



Hinweise zur Anwendung
der
Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei
orientierenden Untersuchungen
des Altlastenausschusses (ALA)
der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO)

10. Oktober 2007

Inhalt

1 Grundlagen	1
2 Standortcharakterisierung	5
2.1 Quellsituation	6
2.2 Ungesättigte Zone	6
2.3 Gesättigte Zone	7
3 Konzepterstellung.....	8
3.1 Kriterien zur Verfahrensauswahl	8
3.1.1 Art und Verhalten der Schadstoffe.....	8
3.1.2 Schadstoffverteilung - Homogenität, Zugänglichkeit	10
3.1.3 Stabilität der Eintragungssituation	10
3.1.4 Sickerwassermenge und Versiegelung.....	11
3.1.5. Beschaffenheit der ungesättigten/gesättigten Zone	11
3.2 Kombination von Kriterien.....	11
4 Bodenuntersuchungen und deren Beurteilung.....	12
4.1 Schadstoff-Gesamtgehalte	14
4.2 Freisetzung / Mobilität der Schadstoffe	15
4.3 Schutzfunktion der ungesättigten Zone.....	17
4.4 Abschätzung des Schadstoffeintrages in das Grundwasser.....	19
5 Grundwasseruntersuchungen und deren Beurteilung.....	20
6 Hinweise zur abschließenden Beurteilung.....	22

1 Grundlagen

Für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser ist zur Bewertung der von Verdachtsflächen oder altlastverdächtigen Flächen ausgehenden Gefahren für das Grundwasser nach § 4 Abs. 3 BBodSchV eine **Sickerwasserprognose** durchzuführen. Die Vorgaben der BBodSchV zur Durchführung der Sickerwasserprognose sind jedoch für einen einheitlichen Vollzug noch zu wenig konkret. Im Auftrag des Altlastenausschusses (ALA) der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) hat der Unterausschuss ‚Sickerwasserprognose‘ deshalb in 2003 die ‚Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen‘ erstellt, im Folgenden als ALA-Arbeitshilfe bezeichnet. Sie ist mit Erlass V66-5820.12-03 vom 07.09.2007 zur Anwendung empfohlen worden.

Die Ausführungen der ALA-Arbeitshilfe werden im Folgenden für Schleswig-Holstein ergänzt und weiter konkretisiert.

Die Sickerwasserprognose dient der Abschätzung der aktuellen oder in überschaubarer Zukunft zu erwartenden Schadstoffeinträge in das Grundwasser, bezogen auf den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Zone (BBodSchV § 2 Nr. 5). Dieser ist als **Ort der Beurteilung** definiert. Die ALA-Arbeitshilfe setzt den Ort der Beurteilung mit dem mittleren Grundwasserhöchststand gleich, um eine praxistaugliche Vorgehensweise zu ermöglichen. Der mittlere Grundwasserhöchststand entspricht einem öfter auftretenden hohen Grundwasserstand, der sich meist Ende des Winters einstellt.

Der Eintrittsort der Schadstoffe in das Grundwasser hängt im Einzelfall von den Untergrundverhältnissen ab. Wenn gering durchlässige Schichten in der ungesättigten Zone auftreten, auf denen sich das Sickerwasser zunächst lateral ausbreitet, liegt der Eintrittsort der Schadstoffe in das Grundwasser oft nicht unterhalb der Quelle. Weiterhin spielt eine Rolle, ob ein

freier Wasserspiegel vorliegt oder ob gespannte Grundwasserverhältnisse auftreten. Dabei gilt

- für freies Grundwasser: der Ort der Beurteilung entspricht der Grundwasseroberfläche,
- für gespanntes Grundwasser: der Ort der Beurteilung entspricht der Oberfläche des entsprechenden Wasserleiters, da Schadstoffe ihn erst nach Durchsickerung der überlagernden Hemmschicht erreichen würden.

Da der Ort der Beurteilung nur unter günstigen Umständen direkt beprobt werden kann, kann der **Ort der Probennahme** in den darüber liegenden Boden oder in den Grundwasserabstrom verlegt werden. Eine Abschätzung, bezogen auf den Ort der Beurteilung, ist dann durchzuführen (Anhang 1 Nr. 3.3 BBodSchV). Für die Prognose des zukünftigen Stoffeintrages sind i.d.R. Materialuntersuchungen bzw. Erkenntnisse über die Eintragungssituation notwendig.

Die Sickerwasserprognose erfasst definitionsgemäß Schadstoffeinträge mit dem Sickerwasser. Dies sind die häufigsten Schadstoffeinträge in das Grundwasser. Es können jedoch auch auf anderem Weg Schadstoffe in das Grundwasser eingetragen werden. Die ALA-Arbeitshilfe berücksichtigt deshalb unter dem Begriff Sickerwasserprognose auch **Schadstoffeinträge** über

- mobile Schadstoffphasen,
- die Bodenluft,
- aus kontaminierten Quellen, die teilweise oder vollständig im Grundwasser liegen.

Für letztere wird der Ort der Beurteilung mit dem Kontaktbereich zwischen Quelle und dem durch- bzw. umströmenden Grundwasser (= Kontaktgrundwasser) gleichgesetzt. Die Bewertung der Grundwassergefährdung erfolgt in diesem Fall nach Wasserrecht (siehe hierzu auch Erlass V412-5200.290.8 vom 04.01.2001).

Bei der Gefährdungsabschätzung für den Pfad Boden-Grundwasser sind grundsätzlich alle im Einzelfall in Betracht kommenden Wege des Schadstoffeintrags zu beachten.

Aus Gründen der Verhältnismäßigkeit ist es sinnvoll, sich auf die nachfolgend beschriebenen **Grundwässer** zu konzentrieren. Bei noch kleineren Grundwasservorkommen wie wassererfüllten Sandlinsen oder Wasservorkommen von wenigen Dezimetern Mächtigkeit ist es auch bei Prüfwertüberschreitungen am Ort der Beurteilung i. d. R. geboten, von Maßnahmen abzusehen.

Als relevant für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser und damit in die Untersuchungen einzubeziehen ist im Regelfall Grundwasser, das eines der folgenden Kriterien erfüllt:

- Das Grundwasser ist permanent vorhanden und mindestens 0,5 m mächtig
oder
das Grundwasser ist temporär, aber über mindestens 6 Monate im Jahr vorhanden, so dass es über längere Zeiträume Schadstoffe transportieren kann, wobei die wassergesättigte Zone (= grundwassererfüllter Bereich) mehr als 0,5 m mächtig ist.
- „Schwebendes“ Grundwasser ist in die Untersuchungen einzubeziehen, wenn es die o.g. Kriterien erfüllt. „Schwebendes“ Grundwasser ist lokal begrenztes permanent oder temporär vorhandenes Grundwasser über einem Geringleiter innerhalb der sonst ungesättigten Zone, das abfließt oder verdunstet.
- Grundwasser ist in die Untersuchungen einzubeziehen, wenn es die o.g. Kriterien nicht erfüllt, aber genutzt wird, z.B. durch Gartenbrunnen.

Mögliche Verfahrensweisen

Untersuchungen zur Beurteilung einer Gefährdung des Grundwassers können gemäß Anhang 1 der BBodSchV nach den folgenden Verfahren durchgeführt werden:

BBodSchV Anhang 1 Nr. 3.3 Satz 1 und 2: Verfahren zur Abschätzung des Stoffeintrages aus Verdachtsflächen oder altlastverdächtigen Flächen in das Grundwasser

Die Stoffkonzentrationen und -frachten im Sickerwasser und der Schadstoffeintrag in das Grundwasser im Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Bodenzone (Ort der Beurteilung) können abgeschätzt werden, es sei denn, günstige Umstände ermöglichen eine

- repräsentative Beprobung von Sickerwasser am Ort der Beurteilung.

Diese Abschätzung kann annäherungsweise

- durch Rückschlüsse oder Rückrechnungen aus Untersuchungen im Grundwasserabstrom unter Berücksichtigung der Stoffkonzentration im Grundwasseranstrom, der Verdünnung, des Schadstoffverhaltens in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone sowie des Schadstoffinventars im Boden,
- auf der Grundlage von In-situ-Untersuchungen oder
- auf der Grundlage von Materialuntersuchungen im Labor (Elution, Extraktion), bei anorganischen Stoffen insbesondere der Elution mit Wasser, gemäß Tabelle 2

auch unter Anwendung von Stofftransportmodellen erfolgen.

Materialuntersuchungen im Labor dienen der Ermittlung der Schadstoffe und ihrer Konzentrationen in der Schadstoffquelle. Gemäß Anhang 1 Nr. 2.1.3 BBodSchV sind zur Feststellung der vertikalen Schadstoffverteilung Proben bis unterhalb einer mutmaßlichen Schadstoffanreicherung zu entnehmen. Als Ergebnis können (lokal) die vertikale Ausdehnung und der **Vorrat der Quelle** bestimmt werden, der dem Schadstoffpotential oder **Gesamtgehalt** [mg/kg TM] nach Extraktion entspricht. Die **Emission** der Schadstoffquelle in den darunter liegenden Boden ist durch Elution zu ermitteln. Materialuntersuchungen werden in der ALA-Arbeitshilfe und auch im Folgenden als Bodenuntersuchungen bezeichnet.

In-situ-Untersuchungen sind insbesondere Sickerwasseruntersuchungen auf der Transportstrecke zwischen Quelle und Ort der Beurteilung sowie Bodenluftuntersuchungen (Fehlau et al., 2000¹).

Eine Sickerwasserprognose auf der Grundlage von **Grundwasseruntersuchungen** basiert auf den im Grundwasser gemessenen Schadstoffkonzentrationen, also auf den Schadstoffen, die das Grundwasser bereits erreicht haben. Für diese Stoffe ist durch Rückschluss auf den Ort der Beurteilung zu ermitteln, ob eine Prüfwertüberschreitung derzeit wahrscheinlich ist. Die Abschätzung zukünftiger Schadstoffeinträge in das Grundwasser ist über Grundwasseruntersuchungen nicht möglich, sondern bedarf zusätzlicher Erkenntnisse.

Bei den Verfahrensweisen ist bezüglich ihrer Aussagekraft grundsätzlich zu beachten (siehe auch Abb. 1):

¹ Fehlau, Hilger, König (2000): Vollzugshilfe Bodenschutz und Altlastensanierung, Erläuterungen zur Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Bodenschutz & Altlasten, Bd.7.

- Boden- [2] und in-situ-Untersuchungen [3] der ungesättigten Zone sind dem Ort der Beurteilung vorgelagert. Sie bedürfen zur Abschätzung des Stoffeintrages am Ort der Beurteilung einer Transportprognose, die die Freisetzung sowie Rückhalt-, Abbau- und Umbauprozesse in der ungesättigten Zone berücksichtigt.
- Eine Sickerwasserprognose auf der Grundlage von Grundwasseruntersuchungen [4], also Untersuchungen der gesättigten Zone wie auch ggf. durchgeführte Untersuchungen am Ort der Beurteilung [1], sind der Transportstrecke nachgelagert. Sie bedürfen für eine Zukunftsbetrachtung ergänzender Abschätzungen der möglicherweise zukünftigen Schadstoffeinträge über die Transportstrecke in das Grundwasser.

Für alle Verfahrensweisen gilt daher gleichermaßen, dass neben Stoffbestand und Stoffverteilung der Quelle auch Informationen über die Stofffreisetzung sowie die Rückhalte- und Abbauprozesse der ungesättigten Zone bei der Sickerwasserprognose zu berücksichtigen sind.

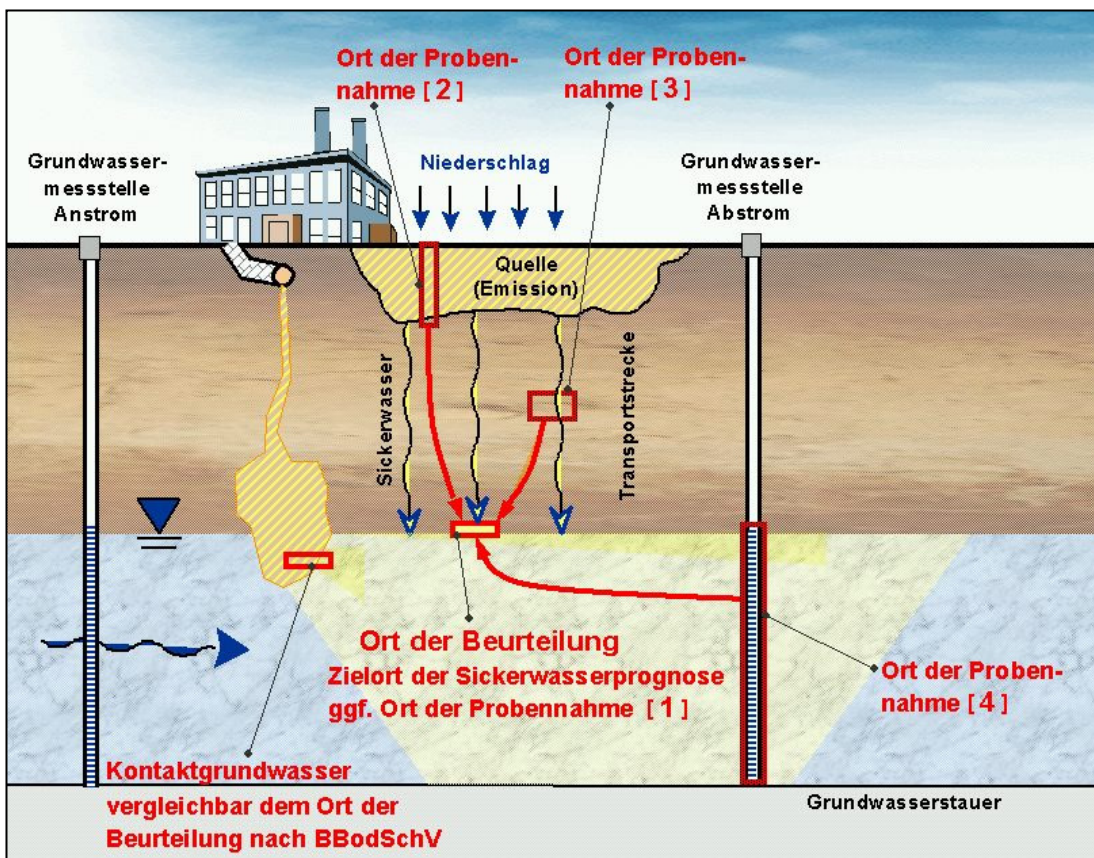


Abbildung 1: Ort(e) der Probennahme und Beurteilung

Unabhängig vom gewählten Verfahren sollten zur Abschätzung des Stoffeintrages in das Grundwasser folgende Sachverhalte ermittelt bzw. folgende fachlichen Überlegungen angestellt werden (ALA-Arbeitshilfe, Kap. 4.3.3.):

- Beschreibung des Schadstoffinventars,
- Ermittlung des Freisetzungsverhaltens,
- Transportprognose (z.B. Abbau oder Rückhalt von Schadstoffen),

- Abschätzung einer Prüfwertüberschreitung zum aktuellen Zeitpunkt,
- Abschätzung einer Prüfwertüberschreitung für die überschaubare Zukunft.

In der orientierenden Untersuchung ist die Zukunftsbetrachtung nicht immer möglich und auch nicht immer notwendig. Wenn die Abschätzung für den Ort der Beurteilung ergibt, dass bereits gegenwärtig eine Prüfwertüberschreitung zu erwarten ist, dann kann die Zukunftsprognose in der orientierenden Untersuchung entfallen. Um einen Altlastverdacht in der orientierenden Untersuchung auszuräumen, ist sie jedoch erforderlich.

Die Abschätzung der Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung kann bei der orientierenden Untersuchung ggf. unter Zuhilfenahme von einfachen Berechnungsmethoden erfolgen, jedoch ist der Einsatz von Stofftransportmodellen i.d.R. nicht zielführend, da die notwendigen Parameter meist nicht vorliegen. Bei einer orientierenden Untersuchung ist keine ‚exakte‘ Vorhersage möglich – vielmehr ist die Wahrscheinlichkeit einer Grundwassergefährdung **verbal-argumentativ** abzuschätzen.

Bei einer verbal-argumentativen Abschätzung werden alle Prozesse von Freisetzung, Transport und Eintrag der Schadstoffe in das Grundwasser umfassend beschrieben und alle für diese Prozesse relevanten Parameter ermittelt bzw. abgeschätzt. Erkenntnisse von vergleichbaren Standorten können einbezogen werden. Das Ergebnis soll eine in sich schlüssige und nachvollziehbare Abschätzung sein, ob am Ort der Beurteilung eine Prüfwertüberschreitung derzeit oder zukünftig zu erwarten ist.

Ist bei einer altlastverdächtigen Fläche auf Grund der Ergebnisse der Erfassung von mehreren Schadstoffen oder mehreren Kontaminationsschwerpunkten auszugehen, so ist grundsätzlich für jeden Schadstoff und jeden Kontaminationsschwerpunkt eine Sickerwasserprognose durchzuführen. Es empfiehlt sich allerdings, mit dem Schadstoff zu beginnen, für den auf Grund der Stoffeigenschaften und des mengenmäßigen Umganges am ehesten von einer Prüfwertüberschreitung auszugehen ist. Wird durch die Sickerwasserprognose eine Prüfwertüberschreitung als wahrscheinlich belegt, so liegt ein hinreichender Verdacht auf eine Altlast vor und weitergehende Untersuchungen können in der Detailuntersuchung erfolgen. Zum Verdachtsausschluss ist jedoch in der orientierenden Untersuchung für alle Schadstoffe und die gesamte Fläche eine Abschätzung des Stoffeintrages in das Grundwasser notwendig.

Die Vorgehensweise bei der Sickerwasserprognose gliedert sich in folgende Schritte (ALA-Arbeitshilfe, Kap. 4.3):

- Standortcharakterisierung,
- Konzepterstellung, Ermittlung des Untersuchungsbedarfs,
- Durchführung der Untersuchung,
- Abschätzung, ob am Ort der Beurteilung eine Prüfwertüberschreitung derzeit oder künftig zu erwarten ist.

2 Standortcharakterisierung

Die Standortcharakterisierung (ALA-Arbeitshilfe, Kap. 4.3.1) umfasst die Auswertung der bei der historischen Erhebung ermittelten, für eine Sickerwasserprognose relevanten Standortinformationen, insbesondere zum möglichen Schadstoffinventar, zu Bereichen höherer Gefährdungsvermutung, zum Untergrundaufbau und zur hydrogeologischen Situation. Es soll eine Vorstellung von der Quellsituation sowie von Aufbau und Beschaffenheit der ungesättigten und der gesättigten Zone entwickelt werden. Diese Kenntnisse sind Voraussetzung,

um das geeignete Konzept zur Vorgehensweise bei der Sickerwasserprognose zu erarbeiten und den Schadstoffeintrag in das Grundwasser abschätzen zu können.

Informationsquellen zu Untergrundbeschaffenheit und hydrogeologischer Situation, die dazu in Schleswig-Holstein herangezogen werden können, sind im Anhang 1 zusammengestellt. Wenn die Informationen aus den vorhandenen Unterlagen nicht ausreichen, um den geologischen Aufbau und die hydrogeologische Situation am Standort zu erfassen, sind spezifische Untersuchungen zur Datenergänzung nötig.

In Anhang 2 sind Beispiele des oberflächennahen hydrogeologischen Untergrundaufbaus in Schleswig-Holstein dargestellt. Diese enthalten neben kurzen Beschreibungen der ungesättigten und der gesättigten Zone Angaben zum Ort der Beurteilung und den möglichen Verfahrensweisen zur Sickerwasserprognose, die aufgrund der Situation am besten geeignet erscheinen.

2.1 Quellensituation

Die Quellensituation gibt an, mit welchen Schadstoffen zu rechnen ist, wo Eintragsorte in den Boden zu vermuten sind und inwieweit Schadstoffe im Boden freigesetzt worden sein können.

Vorhandene Unterlagen sollten hinsichtlich folgender Punkte geprüft und ausgewertet werden:

- Art und Menge der Schadstoffe sowie deren Eigenschaften,
- vermutete Kontaminationsbereiche,
- Alter der Quelle,
- Versiegelung, Sickerwasserrate.

Informationen zum Alter der Quelle und zur Versiegelung geben Hinweise, ob Schadstoffe aus der Quelle das Grundwasser bereits erreicht haben können und ob die Austragsituation „stabil“ ist, d.h. in etwa konstant andauert. Die Einschätzung beeinflusst die Auswahl des geeigneten Verfahrens, mit dem die Sickerwasserprognose durchgeführt werden kann (Kap. 3).

2.2 Ungesättigte Zone

Geologischer Aufbau, Eigenschaften und Mächtigkeit der ungesättigten Zone beeinflussen wesentlich den Schadstofftransport und damit die Schutzfunktion, die der ungesättigten Zone für das Grundwasser zukommt.

Treten gering durchlässige bzw. schadstoffrückhaltefähige Schichten auf, können infolge der längeren Verweildauer des belasteten Sickerwassers Schadstoffrückhalteprozesse und Abbauvorgänge wirksam werden, die einen Schadstoffeintrag in das Grundwasser vermindern können. Der geologische Aufbau am Standort muss deshalb immer bekannt sein. Er kann in günstigen Fällen aus den Schichtenverzeichnissen am Standort vorhandener Bohrungen, z. B. für Brunnen, abgeleitet oder durch Auswertung von Bohrungen in der nahen Umgebung erschlossen werden. Vielfach sind jedoch neue Aufschlüsse erforderlich.

Wegen ihrer Bedeutung für den Stofftransport sollten für die Sickerwasserprognose folgende Punkte bei der Beschreibung des **geologischen Aufbaus und der Eigenschaften** der ungesättigten Zone erfasst werden:

- Bodenarten, Mächtigkeit, Abfolge und Lagerung der Schichten mit besonderem Augenmerk auf feinkörnige, gering durchlässige Schichten wie z. B. Ton-, Geschiebelehm- oder Geschiebemergellagen, Feinsandlinsen;
- Durchlässigkeit und bevorzugte Wasserwegsamkeiten wie Klüftung und Stauchungszonen im Geschiebemergel, Makroporen;
- Sorptionsvermögen;
- Abbauvermögen.

Darüber hinaus wird das Transportverhalten mancher Stoffe vom Gehalt an organischer Substanz, vom Karbonatgehalt und pH-Wert beeinflusst. Diese Parameter können im Gelände anhand der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4 bzw. KA 5) erhoben werden (Anhang 1).

Die **Mächtigkeit** der ungesättigten Zone ergibt sich bei freiem Grundwasser aus dem Flurabstand, d. h. dem Abstand zwischen Geländeoberfläche und Grundwasseroberfläche. In der Regel sind die Reliefunterschiede auf einem Standort innerhalb einer Fläche unerheblich, jedoch sind bei größeren Reliefunterschieden unterschiedliche Flurabstände möglich. Mit der Grundwasseroberfläche ist der Ort der Beurteilung verbunden (Kap.1). Soweit mehrere Messungen des Grundwasserstandes vom Standort und seiner Umgebung vorliegen, kann hieraus ein hoher Grundwasserstand abgeleitet werden. Dabei kann besonders im Hinblick auf den Grundwasserspiegelgang auch auf andere Informationen, z.B. gewässerkundliche Daten des Landes, zurückgegriffen werden (Anhang 1), soweit sie Aussagen über die obersten Grundwasserleiter beinhalten. Die Durchführung langjähriger Messungen der Grundwasserstände auf dem Standort ist nicht erforderlich.

Bei gespanntem Grundwasser reicht die ungesättigte Zone bis zur Unterkante der Deckschichten.

2.3 Gesättigte Zone

Die gesättigte Zone entspricht dem wassererfüllten Wasserleiter, in dem die Schadstoffe mit dem Grundwasser transportiert werden.

Vor einer Entscheidung, die Sickerwasserprognose über Grundwasseruntersuchungen durchzuführen, sind die **hydrogeologischen Verhältnisse** ausreichend zu erfassen. Auch sind die Kenntnisse der hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Standortes Voraussetzung, um die Repräsentativität von vorhandenen oder neu zu errichtenden Grundwassermessstellen beurteilen zu können.

Folgende Faktoren beeinflussen den Schadstofftransport in der gesättigten Zone wesentlich:

- Geologischer Aufbau, Eigenschaften und horizontale Ausdehnung der gesättigten Zone;
- hydraulische Situation;
- Grundwasserbeschaffenheit, Eigenschaften und Konzentration der Schadstoffe.

Vorhandene Unterlagen sollen deshalb hinsichtlich folgender Punkte ausgewertet werden bzw. die Parameter sind durch gezielte Untersuchungen zu ergänzen:

- Bodenarten, Mächtigkeit, Abfolge, Ausdehnung und Lagerung der Schichten mit besonderem Augenmerk auf feinkörnige Schichten wie z. B. Geschiebelehm- oder Geschiebemergellagen;
- Durchlässigkeit und bevorzugte Wasserwegsamkeiten;
- freier oder gespannter Grundwasserspiegel;
- bei gespanntem Grundwasserleiter: Tiefe und Mächtigkeit der Abdeckung des Wasserleiters, hydraulische Verbindungen;
- Grundwasserströmungsverhältnisse, hydraulischer Gradient, evtl. Grundwasserentnahmen z.B. durch Wasserwerke, größere Brauchwasserentnahmen.

3 Konzepterstellung

Auf der Grundlage der Standortcharakterisierung ist ein standortbezogenes Untersuchungskonzept zu erstellen (ALA-Arbeitshilfe, Kap. 4.3.2). Dieses umfasst zum einen erforderliche Untersuchungen, um bei der Standortcharakterisierung erkannte Informationslücken zu schließen. Zum anderen ist das im Einzelfall vorgesehene Verfahren oder ggf. sind die Verfahrenskombinationen zur Sickerwasserprognose begründet festzulegen. Die folgenden Ausführungen sollen Hilfestellung für die Entscheidung geben, welche der in der BBodSchV genannten Verfahrensweisen im Einzelfall zum Einsatz kommen soll. Hierfür sind folgende Kriterien maßgeblich:

- Art und Verhalten der Schadstoffe,
- Homogenität der Schadstoffverteilung,
- Stabilität der Eintragsituation,
- die Sickerwassermenge bestimmende Faktoren, insbesondere Versiegelung,
- Beschaffenheit der ungesättigten Zone,
- Beschaffenheit der gesättigten Zone.

3.1 Kriterien zur Verfahrensauswahl

3.1.1 Art und Verhalten der Schadstoffe

Einzelne Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen führen auf Grund ihrer Eigenschaften zu einem bestimmten Vorgehen bei der Durchführung der Sickerwasserprognose (siehe auch Anhang 5). Insbesondere die Mobilität kann die Herangehensweise wie folgt bestimmen:

- Die Schadstoffe sind gering mobil
Beispiele: PCB, schwer lösliche Schwermetallverbindungen, gebundene PAK, Dioxine (s.a. Anhang 2 des ALA-Papiers)

Auf Grund geringer Wasserlöslichkeit, geringer Flüchtigkeit oder hoher Sorptionsneigung an die Bodenmatrix findet bei diesen Stoffen ein langsamer Transport mit dem Sickerwasser statt. Je nach Alter und Untergrundaufbau haben diese Schadstoffe daher das Grundwasser möglicherweise noch nicht erreicht. Eine abschließende Entlastung aus dem Altlastenverdacht auf der Grundlage von Grundwasseruntersuchungen ist in der Regel nicht möglich.

Zur Klärung einer möglichen – insbesondere zukünftigen – Grundwassergefährdung durch diese Schadstoffe sind **Bodenuntersuchungen**, hier **speziell Elutionsuntersuchungen**, angebracht.

Bei diesen Stoffen sind das Transportverhalten und die Mechanismen des Eintrags in das Grundwasser schwer einzuschätzen, da auch kolloidaler Transport und die Relevanz bevorzugter Fließwege zu berücksichtigen sind. Ggf. bieten sich zur Absicherung gegenüber doch schon stattgefundenen Einträgen in das Grundwasser im Einzelfall auch ergänzende Grundwasseruntersuchungen an.

- Die Schadstoffe sind mobil oder werden bzw. wurden durch Lösungsmittel oder andere mobilisierende Stoffe in kurzen Zeitintervallen transportiert
Beispiele: LHKW, BTEX, Teeröle, Mineralölkohlenwasserstoffe

Häufig sind Einträge dieser Stoffe auch punktförmig oder auf kleiner Fläche erfolgt. In Abhängigkeit von der Schadstoffmenge kann ein schwerkraftgesteuerter Transport in Phase dominieren, jedoch befinden sich häufig auch nicht mehr fließfähige Phasenbestandteile im Boden (Residualsättigung), die bis zu 30% des Porenraums ausfüllen können.

Soweit von einem höheren Schadensalter und einer relevanten Schadstoffmenge auszugehen ist, eine Sickerwasserbildung vorliegt und das Grundwasser nicht sehr gut geschützt ist, hat – unabhängig von Phaseneinträgen – mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Verlagerung der Schadstoffe in das Grundwasser stattgefunden. Zur Verdachtsbestätigung bieten sich, soweit hydrogeologisch möglich, **Grundwasseruntersuchungen** an (Kap.5).

In Einzelfällen können Bodenuntersuchungen dazu dienen, Informationen zu Restbelastungen der ungesättigten Zone zu erhalten (Bodenbereiche mit dem Schadstoff in Residualsättigung zu identifizieren) oder das Schadstoffpotential unter versiegelten Bereichen zu bestimmen. Dabei ist zu beachten, dass Elutionsuntersuchungen (Säulenversuche) bei flüchtigen Stoffen auf Grund der Verluste bei Probennahme und Säuleneinbau nicht sinnvoll sind. Auch liegen keine ausreichenden Erfahrungen mit der Durchführung und Interpretation von Säulenversuchen mit MKW-kontaminierten Böden vor. Bodenuntersuchungen beschränken sich bei diesen Stoffen daher auf Schadstoff-Gesamtgehaltsbestimmungen. Bei der Auswahl von Proben ist zu beachten, dass die Restgehalte der Schadstoffe am Eintragsort oder auf der Transportstrecke durch die hohe Mobilität meist sehr inhomogen verteilt sind.

Auch wenn diese Stoffe häufig das Grundwasser bereits erreicht haben, sind eventuelle Nachlieferungen aus der ungesättigten Zone zu bedenken. Besonders organik-reiche Schichten der ungesättigten Zone, die bevorzugt als Speicher organischer Schadstoffe fungieren, sind zu beachten.

Ggf. sind bei leichtflüchtigen Stoffen (LHKW, BTEX) **Bodenluftuntersuchungen** als in-situ-Verfahren zweckmäßig. Bodenluftuntersuchungen sind in erster Linie Relativverfahren, die eine Eingrenzung eines Belastungsbereiches ermöglichen. Durch Bodenluftuntersuchungen kann in Verbindung mit anderen Untersuchungen und Erkenntnissen der Gehalt von Schadstoffen im Bodenwasser und ggf. im Sickerwasser abgeschätzt werden (Anhang 3).

Im Bereich der Quelle können die Ergebnisse von Bodenluftuntersuchungen eingeschränkt zur Einschätzung eines Schadstoffpotentials verwendet werden. In Anhang 4 befinden sich entsprechende Bewertungshinweise.

3.1.2 Schadstoffverteilung – Homogenität, Zugänglichkeit

Auf Grund der Stoffeigenschaften und Eintragswege treten unterschiedliche Schadstoffverteilungen im Boden auf, die das Untersuchungskonzept mit bestimmen. Je homogener Schadstoffverteilungen angenommen werden können bzw. vorliegen, desto eher können repräsentative Proben für Bodenuntersuchungen entnommen werden. Eine Quelle mit homogener Schadstoffverteilung, die klar abgegrenzt ist, wird vielen Überlegungen und Vorgehensempfehlungen zur Sickerwasserprognose zu Grunde gelegt, stellt in der Altlastenbearbeitung jedoch nicht die Regel dar.

Bei homogen verteilten Schadstoffen (z.B. Auffüllungen mit einheitlichem Material, Rieselfelder) ist es – zumindest als ein Teil des Untersuchungskonzepts - stets sinnvoll und notwendig, **Bodenuntersuchungen** durchzuführen und die eluierbaren Schadstoffkonzentrationen und das Schadstoffpotential (Gehalte im Feststoff) zu bestimmen.

Bei Altablagerungen und Altstandorten mit besonders unregelmäßiger Schadstoffverteilung gibt die BBodSchV im Anhang 2, 3.2 c) die Empfehlung, die Sickerwasserprognose auf Grundlage von **Grundwasseruntersuchungen** durchzuführen.

Zwischen den Extremen einer ‚homogenen‘ und ‚besonders unregelmäßigen‘ Schadstoffverteilung wird bei den meisten Standorten eine Abschätzung des Ausmaßes der Inhomogenität und Abwägung der damit verbundenen Aussagerisiken bei Bodenuntersuchungen notwendig.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Bodenuntersuchungen bei inhomogenen Quellen Stichproben der augenblicklichen Belastungssituation am Ort der Probennahme darstellen mit oft geringer räumlicher Repräsentativität. Soweit Grundwasseruntersuchungen möglich sind (Kap. 5), haben diese dagegen auf Grund des zeitlich und räumlich übergreifenden Ansatzes eine integrale Aussagekraft.

Da sich die Kenntnis über die Verteilung der Schadstoffe bei Altstandorten aus der Standortcharakterisierung nur bedingt ergibt, kann bei Bodenuntersuchungen ggf. die Untersuchung des Grundwassers als zweiter Schritt notwendig werden – insbesondere, wenn eine Grundwassergefährdung anders nicht beurteilt werden kann.

Vor allem in innerstädtischen Bereichen tritt zu dem Problem der ausreichenden Kenntnis der Schadstoffverteilung häufig auch die Begrenztheit möglicher Beprobungsstellen infolge Bebauung bzw. Versiegelung hinzu. Können potentielle Eintragsstellen auf Grund mangelnder Zugänglichkeit (zunächst) nicht beprobt werden, verbleiben indirekte Messungen wenn möglich über Grundwasser oder bei flüchtigen Stoffen über die Bodenluft.

Eine Schlüsselaufgabe bei der Konzepterstellung ist es, die Bewertungs-Risiken auf Grund ‚falscher‘ (nicht repräsentativer) Bodenprobenentnahmen in Verbindung mit den Unsicherheiten der Transportprognose und die Risiken auf Grund ‚falscher‘ Grundwasseruntersuchungen (Positionierung, Verfilterung, Vorliegen von nicht erfassbaren Teilflächen) gegeneinander abzuwägen (siehe auch Kap. 3.2 sowie 4 und 5).

3.1.3 Stabilität der Eintragsituation

Bei Schadstoffen mindestens mittlerer Mobilität (s.a. Anhang 2 des ALA-Papiers) und einer ständigen Sickerwasserbildung (Entsiegelungsmaßnahmen) kann in der Regel bei älteren Kontaminationen und geringen bis mittleren Flurabständen davon ausgegangen werden, dass sich **Gleichgewichtsbedingungen** bei Austrag, Transport und Eintrag von Stoffen in das Grundwasser eingestellt haben. Die Konzentrationen der Schadstoffe im Grundwasser

entsprechen unter Berücksichtigung von Verdünnungsprozessen im Grundwasser den Einträgen aus unterschiedlich belasteten Teilflächen und bilden damit eine flächenrepräsentative „Prognose“. Kann auch weiterhin ein weitgehend stationärer Zustand angenommen werden, so können durch **Grundwasseruntersuchungen** mit einer Anstrom-/Abstrombetrachtung sowohl die aktuellen als auch die zukünftigen Einträge in das Grundwasser am besten abgeschätzt werden.

Die in Kap. 5 aufgeführten Bedingungen für die Durchführung von Grundwasseruntersuchungen müssen dabei berücksichtigt werden.

3.1.4 Sickerwassermenge und Versiegelung

Ein Schadstofftransport in das Grundwasser erfolgt in der Regel mit dem Sickerwasser. Ausgenommen hiervon sind der Schwerkraft folgende Verlagerungen in flüssiger Phase. Sehr geringer Sickerwasseranfall oder unterbundene Versickerungsmöglichkeiten erhalten das Schadstoffpotential im Boden über lange Zeiträume aufrecht.

Die Versiegelung ist hierbei die bestimmende Größe, wobei aber auch durch stark reliefiertes Gelände, bei verdichteten oder bindigen Böden unter Bewuchs die Sickerwasserrate sehr gering sein kann. Zu einem lokal erhöhten Sickerwasseranfall kann es dagegen z.B. in Bereichen kommen, in denen sich Wasser durch Ableitungen bei Versiegelungen oder starkem Relief sammelt.

Ist zu prüfen, ob Schadstoffe das Grundwasser **erst zukünftig** erreichen können, d.h. dass Konzentrationszunahmen im Sicker- und in Folge dann auch im Grundwasser erst zu erwarten sind, z.B. wenn die versiegelte kontaminierte Fläche aufgebrochen werden soll, muss sich die Sickerwasserprognose auf die Abschätzung aus **in-situ- oder Bodenuntersuchungen** stützen.

Änderungen der Sickerwassermenge sind bei der Abschätzung zu berücksichtigen.

3.1.5 Beschaffenheit der ungesättigten / gesättigten Zone

Auch die Beschaffenheit der ungesättigten und gesättigten Zone bestimmt die Art und Kombination der Untersuchungsverfahren. In den **Beispielen zum Aufbau des Untergrundes** in Anhang 2 wird für die dargestellten Untergrundverhältnisse erläutert, welche Verfahrensweise für die Sickerwasserprognose gewählt werden kann.

Die Beispiele decken nicht alle möglichen Fälle in Schleswig-Holstein ab. Sie stellen auch keine Vorgaben dar, nach denen in jedem Fall zu verfahren ist, sondern sollen Orientierungshilfen sein.

3.2 Kombination von Kriterien

Jedes der genannten Kriterien kann im Einzelfall für die Wahl der Verfahrensweise zur Sickerwasserprognose den Ausschlag geben; je nach Ausprägung beeinflussen sich die Kriterien jedoch auch gegenseitig, so dass eine Abwägung erforderlich wird.

Nach den bisherigen Hinweisen ergeben sich zwei typische Untersuchungsschwerpunkte für die Durchführung der Sickerwasserprognose :

- Schwerpunkt Bodenuntersuchungen und Transportprognose bis zum Ort der Beurteilung.

- Schwerpunkt Grundwasseruntersuchungen und Rückschlüsse auf den Ort der Beurteilung mit i.d.R. ergänzenden Betrachtungen über zukünftige Einträge in das Grundwasser.

In-situ- bzw. Sickerwasseruntersuchungen kommen meistens erst dann zum Einsatz, wenn die genannten Verfahren keine eindeutige Aussage ergeben.

Bei der Konzepterstellung problematisch sind Fälle, in denen z. B. auf Grund einer inhomogenen Verteilung der Schadstoffe, der Schadstoffeigenschaften oder der erwarteten stabilen Eintragssituation eine Sickerwasserprognose auf der Grundlage von Grundwasseruntersuchungen angezeigt wäre, diese jedoch auf Grund einer nicht mit einfachen Mitteln zu klärenden Hydrogeologie, eines heterogenen geologischen Aufbaus oder großen Grundwasserflurabstandes unverhältnismäßig oder nicht durchführbar ist. In diesen Fällen ist zu prüfen, ob sich die Sickerwasserprognose trotz Einschränkungen auf Bodenuntersuchungen, die Beprobung des Sickerwassers oder andere In-situ-Untersuchungen stützen lässt. Häufig muss eine Abwägung zwischen erhöhtem Erkundungsaufwand bezüglich der Schadstoffverteilung in der ungesättigten Zone und der zu klärenden Hydrogeologie durch Voruntersuchungen erfolgen.

4 Bodenuntersuchungen und deren Beurteilung

Die Sickerwasserprognose auf der Grundlage von Bodenuntersuchungen erfolgt in den Schritten (ALA-Arbeitshilfe, Kap. 5 und 6):

- Bestimmung der Schadstoff-Gesamtgehalte in Bodenproben,
- Abschätzung des Freisetzungsverhaltens der Schadstoffe,
- Abschätzung der Schutzfunktion der ungesättigten Zone,
- Abschätzung des aktuellen und zukünftigen Schadstoffeintrages in das Grundwasser.

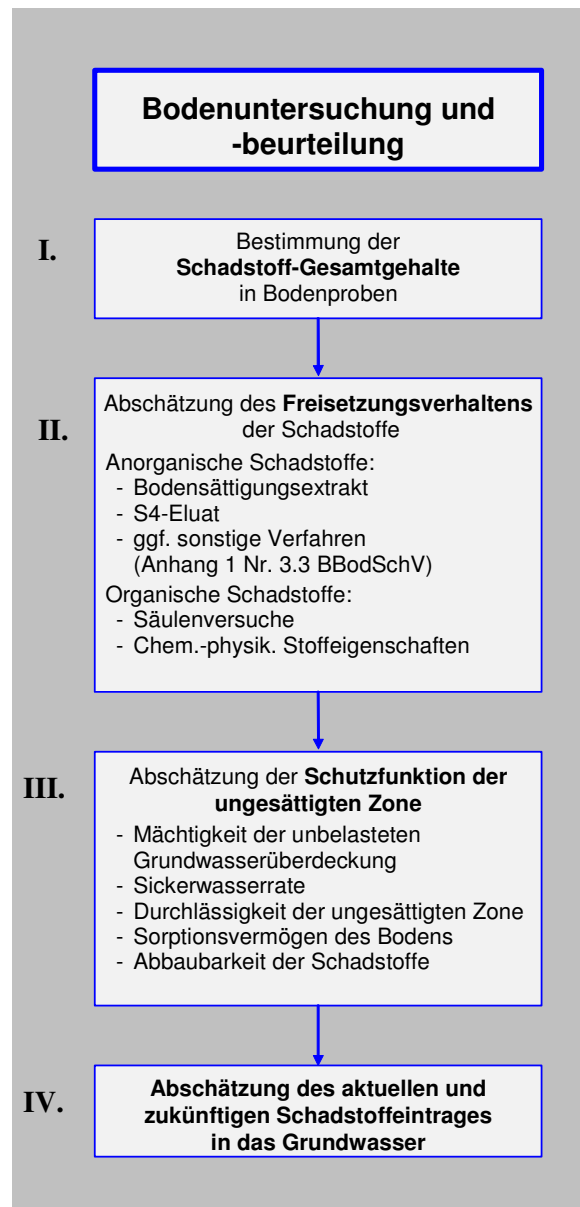


Abbildung 2 Ablauf der Sickerwasserprognose auf der Basis von Bodenuntersuchungen (ALA-Arbeitshilfe)

Um eine Sickerwasserprognose auf der Grundlage von Bodenuntersuchungen zu erstellen, muss die Repräsentativität der Bodenprobe gewährleistet sein. Dazu sollten die folgenden Bedingungen berücksichtigt werden:

- Es gelten die Anforderungen der BBodSchV, Anhang 1, 2.1.3 für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser. Um einen größeren räumlichen Bezug der zu untersuchenden Proben zu erhalten, werden häufig Mischproben gleicher Horizonte oder Schichten zusammengefasst. Die Entnahme von Mischproben setzt voraus, dass Schadstoffe annähernd gleichmäßig über eine Fläche verteilt sind. Dies kann jedoch nur in begründeten Fällen angenommen werden, in allen anderen Fällen sind Einzelproben zu entnehmen und zu untersuchen. Nur so lässt sich die Verteilung und Streubreite der Konzentrationen erfassen.

- In vermuteten Kontaminationsschwerpunkten ist eine ausreichende Anzahl von Beprobungspunkten auszuwählen (siehe Empfehlungen der Arbeitshilfe Qualitätssicherung (LABO, 2002, Kap. 1.2). Bereiche zwischen den vermuteten Kontaminationsschwerpunkten sind gemäß BBodSchV, Anhang 1, Nr. 2.1 zu beproben. Hier ist ggf. als erster Schritt die Analyse als Mischprobe mit erniedrigter Auslöseschwelle für weitere Einzelprobenanalytik sinnvoll.
- Die Entnahme von Bodenproben aus Sondierungen erfordert die umfassende Beschreibung und Ansprache des entnommenen Materials zur Charakterisierung der entsprechenden Schicht bzw. des Horizontes. Dazu gehört z. B. auch die detaillierte Beschreibung der anthropogenen Komponenten (ggf. % Anteile).
- Bei ausschließlicher Analyse organoleptisch auffälliger Bereiche fehlen bei vielen Schadstoffen grundlegende Aussagen über die Schadstoffverteilung. Auch optisch oder geruchlich nicht auffällige Bereiche sind daher zu analysieren bzw. zur Analyse zurückzustellen.
- Bei der Durchführung von Elutions- und Extraktionsverfahren kann eine Unterschreitung von Prüfwerten nur dann zur Entlassung aus dem Altlastenverdacht führen, wenn das untersuchte Probenmaterial repräsentativ für die Quelle ist. Untersuchungen von Bodenproben aus der Transportstrecke dienen weitergehenden Fragestellungen (sekundär kontaminierte Bodenbereiche, Transportverhalten).
- Um die Untersuchungsergebnisse hinreichend sicher interpretieren zu können, sind bezüglich der Analytik die Empfehlungen der „Arbeitshilfe Qualitätssicherung“ (LABO, 2002), Kap. 5.8 zu beachten.

4.1 Schadstoff-Gesamtgehalte

Mit der Bestimmung der Schadstoff-Gesamtgehalte durch Extraktion kann das Schadstoffpotential im Sinne von Schadstoff-Vorrat ermittelt werden (ALA-Arbeitshilfe Kap. 5.2).

Es ist hervorzuheben, dass eine Untersuchung auf Schadstoff-Gesamtgehalte für den Pfad Boden-Grundwasser in der BBodSchV nicht ausdrücklich erwähnt wird. Dennoch liefern solche Untersuchungen wichtige Informationen über die Quelle, wie auch in Kombination mit Eluatuntersuchungen über das Verhältnis von momentaner Freisetzung und Freisetzungspotential. Soweit Bodenuntersuchungen durchgeführt werden, sollte daher neben der Herstellung von Eluaten die Bestimmung der Schadstoff-Gesamtgehalte als Regeluntersuchung angesehen werden. Nach einer Probenentnahme für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser gemäß Anhang 1 der BBodSchV, 2.1.3 liegt in der Regel eine Vielzahl von Proben aus unterschiedlichen Tiefen vor. Für diese Proben bietet sich zur Quellenerkundung schon aus wirtschaftlichen Gründen die Bestimmung der Schadstoff-Gesamtgehalte an. Ohne eine grundlegende Vorstellung über die Lage, Homogenität/Inhomogenität der Quelle und ihrer Freisetzungsintensität sind Ergebnisse z.B. von Elutionsuntersuchungen nur schwer in ihrer Bedeutung einzuschätzen. Die Höhe der gemessenen Schadstoff-Gesamtgehalte kann durch einen Vergleich mit den Vorsorgewerten² beurteilt werden, die nach Anhang 1 der

² Die Vorsorgewerte der BBodSchV stellen auf alle Wirkungspfade gleichermaßen ab; damit sind diese Werte implizit auch Bezugskonzentrationen bezüglich des Pfades Boden-Grundwasser und werden als ein Bewertungskriterium zur Identifikation unkritischer Proben herangezogen. Im Einzelfall ist zu prüfen, ob die Vorsorgewerte durch regionale Hintergrundgehalte schon überschritten werden, insbesondere in Überschwemmungsgebieten der Elbe und ihrer Zuflüsse, in Regionen in der Nähe größerer Emittenten, in Siedlungsbereichen und in der Umgebung von Großstädten.

ALA-Arbeitshilfe hierfür zu nutzen sind. Es erfolgt eine Klassifizierung in gering / mittel / hoch. Über die Schadstoff-Gesamtgehalte wird damit die Wahrscheinlichkeit einer Grundwassergefährdung mit bestimmt.

Schadstoffpotential (Schadstoff- Gesamtgehalte) im Boden

- hoch:** Die in Anhang 1, ALA-Arbeitshilfe genannten Werte (Vorsorgewerte der BBodSchV) werden flächig deutlich (mindestens um das 5-fache) überschritten oder Schadstoffe liegen in Phase oder partiell hochkonzentriert (Reinstoff) vor.
- mittel:** Die in Anhang 1, ALA-Arbeitshilfe genannten Werte (Vorsorgewerte der BBodSchV) werden in Teilbereichen deutlich (mindestens um das 5-fache) überschritten, flächig jedoch unterschritten oder kaum überschritten.
- gering:** Die in Anhang 1, ALA-Arbeitshilfe genannten Werte (Vorsorgewerte der BBodSchV) werden kaum oder nur punktuell, jedoch nicht deutlich überschritten.

Soweit für einzelne Parameter keine Vorsorgewerte vorliegen, können hilfsweise die in Anhang 4 aufgeführten Werte verwendet werden. Liegen die ermittelten Gehalte im Bereich dieser Werte (oder überschreiten diese in Teilbereichen) so ist von einem mittleren Schadstoffpotential, bei flächiger oder deutlicher Überschreitung von einem hohen Schadstoffpotential auszugehen. Bei deutlicher Unterschreitung ist das Schadstoffpotential gering. Diese Werte orientieren sich an den Maßnahmenschwellenwerte für Bodenbelastungen der „Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden“ der LAWA von 1994. Für flüchtige Verbindungen werden als Hilfsmittel zur Beurteilung von Bodenluftuntersuchungen vergleichbare Beurteilungswerte aufgeführt.

Können bei leichtflüchtigen Schadstoffen aus Konzentrationen in der Bodenluft nach Anhang 3 Konzentrationen im Sickerwasser abgeschätzt werden, so kann auch ein Vergleich mit den Prüfwerten der BBodSchV für den Pfad Boden-Grundwasser entsprechend den obigen Ausführungen zur Einteilung des Schadstoffpotentials in gering, mittel oder hoch verwendet werden und eine entsprechende Bewertung mittels Anhang 4 ergänzen oder erläutern.

Für PCB und viele unpolare nicht flüchtige (chlorierte) Kohlenwasserstoffe ist eine Einschätzung des Schadstoffpotentials schwierig, da entweder keine Vorsorgewerte angegeben werden können oder im Fall von PCB der Vorsorgewert insbesondere den Pfad Boden-Mensch berücksichtigt. Bei der Abschätzung der Grundwassergefährdung ist dann (statt des Schadstoffpotentials) die Größenordnung der Überschreitung der Prüfwerte am Ort der Probenahme zu berücksichtigen.

4.2 Freisetzung / Mobilität der Schadstoffe

Die aus dem kontaminierten Boden freigesetzten Schadstoffe im Sickerwasser können durch Elutionsuntersuchungen nach BBodSchV Anhang 1 Nr. 3.1.2 abgeschätzt werden. Ergänzende Hinweise zu diesen Untersuchungen finden sich in der ALA-Arbeitshilfe Kap. 5.3.2.

Die Freisetzung der Schadstoffe und auch ihr Transportverhalten werden von der Mobilität der Schadstoffe beeinflusst. In Anhang 2 der ALA-Arbeitshilfe wird für unterschiedliche Schadstoffe und Schadstoffgruppen unter der Überschrift ‚Bewertung der Mobilität‘ eine erste Einstufung vorgenommen. Diese Einstufung bezieht sich ausschließlich auf die Stoffeigenschaft und berücksichtigt keine Einflüsse der Bodenmatrix. Liegen ergänzende Informationen

über die Mobilität der Stoffe im untersuchten Einzelfall vor oder sind bei Schadstoffgemischen Wechselwirkungen zwischen den Kontaminanten zu berücksichtigen, so sind die Einstufungen entsprechend abzuändern.

Für flüchtige **organische Stoffe** (LCKW, BTEX und Ottokraftstoffe), bei denen Elutionsuntersuchungen nicht durchführbar sind, beschränkt sich die Einschätzung des Freisetzungsverhaltens auf die Stoffeigenschaft selbst: ihre Mobilität ist hoch. Konkretisiert auf Einzelstoffe kann ggf. unter den in Anhang 3 beschriebenen Bedingungen aus der Konzentration eines Schadstoffes in der Bodenluft eine Konzentration im Bodenwasser abgeschätzt werden, die als Hinweis auf eine entsprechende Konzentration im benachbarten Sickerwasser gewertet und mit den Prüfwerten der BBodSchV für den Pfad Boden-Grundwasser verglichen werden kann.

PCB und viele unpolare nicht flüchtige (chlorierte) Kohlenwasserstoffe sind gering mobil. Bei diesen Stoffen kann die Schadstofffreisetzung über Elutionsuntersuchungen ermittelt werden.

Bei der Untersuchung des Freisetzungsverhaltens von MKW und PAK, mäßig mobilen Stoffen bzw. Stoffgruppen mit gemischten Mobilitätseigenschaften, ist vorweg sicherzustellen, dass das untersuchte Material für die Einschätzung der Gesamtfläche aussagekräftig genug ist – häufig liegen bei Stoffen mittlerer Mobilität tiefreichende inhomogene Schadstoffverteilungen vor, die die Eingrenzung einer Quelle erschweren. Für eine erste Einschätzung des Freisetzungsverhaltens können die Hinweise aus Anhang 2 der ALA-Arbeitshilfe verwendet werden.

Für **anorganische Stoffe** können gemäß BBodSchV die Ergebnisse des Bodensättigungsextraktes ansatzweise mit der Sickerwasserkonzentration (aus der Quelle) gleichgesetzt werden. Andere Untersuchungen sind nur im Einzelfall (Schadstoffquelle in bindigen Böden) heranzuziehen und nur bedingt aussagekräftig, da eine Gleichwertigkeit mit dem Bodensättigungsextrakt in der Regel schwer nachzuweisen ist. Nur deutliche Über- oder Unterschreitungen des Prüfwertes sind dann interpretationsfähig.

Bei der Abschätzung der Schadstofffreisetzung kann die Berechnung des eluierbaren Anteils in Bezug auf die Schadstoff-Gesamtgehalte hilfreich sein. Aus dem Verhältnis des eluierbaren Schadstoffanteils zum Gesamtgehalt können weitere Aussagen zur Mobilität von Schadstoffen im Boden getroffen werden.

Je geringer der eluierbare Anteil am Gesamtgehalt ist, desto schwerwiegender können unter Umständen Überschreitungen von Prüfwerten am Ort der Probenahme gewertet werden, da die räumliche wie zeitliche Änderung der chemischen oder bodenkundlichen Randbedingungen eine auch deutliche Erhöhung der eluierbaren Anteile möglich machen kann. Bei sehr geringen eluierbaren Anteilen können die Unterschiede zwischen der aktuellen ggf. niedrigen Eluatkonzentration und worst-case Annahmen Dimensionen betragen (hohe Unsicherheit der Abschätzung) – dies ist bei aktuell hohen Freisetzungsraten nicht möglich.

Der eluierbare Anteil am Gesamtschadstoffpotential kann wie folgt ermittelt werden:

Beispiel zur Berechnung des Verhältnisses 'eluierbarer Anteil' zu 'Gesamtgehalt':		
Elutions-/Extraktionsverfahren:	S4-Verfahren	
Wasser-Boden-Verhältnis (WBV):	10 l/kg	(1 l H ₂ O / 0,1 kg TS)
Konzentration im Eluat:	120 µg/l	(Messwert im Eluat)
Gesamtgehalt der Bodenprobe:	4.800 µg/kg	(Messwert in der Bodenprobe)
$\text{Verhältnis} = \frac{\text{Konzentration im Eluat } [\mu\text{g} / \text{l}]}{\text{Gesamtgehalt } [\mu\text{g} / \text{kg}]} * \text{WBV}[\text{l} / \text{kg}] * 100\%$		
$= \frac{120}{4.800} * 10 * 100 \% = \mathbf{25 \%}$		
<p>Im Beispiel wurden mit dem S4-Verfahren 25 % der in der Bodenprobe vorliegenden Schadstoffe eluiert.</p>		
<p>(aus HLOG, Handbuch Altlasten, s. Lit. [4] der ALA-Arbeitshilfe)</p>		

Deutliche Unterschiede des Verhältnisses zwischen eluierbarem Anteil und Gesamtgehalt bei unterschiedlichen Proben eines Standortes können zudem wichtige Hinweise zur Unterscheidung von Quellenbereichen und ggf. sekundär kontaminierten Bereichen geben.

Unterschreiten die Schadstoffgehalte im Sickerwasser am Ort der Probenahme sicher die Prüfwerte und liegen keine weiteren Informationen vor, die eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung vermuten lassen, ist der Altlastverdacht für den untersuchten Schadstoff bzgl. des Wirkungspfades Boden - Grundwasser ausgeräumt.

4.3 Schutzfunktion der ungesättigten Zone

Als Standortparameter mit großer Bedeutung für die Schutzfunktion der ungesättigten Zone benennt die ALA-Arbeitshilfe (in Kap. 6.2):

- Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung,
- Sickerwasserrate,
- Durchlässigkeit der ungesättigten Zone,
- Sorptionsvermögen des Bodens,
- Abbau organischer Schadstoffe.

Die ALA-Arbeitshilfe führt bei der Beschreibung der für die Schutzfunktion wichtigen Standortparameter für mehrere dieser Parameter verbale Bewertungshinweise mit den qualitativen Kategorien hoch, mittel und gering auf. Im Folgenden werden solche Bewertungshinweise ergänzt, so dass sie für alle aufgeführten Standortparameter vorliegen.

Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung:

Als unbelastete Grundwasserüberdeckung beschreibt die ALA-Arbeitshilfe den Bereich zwischen Unterkante des kontaminierten Bodenkörpers (Quelle) und dem Ort der Beurteilung. Mit zunehmender Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung erhöht sich die Verweilzeit des Sickerwassers. Bei der Beurteilung der Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung werden jedoch nur Sedimente berücksichtigt, die einen relevanten Bei-

trag zur Schutzfunktion leisten, also Sedimente mit geringer Durchlässigkeit wie Tone, Lehme, schluffige Sande, Geschiebemergel. Gut durchlässige Gesteine werden nicht berücksichtigt. Je nach vertikaler Schadstoffverteilung und Verlagerung der Kontamination kann sich die Trennung zwischen Quelle und unbelasteter Bodenzone schwierig gestalten. Trotz Verlagerungen kann auch eine teilbelastete Bodenzone weiter eine Schutzwirkung entfalten und damit bei der Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung mitgerechnet werden. Zur Einschätzung der Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung nennt die ALA-Arbeitshilfe folgende Anhaltswerte:

gering: < 2 m Lockergesteine mit geringer Durchlässigkeit;

mittel: 2 bis 10 m Lockergesteine mit geringer Durchlässigkeit;

groß: > 10 m Lockergesteine mit geringer Durchlässigkeit.

Sickerwasserrate:

Die bestimmende Größe für die Infiltration von Niederschlag und damit für die Sickerwasserrate ist die Versiegelung. Auch Bodenverdichtung, Bewuchs und ein starkes Relief wirken sich auf die Sickerwasserrate aus. Zu beachten sind auch die Ausführungen in Kap. 3.1.4.

hoch: unversiegelte Flächen mit wenig oder keinem Bewuchs;

mittel: gepflasterte Flächen, verdichtete Flächen, Flächen mit dichtem Bewuchs und Flächen mit schadhafter Versiegelung;

gering: versiegelte Flächen, die mit Beton, Teer oder Asphalt abgedeckt sind, bei denen der Fortbestand der Versiegelung dauerhaft gesichert ist und die Versiegelung weitgehend unbeschädigt ist.

Zu beachten ist, dass ein Transport von Schadstoffen in Phase unabhängig vom Sickerwassertransport erfolgt.

Durchlässigkeit der ungesättigten Zone unter Berücksichtigung des Sorptionsvermögens:

Eine wichtige Größe im Hinblick auf die Schutzfunktion der ungesättigten Zone ist die Durchlässigkeit des Bodens/Untergrunds für Wasser und Schadstoffe. Sedimente mit hohem Feinkornanteil zeichnen sich durch eine geringe Wasserdurchlässigkeit und einen hohen Schadstoffrückhalt aus. Organische Sedimente bzw. Sedimente mit hohem Anteil an organischem Kohlenstoff besitzen ebenfalls ein sehr hohes Rückhaltevermögen für bestimmte Schadstoffe. Weiterhin sind Klüfte und Hinweise auf andere bevorzugte Fließwege zu beachten sowie die laterale Ausdehnung von gering durchlässigen oder organischen Kohlenstoff enthaltenden Schichten. Für eine Einschätzung werden folgende Kategorien empfohlen:

groß: vorherrschend sandige Sedimente, keine Tonschichten/Geschiebemergel; geringes Sorptionsvermögen für die zu betrachtenden Schadstoffe. Auch bei bindigen Schichten hohe Durchlässigkeit durch bevorzugte Fließbahnen (Rissgefüge, Säulengefüge, Trockenrisse, Durchwurzelung, Klüftung); in Zweifelsfällen muss von einer großen Durchlässigkeit ausgegangen werden.

mittel: überwiegend schluffiges Sediment oder tonige Schichten mit geringer Ausdehnung (Tonbänder) oder lückenhafter Verbreitung; auch geschätzter Anteil an organischem Kohlenstoff von 0,1 bis 2% bei ausreichender Mächtigkeit und Verbreitung der Schichten; mittleres Sorptionsvermögen für die zu betrachtenden Schadstoffe.

gering: schluffig-tonige Schichten oder entsprechend bindiger Geschiebemergel (ohne sandige Einschaltungen) mit ausreichender Mächtigkeit und Ausdehnung; auch geschätzter Anteil organischen Kohlenstoffs im Boden von mehr als 2% bei ausreichender Mächtigkeit und Verbreitung der Sedimente; hohes Sorptionsvermögen für die zu betrachtenden Schadstoffe.

Biologische Abbaubarkeit:

Viele organische Verbindungen sind unter günstigen Bedingungen im Boden und Grundwasser abbaubar. Zu beachten sind Abbauprodukte, deren Verhalten und Toxizität gegenüber den Ausgangssubstanzen verändert sind, z.B. der Abbau von Trichlorethylen zu Vinylchlorid oder toxische Abbauprodukte von Nitroaromaten (siehe auch Anhang 2 der ALA-Arbeitshilfe). Ist die Verweilzeit des belasteten Grundwassers im Boden nur kurz, können keine nennenswerten Abbauprozesse stattfinden.

gut: gut abbaubar sind i.d.R. die MKW-Anteile in Ottokraftstoffen, die leichterflüchtigen Anteile aus Dieselmotorkraftstoffen und Heizöl sowie nichtchlorierte Phenole.

gering: eine geringe Abbaubarkeit haben u.a. hochsiedende Alkane, höher kondensierte PAK sowie die meisten chlorierten Verbindungen (Näheres siehe Anhang 2 der ALA-Arbeitshilfe).

Zusammenfassende Beurteilung der Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone:

Zur Beurteilung der Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone sind die Standortverhältnisse hinsichtlich der genannten Parameter zu beschreiben und zu beurteilen. Aus der gemeinsamen Betrachtung der Parameter ist dann die Schutzfunktion der ungesättigten Zone abzuschätzen und plausibel darzulegen (siehe Fallbeispiele Anhang 5).

Die ALA-Arbeitshilfe verweist auf die Möglichkeit, hierfür Punktsysteme und Matrixverfahren heranzuziehen. Eine Matrixtabelle, die ergänzend zur verbal-argumentativen Beschreibung verwendet werden kann, enthält Anhang 6.

4.4 Abschätzung des Schadstoffeintrages in das Grundwasser

Zur Abschätzung, ob gegenwärtig oder zukünftig eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung zu erwarten ist, sind die Informationen über

- die Schadstoff-Gesamtgehalte (Schadstoffpotential),
- die Freisetzung bzw. Mobilität der Schadstoffe und
- die Schutzfunktion der ungesättigten Zone

miteinander in Beziehung zu setzen und eine Transportbetrachtung anzustellen.

In der orientierenden Untersuchung ist eine verbal-argumentative Abschätzung der Wahrscheinlichkeit einer Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung ausreichend. Dazu sind die Sachverhalte und die sich daraus ergebenden Transportprozesse von der Schadstoffquelle bis zum Ort der Beurteilung so zu beschreiben, dass das Ergebnis nachvollziehbar begründet ist (siehe Fallbeispiele Anhang 5). Auch hierfür kann ergänzend eine Matrixtabelle als Beurteilungshilfe herangezogen werden (Anhang 6).

Die Beurteilung kann zu folgenden Ergebnissen führen (Abb. 3) (ALA-Arbeitshilfe, Kap.6.3):

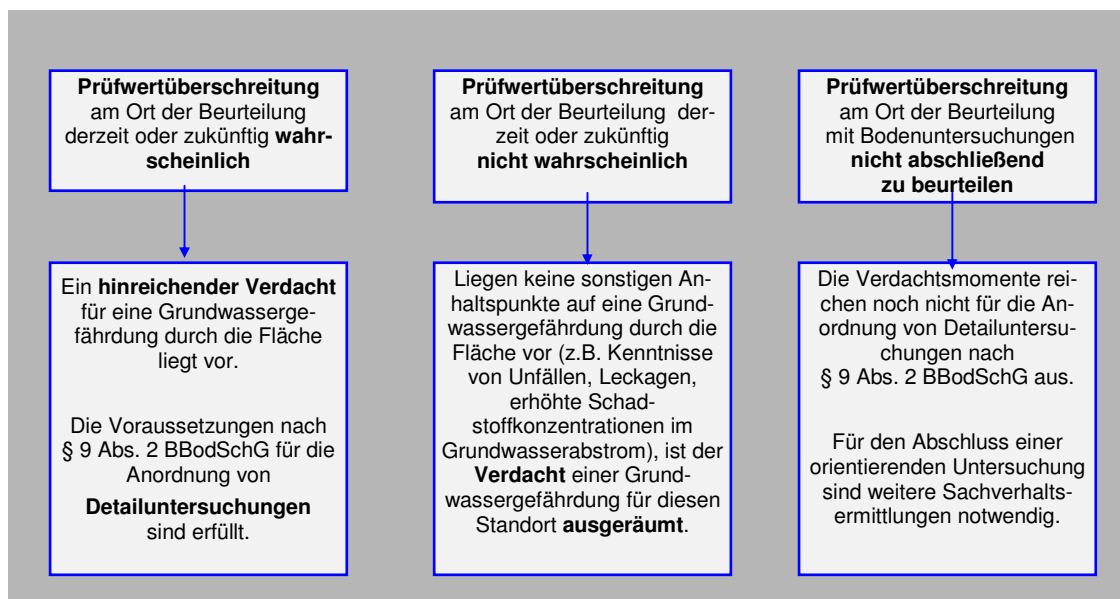


Abbildung 3: Ergebnis der Sickerwasserprognose auf der Basis von Bodenuntersuchungen (ALA-Arbeitshilfe)

Die auf Grundlage von Elutionsuntersuchungen ermittelte Höhe einer Prüfwertüberschreitung am Ort der Probenahme kann bei dieser Abschätzung wie folgt berücksichtigt werden: Werden die Prüfwerte am Ort der Probenahme um mehrere Größenordnungen überschritten, kann eine Grundwassergefährdung im Fall, dass sie nach den in Kapitel 4.3 beschriebenen Kriterien nicht abschließend zu beurteilen ist, ggf. als wahrscheinlich angesehen werden.

5 Grundwasseruntersuchungen und deren Beurteilung

Soweit sich gemäß Kap. 3 die Sickerwasserprognose auf der Grundlage von Grundwasseruntersuchungen anbietet, z.B. wenn der Verdacht auf lang andauernde Einträge in das Grundwasser besteht, ist die Durchführbarkeit solcher Untersuchungen zu prüfen.

Um ein Sickerwasserprognose auf der Grundlage von Grundwasseruntersuchungen zu erstellen, muss die Hydrogeologie des Standortes dafür geeignet sein. Es sind die folgenden Bedingungen zu beachten:

- Bei einem freien Grundwasserleiter sollte der Flurabstand i. d. R. ca. 15 m nicht überschreiten. Bei gespannten Grundwasserleitern sollte entsprechend der Abstand zwischen der Unterkante der Deckschicht und der Geländeoberfläche nicht mehr als ca. 15 m betragen. Bei größeren Abständen werden die Kosten zur Erstellung der Grundwassermessstelle i.d.R. unverhältnismäßig groß.
- Nur bei einem mittel bis gut durchlässigen Grundwasserleiter kann eine mögliche horizontale Grundwasserströmung angenommen werden. Nur dann ist eine An- und Abstrom-Betrachtung und die Ermittlung der Fließgeschwindigkeit und Laufzeit möglich.
- Zur Beurteilung der Grundwasserströmung und des möglichen Schadstofftransports innerhalb der Grundwasserleiter sowie zur Festlegung der Filterstrecke der Messstellen sollte die Unterkante des Grundwasserleiters bekannt sein bzw. abgeschätzt werden.

- Bei dem Auftreten einer vertikalen Grundwasserströmung ist eine "horizontale" An- und Abstrom-Betrachtung nicht mehr möglich. Schadstoffe können dann in einen tieferliegenden Bereich des Grundwasserleiters oder einen tieferen Grundwasserleiter gelangen und werden u. U. nicht oder nicht vollständig in den Abstrommessstellen erfasst.
- Grundwassermessstellen sind in kurzer Entfernung zur Verdachtsfläche zu positionieren, damit lokale Strömungsänderungen erfasst werden. Bei Abstrommessstellen sollten die Schadstoffe die Messstellen nach Eintrag in spätestens 1-2 Jahren erreicht haben können.
- Eine Beeinflussung durch Grundwasserentnahmen oder Entwässerung (z.B. Vorfluter) zwischen den An- und Abstrommessstellen ist zu berücksichtigen, da es sonst zu einer Fehlinterpretation in der An- bzw. Abstrom-Betrachtung kommen kann.
- Innerhalb der Grundwasserleiter können Abbau- und Rückhalteprozesse sowie eine heterogene Verteilung der Schadstoffe auftreten. Zur Festlegung der Verfilterung und zur Interpretation der Messergebnisse sollten darüber durch eine sorgfältige Schichtenansprache anhand von repräsentativen Bohrproben grundlegende Informationen vorliegen (z.B. homogene bzw. heterogene Verteilung der Bodenarten).
- Eine repräsentative Verfilterung ist i.d.R. nur bei gering mächtigen Grundwasserleitern möglich, weil dann der gesamte Grundwasserleiter verfiltert werden kann. Wird bei mächtigeren Grundwasserleitern nur ein Teil verfiltert, kann bei falscher Filterstellung eine mögliche Ausbreitung der Schadstoffe unerkannt bleiben; andererseits treten bei vollkommen verfilterten Brunnen Verdünnungseffekte auf, die zu Fehlinterpretationen führen können.

Da die hydrogeologischen Verhältnisse zum Zeitpunkt der orientierenden Untersuchung häufig nicht hinreichend bekannt sind, wird zur Erkundung der hydrogeologischen Situation i. d. R. die Einrichtung von Grundwassermessstellen sinnvoll bzw. notwendig sein. Sind auf Verlangen der Wasserbehörde Grundwasseruntersuchungen durchzuführen oder liegen solche vor, ist dies bei der Festlegung des Untersuchungsumfanges und der Bewertung im Hinblick auf Schadstoffeinträge in das Grundwasser zu berücksichtigen (BBodSchV Anhang 1 Nr. 1.1 und § 4 Abs. 7). Im Einzelfall können solche Daten für eine Sickerwasserprognose ausreichen.

Bei geringem Abstand der Quelle zum Grundwasser ist die Möglichkeit von Auslaugungen der Quelle durch Grundwasser zu prüfen. Dabei sind Grundwasserspiegelschwankungen und kapillar aufsteigendes Grundwasser zu beachten.

Bei einer Sickerwasserprognose anhand von Grundwasseruntersuchungen muss aus Über- oder Unterschreitungen von Prüfwerten im Grundwasserabstrom auf die Wahrscheinlichkeit der Prüfwertüberschreitung im Sickerwasser am Ort der Beurteilung geschlossen werden.

Die Stoffkonzentration im Grundwasseranstrom, die Verdünnung, das Schadstoffverhalten in der ungesättigten und der gesättigten Bodenzone sowie das Schadstoffinventar im Boden sind hierbei nach Anhang 1 Nr. 3.3. BBodSchV zu berücksichtigen.

Es ist also bei einer Sickerwasserprognose auf der Basis von Grundwasseruntersuchungen eine Transportbetrachtung sowohl in der gesättigten als auch in der ungesättigten Zone erforderlich, um eine plausible, belastbare Aussage für den Ort der Beurteilung zu erhalten.

Als Ergebnis der Sickerwasserprognose, basierend auf Grundwasseruntersuchungen, sind die folgenden Fallgestaltungen möglich (Abb. 4) (ALA-Arbeitshilfe, Kap. 8.3):



* Die Verdünnung ist zu beachten

Abbildung 4: Ergebnis der Sickerwasserprognose auf der Basis von Grundwasseruntersuchungen (ALA-Arbeitshilfe)

Die Fallgestaltungen sind in Kap. 8 der ALA-Arbeitshilfe ausführlich beschrieben.

Wenn bei Grundwasseruntersuchungen die Schadstoffkonzentrationen die Prüfwerte unterschreiten, besteht die Notwendigkeit ergänzender Betrachtungen der möglicherweise zukünftigen Schadstoffeinträge aus der ungesättigten Zone in das Grundwasser.

Es ist nicht pauschal möglich, die Art der erweiterten Betrachtung anzugeben. Ergänzende Betrachtungen können sich aus der Art und (ggf. offensichtlichen) Verteilung der Schadstoffe und der Standorthistorie ergeben. In vielen Fällen werden dazu ergänzende Bodenuntersuchungen benötigt.

Für eine Sickerwasserprognose auf Grundlage von Grundwasseruntersuchungen sind also vielfach Angaben zur Freisetzung der Schadstoffe und zum Schadstoffabbau bzw. -rückhalt in der ungesättigten Zone erforderlich, die im Zusammenhang mit Bodenuntersuchungen in Kapitel 4 beschrieben werden.

6 Hinweise zur abschließenden Beurteilung

Die Sickerwasserprognose kann zu dem Ergebnis führen, dass eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung derzeit oder zukünftig

- wahrscheinlich ist,
- nicht wahrscheinlich ist oder
- nicht abschließend zu beurteilen ist.

Bei letztgenanntem Ergebnis, aber auch wenn bei den beiden anderen Ergebnissen die Aussagesicherheit nur gering ist, sollten weitere Sachverhaltsermittlungen erfolgen, um zu einer belastbaren Aussage zu kommen bzw. um die Plausibilität des Ergebnisses der Sickerwasserprognose zu prüfen. Hierfür kann die Kombination von Untersuchungsverfahren hilfreich sein, auch dann, wenn die anderen Untersuchungsverfahren selber nicht für die Sickerwasserprognose genutzt werden können. Wenn zum Beispiel eine Sickerwasserprognose auf der Basis von Bodenuntersuchungen durchgeführt wird, kann es sinnvoll sein, zusätzlich Grundwasseruntersuchungen durchzuführen. Diese Untersuchungen können dann Aufschluss über den Zustand des Grundwassers geben und die Ergebnisse der Sickerwasserprognose können hiermit verifiziert werden.

Wenn eine Sickerwasserprognose auf der Basis von Grundwasseruntersuchungen durchgeführt wird, können Bodenuntersuchungen Informationen liefern über ggf. noch vorhandene Schadstoffe in der ungesättigten Zone. Hierdurch ist es möglich, qualifizierte Aussagen über die Prognose zu machen. Darüber hinaus geben Bodenuntersuchungen zusätzliche Informationen über die Wegsamkeiten von der Quelle bis zum Eintrag in das Grundwasser und stützen die Aussagefähigkeit der Grundwasseruntersuchungen.

Je besser das Ergebnis der Sickerwasserprognose abgesichert ist, um so fundierter ist die Anordnung einer Detailuntersuchung oder der Ausschluss des Altlastverdachts für den Wirkungspfad Boden - Grundwasser.

Wenn eine Prüfwertüberschreitung zu erwarten ist, ist vor Anordnung einer Detailuntersuchung die Verhältnismäßigkeit weiterer Untersuchungen zu prüfen. Nach § 2 Nr. 5 BBodSchV ist eine Sickerwasserprognose unter Berücksichtigung von Konzentrationen und Frachten durchzuführen. § 4 Abs. 7 BBodSchV bestimmt, dass auch bei der Prüfung der Verhältnismäßigkeit von Untersuchungsmaßnahmen geringe Schadstofffrachten und eine erwartete Kleinräumigkeit einer Gewässerbelastung zu berücksichtigen sind.

Bei einem Abgleich mit den Prüfwerten wird nur die Konzentration berücksichtigt. In der orientierenden Untersuchung liegt i. d. R die für eine Frachtbetrachtung erforderliche Kenntnis der auf der altlastverdächtigen Fläche insgesamt vorhandenen Schadstoffmenge nicht vor. Andererseits ergeben sich aus der Standortcharakterisierung (Art und Menge der Schadstoffe, vermutete Kontaminationsbereiche, Sickerwasserrate, Aufbau der ungesättigten Zone) und aus Bodenuntersuchungen (Ausdehnung der Quelle, Schadstoffpotenzial und Freisetzung) Informationen, die eine grobe Abschätzung von Fracht und Kleinräumigkeit ermöglichen, wie sie für die orientierende Untersuchung ausreichend ist.

Anhang 1

Informationsquellen zur Untergrundbeschaffenheit und hydrogeologischen Situation

1. Unterlagen des Landesamts für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU)

Die nachfolgenden Informationen zum Aufbau des Untergrundes können aus vorhandenen Unterlagen beim LANU eingeholt werden bzw. im Internet eingesehen werden. Einschränkungen bei der Anwendung der Daten sind dabei angegeben.

- Geologisches Landesarchiv (LANU, Abt. 5)
Hier werden Daten von Bohrungen und Brunnen (z.B. Schichtenverzeichnisse, Ausbaupläne, Analysen), die z.T. bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts zurückreichen sowie Gutachten archiviert. Für die Altlastenbearbeitung können z.B. Informationen über ehemalige oder bestehende Betriebsbrunnen relevant sein. Zugang zu den Informationen haben z.B. Grundstückseigentümer, die zuständigen Wasser-, Bodenschutz- und Abfallbehörden sowie von diesen beauftragte Büros. Gutachten unterliegen z.T. der Geheimhaltung und können nur mit Genehmigung des Auftraggebers eingesehen werden. Bei Anfragen Privater werden Gebühren erhoben.

- Geologische und bodenkundliche Karten (LANU, Abt. 1, Abt. 5)
Veröffentlichte vorrätige Karten können gegen Gebühr in der Abt. 1 (Öffentlichkeitsarbeit, Karten- und Schriftenstelle) erworben werden. Der Zugang zu Belegexemplaren bereits vergriffener gedruckte Karten sowie zu Manuskriptkarten (Standort: Geologisches Landesarchiv oder Bibliothek) wird ebenfalls über die Karten- und Schriftenstelle organisiert. Zugang haben alle interessierten Personen.

- Fachinformationssystem Boden FISBo (LANU, Abt. 5)
Im FISBo werden bodenbezogene Informationen digital erfasst und verwaltet. Das FISBo gliedert sich in den Datenbereich und den Methodenbereich. Im Datenbereich werden Sachdaten und raumbezogene Daten (Geometrien) verwaltet. In der Regel wird der Boden bis zwei Meter unter Geländeoberfläche betrachtet. Die bodenkundlichen Profilbeschreibungen mit Informationen zu Bodenart, Humusgehalt, Kalkgehalt u. a. m. stellen von der Anzahl her die bedeutendsten Datenträger im FISBo dar. Darüber hinaus werden im FISBo Daten zum Stoffbestand und zu bodenphysikalischen Eigenschaften von Böden erfasst und verwaltet (u. a. Daten zum Gehalt an anorganischen und organischen Schadstoffen in Böden, zu pH-Wert, Gehalt an organischem Kohlenstoff). Der Methodenbereich umfasst Methoden zur Wissensstrukturierung, wie Schlüssel und Regeln, zur Datenbehandlung (Erfassung und Verwaltung) sowie zur Datenbe- und -auswertung.

Weitergehende Informationen finden sich im Umweltbericht Schleswig-Holstein im Internet (<http://www.umwelt.schleswig-holstein.de/?23286>) unter dem Stichwort FISBo. Die Weitergabe der Daten an Dritte ist in der Regel kostenpflichtig und erfolgt unter Berücksichtigung der diesbezüglichen Regelungen des Datenschutzes.

Für Schleswig-Holstein werden Hintergrundgehalte und daraus abgeleitete Hintergrundwerte im Rahmen des Bodenbelastungskatasters durch das Landesamt für Natur und Umwelt, Abteilung Geologie und Boden, Dezernat Boden ermittelt; Informationen hierzu können von dort erhalten werden.

- Gewässerkundliche Daten (LANU, Abt. 4)
Bei ausgewählten landeseigenen Messstellen wird regelmäßig der Grundwasserspiegel

gemessen. Ebenso wird bei ausgewählten Oberflächengewässern an Pegeln der Wasserspiegel regelmäßig ermittelt. Im Internet hat das LANU das aktuelle Mengennetz gem. EU-Wasserrahmenrichtlinie unter der Adresse <http://www.umweltdaten.landsh.de> zur Verfügung gestellt. Weitere Daten finden sich im Agrar- und Umweltatlas Schleswig-Holstein (<http://www.umweltdaten.landsh.de/atlas/script/index.php>). Historische Messdaten können im LANU, Abteilung Gewässer, Dezernat Grundwasserhydrologie sowie Hydrologie und Morphologie der Fließ- und Küstengewässer abgefragt werden. Zusammenstellungen von Daten sind je nach Zeitaufwand gebührenpflichtig.

2. Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5)

Für die Ableitung folgender Parameter der ungesättigten Zone im Hinblick auf den Stofftransport wird eine bodenkundliche Aufnahme nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung 5. Auflage, 2005 (KA 5) empfohlen. Sie ist die verbesserte und erweiterte Fortschreibung der in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung genannten 4. Auflage, 1994 (KA 4).

- **Humusgehalt** (Masse-% organische Substanz) des mineralischen Feinbodens
Zuweisung nach KA 5, Teil A auf der Grundlage der Bodenfarbe nach Kapitel 5.6.4, S. 108 - 110, der Bodenarten des Feinbodens und des Kapitels 5.6.5 Humusgehalt, S. 110 - 112, insbesondere Tabellen 14 und 15.
- **Karbonatgehalt** des mineralischen Feinbodens
Zuweisung nach KA 5 mittels 10 %iger Salzsäure nach Teil A, Kapitel 5.6.13.6, S. 168, 169. Bei negativem Befund ggf. pH-Wert-Bestimmung der Bodenlösung.
- Ggf. **pH-Wert-Bestimmung der Bodenlösung**, wenn der pH-Wert z.B. einen Einfluss auf Schadstofftransport oder Löslichkeit haben kann.
Zuweisung zu pH-Wert-Bereichen nach KA 5, Teil B, Kapitel 2.6, S. 366 - 368.
- Ggf. **effektive Lagerungsdichte**, um Anhaltspunkte für das Porenvolumen und die Permeabilität zu erhalten.
Zuweisung zu Stufen der effektiven Lagerungsdichte nach KA 5, Teil A, Kapitel 5.6.11, S. 124 – 126.

Zu beachten ist, dass Ablagerungen mit mineralischen Materialien und andere anthropogene Auffüllungen ggf. mit natürlichen Böden vergleichbare Zusammensetzungen aufweisen, die Eigenschaften für Durchsickerung, Sorption und Abbau von denen in natürlichen Böden jedoch stark abweichen können. Bei der Beschreibung des Bodens ist daher stets die anthropogene Entstehung der Schichten auszuweisen.

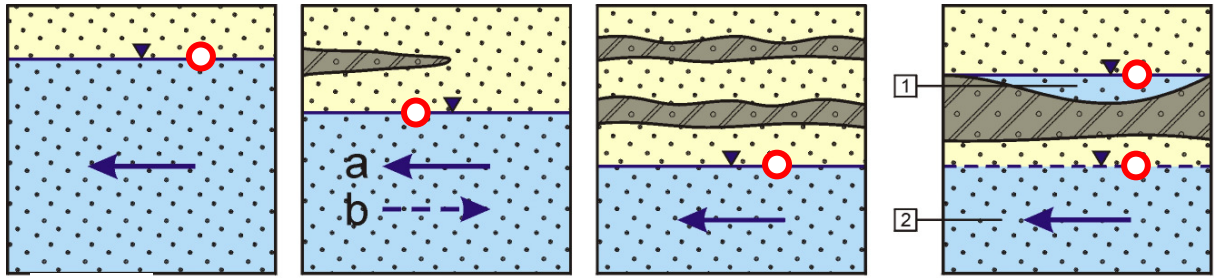
Anhang 2

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes in Schleswig-Holstein

Anhand der nachfolgenden Beispiele wird erläutert, wie nach Entwicklung eines Standortmodells im Rahmen der Standortcharakterisierung (Kap. 2) der Aufbau des oberflächennahen Untergrundes bei der Konzepterstellung für die Sickerwasserprognose berücksichtigt werden kann (Kap. 3).

Es werden für Untergrundverhältnisse, die in Schleswig-Holstein häufig vorkommen, die ungesättigte und die gesättigte Zone mit ihren Auswirkungen auf den Schadstofftransport beschrieben. Daraus werden Hinweise für die Vorgehensweise bei der Sickerwasserprognose abgeleitet. Es wird z.B. angegeben, welche Untersuchungsverfahren gewählt werden können und was zu beachten ist. Die Quellsituation und andere Rahmenbedingungen, die bei der Verfahrenswahl zu beachten sind (Kap. 2, 3), sind dabei aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Die Untersuchungsverfahren beschränken sich auf Boden- und Grundwasseruntersuchungen (Kap. 4, 5). Wenn Grundwasseruntersuchungen in Betracht gezogen werden, sind dabei auch die Informationen zur gesättigten Zone relevant. Bei leichtflüchtigen Schadstoffen sind je nach Untergrund auch Bodenluftuntersuchungen angebracht. Die standortbezogene Verfahrensauswahl richtet sich nach den Gegebenheiten des Einzelfalls (Kap. 2, 3).

Die Beispiele decken nicht alle Möglichkeiten in Schleswig-Holstein ab, sondern sind lediglich als Orientierungshilfen zu betrachten. Auf einem Standort kann auch eine Kombination aus mehreren Beispielen auftreten. Je nach Relief sind auch unterschiedliche Flurabstände möglich.

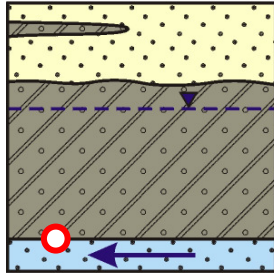


Fall 1

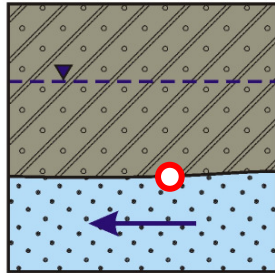
Fall 2

Fall 3

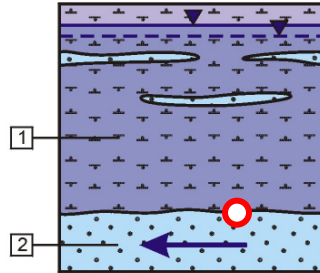
Fall 4



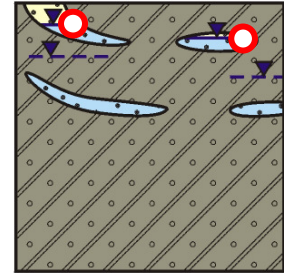
Fall 5



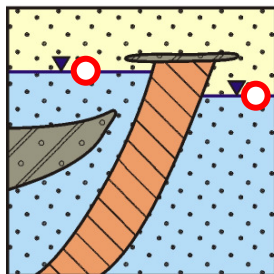
Fall 6



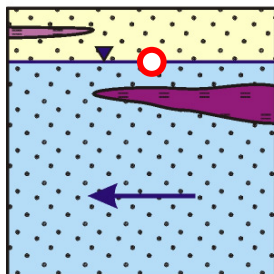
Fall 7



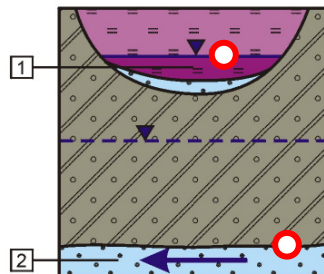
Fall 8



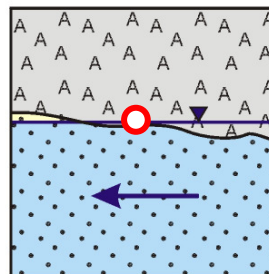
Fall 9



Fall 10



Fall 11

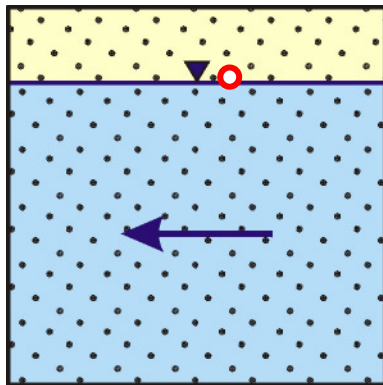


Fall 12

- | | | | | | |
|--|--|--|---------------------|--|------------------------------|
| | Grundwasserleiter
(Sand, Kies) | | Torf, Mudde | | Grundwasserspiegel, frei |
| | Grundwassergeringleiter
(Geschiebemergel, ...) | | Aufschüttung | | Grundwasserspiegel, gespannt |
| | Grundwassergeringleiter
(Ton, Schluff, Klei, ...) | | Ort der Beurteilung | | Grundwasserfließrichtung |

Übersicht der Beispiele

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 1



ungesättigte Zone: Sand
 gesättigte Zone: Sand
 Flurabstand: gering (< 2 m)
 Wasserspiegel: frei

- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche
- ← Grundwasserfließrichtung

ungesättigte Zone

Gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.

Mächtigkeit gering (< 2 m).

→ Sickerstrecke vertikal und kurz; sehr schneller Schadstofftransport.

gesättigte Zone

Gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen möglich.

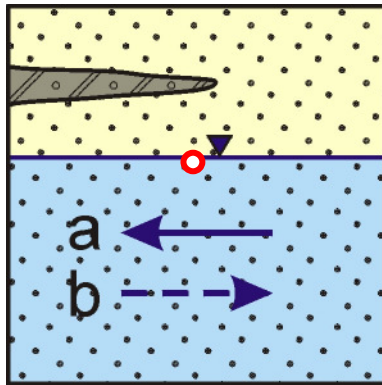
Ort der Beurteilung

Grundwasseroberfläche unter der Quelle.

Mögliche Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).
 - Rückschluss aus Grundwasseruntersuchungen (Kap. 5).
- Es sind Grundwasseruntersuchungen zu bevorzugen, da zu erwarten ist, dass bereits ein Grundwasserschaden eingetreten ist.

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 2



ungesättigte Zone: Sand mit Geschiebemergelinschlüssen
 gesättigte Zone: Sand
 Flurabstand: mittel (2 - 15 m)
 Wasserspiegel: frei

- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche
- ← Grundwasserfließrichtung

ungesättigte Zone

Es herrschen gut durchlässige Sande vor, in die schlecht durchlässige Geschiebemergel mit besserem Abbau- und Rückhaltevermögen eingeschaltet sind, die vom Sickerwasser jedoch umflossen werden.

Mächtigkeit mittel (2 - 15 m).

→ Sickerwasserbewegung lateral und vertikal; ungehinderter Schadstofftransport möglich.

gesättigte Zone

Gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.

Die Eintragstellen der Schadstoffe in das Grundwasser müssen nicht unter der Quelle oder in deren unmittelbarer Nähe liegen.

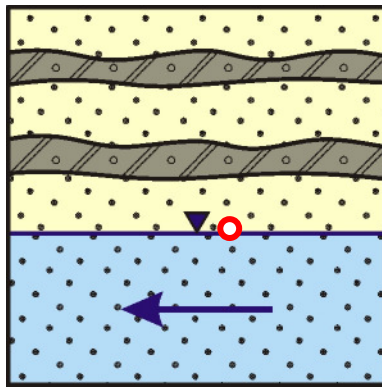
Ort der Beurteilung

Grundwasseroberfläche unter der Quelle oder im Bereich der vermuteten Eintragstellen.

Mögliche Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).
 - Rückschluss aus Grundwasseruntersuchungen (Kap. 5).
wobei die Grundwasserfließrichtung (a oder b) in Bezug zum Eintragsort zu berücksichtigen ist.
- Bei lokalisierbaren kleinräumigen Quellen sind Bodenuntersuchungen erfolgversprechend. Ansonsten, insbesondere bei nicht eindeutig lokalisierbaren Quellen sind Grundwasseruntersuchungen zu bevorzugen, da zu erwarten ist, dass bereits ein Grundwasserschaden eingetreten ist.

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 3



ungesättigte Zone: Sand mit durchgehenden Geschiebemergellagen
 gesättigte Zone: Sand
 Flurabstand: groß (> 15 m)
 Wasserspiegel: frei

- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche
- ← Grundwasserfließrichtung

ungesättigte Zone

Wechsellagerung von gut und schlecht durchlässigen Schichten, wobei nur letztere über ein gutes Abbau- und Rückhaltevermögen verfügen. Das Sickerwasser breitet sich auf dem schlecht durchlässigen Geschiebemergel aus und die vertikale Durchsickerung dieser Schichten ist stark behindert und dadurch sehr verlangsamt; eine schnellere Versickerung kann ggf. auf vorhandenen Klüften oder über sandigere Geschiebemergelbereiche erfolgen.

Mächtigkeit groß (> 15 m).

- Sickerwasserbewegung überwiegend lateral und eingeschränkt vertikal; der Transport von Schadstoffen Richtung Grundwasser ist abhängig von der Dicht- und Rückhaltefunktion der Geschiebemergel, er ist i. d. R. stark behindert.

gesättigte Zone

Gut durchlässige Schichten mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.

Die Eintragstellen der Schadstoffe in das Grundwasser müssen nicht unter der Quelle oder in deren unmittelbarer Nähe liegen, eine Vorhersage ist i. d. R. schwierig.

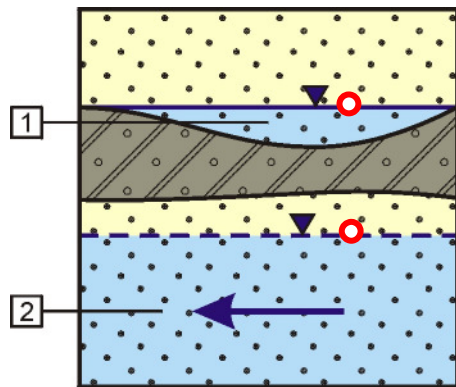
Ort der Beurteilung

Grundwasseroberfläche unter der Quelle oder im Bereich der vermuteten Eintragstellen.

Mögliche Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).
 Wegen der Schwierigkeit, den Eintragsort der Schadstoffe in das Grundwasser bestimmen zu können und aufgrund des großen Flurabstands ist ein Rückschluss über Grundwasseruntersuchungen meist nicht erfolgversprechend oder verhältnismäßig. Bei inhomogener Schadstoffverteilung siehe Hinweise in Kap. 3.1.2.

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 4



- ungesättigte Zone: 1 Sand, 2 Sand und Geschiebemergel
 gesättigte Zone: 1 Sand (über Geschiebemergel)
2 Sand (unter Geschiebemergel)
 Flurabstand: 1 mittel (2 - 15 m), 2 groß (> 15 m)
1. Wasserspiegel: frei („schwebendes“ Grundwasser)
2. Wasserspiegel: frei

- Ort der Beurteilung
— Grundwasseroberfläche
← Grundwasserfließrichtung

ungesättigte Zone

Gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.
Mächtigkeit mittel (2 - 15 m).

→ Sickerwasserstrecke vertikal und kurz, schneller Stofftransport möglich.

Bezüglich des tieferen Grundwassers ist auch der schlecht durchlässige Geschiebemergel sowie der nicht wassererfüllte Teil des sandigen Wasserleiters der ungesättigten Zone zuzurechnen. Die Durchsickerung des Geschiebemergels ist stark behindert und sehr verlangsamt, kann ggf. jedoch auf vorhandenen Klüften oder in sandigeren Bereichen deutlich besser sein.

→ Die Sickerwasserbewegung und damit der Transport von Schadstoffen Richtung tieferes Grundwasser ist abhängig von den Wegsamkeiten im Geschiebemergel, er ist i. d. R. stark behindert.

gesättigte Zone

Im gut durchlässigen 1. Wasserleiter kann oberhalb des schlecht durchlässigen Geschiebemergels „schwebendes“ Grundwasser auftreten, das aber evtl. nur temporär vorhanden ist (Kap. 1). Der 2. Wasserleiter unterhalb des Geschiebemergels hat einen freien Wasserspiegel.

→ Schadstoffe können sich bei geringem oder fehlendem Abfluss längerfristig im „schwebenden“ Grundwasser anreichern und zu hohen Konzentrationen bei geringen Grundwassermengen führen.

Bei nicht ausreichender Dicht- und Rückhaltefunktion des Geschiebemergels können sie in den tieferen Wasserleiter infiltrieren oder das „schwebende“ Grundwasser kann bei Fenstern im Geschiebemergel irgendwo „überlaufen“ und in den tieferen Wasserleiter abfließen.

Ort der Beurteilung

- 1 „Schwebendes“ Grundwasser: Grundwasseroberfläche unter der Quelle.
2 Tieferes Grundwasser: Grundwasseroberfläche unter der Quelle oder im Bereich der vermuteten Eintragstellen.

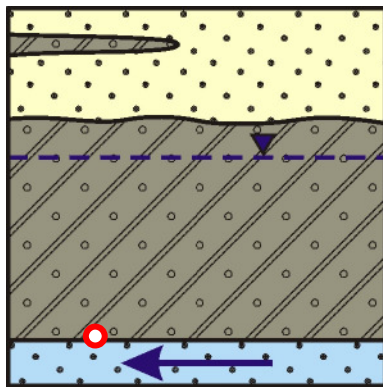
Mögliche Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).
- Rückschluss aus Grundwasseruntersuchungen (Kap. 5).

- Wenn „schwebendes“ Grundwasser relevant ist (Kap. 1), ist dieses Gegenstand der Sickerwasserprognose. Hierfür sind Grundwasseruntersuchungen zu bevorzugen, da zu erwarten ist, dass bereits ein Grundwasserschaden eingetreten ist. Da keine An- und Abstrombetrachtung durchführbar ist, ist Voraussetzung für Grundwasseruntersuchungen, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen altlastverdächtiger Fläche und dem Grundwasser herstellbar ist.
- Bzgl. des tieferen Grundwassers ist aufgrund des großen Flurabstandes eine Abschätzung aus Bodenuntersuchungen zu empfehlen.

Wenn die Sickerwasserprognose für „schwebendes“ Grundwasser durchgeführt wird, sollte geprüft werden, ob es angebracht und verhältnismäßig ist, schon im Rahmen der orientierenden Untersuchung die Gefährdung des tieferen Grundwassers zu untersuchen.

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 5



ungesättigte Zone: Sand mit Geschiebemergelinschlüssen und Geschiebemergel
 gesättigte Zone: Sand (unter Geschiebemergel)
 Flurabstand: Druckspiegel innerhalb des Geschiebemergels
 Wasserspiegel: gespannt

- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche
- ← Grundwasserfließrichtung

ungesättigte Zone

In gut durchlässige Sande sind Lagen aus schlecht durchlässigem Geschiebemergel mit besserem Abbau- und Rückhaltevermögen eingeschaltet, die vom Sickerwasser jedoch umflossen werden. Die Mächtigkeit der Sande ist mittel bis groß (2 bis >15m). Die Sande werden von einer mächtigen durchgehenden Geschiebemergelschicht unterlagert, auf der sich das Sickerwasser ausbreitet. Die vertikale Durchsickerung dieser Schicht ist sehr stark behindert; eine bessere Versickerung kann ggf. auf vorhandenen Klüften oder über kleinräumige sandigere Bereiche erfolgen.

Mächtigkeit der ungesättigten Zone ist groß (> 15m).

→ Sickerwasserbewegung überwiegend lateral und sehr eingeschränkt vertikal. Die Wahrscheinlichkeit, dass Schadstoffe das Grundwasser erreichen, ist abhängig von der Dicht- und Rückhaltefunktion des Geschiebemergels; sie ist i. d. R. sehr gering.

gesättigte Zone

Gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen, die von einer mächtigen durchgehenden Geschiebemergelschicht überlagert werden. Es liegen gespannte Grundwasserverhältnisse vor, der Druckspiegel befindet sich innerhalb des Geschiebemergels.

→ Bei ggf. vorhandenen (lokal begrenzten) Wasserwegsamkeiten des Geschiebemergels können Schadstoffe in das Grundwasser infiltrieren.

Ort der Beurteilung

Oberfläche des wassererfüllten Wasserleiters unter dem durchgehenden Geschiebemergel. Es ist zu beachten, dass die Schadstoffe das Grundwasser wahrscheinlich nicht direkt unter der Quelle erreichen. Eine Vorhersage des Eintragsortes ist schwierig.

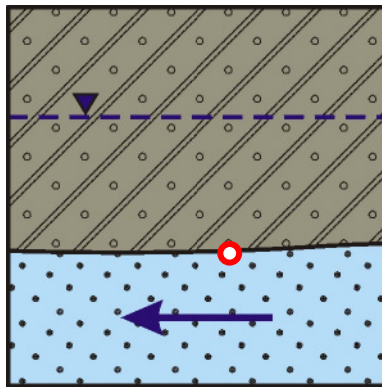
Mögliche Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

→ Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).

Bei der vorliegenden Situation ist i. d. R nicht zu erwarten, dass Schadstoffe das Grundwasser bereits erreicht haben. Deshalb und wegen der Schwierigkeit, den Eintragsort der Schadstoffe in das Grundwasser bestimmen zu können sowie aufgrund des großen Flurabstands ist ein Rückschluss über Grundwasseruntersuchungen meist nicht erfolgversprechend oder verhältnismäßig. Bei inhomogener Schadstoffverteilung siehe Hinweise Kap. 3.1.2.

Sollte temporäres Grundwasser in relevantem Umfang (Kap. 1) oberhalb der Geschiebemergelschicht auftreten, gelten die Aussagen zu Fall 2.

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 6



ungesättigte Zone: Geschiebemergel
 gesättigte Zone: Sand (unter Geschiebemergel)
 Flurabstand: Druckspiegel innerhalb des
 Geschiebemergels
 Wasserspiegel: gespannt

- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche
- ← Grundwasserfließrichtung

ungesättigte Zone

Schlecht durchlässiger Geschiebemergel mit hohem Abbau- und Rückhaltevermögen. Die vertikale Durchsickerung ist sehr stark behindert, eine bessere Versickerung kann ggf. auf vorhandenen Klüften oder über sandigere Bereiche erfolgen.

Das Sickerwasser wird sich auf dem durchgehenden Geschiebemergel überwiegend lateral entlang bewegen, es kann zu Oberflächenabfluss kommen.

Mächtigkeit groß (> 15 m).

- Sickerwasserbewegung überwiegend lateral und sehr eingeschränkt vertikal; die Wahrscheinlichkeit, dass Schadstoffe das Grundwasser erreichen, ist abhängig von der Dicht- und Rückhaltefunktion des Geschiebemergels, sie ist i. d. R. sehr gering.

gesättigte Zone

Gut durchlässige Sande mit geringem Abbau- und Rückhaltevermögen. Es liegen gespannte Grundwasserverhältnisse vor mit einem Druckspiegel innerhalb des Geschiebemergels.

- Bei ggf. vorhandenen (lokal begrenzten) Wasserwegsamkeiten des Geschiebemergels können Schadstoffe in das Grundwasser infiltrieren.

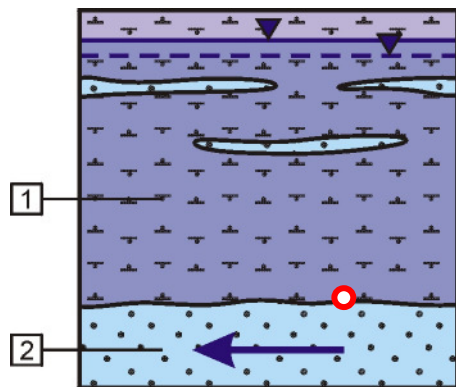
Ort der Beurteilung

Oberfläche Wasserleiter; es ist zu beachten, dass die Schadstoffe das Grundwasser wahrscheinlich nicht direkt unter der Quelle erreichen.

Mögliche Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).
Bei der vorliegenden Situation ist i. d. R nicht zu erwarten, dass Schadstoffe das Grundwasser bereits erreicht haben. Deshalb und wegen der Schwierigkeit, den Eintragsort der Schadstoffe in das Grundwasser bestimmen zu können sowie aufgrund des großen Flurabstands ist ein Rückschluss über Grundwasseruntersuchungen meist nicht erfolgversprechend oder verhältnismäßig. Bei inhomogener Schadstoffverteilung siehe Hinweise Kap. 3.1.2.

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 7



ungesättigte Zone: Klei mit geringmächtigen Sandlagen
 Flurabstand:

1	klein (< 2m),
2	Druckspiegel innerhalb des Kleis

 Wasserspiegel:

1	frei,
2	gespannt

- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche, frei
- ⋯ Grundwasseroberfläche, gespannt
- ← Grundwasserfließrichtung

ungesättigte Zone

Schlecht durchlässiger Klei unterschiedlicher Körnung mit sehr hohem Abbau- und Rückhaltevermögen. Die sandigen Partien und die z.T. großflächig enthaltenen Sandlagen führen zu lateralen Wasserwegsamkeiten.

Mächtigkeit gering (< 2m).

- Sickerwasserbewegung überwiegend lateral und sehr eingeschränkt vertikal. Die Wahrscheinlichkeit, dass Schadstoffe den wassererfüllten sandigen Wasserleiter erreichen, ist wegen der i. d. R. geringen vertikalen Wegsamkeiten und des sehr hohen Abbau- und Rückhaltevermögens des Kleis sehr gering.

gesättigte Zone

- | | |
|---|--|
| 1 | Wassererfüllter Klei: Wenn der Klei nur geringmächtige Sandeinschaltungen enthält, so ist mit wenig Grundwasser zu rechnen (s. Kap. 1). Ein Schadstofftransport erfolgt überwiegend lateral in den Sandlagen und eingeschränkt vertikal. |
| 2 | Gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen unterhalb des Kleis: Es liegen gespannte Grundwasserverhältnisse vor mit einem Druckspiegel innerhalb des Kleis. Bei ggf. vorhandenen (lokal begrenzten) Wasserwegsamkeiten innerhalb des Kleis können Schadstoffe in das Grundwasser infiltrieren. |

Ort der Beurteilung

- | | |
|---|---|
| 1 | entfällt, da geringes Grundwasseraufkommen (s. Kap. 1) |
| 2 | Für den sandigen Wasserleiter ist der Ort der Beurteilung die Oberfläche des Wasserleiters unterhalb des Kleis. Es ist zu beachten, dass die Schadstoffe dieses Grundwasser wahrscheinlich nicht direkt unter der Quelle erreichen. |

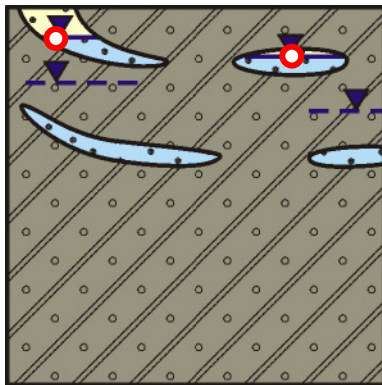
Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).
- Rückschluss aus Grundwasseruntersuchungen (Kap. 5).

- Grundwasseruntersuchungen kommen in Betracht, wenn oberflächennahes Grundwasser betroffen sein kann, ein kausaler Zusammenhang zwischen altlastverdächtigter Fläche und dem Grundwasser herstellbar und der Ort des Schadstoffeintrags zu bestimmen ist. Bei der vorliegenden Situation ist i. d. R nicht zu erwarten, dass Schadstoffe das Grundwasser unterhalb des Kleis bereits erreicht haben. Deshalb und wegen der Schwierigkeit,

den Eintragsort der Schadstoffe in das Grundwasser bestimmen zu können ist ein Rückschluss über Grundwasseruntersuchungen hier meist nicht erfolgsversprechend oder verhältnismäßig. Bei inhomogener Schadstoffverteilung siehe Kap. 3.1.2.

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 8



- ungesättigte Zone: Geschiebelehm/-mergel mit eingeschalteten Sanden
- gesättigte Zone: Geschiebelehm/-mergel mit eingeschalteten Sanden
- Flurabstand: mittel - groß (> 2 m), nicht zusammenhängend
- Wasserspiegel: z.T. frei, z.T. gespannt, nicht zusammenhängend

- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche, frei
- ⋯ Grundwasseroberfläche, frei bzw. gespannt (nicht zusammenhängend)
- ← Grundwasserfließrichtung nicht ermittelbar

ungesättigte Zone

Schlecht durchlässiger Geschiebelehm/-mergel unterschiedlicher Körnung mit sehr hohem Abba- und Rückhaltevermögen. Die sandigen Einschaltungen und die z.T. großflächig enthaltenen Scherflächen und Klüfte führen zu Wasserwegsamkeiten.

Mächtigkeit mittel - groß (> 2 m).

→ Sickerwasserbewegung lateral und auf Klüften auch vertikal. Grundwasser im Geschiebelehm/-mergel kann bei größerer Mächtigkeit der sandigen Einschaltungen betroffen sein.

gesättigte Zone

Wassererfüllter Geschiebelehm/-mergel: Wenn der Geschiebelehm/-mergel sandig ausgebildet ist oder viele Sandeinschaltungen enthält, so ist mit oberflächennahem Grundwasser zu rechnen. Ein Schadstofftransport erfolgt überwiegend lateral in den sandigen Bereichen und Sandlagen und eingeschränkt vertikal.

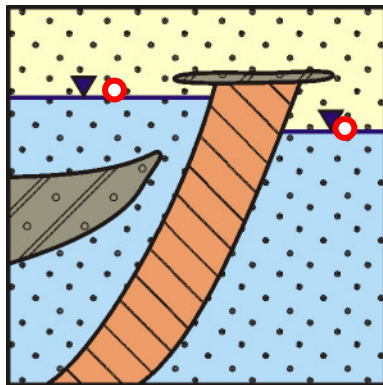
Ort der Beurteilung

Wenn im Geschiebelehm/-mergel oberflächennahes Grundwasser vorkommt, das genutzt wird (s. Kap. 1) oder ggf. nutzbar ist, ist dieses zu berücksichtigen. Der Ort der Beurteilung ist dann die Oberfläche des oberflächennahen Grundwassers. Wenn das nicht der Fall ist, ist eine Betrachtung des Pfades Boden-Grundwasser nicht relevant.

Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 9



Wasserungesättigte Zone: Sand, z.T. mit Geschiebemergel-lagen
 Wassergesättigte Zone: Sand mit Geschiebemergel und/oder Beckenschluff
 Flurabstand: mittel (2 – 15 m)
 Wasserspiegel: frei (nicht zusammenhängend)

- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche (nicht zusammenhängend)
- ← Grundwasserfließrichtung (nur z.T. ermittelbar)

ungesättigte Zone

Es herrschen gut durchlässige Sande vor, in die schlecht durchlässige Geschiebemergel mit besserem Abbau- und Rückhaltevermögen eingeschaltet sind, die vom Sickerwasser jedoch umflossen werden.

Mächtigkeit mittel (2 - 15 m).

→ Sickerwasserbewegung lateral und vertikal; ungehinderter Schadstofftransport möglich.

gesättigte Zone

Gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen im Wechsel mit schlecht durchlässigen Geschiebemergeln und Beckenschluffen. Die Lagerungsverhältnisse sind gestört. Der Schadstofftransport im Grundwasser erfolgt daher kleinräumig.

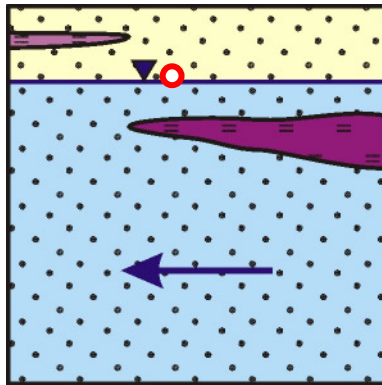
Ort der Beurteilung

Grundwasseroberfläche unter der Quelle oder im Bereich der vermuteten Eintragstellen. Örtlich unterschiedliche Grundwasserstände sind dabei zu berücksichtigen.

Mögliche Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).
- Rückschluss aus Grundwasseruntersuchungen (Kap. 5) nur dann, wenn eine Grundwasserfließrichtung ermittelbar ist und repräsentative Messstellen gebaut werden können.

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 10



Wasserungesättigte Zone: Sand mit Torf-/Muddelagen
 Wassergesättigte Zone: Sand mit Torf-/Muddelagen
 Flurabstand: gering (< 2 m)
 Wasserspiegel: frei

- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche
- ← Grundwasserfließrichtung

ungesättigte Zone

Es herrschen gut durchlässige Sande vor, in die eingeschränkt durchlässige Torfe und Mudden mit großem Rückhaltevermögen eingeschaltet sind, die vom Sickerwasser z.T. umflossen werden z.T. infiltriert und durchsickert werden.

Mächtigkeit gering (< 2 m).

→ Sickerwasserbewegung lateral und vertikal; Schadstofftransport, z.T. verzögert möglich.

gesättigte Zone

Gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen, in die eingeschränkt durchlässige Torfe und Mudden mit großem Rückhaltevermögen eingeschaltet sind.

Die Eintragstellen der Schadstoffe in das Grundwasser müssen nicht unter der Quelle oder in deren unmittelbarer Nähe liegen.

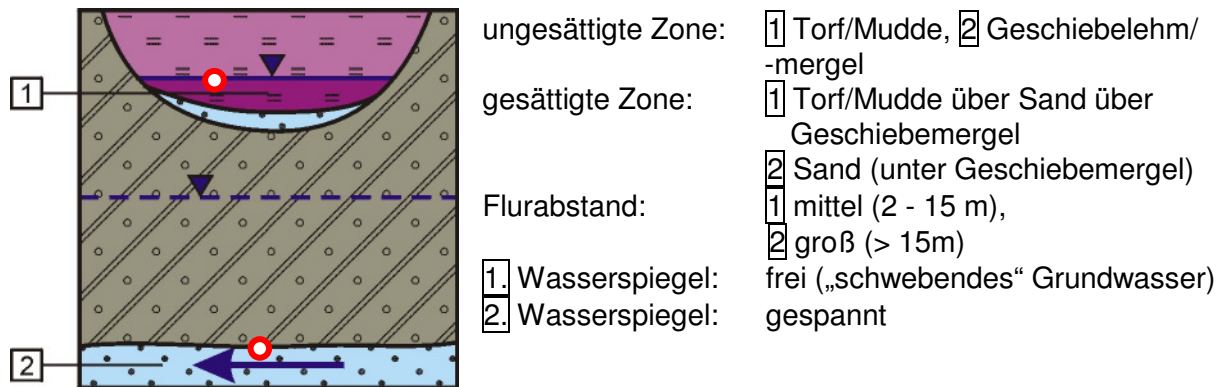
Ort der Beurteilung

Grundwasseroberfläche unter der Quelle oder im Bereich der vermuteten Eintragstellen.

Mögliche Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).
 - Rückschluss aus Grundwasseruntersuchungen (Kap. 5).
- Es sind Grundwasseruntersuchungen zu bevorzugen, da zu erwarten ist, dass bereits ein Grundwasserschaden eingetreten ist. Bei vermuteten kleinräumigen Quellen bieten sich Bodenuntersuchungen an.
- Die Wechselwirkungen Sickerwasser/organogene Sedimente bzw. Grundwasser/organogene Sedimente und das große Speicher- und Puffervermögen der organogenen Sedimente sind zu beachten. Für die Abschätzung einer möglichen verzögerten Abgabe von Schadstoffen sind Bodenuntersuchungen der organogenen Sedimente erforderlich.

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 11



- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche
- ← Grundwasserfließrichtung

ungesättigte Zone

- [1] Eingeschränkt durchlässige Torfe und Mudden mit großem Rückhaltevermögen
Mächtigkeit mittel (2 - 15 m).
→ Sickerwasserstrecke vertikal und kurz, wegen des Speichervermögens für Schadstoffe verzögerter Stofftransport möglich.
- [2] Bezüglich des tieferen Grundwassers ist auch der schlecht durchlässige Geschiebemergel der ungesättigten Zone zuzurechnen. Die Durchsickerung des Geschiebemergels ist stark behindert und sehr verlangsamt, kann ggf. jedoch auf vorhandenen Klüfte oder in sandigen Bereichen deutlich besser sein.
→ Die Sickerwasserbewegung und damit der Transport von Schadstoffen Richtung tieferes Grundwasser ist abhängig von den Wegsamkeiten im Geschiebemergel, er ist i.d.R. stark behindert.

gesättigte Zone

- Im 1. Wasserleiter kann oberhalb des schlecht durchlässigen Geschiebemergels „schwebendes“ Grundwasser in einer Hohlform auftreten, die abflusslos ist bzw. nur einen geringen oder temporären Abfluss hat. Evtl. ist das Grundwasser nur temporär vorhanden (Kap.1). Der 2. Wasserleiter unterhalb des Geschiebemergels hat einen gespannten Wasserspiegel. Der Druckspiegel liegt innerhalb des Geschiebemergels.
→ Schadstoffe können sich bei geringem oder fehlendem Abfluss längerfristig im „schwebenden“ Grundwasser anreichern und zu hohen Konzentrationen bei geringen Grundwassermengen führen.
Bei nicht ausreichender Dicht- und Rückhaltefunktion des Geschiebemergels können sie in den tieferen Wasserleiter infiltrieren.

Ort der Beurteilung

- [1] „Schwebendes“ Grundwasser: Grundwasseroberfläche unter der Quelle.
[2] Tieferes Grundwasser: Oberfläche des Wasserleiters im Bereich der vermuteten Eintragstellen.

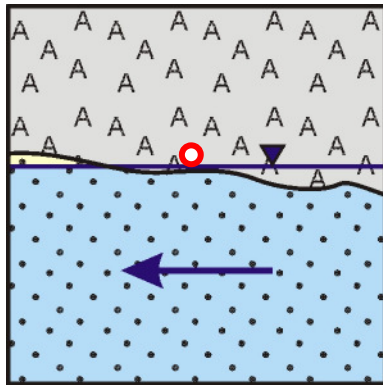
Mögliche Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).
- Rückschluss aus Grundwasseruntersuchungen (Kap. 5).

- Wenn „schwebendes“ Grundwasser relevant ist (Kap. 1), ist dieses Gegenstand der Sickerwasserprognose. Hierfür sind, wenn das Wasser förderbar, Grundwasseruntersuchungen zu bevorzugen, da zu erwarten ist, dass bereits ein Grundwasserschaden eingetreten ist. Da keine An- und Abstrombetrachtung durchführbar ist, ist Voraussetzung für Grundwasseruntersuchungen, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen altlastverdächtigter Fläche und dem Grundwasser herstellbar ist. Bzgl. des tieferen Grundwassers ist aufgrund des großen Flurabstandes eine Abschätzung aus Bodenuntersuchungen zu empfehlen.

Wenn die Sickerwasserprognose für „schwebendes“ Grundwasser durchgeführt wird, sollte geprüft werden, ob es verhältnismäßig ist, schon im Rahmen der orientierenden Untersuchung die Gefährdung des tieferen Grundwassers zu untersuchen.

Beispiele zum Aufbau des Untergrundes: Fall 12



ungesättigte Zone: Auffüllung über Sand
 gesättigte Zone: (Auffüllung über) Sand
 Flurabstand: mittel (2 - 15 m)
 Wasserspiegel: frei

- Ort der Beurteilung
- Grundwasseroberfläche
- ← Grundwasserfließrichtung

ungesättigte Zone

Auffüllung mit lokal stark wechselnder Durchlässigkeit (je nach Material und Verdichtung) sowie wechselndem Abbau- und Rückhaltevermögen und ggf. Schadstoffen.

Mächtigkeit mittel (2 - 15 m).

→ Sickerstrecke vertikal und lateral und kurz; je nach Material und Verdichtung sehr schneller oder langsamer Schadstofftransport.

gesättigte Zone

Gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen möglich.

Ort der Beurteilung

Grundwasseroberfläche unter der Quelle oder im Bereich der vermuteten Eintragstellen.

Mögliche Verfahrensweisen für die Sickerwasserprognose

- Abschätzung aus Bodenuntersuchungen (Kap. 4).
 - Rückschluss aus Grundwasseruntersuchungen (Kap. 5).
- Es sind Grundwasseruntersuchungen zu bevorzugen, da zu erwarten ist, dass bereits ein Grundwasserschaden eingetreten ist.
Bei Bodenuntersuchungen sind die Ausbildung des Materials und die primär vorhandenen Schadstoffgehalte zu berücksichtigen.

Anhang 3

Abschätzung von Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser aus Bodenluftuntersuchungen

Schadstoffe verteilen sich im Boden zwischen den festen, flüssigen und gasförmigen Boden-Kompartimenten. Unter Gleichgewichtsbedingungen bestehen zwischen den Konzentrationen des Schadstoffes in diesen Kompartimenten feste Verteilungsverhältnisse, die von den Eigenschaften des Schadstoffs und anderen Randbedingungen (Temperatur, Luftdruck, Ionenstärke der Bodenlösung, Art der Festsubstanz, chemisches Milieu, Lösungsvermittler) abhängen.

Bei leichtflüchtigen Substanzen kann beim Vorliegen von Stoffgehalten in der Bodenluft eine orientierende Abschätzung vorgenommen werden, welcher Konzentration im Sickerwasser diese unter Gleichgewichtsbedingungen entsprechen würde. Eine ähnliche Abschätzung wurde zur Ableitung von Prüfwert-ähnlichen Werten beim Pfad Boden-Mensch durchgeführt. Eine solche Abschätzung steht unter dem Vorbehalt, dass Gleichgewichtsbedingungen im Boden nicht vorliegen, sondern durch Konzentrations-, Temperatur-, Druck- und Wassergehaltsgradienten stete Stoffflüsse auftreten (müssen). Dennoch kann zumindest von der Größenordnung her, ein mehrfach (zeitlich unabhängige Messungen) in der Bodenluft festgestellter Gehalt eines Schadstoffes **dem Bodenwassergehalt des Schadstoffes im Nahbereich der Bodenluft-Probennahme** zugeordnet werden. Daraus kann sich ein Hinweis auf hohe oder geringe Gehalte im Bodenwasser ergeben, der als Hinweis auf entsprechende Konzentrationen **im benachbarten Sickerwasser** gewertet werden kann.

Von einem Bezug von Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft auf Konzentrationen im Grundwasser wird abgeraten – beim Übergang des Sickerwassers in das Grundwasser ist bei leichtflüchtigen Stoffen auf Grund der deutlichen Milieuunterschiede und den sich dabei ändernden Gleichgewichtsbedingungen eine Grundwasserkonzentration nur sehr eingeschränkt mit Bodenluftkonzentrationen korrelierbar. Zur Beurteilung einer Grundwassergefährdung sollten Grundwasser- und ggf. Feststoffuntersuchungen hinzugezogen werden (NRW MALBO Bd. 13).

Theoretische Grundlagen

Unter Gleichgewichtsbedingungen wird das Verhältnis zwischen der Konzentration in der Bodenluft (C_A) und der Konzentration in der wässrigen Phase (C_W) durch die dimensionslose Henry-Konstante (k_H)¹ beschrieben:

$$k_H = \frac{C_A [\text{mg}/\text{dm}^3]}{C_W [\text{mg}/\text{l}]} = \frac{C_A [\text{mg}/\text{m}^3]}{C_W [\text{mg}/\text{l}] * 1000} = \frac{C_A [\text{mg}/\text{m}^3]}{C_W [\mu\text{g}/\text{l}]}$$

¹ In der Literatur beschreibt der Begriff ‚Henry-Konstante‘ dieses Verteilungsverhältniss je nach Fragestellung unterschiedlich. Die hier gemäß der „Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten“(1999) - abgekürzt PBA. - gewählte Formulierung ‚dimensionslose Henry-Konstante‘ hebt auf die **Flüchtigkeit** der Verbindung ab und setzt die Konzentrationen (^C) in beiden Medien ins Verhältnis zueinander (K_H^{CC}). Der gleiche Sachverhalt kann beschrieben werden, in dem der Dampfdruck in der Bodenluft (^P) ins Verhältnis zur Konzentration in wässriger Phase gesetzt wird (K_H^{PC} ; im PBA wird diese Konstante auch als H abgekürzt). Diese Henry-Konstante hat die Einheit [$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$] und wird durch die Gleichung $K_H^{CC} = K_H^{PC} / RT$ in die erstgenannte umgerechnet (R = ideale Gaskonstante $8,314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, T = Temperatur in K). Bei 10° C (einer typischen Bodentemperatur) beträgt der Umrechnungsfaktor daher 2354. **Eine Henry-Konstante gilt nur für eine angegebene Temperatur.** Eine Umrechnung auf andere Temperaturen ist bei Angabe der Temperaturabhängigkeit möglich. Hebt die Henry-Konstante auf die **Löslichkeit** ab, entspricht dies dem Kehrwert der o.g. Konstante(n). **Beim Vergleich von Stoffdaten ist die Einheit dringend zu beachten.** Eine Umrechnung der verschiedenen Konstanten und eine Datensammlung ist unter <http://www.mpch-mainz.mpg.de/~sander/res/henry.html> bzw. .../res/henry-conv.html dokumentiert (Primärdaten für 25 °C).

Die hier verwendete und beschriebene Henry-Konstante hebt aus Gründen der Vergleichbarkeit auf die Flüchtigkeit ab. Dies entspricht den Ausführungen im PBA, so dass die dort aufgeführten Konstanten ebenfalls verwendet werden können. Zu beachten ist, dass der im PBA verwendete pauschale Umrechnungsfaktor von 2264 einer Temperatur von -0.84°C entspricht; bei den einzelnen Stoffen ist die Bezugstemperatur ggf. zu recherchieren.

Oder umgeformt:
$$C_w [\mu\text{g/l}] = \frac{C_A [\text{mg/m}^3]}{k_H}$$

Die folgende Tabelle listet dimensionslose Henry-Konstanten für eine Reihe häufig vorkommender Substanzen auf. **Bevorzugt ist die Henry-Konstante für 10° C zu verwenden.**

	aus R. Sander 1999 ²			
	umgerechnet aus 25 °C / meist Type L			
	k _H 25°	k _H 20°	k_H 10°	k _H 2 °C
Benzol	0,26	0,20	0,12	0,08
Ethylbenzol	0,34	0,25	0,14	0,08
Chlorbenzol	0,15	0,12	0,08	0,05
Chloroform (Trichlormethan)	0,16	0,13	0,07	0,05
Dichlorbenzol; m-	0,14	0,12	0,09	0,07
Dichlorbenzol; o-	0,07	0,05	0,03	0,01
Dichlorbenzol; p-	0,11	0,09	0,07	0,05
Dichlorethen, 1,2	0,17	0,14	0,09	0,06
Dichlormethan	0,11	0,09	0,05	0,04
Dichlorpropan; 1,2	0,12	0,09	0,06	0,04
MTBE	0,022 ³			
Nitrobenzol	8,7E-04	6,7E-04	3,9E-04	2,5E-04
Phenol	1,4E-05	9,6E-06	4,2E-06	2,1E-06
Tetrachlorethan; 1,1,2,2-	0,02	0,01	0,01	0,01
Tetrachlorethen (PER)	0,69	0,53	0,30	0,18
Tetrachlormethan	1,20	0,95	0,57	0,37
Toluol	0,27	0,22	0,13	0,09
Trichlorbenzol; 1,2,4-	0,09	0,07	0,04	0,03
Trichlorethan; 1,1,1-	0,69	0,55	0,35	0,23
Trichlorethen (TRI)	0,41	0,31	0,18	0,11
Trimethylbenzol; 1,3,5-	0,29	0,24	0,15	0,11
u. andere TMB-Isomere	0,27	0,21	0,13	0,08
o-Xylol	0,22	0,17	0,11	0,07
m-Xylol	0,31	0,25	0,15	0,10
p-Xylol	0,31	0,25	0,16	0,11
Vinylchlorid	1,05	0,88	0,60	0,44

Der jeweils niedrigere Wert für k_H stellt unter Gleichgewichtsbedingungen eine höhere Konzentration im Sickerwasser dar (ggf. worst-case durch tiefere Temperatur abbilden).

² aus R. Sander (1999) Compilation of Henry's Law Constants for Inorganic and Organic Species of Potential Importance in the Environmental Chemistry, siehe : <http://www.mpch-mainz.mpg.de/~sander/res/henry.html>. Die im PBA aufgeführten Werte korrespondieren meist mit dem hier aufgeführten Temperaturbereich von 20°-25°C.

³ aus Altlasten-Arbeitshilfe Probenahme und Analyse von Porenluft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 1998; siehe: http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/alt-lasten/altlasten_pdf/9.pdf

Anwendungsmöglichkeit

Eine LHKW-Belastung des Sickerwassers führt durch diffusiven Übergang der Schadstoffe zu oft hohen Konzentrationen in der Bodenluft. Eine z. B. für Trichlorethen gemessene Bodenluft-Konzentration von 10 mg/m^3 korrespondiert mit einer theoretischen Bodenwasser-, ggf.

Sickerwasserkonzentration von ca. 50 µg/l (dimensionslose Henry-Konstante $K_H = 0,18$; bei höheren Temperaturen von 25 µg/l). Diese Konzentration wird durch (schnellere) Diffusion, vorzugsweise nach oben, verringert; es bildet sich ein Gradient zwischen dem belasteten Sicker- und ggf. Grundwasser als "Quelle" und der Bodenoberfläche als "Senke" aus. Aus der oberen Bodenzone gasen LHKW vergleichsweise rasch aus. Die Konzentrationen in der Bodenluft werden somit auch durch ein Fließgleichgewicht zwischen Nachlieferung aus der Schadstoffquelle und der Ausgasungsrate bestimmt (siehe auch [http://www.](http://www.umweltbundesamt.de/altlast/web1/berichte/nachsorge/nachso24.htm)

[umweltbundesamt.de/altlast/web1/berichte/nachsorge/nachso24.htm](http://www.umweltbundesamt.de/altlast/web1/berichte/nachsorge/nachso24.htm)). Je geringer diese Ausgasungsrate ist und je eher im betrachteten Bodenbereich Gleichgewichtsbedingungen angenommen werden können, desto größer ist der räumliche Bereich, für den die theoretische Bodenwasser-, bzw. Sickerwasserkonzentration Gültigkeit haben können.

Wird die o.g. Konzentration in der Bodenluft mehrfach (zeitlich unabhängige Messungen) erreicht und ggf. auch deutlich überschritten, ist von einer Konzentration des Schadstoffes im Bodenwasser über dem Prüfwert auszugehen.

Eine Aussage über Sickerwasserkonzentration ist nur der Größenordnung nach zu treffen. Voraussetzung ist, dass die Probennahme in ausreichender Tiefe (deutlich über 1 m unter GOK) bestenfalls bei gleichzeitiger Versiegelung durchgeführt wurde. Es sind mehrere unabhängige Messungen der Bodenluft notwendig.

Anhang 4

Ergänzende Beurteilungswerte für Bodenuntersuchungen und Bodenluftuntersuchungen im Rahmen der Sickerwasserprognose

In der Tabelle sind Beurteilungswerte für Schadstoff-Gesamtgehalte im Boden sowie für Bodenluft angegeben, die sich an den Maßnahmenschwellenwerten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 1994): Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden orientieren.

Bei orientierenden Untersuchungen können diese Werte in Ergänzung zu den Ausführungen in Kap. 4.1 als Maßstab herangezogen werden, ob auf einer Verdachtsfläche mittlere oder hohe Schadstoff-Gesamtgehalte vorliegen .

Parameter	Beurteilungswert	
	Boden ^{a, b} [mg/kg]	Bodenluft [mg/m ³]
Summe BTEX ^c	25	5
Benzol	2,5	1
Naphthalin	5	
LCKW _{gesamt} ^d	10	5
LCKW _{krebserzeugend} ^e	2,5	1
MKW (GC-FID)	1000-5000 ^f	

a: Schadstoff-Gesamtgehalte im Boden, bezogen auf die Trockensubstanz des Bodens

b: Der Beurteilungswert für leichtflüchtige Stoffe gilt nur für bindige Böden (z.B. schluffige/tonige Böden). Bei der Probennahme muss das Ausgasen der Stoffe unterbunden werden.

c: Summe einkerniger Aromaten, mindestens Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (o,m,p), Styrol, Cumol

d: Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zu analysieren sind mindestens Dichlormethan, Trichlormethan, Tetrachlormethan, 1,1-Dichlorethen, cis-1,2-Dichlorethen, Trichlorethen, Tetrachlorethen, 1,1,1-Trichlorethan.

e: Humankarzinogene LCKW: Trichlorethen, 1,2-Dichlorethan; Chlorethen (Vinylchlorid) – wegen niedrigen Siedepunkts ist bei Chlorethen nur eine Bestimmung in der Bodenluft sinnvoll.

f : je nach Mobilität (Auswertung des GC-FID-Chromatogramms); Methode: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2001): Handbuch Altlasten, Band 7, Analysenverfahren - Fachgremium Altlastenanalytik, Teil 3 Bestimmung von Mineralöl-Kohlenwasserstoffen mittels Kapillargaschromatographie in Feststoffen aus dem Altlastenbereich, Wiesbaden.

Anhang 5

Beispiele zum Stoffeintrag

Beispiel 1

Eintrag von verdünnten LCKW (Per) aus der Abwasserleitung einer ehemaligen chemischen Reinigung in gut durchlässige Sande mit geringem Flurabstand

1. Standortcharakterisierung

Quellsituation

Über eine Abwasserleitung aus Tonröhren (Tiefe 1 m unter GOK) wurde mindestens 15 Jahre Prozesswasser einer chemischen Reinigung entsorgt. Durch undichte Anschlussstellen sickerte verdünntes Per zeitweise in den Untergrund. Die Abwasserleitung wurde inzwischen repariert.

Per wird auf Grund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften als hoch mobil eingestuft.

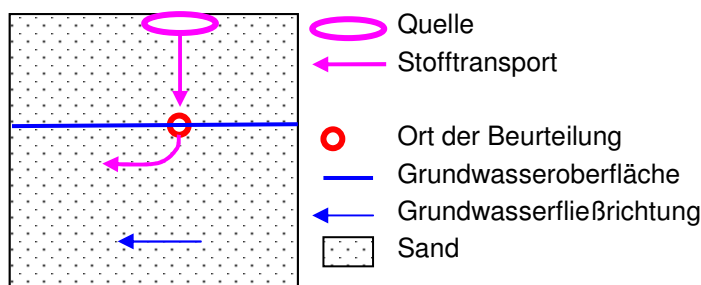
Über der Abwasserleitung liegt seit Bestehen der Reinigung Verbundpflaster, lt. Zeitzeugenaussagen in gutem Zustand.

Die Geländeoberfläche hat ein geringes Gefälle zur Regenwasserentwässerung.

Der Niederschlagswassereintrag ist gering.

Geologisch/hydrogeologische Beschreibung

In der folgenden Abbildung sind die allgemeinen Standortbedingungen schematisch dargestellt.



ungesättigte Zone

Schichtaufbau: - 0,1 m Pflastersteine
 - 1,0 m Mittelsand, grobsandig, kalkfrei; Auffüllung
 - 2,8 m Mittelsand – Feinsand wechselnder Zusammensetzung, kalkfrei
 Gehalte an Ton (gem. SV: sehr gering), Karbonat (gem. SV nicht feststellbar nach HCl-Zugabe), Corg (gem. SV nicht feststellbar)
 → gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.

Flurabstand (= Grundwasserspiegel unter Gelände): 2,8 m → Mächtigkeit der ungesättigten Zone unterhalb der Quelle (Rohr 1 m u. GOK): gering (1,8 m)

Grundwasserspiegelschwankungen: gering (angenommen)

Wasserspiegel: frei

gesättigte Zone

Schichtaufbau: Mittelsand – Feinsand, lagenweise grobsandig
 → gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.

Mächtigkeit ca. 10 m; horizontale Ausdehnung: > 100 m

Grundwasserfließrichtung: bekannt

Grundwassergefälle: 1:500 => $i = 0.002$

→ Grundwasserfließgeschwindigkeit: Für einen Mittelsand - Feinsand kann ein Durchlässigkeitsbeiwert (K_f) von 10^{-4} m/s angenommen werden. Die Porosität wird auf 20 % ($n = 0,20$) geschätzt. Die Grundwasserfließgeschwindigkeit $v = (K_f \cdot i) / n$ ergibt: $v = (10^{-4} \cdot 0.002) / 0,20$ m/s ≈ 30 m/Jahr

Grundwasserentnahmen: nicht vorhanden

2. Untersuchungskonzept/-verfahren/-ergebnisse

Wegen der hohen Mobilität von Per, des geringen Flurabstandes und der sandigen Ausbildung der ungesättigten Zone ist davon auszugehen, dass der Schadstoff das Grundwasser erreicht hat, daher sind Grundwasseruntersuchungen im An- und Abstrom der Quelle zu bevorzugen.

Entfernung zur Quelle: jeweils 10 m (Lage auf dem gleichen Grundstück)

LCKW-Gehalte Anstrom: nicht nachweisbar

LCKW-Gehalte Abstrom: maximal 29 $\mu\text{g/l}$ Per

3. Abschätzung des Stoffeintrages in das Grundwasser

Transportbetrachtung

Mobilität der Schadstoffe

Per wird auf Grund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften als hoch mobil eingestuft.

Ungesättigte Zone

Die Sickerstrecke ist vertikal und kurz; der Schadstofftransport erfolgt sehr schnell und ungehindert.

Es erfolgt kein Abbau, es besteht kein Speichervermögen, nur eine geringe Verdünnung.

→ Schutzfunktion der ungesättigten Zone: generell gering

Gesättigte Zone

Es erfolgt ein ungehinderter Schadstofftransport; bei der kurzen Fließstrecke zwischen der Eintrittsstelle ins Grundwasser und der Messstelle ist ein Abbau zu vernachlässigen; es erfolgt nur eine Verdünnung mit dem Grundwasser.

Bewertung

Im Grundwasserabstrom werden 29 $\mu\text{g/l}$ LCKW gemessen, im Grundwasseranstrom sind LCKW nicht festgestellt.

→ Es ergeben sich keine Hinweise auf Einträge aus dem Zustrom, die gemessenen LCKW-Gehalte werden daher der untersuchten Quelle zugeordnet.

→ Der Prüfwert für LCKW (= 10 $\mu\text{g/l}$) wird im Grundwasserabstrom überschritten, bei Berücksichtigung der Verdünnung im Grundwasser ist davon auszugehen, dass der Prüfwert am Ort der Beurteilung überschritten wird.

→ Bei einer Grundwasserfließgeschwindigkeit von 30 m/Jahr und einer Entfernung von nur 10 m von der Messstelle bis zur Eintrittsstelle in das Grundwasser ist anzunehmen, dass noch immer LCKW aus der ungesättigten Zone in das Grundwasser eintreten.

Es liegt ein hinreichender Verdacht einer Altlast vor.

Beispiel 2

Eintrag von verdünnten LCKW (Per) aus der Abwasserleitung einer ehemaligen chemischen Reinigung in Wechsellagerung aus gut durchlässigen Sande und Geschiebemergel mit großem Flurabstand

1. Standortcharakterisierung

Quellsituation

Über eine Abwasserleitung aus Tonröhren (Tiefe 1 m unter GOK) wurde mindestens 15 Jahre Prozesswasser einer chemischen Reinigung entsorgt. Durch undichte Anschlussstellen sickerte verdünntes Per zeitweise in den Untergrund. Die Abwasserleitung wurde inzwischen repariert.

Per wird auf Grund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften als hoch mobil eingestuft.

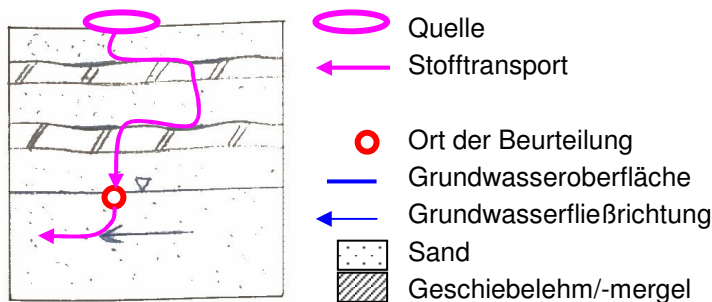
Über der Abwasserleitung liegt seit Bestehen der Reinigung Verbundpflaster, lt. Zeitzeugenaussagen in gutem Zustand.

Die Geländeoberfläche hat ein geringes Gefälle zur Regenwasserentwässerung.

Der Niederschlagswassereintrag ist gering.

Geologisch/hydrogeologische Beschreibung

In der folgenden Abbildung sind die allgemeinen Standortbedingungen schematisch dargestellt.



ungesättigte Zone

Schichtaufbau:	- 0,1 m	Pflastersteine
	- 1,0 m	Mittelsand, grobsandig, kalkfrei; Auffüllung
	- 5,0 m	Mittelsand – Feinsand wechselnder Zusammensetzung
	- 6,0 m	Geschiebemergel
	- 10,0 m	Mittelsand – Feinsand wechselnder Zusammensetzung
	- 12,0 m	Geschiebemergel
	- 17,0 m	Mittelsand – Feinsand wechselnder Zusammensetzung
		Sande: Gehalte an Ton (gem. SV: sehr gering), Karbonat (gem. SV nicht feststellbar nach HCl-Zugabe), Corg (gem. SV nicht feststellbar)
		Geschiebemergel: Gehalte an Ton (gem. SV: mittel), Karbonat (gem. SV kalkhaltig nach HCl-Zugabe), Corg (gem. SV nicht feststellbar)
		→ Wechsellagerung von gut und schlecht durchlässigen Schichten, wobei nur letztere über eine gewisse Sperrfunktion verfügen.

Flurabstand (= Grundwasserspiegel unter Gelände): 17 m → Mächtigkeit der ungesättigten Zone unterhalb der Quelle (Rohr 1 m u. GOK): groß (16 m)

Grundwasserspiegelschwankungen: gering (angenommen)

Wasserspiegel: frei

gesättigte Zone

Schichtaufbau: Mittelsand – Feinsand, lagenweise grobsandig

→ gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.

Mächtigkeit ca. 20 m; horizontale Ausdehnung: > 100 m

Grundwasserfließrichtung: bekannt

Grundwassergefälle: 1:1000 => $i = 0.001$

→ Grundwasserfließgeschwindigkeit: Für einen Mittelsand - Feinsand kann ein Durchlässigkeitsbeiwert (K_f) von 10^{-4} m/s angenommen werden. Die Porosität wird auf 20 % ($n = 0,20$) geschätzt. Die Grundwasserfließgeschwindigkeit $v = (K_f * i) / n$ ergibt: $v = (10^{-4} * 0.001) / 0,20$ m/s ≈ 15 m/Jahr

Grundwasserentnahmen: nicht vorhanden

2. Untersuchungskonzept/ -verfahren/ -ergebnisse

Bei leichtflüchtigen Schadstoffen sind Bodenuntersuchungen/Eluatuntersuchungen nicht geeignet. Der große Flurabstand und die Schwierigkeit, den möglichen Eintragsort der Schadstoffe in das Grundwasser zu lokalisieren, führen bei der Sickerwasserprognose nur über Grundwasseruntersuchungen im An- und Abstrom der Quelle zu Unsicherheiten. Bei den vorliegenden leichtflüchtigen Stoffen ist deshalb die Kombination von Grundwasseruntersuchungen und Bodenluftuntersuchungen zu bevorzugen.

1. Bodenluftuntersuchungen

Entfernung der Messpunkte zur Quelle: jeweils gering (bis ca. 10 m)

LCKW-Gehalte: maximal 200 mg/m³ bei 1 – 5 m u. GOK, maximal 100 mg/m³ bei 6 – 10 m u. GOK

2. Grundwasseruntersuchungen

Entfernung zur Quelle: jeweils 20 m (Lage auf dem gleichen Grundstück)

LCKW-Gehalte Anstrom: nicht nachweisbar

LCKW-Gehalte Abstrom: 8 µg/l

3. Abschätzung des Schadstoffeintrages in das Grundwasser

Transportbetrachtung

Schadstoff- Gesamtpotential im Boden

Die Bodenluftgehalte weisen deutliche Schadstoffanreicherungen aus. Wegen des lokalen Eindringens von LCKW in den Boden sind tieferliegende Phaseanteile möglich. Durch die Abdeckung der jeweiligen sandigen Horizonte mit Geschiebemergel bzw. einer Pflasterung ist eine Gleichgewichtseinstellung zwischen Bodenluft- und Flüssigphase ansatzweise anzunehmen. Die gemessenen Bodenluftgehalte in 6-10 m Tiefe können dann überschlägig einem Sickerwassergehalt von ca. 120 µg/l (für 20 °C) zugeordnet werden.

Es ist daher von einem hohen Schadstoffgesamtpotential im Boden auszugehen.

Mobilität der Schadstoffe

Per wird auf Grund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften als hoch mobil eingestuft. Die Schadstoffausbreitung belegen die über Bodenluftuntersuchungen abgeleiteten Sickerwassergehalte von ca. 120 µg/ Per unterhalb einer 2 m mächtigen Geschiebemergelschicht in 6 - 10 m Tiefe.

Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone**Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung**

Es liegen insgesamt 3 m schlecht durchlässige Geschiebemergel in der ungesättigten Zone vor. Diese Mächtigkeit begründet i.d.R. eine gewisse Sperrfunktion. Allerdings belegen die LCKW-Nachweise in der Bodenluft (bis 100 mg/m³) bei 6 - 10 m die Durchdringung der oberen Geschiebemergelschicht. Der Beitrag der schlecht durchlässigen Schichten zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung wird für so hoch mobile Stoffe wie Per deshalb als gering eingeschätzt.

Sickerwasserrate

Der Eintrag an Niederschlagswasser ist auf Grund der schon länger bestehenden Überdeckung mit Verbundsteinen zu vernachlässigen. Es erfolgte jedoch mindestens 15 Jahre ein Eintrag von verdünntem Per und sonstigen Abwässern über die unter der Pflasterung liegenden Abwasserleitung, so dass für diese Zeit von einer mittleren Sickerwasserrate ausgegangen wird, die zu einem Transport von Per in der ungesättigten Zone führt.

Durchlässigkeit der ungesättigten Zone

Die ungesättigte Zone besteht aus einer Wechsellagerung von gut durchlässigen Sanden und schlecht durchlässigen Geschiebemergeln. Auf letzteren erfolgt die Sickerwasserbewegung überwiegend lateral und eingeschränkt vertikal, so dass die Eintragstellen in das Grundwasser nicht direkt unter der Quelle liegen müssen.

Biologische Abbaubarkeit

Die Abbaubarkeit von LCKW insgesamt ist als irrelevant einzustufen.

Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone

Auf Grund der o.g. Sachverhalte ist die Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone für Per als gering anzusehen.

Bewertung**Bewertung anhand der Bodenluftuntersuchungen**

Die gemessenen Gehalte in der Bodenluft treten im Bereich der untersuchten Quelle auf, können dieser also zugeordnet werden. Überschlägig ist mit 120 µg/l auch im Sand bei 6 – 10 m u. GOK der Prüfwert für LCKW (= 10 µg/l) überschritten, so dass sich ein hohes Schadstoffpotential für diesen Sand ergibt. Die Schutzfunktion der ungesättigten Zone ist gering, der obere Geschiebemergel wurde von den LCKW durchdrungen, so dass ein Transport belegt ist. Es ist davon auszugehen, dass auch der tiefere geringmächtigere Geschiebemergel nur eine eingeschränkte Sperrfunktion hat, so dass auch künftig LCKW in das Grundwasser eintreten können und auch für die Zukunft von der Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung auszugehen ist.

Bewertung anhand der Grundwasseruntersuchungen

Im Grundwasserabstrom wurden geringe Gehalte an LCKW (8 µg/l) nachgewiesen, im Anstrom wurden keine LCKW festgestellt. Auch damit ist die Zuordnung der LCKW zu der untersuchten Quelle belegt. Der Prüfwert für LCKW (10 µg/l) wird im Abstrom geringfügig unterschritten; bei Berücksichtigung der Verdünnung im Grundwasser ist daher am Ort der Beurteilung von einer Überschreitung des Prüfwertes auszugehen. Bei einer Grundwasserfließgeschwindigkeit von 15 m/Jahr und einer Entfernung von überschlägig 20 m zwischen der Messstelle und der nicht genau lokalisierbaren Eintrittsstelle in das Grundwasser ist anzunehmen, dass noch immer LCKW aus der ungesättigten Zone in das Grundwasser eintreten.

Zusammenfassende Bewertung

Die Grundwasseruntersuchungen belegen einen Eintrag von LCKW in das Grundwasser oberhalb des Prüfwertes. Die gemessenen Bodenluftgehalte belegen dass in der ungesättigten Zone noch LCKW in einem Ausmaß vorhanden sind, dass ein zukünftiger Eintrag dieser mobilen Stoffe mit Konzentrationen oberhalb des Prüfwertes in das Grundwasser zu erwarten ist.

Es liegt ein hinreichender Verdacht einer Altlast vor.

Beispiel 3

Eintrag von Chrom³⁺ in wässriger Lösung aus einer ehemaligen Lederfabrik in gut durchlässige Sanden mit geringem Flurabstand

1. Standortcharakterisierung

Quellsituation

Über eine Lorenbahn wurden Chrom³⁺-haltige Gerbstoffe von der Chrom-Aufbereitung zur Gerbabweilung der Lederfabrik transportiert. Dabei kam es entlang der Strecke über mindestens 30 Jahre zu Handhabungsverlusten beim Transport der offenen Loren.

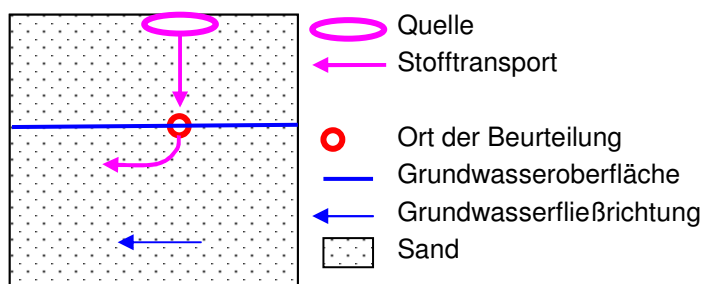
Chrom³⁺ wird auf Grund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften als gering mobil eingestuft. Bei geringen und hohen pH-Werten oder beim Vorliegen bestimmter Chromverbindungen (z.B. Chromsulfate) ist die Löslichkeit allerdings verbessert.

Die Geländeoberfläche hat ein geringes Gefälle zum angrenzenden Vorfluter; eine Regenwasserentwässerung ist nicht vorhanden. Das Gelände ist nicht versiegelt, es steht ca. 30 cm stark verdichteter mineralischer kaum bewachsener Boden an.

Wegen der Verdichtung besteht nur ein eingeschränkter Niederschlagswasser-Zutritt.

Geologisch/hydrogeologische Beschreibung (vgl. Beispiel 1)

In der folgenden Abbildung sind die allgemeinen Standortbedingungen schematisch dargestellt.



ungesättigte Zone

- Schichtaufbau: - 0,3 m: Sand-Kies-Gemisch, schluffig, tonig, Bauschuttreste, kalkig
Gehalte an Ton (gem. SV: gering), Karbonat (gem. SV kalkig nach HCl-Zugabe), Corg (gem. SV nicht feststellbar), pH-Wert (gemessen: 7,5)
- 1,8 m: Mittelsand – Feinsand wechselnder Zusammensetzung, kalkfrei
Gehalte an Ton (gem. SV: sehr gering), Karbonat (gem. SV nicht feststellbar nach HCl-Zugabe), Corg (gem. SV nicht feststellbar), pH-Wert (gemessen: 5,5)
- oben stark verdichtete Sande und Kiese, darunter gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.

Flurabstand (= Grundwasserspiegel unter Gelände): 1,8 m → Mächtigkeit der ungesättigten Zone unterhalb der Quelle: gering (1,5 m)

Grundwasserspiegelschwankungen: gering (angenommen)

Wasserspiegel: frei

gesättigte Zone

Schichtaufbau: Mittelsand – Feinsand, lagenweise grobsandig

→ gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.

Mächtigkeit ca. 10 m; horizontale Ausdehnung: > 100 m

Grundwasserfließrichtung: bekannt

Grundwassergefälle: 1:500 => $i = 0.002$

→ Grundwasserfließgeschwindigkeit: Für einen Mittelsand - Feinsand kann ein Durchlässigkeitsbeiwert (K_f) von 10^{-4} m/s angenommen werden. Die Porosität wird auf 20 % ($n = 0,20$) geschätzt. Die Grundwasserfließgeschwindigkeit $v = (K_f \cdot i) / n$ ergibt: $v = (10^{-4} \cdot 0.002) / 0,20$ m/s ≈ 30 m/Jahr

Grundwasserentnahmen: nicht vorhanden

2. Untersuchungskonzept/-verfahren/-ergebnisse

Trotz des geringen Flurabstandes und der sandigen Ausbildung der ungesättigten Zone sind wegen der geringen Mobilität von Chrom³⁺ Bodenuntersuchungen zu bevorzugen. Analysiert werden die Chrom_{ges.}-Gehalte. Zur Beweissicherung sollten bei hohen Cr_{ges.}-Gehalten trotz des Einsatzes von Cr³⁺-Salzen Cr⁶⁺-Analysen stichprobenhaft durchgeführt werden.

1. Bodenuntersuchungen

Entnahmetiefen	0 – 0,3 m	0,7 – 1,0 m	1,5 – 1,7 m
maximale Cr _{ges.} -Gehalte	2.863 mg/kg TS	1.044 mg/kg TS	583 mg/kg TS
Eluatgehalte Cr _{ges.}	121 µg/l	63 µg/l	
Eluatgehalte Cr ⁶⁺	nn		

Da die Eluatgehalte keine eindeutige Aussage hinsichtlich einer Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung ermöglichen, sind zur Beweissicherung in diesem Falle Grundwasseruntersuchungen empfehlenswert.

2. Grundwasseruntersuchungen

Entfernung zur Quelle: jeweils 20 m (Lage auf dem gleichen Grundstück)

Cr_{ges.}-Gehalte Anstrom: nicht nachweisbar

Cr_{ges.}-Gehalte Abstrom: 32 µg/l

3. Abschätzung des Schadstoffeintrages in das Grundwasser

Transportbetrachtung

Schadstoff-Gesamtpotential im Boden

Die Bodengehalte weisen deutliche Schadstoffanreicherungen oberhalb der Beurteilungswerte von Anhang I der ALA-Arbeitshilfe auf.

Es ist daher von einem **hohen Schadstoffgesamtpotential** im Boden auszugehen.

Mobilität der Schadstoffe

Chrom³⁺ wird auf Grund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften bei den spezifischen Standortbedingungen als gering mobil eingestuft. Dennoch haben offensichtlich Verlagerungen in tiefere Bodenschichten stattgefunden. Auch aktuell belegen die gemessenen Chrom-Eluatgehalte die Mobilität zumindest eines Teils des Schadstoffpotentials. Sie übersteigen den Prüfwert (50 µg/l).

Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone

Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung

Der Abstand der Quelle zum Grundwasser ist mit weniger als 1,5 m sehr gering. Es liegen keine schlecht durchlässigen Sedimente in der ungesättigten Zone und keine sonstigen, den Schadstofftransport hindernden Bodeneigenschaften vor.

Die Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung wird deshalb als (sehr) gering eingeschätzt.

Sickerwasserrate

Der Eintrag an Niederschlagswasser ist auf Grund der schon länger bestehenden Verdichtung des Oberbodens nur eingeschränkt möglich. Es wird von einer mittleren Sickerwasserrate ausgegangen wird, die zu einem Transport von gelöstem Chrom³⁺ in der ungesättigten Zone führen kann.

Durchlässigkeit und Sorptionsvermögen der ungesättigten Zone sowie Abbaubarkeit

Die ungesättigte Zone besteht aus gut durchlässigen Sedimenten. Wegen der geringen bis sehr geringen Tongehalte und der nicht vorhandenen organischen Substanz ist das Sorptionsvermögen des Bodens sehr gering. Soweit lösliche Chrom³⁺-Verbindungen in den Boden eingetragen werden, werden diese allmählich in unlösliche Chrom³⁺-Hydroxyde und -oxihydrate überführt, die an den Bodenpartikeln anlagern. Der Effekt ist angesichts der festgestellten Eluatgehalte in der betrachteten Tiefe jedoch noch kein relevantes Entlastungskriterium.

Eine Oxidation von Chrom³⁺ wird als irrelevant eingestuft.

Zusammenfassend zur Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone

Auf Grund der o.g. Sachverhalte ist die Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone als gering anzusehen.

Bewertung

Bewertung anhand der Bodenuntersuchungen

In der ungesättigten Zone werden abnehmende Chrom_{ges.}-Gehalte gemessen, die jedoch bis ca. 1,7 m unter GOK auf ein hohes Schadstoffgesamtpotential im Boden hinweisen. Der Prüfwert für Chrom_{ges.} (50 µg/l) wird im Eluat mit 121 µg/l und 63 µg/l deutlich überschritten.

Angesichts des hohen Schadstoffpotentials, der wenigstens teilweisen Mobilisierbarkeit der Chrom³⁺-Verbindungen und der geringen Schutzfunktion der ungesättigten Zone ist eine **Überschreitung der Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung wahrscheinlich.**

Bewertung anhand der Grundwasseruntersuchungen

Im Grundwasserabstrom wurden erhöhte Chrom_{ges.}-Gehalte (32 µg/l) nachgewiesen, im Anstrom wurden kein Chrom nachgewiesen. Der Prüfwert für Cr_{ges.} (50 µg/l) wird im Abstrom unterschritten; bei Berücksichtigung der Verdünnung im Grundwasser ist jedoch **am Ort der Beurteilung von einer Überschreitung des Prüfwertes auszugehen.**

Zusammenfassende Bewertung

Die Grundwasseruntersuchungen belegen einen Eintrag von Chrom_{ges.} in das Grundwasser oberhalb des Prüfwertes. Auf Grund abnehmenden Chrom-Gehalte in der ungesättigten Zone und der langen ungehinderten Eindringmöglichkeit des Schadstoffes sowie der geringen Mobilität ist in Zukunft zwar mit einem weiteren Eintrag, jedoch nicht mit einem Anstieg der Gehalte am Ort der Beurteilung zu rechnen.

Es liegt ein hinreichender Verdacht einer Altlast vor.

Beispiel 4**Eintrag von Arsen aus einer Aufschüttung in gut durchlässige Sande mit geringem Flurabstand****1. Standortcharakterisierung****Quellsituation**

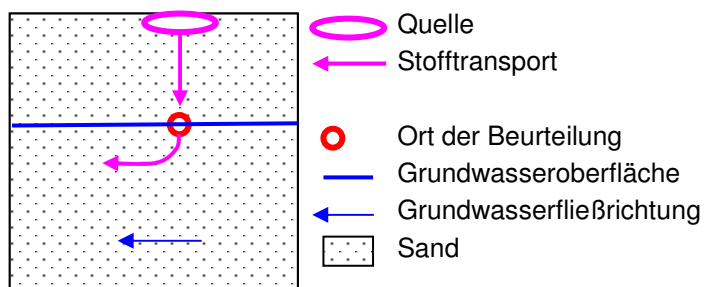
In einer Talsenke wurde während des 2. Weltkrieges bis 0,5 m arsenhaltiger Boden aufgebracht. Arsen wird auf Grund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften als mobil eingestuft. Je nach Redoxpotential liegt Arsen in unterschiedlichen Oxidationsstufen vor. Die unter reduzierenden Bedingungen vorliegenden As^{3+} -Verbindungen sind deutlich mobiler als As^{5+} -Verbindungen. As^{5+} -Verbindungen werden im Boden schnell an Eisen- und Aluminiumoxide adsorbiert und dem Transport weitgehend entzogen.

Die Geländeoberfläche hat ein geringes Gefälle. Das Gelände ist heute stark bewachsen.

Der Zutritt von Niederschlagswasser ist wegen des Bewuchses eingeschränkt.

Geologisch/hydrogeologische Beschreibung (vgl. Beispiel 1)

In der folgenden Abbildung sind die allgemeinen Standortbedingungen schematisch dargestellt.

ungesättigte Zone

- Schichtaufbau: - 0,5 m Sand, Kiesig, bauschutthaltig, Auffüllung
Gehalte an Ton (gem. SV: gering), Karbonat (gem. SV kalkig nach HCl-Zugabe), Corg (gem. SV nicht feststellbar), pH-Wert (gemessen: 7,3)
- 0,6 m Alter Oberboden (Mutterboden)
Gehalte an Ton (gem. SV: gering), Karbonat (gem. SV nicht feststellbar nach HCl-Zugabe), Corg (gem. SV hoch), pH-Wert (gemessen: 5,3)
- 1,8 m Mittelsand – Feinsand wechselnder Zusammensetzung, kalkfrei
Gehalte an Ton (gem. SV: sehr gering), Karbonat (gem. SV nicht feststellbar gem. HCl-Zugabe), Corg (gem. SV nicht feststellbar), pH-Wert (gemessen: 5,5)

→ sandige Auffüllung über altem Boden, darunter gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.

Flurabstand: 1,8 m → Mächtigkeit der ungesättigten Zone unterhalb der Quelle: gering (1,3 m)

Grundwasserspiegelschwankungen: gering (angenommen)

Wasserspiegel: frei

gesättigte Zone

Schichtaufbau: Mittelsand – Feinsand, lagenweise grobsandig

→ gut durchlässige Sande mit schlechtem Abbau- und Rückhaltevermögen.

Mächtigkeit ca. 10 m; horizontale Ausdehnung: > 100 m

Grundwasserfließrichtung: bekannt

Grundwassergefälle: 1:500 => $i = 0.002$

→ Grundwasserfließgeschwindigkeit: Für einen Mittelsand - Feinsand kann ein Durchlässigkeitsbeiwert (K_f) von 10^{-4} m/s angenommen werden. Die Porosität wird auf 20 % ($n = 0,20$) geschätzt. Die Grundwasserfließgeschwindigkeit $v = (K_f * i) / n$ ergibt: $v = (10^{-4} * 0.002) / 0,20$ m/s ≈ 30 m/Jahr

Grundwasserentnahmen: nicht vorhanden

2. Untersuchungskonzept/-verfahren/-ergebnisse

Trotz des geringen Flurabstandes und der sandigen Ausbildung der ungesättigten Zone sind zur Erkundung der Zusammensetzung der Ablagerung Bodenuntersuchungen zielführend.

Entnahmetiefen	0 – 0,1 m	0,3 – 0,5 m	0,5 – 0,6 m	1,0 – 1,7 m
maximale Arsen-Gehalte	298 mg/kg TS	741 mg/kg TS	555 mg/kg TS	202 mg/kg TS
Eluatgehalte	113 µg/l	484 µg/l	273 µg/l	192 µg/l

3. Abschätzung des Schadstoffeintrages in das Grundwasser

Transportbetrachtung

Schadstoff-Gesamtpotential im Boden

Die Bodengehalte weisen Schadstoffanreicherungen aus, die deutlich über den Beurteilungswerten von Anhang 1 des ALA-Papiers liegen.

Es ist daher von einem hohen Schadstoffgesamtpotential im Boden auszugehen.

Mobilität der Schadstoffe

Arsen wird auf Grund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften und auf Grund der ermittelten Eluatgehalte, die den Prüfwert (10 µg/l) erheblich überschreiten, bei den spezifischen Standortbedingungen als mobil eingestuft.

Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone

Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung

Der Abstand der Quelle zum Grundwasser ist mit weniger als 1,5 m sehr gering. Es liegen keine schlecht durchlässigen Sedimente in der ungesättigten Zone vor. Gelöste Schadstoffe werden kaum zurückgehalten oder ändern sich in der Bindungsform. Es erfolgt ein ungehinderter Schadstofftransport.

Die Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung wird deshalb als (sehr) gering eingeschätzt.

Sickerwasserrate

Der Eintrag an Niederschlagswasser ist auf Grund des schon länger bestehenden dichten Bewuchses nur eingeschränkt möglich. Es wird von einer mittleren Sickerwasserrate ausgegangen wird, die zu einem Transport von gelöstem Arsen in der ungesättigten Zone führt.

Durchlässigkeit und Sorptionsvermögen der ungesättigten Zone und Abbaubarkeit

Die ungesättigte Zone besteht aus sandigen, gut durchlässigen Sedimenten. Die Eluatgehalte belegen eine Mobilisierbarkeit des Arsen-Schadstoffpotentials.

Die Änderungen der Bindungsform von Arsen insgesamt ist als irrelevant einzustufen.

Zusammenfassend zur Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone

Auf Grund der o.g. Sachverhalte ist die

Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone als gering anzusehen.

Bewertung**Bewertung anhand der Bodenuntersuchungen**

In der ungesättigten Zone werden hohe Arsengehalte im Boden festgestellt, die ein hohes Schadstoffgesamtpotential anzeigen. Der Prüfwert für Arsen (10 µg/l) wird in der ungesättigten Zone im Eluat mit 113 µg/l bis 484 µg/l deutlich überschritten.

Angesichts des hohen Schadstoffpotentials, der Mobilisierbarkeit der Arsen³⁺-Verbindungen und der geringen Schutzfunktion der ungesättigten Zone ist eine **Überschreitung der Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung wahrscheinlich.**

Da der Boden nicht versiegelt ist, ist in Zukunft nicht mit einer relevanten Änderung der Sickerwasserkonzentrationen zu rechnen.

Es liegt ein hinreichender Verdacht einer Altlast vor.

Anhang 6

Matrixtabellen

zur Abschätzung der Schutzfunktion der ungesättigten Zone und zur Beurteilung der Grundwassergefährdung auf der Grundlage von Bodenuntersuchungen

Die Verwendung dieser Tabellen ist nicht isoliert schematisch sondern nur mit den erläuternden Begriffsdefinitionen und Ausführungen in Kapitel 4 dieser Empfehlung möglich. Unabhängig davon, ob diese Tabellen verwendet werden, sind im Einzelfall die Kriterien ausreichend zu beschreiben und die Bewertung nachvollziehbar darzustellen und plausibel zu begründen.

1. Abschätzung der Schutzfunktion der ungesättigten Zone

Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung	Sickerwasserrate (->Versiegelung)	Durchlässigkeit der ungesättigten Bodenzone unter Berücksichtigung des Sorptionsvermögens	Biologische Abbaubarkeit	Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone
gering	hoch	(-)	(-)	gering
gering	mittel	(-)	(-)	gering
gering	gering	groß/mittel	(-)	gering
gering	gering	gering	(-)	mittel*
mittel	hoch	groß	(-)	gering
mittel	hoch	mittel	gering	gering
mittel	hoch	mittel	gut	mittel
mittel	hoch	gering	(-)	mittel
mittel	mittel	groß	(-)	gering
mittel	mittel	mittel/gering	gering	mittel
mittel	mittel	mittel/gering	gut	hoch
mittel	gering	groß	(-)	mittel
mittel	gering	mittel/gering	(-)	hoch
groß	hoch	groß	(-)	gering
groß	hoch	mittel/gering	gering	mittel
groß	hoch	mittel/gering	gut	hoch
groß	mittel	groß	(-)	mittel
groß	mittel	mittel/gering	(-)	hoch
groß	gering	groß	(-)	mittel
groß	gering	mittel/gering	(-)	hoch

(-): nicht entscheidungsrelevant

*: Die Kombination einer geringen Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung mit geringer Durchlässigkeit ist erläuterungsbedürftig: in eine solche Kategorie fallen insbesondere solche Fallgestaltungen, bei denen die geringe Durchlässigkeit durch hoch sorptive Schichten, z.B. einen tiefgreifenden humosen Oberboden bedingt ist.

2. Beurteilung der Grundwassergefährdung auf der Grundlage von Bodenuntersuchungen

Die Verwendung dieser Tabelle ist nicht für alle Schadstoffe gleichermaßen geeignet oder möglich, insbesondere bei schwieriger Einschätzung des Gesamt-Schadstoffpotentials (siehe auch Kap.4.1).

Mobilität der Schadstoffe nach Kap. 4.2 (s.a. ALA-Arbeitshilfe Kapitel 5.3 und Daten aus Anhang 2)	Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone nach Kap. 4.3 siehe Tabelle 1	Schadstoff - Gesamtpotential im Boden nach Kap. 4.1 (s.a. ALA-Arbeitshilfe Kap. 5.2)	Grundwassergefährdung auf der Grundlage von Bodenmaterialuntersuchungen
hoch	(-)	hoch oder mittel	wahrscheinlich
		gering	nicht abschließend zu beurteilen
mittel	gering	hoch oder mittel	wahrscheinlich
		gering	nicht abschließend zu beurteilen
	mittel	hoch	wahrscheinlich
		mittel oder gering	nicht abschließend zu beurteilen
		hoch oder mittel	nicht abschließend zu beurteilen
gering	nicht wahrscheinlich		
gering	Gering	hoch	wahrscheinlich
		mittel	nicht abschließend zu beurteilen
		gering	nicht wahrscheinlich
	mittel oder hoch	hoch	nicht abschließend zu beurteilen
		mittel oder gering	nicht wahrscheinlich

(-) : Bei Schadstoffen mit hoher Mobilität, z.B. LCKW ist die Schutzfunktion i.d.R. vernachlässigbar