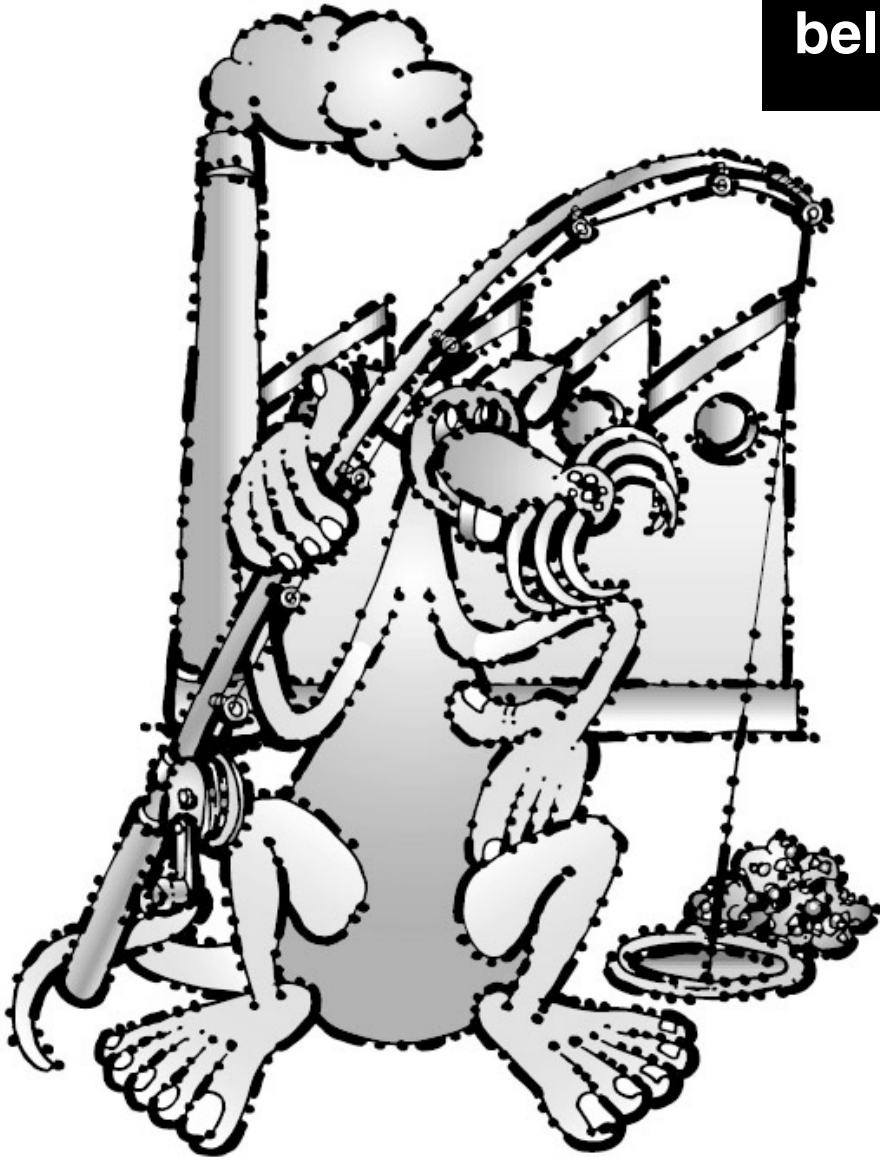


**Altlasten  
Gefährdungsabschätzung**

**Probenahme  
von Grundwasser bei  
belasteten Standorten**





**Altlasten  
Gefährdungsabschätzung**

**Probenahme  
von Grundwasser bei  
belasteten Standorten**

**Herausgegeben vom Bundesamt  
für Umwelt, Wald und Landschaft  
BUWAL  
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)

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

## **Autoren**

*Arbeitsgruppe «Voruntersuchung»:*

- B. Bahrig, Arbeitsgemeinschaft Boden- und Grundwasserschutz, D-Konstanz
- M. Brehmer, Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn
- H. Burger, Baudepartement des Kantons Aargau
- P. Haldimann, Dr. H. Jäckli AG, Zürich
- P. Huggenberger, Kantonsgeologe des Kantons Basel-Stadt
- R. Philipp, magma AG, Zürich (Sekretariat)
- D. Reinker, Ecoswiss, Zürich
- D. Rossel, AB Conseil SA, Orbe
- B. Schmid, BMG Engineering AG, Schlieren  
(Vertreter der schweizerischen Gesellschaft für Chemische Industrie, SGCI)
- M. von Allmen, Dr. Graf AG, Gerlafingen (Vertreter von Swissmem)
- U. Ziegler, BUWAL (Vorsitz)

## **Titelbild**

Hans-Peter Imhof, Atelier für Gestaltung Bern

## **Bezug**

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft

Dokumentation, 3003 Bern

Fax + 41 (0)31 324 02 16, E-Mail: docu@buwal.admin.ch

Internet: www.buwalshop.ch

## **Bestellnummer**

VU-3413-D

# Inhalt

Zusammenfassung .....	5
1 Einleitung.....	7
1.1 Allgemeines .....	7
1.2 Ziele der Vollzugshilfe.....	8
1.3 Anwendungsbereich .....	8
2 Räumliche Abgrenzung eines Standortes .....	9
3 Der Abstrombereich.....	12
4 Der Abstrombereich unmittelbar beim Standort .....	16
5 Der Oberstrombereich .....	18
6 Probenahmestrategie .....	20
6.1 Hydrogeologisches Arbeitsmodell.....	20
6.2 Anordnung und Anzahl der Probenahmestellen.....	20
6.3 Probenahme .....	23
ANHANG .....	26
Weiterführende Literatur .....	26
Eidgenössische Gesetze und Vorschriften.....	27



## Zusammenfassung

Ziel der Altlastenbearbeitung ist gemäss Umweltschutzgesetzgebung die Beseitigung von schädlichen oder lästigen Einwirkungen, die von einem belasteten Standort bereits heute auf die Umwelt ausgehen, sowie der konkreten Gefahr für solche Einwirkungen. Neben den Umweltbereichen Boden, Luft und Oberflächengewässer können solche Immissionen insbesondere das Schutzgut Grundwasser beeinträchtigen. Die Altlasten-Verordnung vom 26. August 1998 (AltIV) enthält deshalb spezifische Kriterien für die Untersuchung und Beurteilung von Einwirkungen, die von belasteten Standorten auf das Grundwasser ausgehen. Zur Beurteilung der Immissionen, welche das Grundwasser bereits heute beeinträchtigen, muss der vom Standort verursachte Eintrag an umweltgefährdenden Stoffen anhand von Grundwasserbeprobungen im Abstrombereich unmittelbar beim Standort mit der Situation im Oberstrombereich des Standortes verglichen werden.

Die AltIV drückt klar aus, dass zur Beurteilung der Einwirkungen eines Standortes die Konzentration der von ihm stammenden Stoffe in dessen unmittelbarem Abstrombereich zu ermitteln ist. Es muss folglich im Einzelfall festgelegt werden, über welches Gebiet sich der „Abstrombereich unmittelbar beim Standort“ erstreckt und mit welcher Methode die zu untersuchenden Grundwasserproben zu entnehmen sind.

Die Vollzugshilfe gibt den Vollzugsbehörden und den Beratern die Grundlagen für die Entnahme repräsentativer Grundwasserproben zur Bestimmung der Konzentration der vom Standort stammenden Stoffe. Hierzu definiert sie die Kriterien für die Bestimmung des Abstrombereiches unmittelbar beim Standort und gibt die Entscheidungsgrundlagen wieviele Probenahmestellen im konkreten Fall eingerichtet werden müssen wo diese zu platzieren sind und wann und wo der Oberstrombereich beprobt werden soll.





# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemeines

Nach Art. 5 Abs. 4 Bst. b der Verordnung vom 28. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung; AltIV) legt die Behörde fest, welche Standorte einer Voruntersuchung bedürfen. Das Ziel einer solchen Voruntersuchung ist die Beurteilung der Überwachungs- oder Sanierungsbedürftigkeit eines belasteten Standortes (Art. 8 AltIV). Hinsichtlich des Schutzes des Grundwassers sind für diese Beurteilungen neben Untersuchungen im belasteten Bereich des Standortes selbst (konkrete Gefahr) in der Regel auch Beprobungen des Grundwassers (unmittelbare Gefahr) notwendig:

- ein Überwachungsbedarf ergibt sich dann, wenn im Abstrombereich des Standortes von diesem stammende Stoffe festgestellt werden, die Gewässer verunreinigen können (Art. 9 Abs. 1 Bst. b. AltIV);
- ein Sanierungsbedarf ergibt sich dann, wenn im Abstrombereich unmittelbar beim Standort die Konzentration von Stoffen, die vom Standort stammen bei nutzbarem Grundwasser die halben (Art. 9 Abs. 2 Bst. b AltIV), bei übrigem Grundwasser die doppelten (Art. 9 Abs. 2 Bst. c AltIV) Konzentrationswerte nach Anhang 1 AltIV überschreiten.

Es stellt sich also die Frage, was unter "Abstrombereich unmittelbar beim Standort" zu verstehen ist und wie dieser bestimmt werden kann. Wegen der meist heterogenen, an jedem Standort unterschiedlichen Untergrund- und Grundwasserhältnisse stellen zudem die Wahl geeigneter Probenahmestellen und die Entnahme repräsentativer Grundwasserproben hohe Anforderungen an den mit der Untersuchung beauftragten Berater.

Die Frage, ob ein Stoff vom Standort stammt, muss in der Regel durch einen Vergleich der Grundwasserqualität im Oberstrom- und im Abstrombereich beantwortet werden.

Die «Arbeitsgruppe Voruntersuchung» des BUWAL hat sich zum Ziel gesetzt, eine «Werkzeugkiste» mit einfach zu gebrauchenden, praxistauglichen Vollzugshilfen zur Voruntersuchung von belasteten Standorten zu schaffen. Diese «Werkzeugkiste» enthält Anleitungen, Checklisten und Grundlagen, mit welchen eine spezifische Aufgabe im Einklang mit den gesetzlichen Vorschriften gelöst werden kann. Mit diesen Vollzugshilfen sollen insbesondere auch Qualität und Effizienz von Untersuchungen und damit die Wirtschaftlichkeit der Altlastenbearbeitung verbessert werden.

## „Werkzeugkiste“ des BUWAL zur Altlastenbearbeitung: Auswahl geplanter und bestehender Arbeitshilfen

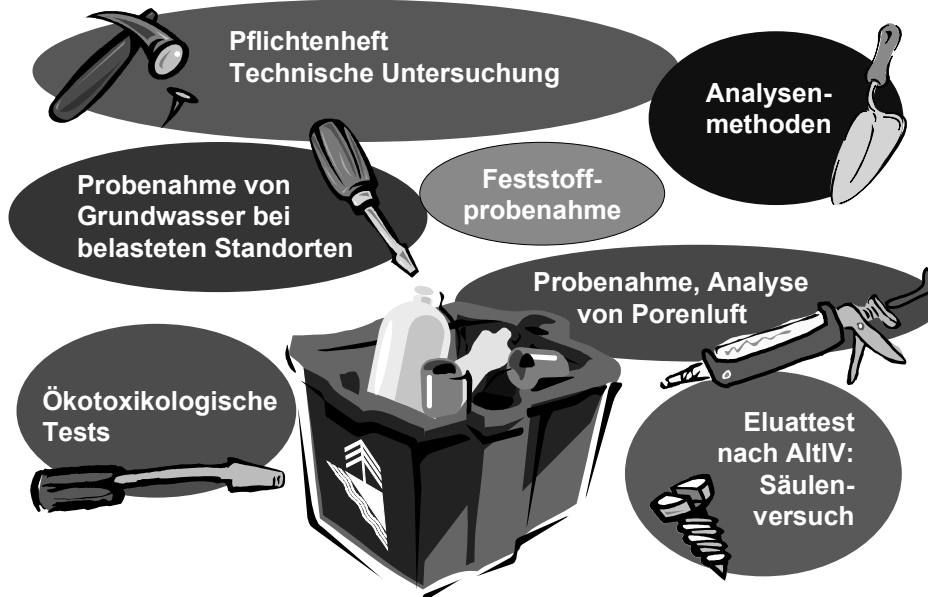


Abbildung 1: „Werkzeugkiste“ für die Altlastenbearbeitung

## 1.2 Ziele der Vollzugshilfe

Übergeordnetes Ziel der Vollzugshilfe ist es dazu beizutragen, dass die Sanierungs- oder Überwachungsbedürftigkeit eines Standortes gesamtschweizerisch einheitlich beurteilt werden kann, um damit auch die notwendige Rechtssicherheit im Altlastenbereich zu erreichen. Dabei sollen die nötigen technischen Voraussetzungen zur Abklärung der unmittelbaren Grundwassergefährdung festgelegt werden, insbesondere

- Definition des Abstrombereichs,
- Kriterien zur Bestimmung des Abstrombereiches «unmittelbar beim Standort»,
- Kriterien zur Festlegung von Probenahmestellen im Oberstrom- und Abstrombereich,
- Probenahme.

## 1.3 Anwendungsbereich

Die vorliegende Vollzugshilfe wurde für die Grundwasserprobenahme im Rahmen der Voruntersuchung eines belasteten Standorts erarbeitet. Sie konzentriert sich somit auf die Festlegung der Probenahmestellen im Hinblick auf die Abklärung der Überwachungs- oder Sanierungsbedürftigkeit eines Standortes.

Die Überlegungen und Aussagen haben aber grundsätzlich auch Gültigkeit für andere Anwendungsbereiche im Altlastenbereich (Grundwasserprobenahmen im Rahmen einer Detailuntersuchung oder bei Grundwasser-Überwachungen). Auf spezielle Fragestellungen oder Zielsetzungen bei derartigen Untersuchungen wird hier nicht eingegangen.

## 2 Räumliche Abgrenzung eines Standortes

Damit der "unmittelbare Abstrombereich" überhaupt festgelegt werden kann muss erst die räumliche Abgrenzung des jeweiligen Standorts definiert werden. Hierzu bilden häufig die Erkenntnisse aus der historischen Untersuchung eine wichtige Basis.

Die Begrenzung eines belasteten Standortes wird durch das Vorhandensein und die Ausdehnung der Belastungen bestimmt. Die Erfassung eines belasteten Standortes im Kataster erfolgt oft parzellenbezogen. Im Gegensatz dazu müssen sich die Untersuchungen gemäss AltIV auf die tatsächlichen Belastungen konzentrieren.

Bei Ablagerungsstandorten entspricht die räumliche Begrenzung der Belastung meist auch dem im Kataster eingetragenen Areal.

Bei Betriebsstandorten müssen aber oft, entsprechend der alllastenrelevanten Tätigkeiten, Unfällen, etc. innerhalb des Areals einzelne Teilbereiche mit unterschiedlicher Belastung unterschieden werden. Diese Teilbereiche können oft erst aufgrund der historischen Untersuchung genauer erkannt werden. Streng genommen gehören Teilbereiche eines Standortes, auf welchen nachweislich keine Belastungen vorliegen, nicht zum belasteten Standort. Es kann deshalb aus praktischen Gründen zweckmässig sein, innerhalb eines im Kataster ausgeschiedenen Standortes problematische Teilbereiche, Verunreinigungsherde oder sog. «Hot Spots» auszuscheiden, deren Emissionen ins Grundwasser für die Standortbeurteilung von besonderem Interesse sind.

Grundsätzlich gilt:

- auf einer Parzelle können mehrere Standorte vorhanden sein,
- ein Standort kann sich über mehrere Parzellen erstrecken.

Es muss also abgeklärt werden, welche Teilbereiche emissionsverdächtig und deshalb im Hinblick auf die Beurteilung des Standortes zu untersuchen sind. Dabei sind entsprechend Abb. 2.1 vier verschiedene Fälle denkbar:

Fall A: Die Belastungen erstrecken sich über den ganzen Standort, und der belastete Bereich entspricht ungefähr den Begrenzungen des Standortes gemäss Katastereintrag, ungeachtet der Parzellengrenzen (z.B. Deponie).

Fall B: Innerhalb eines im Kataster eingetragenen Standortes lassen sich einzelne Teilbereiche mit nach Art, Menge und Zeit unterschiedlichem Belastungsspektrum unterscheiden. (z.B. Fabrik mit kritischen Produktionsstätten, Unfallstandorten und Lagerplätzen). Bei einem solchen Standort müssen die Überlegungen bezüglich Probenahme auf das unterschiedliche Emissionsspektrum der einzelnen Teilbereiche ausgerichtet sein.

Fall C: Innerhalb eines im Kataster eingetragenen Standortes ist z.B. aufgrund der historischen Untersuchung davon auszugehen, dass nur ein Teilbereich effektiv belastet ist (z.B. Werkstattgebäude)

auf grossem Parkplatz). In diesem Fall ist nur die betroffene Fläche innerhalb des Areals als belasteter Standort zu betrachten. Bei einem solchen Standort müssen die Überlegungen bezüglich Probenahme auf den belasteten Teilbereich ausgerichtet sein.

Fall D: Standorte, wo Stoffe durch Stofftransport oder Diffusion im Laufe der Jahre über den eigentlichen Standort hinaus verschleppt wurden und als Phase im Untergrund in dessen Umfeld so hohe Belastungen bewirkt haben, dass auch diese zum Standort gerechnet werden müssen (s. auch Abb. 2.2). Bei einem solchen Standort müssen die Überlegungen bezüglich Probenahme über den eigentlichen Standort ausgeweitet werden.

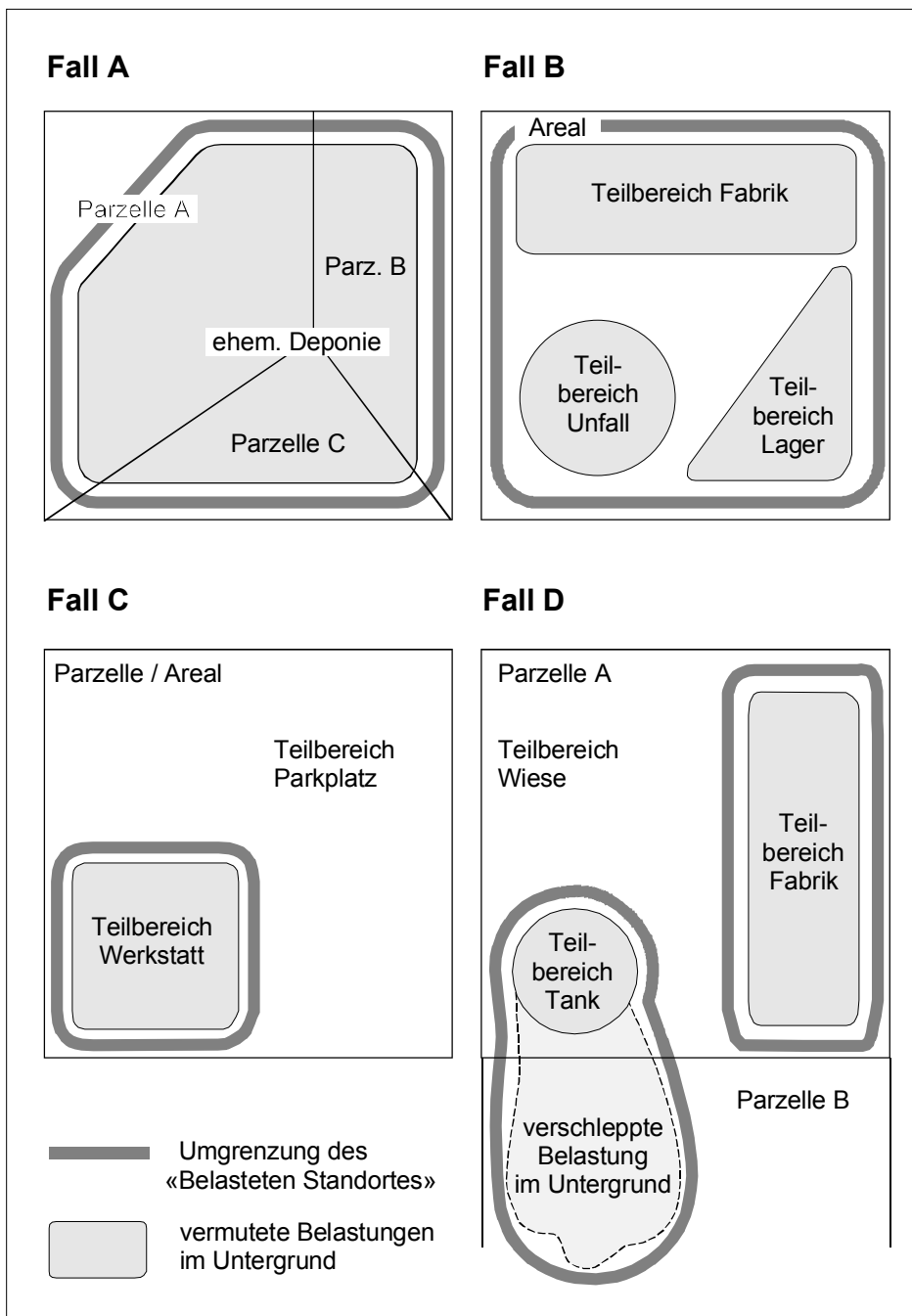


Abbildung 2.1: Belasteter Standort und Teilbereiche

Wenn eine Bohrung, welche im mutmasslichen Abstrombereich platziert worden ist, eine solche verschleppte Belastung im Untergrund antrifft, müssen in einem stufenweisen Vorgehen weitere Untersuchungen (Bohrungen, Geophysik, Bodengasmessungen) durchgeführt werden, bis die Begrenzung des Standortes definiert ist und die massgebenden Grundwassermessstellen eindeutig den Abstrombereich erfassen.

Sobald die tatsächliche Umgrenzung des Standortes inklusive aller verschleppten Belastungen feststeht, ist eine Änderung des Eintrages im Kataster erforderlich.

Aus den voranstehenden Überlegungen geht hervor, dass die Festlegung des Abstrombereichs in der Regel erst nach erfolgter Historischer Untersuchung, oft sogar erst nach Durchführung erster Schritte der Technischen Untersuchung angegangen werden kann, d.h. erst wenn die Frage der räumlichen Abgrenzung des Standortes geklärt ist.

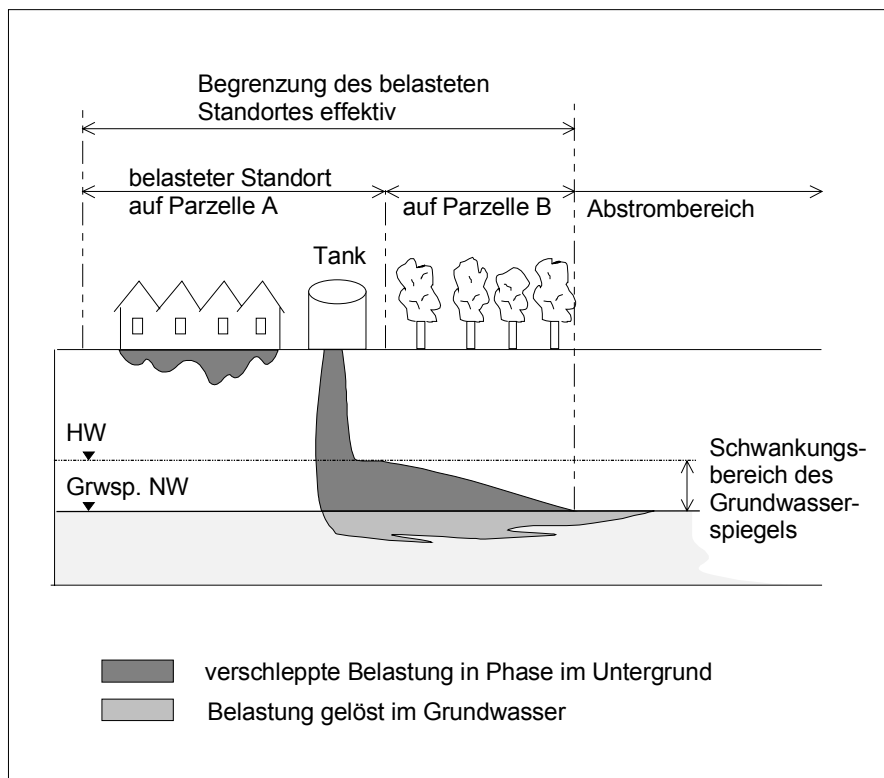


Abbildung 2.2: Verschleppte Belastungen

Andererseits kann eine Bohrung zur Grundwasserbeprobung aber auch Hinweise zur Abgrenzung eines Standortes liefern. Deshalb ist, wie generell bei der Altlastenbearbeitung, auch hier ein etappiertes Vorgehen angezeigt, bei welchem die Ergebnisse jedes einzelnen Untersuchungsschrittes iterativ zur Planung der weiteren Schritte verwendet werden.

Unter Umständen kann die Historische Untersuchung eines Standortes auch zum Schluss führen, dass keine problematischen Teilbereiche vorhanden sind und/oder dass Emissionen ins Grundwasser im vorliegenden Fall nicht möglich

oder nicht relevant sind. Wenn der Berater dies im Pflichtenheft nachvollziehbar darlegen kann, kann auf Probenahmen von Grundwasser verzichtet werden.

### 3 Der Abstrombereich

**Definition:** Der Abstrombereich eines Standortes ist derjenige Bereich, in welchem sich die am Standort freigesetzten Stoffe im Grundwasser ausbreiten können, sowohl durch konvektiven Transport als auch durch Diffusion, Advektion und Dispersion. Dieser Bereich besitzt in einem homogenen und isotropen Porengrundwasserleiter (idealisiert Fall) in der Nähe des Standortes die Form einer Parabel, welche den Standort vollständig umschliesst und deren Achse durch die Grundwasser-Fließrichtung bestimmt wird (Abb. 3.1).

Bei der Ermittlung des Abstrombereichs muss geprüft werden, ob die Belastungen des Standortes über dem Grundwasserspiegel im ungesättigten Bereich liegen, oder ob sie den gesättigten Bereich tangieren, d.h. bis unter den Grundwasserspiegel reichen. Im ersteren Fall liegt der Nullpunkt der Parabel am obersten Punkt des Standortes. Im letzteren Fall muss auch stromaufwärts ein gewisser Saum zum Abstrombereich gerechnet werden, dessen Reichweite von hydrogeologischen Faktoren wie Grundwasserspiegelgefälle, Längs- und Querdispersion, Eintauchtiefe etc. abhängig ist.

Die **Form des Abstrombereichs** wird durch die folgenden geometrischen und hydrogeologischen Parameter bestimmt:

- die Grösse des Standortes, namentlich seine Breite rechtwinklig zur Grundwasser-Fließrichtung gemessen,
- die Grundwassermächtigkeit  $H$ ,
- das Grundwasserspiegelgefälle  $I$ ,
- den Durchlässigkeitsbeiwert  $K$  nach Darcy,
- die nutzbare Porosität  $n$ .

Mit Hilfe dieser Parameter wird ein konzeptuelles hydrogeologisches Modell des Standortes und seines Abstrombereichs entworfen. Dies erfordert fundierte hydrogeologische Kenntnisse und eine grosse Erfahrung des Beraters. Die hydrogeologischen Parameter müssen entweder von früheren Untersuchungen bekannt sein oder durch Extrapolation von benachbarten Gebieten hergeleitet werden. Nur bei einfacher Problemstellung dürfen diese Parameter abgeschätzt werden.

In komplexen Fällen müssen diese Parameter durch geeignete Methoden, z.B. Piezometerrohre im hydrogeologischen Dreieck oder geophysikalische Methoden, zuerst ermittelt werden. Ist dies erforderlich, sollte dies im Pflichtenheft zur Technischen Untersuchung spezifiziert werden. Es entspricht dem in der Altlastenbearbeitung bewährten, etappierten Vorgehen, dass mit Bohrungen zuerst der Abstrombereich definiert wird, bevor innerhalb desselben die Probenahmestellen zur Grundwasserbeprobung definiert werden. Die Aufgabe des Beraters ist es, diese Etappen so zu konzipieren, dass möglichst wenig Iterationsschritte notwendig werden.

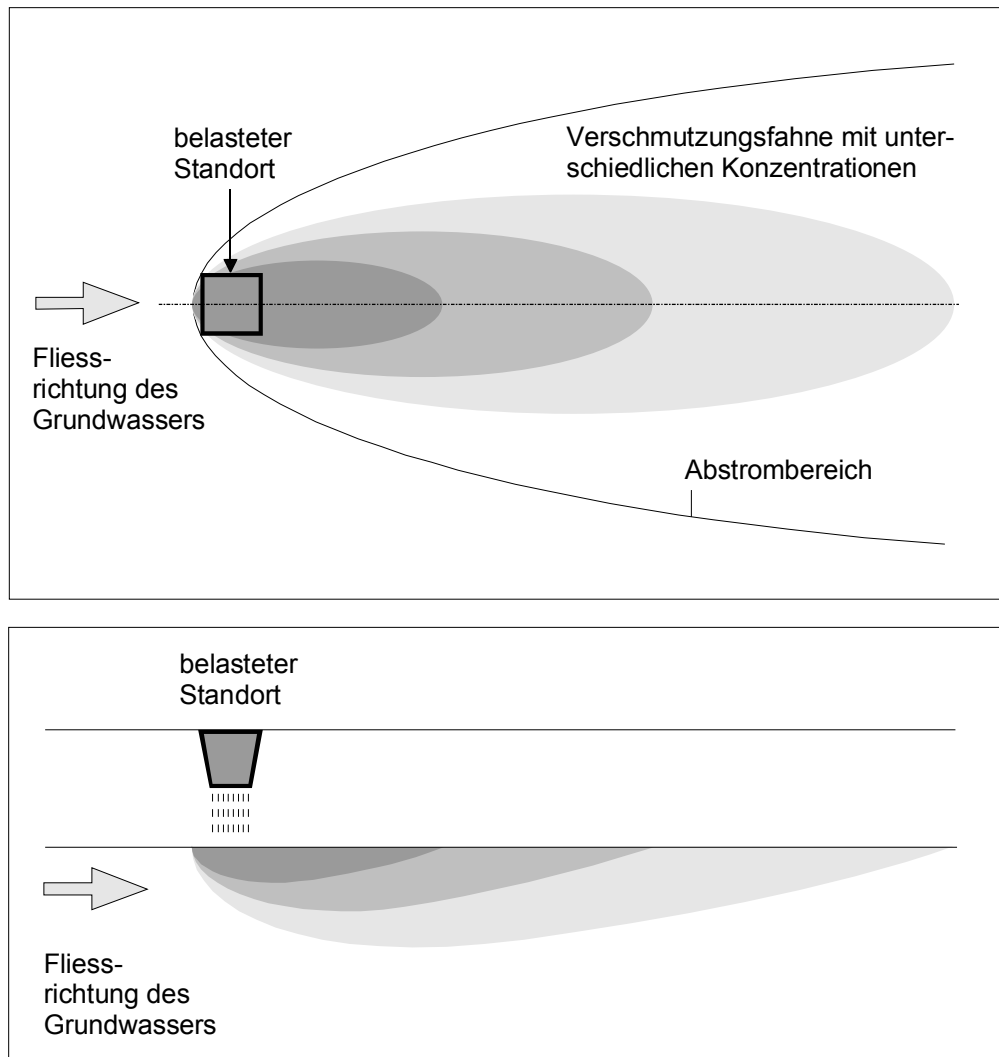


Abbildung. 3.1: Der Abstrombereich mit Verschmutzungsfahne bei idealisierten Verhältnissen (homogener, isotroper Grundwasserwasserleiter)

In zahlreichen Fällen werden sich die für die Ermittlung des Abstrombereichs erforderlichen Parameter nur mit unverhältnismässig hohem Aufwand ermitteln lassen. In einfacheren Fällen kann der Abstrombereich deshalb auch annäherungsweise bestimmt werden.

Ein *schmaler* Abstrombereich ergibt sich:  
 je grösser das Grundwasserspiegelgefälle (oder das Hanggefälle),  
 je homogener der Grundwasserleiter,  
 je grösser der Durchlässigkeitsbeiwert ist.

Ein *breiter* Abstrombereich ergibt sich:  
 je flacher das Gefälle,  
 je heterogener der Grundwasserleiter,  
 je kleiner der Durchlässigkeitsbeiwert ist.

Innerhalb des Abstrombereichs lassen sich mittels Isolinien mehr oder weniger ellipsenförmige Zonen gleicher Stoffkonzentrationen ausscheiden, welche auch «Verschmutzungsfahne» genannt werden. Die Ellipsenform mit elongierter Längsachse ergibt sich aus der Tatsache, dass die Stoffe mit der Grundwasserströmung konvektiv transportiert werden und dass die Dispersion in Fließrichtung (longitudinale Dispersion) stärker ist als die transversale Dispersion. Die Form der Ellipse ist nicht nur von den hydrogeologischen Parametern abhängig, sondern sie ist auch stoffspezifisch, d.h. für jeden Stoff unterschiedlich.

Die **Form der Verschmutzungsfahne** wird durch folgende zusätzlichen Parameter bestimmt:

- Die Heterogenität und Anisotropie des Grundwasserleiters,
- die Art und die Menge der vom Standort emittierten Stoffe,
- die Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Stoffen, dem Grundwasserleiter und dem Grundwasser (z.B. Löslichkeit, Sorptionseffekte, etc.),
- Form und Ausdehnung der Belastung am Standort.

Dabei sind folgende Fälle zu unterscheiden:

- 1) Der Grundwasserleiter ist mehr oder weniger homogen und isotrop (z.B. ein homogener Schotter). In diesem idealisierten Fall lassen sich die Abstromparabel und die ellipsenförmigen Verschmutzungsfahnen mit Modellrechnungen abschätzen.
- 2) Der Grundwasserleiter ist heterogen und anisotrop, die Grundwasserströmung erfolgt entlang präferentieller Fließpfade (z.B. heterogener, anisotroper Schotter, Moräne, Gehängeschutt, Bachschutt, Fels). In diesem Falle ist die Bestimmung der Abstromparabel rechnerisch oft nicht möglich. Im besten Fall lässt sich der Abstrombereich durch Markiersuche oder die Bestimmung stabiler Isotopen bestimmen. In einem konservativen Ansatz muss in diesen Fällen der ganze stromabwärtige (= talseitige) Bereich eines Standortes auf einer grossen, empirisch zu ermittelnden Breite als Abstrombereich definiert werden.

In komplexen Fällen muss die Ausdehnung der Verschmutzungsfahne vor der Festlegung der Probenahmestellen mit speziellen Methoden ermittelt werden. Hierzu eignen sich je nach Stoff z.B. geophysikalische Methoden oder Porenluftuntersuchungen.

Bei der Ermittlung des Abstrombereichs und der Verschmutzungsfahne muss stets auch berücksichtigt werden, dass das Gefälle des Grundwasserspiegels und die Fließrichtung des Grundwassers je nach Wasserstand, z.B. im jahreszeitlichen Verlauf, ändern können, dass also die Längsachse der Abstromparabel in einem kleineren oder grösseren Winkel schwanken kann. Konservativerweise muss der Abstrombereich so definiert werden, dass er die Umhüllende aller bei unterschiedlichen Wasserständen möglichen Abstromparabeln bildet.

Grundsätzlich gilt die Regel, je besser und genauer der Abstrombereich und die Verschmutzungsfahne definiert werden können, desto einfacher lassen sich die



Probenahmestellen festlegen und desto weniger Probenahmestellen sind für eine repräsentative Beprobung erforderlich (vgl. Kapitel 6).

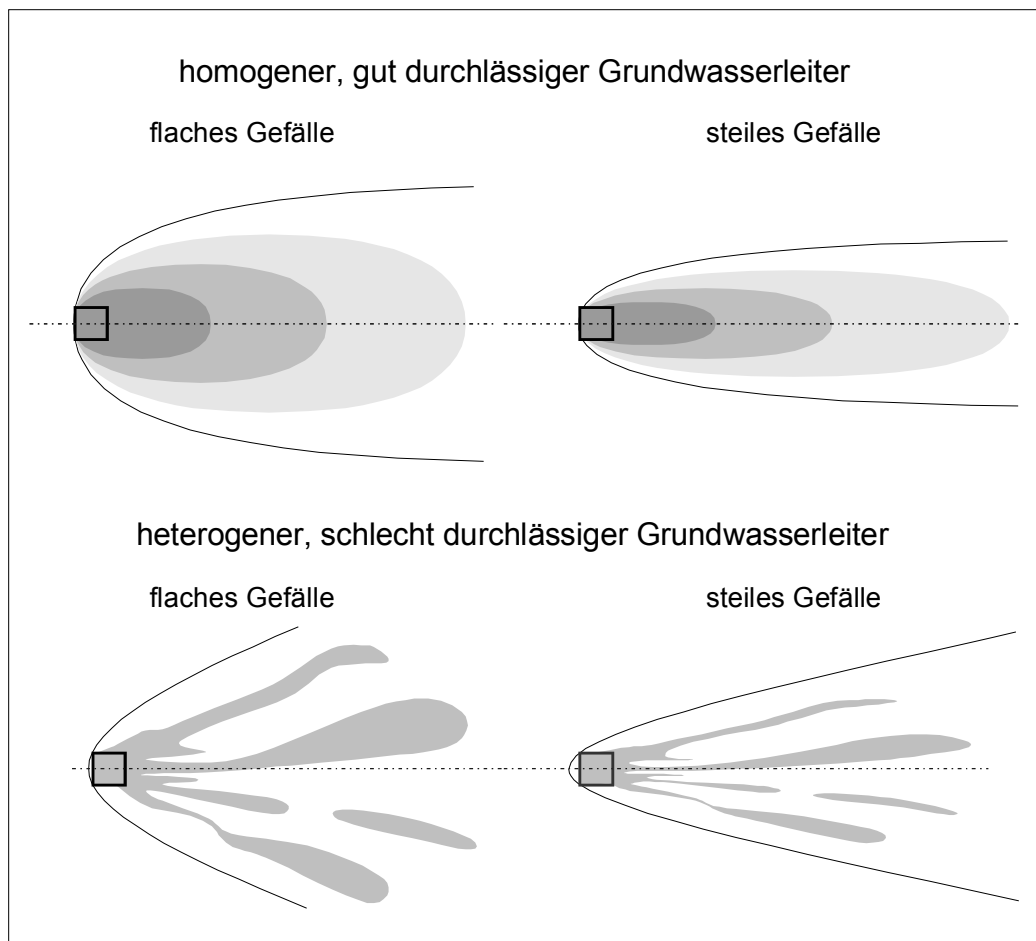


Abbildung. 3.2: Mögliche Formen des Abstrombereichs und der Verschmutzungsfahne

Wenn der Abstrombereich nur ungenau definiert werden kann oder wenn er sehr breit ist, ist demgegenüber eine grössere Anzahl Probenahmestellen erforderlich, um repräsentative Proben zu gewinnen und Fehldiagnosen auszuschliessen. Dies gilt vor allem für Standorte in Moränengebieten in Hanglage, bei fluviatilen Ablagerungen oder in Gebieten mit Kluft- oder Karstwasserzirkulation im Fels.

Zu beachten ist ferner die Tatsache, dass vor allem in städtischen Gebieten der Grundwasserspiegel durch Wasserhaltungen von Grossbaustellen oder durch andere grossräumig wirkende Grundwasserspiegelabsenkungen oder -anreicherungen künstlich verändert sein kann. In solchen Fällen dürfen die Grundwasserproben nicht im natürlichen, unbeeinflussten Abstrombereich, sondern sie müssen im tatsächlichen, zum Zeitpunkt der Probenahme aktuellen Abstrombereich entnommen werden. Alle langfristigen Emissions- und Schutzgutbetrachtungen müssen dann aber auch für den natürlichen, unbeeinflussten Abstrombereich angestellt werden.

## 4 Der Abstrombereich unmittelbar beim Standort

**Definition:** "Unmittelbar beim Standort" heisst diejenige Zone innerhalb des Abstrombereichs, in welcher vom Standort stammende Stoffe im Grundwasser erst minimal verdünnt sind (vgl. Abb. 4.1). Diese sollen noch in aussagekräftigen Konzentrationen ermittelt werden können, um einen Vergleich mit den Konzentrationswerten gemäss AltIV Anhang I zu erlauben.

**Idealfall:** Die Zone «unmittelbar beim Standort» entspricht der abstromseitigen Grenzlinie des Standortes und die Grundwasserproben müssten auf dieser Grenzlinie entnommen werden. Dies ist aber in der Praxis oft nicht möglich, z.B. wenn die Grenzlinie nicht genau festzulegen ist oder wenn Bauten die Probenahme behindern.

**Empirischer Ansatz:** Einen praxistauglichen, empirischen Ansatz zur Ermittlung des «Abstrombereiches unmittelbar beim Standort» zeigt Abb. 4.2. Dieser Ansatz ist selbst dann möglich, wenn die hydrogeologischen Verhältnisse nicht im Detail bekannt sind.

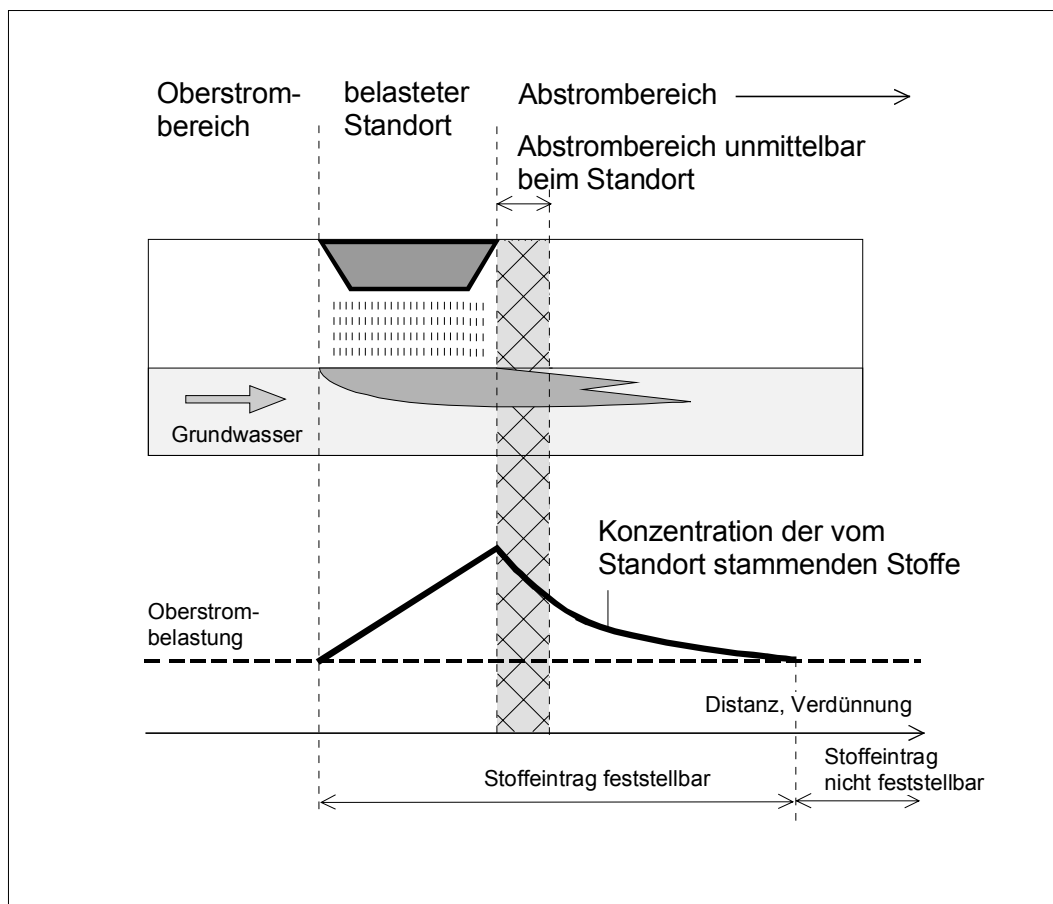


Abbildung. 4.1: Abstrombereich unmittelbar beim Standort

Zuerst wird der Schwerpunkt S der Standortfläche, resp. das Zentrum eines relevanten Teilbereichs innerhalb des Standortes bestimmt. Dieser Punkt S wird

parallel zur Grundwasser-Fließrichtung bis zum Rand des Standortes projiziert, wodurch sich der Punkt R ergibt. Auf der Verlängerung der Verbindungsgeraden S – R lässt sich dann die maximale Reichweite  $d_{\max}$  des «Abstrombereichs unmittelbar beim Standort» nach der Faustformel ermitteln:

$$\text{maximale Distanz } d_{\max}: \quad \frac{2B + 0.5L + T}{10}$$

L = Länge des Standortes längs der Grundwasserfließrichtung (m)

B = Breite des Standortes rechtwinklig dazu (m)

T = Flurabstand des Grundwasserspiegels am Schwerpunkt S (m)

Einzuschränken ist, dass bei dieser Vorgehensweise vorwiegend geometrische Aspekte berücksichtigt werden, und hydrogeologische oder hydraulische Faktoren weitgehend unberücksichtigt bleiben. Dieser vereinfachende Ansatz ist deshalb nur zulässig, wenn die hydrogeologische Situation einfach ist und ein mehr oder weniger homogener Grundwasserleiter, z.B. ein Schotter vorliegt.

Resultiert aus den oben stehenden Berechnungen eine Reichweite  $d_{\max}$  von mehr als ca. 20 m, so dürfte in den meisten Fällen eine einzige Probenahmestelle nicht ausreichen. Auch wenn der Standort und dessen Abstrombereich eine grössere Breite B aufweist, müssen mehrere Stellen geschaffen werden (vgl. dazu Kapitel 6.2). Nur in Ausnahmefällen soll eine Probenahmestelle mehr als 20 bis 40 Meter vom Standort entfernt platziert werden.

Grundsätze:

- Die Grundwasserproben sind so nahe wie möglich beim Standort zu entnehmen.
- Folgende Faktoren verlangen nach einer eng gefassten Zone:
  - eine grosse Grundwasser-Durchflussmenge
  - eine grosse Durchlässigkeit des Grundwasserleiters
  - ein geringer Flurabstand des Grundwasserspiegels
  - gut adsorbierbare Stoffe oder sorptionsfähiger Untergrund.
- Je weiter die Zone «unmittelbar beim Standort»  $d_{\max}$  gefasst werden muss, desto fundierter ist dies mit hydrogeologischen Argumenten zu begründen.
- In Situationen mit geringen zirkulierenden Wassermengen, geringer Durchlässigkeit des Untergrundes, einem grossen Flurabstand, oder geringen Sorptionseffekten ist es zulässig den «Abstrombereich unmittelbar beim Standort» weiter zu fassen.

Es sind dies aber meist Situationen, bei denen die Grundwasserzirkulation und die Ausbreitung einer Verschmutzungsfahne entlang schwer prognostizierbarer Wasserwege erfolgt (vgl. Abb. 3.2), so dass die Probenahmestellen nicht ohne Weiteres präzise platziert werden können. In solchen Situationen muss zum Vornherein eine grössere Anzahl Probenahmestellen vorgesehen werden, insbesondere wenn gemäss historischer Untersuchung erhebliche Emissionen zu erwarten sind, oder wenn das betroffene Grundwasser besonders empfindlich ist.

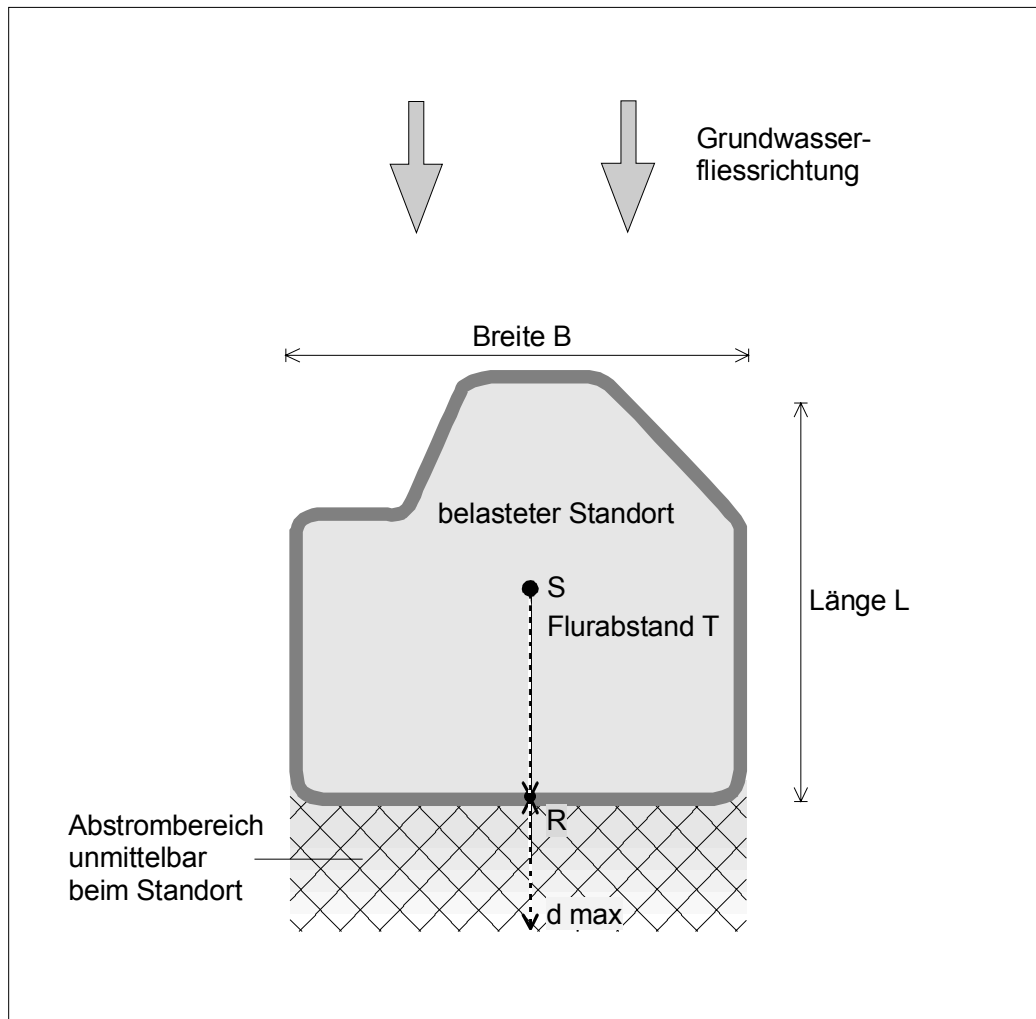


Abbildung 4.2: Ermittlung des Abstrombereichs unmittelbar beim Standort

## 5 Der Oberstrombereich

**Bestimmung "vom Standort stammender Stoffe":** In vielen Fällen kann anhand der Beprobung im Abstrombereich allein nicht entschieden werden, ob die festgestellten Stoffkonzentrationen vom untersuchten Standort oder von einem anderen Standort stammen (Art. 9 AltIV), oder ob sie zur Hintergrundbelastung des Grundwassers gehören. In solchen Fällen ist es unerlässlich, dass auch der Oberstrombereich beprobt wird mit dem Ziel, aus der Differenz der Stoffkonzentrationen im Oberstrom- und im Abstrombereich die vom Standort stammenden Stoffe zu identifizieren und zu quantifizieren (vgl. Abb. 5.1).

**Probenahmestellen im Oberstrombereich:** sie sollen möglichst nahe des Standortes platziert werden jedoch nicht innerhalb eines allfälligen Saums einer stromaufwärts reichenden Grundwasserverschmutzung. Sie müssen sorgfältig aufgrund hydrogeologischer Kriterien festgelegt werden (analog Kapitel 3 und 4).

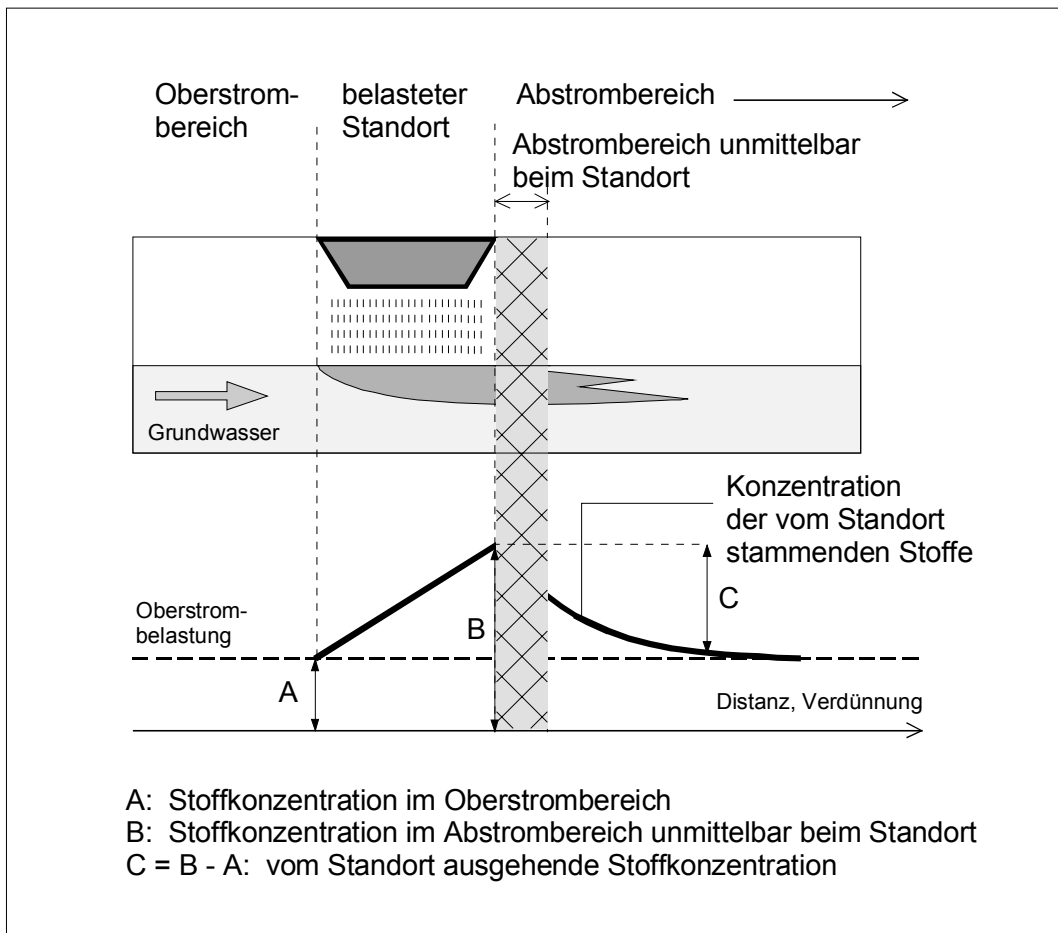


Abbildung 5.1: Stoffkonzentrationen im Oberstrom- und im Abstrombereich

**Beweissicherung:** Die Grundwasserproben aus dem Oberstrombereich dienen als vom Standort unbeeinflusste Referenzproben und können in kritischen Fällen auch zur Beweissicherung oder sogar zum Ausschluss einer vom Standort ausgehenden Verschmutzung verwendet werden. Eine Beprobung im Oberstrombereich ist also vor allem auch dann angezeigt, wenn im Umfeld des Standortes von Dritten verursachte grössere Grundwasserbelastungen vermutet werden.

Zur Dokumentation der Grundwasserqualität im Oberstrombereich kann in begründeten Fällen eine Referenzprobe auch seitlich des Standortes entnommen werden.

**Etappiertes Vorgehen:** Die Beprobung im Oberstrombereich ist letztlich nur dann erforderlich, wenn die Stoffkonzentration im Abstrombereich höher ist als die Hintergrundbelastung im betroffenen Grundwassergebiet. Es kann deshalb sinnvoll sein, die Beprobung des Oberstrombereiches auf die Resultate der Grundwasserbeprobung im Abstrombereich auszurichten und erst in einer zweiten Etappe durchzuführen. Dies ist im Pflichtenheft vorgängig aufzuführen.

## 6 Probenahmestrategie

### 6.1 Hydrogeologisches Arbeitsmodell

Wichtigste Voraussetzung für die richtige Platzierung von Probenahmestellen und für eine einwandfreie Probenahme ist eine dem Fall angemessene Probenahmestrategie. Diese basiert in der Regel auf einem konzeptuellen hydrogeologischen Arbeitsmodell (siehe auch Kapitel 3 bis 5), für welches folgende Kenntnisse erforderlich sind:

- Aufbau, Durchlässigkeit, Basis- und Deckschichten des Aquifers, Grundwasserflussrichtung(en), Fliessgeschwindigkeit und Schwankungen des Grundwasserspiegels,
- Daten zum Sickerwasserzufluss im belasteten Bereich bzw. in Teilbereichen.

Ein Teil dieser Daten muss zu Beginn der Voruntersuchung oft abgeschätzt werden. Im Laufe der Untersuchungen kann und muss dann aber das Modell laufend verbessert werden.

Spätestens bei der Frage der Platzierung und Anzahl der Probenahmestellen, bei der Konzeption deren Ausbaus und bei der eigentlichen Probenahme muss dieses Arbeitsmodell bereits konkretisiert und belastbar sein.

### 6.2 Anordnung und Anzahl der Probenahmestellen

Die Platzierung, Anordnung und Anzahl der Probenahmestellen hängt ganz wesentlich von der Zielsetzung und Fragestellung der anschliessenden Probenahme ab (Zielsetzung "Detailuntersuchung" kann nicht im Pflichtenheft nach Art. 7 aufgeführt werden).

- **Voruntersuchung:** Es ist nur die Beprobung der vermutlich am stärksten belasteten Zone im «Abstrombereich unmittelbar beim Standort» notwendig, um die Überwachungs- oder Sanierungsbedürftigkeit gemäss Art. 9 AltIV beurteilen zu können. In einfachen Fällen kann sogar eine einzige Bohrung ausreichen. Die Probenahmestelle wird zweckmässigerweise in der stromabwärtigen Verlängerung des Schwerpunktes des Standorts (oder eines Hot-spots) platziert (Abb. 4.2). Ist der Abstrombereich noch zu wenig genau bekannt, muss etappiert vorgegangen werden, indem die Anzahl der Probenahmestellen entsprechend dem Resultat und dem Erfolg der vorangegangenen schrittweise erhöht wird (Abb. 6.1).
- **Detailuntersuchung oder Überwachung:** Die Grundwasserqualität muss im gesamten Abstrombereich möglichst repräsentativ dokumentiert werden, im Rahmen einer Überwachung auch langfristig. Zudem müssen die Probenahmestellen so angeordnet werden, dass Art, Fracht und zeitlicher Verlauf der Emissionen umfassend ermittelt werden können.

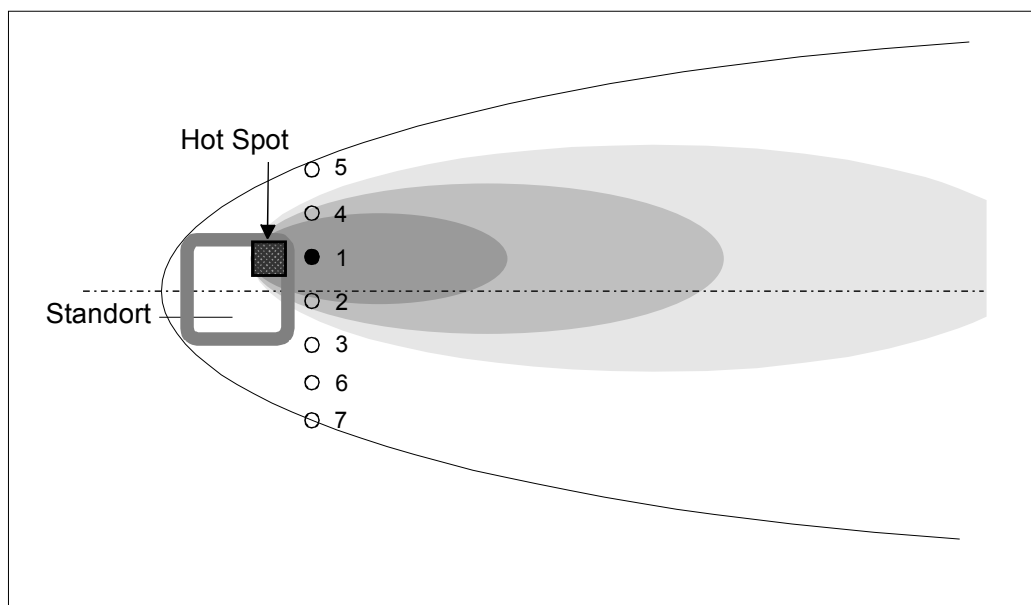


Abbildung 6.1: Mögliche Reihenfolge der Bohrungen bei einem etappierten Vorgehen

#### Anzahl Probenahmestellen:

**Grundsatz:** Die Anzahl der Probenahmestellen ist abhängig von der Komplexität der geologischen Verhältnisse, von der Grösse des Standortes, von den vom Standort ausgehenden Emissionen und von der Bedeutung des Grundwassers.

Eine einzige Probenahmestelle zur Beurteilung des Standortes in einer Voruntersuchung ist in einfachen Fällen dann vertretbar, wenn mit Plausibilitätsüberlegungen gezeigt werden kann, dass:

- das Schadstoffpotential und das Freisetzungspotential am Standort bescheiden sind,
- der in der einzigen Probenahme ermittelte Befund plausibel ist, und
- sich die Austräge des Standortes bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen nicht ändern.

Eine einzige Probenahme ist auch dann zulässig wenn das Analysenresultat mit anderen Methoden, z.B. mit Eluattests am Material des Standorts, bestätigt werden kann.

Soll das Grundwasser im Abstrombereich möglichst lückenlos erfasst werden (komplexe Verhältnisse, empfindliches Grundwasser, Detailuntersuchung, Überwachung), sind mehrere Probenahmestellen notwendig.

Der ideale Abstand zweier Probenahmestellen entspricht ungefähr der Breite  $B$  des Entnahmebereichs jeder Bohrung (vgl. Abb. 6.2). Dabei ist allerdings einzuschränken, dass zur Erzeugung eines Entnahmebereiches von einer gewissen Grösse meist eine grosse Pumpmenge erforderlich ist, und dass sich der Entnahmebereich als stationärer Zustand erst nach einer längeren Pumpdauer einstellt. Bei einer Probenahme sind normalerweise die Pumpmenge zu klein und die Pumpdauer zu kurz, dass sich ein idealer Entnahmebereich einstellen könnte.

Die Breite B des Entnahmebereiches (die Entnahmebreite) auf der Höhe der Entnahmestelle kann für einen stationären Zustand nach der vereinfachenden Formel errechnet werden [17]:

$$B = \frac{Q}{2 \cdot H \cdot i \cdot K}$$

wobei

- Q = Entnahmemenge beim Pumpbetrieb (m<sup>3</sup>/s)
- H = Grundwassermächtigkeit (m)
- I = Grundwasserspiegelgefälle (m/m)
- k<sub>f</sub> = Durchlässigkeitsbeiwert des Grundwasserleiters (m/s)

In einer **Detailuntersuchung** muss in der Regel ein zum voraus definierter, aussagekräftiger Teil des Abstrombereiches beprobt werden, um Frachten und Emissionsszenarien berechnen zu können. Dies ist z.B. durch eine Messstellenkette senkrecht zum Abstrom zu erreichen. Bei nachgewiesenen grösseren Stoffausträgen oder bei Schadensfällen sind evtl. weitere Abstrommessstellen sinnvoll, um die Schadstofffahne abzugrenzen.

**Optimierung:** Grundsätzlich soll bei jeder Probenahme das Maximum an Informationen aus einer Probenahmestelle herausgeholt werden. So ist es z.B. oft einfacher und kostengünstiger, die Pumpmenge bei der Probenahme wie bei einem Pumpversuch stufenweise zu steigern und dabei die Absenkung zu messen, den Entnahmebereich zu ermitteln und unterschiedliche Proben zu entnehmen, als mehrere Bohrungen abzuteufen und einzeln zu beproben.

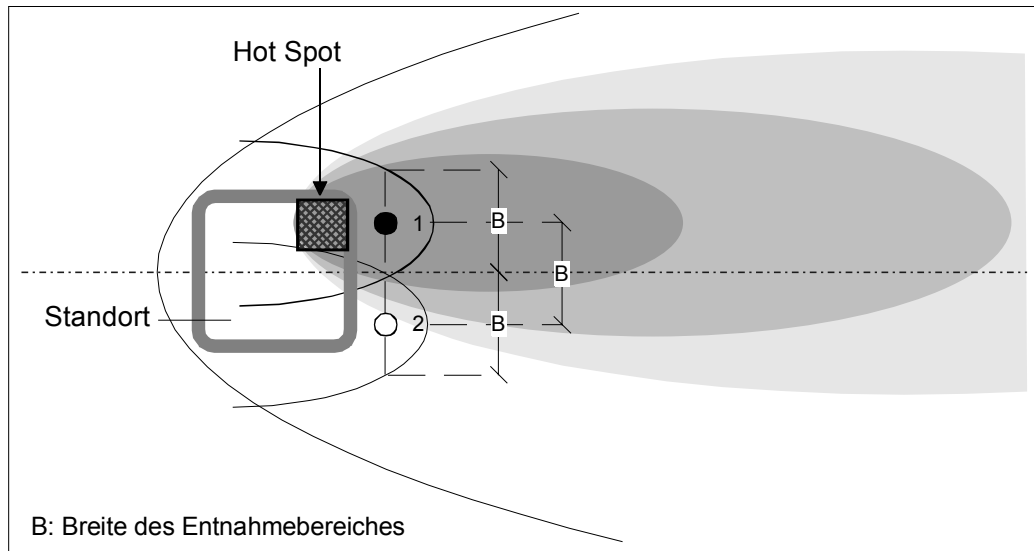
Immerhin dürfte eine vollständige Erfassung des Abstrombereichs entsprechend Abb. 6.2. nur in seltenen Fällen erforderlich sein, z.B. im Rahmen einer aufwändigen Detailuntersuchung eines komplexen Falls.

Logistische Anforderungen an Probenahmestellen:

- Der Standort soll im Hinblick auf zukünftige Probenahmen auch langfristig zugänglich sein.
- Der Standort soll vor Zerstörung geschützt sein.
- Der Standort soll so gesichert sein, dass Einwirkungen von Dritten (z.B. Sabotage) erschwert sind.
- Das Eindringen oberflächlicher Verunreinigungen (z.B. Strassenabwasser, Landwirtschaft) muss verhindert sein.



Abbildung 6.2: Idealer Abstand zweier Probenahmestellen



Muss aus hydrogeologischen Gründen eine Probenahmestelle auf einem Grundstück eines Dritten platziert werden, so muss dieser deren Ausführung und Vorhandensein dulden (Art. 46 USG). Ist die vorgesehene Probenahmestelle nicht zugänglich, so können allenfalls Schrägbohrungen zum Ziel führen.

Zur Bestimmung des Abstrombereichs sollte eine Platzierung von Probenahmestellen direkt innerhalb eines Ablagerungsstandortes vermieden werden, es sei denn zur Klärung spezieller Fragestellungen.

## 6.3 Probenahme

Nachdem die Messstellen gebohrt, ausgebaut, klargepumpt und die hydraulischen Parameter bestimmt sind, muss das hydraulische Modell präzisiert, evtl. auch korrigiert werden. Erst auf dieser Datengrundlage kann dann die eigentliche Probenahme geplant werden.

Von erstrangiger Bedeutung sind die Anzahl und der Zeitpunkt der Probenahmen. Je nach Problemstellung sollen diese bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen erfolgen. Die Wahl des richtigen Probenahmezeitpunktes gehört zur strategischen Planung der Probenahme; die entsprechende Zielsetzung sollte im Pflichtenheft zur Technischen Untersuchung gemäss Art. 7 AltIV festgeschrieben werden.

Entsprechend den unterschiedlichen Fragestellungen von Vor- und Detailuntersuchung differieren auch die Probenahmestrategien:

In der **Voruntersuchung** sind für die einwandfreie Beurteilung eines Standortes mindestens zwei Probenahmen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten je Bohrung im Abstrombereich erforderlich.

Bei Ablagerungsstandorten, wo die Sohle des Deponiekörpers im oder nahe beim Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels liegt, und insbesondere

bei Verdacht auf Belastungen mit Kohlenwasserstoffen, soll die Probenahme bei Hoch- und bei Niedrigwasserstand des Grundwasserspiegels erfolgen. Diese Vorgabe beruht auf der Erfahrung, dass z.B. Mineralölbelastungen im Untergrund oft im oberen Grundwasser-Schwankungsbereich liegen, so dass Stoffe erst bei hohen Grundwasserständen mobilisiert werden. Andererseits können Stoffe aus Ablagerungsstandorten bei hohen Grundwasserständen so stark verdünnt werden, dass eine Probenahme allein zu diesem Zeitpunkt kein repräsentatives Bild ergibt.

Bei Betriebs- oder bei Ablagerungsstandorten, bei denen eine Gefahr der Auslaugung durch die Niederschläge besteht, erfolgen die Probenahmen zweckmäßigerweise nach einer längeren Regenperiode und nach einer längeren Trockenperiode.

In einer Voruntersuchung dürften «normale» Grundwasserprobenahmen, möglichst Stichtagsbeprobungen, ausreichen. Ergeben sich unplausible Unterschiede in den Stoffkonzentrationen bei Hoch- und Niedrigwasserstand, müssen weitere Beprobungen durchgeführt werden.

In der **Detailuntersuchung** werden die Vorpumpzeiten vor der Probeentnahme so ausgelegt, dass Wasser aus dem Bereich des belasteten Standortes nachweislich die Messstellen erreicht und ein definierter Bereich der Abstrombreite erfasst wird. Formeln für die Berechnung oder Abschätzung der notwendigen Parameter sind im Anhang beigefügt. Die Festlegung der notwendigen Parameter auf einer meist schmalen Datenbasis erfordert einen erfahrenen Berater.

Je nach Ergebnissen der Voruntersuchung kann es auch sinnvoll sein, in der Detailuntersuchung tiefenorientierte Grundwasserproben zu entnehmen. Dies muss bereits vor der Konzeption der Messstellen und vor dem Messstellenausbau berücksichtigt werden. Die Praxis hat gezeigt, dass es im Hinblick auf tiefenorientierte Probenahmen nötig ist, gezielt Dichtstrecken einzubauen und die Messstelle nicht durchgehend zu verfiltern.

Gelegentlich besteht aufgrund von Zeitmangel, z.B. im Vorfeld von Bauvorhaben, keine Möglichkeit zum dargestellten etappierten Vorgehen, d.h. es kann notwendig sein, Erkundungsmassnahmen zusammenzufassen. Um in solchen Fällen kurzfristig eine Emissionsabschätzung vorzunehmen, kann z.B. eine Stichtagsbeprobung durchgeführt werden, welche durch Daten aus einer Probeentnahme bei einem Kurzpumpversuch und/oder durch Eluatuntersuchungen aus dem belasteten Untergrund ergänzt wird.

Die nachstehende Abb. 6.3 veranschaulicht das im Kapitel 6 Gesagte und fasst noch einmal die Überlegungen zusammen, welche im Zuge der strategischen Planung der Grundwasserprobenahme anzustellen sind.

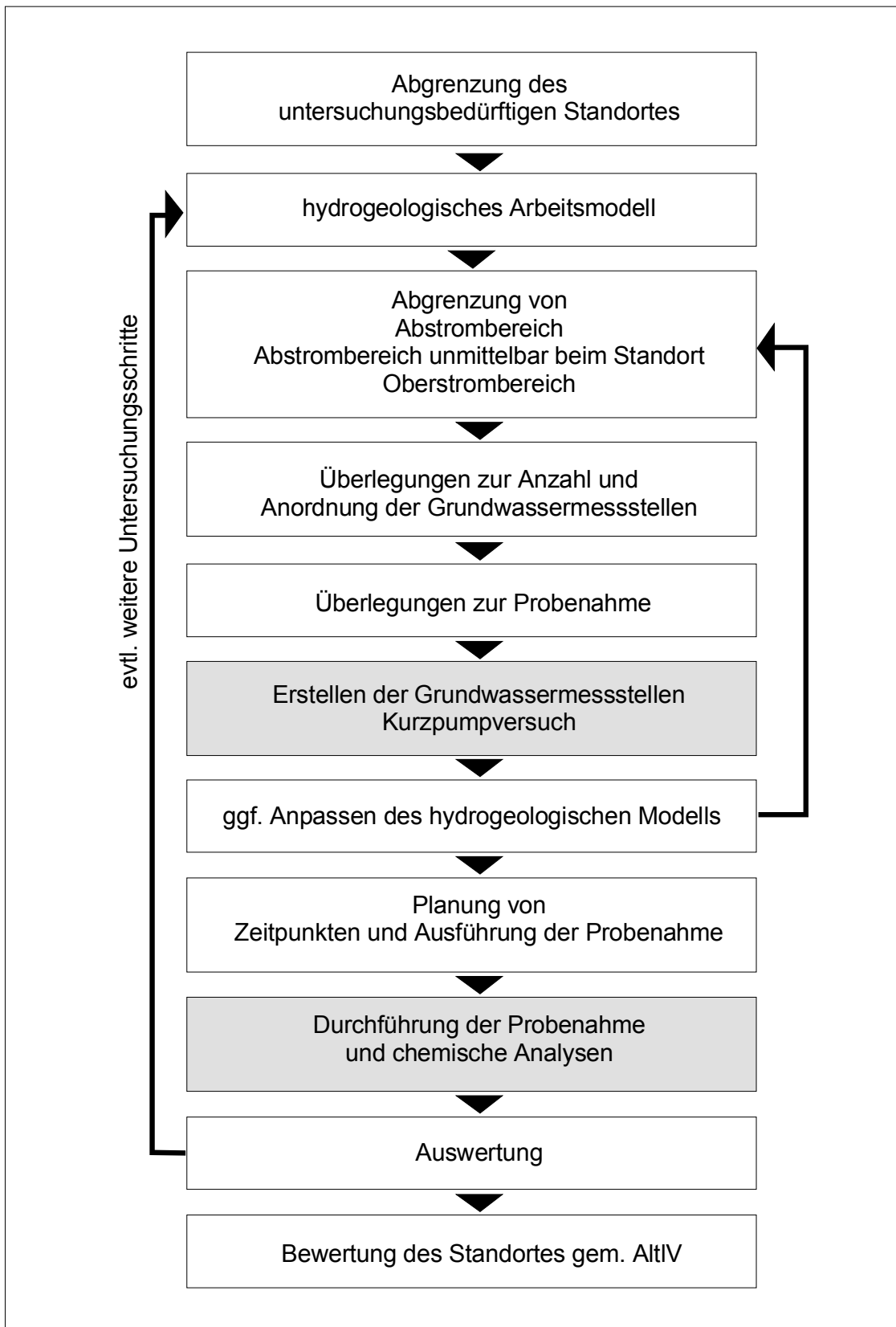


Abbildung 6.3: Strategie der Planung und Auswertung von Grundwasserprobenahmen

# ANHANG

---

## Weiterführende Literatur

- Bahrig, B. & Losher, A. (1998): Grundwasserprobenahme: Auswirkungen auf Planung und Begleitung von Sanierungsmassnahmen. UTECH, 9. Kongress Grundwassersanierung, Berlin 19.-20.2.1998.
- Bahrig, B. (1994): Hydrogeologische Grundlagen der Grundwasserprobenahme. Vortrag im Fortbildungsseminar "Qualitätsgerechte Grundwasserprobenahme bei Altlasten", Hildesheim 17.-19.9.1994.
- Barczewski, B., Kaleris, V, & Marschall, P. (1993): Grundwassermesstechnik und Bohrlochhydraulik.- in: DFG-Forschungsbericht «Schadstoffe im Grundwasser», Bd. 1: 277-340
- BUWAL (2002): Grundwasserprobenahme. Bern, 87 p.
- Church, P. E. & Granato, G. E. (1996): Bias in ground-water data caused by well-bore flow in long-screen wells. Groundwater vol. 34.2.
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) (1997): Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 245/1997, Bonn.
- DIN EN 25667-2 (1993): Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 2: Anleitung zur Probenahmetechnik.
- Freeze, R.A. & Cherry, J.A. (1979): Groundwater.- 604 pp; Prentice Hall, New Jersey.
- Huggenberger, P., Siegenthaler, C. & Stauffer, F. (1988): Grundwasserströmung in Schottern; Einfluss von Ablagerungsformen auf die Verteilung der Grundwasserfliessgeschwindigkeit.- Wasserwirtschaft 78: 202-221.
- ISO 5667-1 bis 12 (1980–1995): Water Quality – Sampling.
- Käss, W. (1989): Grundwasser-Entnahmegeräte – Zusammenstellung von Geräten für die Grundwasser-Entnahme zum Zweck der qualitativebn Untersuchung. – DVWK-Schriften 84: 121–172.
- Kinzelbach, W. & Rausch, R. (1995): Grundwassermodellierung, Eine Einführung mit Übungen. Borntraeger, Berlin und Stuttgart.
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg LfU (1996): Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Leitfaden Erkundungsstrategie Grundwasser. Heft 19

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg LfU (1999): Stand des Wissens bezüglich der Beprobung von Grundwasser bei Altlasten. Literaturstudie, ausgeführt durch VEGAS.– Koestler et.al, Universität Stuttgart.

Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen (1989): Leitfaden zur Grundwasseruntersuchung bei Altablagerungen und Altstandorten. – LWA-Materialien 7/89.

Powell, R. M. & Puls, R. W. (1997): Hitting the bulls-eye in groundwater sampling. Pollution engineering international.

Remmler, F. (1989): Studie zu möglichen Einflüssen von Messstellenausbau und Pumpenmaterial auf die Beschaffenheit einer Wasserprobe. – DVWK-Studie, 122 S.

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

## **Eidgenössische Gesetze und Vorschriften**

Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz USG), revidiert am 21.12.1995 (SR 814.01)

Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV), vom 26.8.1998 (SR 814.680)

Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz GSchG) (SR 814.20)

Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28.10.1998 (SR 814.201)

# Ermittlung der von einer Probenahmestelle erfassten Abstrombreite und der notwendigen Pumpdauer

## 1. Ableitung aus Zylinderformel

$$a = 2 \cdot \left( \sqrt{\frac{t_{pv} \cdot Q_{pv} \cdot 3600}{\pi \cdot h_{gw} \cdot n_f}} \right)$$

Diese Formel ist anwendbar für

- eine erste Näherung
- bei vernachlässigbarer Strömungsgeschwindigkeit

## 2. Strömungsgleichung

$$t_{pv} = \left( \frac{n_f \cdot Q_{pv} \cdot 86400}{2\pi \cdot v_f^2 \cdot h_{gw}} \cdot \left[ x \cdot \frac{2\pi \cdot h_{gw} \cdot v_f}{Q_{pv} \cdot 86400} - \ln \left( x \cdot \sin \left[ y \cdot \frac{2\pi \cdot h_{gw} \cdot v_f}{Q_{pv} \cdot 86400} \right] \div y + \cos \left[ y \cdot \frac{2\pi \cdot h_{gw} \cdot v_f}{Q_{pv} \cdot 86400} \right] \right) \right] \right) \cdot 24$$

Die Formel gilt für stationäre, parallele Strömung.

$a$  = erfasste Abstrombreite zum Zeitpunkt  $t_{pv}$

$t_{pv}$  = Pumpdauer (h)

$Q_{pv}$  = Entnahmerate (m<sup>3</sup>/s)

$h_{gw}$  = Grundwassermächtigkeit (m)

$n_f$  = durchflusswirksamer Porenraum

$v_f$  = Filtergeschwindigkeit (m/d)

$x, y$  = Ortskoordinaten (m) bezogen auf Probenahmestelle

( $x$  Abstand vom Schadensherd,  $y = a/2$ )

(Quelle: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg LfU 1996)