

WEGLEITUNG

zur Umsetzung des Grundwasserschutzes bei Untertagebauten

BUWAL: Sektion Restwasser und Wasserversorgung

P. Michel (Vorsitz)

Dr. B. Meylan

CSD Colombi Schmutz Dorthé AG

Ingenieure, Geologen, Umweltspezialisten

Schachenallee 29

5000 Aarau

Dr. H.-J. Moser (Projektleitung)

R. Conrad

Dr. E. Schläppi

Infras AG

Rieterstrasse 18

8002 Zürich

M. Maibach

Download PDF

www.umwelt-schweiz.ch/publikationen

Code: VU-2503-D

© BUWAL 1998

INHALT

	Seite
Vorwort	5
Zusammenfassung	6
1. EINLEITUNG	7
1.1 Ausgangslage	7
1.2 Zielsetzung	7
1.3 Rechtliche Grundlagen	8
2. GRUNDWASSERSCHUTZ UND SCHUTZ DER OBERIRDISCHEN GEWÄSSER VOR VERUNREINIGUNG BEIM UNTERTAGEBAU	9
2.1 Betroffene Aspekte des Gewässerschutzes	9
2.2 Konsequenzen	10
2.3 Verfahrensablauf	10
3. VORGEHEN BEI DER ERARBEITUNG DES UV-BERICHTES FÜR DEN FACHBEREICH GEWÄSSERSCHUTZ	11
3.1 Generelles Projekt/Vorprojekt	11
3.1.1 Inhalt des UV-Berichtes für das Generelle Projekt/Vorprojekt	11
3.1.2 Pflichtenheft für das Ausführungsprojekt/Auflageprojekt	12
3.1.3 Beurteilung durch die Umweltschutzfachstelle	12
3.2 Ausführungsprojekt/Bauprojekt	12
3.2.1 Allgemeines	12
3.2.2 Erhebung des Ist-Zustandes; hydrogeologischer Bericht	13
3.2.3 Auswirkungen des Projektes auf die Umwelt (Auswirkungsszenarien)	14
3.2.4 Vorschläge für Massnahmen zur Verhinderung umweltrelevanter Auswirkungen (Mass- nahmenszenarien)	19
3.2.5 Überwachungskonzept	20
3.2.6 Beurteilung durch die Umweltschutzfachstelle	21
4. VERIFIKATION UND MONITORING NACH DER PROJEKT- BEWILLIGUNG	22
4.1 Umsetzung des Überwachungskonzeptes	22
4.2 Überwachung der Bauarbeiten	22
4.3 Überprüfung der Umsetzung der Massnahmenszenarien durch die Behörde inkl. Einflussnahme der Behörde auf die Ausführung	23

ANHANG I	DIE METHODIK DER SZENARIENANALYSE	24
	1. Grundlagen	24
	2. Methodik	24
ANHANG II	MÖGLICHE MASSNAHMEN IM VORTRIEB UND ENDAUSBAU	27
ANHANG III	FALLBEISPIELE	29

Vorwort

Verkehrswege werden immer häufiger in Tunnels verlegt. Dabei wird vielfach nicht beachtet, dass sich auch Tunnels auf die Umwelt auswirken können, indem sie die hydrogeologischen Verhältnisse eines Gebietes verändern und sich somit auf Quellen, Vegetation, Biotope oder Landwirtschaft, aber auch auf die Stabilität von Bauwerken auswirken. Solche Veränderungen ziehen sich oft schleichend über Jahre hin, sodass der projektbedingte Zusammenhang nicht immer ohne weiteres erkennbar ist.

Derartige Umweltbeeinträchtigungen durch Untertagebauten können jedoch durch eine umsichtige Planung und Realisierung verhindert werden. Die vorliegende Wegleitung zeigt auf, welche Schritte unternommen werden müssen, um Untertagebauten aus der Sicht des Grundwasserschutzes umweltverträglich bzw. gesetzeskonform zu erstellen.

Vor ihrer Publikation wurde die Wegleitung mit den hauptsächlich in die Problematik involvierten Fachkreisen (Bundesamt für Verkehr, Schweizerische Bundesbahnen, Bern-Lötschberg-Simplonbahn, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein [insb. Fachgruppe für Untertagebau], Schweizerische Gesellschaft für Hydrogeologie und Eidgenössische Geologische Fachkommission) eingehend diskutiert.

Als Basis für die Erarbeitung der Wegleitung diente der Grundlagenbericht "Grundwasserschutz bei Tunnelbauten" (BUWAL, Schriftenreihe Umwelt Nr. 231), welcher anhand von Beispielen aus der Literatur grundwassererhaltende Tunnelbauverfahren aufzeigt.

Die vorliegende Wegleitung richtet sich an Fachbehörden, Bauherren, Projektingenieure und Umweltberichterstatter. Sie soll bewirken, dass bei der Erstellung von Untertagebauten auf die Erhaltung des Grund- und Bergwassers geachtet wird und damit auch der Schutz der davon abhängigen Quellen und Feuchtbiotope gewährleistet ist.

Zusammenfassung

Da die übermässige Ableitung von Grundwasser zu einer Absenkung des Grund- bzw. Bergwasserspiegels führt und sich dadurch nachteilig auf die Trinkwasserversorgung, die Vegetation und die landwirtschaftlichen Kulturen sowie die Stabilität von Bauten wie Staumauern auswirken kann, ist das Ableiten von Grundwasser (zu dem auch das Bergwasser gehört) durch Untertagebauten mengenmässig auf die Grundwasserneubildung zu beschränken. Bei der Realisierung von Untertagebauten sind daher Massnahmen zu treffen, welche eine projektbedingte, längerfristige Entnahme von Grundwasser über das Mass des Zuflusses hinaus verhindern. Solche Massnahmen sind ohnehin angezeigt, um zu vermeiden, dass das teilweise stark mineralisierte und warme Tunnelwasser die Gewässer, in die es eingeleitet wird, belastet. Das Gebot einer Verhinderung von grossflächigen Grundwasserabsenkungen durch Untertagebauten ergibt sich aus dem Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991. Artikel 43 Absatz 1 des GSchG bestimmt, dass einem Grundwasservorkommen längerfristig nicht mehr Wasser entnommen werden darf, als ihm zufließt. Ein kurzfristiges Absenken des Grundwasserspiegels während der Bauphase kann jedoch in Kauf genommen werden, wenn das Gleichgewicht zwischen Ableitung und Neubildung in absehbarer Zeit wieder hergestellt wird und das abgeleitete Wasser vor der Einleitung in ein Gewässer regelkonform behandelt wird.

Da - insbesondere bei der hydrogeologischen Prognose von tiefliegenden Untertagebauten - mit grösseren Unsicherheiten in Bezug auf die hydrogeologischen Verhältnisse gerechnet werden muss, ist für Untertagebauten im Bereich Grundwasserschutz eine besondere Vorgehensweise angezeigt, damit das Projekt, trotz der bestehenden offenen Fragen, durch die Behörde beurteilt und allenfalls genehmigt werden kann.

Als **erster Schritt** ist ein Bericht über die **hydrogeologische Situation** im Einzugsgebiet des Projekts zu erstellen und auf Unsicherheiten in Bezug auf den zu erwartenden Wasseranfall einzugehen. Dabei ist von verschiedenen aus hydrogeologischer Sicht möglichen Grund- bzw. Bergwasserverhältnissen auszugehen.

In einem **zweiten Schritt** sollen die durch die Realisierung des Projekts zu erwartenden Auswirkungen auf die Umwelt dargelegt werden, wobei sich, aufgrund der verschiedenen möglichen hydrogeologischen Prognosen, in der Regel mehrere **Auswirkungsszenarien** ergeben.

In einem **dritten Schritt** sind für alle Auswirkungsszenarien mögliche Massnahmen auszuarbeiten, welche eine Beeinträchtigung der Umwelt verhindern (**Massnahmenszenarien**).

In einem **vierten Schritt** ist das **Konzept** für ein **Monitoring** vorzulegen und aufzuzeigen, nach welchen Kriterien die vorgesehenen Massnahmen für die verschiedenen Auswirkungsszenarien ausgelöst werden.

Mit diesem Vorgehen kann die Behörde ein Untertagebauprojekt in bezug auf seine Umweltverträglichkeit im Fachbereich Hydrogeologie beurteilen, bevor sämtliche hydrogeologisch relevanten Faktoren im Detail bekannt sind. Die Auswirkungen des Bauprojekts können damit soweit minimiert werden, dass auch längerfristig schwerwiegende Veränderungen des Grundwasserregimes mit allen ihren Folgen verhindert werden können.

1. EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Im Gegensatz zu Hoch- und untiefen Tiefbauprojekten, deren Auswirkungen auf die Umwelt - mit entsprechenden Untersuchungen - verhältnismässig sicher vorausgesagt werden können, ist bei Untertagebauten in grösserer Tiefe bzw. in komplexen geologischen Verhältnissen die Prognose der projektbedingten Auswirkungen, trotz grossem Untersuchungsaufwand mit Unsicherheiten behaftet. Insbesondere sind es Unsicherheiten in bezug auf die Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse. Der Umweltberichtersteller ist somit nicht in der Lage, die Auswirkungen der Baute auf die Grundwasserverhältnisse schlüssig zu beschreiben, was jedoch für die Prüfung der Umweltverträglichkeit unentbehrlich wäre. Deshalb wird man nicht umhin kommen, anlässlich der Projektierung bereits im Voraus, über die im Berginnern konkret voraussehbaren Verhältnisse hinaus, Annahmen über relevante, mögliche Vorkommnisse mit Bergwasser zu treffen, und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen in Form von Szenarien, wie diese Projektbestandteile in der Folge genannt werden, vorzubereiten. Die Massnahmen, die aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen beim Eintreffen eines solchen Vorkommnisses zu treffen sein werden, sollen im technischen bzw. im UV-Bericht für die in der Bewilligungsphase zuständigen Behörden nachvollziehbar dargestellt werden. Die Behörde soll so in die Lage versetzt werden, die Umweltverträglichkeit des Vorhabens bestätigen zu können.

Die vorliegende Wegleitung zeigt, wie die Umweltberichterstattung von Untertagebauten - trotz der erwähnten Unsicherheiten - mit Hilfe von **Szenarienanalysen** durchgeführt werden kann, indem die möglichen Auswirkungen des Bauwerks (**Auswirkungsszenarien**) in Betracht gezogen und dafür vorsorgliche Gegenmassnahmen (**Massnahmenszenarien**) erarbeitet werden. Eine thematische Einführung wurde erstmals in der Schriftenreihe Umwelt Nr. 231, Grundwasserschutz bei Tunnelbauten (BUWAL 1994) zusammengestellt. Sie geht zurück auf eine Besprechung vom 4. März 1993, welche zwischen Bauherren, Tunnelbauspezialisten und Behörden im Rahmen der geplanten AlpTransit-Tunnel stattgefunden hat. Die vorliegende Wegleitung bezieht sich jedoch nicht ausschliesslich auf diese grossen Tunnelbauvorhaben, sondern gilt generell für alle Untertagebauten (Tunnel, Kavernen, Galerien usw.).

1.2 Zielsetzung

Ziel der Wegleitung ist, das Vorgehen für die Erarbeitung von Szenarienanalysen bei Untertagebauten aufzuzeigen. Diese Analyse ist erforderlich, damit die Fachbehörden die Umweltverträglichkeit einer Baute beurteilen können, auch wenn die hydrogeologische Situation des Projektareals noch nicht im Detail bekannt ist.

Die Wegleitung ist bestimmt für Bauherren, Projektgenieure und Umweltberichtersteller sowie für die Behörden, welche in Bewilligungsverfahren von Untertagebauten involviert sind. Sie zeigt auf, welche Aspekte in den jeweiligen Stufen eines Bewilligungsverfahrens zu erarbeiten sind, und wie aufgrund von Szenarien die Beurteilung der Umweltverträglichkeit des Projektes durchgeführt werden kann.

Bei einer mit einem entsprechenden, vorsorglich erarbeiteten, Massnahmenpaket ausgeführten Szenarienanalyse kann angenommen werden, dass der Schutz des Grundwassers gewährleistet sein wird. Bei der Ausführung werden aber darüber hinaus noch Kontrollen und Überwachungen zu institutionalisieren sein.

1.3 Rechtliche Grundlagen

Für Untertagebauten ist im Bereich der Umweltschutzgesetzgebung des Bundes in erster Linie das Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 (GSchG, SR 614.20) relevant. Dieses hat zum Ziel, ober- und unterirdische Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen in qualitativer und quantitativer Hinsicht zu schützen (Artikel 1 und 2 GSchG). Zum unterirdischen Gewässer gehören laut Gesetz Grundwasserleiter, Grundwasserstauer und Deckschicht. Als unterirdische Gewässer bezeichnet das Gesetz sowohl Grund-, als auch Quellwasser (Artikel 4 GSchG). Bergwasser ist auch Grundwasser im Sinne des GSchG, weshalb die Vorschriften über das Grundwasser, wie übrigens auch bei der DIN-Norm 4049, ebenfalls für das Bergwasser gelten.

Im Hinblick auf Untertagebauten ist besonders Artikel 43 GSchG von Bedeutung, welcher für die Erhaltung von Grundwasservorkommen als Grundsätze festlegt, dass

- einem Grundwasservorkommen *längerfristig* nicht mehr Wasser entnommen werden darf, als ihm zufließt;
- *kurzfristig* einem Grundwasservorkommen nur mehr Wasser entnommen werden darf, wenn dadurch die Qualität des Grundwassers und die Vegetation nicht beeinträchtigt wird;
- Grundwasservorkommen nicht dauernd miteinander verbunden werden dürfen, wenn dadurch Menge oder Qualität des Grundwassers beeinträchtigt werden können;
- Speichervolumen und Durchfluss nutzbarer Grundwasservorkommen durch Einbauten *nicht wesentlich und dauernd* verringert werden dürfen.

Für die Einleitung von Tunnelwasser in ober- oder unterirdische Gewässer ist Artikel 6 GSchG massgebend. Dieser verbietet, Gewässer zu verunreinigen. Eine Verunreinigung ist gemäss Artikel 4 Buchstabe d GSchG eine nachteilige physikalische, chemische oder biologische Veränderung des Wassers. Auf Untertagebauten übertragen heisst dies, dass daraus abfliessendes Wasser dann behandelt werden muss, wenn es das Gewässer, in das es gelangt, verunreinigen kann. Chemisch-physikalisch unproblematisches Drainagewasser ist versickern zu lassen, wenn die örtlichen Verhältnisse dies erlauben.

Gemäss Artikel 45 GSchG vollziehen die Kantone dieses Gesetz. Der Vollzug des Gesetzes liegt allerdings gemäss Artikel 48 GSchG dann beim Bund, wenn, aufgrund anderer Bundesgesetzgebungen oder eines Staatsvertrags, im Leitverfahren eine Bundesbehörde zuständig ist. Dies ist z.B. bei Eisenbahnen der Fall.

Die vorliegende Wegleitung soll einen vorschriftsgemässen und einheitlichen Vollzug der Gewässerschutzgesetzgebung im Bereich des Grundwasserschutzes bei Untertagebauwerken gewährleisten. Ihr kommt nicht der Rang von Gesetz und Verordnung zu, sie ist aber verbindlicher als eine blosser Empfehlung. Abweichungen von der Wegleitung sind zulässig, sofern das von Gesetz, Verordnung und Wegleitung verfolgte Ziel auf andere Weise erreicht wird. Befolgt demnach ein Gesuchsteller die Wegleitung, besteht für ihn Gewissheit, dass die Behörde die erarbeiteten Grundlagen in methodischer Hinsicht akzeptiert. Andernfalls trägt er das Risiko, dass ihm dieser Nachweis nicht gelingt.

2. GRUNDWASSERSCHUTZ UND SCHUTZ DER OBERIRDISCHEN GEWÄSSER VOR VERUNREINIGUNG BEIM UNTERTAGEBAU

2.1 Betroffene Aspekte des Gewässerschutzes

Untertagebauten und die damit zusammenhängenden Anlagen können während Bau, Betrieb, Unterhalt und Rückbau Auswirkungen auf Gewässer im Sinne des GSchG haben.

Unter Betrieb werden hier diejenigen Aktivitäten verstanden, die für die Erfüllung aller Nutzungsansprüche des Bauwerks erforderlich sind. Nicht behandelt wird der Betrieb, welcher innerhalb des Bauwerks (z.B. Lagerung von Reststoffen, Transport gefährlicher Güter, Lagerung von wassergefährdenden Flüssigkeiten etc.) stattfindet; dafür bestehen spezielle gesetzliche Vorschriften.

In den verschiedenen Phasen eines Untertagebaus können unterschiedliche Aspekte des Gewässerschutzes betroffen sein:

So ist im **Rahmen der Planung** darauf zu achten, dass unter Berücksichtigung des hydrogeologischen Stockwerkbaus, keine Grundwasserschutzzonen und -areale direkt betroffen werden. Weiter ist der Durchfluss sowie das Speichervolumen der Aquifere im Grossen und Ganzen zu erhalten und eine Veränderung der Grundwasserverhältnisse durch einen hydrologischen Kurzschluss zu verhindern. Das Materialbewirtschaftungskonzept, inklusive Zwischenlager, ist unter Berücksichtigung der löslichen Anteile des Ausbruchmaterials, wie z.B. Sulfat und/oder Verunreinigungen aus dem Baubetrieb, auszugestalten.

In der **Bauphase** ist eine kurzfristige Beeinflussung des Grundwasserregimes statthaft, wenn dadurch die Vegetation nicht beeinträchtigt wird. Für Wasser, das in ein Gewässer eingeleitet wird, sind die Einleitbedingungen zu beachten und vorsorgliche Massnahmen zu treffen, dass jene auch im Störfall möglichst erreicht würden. Der jeweilige Bauvorgang ist den Vorgaben des Gewässerschutzes anzupassen.

Während der **Betriebs- bzw. Nutzungsphase** darf es zu keinen Beeinträchtigungen des Grundwasserregimes mit Auswirkungen auf Trinkwasserversorgungen, Kulturen, Biotope und Bauten kommen. Dabei ist zu beachten, dass die Feldergiebigkeit des Grundwasserleiters nicht überschritten wird d.h. dem Grundwasser längerfristig nicht mehr Wasser entnommen wird, als ihm zufliesst. Drainagewasser aus Untertagebauten muss so abgeleitet werden, dass es auch bei Unfällen nicht verunreinigt werden kann. Bei der Einleitung von Drainagewasser aus Untertagebauten in ein Fliessgewässer ist zu beachten, dass dessen Aufwärmung, gegenüber dem unbeeinflussten Zustand, nicht mehr als 3 °C, bei Laichgewässern für Forellen, nicht mehr als 1.5 °C beträgt. Dabei darf das Fliessgewässer nicht über 25 °C erwärmt werden.

Beim **Rückbau** eines Untertagebauwerks ist insbesondere darauf zu achten, dass die natürlichen Grundwasserverhältnisse erhalten bleiben, d.h., dass keine hydrogeologischen Kurzschlüsse und keine neuen Fliesspfade entstehen.

2.2 Konsequenzen

Die in Kapitel 2.1 aufgezeigten, mehr oder weniger Konfliktpotential enthaltenden Berührungspunkte zwischen Grundwasserschutz und Projekt werden Gegenstand des Fachberichts Grundwasserschutz im Bericht zur Umweltverträglichkeit sein (für Bau- und Betriebsphase). Entsprechend wird der Bauherr die im UV-Bericht definierten Anforderungen im Projekt umzusetzen, bzw. die geeigneten Massnahmen vorzusehen haben.

Für nicht UVP-pflichtige Anlagen ist sinngemäss zu verfahren. Die stufen- und anlagegerechte Prüfung, welche Aspekte des Grundwasserschutzes betroffen sind, mit welchen Konsequenzen zu rechnen ist und welche Massnahmen vorgesehen sind, behält unabhängig von der UVP-Pflicht ihre Relevanz für den Genehmigungs- bzw. Bewilligungsentscheid.

Die bereits in der Einleitung erwähnte problematische Prognoseunsicherheit bei bestimmten Untertageprojekten (Tiefenlage und/oder besonders komplexe geologische Verhältnisse) führt zwangsläufig zu einer besonderen Vorgehensweise, um einen Genehmigungsentscheid zu ermöglichen.

Grundlage dieser besonderen Vorgehensweise ist die **Szenarienanalyse**, bei der, entlang des Projekts, abschnittsweise die wahrscheinlichen hydrogeologischen Situationen unter optimistischen und pessimistischen Annahmen beschrieben werden. Die Resultate der Szenarienanalyse bilden die Grundlage für die Analyse der **Auswirkungsszenarien** und diese wiederum für die Erarbeitung von **Massnahmenszenarien**.

Vom Gesuchsteller wird also verlangt, die hydrogeologische Situation entlang des Projekts zu beschreiben und Unsicherheiten aufzuzeigen. Die resultierenden relevanten projektbedingten Auswirkungen sind darzulegen und jeder Auswirkung ist eine oder mehrere effiziente Massnahmen zuzuordnen sowie darzulegen, wie die Prüfung, Kontrolle und Überwachung der Szenarien erfolgen soll, damit aus der Sicht des Grundwasserschutzes über die Umweltverträglichkeit des Projekts entschieden werden und der Genehmigungsentscheid ermöglicht werden kann.

Die Abläufe im Rahmen der verschiedenen Phasen werden eingehend in Kapitel 3 und 4 behandelt. Methodische Hinweise zur Szenarienanalyse finden sich im Anhang I zu dieser Wegleitung.

2.3 Verfahrensablauf

Der Planungsablauf von Untertagebauwerken orientiert sich am Bewilligungsverfahren des Gesamtbauwerks. Die betreffenden Verfahren liegen, je nach Anlagentyp, in der Kompetenz der Kantone oder des Bundes. Sie können ein-, zwei- oder dreistufig sein. Die UVP-Pflicht ist in der Verordnung vom 19. Oktober 1988 über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) geregelt.

Die Auflagen für die Kontrolle und Überwachung von Umweltauswirkungen für Bau und Betrieb, insbesondere Art und Umfang von Messungen und Berichterstattungen, werden vom Gesuchsteller und/oder vom Umweltberichtersteller im Rahmen eines Kontroll- und Überwachungsplanes vorgeschlagen, und der zuständigen Behörde zur Kenntnis gebracht. Erfolgt der Nachweis der Umweltverträglichkeit gestützt auf Szenarienanalysen (Methodik gemäss Anhang I), ist in diesem Plan insbesondere darzustellen, aufgrund welcher Kriterien welche Projektentscheide getroffen werden sollen.

3. VORGEHEN BEI DER ERARBEITUNG DES UV-BERICHTES FÜR DEN FACHBEREICH GEWÄSSERSCHUTZ

Vorbemerkung: In den gesetzlichen Bestimmungen werden die Verfahrensstufen je nach Anlagentyp unterschiedlich bezeichnet.

Einfachheitshalber und weil diese Stufen bei vielen Projekten durchgeführt werden, beschreiben wir im folgenden die zwei Stufen Generelles Projekt/Vorprojekt und Ausführungs-/Auflageprojekt. Bei einstufigen Verfahren ist jeweils der Detaillierungsgrad des Ausführungsprojektes/Bauprojektes erforderlich.

3.1 Generelles Projekt/Vorprojekt

3.1.1 Inhalt des UV-Berichtes für das Generelle Projekt/Vorprojekt

Vor der Erstellung des UV-Berichtes für das generelle Projekt/Vorprojekt sind eine Voruntersuchung und ein Pflichtenheft zu erarbeiten. Dabei empfiehlt es sich, vor allem durch Auswerten von geologischen und hydrogeologischen Karten, von Gewässerschutzkarten, von Archiven der Kantone und des Bundes sowie aus der publizierten Literatur Informationen zu beschaffen. Angesichts der zu diesem frühen Planungszeitpunkt oft nicht sehr detaillierten Projektangaben und angesichts der allgemein hohen Informationsdichte in der Schweiz, genügt in unserem Land oft der auf diese Art gewonnene Detaillierungsgrad, um aus der Sicht des GSchG potentielle fundamentale Konflikte erkennen zu können.

Aufgabe des UV-Berichtes für das Generelle Projekt/Vorprojekt ist, in Kenntnis des geplanten Vorhabens,

- den aktuellen Kenntnisstand zu beschreiben und festzustellen, ob die **vorhandenen** geologischen, hydrogeologischen und hydrochemischen Daten ausreichen, um die Umweltverträglichkeit des Projekts darzulegen;
- die Konflikte mit den Gewässerschutzbestimmungen (Schutzzonen, Grundwasserschutzareale, Gewässerschutzbereiche und Oberflächengewässer) sowie weiteren, relevanten Bereichen zu erkennen und festzuhalten, soweit dies, basierend auf dem aktuellen Kenntnisstand, möglich ist;
- das Einflussgebiet möglichst zutreffend zu bezeichnen, in welchem voraussichtlich mit Auswirkungen gerechnet werden muss;
- allenfalls sich aus der Sicht des Grundwasserschutzes bereits abzeichnende Randbedingungen für die generelle Projektierung zu erkennen und zuhanden des Projektverfassers festzuhalten;
- abzuschätzen, ob die zu erwartenden Projektauswirkungen aus der Sicht des Grundwasserschutzes als relevant beurteilt werden müssen;
- die projektbedingten Auswirkungen grob abzuschätzen (Sondierkampagnen sind im Rahmen eines Generellen Projektes bzw. Vorprojektes nur dann angebracht, wenn die verfügbaren geologischen und hydrogeologischen Informationen für eine Konfliktbeurteilung nicht genügen);
- nachzuweisen, dass die Auswirkungen durch Massnahmen auf ein umweltverträgliches Mass reduziert werden können.

3.1.2 Pflichtenheft für das Ausführungsprojekt/Auflageprojekt

Das Pflichtenheft für die nächste UVP-Stufe (Hauptuntersuchung) soll

- festlegen, welche Untersuchungen in welchem Perimeter als sinnvoll erachtet werden, um die projektbedingten Beeinflussungen qualitativer und quantitativer Natur zu beurteilen;
- klar deklarieren, wie detailliert der Bericht der Hauptuntersuchung ausfallen wird, welche Aspekte speziell beleuchtet werden und mit welchen Untersuchungsmethoden wieviel fehlende Information beschafft werden soll;
- aufführen, welche Informationen offensichtlich nicht mit einem ökonomisch sinnvollen Aufwand erworben werden können und für welche Umweltaspekte demzufolge im Rahmen einer Szenarienanalyse die Auswirkungen definiert und die Massnahmen zur Verminderung der Auswirkungen geplant werden sollen.

3.1.3 Beurteilung durch die Umweltschutzfachstelle

Die zuständige Fachstelle beurteilt den UV-Bericht und das Pflichtenheft und stellt Anträge, welche sicherstellen sollen, dass das Projekt aus der Sicht des GSchG umweltverträglich ist.

3.2 Ausführungsprojekt/Auflageprojekt

3.2.1 Allgemeines

In der Hauptuntersuchung werden diejenigen Untersuchungen durchgeführt bzw. Nachweise erbracht, welche aufgrund der Voruntersuchung für die Beschreibung der Umweltauswirkungen des Vorhabens als massgeblich erachtet wurden. Zudem werden die Untersuchungen nach Bedarf vertieft sowie Massnahmen ausgearbeitet und Überwachungskonzepte erstellt.

Generell ist immer die Frage zu prüfen, ob das konkrete Bauvorhaben unter Berücksichtigung des Kenntnisstandes über die vorliegenden geologischen / hydrologischen Verhältnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit wesentliche Veränderungen der hydrogeologischen Situation bewirkt oder bewirken kann und ob diese geeignet sind, kurz-, mittel- oder langfristig oberflächlich relevante negative Umweltauswirkungen hervorzurufen. Das Ergebnis dieser Beurteilung beeinflusst die Erstellung der hydrogeologischen Modelle sowie Planung und Umfang der notwendigen Überwachung (wie z.B. Wasserführung von Oberflächengewässern, Schüttungsmengen von Quellen).

Die Berichterstattung über sämtliche relevanten Aspekte des Grundwasserschutzes erfolgt im Rahmen eines hydrogeologischen Berichts (siehe 3.2.2). Eine umfassende Zusammenstellung der in der Hauptuntersuchung zu bearbeitenden Punkte findet sich in den Mitteilungen zur Umweltverträglichkeitsprüfung Nr. 5 (Der Bereich Gewässerschutz und Fischerei) und Nr. 7 (UVP bei Strassenverkehrsanlagen).

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wann die Szenarienanalyse erfolgen soll. Am vorteilhaftesten wird sie möglichst zu Beginn der Hauptuntersuchung durchzuführen sein. In jedem Fall ist jedoch Auskunft zu geben, aufgrund welcher Beobachtungen, Messwertschwellen oder weiterer Informationen das Eintreffen des einen oder andern Szenarios überprüft werden kann und wie die Ent-

scheide für die Wahl der entsprechend auszuführenden Projektvariante zustande kommen (Festlegung der Kriterien, wonach die jeweiligen Massnahmen ausgelöst werden müssen).

Hinweise zur Durchführung einer Szenarien-Analyse, wie sie im Zusammenhang mit tiefliegenden oder schlecht erkundbaren Untertageprojekten aufgrund der Pflichtenheft-Genehmigung durchgeführt werden kann, finden sich in Anhang I und II der vorliegenden Wegleitung.

3.2.2 Erhebung des Ist-Zustandes; hydrogeologischer Bericht

Im hydrogeologischen Bericht sind die für das generelle Projekt/Vorprojekt erhobenen Daten zur Beschreibung des Ist-Zustandes zu vertiefen. Zuerst soll eine ganzheitliche Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse im Projektperimeter vorgenommen werden. Der Bericht analysiert bestmöglich den Ist-Zustand und bildet die Grundlage für die weitere Bearbeitung. Dazu ist das Projekt in einzelne, in sich konsistente Abschnitte zu unterteilen. Die Beurteilung der Auswirkungen des Untertagebauwerkes auf das Grundwasser stützt sich auf das Pflichtenheft der UVP und sollte die unten beschriebenen Angaben zum Bauwerk bzw. zu den einzelnen Abschnitten enthalten. Die Bearbeitungstiefe richtet sich nach den Bedürfnissen des Projekts und seinen voraussichtlichen Umweltauswirkungen.

Inhalt des hydrogeologischen Berichts

- Übersicht der Geologie des Einzugsgebietes
- Hydrologische Bilanz des Untersuchungsgebietes (Niederschlag, Zufluss, Verdunstung, Abfluss etc.)
- Oberflächencharakteristik des Einzugsgebietes (Quellen und Grundwasserfassungen (Kataster), Feuchtstandorte, Gewässer etc.)
- Auswertungen der Ganglinien der Grundwasserspiegel und der Schüttungsmessungen von wichtigen Quellen über mehrere Jahre
- Infiltrations- und Exfiltrationsverhältnisse inkl. Dokumentation allfälliger Pump- und Färbversuche
- Beschreibung der Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsperimeter, inkl. Flurabstände
- Chemische, physikalische und bakteriologische Charakterisierung der Wasserqualität der betroffenen Grundwasservorkommen und Quellen von öffentlichem Interesse zur vorsorglichen Beweissicherung
- Lage von Deponien und Altlasten sowie deren Einfluss auf das Grundwasser (v.a. bei projektbedingt steigendem Grundwasserspiegel)
- Erstellung eines hydrogeologischen Gesamtmodells (konzeptuelles Modell) anhand der erhobenen Daten; Beurteilung der Zusammenhänge zwischen Lithologie und Durchlässigkeit bei Karst- und Kluftgrundwasserleitern, Beurteilung der Trennflächengeometrie und -verteilung bzw. der Entwicklung der Karstsysteme (Heterogenität der Durchlässigkeit); wenn möglich, eine Quantifizierung des Modells mittels hydraulischer Simulation als Grundlage für die spätere Abschätzung der Auswirkungen des Bauwerkes auf den Grundwasserhaushalt
- Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

Beilagen

Die Darstellungen umfassen den ganzen Untersuchungsperimeter; der Massstab beträgt je nach Projektgrösse 1:25'000 oder 1:10'000. Die Beilagen dienen zur Visualisierung der hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse in Wechselwirkung zum geplanten Bauwerk und sollten folgende Angaben liefern:

Karten

- Untersuchungsperimeter
- Projekt mit allen Annexbauten und auch temporär beanspruchten Flächen wie Aushubdeponien, Materialzwischenlager, Installationsplätze u.a.
- Gewässerschutzbereiche, Grundwasserschutzzonale und -zonen sowie Grundwasserfassungen und genutzte Quellen
- Altlasten, projektfremde Deponien und allfällige Lager mit wassergefährdenden Stoffen
- Oberflächengewässer (Bäche, Seen), morphologische und orografische Wasserscheiden, Quellaus-tritte und Feuchtstandorte
- Darstellung des Grundwassereinzugsgebietes
- Grundwasservorkommen mit Mächtigkeiten und Lage des mittleren Grundwasserspiegels sowie Bereiche mit gespannten Grundwasserverhältnissen
- Sondierbohrungen mit Piezometern (Beobachtungsnetz)
- Grundwasserisohypsenkarte aktueller Zustand und Zustand nach Abschluss des Bauvorhabens (evtl. Differenzenkarte)
- Fliessrichtungen, -wege und -geschwindigkeiten des Grundwassers vor Baubeginn und nach Abschluss des Bauvorhabens (evtl. Differenzenkarte)
- Infiltrations- und Exfiltrationsverhältnisse vor Baubeginn und nach Abschluss des Bauvorhabens (evtl. Differenzenkarte)

Profile

- Verteilung Fest-/Lockergesteine
- Lage Grundwasserleiter/-stauer
- Charakterisierung der Gebirgsdurchlässigkeiten bzw. Aquifereigenschaften
- Grundwasserspiegel mit Schwankungsbereich
- Normalprofil Bauwerk mit Entwässerungsleitungen

3.2.3 Auswirkungen des Projektes auf die Umwelt (Auswirkungsszenarien)

Ziel der hydrogeologischen Umweltuntersuchungen ist es, die Auswirkungen des untersuchten Projektes auf das hydrogeologische Umfeld aufzuzeigen und im Lichte des Grundwasserschutzes zu beurteilen.

Kenntnisstand

Mit den aus dem hydrogeologischen Bericht erhaltenen Angaben lässt sich abschätzen, ob

- der Kenntnisstand ausreicht, um eine Prognose der Auswirkungen des Untertagebauwerks auf das Grundwasser machen zu können, oder ob
- der Kenntnisstand so unvollständig ist, dass anhand von verschiedenen Auswirkungsszenarien und zugehörigen Massnahmen (Projektvarianten) die GSchG-Konformität nachgewiesen werden muss.

Die hydrogeologische Beurteilung eines Untertageprojekts hängt in hohem Masse von der Prognosegenauigkeit des hydrogeologischen Gutachtens ab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die geologische und hydrogeologische Prognostizierbarkeit mit zunehmender Erkundungstiefe stark abnehmen kann. Grundsätzlich können zwei Fälle unterschiedlicher Prognosesicherheit unterschieden werden:

➔ **Prognosesicherheit gut bis sehr gut**

Konventionelle Erkundung von der Oberfläche aus ist möglich, und gibt einen guten Kenntnisstand über die Untergrundverhältnisse.

➔ **Prognosesicherheit gering bis mittel**

Erkundung in grosser Tiefe, nur mit technisch anspruchsvollem und grossem finanziellen Aufwand realisierbar.

Wasserandrang und dessen Auswirkungen

In vielen Fällen, insbesondere bei langgestreckten Bauwerken, die mehrere hydrogeologische Einheiten durchfahren, wird es sich anbieten, eine Unterteilung in Abschnitte unterschiedlichen Wasserandrangs vorzunehmen, um so eine differenziertere Betrachtungsweise anwenden zu können. Für jeden Teil des Bauwerkes müssen aufgrund des zu erwartenden Wasserandrangs, und somit einer allfälligen Entwässerung des Untergrundes, die quantitativen und qualitativen Auswirkungen auf die Umwelt abgeschätzt werden.

Die Hauptkriterien zur Ermittlung des Wasserandranges sind der Wasserdruck (abhängig von der Lage des Bauwerkes bezüglich Grundwasserspiegel), die Durchlässigkeit des Untergrundes sowie der Aquifertyp. Aus der Verknüpfung dieser Kriterien ergibt sich der Wasserandrang auf das geplante Bauwerk. Vorschläge dafür sind in Kap. 2 Grundwasserschutz bei Tunnelbauten; Grundlagenbericht BUWAL Schriftenreihe Umwelt Nr. 231, 1994 erarbeitet und werden in den beiden nachfolgenden Abb. 3-1 und 3-2 vereinfacht dargestellt. Dabei spielt es keine Rolle, welche der beiden Betrachtungsweisen, die hydrogeologische oder die hydraulische, zur Bestimmung des Wasserandranges auf das Untertagebauwerk angewandt wird. Vor allem im Lockergestein erlaubt ein numerisches Simulationsmodell die quantitative Erfassung möglicher Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt.

Wasserandrang nach hydrogeologischen Kriterien

	Aquifertyp			
	Poren- wasserleiter	Einzelklüfte	Kluftaquifer	Karstaquifer
ungesättigte (vadose) Zone	sehr klein	klein	klein	klein bis mittel
Hochwasserzone	sehr klein	klein	temporär mittel bis gross	temporär sehr gross
gesättigte (phreati- sche) Zone	sehr klein bis gross	klein bis gross	mittel bis gross	mittel bis sehr gross

Wasserandrang

klein
mittel
gross

Abb. 3-1: Hydrogeologische Kriterien für den Wasserandrang auf ein Untertagebauwerk

Wasserandrang nach hydraulischen Kriterien

	Durchlässigkeit	
	klein	gross
Wasser- druck	klein Poren- und Kluftgrundwasserleiter - Tunnel in bindigem Lockergestein - untiefer Tunnel in schwach zerklüftetem Fels	Poren- und Kluftgrundwasserleiter oder Grosskluft/Karst - Lockergesteinstunnel - untiefer Tunnel in stark zerklüftetem Fels oder Karst
	gross Poren- und Kluftgrundwasserleiter tiefligender Tunnel in schwach zerklüftetem Fels	Grosskluft/Karst tiefligender Tunnel in Störungszone resp. sehr stark zerklüftetem Fels oder Karst

Wasserandrang

klein
mittel
gross

Abb. 3-2: Hydraulische Kriterien für den Wasserandrang auf ein Untertagebauwerk

Um die möglichen Auswirkungen pro Projektabschnitt abzuschätzen, muss sich das Projektteam für jeden Fall folgende Frage stellen: "Was spricht für bzw. gegen das Eintreten im untersuchten Projektabschnitt?"

Für die Auswirkungen ergeben sich generell drei Fälle:

- **A:** Das Projekt hat im Sinne des Gewässerschutzgesetzes keinen Einfluss auf den Grundwasserhaushalt und folglich auch keinen Einfluss auf die Umwelt an der Oberfläche.
- **B:** Das Projekt beeinflusst den Grundwasserhaushalt; dies hat aber keinen Einfluss auf die Umwelt an der Oberfläche.
- **C:** Das Projekt beeinflusst Grund- und/oder Oberflächengewässer.

Im Fall **C** sind folgende individuelle **Auswirkungsszenarien** denkbar:

- Szenario **C_a; Quellen:**

Beeinflussung der Wasserführung von Quellen durch die Untertagebaute.

- Szenario **C_b; Wasserführung im Fließgewässer:**

Beeinflussung der Wasserführung durch Einleitungen, Drainagen, relative Niveauveränderungen zwischen Grundwasser und Vorfluter etc..

- Szenario **C_c; Feuchtgebiete:**

Einfluss auf den Wasserhaushalt von Feuchtgebieten; durch das Absenken des Bergwasserspiegels können solche Gebiete nur noch temporär oder gar nicht mehr überflutet werden. Ein Anstieg des Bergwasserspiegels kann umgekehrt jedoch zur Versumpfung und damit zur Entstehung neuer Feuchtgebiete führen. Beide Möglichkeiten wirken sich in einer unerwünschten Veränderung der Flora und Fauna aus.

- Szenario **C_d; Vegetation:**

Sonstige Einflüsse auf die Vegetation und Bewirtschaftung; versiegende Quellen können zum Beispiel infolge Wegfalls der Tränkemöglichkeiten die Bestossung ganzer Alpen verunmöglichen.

- Szenario **C_e; Wasserqualität im Fließgewässer:**

Beeinflussung der Wasserqualität (chemische und physikalische Beschaffenheit) von Bächen und Flüssen durch die Untertagebaute, z.B. infolge Veränderung der In- und Exfiltrationsverhältnisse, durch die Einleitung temperierter Tiefenwässer, welche zudem meist stärker mineralisiert sind. Die Lebensbedingungen ganzer Flussabschnitte können so verändert werden.

- Szenario **C_f; Fassungsanlagen:**

Einfluss auf existierende oder geplante Trinkwassergewinnung; sowohl eine quantitative als auch qualitative Einschränkung des nutzbaren Grundwassers ist möglich. Bestehende Fassungen können u.U. nicht mehr im bisherigen Umfang genutzt werden.

- Szenario **C_g; Terrainbewegungen:**

Terrainbewegungen mit Folgeschäden an Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen können auch bei nur kurzzeitigen Grundwasserspiegeländerungen während der Bauphase auftreten. Die Entwässerung des Untergrundes führt zum Wegfall des Auftriebes bzw. der Stützfunktion des Gebirges respektive des Bodens und damit zu Setzungen. Ein Anstieg des Grundwasserspiegels kann seinerseits zu einer Erhöhung des Auftriebes und somit zu Hebungen und/oder Hanginstabilitäten führen.

- Szenario **C_n**; **Durchfluss**:

Durchfluss und Speichervolumen nutzbarer Grundwasservorkommen werden durch Einbauten wesentlich und dauernd verringert; ohne Zusatzmassnahmen (z.B. Unterdükerung) entsteht durch das einen Grundwasserstrom querende Bauwerk eine Stauwirkung auf das Grundwasser (Barriereeffekt) und damit eine Reduktion der Durchflussmenge aber auch des Speichervolumens.

Eintretenswahrscheinlichkeit

Aufgrund der Angaben im hydrogeologischen Bericht sind für die verschiedenen Auswirkungsszenarien die Eintretenswahrscheinlichkeit und die Konsequenzen abzuschätzen. Die Eintretenswahrscheinlichkeit kann quantitativ (in %) oder umschreibend (wahrscheinlich, möglich, unmöglich) angegeben werden. Ebenfalls wichtig ist, ob es sich um dauernde (durch das Bauwerk verursachte) oder nur um vorübergehende (durch einen Bauzustand verursachte) Auswirkungen handelt.

In die Beurteilung der Eintretenswahrscheinlichkeit fliessen verschiedene Faktoren ein:

- Die Prognoseunsicherheit über die Ausprägung systembestimmender Parameter (Kluftporosität, Durchlässigkeiten, Ausmass der Druckhöhenvariationen) aus dem hydrogeologischen Gutachten (z.B.: "Liegt die betrachtete Quelle innerhalb oder ausserhalb des prognostizierten Einzugsgebietes des Tunnelabschnittes?").
- Ungenaue Kenntnis der Wirkungszusammenhänge (z.B.: "Kann die Zerklüftung des Gebirges wirklich zu einer quantitativen Beeinträchtigung der Quelle durch einen 200 m tiefer gelegenen Projektabschnitt führen?").

Beispiel

Nachfolgend wird die Eintretenswahrscheinlichkeit für jedes Auswirkungsszenario an einem konkreten Beispiel vorgestellt und begründet. Das **Beispiel** könnte im **Tessin** anzutreffen sein und beschreibt einen Projektabschnitt in einem schwach geklüfteten, nicht verkarstungsfähigen Fels.

Auswirkungs-szenario		Eintretenswahrscheinlichkeit einer Grundwasserbeeinträchtigung	Begründung
A		tritt nicht ein	da wasserführende Klüfte eine Verbindung zur Oberfläche haben können
B		möglich aber wenig wahrscheinlich	relativ grosse Wahrscheinlichkeit, eine wasserwegsame Verbindung zur Oberfläche anzuschneiden
C_a	Quellen	wahrscheinlich	mit Tiefenwässer gespiesene Quellen im Einzugsgebiet
C_b	Wasserführung im Fliessgewässer	unwahrscheinlich	Projekt sieht keine Einleitung grösserer Wassermengen in Fliessgewässer vor
C_c	Feuchtgebiete	möglich	Feuchtgebiet im Randbereich des Einzugsgebietes
C_d	Vegetation	unmöglich	grosser Teil des Einzugsgebietes ist vegetationslos
C_e	Wasserqualität im Fliessgewässer	unmöglich	das Projekt sieht keine Drainage grösserer Mengen von Tiefenwässer vor
C_f	Fassungsanlagen	unmöglich	keine Trinkwassergewinnung im Einzugsgebiet
C_g	Terrainbewegungen	unmöglich	Terrain nahezu unbebaut, einige wenige auf Fels fundierte Gebäude
C_h	Durchfluss	unmöglich	der bestehende Durchflussquerschnitt wird nur unwesentlich vermindert

Abb. 3-3: Beispiel für einen Tunnelabschnitt in schwach geklüftetem, nicht verkarstungsfähigem Fels

3.2.4 Vorschläge für Massnahmen zur Verhinderung umweltrelevanter Auswirkungen (Massnahmenszenarien)

Liegt die Möglichkeit für das Eintreten verschiedener Szenarien in einem ähnlichen Bereich und sind die zu erwartenden Konsequenzen derart, dass Konflikte mit dem Grundwasserschutz zu befürchten sind, ist im Projekt aufzuzeigen, mit welchen Massnahmen (u.a. baulichen) die entsprechenden Auswirkungen vermieden werden können.

Die geplanten Massnahmen (pro spezifischen Tunnelabschnitt) sollen die Absichten der Bauherrschaft dokumentieren und der Behörde aufzeigen, dass die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Grundwasserschutz aller Wahrscheinlichkeit nach eingehalten werden können (Niveau von Szenario A). Ein Massnahmenpaket kann verschiedene Auswirkungsszenarien abdecken.

Die vorgesehenen Massnahmen im Projekt bzw. der zugehörigen technischen Berichterstattung sind umfassend zu spezifizieren:

- Auflistung der möglichen Massnahmen
- Darstellung der Wirkungsweise der Massnahme
- Begründung, warum die vorgesehene Massnahme unter den vorliegenden Bedingungen langfristig wirksam ist
- Zusätzliche Kosten zufolge Realisierung der betreffenden Massnahme

Um gute Systemsicherheiten zu erreichen, müssen bei der Wahl der Massnahmen praktisch alle Unsicherheiten angemessen mitberücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass Massnahmenpakete in schwierigen Fällen für das Bewilligungsverfahren sehr breit ausgelegt werden müssen. Mit zunehmendem Vortrieb kann aber von einer laufenden Abnahme der Unsicherheiten und damit von einem sich verbessernden Kenntnisstand ausgegangen werden. Damit wird sich auch die Anzahl der realistisch zu verwirklichenden Lösungen laufend vermindern.

Zu beachten ist allerdings, dass sich bei der Submission der Bauarbeiten die durch die vorgeschlagene Methodik entstehende Vielzahl von Projektvarianten erschwerend auswirken kann. Es empfiehlt sich deshalb, das Submissionsprojekt entsprechend zu gestalten. Insbesondere sind klare Aussagen über die Zulassung allfälliger weiterer Varianten zu machen.

Im Anhang III zu dieser Wegleitung sind Situationen und Fallbeispiele dargestellt, welche dem Umweltberichterstatter als Unterstützung für die Ausarbeitung der Vorschläge bzw. dem Projektverfasser für deren Umsetzung dienen können.

3.2.5 Überwachungskonzept

Der Projektverfasser legt ein Überwachungskonzept vor und beschreibt darin, wie er mögliche Auswirkungen der Untertagebaute während der Bau- und anfänglichen Betriebsphase auf das Grundwasser erkennen will (Monitoring). Das Konzept definiert die durchzuführenden Untersuchungen, die Beobachtungsstellen, die Periodizität der Messungen, die Dauer der Messkampagne, und legt fest, wer die Messungen ausführt und wer die Resultate zur Kenntnis erhält.

Alle im Einzugsgebiet des geplanten Bauwerkes liegenden **Quellen** sind vom Projektgeologen zu erfassen und bezüglich Schüttungsmenge inkl. Schwankungsbereich, chemischen sowie physikalischen Parametern (elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und wo notwendig, Analyse von Einzel- oder Summenparametern) zu charakterisieren und zu dokumentieren. Dasselbe Vorgehen gilt sinngemäss auch für **Grundwasservorkommen**. Anschliessend muss nach der Auswertung dieser Beobachtungen und der Verknüpfung mit den generellen regionalen hydrogeologischen Kenntnissen durch den Projektverfasser der eigentliche **Überwachungsplan** erstellt werden.

Der Überwachungsplan

- definiert die Auswahl der zu überwachenden Quellen bzw. Grundwasserbeobachtungsstellen und legt sowohl Periodizität und die Messdauer als auch evtl. auszuführende qualitative Untersuchungen (Analytik) fest;
- zeigt auf, wie die vorgängig aufgeführten Auswirkungsszenarien erkannt werden können;
- erläutert, wie die Bauherrschaft nach erkannten Auswirkungen auf das Grundwasser die Massnahmen (vorbehaltene Entschlüsse) auslösen und auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen gedenkt.

Der Überwachungsplan soll so ausformuliert werden, dass die Prüfbehörde die vorgesehenen Massnahmen nachvollziehen und damit beurteilen kann.

Im Zuge der Projektierung bzw. im UV-Bericht muss die Bauherrschaft also entweder plausibel nachweisen, dass projektbedingte Spätfolgen auf Quellen, Grundwasser und Vegetation ausgeschlossen werden können, oder es muss ein Überwachungskonzept vorgesehen werden, welches erlauben wird, diese Auswirkungen rechtzeitig zu erkennen und gezielt Massnahmen zu ergreifen.

3.2.6 Beurteilung durch die Umweltschutzfachstelle

Die Umweltschutzfachstelle beurteilt die in den vorhergehenden Kapiteln aufgeführten Aspekte gesamtheitlich auf ihre Vollständigkeit und ihre Plausibilität bezüglich der Vorgaben des Grundwasserschutzes, macht u.U. entsprechende Vorbehalte und stellt zusätzlich einzuhaltende Bedingungen auf. Insbesondere ist es Aufgabe der Umweltschutzfachstelle zu beurteilen, ob im UV-Bericht alle grundwasserrelevanten Auswirkungen des Bauvorhabens erfasst und im Projekt adäquate Massnahmen ausgearbeitet worden sind. Sie befasst sich mit den in Aussicht gestellten Massnahmen (Falls-Dann-Szenarien, vorbehaltene Entschlüsse) aus der Szenarienanalyse und deren voraussichtliche Aussagekraft im Hinblick auf die zu fällenden Entscheide. Ausserdem beurteilt sie, ob für alle Projekt- und Bauphasen das Monitoring bzw. die Überwachung im Zusammenhang mit dem Grundwasserschutz zweckmässig und ausreichend ist.

4. VERIFIKATION UND MONITORING NACH DER PROJEKT-BEWILLIGUNG

4.1 Umsetzung des Überwachungskonzeptes

Erst **während der Bauphase** kann das Eintreten der als möglich erachteten Auswirkungen und die Angemessenheit der geplanten Massnahmen verifiziert werden. Dies geschieht z. B. auf der Basis von

- Monitoring ausgewählter Quellen, Grundwassermessstellen sowie Oberflächengewässern im Einzugsgebiet des Untertagebauwerkes im Rahmen des Überwachungskonzeptes;
- permanenter Beobachtung und Analyse der geologischen, hydrogeologischen und tektonischen Verhältnisse beim Vortrieb durch den Projektgeologen; Anpassung des geologischen und hydrogeologischen Modells;
- Voraussondierungen aus dem Bauwerk heraus.

Stehen zur Behebung einer beobachteten untolerierbaren Auswirkung des Bauwerkes auf die Grundwasserverhältnisse als Folge der Szenarienanalyse bzw. als vorbehaltener Entschluss mehrere Massnahmenpakete zur Verfügung, so besteht die Möglichkeit, die definitive Entscheidung über die auszuführenden Arbeiten zu diesem Zeitpunkt aufgrund der effektiven Beobachtungen zu treffen.

Die Bauherrschaft informiert in diesen Fällen die Bewilligungsbehörde über die von ihr getroffenen Anordnungen.

Nach der Bauphase ist zu prüfen, ob

- die Beurteilung der Verhältnisse richtig war;
- die erwarteten Auswirkungen eingetreten sind;
- Massnahmen zur Minderung der Auswirkungen auf das vorgegebene Niveau erfolgt sind;
- die erwähnten Massnahmen erfolgreich waren.

Weiter ist zu überprüfen, ob sich in denjenigen Bereichen, wo mit vorübergehenden Auswirkungen gerechnet wurde, der ursprüngliche Zustand wieder eingestellt hat.

Da weitere projektbedingte Auswirkungen je nach hydrogeologischer Situation erst Jahre nach Bauabschluss auftreten können, muss das Monitoring der Quellen und des Grundwassers in diesen Fällen auch **nach Fertigstellung der Bauten während einer angemessenen Periode** weitergeführt werden.

4.2 Überwachung der Bauarbeiten

Die Auflagen der Genehmigungsbehörde werden von der Bauherrschaft im Rahmen der Submission dem Unternehmer als einzuhaltende Randbedingungen mitgeteilt.

Es ist Sache der Bauherrschaft, die Einhaltung dieser Auflagen aus der Sicht des Grundwasserschutzes sicherzustellen. Sie dokumentiert ihre Absicht im Rahmen eines "Kontroll- und Überwachungs-

planes Hydrogeologie“, der Behörde vor Baubeginn zur Kenntnis gebracht wird. Die Vollzugsbehörde überprüft die Einhaltung stichprobenweise.

4.3 Überprüfung der Umsetzung der Massnahmenszenarien durch die Behörde inkl. Einflussnahme der Behörde auf die Ausführung

Damit sichergestellt werden kann, dass die Massnahmenszenarien im Sinne des Behördenentscheids umgesetzt werden, ist die Gewässerschutzfachstelle während der Bauphase laufend über grössere Ereignisse, welche unter- oder oberirdische Gewässer beeinträchtigen können (wie z.B. grosse Wassereinbrüche) und die dabei getroffenen Massnahmen zu benachrichtigen. Um der Behörde eine Kontrolle zu ermöglichen, ob die Gewässerschutzvorschriften eingehalten werden, ist dieser nach Abschluss der Bauarbeiten ein Bericht über die angetroffenen Bergwasserverhältnisse und die zur Beherrschung des Bergwassers ergriffenen Massnahmen einzureichen. Zudem ist im Rahmen der Bauabnahme aufzuzeigen, dass die Auflagen eingehalten wurden.

ANHANG I DIE METHODIK DER SZENARIENANALYSE

1. Grundlagen

Bei Untertagebauwerken, die sich aufgrund ihrer Tiefenlage oder aufgrund der komplexen geologischen Verhältnisse einer gesicherten hydrogeologischen Prognose entziehen, müssen anhand von realistischen Szenarien die möglichen Auswirkungen auf die Umwelt abgeschätzt und Massnahmen zu deren Reduktion vorgeschlagen werden. Die Szenarienanalyse soll also der Umweltbehörde auch bei ungenügender Prognosesicherheit bereits während der Planungsphase ermöglichen, die Einhaltung der Vorgaben des Grundwasserschutzes zu überprüfen.

Der Vergleich der Prognose mit den effektiven Verhältnissen und das Auslösen von notwendigen Massnahmen ist während des Baus mit geeigneten Überwachungsprogrammen von der Bauherrschaft zu kontrollieren und zu dokumentieren.

Die nachfolgend beschriebene Methodik wird als selbständiger Ablauf dargestellt, d.h. ohne Hinweis auf die Verfahrensstufe, in welcher die einzelnen Schritte angewendet werden. Sie kann somit für UVP-pflichtige Projekte und ebenso für nicht UVP-pflichtige Vorhaben gleichartig verwendet werden.

2. Methodik

Ausgehend vom Ist-Zustand im Einzugsgebiet des entsprechenden Tunnelabschnittes müssen die möglichen negativen Umweltauswirkungen aufgezeigt und die entsprechenden Massnahmenpakete ausgearbeitet werden. Zudem muss ein Monitoring-Konzept vorgelegt werden, welches die Überprüfung der getroffenen Annahmen während der Bau- und der Nutzungsphase des Tunnelabschnittes gewährleistet.

Phase	Ziel	Mittel
Planung	Unsicherheiten ausleuchten/minimieren	Szenarien zu möglichen Auswirkungen Szenarien zu möglichen Massnahmen und Konzeption des Vorgehens während und nach der Bauphase (Verifikation, Monitoring)
Bau	Sicherheit erlangen	Szenarien verifizieren ; entsprechende Massnahmen treffen
Betrieb/Nutzung	Sicherheit überprüfen	Monitoring ; evtl. notwendige ergänzende Massnahmen treffen

Abb. I-1: Übersicht über das Vorgehen zur Verhinderung von Umweltbeeinträchtigungen während Projektierung, Bau und Betrieb eines Tunnelabschnittes

Das Vorgehen der Projektgeologen und -ingenieure - und damit der Aufbau der vorliegenden Wegleitung - lässt sich für jeden der betrachteten Tunnelabschnitte in vier Schritte gliedern (vgl. Abb. I-2):

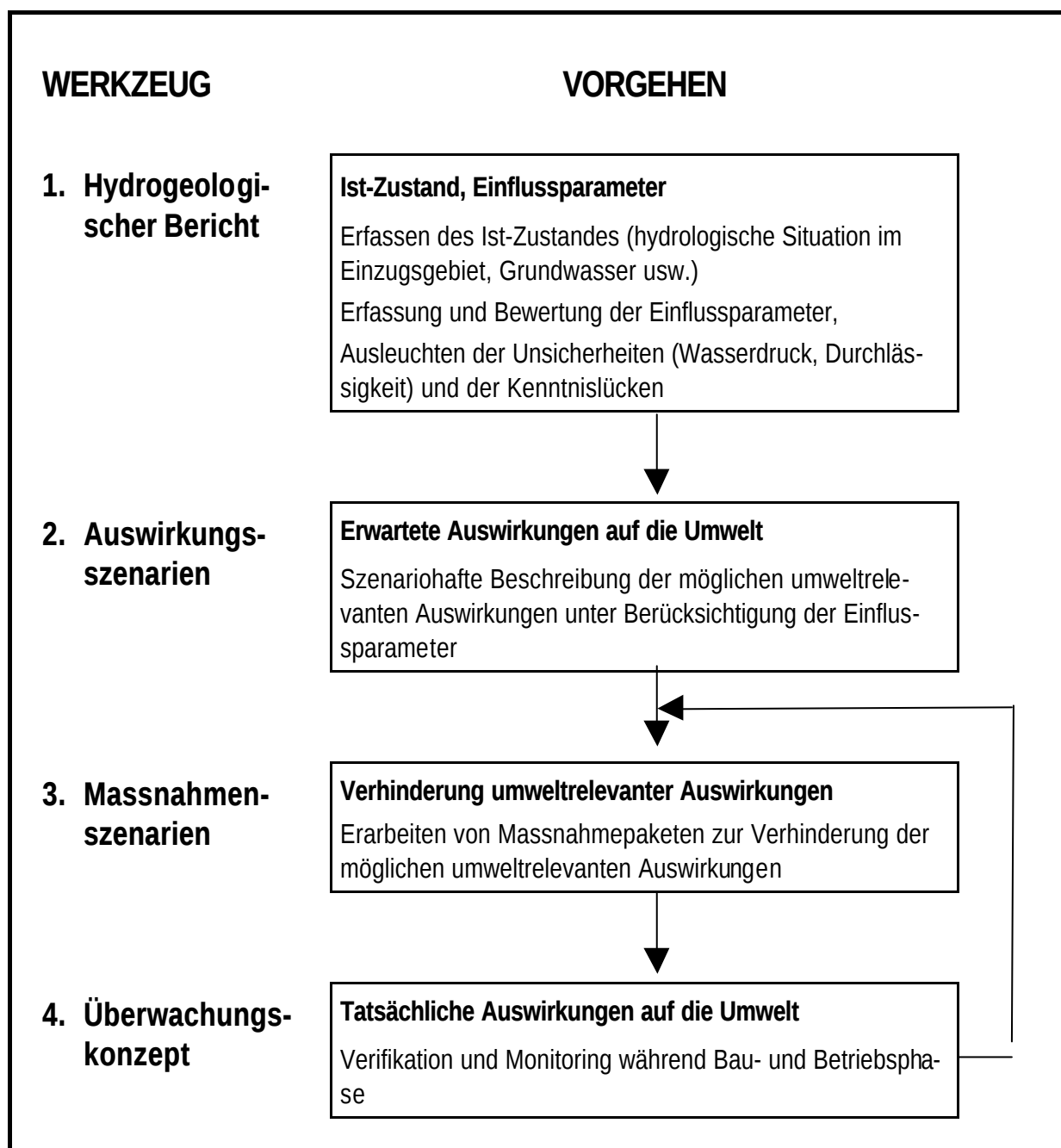


Abb. I-2: Schematischer Ablauf der Szenarienanalyse

Nachfolgend sind die einzelnen Schritte näher erläutert:

➔ 1. Schritt: Erfassung Ist-Zustand und Einflussparameter

Der **hydrogeologische Bericht** erfasst den Ist-Zustand des Einzugsgebietes. Er beschreibt die Situation an der Oberfläche (z.B. Quellen, Feuchtgebiete) und im Untergrund (z.B. Grundwasserverhältnis-

se) und bewertet diejenigen Parameter, welche diese beeinflussen können (z.B. Wassermenge, Wasserdruck und Durchlässigkeit).

Dort, wo Unsicherheiten bestehen, müssen die verschiedenen Möglichkeiten im Hinblick auf die Auswirkungsszenarien ausgewiesen werden.

➔ **2. Schritt: Beschreibung der erwarteten Auswirkungen auf die Umwelt**

Die umweltrelevanten Auswirkungen des Tunnelbaues auf die Umwelt werden dargelegt. Unter Berücksichtigung der unsicheren Einflussparameter ergeben sich verschiedene Szenarien, welche alle möglichen Auswirkungen abdecken (Auswirkungsszenarien wie z.B. "Wenn die Wasserdurchlässigkeit des Gesteines hoch ist, dann ist mit einer Trockenlegung der Quellen x und y sowie mit einer Beeinträchtigung des Feuchtgebietes z zu rechnen. Falls jedoch die Wasserdurchlässigkeit gering ist, ist nur Quelle x gefährdet").

➔ **3. Schritt: Massnahmen zur Verhinderung umweltrelevanter Auswirkungen**

Für jedes Auswirkungsszenario ist ein Massnahmenpaket auszuarbeiten, welches die entsprechenden Beeinträchtigungen der Umwelt verhindert (Massnahmenszenarien).

➔ **4. Schritt: Verifikation und Monitoring**

Die Verifikation, d.h. die Abklärung, welche der aufgezeigten Auswirkungsszenarien in der Realität tatsächlich eintreten, kann erst während der Bauphase vorgenommen werden. Während der Projektierungsphase ist jedoch ein Konzept vorzulegen, auf welche Art diese Verifikation vorgenommen werden soll (z.B. durch Vorausböhrungen) und wie die Auslösung der Massnahmen geregelt ist.

Ebenso ist im Rahmen dieses Überwachungskonzeptes die Erfolgskontrolle zu planen:

- Wie werden die Auswirkungen beobachtet?
- Sind die befürchteten Umweltauswirkungen tatsächlich verhindert worden?
- Sind statt dessen allenfalls andere Auswirkungen aufgetreten?

ANHANG II MÖGLICHE MASSNAHMEN IM VORTRIEB UND ENDAUSBAU

Die für den quantitativen Grundwasserschutz relevanten Grössen zur Beschreibung der möglichen Wassereintritte (Wasserandrang auf das Bauwerk) sind der Wasserdruck und die Gebirgsdurchlässigkeit. Massnahmen werden sich nach Art und Grösse der angetroffenen Durchlässigkeit und nach der Grösse des Wasserdrucks und des Speichervolumens richten.

Grundlagen dafür sind in Kap. 2 Grundwasserschutz bei Tunnelbauten; Grundlagenbericht - BUWAL Schriftenreihe Umwelt Nr. 231, 1994 erarbeitet. Zu unterscheiden sind Massnahmen, die während des Vortriebs oder beim Endausbau vorgenommen werden. In den nachfolgenden Abb. II-1 und II-2 werden mögliche Massnahmen aufgeführt.

Massnahmen beim Vortrieb (konventionell oder maschinell)

		Durchlässigkeit	
		klein	gross
Wasser- druck	klein	• ohne spezielle Massnahmen bezüglich Grundwasser	• temporäre Grundwasserabsenkung erlaubt und wirtschaftlich: → Wasserhaltung mit Filterbrunnen • temporäre Grundwasserabsenkung nicht erlaubt oder unwirtschaftlich: → Abdichtung des engeren Vortriebsbereichs mittels Injektionen, Jetting, Vereisung etc. → Schild-TBM bei grösseren Tunnelängen
	gross	• ohne spezielle Massnahmen bezüglich Grundwasser (Tropfwasser)	• vorausseilende Drainagebohrungen/Drainagestollen • vorausseilende Abdichtungsinjektionen (Felsabdichtungen) • Abschottungen in Tunnellängsrichtung (Injektionen) bei Kombinationslösungen

Abb. II-1: Mögliche Massnahmen in bezug auf Grundwasserschutz beim Vortrieb

Massnahmen beim Endausbau

	Durchlässigkeit	
	klein	gross
Wasser- druck	klein	Drainage oder wasserdichte Röhre in der Regel wasserdichte Röhre • Abdichtung zwischen Aussen- und Innenring, Verkleidung evtl. aus wasserdichtem Beton • Tübbinge, mit Fugenabdichtung bei einschaliger Bauweise • voller Wasserdruck auf Innenring Drainagemassnahme selten , da in der Regel zu grosse Wassermengen
	gross	in der Regel Drainagemassnahme zur Vermeidung von hohen Wasserdrücken auf den Tunnel in der Regel Drainagemassnahme • Drainage und Abdichtungen zwischen Aussen- und Innenring • kein Wasserdruck auf Innenring wasserdichte Röhre • Abdichtung zwischen Aussen- und Innenring • voller Wasserdruck auf Innenring Kombinationslösung • Felsabdichtung während Vortrieb und Restdrainage • kein Wasserdruck auf Tunnelröhre

Abb. II-2: Mögliche Massnahmen in bezug auf Grundwasserschutz beim Endausbau

ANHANG III FALLBEISPIELE

Die nachfolgend dargestellten Situationen sind weitgehend abstrahiert. Durch das Anfügen von Fallbeispielen entsteht ein Bezug auf ausgeführte Untertagebauwerke.

Situation 1

<i>Tunnelabschnitt</i>	Tunnelstrecke im Lockergestein in einem Gebiet mit genutztem Grundwasservorkommen, grossem Einzugsgebiet, grosser Durchlässigkeit und kleinem Wasserdruck
<i>Auswirkungsszenario</i>	langfristig wird dem Grundwasservorkommen mehr Wasser entnommen als ihm zufließt; C_f (Fassungsanlagen), C_g (Terrainbewegungen) und C_h (Durchfluss)
<i>Massnahmen</i>	Vortrieb im Schutz von • Injektionen, Jetting oder Vereisung • Schild - TBM • temporäre Grundwasserabsenkung, falls erlaubt und wirtschaftlich Endausbau • wasserdichte Tunnelröhre • Unterdükerung des Bauwerkes zur Verminderung des Barriereeffektes im Grundwasserstrom
<i>Begründung</i>	Aus ökonomischen Gründen (Minimierung Pumpstunden bei der Tunnelentwässerung) muss die Tunnelröhre im Endausbau dicht sein. Zusätzlich würde sonst dem Grundwasservorkommen langfristig mehr Wasser entnommen als ihm zufließt.

Fallbeispiele:

- SBB Hagenholztunnel: Schildvortrieb im Schutze einer temporären Grundwasserabsenkung mit Filterbrunnen, zweischalige wasserdichte Röhre mit Abdichtungsfolie
- SBB Grauholztunnel, Lockergesteinsstrecken: Mixschild-Tunnelbohrmaschine, einschalige wasserdichte Röhre

Situation 2

<i>Tunnelabschnitt</i>	Tunnelstrecke in tunnelbautechnisch günstigen verkarstungsfähigen jurassischen Gesteinsformationen wie Portlandien oder Kimmeridgien, d.h. lokal hohe Durchlässigkeit; unterhalb genutzter Quellen
<i>Auswirkungsszenario</i>	beim Anschneiden von Karstwasservorkommen wird dem Grundwasser langfristig mehr Wasser entnommen als ihm zufließt; C _a (Quellen), C _f (Fassungsanlagen) und C _g (Terrainbewegungen)
<i>Massnahmen</i>	Vortrieb - Vorausbohrungen oder Sondierstollen in verkarstungsfähigen Serien, lokale Felsinjektionen, evtl. Umleiten von Karstläufen Endausbau - je nach Wasseranfall Drainageröhre oder wasserdichte Röhre
<i>Begründung</i>	Vorauserkundung und Vornahme von Gebirgsverbesserungen, Grundwasserschutz

Fallbeispiele:

- N3 Bözbergtunnel: Tunnelbohrmaschinenvortrieb u.a. wegen Schutz der Thermalquellen von Schinznach Bad, wasserdichte Röhre auf 500 m Länge: elastische Dichtung zwischen Aussen- und Innenring, Injektionen zur Grundwasserabschottung in Tunnellängsrichtung
- N3 Habsburgtunnel: Sprengvortrieb mit Sprengstoffmengenbegrenzung in der Felsstrecke, wasserdichte Röhre auf 180 m Länge als Thermenschutz, kragenförmige Längsabschottungen

Situation 3

<i>Tunnelabschnitt</i>	schlecht durchlässiges Gestein (Mergel) bei kleiner bis mittlerer Überlagerung (Wasserdruck klein bis mittel)
<i>Auswirkungsszenario</i>	A-B (Grundwasserbeeinträchtigung nicht möglich oder wenig wahrscheinlich)
<i>Massnahmen</i>	Vortrieb - keine Endausbau - Drainageröhre
<i>Begründung</i>	keine Beeinträchtigung der hydrogeologischen Verhältnisse durch die Untertagebaute

Fallbeispiele:

- N2 Seelisbergtunnel, Streckenabschnitt in den Valanginien-Mergeln: Drainagemassnahme mit Ableitung des Bergwassers

Situation 4

<i>Tunnelabschnitt</i>	Tunnelstrecke in den Alpen; grosse Überlagerung (>500 m), im massiven Kristallin; i. d. R. geringe Durchlässigkeit und hoher Wasserdruck
<i>Auswirkungsszenario</i>	A-B (Grundwasserbeeinträchtigung nicht möglich oder wenig wahrscheinlich)
<i>Massnahmen</i>	Vortrieb • keine Endausbau • Drainageröhre
<i>Begründung</i>	keine Beeinträchtigung der hydrogeologischen Verhältnisse durch die Untertagebaute

Fallbeispiele:

- N2 Gotthard-Strassentunnel; Streckenabschnitt im zentralen Aare-Granit: Vorseilender Sicherheitsstollen wirkt als Drainagestollen, Tunnelendausbau als Drainagemassnahme mit wasserdichtem Beton, alle 8 m offene Ringfugen Ø 40 cm, offenbar kein negativer Einfluss auf Quellen oder Grundwasservorkommen
- SBB Gotthard - Scheiteltunnel; Streckenabschnitt im zentralen Aare-Granit: Drainagemassnahme

Situation 5

<i>Tunnelabschnitt</i>	Störungszonen bei alpinen Untertagebauten mit grosser Überlagerung, d.h. grosse Durchlässigkeit und hoher Wasserdruck; im Bereich der Baute liegen genutzte Quellen; Wasser kann stark sulfathaltig sein
<i>Auswirkungsszenario</i>	Menge und Qualität des Grundwassers werden durch den Kurzschluss zweier oder mehrerer Grundwassersysteme beeinträchtigt; C_a (Quellen), C_e (Vorfluter) und C_f (Fassungsanlagen)
<i>Massnahmen</i>	Vortrieb • Sondierstollen, Vorausbohrungen, Injektionen Endausbau • Drainageröhre (abdrainieren des Restwassers zur Vermeidung hoher Wasserdrücke)
<i>Begründung</i>	Vorauserkundung und Vornahme von Gebirgsverbesserungen, Grundwasserschutz

Fallbeispiele:

- AlpTransit, Lötschberg-Basistunnel; Querung des Jungfraukeils; Massnahmen zum Zurückdämmen des Bergwassers geplant
- AlpTransit, Gotthard-Basistunnel; Querung Pioramulde: Sondiersystem mit Stollen und Vorausbohrungen im Bau; gebirgsverbessernde Massnahmen bei Bedarf möglich