nachgewiesen werden. Besonders wirkungsvoll ist die kontinuierliche Einspeisung eines Tracers über mehrere Stunden und eine Beprobung der Fassung in kurzen Zeitintervallen über mehrere Tage. Somit kann die Verweilzeit zwischen Versickerungsstelle und Fassung bestimmt und zudem der prozentuelle Anteil des Bachwassers an der Quellschüttung ermittelt werden.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Unter den oben beschriebenen Umständen wird die Qualität des Wassers in der Quelle stark von der Wasserqualität des Baches beeinflusst. Es ist dann empfehlenswert, eine Begrenzung dieser Einflüsse in Erwägung zu ziehen, z.B. durch die stellenweise Abdichtung des Bachbetts. Falls dies nicht durchführbar ist, müssen Massnahmen zur Sicherstellung der Reinheit des Bachwassers ergriffen (z.B. Ausscheidung eines Bereiches A₀) oder eine Wasseraufbereitung vorgesehen werden.

7 Empfehlungen, finanzielle Aspekte

7.1 Empfehlungen

Erhebung ergänzender Daten im Falle einer grossen Anzahl von Fassungen

Eine der Eigenschaften von Kluft-Grundwasserleitern in der Schweiz ist die grosse Anzahl von Quelfassungen mit geringer Schüttung (Mittelwert häufig zwischen 30 und 500 l/min). In den meisten Fällen decken die Gemeinden ihren Trinkwasserbedarf aus mehreren Fassungen, was den Aufwand für die Datenerhebung vervielfacht. Während es im Rahmen der Erstuntersuchung noch besonders wichtig ist, für jede einzelne Fassung ein ausreichendes Mass an Informationen zu beschaffen, so können die Fassungen für die weiteren Untersuchungen entsprechend der Ähnlichkeit ihrer Eigenschaften zusammengefasst werden, um die Kosten im Rahmen zu halten. Markierungsversuche oder die detaillierte Gangaufzeichnungen bei Hochwasserereignissen können somit auf repräsentative Fassungen beschränkt werden.

Anwendung der Kartierungsmethode «DISCO»

Bei der Anwendung der Methode «DISCO» spielt der aufgrund der Karten für die Parameter «Trennflächen» und «schützende Deckschicht» sowie der oberirdischen Abflussverhältnisse ermittelte Schutzfaktor eine wichtige Rolle. Handelt es sich um ein grossräumiges Einzugsgebiet (grösser als 1 km²) oder ist die Karte für die Parameter «Trennflächen» und «schützende Deckschicht» sehr komplex (grosse Anzahl von Polygonen unterschiedlicher Klassen), ist die Verwendung eines geographischen Informationssystems angebracht. Für Einzugsgebiete kleiner 1 km² und/oder wenig komplexer Parameterkarten kann sich ein Computer-Zeichen-

programm oder auch eine Darstellung von Hand als ausreichend erweisen.

Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit sollten die verschiedenen Karten zur Definition der Schutzzonen im Gutachten enthalten sein (Karten der Parameter «Trennflächen» und «schützende Deckschicht», Karten des «provisorischen Schutzfaktors» und des «definitiven Schutzfaktors»).

7.2 Finanzielle Aspekte

Wieviel Zeit für die Bemessung der Schutzzonen veranschlagt werden muss, hängt nicht nur von den Eigenschaften der Grundwasserfassung und den hydrogeologischen Verhältnissen ab, sondern auch vom Umfang der bereits vorliegenden Daten, der Zugänglichkeit des Standortes und der Art der Landnutzung. Eine Abschätzung der benötigten Arbeitsstunden für die Anwendung der dargelegten Methoden ist unten aufgeführt (Tab. 6). Die Stundenanzahl ist nur abgeschätzt und als Zeitspanne angegeben, um die genannten Standortunterschiede zu berücksichtigen. In komplexen Fällen oder wenn die Vordokumentation unzureichend ist, kann dieser Zeitrahmen auch überschritten werden.

Tab. 6: Abschätzung der für die Bemessung der Schutzzonen benötigten Stundenzahl, unterschieden nach den drei vorgestellten Methoden (Reiseaufwand nicht berücksichtigt); siehe Kommentare im Text, Kapitel 7.2.

Basisdaten

Zusammenstellung vorhandener Dokumentationen (Geologie und Hydrogeologie, Gemeindedokumentation)	4 bis 8 Stunden
Erkundung der Fassungen und des möglichen Einzugsgebietes, erste Messungen	4 bis 8 Stunden
10 Messreihen an den Fassungen	15 bis 50 Stunden
Auswertung der Daten, Kurzbericht	8 bis 16 Stunden
Sitzungen, Sonstiges	4 Stunden
Gesamt (gerundet)	35 bis 85 Stunden

Begleitkosten: Chemische und bakteriologische Analysen, Reisespesen

Zusätzliche Daten

Detailuntersuchung des Einzugsgebietes (Trennflächen, Infiltrationszonen)	4 bis 8 Stunden
Kombinierter Markierversuch (Organisation, Durchführung im Feld, Interpretation)	12 bis 24 Stunden
Aufzeichnung von Hochwasserereignissen	8 bis 12 Stunden
Auswertung der Daten, Kurzbericht	8 bis 16 Stunden
Gesamt (gerundet)	30 bis 60 Stunden

Begleitkosten: Kombinerter Markierversuch (Reisespesen, Tracer, Probenahme, Analysen), gegebenenfalls Miete für kontinuierliche Aufzeichnungsgeräte, Geophysik

Bemessung der Schutzzonen

Fall a

Erstellung des Schlussberichts, Karten, Schutzzonenreglement	8 bis 12 Stunden
Sitzungen, Sonstiges	4 Stunden
Gesamt (gerundet)	ca. 15 Stunden

Gesamtstunden für den Fall a (Basisdaten + Bemessung der Schutzzonen): 50 bis 100 Stunden

Fall b1

Erstellung des Schlussberichts, Karten, Schutzzonenreglement	12 bis 16 Stunden
Sitzungen, Sonstiges	4 Stunden
Gesamt (gerundet)	15 bis 20 Stunden

Gesamtstunden für den Fall b1 (Basisdaten + zusätzliche Daten + Bemessung der Schutzzonen): 80 bis 165 Stunden.

Fall b2

Kartierung der Parameter Trennflächen und schützende Deckschicht, Aufnahme der oberirdischen Abflussverhältnisse	8 bis 16 Stunden für 1 km ²
Auswertung, Erstellung der Karten, Ermittlung des Schutzfaktors	12 Stunden
Überprüfung im Gelände, Anpassungen	4 bis 6 Stunden
Erstellung des Schlussberichts, Schutzzonenreglement	16 Stunden
Sitzungen, interne Diskussionen, Sonstiges	8 Stunden
Gesamt (gerundet)	50 bis 60 Stunden

Gesamtstunden für den Fall b2 (Basisdaten + zusätzliche Daten + Bemessung der Schutzzonen): 115 bis 205 Stunden (+ 6 bis 10 Stunden pro zusätzlichen km²).

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die im Rahmen dieser Praxishilfe dargelegte Methodik ermöglicht die Bemessung von Schutzzonen für Grundwasserfassungen in geklüfteten Gesteinen, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen hydrogeologischen Verhältnisse der Schweiz. Die Methodik erlaubt die Schutzzonenbemessung aufgrund nachvollziehbarer hydrogeologischer Kriterien und mittels fachgerechtem Einsatz der einem Hydrogeologen zur Verfügung stehenden Instrumente.

Für Grundwasserfassungen, die auf natürliche Weise gut gegen Verschmutzungen geschützt sind, werden nur einfache Untersuchungen benötigt. Für vulnerable Fassungen sind aufwändigere Untersuchungen notwendig. Damit lassen sich die anfallenden Kosten für weniger problematische Fälle klein zu halten. Mit Hilfe des Entscheidungsablaufes können die zu beschaffenden Daten für die Bemessung von Schutzzonen auf das Notwendige beschränkt werden.

Für gering vulnerable Fassungen muss die Erhebung der Basisdaten mit besonderer Sorgfalt erfolgen, da die Distanz-Methode nur dann angewendet werden darf, wenn sich die Fassung wirklich ausgesprochen stabil verhält (selbst bei starken Niederschlägen) und die Wasserqualität stets einwandfrei ist.

Für vulnerable Fassungen in schwach heterogenen Grundwasserleitern werden die Schutzzonen bemessen, indem der Kluft-Grundwasserleiter entsprechend einem Kontinuum analog einem Lockergestein betrachtet wird. Da der Grundwasserleiter im kleinräumigen Massstab jedoch durchaus heterogen aufgebaut ist, muss die Bestimmung der Fliessgeschwindigkeit, welche für die Ermittlung der 10-Tages-Isochrone ent-

scheidend ist, gewissenhaft erfolgen. Die Markierversuche sollten immer unter optimalen Bedingungen durchgeführt werden (hohe Grundwasserstände, Eingabe der Tracer an mehreren möglichst stark geklüfteten Stellen). Nur so können die Schutzzonen richtig bemessen und kann ein ausreichender Schutz für die Fassungen garantiert werden.

Für vulnerable Fassungen in einem stark heterogenen Grundwasserleiter werden die Schutzzonen aufgrund einer Kartierung der Vulnerabilität nach der Multikriterien-Methode «DISCO» bemessen. Deren Anwendung erfordert einen grösseren Aufwand und ist stets mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, die von der Qualität der im Einzugsgebiet erhobenen Daten abhängt. Die Anwendung der Multikriterien-Methode ist die einzige Vorgehensweise, welche es erlaubt, potenzielle Gefährdungen des gefassten Wassers (Viehhaltung, Tourismus) in Einklang mit den Anforderungen an die Trinkwasserversorgung zu bringen. Der Preis für die Vorsorge stellt eine lohnende Investition dar. Die Anwendung der Multikriterien-Methode ermöglicht eine entsprechende Planung der Bodennutzung (Austrag von Gülle und andern Düngemitteln sowie Anwendung von Pestiziden) im gesamten Einzugsgebiet der Fassung und führt somit zu einer dauerhaften Verbesserung der Wassergüte. Ausserdem wird innerhalb der empfindlichsten Stellen (Zonen S1 und S2) der punktuelle Schadstoffeintrag durch Unfälle (z.B. Auslaufen von Gülle oder Brennstoff) oder durch Dauernutzung (z.B. Tränken, Melkplätze) vermieden.

9 Literaturverzeichnis

- ABA GEOL 1996: Etude hydrogéologique pour la délimitation des captages communaux du massif de la Berra à la Roche. Unveröff. Bericht, Freiburg.
- AMMAN, P. 1983: Le sorgenti comunali, idrogeologia e zone di protezione. Unveröff. Bericht, Losone.
- AVIAS, J.V. 1982: Sur la méthodologie d'étude de la décompression superficielle morphologique et tectonique des milieux fissurés. Application à la recherche et à l'exploitation des aquifères de ces milieux. Document BRGM, Colloque National, Orléans-La Source en hommage à G. Castany, mars 1982. Les milieux discontinus en hydrogéologie, comm. N° 45, 47–51.
- BASABE-RODRIGUEZ, P.P. 1993: Typologie des eaux souterraines du Flysch de la nappe tectonique du Niesen (Préalpes Suisses). Dissertation EPFL, 200 S., Lausanne.
- BRUTTIN, A.-M. 1994: Etude hydrogéologique pour la délimitation des zones de protection des sources. Rive droite. Services industriels de Bagnes. Unveröff. Bericht.
- BUWAL 2004: Wegleitung Grundwasserschutz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- CRUCHET, M. 1985: Influence de la décompression sur le comportement hydrogéologique des massifs cristallins en Basse Maurienne (Savoie, France). Géol. Alpine 61, 65–73.
- CSD 1985: Wasserversorgungs-Genossenschaft Weissenberg-Obersteg-Bleiken. Quellen Weissenberg. Hydrogeologischer Bericht, Vorschlag Schutzzonenausscheidung. Unveröff. Bericht.
- DALY, D., DASSARGUES, A., DREW, D., DUNNE, S., GOLDSCHIEDER, N., NEALE, S., POPESCU, C. & ZWAHLEN, F. 2002: Main concepts of the «European Approach» for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping. Hydrogeology Journal 10, 340–345.
- DOERFLIGER, N. & ZWAHLEN, F. 1998: Kartierung der Vulnerabilität in Karstgebieten (Methode E-PIK). Praxishilfe. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 56 S.
- DUBOIS, J.D. 1991: Typologie des aquifères cristallins: exemple des massifs des Aiguilles Rouges et du Mt-Blanc. Dissertation EPFL, 324 S., Lausanne.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. 1991: Karst geomorphology and hydrology. Chapman & Hall, London, 601 S.
- FURRER, H., HUBER, K., ADRIAN, H., BAUD, A., FLÜCK, C., PREISWERK, P., SCHULER, P. & ZWAHLEN, P. 1993: Blatt 87 Adelboden. – Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Karte + Erläuterungen. LHG (Landeshydrologie und-geologie), Bern.
- GRUBENMANN, H.U. 1994: Schutzzonenausscheidung im Berggebiet. Ergänzende Untersuchungen. Ergebnisse 1991–1993. Unveröff. Bericht, Geotechnisches Büro, Gommiswald.
- HABICHT, K. 1945: Geologisches Untersuchungen im südlichen sanktgallischen-appenzellischen Molassegebiet. Beitr. geol. Karte Schweiz N. F. 83.
- HACHICHA, M., BOUKSILALA, F., ZAYANI, K. & MHIRI, A. 1996: Étude comparative de la perméabilité mesurée par les méthodes de Reynolds, Porchet et Müntz dans le cas de sols argileux affectés par la salinité. Note méthodologique. Cahiers sécheresse vol 7/3, 209–215.
- HÖTZL, H. & KLAIBER, D. 1987: Hydrogeologic introduction into the Molasse Sandstone testsite, Switzerland. – Proceeding of the International Symposium on Underground Water Tracing 1986, Athens – Institute of Geology and Mineral Exploitation, Athens, 391–401.
- IGC 1993: progetto A560, strada delle Centovalli, portate e caratteristiche fisico-chimiche delle acque per l'anno idrologico 1992–1993. Istituto geologico cantonale, Dipartimento del territorio, Unveröff. Bericht, Cadenazzo.
- JAMIER, D. 1975: Etude de la fissuration, de l'hydrogéologie et de la géochimie des eaux profondes des massifs de l'Arpille et du Mt-Blanc. Dissertation Univ. Neuenburg, 153 S.
- KELLER, B. 1992: Hydrogeologie des schweizerischen Molasse-Beckens: Aktueller Wissenstand und weiterführende Betrachtungen. Eclogae geol. Helv. 85/3, 611–651.
- KIRCHHOFER, W. & SEVRUK, B. 1992: Mittlere jährliche korrigierte Niederschlagshöhen 1951–1980.

- Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 2.2. LHG (Landeshydrologie und -geologie).
- LALLEMAND-BARRES, A. & ROUX, J.-C. 1999: Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Manuel & méthode. BRGM, Orléans, 334 S.
- MAILLET, E. 1905: Essai d'hydraulique souterraine et fluviale. Hermann, Paris.
- MARECHAL, J.-C. 1998: Les circulations d'eau dans les massifs cristallins alpins et leurs relations avec les ouvrages souterrains. Dissertation EPFL, 297 S., Lausanne.
- McRAE, S.G. 1988: Practical pedology – studying soils in the fields. Ellis Horwood Limited, Chichester, 253 S.
- MENZEL, L., LANG, H. & ROHMANN, M. 1999: Mittlere jährliche aktuelle Verdunstungshöhen 1973–1992. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 4.1. LHG (Landeshydrologie und -geologie), Bern.
- METEOSCHWEIZ 1999: Niederschlagsbulletin Jahr 1999. MeteoSchweiz.
- METEOSCHWEIZ 2000: Niederschlagsbulletin Jahr 2000. MeteoSchweiz.
- REHSE, W. 1977: Elimination und Abbau von organischen Fremdstoffen, pathogenen Keimen und Viren in Lockergestein. Zeit. Deut. Geol. Ges., 128, 319–329, Hannover.
- SAUTIER, J.-L. 1984: Guide du Service fédéral d'améliorations foncières. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- SCHAER, J.P. 1960: Géologie de la partie septentrionale de l'éventail de Bagnes. Dissertation Univ. Neuenburg, Auszug aus «Archives des sciences, Genève», 474 – 620.
- SCHÄDLER, B. & WEINGARTNER, R. 2002: Komponenten des natürlichen Wasserhaushalts 1961–1990. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 6.3. BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie), Bern.
- SCHAUL, T. 1999: Délimitation des zones de protection en milieu fissuré. Exemple d'application dans la Molasse chevauchée (Rieden, SG). Unveröff. Diplomarb., Centre d'Hydrogéologie, Universität Neuenburg.
- SCHNEIDER, H. 1988: Die Wassererschliessung. Vulkan-Verlag, Essen, 876 S.
- SCHOTTERER, U. & MÜLLER, I. 1987: Investigation of groundwater flow systems in a quaternary-sandstone complexe near Berne (Switzerland), by means of indirect methods of environmental isotopes and geophysics. – Proceeding of the International Symposium on Underground Water Tracing 1986, Athens – Institute of Geology and Mineral Exploitation, Athens, 403–412.
- SCHUDEL, B., BIAGGI, D., DERVEY, T., KOZEL, R., MÜLLER, I., ROSS, J.H. & SCHINDLER, U. 2002: Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie – Praxishilfe. Berichte des BWG, Serie Geologie Nr. 3, Bern.
- STECK, A., BIGIOGGERO, B., DAL PIAZ, G.V., ESCHER, A., MARTINOTTI, G. & MASSON, H. 1999: Carte tectonique des Alpes de Suisse occidentale, 1:100'000. Carte géologique spéciale No 123. LHG (Landeshydrologie und -geologie), Bern.
- THIERRIN, J. 1990: Contribution à l'étude des eaux souterraines de la région de Fribourg (Suisse Occidentale). Diss. Univ. Neuenburg, 306 S.
- WEIDMAN, M. 2002: Feuille 1205 Rossens. – Atlas géol. Suisse 1:25'000, Carte 105. Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern.
- WERNLI, H.R. 1987: Zur Anwendung von Tracermethoden in einem quartärbedeckten Molassegebiet. – Proceeding of the International Symposium on Underground Water Tracing 1986, Athens – Institute of Geology and Mineral Exploitation, Athens, 413–421.

Gesetzliche Grundlagen (des Bundes):

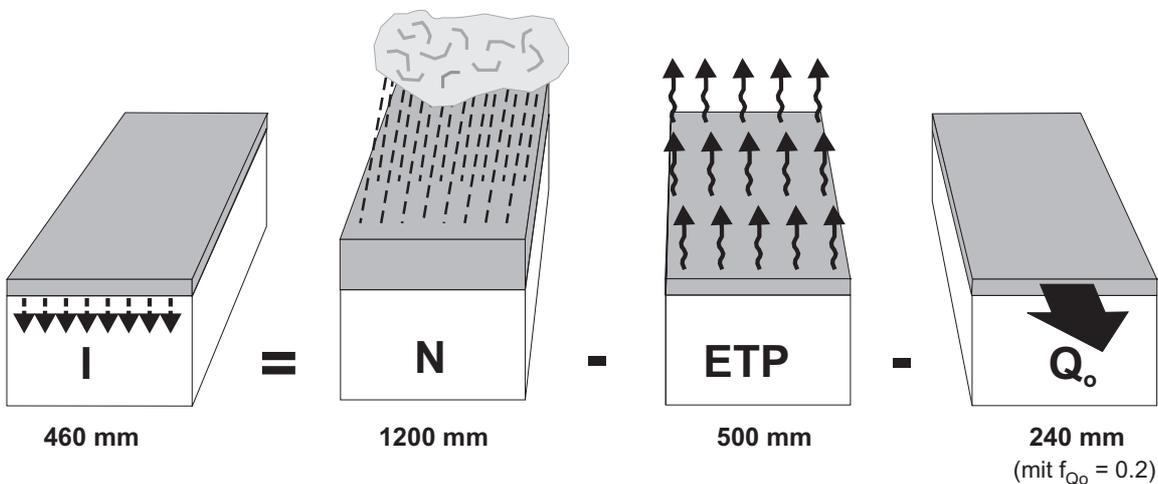
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG, SR 814.20) vom 24. Januar 1991.
- Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) vom 28. Oktober 1998.

Anhänge

Anhang 1 Bestimmung der Einzugsgebietsgrösse mit der Bilanz des Jahresniederschlags

Die Bilanzierung erfolgt in 3 Schritten. Ein vierter Schritt ist für die Anpassung der Grenzen des Einzugsgebietes notwendig.
Die Berechnungen sind Näherungswerte. Die ermittelten Flächen stellen Mindestwerte dar.

- 1) Bestimmung der versickerten Wassermenge **I** (effektive Versickerung, Grundwasserneubildung) mittels **N** (Niederschlag), **ETP** (Evapotranspiration) und **Q_o** (Oberflächenabfluss) :



Datengrundlage:
Niederschlagsbulletin (MeteoSchweiz); Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 2.2 (Kirchofer & Sevruck 1992) und Tafel 6.3 (Schädler & Weingartner 2002).

Datengrundlage:
Daten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (MeteoSchweiz); Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 4.1 (Menzel et al. 1999) und Tafel 6.3 (Schädler & Weingartner 2002).

Datengrundlage:
Abflussfaktor f_{Qo} aus der Literatur (z.B. Sautier 1984).
Geländebeobachtungen: Gewässernetz, Bodennutzung, Hangneigung, Bodeneigenschaften.
Parameter der Wasserbilanz: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 6.3 (Schädler & Weingartner 2002).

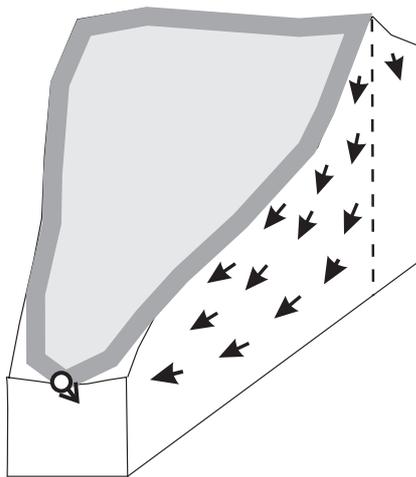
- 2) Abschätzung der jährlichen Gesamtschüttung der Quelfassung :

Schüttung der Fassung: $Q_{\text{mittel}} = 250 \text{ l/min} \rightarrow Q_{\text{Jahr}} = 131'400 \text{ m}^3/\text{a}$

- 3) Überschlägige Berechnung der Oberfläche des Einzugsgebietes:

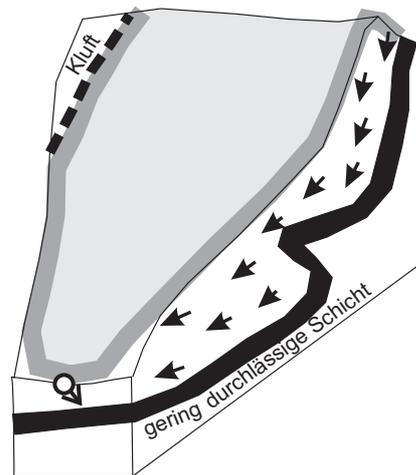
$$F = \frac{Q_{\text{Jahr}} [\text{m}^3]}{\text{infiltrierte Wassermenge} [\text{m}]} = \frac{131'400 [\text{m}^3]}{0.46 [\text{m}]} = 285'600 \text{ m}^2 = \boxed{0.3 \text{ km}^2}$$

4) Anpassung der Grenzen des Einzugsgebietes an die lokalen topographischen und hydrogeologischen Verhältnisse.



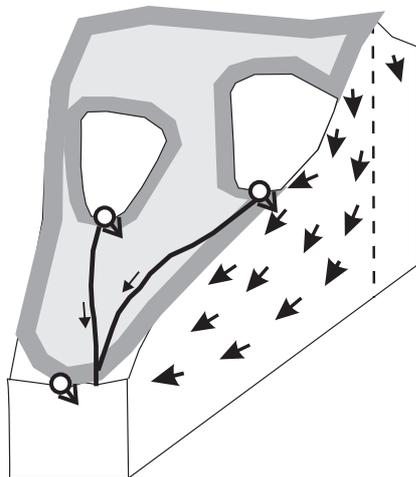
Topographie

Vergleich der durch die Wasserbilanz ermittelten Oberfläche mit dem orographischen Einzugsgebiet der Quelle (Kammlinie etc.).



Geologische Struktur

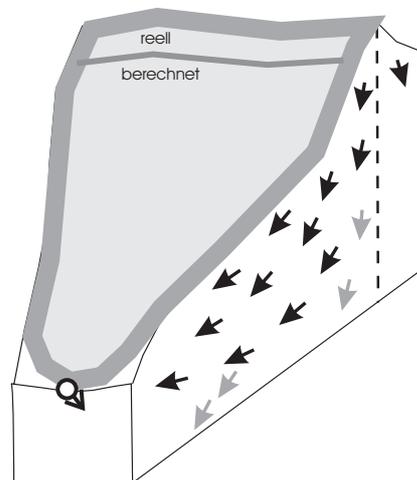
Berücksichtigung der geologischen Strukturen, die das hydrogeologische Einzugsgebiet begrenzen.



Auftreten weiterer Quellaustritte

Das Miteinbeziehen weiterer Wasseraustritte im Umfeld der betrachteten Quelle erlaubt es,

- die Grenzen des Einzugsgebietes besser festzulegen, indem die Einzugsgebiete dieser Quellen grob abgeschätzt werden,
- oberflächennah gespeiste Quellen, welche das Wasser aus dem Einzugsgebiet herausführen, zu berücksichtigen.



Anteil an tieferliegenden Fließsystemen

Ein Teil des im Einzugsgebiet der Quelle versickerten Wassers kann auch tiefere Fließsysteme speisen (nicht zu quantifizieren), was bei der Berechnung der Jahreswasserbilanz zu einer Unterbewertung der Fläche des Einzugsgebietes führen kann.

Anhang 2 Generelle Einstufung der Vulnerabilität einer Grundwasserfassung

A Schüttung, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit

Notwendige Mindestanzahl an Messungen

Das hydraulische Verhalten einer Grundwasserfassung soll aufgrund einer genügend grossen Anzahl Messungen (mindestens zehn) der Schüttung, der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur beschrieben werden. Unter diesen Messungen sollten mindestens zwei sein, die nach starken Niederschlägen erfolgten (mindestens 15 bis 20 mm). Eine Verteilung der Messungen über einen längeren Zeitraum (wenn möglich über ein hydrologisches Jahr mit einer Messung pro Monat) erlaubt es ausserdem, die mittlere Quellschüttung abzuschätzen und jahreszeitliche Schwankungen zu erfassen.

Messungen bei starken Niederschlägen

Das Ansprechen einer Fassung hängt stark vom Sättigungsgrad des Bodens und des Untergrunds ab. Nach einer langen Trockenperiode können starke Niederschläge (>15 mm) unter Umständen nur eine schwache Reaktion an der Fassung bewirken, da zunächst das Wasserdefizit des Bodens, der Pflanzen und des ungesättigten Untergrundes gedeckt wird. Der gleiche Starkregen kann dagegen in einer relativ feuchten Periode die Schüttung, die Temperatur und die elektrische Leitfähigkeit der Fassung deutlich beeinflussen. Es ist deshalb sicherzustellen, dass die Messungen aus einer für den Grundwasserleiter aussagekräftigen Niederschlagsperiode stammen.

Aussagekraft der Messungen

Um die Aussagekraft der Messungen sicherzustellen, müssen einige Voraussetzungen erfüllt sein:

- Der Ort der Messung muss präzisiert sein (Fassung, Sammelschacht, Reservoir) und auch beibehalten werden, damit die einzelnen Messwerte vergleichbar sind. Die Messungen sollten für jede Quelle einzeln durchgeführt werden und möglichst nahe an der Austrittsstelle erfolgen.

- Es muss dokumentiert werden, wie die Schüttung gemessen wurde (Messeimer, Messwehr), zudem sollten die Messunsicherheiten abgeschätzt werden.
- Bei der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit muss die Referenztemperatur angegeben werden (20 oder 25 °C). Der abgelesene Wert muss sich eingependelt haben.
- Für die Interpretierbarkeit der Ergebnisse sollen ergänzend zu den Niederschlagsdaten von Meteo Schweiz auch kurz die meteorologischen Bedingungen vor Ort während der Messung bzw. während der vorangegangenen Tage festgehalten werden (z.B. lokales Gewitter, Niederschlag als Schnee, Schneeschmelze).
- Bei der Auswertung vorhandener Daten soll deren Verlässlichkeit und Plausibilität geprüft werden.

Darstellung und Auswertung der Ergebnisse

Der zeitliche Gang der Schüttung, der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit sollte zusammen mit den Niederschlagsdaten der nächstgelegenen meteorologischen Station grafisch dargestellt werden (siehe z.B. Abb. 21). Auf diese Art können die Schwankungen der gemessenen Parameter in Beziehung zu den meteorologischen Bedingungen gesetzt und interpretiert werden.

B Wasserqualität

Bakteriologie

Für die Bemessung der Schutzzonen werden mindestens drei bakteriologische Analysen empfohlen. Die Proben müssen dann entnommen werden, wenn das Risiko einer Verunreinigung im Einzugsgebiet erhöht ist (Viehhaltung auf der Weide, Ausbringung von Gülle, Tourismus) und bei ungünstigen meteorologischen Bedingungen (nach starken Niederschlägen).

Chemie

Inwieweit chemische Analysen von Bedeutung sind, hängt von der Art der Bodennutzung ab. Bei intensiver

Landwirtschaft sind mehrere Analysen auf Nitrat und Pestizide nötig. Wo sich die Landwirtschaft auf Viehhaltung beschränkt, können zwei Probenahmen mit einer chemischen Analyse auf die Hauptionen, Nitrat, Ammonium und den Sauerstoffbedarf ausreichen.

Trübung

Bei den vorgenommenen Messungen muss nicht zwangsläufig auch die Trübung des Wassers mitbestimmt werden. Jedoch soll man, falls sich Ablagerungen von Feinpartikeln in der Fassung befinden oder sich das Quellwasser bei starken Niederschlägen trübt, durch Messungen der Trübung diese Problematik dokumentieren. Wenn Probleme mit der Trübung vermutet werden, sollen entsprechende Messungen auf jeden Fall während Starkniederschlägen erfolgen.

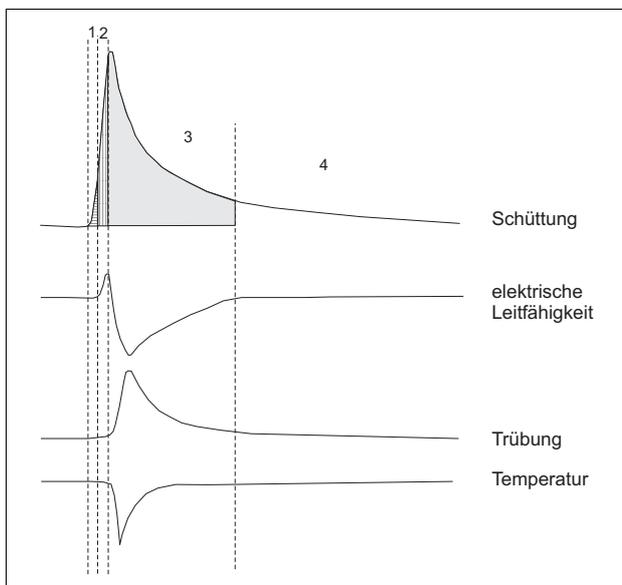
Anhang 3 Charakterisierung der Grundwasserleiter mittels Hydrogrammen

A Auswertung der Hydrogramme

Der Verlauf der Schüttung, der Temperatur, der elektrischen Leitfähigkeit und der Trübung während eines starken Niederschlagsereignisses gibt Aufschluss über die allgemeinen Eigenschaften des Grundwasserleiters und über dessen Vulnerabilität.

Für Karst-Grundwasserleiter existieren verschiedene Methoden, um die Reaktion von Quellen zu interpretieren und um Rückschlüsse auf die Struktur und das Funktionieren solcher Grundwasserleiter zu ziehen. Bei Kluft-Grundwasserleitern wurden Hydrogramm-Interpretationen bisher wenig eingesetzt. Gewisse Ansätze, welche für Karstquellen verwendet werden, können jedoch auch bei Kluftquellen Informationen über die hydrogeologischen Verhältnisse liefern.

Unterteilung eines Hydrogramms in mehrere Phasen (abgeändert nach Ford & Williams 1991)



Anmerkungen: Das dargestellte Hydrogramm ist nur ein Beispiel. Der Verlauf der Kurven ist für jeden Grundwasserleiter, jede Quelle und jede hydrologische Situation unterschiedlich (z.B. abhängig von der Niederschlagsmenge sowie deren örtlicher und zeitlicher

Verteilung, von der Sättigung des Bodens und des Untergrundes vor dem Ereignis usw.). Der Piston-Effekt (Phasen 1 und 2) stellt sich nicht immer ein.

Phasen 1 und 2: Piston-Effekt. Der Schüttungsanstieg wird nicht von einem Rückgang der elektrischen Leitfähigkeit begleitet, da das neu versickerte Wasser noch nicht die Fassung erreicht hat. Dies wird durch die gleichbleibende Temperatur und Trübung belegt (evtl. Erhöhung der Trübung durch erhöhte Fließgeschwindigkeiten im Grundwasserleiter). Das zuvor im gesättigten und nicht wassergesättigten Untergrund gespeicherte Wasser wird durch den steigenden Wasserdruck in Richtung Quellaustritt gestossen. Innerhalb der Phase 1 bleiben die Eigenschaften des austretenden Wassers vergleichbar mit denen vor Beginn der Niederschläge. In der Phase 2 kann eine Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit beobachtet werden. Offenbar wird stärker mineralisiertes Wasser, das aus weniger durchlässigen Bereichen innerhalb des gesättigten oder nicht wassergesättigten Untergrundes stammt, mobilisiert.

Phase 3: Neu versickertes Wasser erreicht den Quellaustritt. Es kommt zu einem negativen Peak der elektrischen Leitfähigkeit, oft verbunden mit einer Temperaturänderung (Zu- oder Abnahme entsprechend der Temperaturunterschiede zwischen Niederschlag und Untergrund) und einer Erhöhung der Trübung. Wasser, das an stark durchlässigen Stellen mit einer guten Anbindung an den Quellaustritt versickert ist, erreicht nun die Quelle (direkte Infiltration von Niederschlag und Oberflächenwasser).

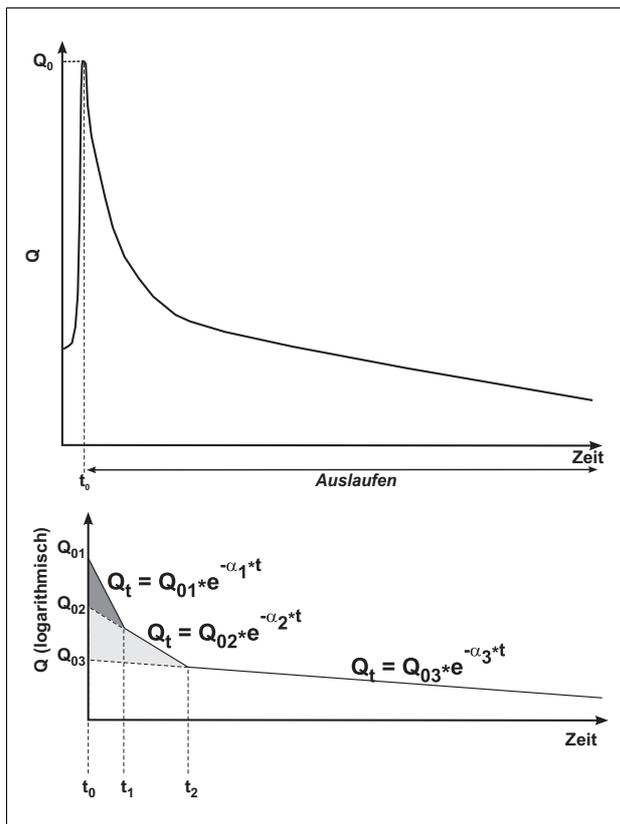
Phase 4: Allmählich nimmt in der Quelle der Anteil des neu versickerten Wassers ab. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften des austretenden Wassers unterscheiden sich immer weniger vom älteren Wasser, was auf die längere Verweilzeit im Grundwasserleiter zurückzuführen ist. Die Eigenschaften des Wassers und der Verlauf der Schüttungskurve zeigen, dass diese Phase dem *Basisabfluss* entspricht.

B Unterteilung der Hydrogramme

nach der Methode von Maillet (1905)

Die Auslaufkurve einer Quelle in halblogarithmischer Darstellung kann normalerweise in mehrere gradlinige Teilbereiche untergliedert werden, da mehrere exponentielle Abschnitte aufeinander folgen. Jeder exponentielle Abschnitt entspricht einem Speicher, der sich mehr oder weniger schnell entleert und dem folglich eine mehr oder weniger grosse Durchlässigkeit zugeschrieben werden kann.

Beispiel eines Hydrogramms mit einer in drei exponentielle Abschnitte unterteilten Auslaufkurve:



Die Anfangsschüttungen Q_{0i} zu Beginn der Entleerung eines Speichers, die Auslaufkoeffizienten α_i (= Steigung der abfallenden Kurvenäste) und die Zeiten t_i für die Schnittpunkte der Kurvenabschnitte können dem Diagramm entnommen werden. Dadurch können verschiedene Speicher getrennt voneinander erfasst werden.

Falls diese Auflösung in mehrere voneinander getrennte Speicherräume mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften nicht mit einem einfachen Modell in Einklang gebracht werden kann, erlaubt diese Methode zumindest die Heterogenität des Grundwasserleiters zu erfassen (je mehr unterschiedliche Koeffizienten α , desto heterogener der Untergrund).

Ausserdem kann das Wasservolumen, das im Laufe der hohen Grundwasserstände bei der Quelle ausgeflossen ist, berechnet werden. Es entspricht der Fläche der Dreiecke im dargestellten Diagramm. Vergleicht man dieses Wasservolumen mit der abgeschätzten Menge des in dieser Zeit versickerten Wassers (= Fläche des Einzugsgebietes mal wirksame Niederschlagshöhe), kann auch der Prozentsatz an schnell transportiertem Wasser angegeben werden. Je höher dieser Prozentsatz ist und je schneller der Speicher leerläuft, desto eher ist der Grundwasserleiter vulnerabel (ein grosser Anteil des Niederschlags gelangt in kurzer Zeit entlang gut durchlässiger Bereiche zur Quelle).

Anhang 4 Empfehlungen für Markierversuche in geklüfteten Gesteinen

Eingabestelle: In geklüfteten Gesteinen bewirkt die lokale Heterogenität (m- oder cm-Bereich), dass die Ergebnisse eines Markierversuchs stark vom Ort der Einspeisung abhängen. Deshalb sollten einige Regeln für die Tracereingabe beachtet werden:

- Auswahl eines möglichst durchlässigen Bereiches auf Grundlage morphologischer, geologischer und geophysikalischer Kriterien.
- Einspeisung in eine möglichst weite Grube, um die Wahrscheinlichkeit einer Versickerung in besonders durchlässige Trennflächen zu erhöhen.
- Durchführung von Versickerungsversuchen am Ort der Eingabe, um sicherzustellen, dass die gewählte Stelle ausreichend durchlässig ist.

Eingabe mehrerer Markierstoffe: Die gleichzeitige Anwendung von zwei oder drei verschiedenen Tracern (kombinierter Markierversuch) begünstigt ein positives Versuchsergebnis und lässt genauere Rückschlüsse über das betreffende Fließsystem zu.

Hydrologische Bedingungen: Die Fließgeschwindigkeiten im Untergrund sind bei niedrigen Grundwasserständen geringer als bei hohen Grundwasserständen. Will man die Fließgeschwindigkeiten mittels eines Tracerversuchs bestimmen, so sollte die Markierstoffeingabe während hoher Wasserstände erfolgen, wenn sich die Verhältnisse also ungünstig auf die Wasserqualität auswirken.

Menge des einzugebenden Markierungsstoffes: Im geklüfteten Gestein ist die Rückgewinnungsrate von Tracern oft recht gering (einige %) und die Durchgangsdauer aufgrund ausgeprägter Dispersion sehr lang (einige Wochen). Es muss deshalb eine ausreichende Menge des Markierungsstoffes eingegeben werden. Verglichen mit vergleichbaren Quellschüttungen im Karst oder Lockergestein benötigt man im geklüfteten Gestein weit grössere Tracermengen (etwa 5 mal mehr).

Spülung: Die eingespeiste Flüssigkeitsmenge muss ausreichen, um den Markierstoff in den gesättigten Untergrund zu spülen, darf allerdings nicht zu gross sein,

um nicht künstlich einen übermässig starken hydraulischen Gradienten zu schaffen. Im Allgemeinen sind für die Spülung 2 oder 3 m³ ausreichend, um eine gute Anbindung des Tracers an den wassergesättigten Untergrund zu erreichen.

Beprobung: Der Gefahr einer Verschleppung von Tracermaterial muss dadurch vorgebeugt werden, dass die für die Probenahme zuständige Person in keinerlei Kontakt mit dem Markierstoff gelangt. Ausserdem ist die Entnahme einer Blindprobe vor Beginn des Versuchs unverzichtbar. Diese sollte noch vor Versuchsdurchführung analysiert werden, um zu überprüfen, ob im Wasser noch Tracerrückstände oder andere Substanzen (organisches Material, optische Aufheller) vorhanden sind, die den Nachweis des gewählten Tracers beeinträchtigen könnten.

Das Beprobungsintervall muss zunächst sehr eng sein und kann mit der Zeit immer mehr gestreckt werden. Während der ersten Periode mit starkem Niederschlag nach der Tracereinspeisung soll die Probenahme unbedingt in sehr kurzen Abständen erfolgen.

Anmerkungen: Für die Bestimmung der 10-Tages-Isochrone ist eigentlich nur die Verweilzeit des Grundwassers im wassergesättigten Untergrund massgebend. Der Tracer sollte demnach möglichst nahe am Grundwasserspiegel eingespeist werden. Liegt allerdings eine gut schützende Deckschicht mit homogenem Aufbau und einer Mächtigkeit von mehreren Metern vor, kann dies bei der Bemessung der Zone S2 berücksichtigt werden (BUWAL 2004, Wegleitung Grundwasserschutz).

Wenn eine Vulnerabilitätskartierung mittels Markierversuchen überprüft werden soll, müssen diese unter natürlichen Bedingungen durchgeführt werden, ohne die schützende Deckschicht zu beeinträchtigen.

Für weiterreichende Informationen bezüglich der Durchführung und Auswertung von Markierversuchen sei hier auf die Praxishilfe «Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie» (Schudel et al. 2002) verwiesen.

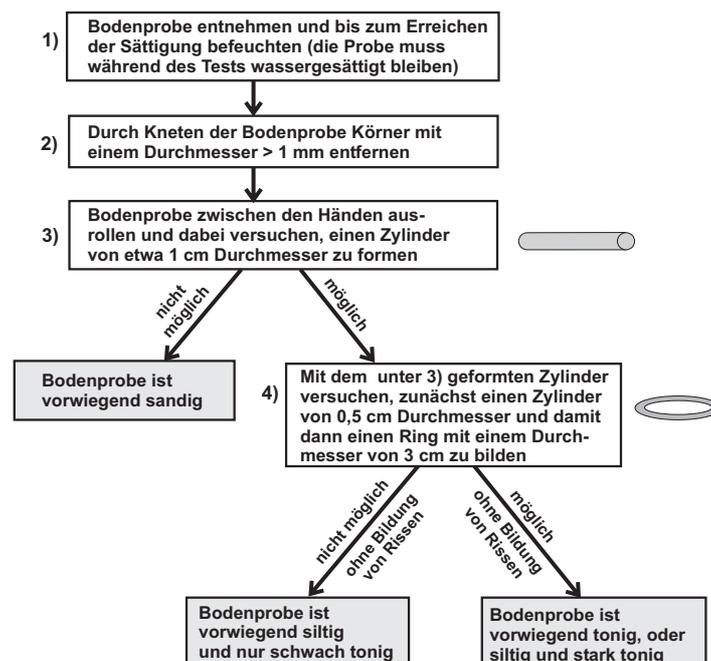
Anhang 5 Charakterisierung der Böden (Boden im pedologischen Sinn und Lockergesteine)

A Reinigungsvermögen unterschiedlicher Bodentypen unter ungesättigten Bedingungen (Rehse 1977)

M	Beschreibung	H (m)	I = 1/H
1	Humus, 5-10 % Humus, 5-10 % Ton	1.2	0.8
2	Ton ohne Trockenrisse, toniger Silt, stark toniger Sand	2	0.5
3	toniger Silt bis Silt	2.5	0.4
4	Silt, siltiger Sand, siltiger und schwach toniger Sand	3.0 - 4.5	0.33 - 0.22
5	Fein- bis Mittelsand	6	0.17
6	Mittel- bis Grobsand	10	0.1
7	Grobsand	15	0.07
8	siltiger Kies, stark sandig und tonig	8	0.13
9	schwach siltiger Kies, stark sandig	12	0.08
10	Fein- bis Mittelkies, stark sandig	25	0.04
11	Mittel- bis Grobkies, schwach sandig	35	0.03
12	Geröll	50	0.02

M = Nummer der Kornklasse I = Index
H = Notwendige Bodenmächtigkeit für eine vollständige Reinigung

B Grobe Einstufung der Böden mittels einer Schnellbestimmung ihrer plastischen Eigenschaften (für eine genauere Analyse und Einstufung siehe McRae 1988)



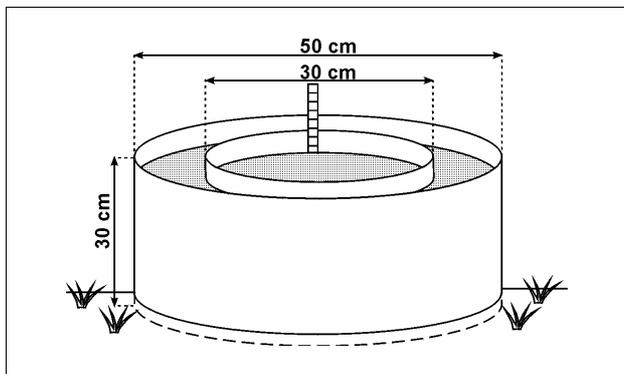
Anhang 6 Versickerungsversuche (Durchlässigkeitsbestimmung der Deckschicht)

Im nachfolgenden Anhang wird unter Durchlässigkeit stets der Durchlässigkeitskoeffizient nach Darcy verstanden.

Versickerungsversuch mit Doppelring (nach Müntz)

Apparatur: Man benötigt hierfür zwei Metallzylinder unterschiedlichen Durchmessers. Die Zylinder sollten ziemlich stabil sein, da sie mit einem Hammer mehrere Zentimeter in den Boden eingeschlagen werden müssen.

Durchführung: Nachdem der Boden gesättigt wurde, wird die Versickerungsgeschwindigkeit im inneren Zylinder gemessen, während in den äusseren Zylinder entsprechend dem inneren Wasserstand Wasser nachgefüllt wird, um den Effekt der horizontalen Durchlässigkeit zu minimieren (vor allem in geschichteten Böden).



Auswertung: Die Abnahme der Wasserhöhe im inneren Ring wird in einem Diagramm in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Die vertikale Durchlässigkeit des Bodens (in Metern pro Tag) ist dann gleich der Steigung der Geraden im Bereich konstanter Bedingungen.

Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass die vertikale Durchlässigkeit der Deckschicht ohne Eingriffe in deren Struktur bestimmt werden kann.

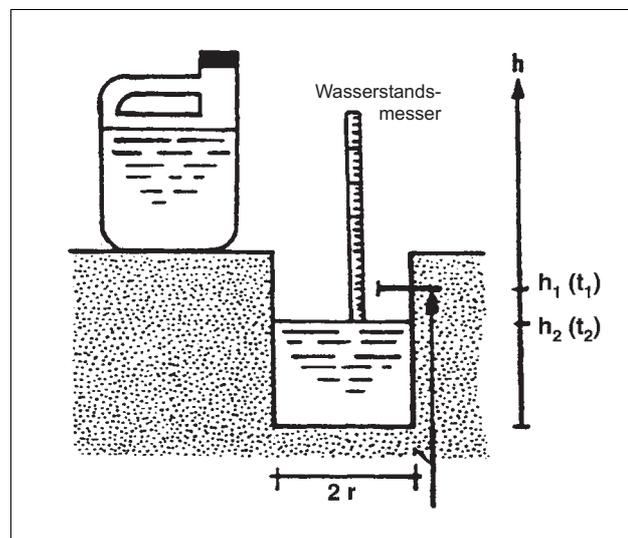
Anmerkung: Je grösser der Durchmesser des äusseren Rings, desto präziser die Messung (Hachicha et al. 1996).

Versickerungsversuch mit variablem Wasserstand (nach Porchet)

Apparatur: Der Versuch kann in einem künstlichen Loch (Erdbohrer) oder in einem Schlitz durchgeführt werden.

Durchführung: Nach erfolgter Bodensättigung wird die Abnahme des Wasserstands in Abhängigkeit von der Zeit gemessen.

Auswertung: Die Durchlässigkeit des Bodens ergibt sich für ein zylindrisches Loch aus folgender Formel:



$$K = \frac{r}{2(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1 + r/2}{h_2 + r/2}$$

Porchet-Versuch (aus Lallemand-Barrès & Roux 1999)

Der Vorteil dieser Methode liegt in der einfachen Durchführung, wenn durch Erdbohrer erzeugte Löcher benutzt werden. Es wird der Gebrauch eines etwas grösseren Bohrkopfes empfohlen (mind. 10 cm Durchmesser), da dies die Wasserstandsmessung erleichtert und damit zugleich eine grössere Bodenfläche unter-

sucht wird. Nachteilig wirkt sich aus, dass die Durchlässigkeit erst in einer gewissen Tiefe der Deckschicht betrachtet wird und dass eine Gesamtdurchlässigkeit ermittelt wird (vertikal + horizontal).

Geschwindigkeit und Verweilzeit im Boden

Kennt man die Durchlässigkeit des Bodens, kann die Fließgeschwindigkeit im wassergesättigten Bereich unter Abschätzung der effektiven Porosität n_{eff} näherungsweise bestimmt werden:

$$\text{für } n_{\text{eff}} = 10\% \text{ und } K_{\text{Boden}} = 0.3 \text{ m/Tag:}$$
$$\text{Geschwindigkeit} = 0.3 / 0.1 = 3 \text{ m/Tag.}$$

Anmerkung: Das Auftreten kleiner Röhren in den obersten Dezimetern der Bodenschicht (hauptsächlich Nagetiergänge) kann zu einer schnellen Versickerung des Wassers führen. Da der Versickerungsversuch nur eine begrenzte Bodenfläche untersucht, kann die eigentliche Durchlässigkeit gegebenenfalls unterschätzt werden.

Interpretation der Ergebnisse

Ein Boden kann für Durchlässigkeitswerte von mehr als 1 m/Tag ($>10^{-5}$ m/s) als sehr durchlässig, für Durchlässigkeitswerte zwischen 0.1 und 1 m/Tag (10^{-6} bis 10^{-5} m/s) als mittel durchlässig und für eine Durchlässigkeit kleiner als 0.1 m/Tag ($<10^{-6}$ m/s) als gering durchlässig eingestuft werden.