




Altlasten- und Grundwasser-
schadensfälle 47




Sickerwasserprognose bei der orientierenden Untersuchung

 Arbeitshilfe für die strukturierte Sickerwasserprognose



Baden-Württemberg

Sickerwasserprognose bei der orientierenden Untersuchung

 Arbeitshilfe für die strukturierte Sickerwasserprognose

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
GRUNDLAGE	Gutachterbüro TerrAquat Autoren: Dr. Wolf-Anno Bischoff, Andreas Schwarz Schellingstr.43 72622 Nürtingen 07022-931 95 27 info@terraquat.com
ÜBERARBEITUNG UND REDAKTION	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 22 – Cosima Hillmert, Dr. Helena Salowsky, Dr. Iris Vetter
PROJEKTBEGLEITUNG	Landratsamt Neckar-Odenwaldkreis – Bernhard Kugler Landratsamt Calw – Markus Roth Landratsamt Emmendingen – Jens Dünnebier Landratsamt Schwarzwald-Baar-Kreis – Thomas Lewandoswski Stadt Ulm – Dr. Kristina Schenk
BEZUG	Kostenloser Download unter: www.lubw.baden-wuerttemberg.de
STAND	Dezember 2017

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

1	VERANLASSUNG	7
2	RECHTLICHER RAHMEN UND DEFINITIONEN	8
2.1	Rechtlicher Rahmen	8
2.2	Definitionen	9
3	GRUNDLAGEN DER SICKERWASSERPROGNOSE	10
4	VORGEHENSWEISE	11
4.1	Kategorie Standortspezifischer Grundwasserschutz	12
4.1.1	Grundwasserneubildung/Sickerwasserrate	12
4.1.2	Schutz durch Deckschichten	13
4.1.3	Ermittlung des Standortspezifischen Grundwasserschutzes aus Grundwasserneubildung und dem Einfluss der Deckschichten	14
4.2	Kategorie Schadstoffeigenschaften	14
4.2.1	Persistenz von Schadstoffen	15
4.2.2	Mobilität von Schadstoffen	15
4.2.3	Ermittlung der Schadstoffeigenschaften aus den Kriterien Persistenz und Mobilität	15
4.3	Kategorie Schadstoffbelastung	16
4.3.1	Quellkonzentration	16
4.3.2	Schadstoffmessung im Grundwasser	17
4.3.3	Organische Flüssigphase	17
4.3.4	Kriterien zur Klassifizierung der Schadstoffbelastung	17
4.4	Zusammenfassung	18
5	SONDERFÄLLE UND BESONDERE ASPEKTE	19
5.1	Organische Schadstoffphase (Phasentransport)	19
5.2	Summenparameter	19
5.3	Redoxmilieu	20
5.4	Festgestein	20
5.5	Präferenzieller Fluss	20
5.6	Hangwasser	20
5.7	Frachtberechnung	21
6	BERECHNUNGS- UND BEWERTUNGSBEISPIELE	22
6.1	Beispiel 1: Schießplatz	22
6.1.1	Standortspezifischer Grundwasserschutz	22
6.1.2	Schadstoffeigenschaften	22
6.1.3	Schadstoffbelastung	23
6.1.4	Beurteilung	24
6.2	Beispiel 2: Tankstelle	25
6.2.1	Standortspezifischer Grundwasserschutz	25

6.2.2	Schadstoffeigenschaften	26
6.2.3	Schadstoffbelastung	26
6.2.4	Beurteilung	26
7	PROBENNAHME UND UNTERSUCHUNG	28
7.1	Boden- und Materialuntersuchungen	28
7.2	Elutions- und Extraktionsverfahren	30
7.2.1	Allgemeines	30
7.2.2	Schüttelversuch oder Säulenversuch?	30
7.3	Sickerwasserbeprobung	31
7.4	Grundwasseruntersuchung und -beurteilung	31
7.4.1	Allgemeines	31
7.4.2	Durchführung	31
7.4.3	Beurteilung	31
7.5	Bodenluftuntersuchungen	33
7.5.1	Allgemeines	33
7.5.2	Methoden	33
7.5.3	Ableitung von Sickerwasserkonzentrationen aus Bodenluftanalysen	33
8	ANHANG	35
8.1	Grundwasserneubildung	35
8.2	Bestimmung Wassermengenfaktor	36
8.3	Bodenansprache	37
8.4	Deckschichtenpunkte zur Beurteilung von Gesteinsarten und Feinbodenarten	40
8.5	Berücksichtigung von Humus und Skelettgehalt	42
8.6	Schadstoffe und Schadstoffgruppen des Excel-Tools	43
8.7	Kriterien zur Klassifikation und Klassennamen	45
8.8	Schadstoffeigenschaften und Mobilitätskategorien	46
8.9	Gesamtbeurteilung in SIWA-SP	49
8.10	Abkürzungsverzeichnis	51
9	LITERATUR	52

1 Veranlassung

Nach § 4 Abs. 3 BBodSchV (2012) ist eine Sickerwasserprognose durchzuführen, wenn die Besorgnis besteht, dass von einer altlastverdächtigen Fläche oder Altlast Gefahren für das Grundwasser ausgehen. Da der Gesetzgeber keine konkreten Ausführungen zur Durchführung der Sickerwasserprognose gemacht hat, wurde von der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) auf Anregung des Altlastenausschusses (ALA) ein Unterausschuss eingesetzt, der unter Berücksichtigung bereits vorliegender Ausarbeitungen eine länderübergreifend abgestimmte Arbeitshilfe für die Untersuchung und Bewertung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser entwickelte. Die Umweltministerkonferenz (UMK) hat diese den Ländern zur Anwendung im Vollzug empfohlen. Die Arbeitshilfe Sickerwasserprognose auf dem Kenntnisstand der orientierenden Untersuchung (ALA, 2003) verweist dabei auf eine Arbeitshilfe des Landes Hessen (HLUG, 2002), die wiederum von Rheinland-Pfalz aufgenommen und länderspezifisch fortgeschrieben wurde (ALA, 2002, ALEX-Merkblatt 14).

In den oben genannten Arbeitshilfen werden ausschließlich Grundwasserleiter im Lockergestein betrachtet. In Baden-Württemberg liegen jedoch ca. 75% der Grundwasserleiter im Festgestein. Daher bestand die Notwendigkeit, die vorliegenden Arbeitshilfen den Bedürfnissen in Baden-Württemberg anzupassen. Zudem wurden viele Verfahren, die im Methodenteil der ALA-Arbeitshilfe von 2003 beschrieben sind, mittlerweile weiterentwickelt.

Für die vorliegende Arbeitshilfe zur Unterstützung einer verbal-argumentativen Sickerwasserprognose auf der Stufe der orientierenden Untersuchung wurden folgende bereits vorliegende Ansätze modifiziert und weiterentwickelt:

- Die LABO-Arbeitshilfe Sickerwasserprognose auf dem Kenntnisstand einer orientierenden Untersuchung (ALA, 2003) gibt den Rahmen zur Durchführung von Sickerwasserprognosen vor. Diese wurde um die Abschätzung von Sickerwasserkonzentrationen aus Bodenluftuntersuchungen ergänzt.

- Die Arbeitshilfen aus Hessen (HLUG, 2002) und Rheinland-Pfalz (LUG, 2001) wurden zur Bewertung von Sickerwasserprognosen im Lockergestein genutzt.
- Ein Ansatz zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung von Hölting et al. (1995) wurde für die Sickerwasserprognose im Festgestein modifiziert.

Das zusammen mit der Arbeitshilfe entwickelte Excel-Tool „SIWA-SP“ setzt das im Folgenden beschriebene Verfahren benutzerfreundlich um. Beispielsweise sind in SIWA-SP bereits Stoffdaten zu Mobilität und Abbaubarkeit hinterlegt und aus der Eingabe von Bodenluftkonzentrationen erfolgt automatisch die Umrechnung in eine Sickerwasserkonzentration. Mithilfe des Excel-Tools kann eine strukturierte Sickerwasserprognose erstellt und die fachliche Einschätzung der Konzentration am Ort der Beurteilung einheitlich dokumentiert werden.

Eine kritische fachliche Einschätzung des Bearbeiters ist trotz Unterstützung durch das Excel-Tool unerlässlich.

2 Rechtlicher Rahmen und Definitionen

Die in diesem Text verwendeten Begriffe und Bestimmungen entsprechen denjenigen in BBodSchG (2012) und BBodSchV (2012). Wesentliche Änderungen bei Untersuchungen zur Sickerwasserprognose, die im Referentenentwurf der novellierten BBodSchV vorgesehen sind, werden in der heutigen Praxis der Altlastenbearbeitung zumeist bereits umgesetzt. Dies betrifft beispielsweise die Herstellung von Eluaten. Werden in der BBodSchV (2012) noch Bodensättigungsextrakt und S4-Eluat gefordert, sind die aktuell nach Fachmodul Altlasten (LABO, 2012a) geforderten Verfahren 2:1 Schüttel- bzw. Säuleneluat (DIN 19529:2015-12, DIN 15928:2009-01). Auch der Fachbeirat Bodenuntersuchungen benennt diese Verfahren als „alternative Referenzverfahren“ (FBU, 2014).

2.1 Rechtlicher Rahmen

Die orientierende Untersuchung (OU) ist der erste technische Schritt in der Altlastenbearbeitung. Während die Detailuntersuchung (DU) der abschließenden Gefährdungsabschätzung dient, geht es in der OU um die Bestätigung oder das Ausräumen eines Verdachts. Zur Bewertung der von einer altlastverdächtigen Fläche ausgehenden Gefährdung für das Schutzgut Grundwasser ist eine Sickerwasserprognose durchzuführen. Ziel der Sickerwasserprognose ist gemäß § 2 BBodSchV (2012) die „Abschätzung der von einer Verdachtsfläche, altlastverdächtigen Fläche, schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgehenden oder in überschaubarer Zukunft zu erwartenden Stoffeinträge über das Sickerwasser in das Grundwasser unter Berücksichtigung von Konzentrationen und Frachten und bezogen auf den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Zone.“

Für eine Sickerwasserprognose sind in der Regel Untersuchungen vor Ort durchzuführen. In begründeten Ausnahmefällen kann sie auch ohne Untersuchungen anhand einer historischen Erkundung oder bereits vorliegender Erkenntnisse erfolgen.

Die Bewertung der Ergebnisse wird in § 4 Abs. 2 und 3 der BBodSchV (2012) beschrieben:

„(2) Liegen der Gehalt oder die Konzentration eines Schadstoffes unterhalb des jeweiligen Prüfwertes in Anhang 2, ist insoweit der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt. Wird ein Prüfwert nach Anhang 2 Nr. 3 am Ort der Probennahme überschritten, ist im Einzelfall zu ermitteln, ob die Schadstoffkonzentration im Sickerwasser am Ort der Beurteilung den Prüfwert übersteigt. Maßnahmen im Sinne des § 2 Abs. 7 oder 8 des Bundes-Bodenschutzgesetzes können bereits dann erforderlich sein, wenn im Einzelfall alle bei der Ableitung eines Prüfwertes nach Anhang 2 angenommen ungünstigen Umstände zusammentreffen und der Gehalt oder die Konzentration eines Schadstoffes geringfügig oberhalb des jeweiligen Prüfwertes liegt.“

(3) Zur Bewertung der von Verdachtsflächen oder altlastverdächtigen Flächen ausgehenden Gefahren für das Grundwasser ist eine Sickerwasserprognose zu erstellen. Wird eine Sickerwasserprognose auf Untersuchungen nach Anhang 1 Nr. 3.3 gestützt, ist im Einzelfall insbesondere abzuschätzen und zu bewerten, inwieweit zu erwarten ist, dass die Schadstoffkonzentration im Sickerwasser den Prüfwert am Ort der Beurteilung überschreitet. Ort der Beurteilung ist der Bereich des Übergangs von der ungesättigten in die gesättigte Zone.“

2.2 Definitionen

Boden ist die obere Schicht der Erdkruste [...] einschließlich der gasförmigen und flüssigen Bestandteile (Bodenlösung) allerdings ohne Grundwasser und Gewässerbetten. Er ist Teil der ungesättigten Zone und erfüllt verschiedene Funktionen im Naturhaushalt (§ 2 Abs. 1 und 2 BBodSchG (2012)).

Als **ungesättigte Zone** oder auch **Deckschicht** wird im Zusammenhang mit der Sickerwasserprognose der gesamte Bereich oberhalb des Grundwassers einschließlich des Bodens bezeichnet.

Grundwasser (GW) wird nach DIN 4049 (1992) definiert als unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschließlich oder nahezu ausschließlich von der Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird.

Grundwasserabstrom: hier: das Grundwasser, das von einer altlastverdächtigen Fläche/Verdachtsfläche abströmt und ggf. Schadstoffe transportiert.

Grundwasserzustrom (auch: Grundwasseranstrom): hier: das Grundwasser, das einer altlastverdächtige Fläche/Verdachtsfläche zuströmt und dort ggf. Schadstoffe aufnimmt.

Der **Kapillarsaum** ist der schmale Übergangsbereich zwischen ungesättigter Zone und Grundwasser. Der **Ort der Beurteilung (OdB)** liegt in diesem Übergangsbereich ohne Durchmischung mit dem Grundwasser.

Das **Kontaktgrundwasser** ist der engere Einmischungsbereich des belasteten Sickerwassers mit dem Zustrom des Grundwassers unterhalb der Grundwasseroberfläche.

Neben den oben genannten Begriffen spielen auch die verschiedenen Arten des Wasserflusses eine wesentliche Rolle bei der Sickerwasserprognose.

Präferenzielle Flüsse finden in Bereichen höherer Durchlässigkeit (Risse, Regenwurmgänge, etc.) oder in Bereichen verstärkten Wasserzuflusses (Bodenvertiefungen, Undichtigkeiten der Versiegelung, etc.) in Lockergestein oder Boden statt.

Kluftwasser füllt die Hohlräume von Festgestein. Sind die Hohlräume untereinander verbunden und ist eine Grundwasserströmung vorhanden, können in diesen Bereichen sehr hohe vertikale Wasserleitfähigkeiten erreicht werden.

Hangwasser ist temporär auf dichteren Schichten oder Horizonten gestaut Wasser, das der Schwerkraft folgend hangabwärts fließt. Die temporäre Bildung von Hangwasser hängt vor allem vom Niederschlag und den Schicht-/Horizontfolgen in der ungesättigten Zone ab.

Sickerwasser: perkolierendes Wasser, das bereits den Schadstoffherd verlassen hat.

Sickerwasserprognose: Abschätzung der von einer Verdachtsfläche, altlastverdächtigen Fläche, schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgehenden oder in überschaubarer Zukunft zu erwartenden Schadstoffeinträge über das Sickerwasser in das Grundwasser, unter Berücksichtigung von Konzentrationen und Frachten und bezogen auf den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Zone.

Stagnationswasser: das sich in einem Schadstoffherd befindende freie Wasser, welches z.B. in ein Bohrprofil eintritt und als Probe entnommen werden kann (nicht zu verwechseln mit Sickerwasser).

3 Grundlagen der Sickerwasserprognose

Im Rahmen der orientierenden Untersuchung ist die Konzentration am Ort der Beurteilung durch eine Sickerwasserprognose abzuschätzen. Die vorliegende Arbeitshilfe beschreibt vor allem die Vorgehensweise im parallel entwickelten Excel-Tool SIWA-SP. Sie umfasst kein festes Standardprogramm, sondern beschreibt geeignete Verfahrensweisen und Verfahren, um eine Sickerwasserprognose im Rahmen der orientierenden Untersuchung durchzuführen.

Ob ein Schadstoff den Ort der Beurteilung erreicht, hängt unter anderem von der anfallenden Sickerwassermenge, der Mächtigkeit und Durchlässigkeit der Deckschichten aber auch vom Migrations-, Sorptions- und Abbauverhalten der Schadstoffe ab.

Die Durchführung einer Sickerwasserprognose setzt demnach die Kenntnis verschiedener (hydro)geologischer und bodenkundlicher Standortdaten sowie der Schadstoffzusammensetzung und des Schadstoffpotentials voraus.

Ein bestimmtes Verfahren zur Durchführung der Sickerwasserprognose wird in der BBodSchV (2012) nicht vorgeschrieben. Es erfolgt lediglich der Hinweis, dass es sich um praxiserprobte Verfahren handeln soll.

Mit Unterstützung der vorliegenden Arbeitshilfe sollen nachvollziehbare und vergleichbare Prognosen im Rahmen von Einzelfallbetrachtungen erstellt werden. Die Arbeitshilfe besteht aus zwei Teilen:

- Der Textteil („**Sickerwasserprognose bei der orientierenden Untersuchung** – Arbeitshilfe für die strukturierte Sickerwasserprognose“) enthält die Inhalte, Hintergründe und vorgeschlagenen Bewertungen für die strukturierte Sickerwasserprognose sowie Hinweise zu Sonderfällen.
- Das Excel-Tool (**SIWA-SP**) fragt die relevanten Informationen strukturiert beim Nutzer ab und schlägt aufgrund der Einzelfalldaten eine nachvollziehbare Bewertung vor. Stoffdaten zu Mobilität und Abbauverhalten sind bereits in SIWA-SP hinterlegt.

Das Tool SIWA-SP ist in die Eingabebereiche „Standortspezifischer Grundwasserschutz“, „Schadstoffeigenschaften“ und „Schadstoffbelastung“ gegliedert.

Der „Standortspezifische Grundwasserschutz“ der ungesättigten Zone umfasst die in der BBodSchV (2012) genannten Faktoren Grundwasserflurabstand, Bodenart, Gehalt an organischer Substanz (Humusgehalt), pH-Wert und Grundwasserneubildungsrate / Sickerwasserrate.

Die „Schadstoffeigenschaften“ werden anhand im Programm hinterlegter stoffspezifischer Mobilitäts- und Abbaueigenschaften (BBodSchV, 2012) ermittelt. Hierbei spielt beispielsweise die Stärke der Sorption an die Ton- bzw. Humusfraktion im Boden eine wichtige Rolle, die für viele Schadstoffe vom pH-Wert abhängig ist.

Die „Schadstoffbelastung“ ist im Programm definiert als das Verhältnis von Quellkonzentration zu Prüfwert.

Durch die Trennung der Eingabebereiche in SIWA-SP lassen sich neue Erkenntnisse leicht in die vorhandene Struktur integrieren und bereits vorhandene Sickerwasserprognosen aktualisieren.

Mit SIWA-SP kann eine Sickerwasserprognose ausschließlich für den vertikalen Transport von wässrig gelösten Schadstoffen von der Unterkante des Schadstoffherdes bis zur Oberfläche des Grundwassers erstellt werden. Für diesen Fall werden alle relevanten Daten auf dem Niveau einer OU abgefragt. Mithilfe der Eingaben wird ein qualifizierter Bewertungsvorschlag erstellt, der eine Gefährdungsabschätzung auch für die Zukunft beinhaltet. Nicht abgebildet werden Prozesse wie z.B. präferenzielles Fließen oder partikelgebundener Transport.

Für andere Fallkonstellationen wie z.B. Rückrechnung aus Grundwasserproben, Schadstofftransport in Phase, Zutritt von Hangwasser ist, soweit möglich, ein vereinfachter eigener Bewertungspfad implementiert, für den aber in jedem Fall weitere, nicht in SIWA-SP berücksichtigte Informationen benötigt werden. Für diese Fallkonstellationen muss daher die fachliche Bewertung außerhalb des SIWA-SP-Tools erarbeitet und begründet werden. Das Tool kann in diesen Fällen zur Dokumentation benutzt werden.

Arbeitshilfe und Excel-Tool gelten für altlastverdächtige Flächen und Verdachtsflächen auf der Stufe der OU mit kleinräumigem Schadstoffeintrag und sind nicht geeignet bei flächigen Grundwasserbelastungen wie z.B. diffusen Nitrateinträgen aus der Landwirtschaft.

4 Vorgehensweise

Für die sachgerechte Planung und Durchführung von Untersuchungen werden ausführliche Hinweise u.a. in der Arbeitshilfe „Qualitätssicherung“ des Altlastenausschusses der LABO gegeben (ALA, 2002), sowie in den „Anforderungen an ein Gutachten zur Altlastenuntersuchung“ (LUBW, 2014). Vor der Durchführung von Untersuchungen zur Sickerwasserprognose werden alle bereits zum Standort verfügbaren Daten und Erkenntnisse ausgewertet. Aus regionalen Kartenwerken werden die bodenkundlichen, geologischen und hydrogeologischen Daten für die Fläche zusammengestellt. Für Baden-Württemberg ist hierzu Kartenmaterial mit Erläuterungen und ein Kartenviewer verfügbar (<https://produkte.lgrb-bw.de>). Topographische Lage und Klima, sowie das für die Branche spezifische Schadstoffinventar gehören ebenfalls zu den grundlegenden Daten, die eine Standortcharakterisierung und eine darauf folgende Sickerwasserprognose ermöglichen. Auf Grundlage dieser Informationen kann eine erste Einschätzung über mögliche Schadstoffausbreitungen ins Grundwasser am Standort erfolgen. Über Analogiebetrachtungen können Ergebnisse von Standorten mit vergleichbaren bodenkundlich-geologischen Verhältnissen und Schadstoffspektren verwendet werden. Im Einzelfall kann hiermit bereits ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer Altlast begründet werden und die zuständige Behörde eine Detailuntersuchung anordnen.

In der Regel sind für eine Sickerwasserprognose Untersuchungen erforderlich. Auf der Basis der Standortcharakterisierung ist durch die zuständige Behörde oder durch den Bearbeiter ein standortspezifisches, gestuftes Untersuchungskonzept zu erstellen, in dem die erforderlichen Maßnahmen beschrieben und begründet sind.

Die folgenden Kapitel stellen den Bearbeitungsweg einer Sickerwasserprognose in Einzelschritten vor. Das Excel-Tool SIWA-SP automatisiert den vorgestellten Weg. Abbildung 1 gibt einen Überblick über das Konzept und die in SIWA-SP verwendeten Kategorien. Weiterführende Hinweise und Sonderfälle sind in Kapitel 5 aufgeführt. Behandelt werden dort z.B. Messungen im Grundwasser, Vorliegen einer eigenen organischen Schadstoffphase oder Zutritt von Hangwasser in die altlastverdächtige Fläche / Verdachtsfläche.

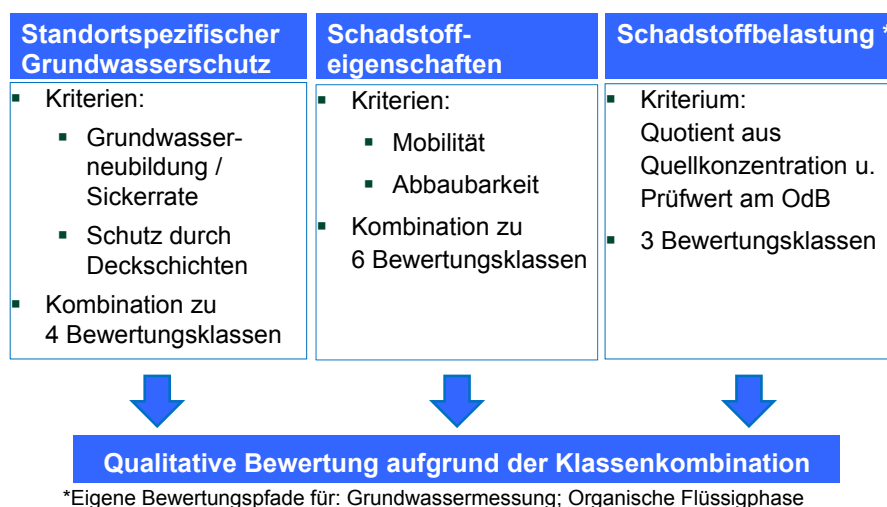


Abb. 1: Konzept und Kategorien von SIWA-SP

4.1 Kategorie Standortspezifischer Grundwasserschutz

Die Grundwasserneubildung (oder Sickerwasserrate) und der Schutz durch Deckschichten an einem Standort werden in SIWA-SP durch das Merkmal Standortspezifischer Grundwasserschutz beschrieben.

Benötigt werden folgende Angaben:

- Sickerwasserrate
- Größe der Verdachtsfläche
- Mächtigkeit der Horizonte und Schichten nach KA 5 (Adhoc AG Boden, 2005)
- Organische Substanz

4.1.1 Grundwasserneubildung / Sickerwasserrate

Die Menge des Sickerwassers wird mithilfe der Grundwasserneubildung und des Versiegelungsgrades abgeschätzt. Hierzu wird die interaktive Karte zur Grundwasserneubildung im Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (WaBoA, 2012) benötigt.

Ein alternativer Zugang zu Daten der Grundwasserneubildung besteht über die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (<http://geoviewer.bgr.de>) und die dort hinterlegte Karte (BGR Grundwasser: HAD Karte 5.5 Grundwasserneubildung). Hilfsweise kann auch die Karte in Anhang 8.1 benutzt werden.

Im Wasser- und Bodenatlas (WaBoA, 2012) ist für ganz Baden-Württemberg die jährliche Grundwasserneubildung (=Sickerwasserrate) in 50 mm-Klassen auf einem 500*500 m-Raster abgebildet. Hier können die Sickerwasserraten für den Ort der altlastverdächtigen Fläche/Verdachtsfläche abgelesen werden. Die Sickerwasserrate sollte dann den lokalen Verhältnissen angepasst werden. Dazu werden Änderungen gemäß Tabelle 1 vorgeschlagen.

Die Grundwasserneubildung auf einer altlastverdächtigen Fläche/Verdachtsfläche ergibt sich somit aus der natürlichen Grundwasserneubildung unter Berücksichtigung des Korrekturwertes.

Tab. 1: Anpassungen und Korrekturen des WaBoA-Wertes:

Standortverhältnisse	Änderung WaBoA-Wert [mm/a]
begrünt, bewachsen	+/- 0
unbewachsen, unversiegelt	+ 50 bis + 250
teilversiegelt oder teilentwässert	- 50 bis - 250
voll versiegelt / voll entwässert	keine GW-Gefährdung*

* Wenn Hangwasser und organische Schadstoffphase ausgeschlossen werden können

LUBW

Eine vollständige Versiegelung schließt eine Kontamination des Grundwassers aus, wenn kein seitlicher Zutritt von Hangwasser erfolgt. Fehlender Bewuchs und grobes abgelagertes Material erhöhen hingegen die Sickerwassermengen. Beides kann durch entsprechende Anpassungen in SIWA-SP berücksichtigt werden.

Nach Eingabe und Korrektur des Wertes aus dem Wasser- und Bodenatlas (WaBoA, 2012) wird durch das Programm ein Wassermengenfaktor berechnet, der die Grundwasserneubildung am Standort widerspiegelt (Tabelle 5 mit Beispiel siehe Anhang 8.2).

Anmerkungen:

- Eine weitere Verbesserung der Abschätzung der natürlichen Sickerrate ist nur durch lokale Messstellen möglich.
- Insbesondere in abschüssigem Gelände muss geklärt werden, ob ein Zutritt von Hangwasser in den Bereich der altlastverdächtigen Fläche/Verdachtsfläche „nicht vorhanden“, „möglicherweise vorhanden“ oder „vorhanden“ ist (Kapitel 5.6). Je nachdem, ob der kontaminierte Körper durchflossen oder unterströmt wird, kann Hangwasser zu erheblichen Mehrausträgen oder zu Verdünnungseffekten führen.
- Zur Berechnung der Quellstärke und der Fracht muss die Größe der altlastverdächtigen Fläche/Verdachtsfläche angegeben werden.

4.1.2 Schutz durch Deckschichten

Im nächsten Schritt wird die Geologie zwischen Schadstoffherd und Ort der Beurteilung betrachtet. Für diese Betrachtung werden folgende Informationen benötigt: die Anzahl der Horizonte, die jeweiligen Horizontmächtigkeiten, die Boden- oder Gesteinsart nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (Adhoc AG Boden, 2005), der Kies-/Steingehalt, die Struktur der am Standort vorhandenen Festgesteine, der Anteil an organischem Kohlenstoff sowie der Kalkgehalt bzw. pH-Wert. Ein Formblatt für eine Bohrprofilaufnahme im Gelände, die alle für die Sickerwasserprognose relevanten Parameter erfasst, findet sich in Anhang 8.3.

Die Lockergesteine und Böden werden entsprechend ihrer leicht bestimmbaren Ton- und Schluffgehalte eingruppiert. Diese Größen korrelieren mit den Feldkapazitäten, Wasserleitfähigkeiten und Sorptionsplätzen der verschiedenen Materialien. In Lockergesteinen und Böden gibt es Zuschläge in Bezug auf die Erhöhung der Schutzfunktion durch humose Schichten/Horizonte und Abschlüsse bei zunehmenden Steingehalten. Relevant sind demnach vor allem die Art des Feinbodens (Textur), der Humusgehalt und der Anteil an Grobboden (Skelett- oder Steingehalt > 2 mm). Organische Substanz (Humus) wird berücksichtigt, wenn sie im Verlauf der Sickerstrecke auf mindestens 0,2 m sichtbar ist. In SIWA-SP erfolgen die Klassifizierungen zum Einfluss von Humus und Skelettgehalt nach Eingabe der Daten automatisch im Hintergrund. Die Berücksichtigung von Humus und Skelettgehalt wird in Anhang 8.5 anhand von Beispielen erläutert.

Bei Festgesteinen sind die Gesteinsart und deren Struktur (Verwitterung, Klüftigkeit, Verkarstung) ausschlaggebend. In SIWA-SP wird die Schutzfunktion von Festgestein konservativ eingeschätzt. 10 bis 30 m Festgestein entsprechen ca. einem Meter Lockergestein mit korrespondierender Textur (Tonstein - Ton; Mergelstein - Schluff; Sandstein - Sand). Dabei wird berücksichtigt, dass oberflächennahe Gesteine häufig geklüftet sind und große, dichte (geringleitende) Festgesteinskörper i.d.R. Grundwasserstauer sind, also unter dem Grundwasser liegen.

Im Programm führen die Angaben zu einer qualitativen Klasseneinteilung der Deckschichten. Hierfür wurde ein Ansatz nach Hölting et al. (1995) modifiziert. Dieser arbeitet mit Relativzahlen, den sogenannten Deckschichtenpunkten. Die Deckschichtenpunkte lassen sich aus Tabelle 9 in Anhang 8.4 bestimmen, in SIWA-SP sind diese bereits im Programm hinterlegt. Ein hoher Wert in dieser Kategorie bedeutet einen hohen Schutz, aus dem dann auch eine hohe Schutzklasse abgeleitet wird.

4.1.3 Ermittlung des Standortspezifischen Grundwasserschutzes aus Grundwasserneubildung und dem Einfluss der Deckschichten

In Abbildung 2 sind die einzelnen Einflussfaktoren zur Klassifizierung der Kategorie Standortspezifischer Grundwasserschutz dargestellt.

Die Verweildauer in der ungesättigten Zone ist abhängig von der Grundwasserneubildung / Sickerwasserrate und dem Schutz durch geologische Deckschichten. In SIWA-SP wird dies mit einer Gesamtschutzzahl ausgedrückt, die durch Multiplikation des Wassermengenfaktors W (Tabelle 5, Anhang 8.2) mit den Deckschichtenpunkten (Tabelle 9, Anhang 8.4) berechnet wird. Ein hoher Wert entspricht einem hohen Standortspezifischen Grundwasserschutz (Tabelle 2).

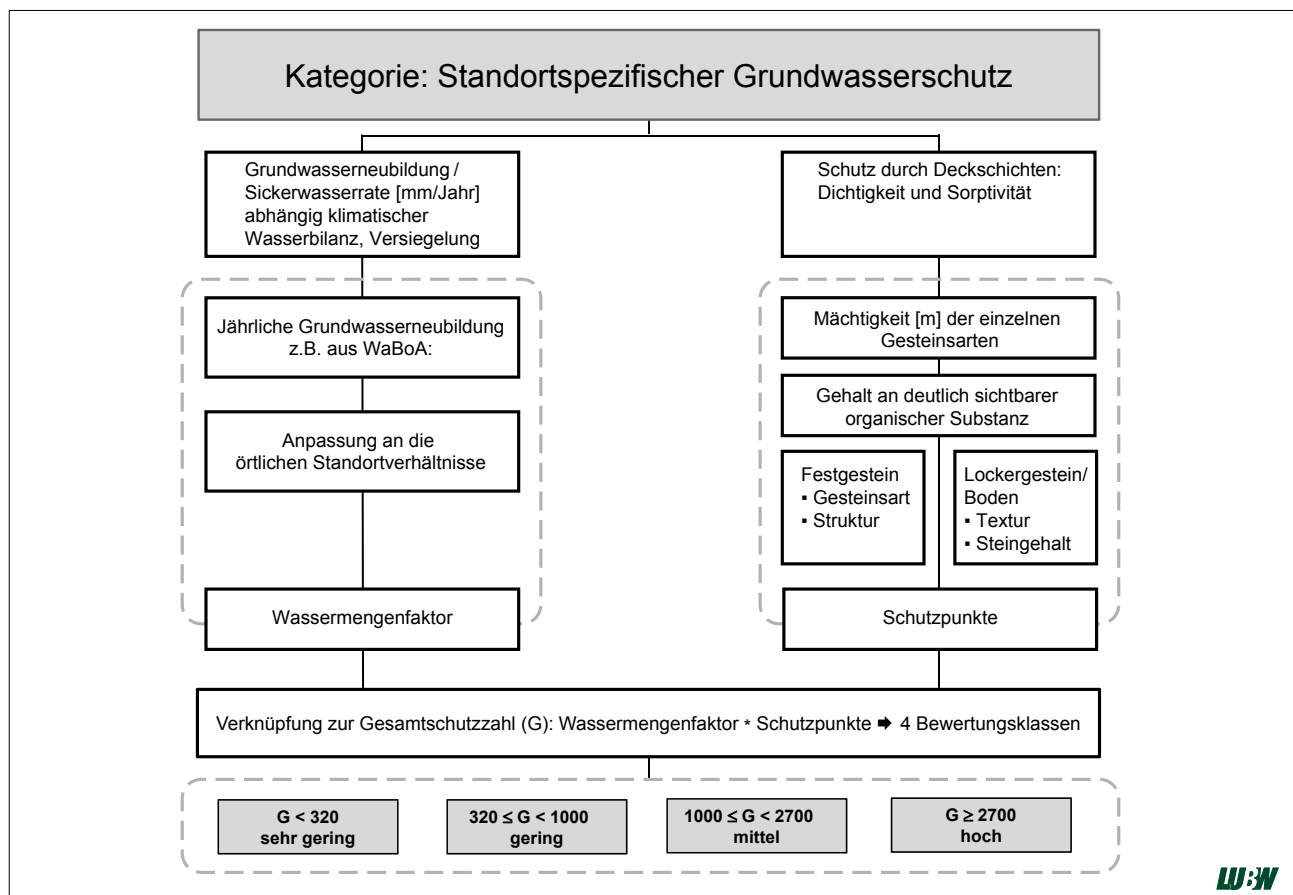
Tab. 2: Ableitung der standortspezifischen Schutzklasse

(Wassermengenfaktor * Deckschichtenpunkte)	Standortspezifischer Grundwasserschutz
< 320	sehr gering
< 1000	gering
< 2700	mittel
≥ 2700	hoch

LUBW

4.2 Kategorie Schadstoffeigenschaften

In der folgenden Kategorie werden die am Standort analysierten Schadstoffe berücksichtigt. In SIWA-SP können typische, altlastenrelevante Schadstoffe aus einer Tabelle ausgewählt werden. Aufgelistet sind die Schadstoffe und Schadstoffgruppen, für die Prüfwerte nach BBodSchV (2012) oder vergleichbar abgeleitete Werte vorliegen. Die Schadstoffe werden anhand ihrer Persistenz und Mobilität eingestuft. Diese Eigenschaften sind bereits im Programm hinterlegt.



LUBW

Abb. 2: Kriterien zur Klassifizierung der Standortspezifischen Grundwasserschutz aus Grundwasserneubildung, Gesteins- und Bodeneigenschaften

4.2.1 Persistenz von Schadstoffen

Kriterium für die Persistenz von organischen Schadstoffen in SIWA-SP ist die Abbau-Halbwertszeit in Jahren ($t_{1/2}$) nach US EPA (2011). In SIWA-SP wird die Abbaubarkeit in zwei Stufen eingeteilt: persistent und abbaubar. Auch wenig oder mäßig abbaubare Substanzen werden als persistent eingestuft, da der Abbau unter Feldbedingungen meist deutlich unterhalb der experimentell ermittelten Abbauraten liegt. Verbindungen, deren Hauptabbauprodukte wiederum Schadstoffe sind, werden ebenfalls als „persistent“ eingruppiert (z.B. Phenole, BTEX, LHKW).

4.2.2 Mobilität von Schadstoffen

Kriterium für die Mobilität von Schadstoffen in SIWA-SP sind die Sorptionskoeffizienten (K_d) die im Rahmen eines BMBF-Projektes an Böden von 133 Standorten aus allen Bodenregionen Deutschlands ermittelt wurden (Utermann et al. (2005)). Der Sorptionskoeffizient ist insbesondere bei den Schwermetallen pH-abhängig. Daher kann ein und dasselbe Schwermetall je nach pH-Wert als

„sehr mobil“ oder „wenig mobil“ eingruppiert werden. Dabei steigt die Mobilität der klassischen, kationischen Schwermetalle wie zum Beispiel Blei und Zink bei sinkendem pH-Wert. Im Gegensatz dazu steigt die Mobilität der als Oxo-Anionen vorliegenden Spurenmetalle wie Arsen oder Antimon bei steigendem pH-Wert. Bei Schwermetallen wird in SIWA-SP die Angabe des pH-Wertes im Eluat gefordert. Ist dieser Wert nicht bekannt, wird ein pH-Wert von 5 angenommen, ist eine kalkhaltige Schicht im Boden zu erwarten, ein pH-Wert von 7.

4.2.3 Ermittlung der Schadstoffeigenschaften aus den Kriterien Persistenz und Mobilität

Die Klassifizierung der Schadstoffeigenschaften innerhalb von SIWA-SP wird in Abbildung 3 verdeutlicht. Die Kombination der beiden Kriterien Persistenz und Mobilität führt zur Einteilung in sechs Bewertungsklassen. Die Ermittlung dieser Klassen erfolgt in SIWA-SP automatisch durch die Auswahl des Stoffes oder der Stoffklasse.

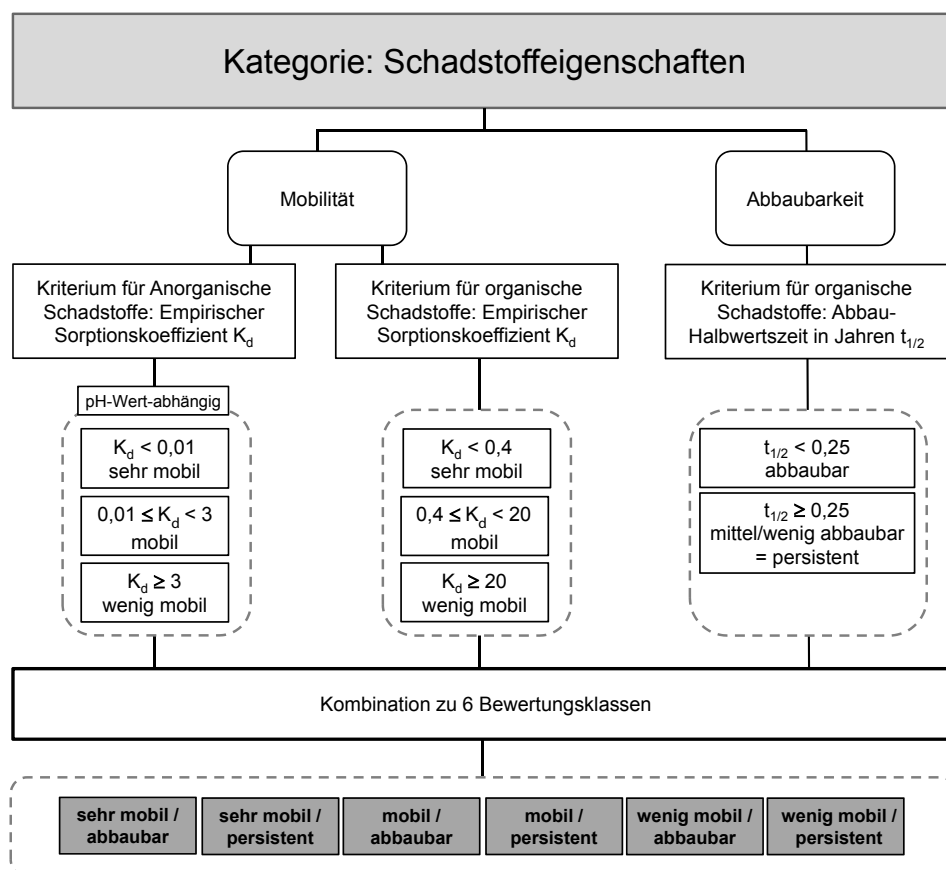


Abb. 3: Kriterien zur Klassifizierung der Schadstoffeigenschaften

4.3 Kategorie Schadstoffbelastung

Die Kategorie Schadstoffbelastung beschreibt das Verhältnis der Quellkonzentration zum Prüfwert. Bei der Eingabe der Konzentrationen in SIWA-SP muss angegeben werden, wie die Schadstoffe am Standort gemessen wurden. Für eine Sickerwasserprognose kommen unterschiedliche Orte der Beprobung infrage:

- direkt im Schadensherd können Boden-, Bodenluftproben oder Stagnationswasser entnommen werden,
- in der ungesättigten Zone unterhalb der altlastverdächtigen Fläche / Verdachtsfläche kann Sickerwasser entnommen werden,
- oder die Beprobung findet im Grundwasser oder Kapillarsaum statt.

Die unterschiedlichen Verfahren zur Probennahme sind in Kapitel 7 zusammen mit methodischen Hinweisen beschrieben. In SIWA-SP sind für die einzelnen Schadstoffe bereits sinnvolle Verfahren zur Probennahme hinterlegt. Zum Beispiel sollten leichtflüchtige Substanzen über Bo-

denluftproben und nicht mithilfe des 2:1 Schütteleluats bestimmt werden. Die in Kapitel 7 beschriebenen Verfahren sind nicht als einander ausschließende Alternativen zu sehen. Je nach Schadstoffbelastung müssen mehrere Verfahren miteinander kombiniert werden. Kein Verfahren kann pauschal empfohlen werden. Der Bearbeiter muss entscheiden, welches Verfahren oder welche Verfahrenskombination unter den lokalen Gegebenheiten sinnvoll und geeignet ist.

4.3.1 Quellkonzentration

Die Quellkonzentration ist die im Sickerwasser gelöste Menge Schadstoff [$\mu\text{g/l}$] direkt im Schadensherd. Sie kann in-situ gemessen, anhand von Eluatuntersuchungen abgeschätzt oder mithilfe von Bodenluftkonzentrationen berechnet werden. In SIWA-SP wird die im Eluat gemessene Konzentration direkt eingegeben. Bei Bodenluftproben werden die gemessenen Werte eingegeben und automatisch über die Henry-Konstante in Sickerwasserkonzentrationen umgerechnet.

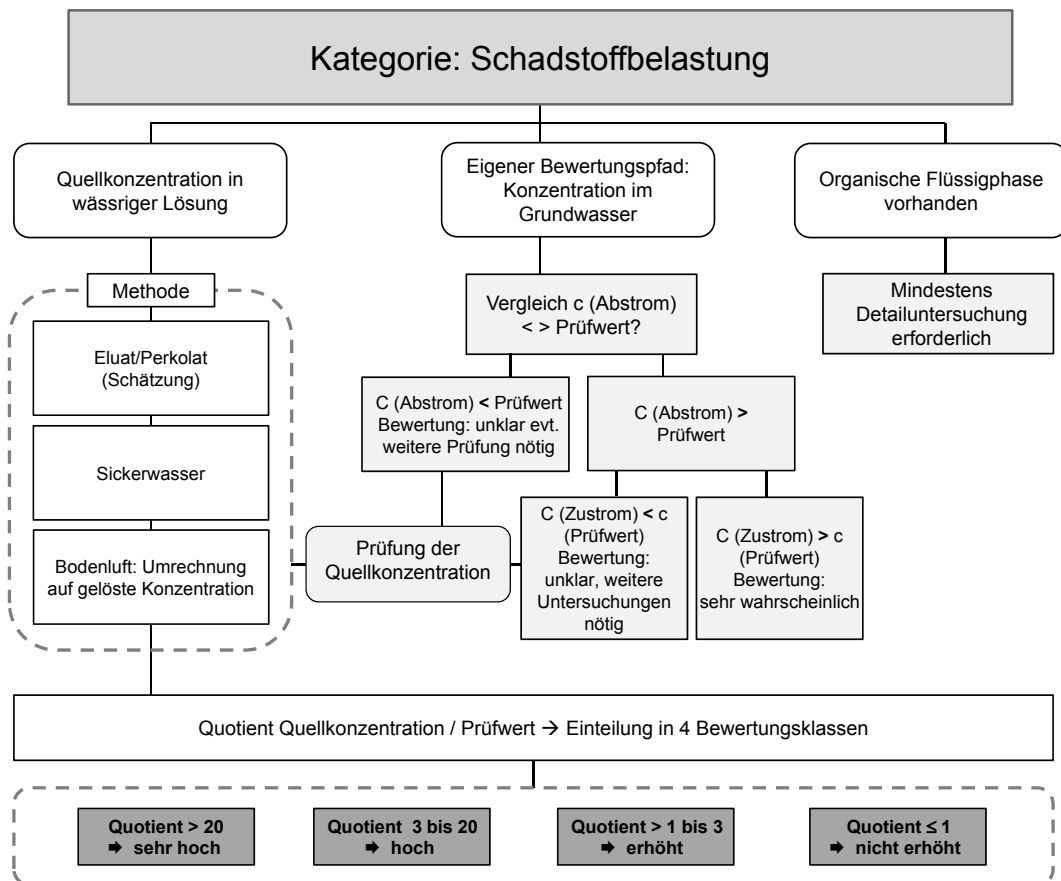


Abb. 4: Umgang mit unterschiedlichen Methoden der Konzentrationsmessung und Kriterien zur Klassifizierung der Schadstoffbelastung

Das Programm berechnet dann den Quotienten aus Quellkonzentration und Prüfwert. Abhängig von diesem Wert, wird die Schadstoffbelastung in folgende Klassen eingeteilt (Tabelle 3):

Tab. 3: Die Schadstoffbelastung wird berechnet aus dem Quotient Quellkonzentration und Prüfwert der BBodSchV (2012)

Quellkonzentration / Prüfwert	Schadstoffbelastung
≤ 1	nicht erhöht
1 bis < 3	erhöht
3 bis < 20	hoch
≥ 20	sehr hoch

LU:W

Nach Angabe des genutzten Probennahmeverfahrens muss eine **repräsentative Konzentration** und fakultativ eine **Maximalkonzentration** im jeweiligen Medium (Gasphase, Eluat, Sickerwasser etc.) angegeben werden. Aus dieser Forderung wird bereits ersichtlich, dass sinnvolle Ergebnisse im Rahmen einer Sickerwasserprognose nicht mit einem einzelnen Messwert zu erwarten sind. Die **repräsentative Konzentration** kann beispielsweise der Mittelwert der gemessenen Werte sein. Der Bearbeiter muss entscheiden, welche Form der Statistik im Einzelfall anzuwenden ist. Die repräsentative Konzentration sollte die wahrscheinlichste durchschnittliche Konzentration darstellen.

Wird Gasphase (Bodenluft) beprobt und leichtflüchtige Schadstoffe gemessen, so kann über deren Henry-Koeffizienten (K_H) die jeweilige Gleichgewichtskonzentration im Sickerwasser berechnet werden. In SIWA-SP sind die Daten hierzu bereits hinterlegt.

Schadstoff-Gesamtgehalte werden als Quelltherm bei der Sickerwasserprognose nicht berücksichtigt, weil die gelöste Konzentration daraus nur mit größter Unsicherheit abschätzbar ist.

Anmerkung: In der Kategorie Schadstoffbelastung werden Quellkonzentration und Prüfwert verglichen. Die aus diesem Vergleich resultierenden Klassen beurteilen die Ausgangslage, nicht jedoch die Konzentration am Ort der Beurteilung.

4.3.2 Schadstoffmessung im Grundwasser

Mit Grundwasseruntersuchungen (Kapitel 7.4) kann unter Umständen auf die derzeitige Konzentration am OdB zurückgeschlossen werden. Besonders zu empfehlen ist dieses Vorgehen bei flach anstehendem Grundwasser (je nach Geologie maximal 2-5 Meter) und / oder wenn bereits Messstellen vorhanden sind. Auch wenn die altlastverdächtige Fläche/Verdachtsfläche teilweise im Grundwasser liegt, ist eine Grundwasseruntersuchung sinnvoll.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass Grundwasseruntersuchungen sowie Sickerwasserbeprobungen direkt am OdB keine Prognose über eine zukünftige Entwicklung des Schadstoffeintrags in das Grundwasser ermöglichen. Zur Abschätzung künftiger Entwicklungen am Standort sind evtl. weitere Untersuchungen, wie z.B. Bodenuntersuchungen, nötig.

Ist die Konzentration im Abstrom höher als der Prüfwert und höher als die Konzentration im Zustrom, ist eine Detailuntersuchung (DU) durchzuführen.

4.3.3 Organische Flüssigphase

Bei Vorhandensein einer organischen Flüssigphase gilt in der OU der Anfangsverdacht als bestätigt. Der Fall eines Schadstofftransports in Phase kann NICHT durch das SIWA-SP-Tool berechnet werden. Der Sachverhalt ist durch Vor-Ort-Untersuchungen zu klären. Weitere Hinweise sind in Kapitel 5.1 zu finden.

4.3.4 Kriterien zur Klassifizierung der Schadstoffbelastung

Die Kategorie Schadstoffbelastung beschreibt das Verhältnis der Quellkonzentration zum Prüfwert. Die Quellkonzentration in wässriger Lösung wird durch Eluat / Perkolatuntersuchungen abgeschätzt, im Sickerwasser gemessen oder anhand von Bodenluftkonzentrationen berechnet. Eine gesonderte Berücksichtigung und Bewertung erfahren im Grundwasser gemessene Konzentrationen und der Transport organischer Flüssigphase (Abbildung 4).

4.4 Zusammenfassung

Konzeptionell wird in SIWA-SP zwischen den Kategorien Standortspezifischer Grundwasserschutz, Schadstoffeigenschaften und Schadstoffbelastung unterschieden.

Mithilfe dieser Kategorien wird abgeleitet, ob am Ort der Beurteilung eine Prüfwertüberschreitung „nicht zu erwarten“, „möglich“ oder „sehr wahrscheinlich“ ist (Abbildung 5).

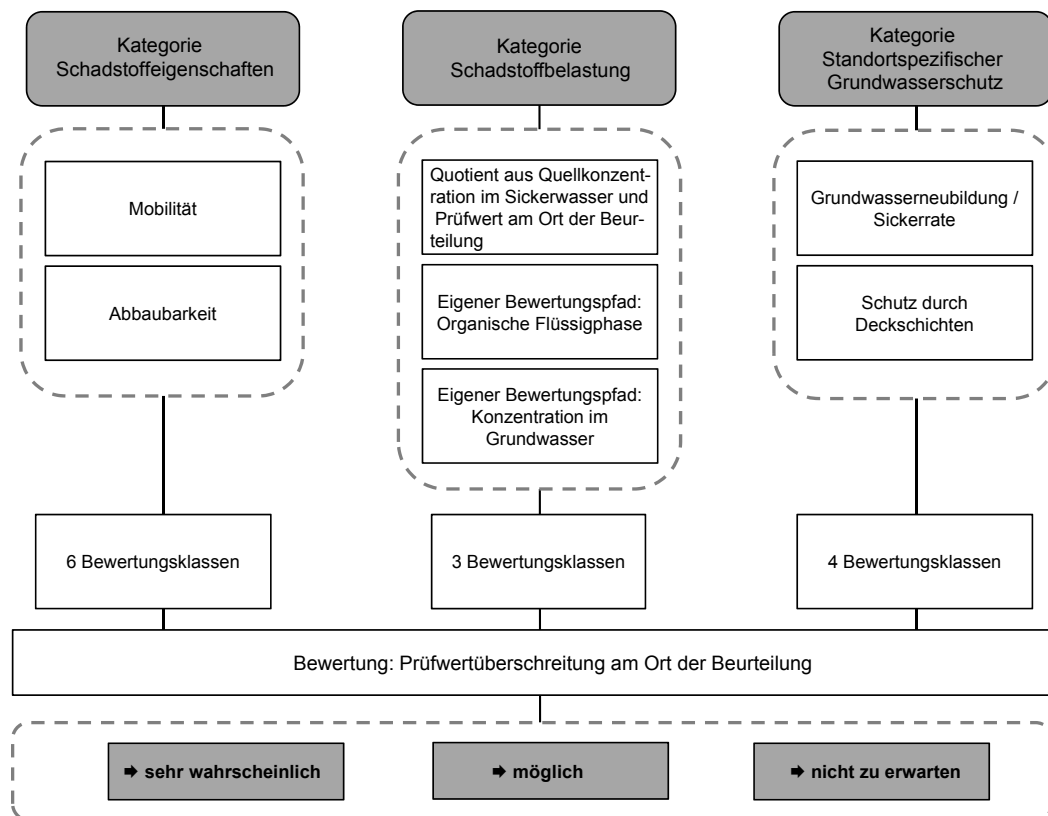
Die Bedingungen am Standort – repräsentiert durch die Kategorie Standortspezifischer Grundwasserschutz – beeinflussen die Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Grundwasserschadens. Der standortspezifische Grundwasserschutz setzt sich aus der Grundwasserneubildung (Sickerwasserrate) und dem Schutz durch Deckschichten zusammen. Dabei korreliert die Grundwasserneubildung sowohl mit den Schadstofffrachten als auch mit der Verweildauer in der ungesättigten Zone. Die Gesteine und deren jeweilige Mächtigkeit korrelieren ebenfalls mit der Verweildauer. Gestein und Verweildauer korrelieren zusätzlich mit der Sorptionsfähigkeit der Deckschichten.

Schadstoffeigenschaften und Schadstoffbelastung ergeben die Ausgangsgefährdung auf der altlastverdächtigen Fläche / Verdachtsfläche.

Für das Merkmal Schadstoffeigenschaften werden die Schadstoffe in kombinierte Mobilitäts- und Abbaubarkeitsklassen eingeteilt. Diese ergeben sich aus den semiempirischen Sorptionskoeffizienten und Abbau-Halbwertszeiten der einzelnen Stoffe.

Das Merkmal Schadstoffbelastung wird bei in Wasser gelöstem Schadstofftransport durch die Quellskonzentration unterhalb der altlastverdächtigen Fläche / Verdachtsfläche repräsentiert. Sie wird mit dem jeweiligen Prüfwert am Ort der Beurteilung verglichen.

Eine gesonderte Berücksichtigung und Bewertung erfahren im Grundwasser gemessene Konzentrationen und das Vorliegen von organischer Flüssigphase (Kapitel 5.1). Für im Grundwasser gemessene Konzentrationen ist ein gesonderter Entscheidungspfad implementiert (Kapitel 4.3.2).



LUBW

Abb. 5: Bewertung aufgrund der Kategorien „Standortspezifischer Grundwasserschutz, Schadstoffeigenschaften und Schadstoffbelastung“

5 Sonderfälle und besondere Aspekte

5.1 Organische Schadstoffphase (Phasentransport)

Der Phasentransport unterscheidet sich **grundsätzlich** vom Transport gelöster Schadstoffe in wässriger Lösung. In der ungesättigten Zone können organische Phasen sowohl mobiler (z.B. CKW) als auch immobil (z.B. Teeröle) als Wasser sein. Im Grundwasserleiter können sie je nach Dichte auf dem Grundwasser aufschwimmen (LNAPL: **light non aqueous phase liquids**) oder sich am Grundwasserstauer sammeln (DNAPL: **dense non aqueous phase liquids**).

Der Phasentransport ist für Schadstoffe, die als eigenständige Flüssigphase vorliegen können, ein Pflichtfeld in SIWA-SP. Dort wird zwischen den Eingabemöglichkeiten „vorhanden“ – „möglich“ – „nicht vorhanden“ unterschieden. Dabei führt „**vorhanden**“ direkt zum Ergebnis der OU, dass eine **Prüfwertüberschreitung** am OdB „**sehr wahrscheinlich**“ ist. Die Auswahl „**möglich**“ führt zu einem Hinweis auf dem Ergebnisblatt, dass dies gesondert untersucht werden sollte. Das Vorhandensein einer organischen Phase und der eigentliche Phasentransport müssen bei der Probennahme vor Ort und im Labor bei der Untersuchung der Proben beachtet werden.

Neben der Mobilität ist die erhöhte Löslichkeit anderer organischer Schadstoffe in der organischen Flüssigphase ein weiterer Aspekt des Phasentransports. Die Mobilität der gelösten Schadstoffe entspricht dann der der organischen Phase. Es werden unter Umständen also mehr Schadstoffe schneller transportiert.

Die Wasserlöslichkeiten der einzelnen Schadstoffe sind in SIWA-SP hinterlegt. Dies dient einem „Plausibilitätscheck“: Das Überschreiten der Löslichkeit ist ein Hinweis, dass eine organische Flüssigphase vorliegen könnte.

5.2 Summenparameter

Für die Gruppe der **LHKW** (Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe) gibt es einen Summengrenzwert. Häufig sind auch die dominanten Spezies bekannt. Entsprechend wird in SIWA-SP bei der Klasseneinteilung in abbaubare und nicht abbaubare LHKW-Fractionen unterschieden. Da insbesondere die persistenten Stoffe auch als dominante Einzelsubstanzen in Altlasten vorkommen, können sie aufgrund ihrer Eigenschaften auch als Einzelstoff bewertet werden. So können sowohl Einzelstoffe als auch Mischbelastungen in SIWA-SP bearbeitet werden.

Bei den **BTEX-Aromaten** (Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol) gibt es eine ähnliche Unterscheidung bezüglich der Mobilität. Benzol und Toluol sind sehr mobil, während Ethylbenzol und Xylol nur als mobil eingestuft werden. Ist die dominante Spezies bekannt, kann diese bei der Bewertung berücksichtigt werden.

Bei den **MKW** (Mineralölkohlenwasserstoffe) kann mithilfe eines GC-fingerprints eingegrenzt werden, welche Mineralölfraction den Hauptbestandteil der Kontamination bildet. Da sich mit zunehmender Kettenlänge hin zu den schwereren Mineralölfractionen Mobilität und Abbaubarkeit verringern, sollte auch hier eine Unterauswahl vorgenommen werden. Bei gemischten MKW-Belastungen (z.B. Diesel + schweres Heizöl) ist der worst case anzunehmen.

Für **BTEX-Aromaten und LHKW** gilt außerdem, dass diese Verbindungen leicht flüchtig sind. Die Bodenluftbeprobung ist hier die geeignetste Methode, um die Konzentration in der Bodenlösung abzuschätzen (Kapitel 7.5). Für beide Gruppen und die jeweiligen Untergruppen sind in SIWA-SP jeweils Henry-Konstanten hinterlegt.

5.3 Redoxmilieu

Das Redoxmilieu beeinflusst das Verhalten der Schadstoffe im Untergrund und sollte nach Möglichkeit vor Ort untersucht werden. Das Redoxmilieu hat Einfluss auf die Mobilität von Schwermetallen und den mikrobiellen Abbau organischer Schadstoffe. Üblicherweise wird von oxidativen Verhältnissen in Anwesenheit von Sauerstoff ausgegangen. Bei höheren organischen Belastungen und feuchten bis nassen Standortverhältnissen liegen meist reduzierende Bedingungen vor. Reduzierende Verhältnisse können bei der Entnahme von Wasserproben häufig durch **nachträgliche** rostfarbene Ausfällungen von Fe-Sesquioxiden (Fe^{2+} -Oxidation zu Fe^{3+} , schwer lösliche Verbindungen) festgestellt werden. Alternativ kann auch direkt das Redoxpotential mit einer Elektrode oder mit einem Redox-Indikator an **frischen** Wässern bei der Probennahme gemessen werden.

5.4 Festgestein

Der Schadstofftransport im Festgestein hängt von der Gesteinsstruktur und damit von der Klüftigkeit und/oder Verkarstung des Gesteins ab. Wichtige Parameter wie die vertikale Leitfähigkeit, die Konnektivität der Klüfte, die Gesamtporosität und die Poren-/Kluftgrößenverteilung sind allerdings im Rahmen einer OU selten bekannt.

Eine Auswertung der Geologie von Baden Württemberg (Geyer et al. (2011)) zeigte, dass vor allem drei Deckschichten aus Festgestein je nach lokaler Ausprägung eine wichtige Schutzfunktion haben können:

- Gipskeuper (und übriger Mittelkeuper), wenn der obere Muschelkalk als relevanter Grundwasserleiter angesehen wird.
- Schwarzer und Brauner Jura: Tonsteine mit geringer mächtigen Sandsteinzwischenlagen.
- Tertiäre Molasse (Albhochfläche, Alpenvorland), wenn Jura (oder Muschelkalk) als relevante Grundwasserleiter angesehen werden.

5.5 Präferenzieller Fluss

Als Präferenzieller Fluss wird der ungleichmäßig verteilte, lokal schnellere Wasser- und Stofftransport entlang von Strukturen meist hoher Leitfähigkeit bezeichnet. Im Boden/Lockergestein nehmen diese Strukturen mit der Tiefe ab, häufig bereits auf dem ersten Meter. Relevant ist das Phänomen an Standorten mit einem Grundwasserflurabstand von wenigen Metern. Der präferenzielle Fluss in Boden/Lockergestein entspricht dem Wasser- und Stofftransport in Klüften der Festgesteine. Durch den präferenziellen Fluss können hohe Schadstoffmengen durch die Deckschichten ins Grundwasser gelangen.

5.6 Hangwasser

Bei Hangwasser sind immer Sonderbetrachtungen nötig. Die Angabe zum Hangwasser ist ein Pflichtfeld beim Standortspezifischen Grundwasserschutz in SIWA-SP. Es wird zwischen den Möglichkeiten „vorhanden“ – „möglicherweise vorhanden“ – „nicht vorhanden“ unterschieden. Dabei führen „**vorhanden**“ und „**möglicherweise vorhanden**“ zu einem Hinweis auf dem Ergebnisblatt, dass dies gesondert untersucht werden sollte und nicht in SIWA-SP berücksichtigt werden kann.

Eine Beurteilung der Auswirkungen des Hangwassers auf die altlastverdächtige Fläche / Verdachtsfläche sind in der OU schwierig. Wichtige Leitfragen dazu sind:

zur Dauer:

- In welchen Zeiträumen fließt Hangwasser?

zur Wassermenge:

- Wie groß ist die Fläche des Gebiets, aus dem Hangwasser der altlastverdächtigen Fläche/Verdachtsfläche zufließt, also das Einzugsgebiet?
- Wie groß ist auf dieser Fläche die Grundwasserneubildung?
- Wie mächtig ist der zeitweise wassergefüllte Horizont und welche gesättigte Wasserleitfähigkeit hat er?

zur Wirkung auf die altlastverdächtige Fläche/Verdachtsfläche:

- Durchfließt das Hangwasser den Schadstoffherd, erhöht die Sickerwassermenge aus der Fläche und wirkt dabei mobilisierend?
- Fließt das Hangwasser unter dem Schadstoffherd hindurch und wirkt dadurch in der ungesättigten Zone bereits verdünnend?

Einige dieser Fragen sollten sich mit Geländeerfahrung am konkreten Ort beantworten lassen. Stauer und Leiter von Hangwasser sind häufig im Bodenprofil oder Bohrkern erkennbar (Sd- und Sw- oder Sg-Horizontmerkmale, seltener Gr- und Go-Merkmale nach KA5). Auf diese Weise kann zumindest die Frage Hangwasser: Ja/Nein beantwortet werden.

5.7 Frachtberechnung

Im Rahmen der Erhebung der Eingangsdaten für das SIWA-SP-Tool werden auch alle Daten erhoben, die für die Berechnung der Fracht $[g/d]$ bezogen auf den Schadensherd E_{SH} benötigt werden. Dieser Wert wird als nicht kommentierter Wert berechnet und dem E_{max} in $[g/d]$, soweit vorhanden, gegenübergestellt.

6 Berechnungs- und Bewertungsbeispiele

6.1 Beispiel 1: Schießplatz

Die an einen Schießplatz angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen sind durch den jahrzehntelangen Schießbetrieb stark mit Bleischrot belastet. Durch die Bodenbearbeitung wurde dieses zusätzlich in der Fläche verteilt und bis in 30 cm Tiefe eingearbeitet.

Mit Gesamtgehalten im Boden von bis zu 6200 mg/kg für Blei, 140 mg/kg für Antimon und 27 mg/kg für Arsen liegt eine hohe Schadstoffbelastung vor.

Die betroffenen landwirtschaftlichen Flächen befinden sich auf geklüftetem Kalkstein (Muschelkalk), der von ca. 2 m Löss überdeckt ist. Der Löss enthält im Unterboden Sekundärkalk, so dass ein pH-Wert von ca. 7 in der Bodenlösung angenommen werden kann. Der Grundwasserspiegel liegt in 41 m Tiefe.

6.1.1 Standortspezifischer Grundwasserschutz

Mithilfe des Bodenatlas Baden-Württemberg (WaBoA, 2012) wird für den Standort eine jährliche Grundwasserneubildung von 170 mm/Jahr ermittelt.

Die 2 m Lössauflage sind in den obersten 30 cm (Pflughorizont) humos und mit einem stark tonigen Schluff (Ut4) tonreicher als der folgende Unterboden mit einem schwach tonigen Schluff (Ut2), (Adhoc AG Boden, 2005). Bis zur Grundwasseroberfläche folgen 39 m Kalkstein, über dessen Klüftigkeit keine näheren Angaben vorliegen. Daher wird für die Struktur der Standardwert („mittel verkarstet“) angenommen.

Aufgrund der Lage im Relief wird das Auftreten von Hangwasser ausgeschlossen.

Weitere Angaben sind zur Beurteilung nicht nötig. Die standortspezifische Schutzklasse wird aufgrund der vorliegenden Daten als „gering“ eingestuft (Abbildung 6).

6.1.2 Schadstoffeigenschaften

Aufgrund des Kalkgehaltes im Löss wird ein pH-Wert von 7 angenommen. Dies führt zu einer Klassifizierung von Antimon als „sehr mobil“, Arsen als „mobil“ und Blei als „wenig mobil“ (Abbildung 7, Tabelle 16 in Anhang 8.8). Alle drei anorganischen Schadstoffe sind persistent.

Grundwasserneubildung					
jährliche Grundwasserneubildung	170	mm/Jahr	(abgeleitet aus WaBoA oder anderen Untersuchungen)	Zu-/Abschläge für Grundwasserneubildung (weitere Informationen in der "Arbeitshilfe Sickerwasserprognose")	
Zu-/Abschläge (fakultativ)		mm/Jahr	(siehe nebenstehende Tabelle)	begrünt, bewachsen	+/-0
korrigierte jährliche Grundwasserneubildung	170	mm/Jahr		unbegrünt, unversiegelt	+50 bis +250
Hangwasser vorhanden?	nicht vorhanden			teilversiegelt oder teilentwässert	-50 bis -250
				voll versiegelt oder voll entwässert (keine Grundwassergefährdung)	Bitte "-9999" eingeben

Größe der Verdachtsfläche bzw. altlastverdächtigen Fläche (fakultativ, zur Berechnung der Quellstärke)	
Größe der Verdachtsfläche (fakultativ)	m ²

Geologie zwischen Schadstoffherd und Ort der Beurteilung	
Schichten bzw. Horizonte zwischen Schadstoffherd (Unterkannte) und Ort der Beurteilung	
Anzahl (bitte auswählen):	3
Schichten mit sichtbarer organischer Substanz (bitte die Mächtigkeit der Schichten addieren, in denen organische Substanz sichtbar ist)	
Mächtigkeit (Summe, fakultativ):	0,3 m

Schicht	Mächtigkeit	Vorauswahl Gestein	Boden- bzw. Gesteinsart	Struktur	Skelettanteil [%]
Schicht 1	0,3 m	Feinboden	Ut4 (stark toniger Schluff)		
Schicht 2	1,7 m	Feinboden	Ut2 (schwach toniger Schluff)		
Schicht 3	39 m	Festgestein	Kalkstein	Standardwert	

standortspezifische Schutzklasse: gering



Abb. 6: Beurteilung des Beispiels in der Kategorie „Standortspezifischer Grundwasserschutz“ (Screenshot SIWA-SP)

Schadstoff	Antimon (Sb)	Arsen (As)	Blei (Pb)
pH-Wert: (zwischen Schadstoffherd und Ort der Beurteilung)		7,0 - kalkhaltige Schicht auf Sickerstrecke -> pH=7; - pH-Wert des Eluates bekannt? -> diesen Wert verwenden; - keine Informationen -> Annahme pH = 5	7,0 - kalkhaltige Schicht auf Sickerstrecke -> pH=7; - pH-Wert des Eluates bekannt? -> diesen Wert verwenden; - keine Informationen -> Annahme pH = 5
Schadstoffeigenschaften	sehr mobil/persistent	mobil/persistent	wenig mobil/persistent



Abb. 7: Beurteilung des Beispielfalles in der Kategorie „Schadstoffeigenschaften“ (Screenshot SIWA-SP)

6.1.3 Schadstoffbelastung

Die Quellkonzentrationen werden anhand der Konzentrationen in 2:1-Extrakten (LABO, 2012a) abgeschätzt. Zur Beurteilung werden die Prüfwerte der BBodSchV (2012) herangezogen (Tabelle 12), diese sind in SIWA-SP bereits hinterlegt.

Für Antimon wurde als repräsentative Konzentration in der Bodenlösung 70 µg/l, als Maximalwert 650 µg/l ermittelt, woraus sich eine „hohe“ bzw. „sehr hohe“ Schadstoffbelastung ergibt (Abbildung 8, Tabelle 3 in Kapitel 4.3.1).

Die Arsenkonzentration in der Bodenlösung beträgt 12 (repräsentativ) bzw. 35 µg/l (Maximalwert), Die Schadstoffbelastung ist somit „erhöht“ bzw. „hoch“ (Tabelle 3, Kapitel 4.3.1).

Genauso wird die Belastungssituation mit Blei beurteilt, was sich aus Konzentrationen von 30 µg/l („erhöht“) bzw. 90 µg/l („hoch“) ergibt (Tabelle 3; Kapitel 4.3.1).

Schadstoff	Antimon (Sb)	Arsen (As)	Blei (Pb)
Schadstoffbelastung			
Methode	Schüttelverfahren (2:1)	Schüttelverfahren (2:1)	Schüttelverfahren (2:1)
gemessene Konzentrationen...	...im Eluat [µg/L]	...im Eluat [µg/L]	...im Eluat [µg/L]
repräsentative Konzentration	70	12	30
Maximalkonzentration	650	35	90
Konzentration...	... im Sickerwasser	... im Sickerwasser	... im Sickerwasser
repräsentative Konzentration [µg/L]	70	12	30
Maximalkonzentration [µg/L]	650	35	90
Prüfwert [µg/L]	10	10	25
Schadstoffbelastung (repräs.)	hoch	erhöht	erhöht
Schadstoffbelastung (Max.)	sehr hoch	hoch	hoch



Abb. 8: Beurteilung der Kategorie „Schadstoffbelastung“ (Screenshot SIWA-SP)

6.1.4 Beurteilung

In Abbildung 9 ist das Ergebnis zusammengefasst, die Prognose kann den beiden unteren Zeilen entnommen werden.

Aus diesen Ergebnissen kann folgende verbal-argumentative Sickerwasserprognose formuliert werden:

Aufgrund der nur geringen Schutzfunktion der Deckschichten und der sehr hohen Schadstoffbelastung des Sickerwassers mit Antimon, das als sehr mobil einzustufen ist, ist eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung sehr wahrscheinlich.

Antimon

Aufgrund der „sehr wahrscheinlichen“ Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung für Antimon ist ein hinreichender Verdacht im Sinne des BBodSchG (2012) §9 (2) begründet. Daher müssen weitere Daten erhoben werden, um eine quantitative Sickerwasserprognose im Rahmen einer Detailuntersuchung (DU) durchzuführen.

Arsen

Die Schadstoffbelastung durch das an diesem Standort mobile Arsen ist im Mittel erhöht, lokal auch hoch. Daher ist aufgrund der geringen Schutzfunktion der Deckschichten eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung an stark belasteten Stellen lokal zu erwarten, für die Gesamtfläche jedoch nicht.

Blei

Zwar ist die Schutzfunktion der Deckschichten nur gering. Jedoch ist die erwartete Schadstoffbelastung des Sickerwassers mit Blei nur leicht erhöht. Außerdem ist Blei bei den hohen pH-Werten der Deckschichten als wenig mobil anzusehen. Daher ist eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung nicht zu erwarten.

Schadstoffbelastung und Bewertung			
Schadstoff	Antimon (Sb)	Arsen (As)	Blei (Pb)
pH-Wert: (zwischen Schadstoffherd und Ort der Beurteilung)		7,0 - kalkhaltige Schicht auf Sickerstrecke -> pH=7; - pH-Wert des Eluates bekannt? -> diesen Wert verwenden; - keine Informationen -> Annahme pH = 5	7,0 - kalkhaltige Schicht auf Sickerstrecke -> pH=7; - pH-Wert des Eluates bekannt? -> diesen Wert verwenden; - keine Informationen -> Annahme pH = 5
Schadstoffeigenschaften	sehr mobil/persistent	mobil/persistent	wenig mobil/persistent
Schadstoffbelastung			
Methode	Schüttelverfahren (2:1)	Schüttelverfahren (2:1)	Schüttelverfahren (2:1)
gemessene Konzentrationen...	...im Eluat [µg/L]	...im Eluat [µg/L]	...im Eluat [µg/L]
repräsentative Konzentration	70	12	30
Maximalkonzentration	650	35	90
Konzentration...	... im Sickerwasser	... im Sickerwasser	... im Sickerwasser
repräsentative Konzentration [µg/L]	70	12	30
Maximalkonzentration [µg/L]	650	35	90
Prüfwert [µg/L]	10	10	25
Schadstoffbelastung (repräs.)	hoch	erhöht	erhöht
Schadstoffbelastung (Max.)	sehr hoch	hoch	hoch
standortspezifische Schutzklasse	gering	gering	gering
Bewertung (Anmerkungen siehe unten)	Antimon (Sb) ist am Ort der Beurteilung...	Für Arsen (As) ist am Ort der Beurteilung...	Für Blei (Pb) ist am Ort der Beurteilung...
Bewertung (repräsentative Konzentration)	eine Prüfwertüberschreitung sehr wahrscheinlich.	... eine Prüfwertüberschreitung nicht zu erwarten.	... eine Prüfwertüberschreitung nicht zu erwarten.
Bewertung (Maximalkonzentration)	eine Prüfwertüberschreitung sehr wahrscheinlich.	... eine Prüfwertüberschreitung möglich.	... eine Prüfwertüberschreitung nicht zu erwarten.

LUBW

Abb. 9: Gesamtbeurteilung (Screenshot SIWA-SP)

6.2 Beispiel 2: Tankstelle

Auf einem Altstandort mit fast vollständiger, aber schadhafter Oberflächenversiegelung wurden in Eluatlen von Proben aus der altlastverdächtigen Fläche Konzentrationen von 500 µg/l Benzin und 1 µg/l PAK (Summe, ohne Naphthalin) gemessen.

und anschließend 18 m Sandstein unbekannter Klüftigkeit an. Die Auswertung von WaBoA (2012) hat ergeben, dass die natürliche Grundwasserneubildung im Gebiet 300 mm beträgt. Aufgrund der Versiegelung wird ein Abschlag von -250 mm vorgenommen. Hangwasser und eine organische Flüssigphase können ausgeschlossen werden.

6.2.1 Standortspezifischer Grundwasserschutz

Mithilfe der Bodenkarte, der geologischen Karte und einer hydrogeologischen Erkundung wurde ermittelt, dass die Grundwasseroberfläche in ca. 20 m Tiefe zu erwarten ist. Darüber stehen ca. 2 m schwach lehmiger Sand (Sl2)

Grundwasserneubildung					
jährliche Grundwasserneubildung	300	mm/Jahr	(abgeleitet aus WaBoA oder anderen Untersuchungen)		Zu-/Abschläge für Grundwasserneubildung (weitere Informationen in der "Arbeitshilfe Sickerwasserprognose")
Zu-/Abschläge (fakultativ)	-250	mm/Jahr	(siehe nebenstehende Tabelle)		
korrigierte jährliche Grundwasserneubildung	50	mm/Jahr			
Hangwasser vorhanden?	nicht vorhanden				
Größe der Verdachtsfläche bzw. altlastverdächtigen Fläche (fakultativ, zur Berechnung der Quellstärke)					
Größe der Verdachtsfläche (fakultativ)		m ²			
Geologie zwischen Schadstoffherd und Ort der Beurteilung					
Schichten bzw. Horizonte zwischen Schadstoffherd (Unterkannte) und Ort der Beurteilung					
Anzahl (bitte auswählen):	2				
Schichten mit sichtbarer organischer Substanz (bitte die Mächtigkeit der Schichten addieren, in denen organische Substanz sichtbar ist)					
Mächtigkeit (Summe, fakultativ):	0,3 m				
Schicht	Mächtigkeit	Vorauswahl Gestein	Boden- bzw. Gesteinsart	Struktur	Skelettanteil [%]
Schicht 1	2 m	Feinboden	Sl2 (schwach lehmiger Sand)		
Schicht 2	18 m	Festgestein	Sandstein	Standardwert	
standortspezifische Schutzklasse: gering					



Abb. 10: Ermittlung der standortspezifischen Schutzklasse bei Berücksichtigung des Festgesteins

6.2.2 Schadstoffeigenschaften

Benzin wird als „sehr mobil und abbaubar“ kategorisiert (Abbildung 11, Tabelle 15, Anhang 8.7)

PAK als Summe, ohne Naphthalin wird als „wenig mobil und persistent“ kategorisiert (Abbildung 11, Tabelle 15, Anhang 8.7)

6.2.3 Schadstoffbelastung

Die Klasse der Schadstoffbelastungen wird durch den Quotienten Quellkonzentration/Prüfwert berechnet. Daraus ergibt sich:

Benzin: $500 / 200 = 2,5 \Rightarrow < 3\text{-fach}$ „erhöht“

(Abbildung 11, Tabelle 3, Kapitel 4.3.1)

PAK: $1 / 0,2 = 5 \Rightarrow 3\text{-}20\text{-fach}$ „hoch“

(Abbildung 11, Tabelle 3, Kapitel 4.3.1)

6.2.4 Beurteilung

Benzin:

Standortspezifischer Grundwasserschutz: „gering“,

Schadstoffklasse „sehr mobil und abbaubar“,

Schadstoffbelastung: „erhöht“

(Bewertung Tabelle 19, Anhang 8.9)

Ergebnis: Eine Prüfwertüberschreitung am OdB ist „möglich“ (Abbildung 11).

PAK-Summe, ohne Naphthalin:

Standortspezifischer Grundwasserschutz: „gering“,

Schadstoffklasse „wenig mobil und persistent“,

Schadstoffbelastung: „hoch“

(Bewertung Tabelle 22, Anhang 8.9)

Ergebnis: Eine Prüfwertüberschreitung am OdB ist „nicht zu erwarten“ (Abbildung 11).

Schadstoffbelastung und Bewertung		
Schadstoff	MKW (Summe)	PAK (Summe, ohne Naphthalin)
Schadstoffphase vorhanden?	nicht vorhanden	nicht vorhanden
Schadstoff-Untergruppe	Benzin	Gesamt
Schadstoffeigenschaften	sehr mobil/abbaubar	wenig mobil/persistent
Schadstoffbelastung		
Methode	Schüttelverfahren (2:1)	Schüttelverfahren (2:1)
gemessene Konzentrationen...	...im Eluat [µg/L]	...im Eluat [µg/L]
repräsentative Konzentration	500	1
Maximalkonzentration		
Konzentration...	... im Sickerwasser	... im Sickerwasser
repräsentative Konzentration [µg/L]	500	1
Maximalkonzentration [µg/L]		
Prüfwert [µg/L]	200	0,2
Schadstoffbelastung (repräs.)	erhöht	hoch
Schadstoffbelastung (Max.)		
standortspezifische Schutzklasse	gering	gering
Bewertung (Anmerkungen siehe unten)	Für MKW (Summe) ist am Ort der Beurteilung...	Für PAK (Summe, ohne Naphthalin) ist am Ort der Beurteilung...
Bewertung (repräsentative Konzentration)	... eine Prüfwertüberschreitung möglich.	... eine Prüfwertüberschreitung nicht zu erwarten.
Bewertung (Maximalkonzentration)		

W:W

Abb. 11: Gesamtbewertung für MKW und PAK

Verbal-argumentative Bewertung:

PAK

Aufgrund der sehr niedrigen Sickerwasserrate kommt es trotz schlecht schützender 20 m mächtiger Deckschichten zu einem, wenn auch „geringen“, Schutz des Grundwassers. Dies führt dazu, dass die „wenig mobilen“ PAK trotz „hoher“ Schadstoffbelastung des Sickerwassers auf dieser Strecke (20 m) in ausreichendem Maß sorbiert werden können. Eine Prüfwert-Überschreitung am OdB ist deshalb „nicht zu erwarten“.

Benzin

Im Gegensatz dazu reicht der „geringe“ Schutz selbst bei nur leicht „erhöhter“ Schadstoffbelastung nicht, um „sehr mobile“ Schadstoffe wie Benzin sicher aufzuhalten. Daher ist eine Prüfwertüberschreitung möglich. Weitere Untersuchungen, z. B. eine Detailuntersuchung, müssen klären, ob der Verdacht einer „möglichen“ Prüfwertüberschreitung ausgeräumt werden kann oder sich erhärtet.

7 Probennahme und Untersuchung

Beschrieben werden Beprobungs- und Untersuchungsverfahren zur Sickerwassercharakterisierung, die im Rahmen einer orientierenden Untersuchung infrage kommen. In Abbildung 12 sind mögliche Probenarten und deren Entnahmeorte dargestellt.

Im Folgenden wird insbesondere auf die Anwendbarkeit und die Grenzen der Anwendung hingewiesen. Eine Übersicht über geeignete Methoden gibt Tabelle 4. Ausführliche Hinweise zu Probennahme, Untersuchungsparameter und -verfahren sowie Mindestanforderungen hinsichtlich gerätetechnischer und materieller Ausstattung bei der qualitätsgesicherten Probennahme sind in LABO (2012a) „Fachmodul Boden und Altlasten“ zu finden.

7.1 Boden- und Materialuntersuchungen

Mittels Boden- bzw. Materialuntersuchungen wird die Menge eines Schadstoffes in einer Bodenprobe bezogen auf die Trockenmasse (TM) im Labor bestimmt und üblicherweise in der Einheit [mg/kg TM] angegeben. Analysenmethoden für anorganische und organische Schadstoffe sind in der BBodSchV (2012) vorgegeben.

Die Methodensammlung des Fachbeirats Bodenuntersuchungen (FBU, 2014) gibt Hilfestellungen bei der Auswahl der anzuwendenden Untersuchungsmethoden.

Referenzverfahren im Sinne der Methodensammlung sind die im Anwendungsbereich der BBodSchV (2012) vorgeschriebenen Verfahren. Alternative Referenzverfahren sind den formal gültigen Referenzverfahren gleichwertig und werden vom FBU für die Vollzugspraxis empfohlen.

Die Gesamtmenge der auf einer Verdachtsfläche insgesamt vorhandenen Schadstoffe kann abgeschätzt werden, wenn das Volumen der kontaminierten Bereiche und die dortige Schadstoffverteilung bekannt ist. Dazu sind Messungen der Schadstoffgehalte in einer ausreichenden Zahl von Bodenproben erforderlich. Der Untersuchungsumfang bei der OU reicht hierfür in der Regel nicht aus, sodass die Gesamtmenge im Rahmen der OU nicht oder nur selten abgeschätzt werden kann.

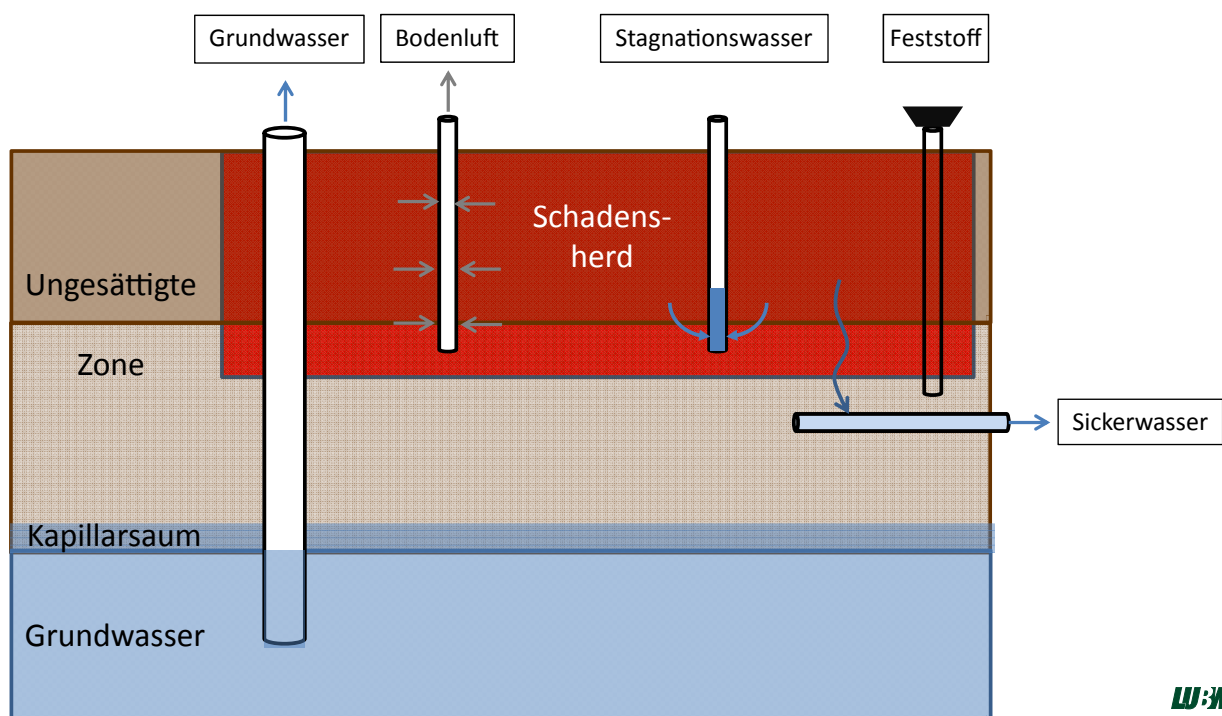


Abb. 12: Art der Probe und mögliche Entnahmeorte

Tab. 4: Methoden für die Probennahme und Untersuchung von Sickerwasser für einzelne Stoffgruppen

	Methode	Verfahren	Literatur
Anorganische Schadstoffe	Elution von Feststoffen	Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg	DIN 19529:2015-12
		Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen	DIN 19528:2009-01
	Entnahme von Stagnationswasser	s. Grundwasser	LUBW (2008)
	Entnahme von Sickerwasser	Saugkerzen/Saugplatten	DWA-M 905 (2012)
		Drainagen	DWA-M 905 (2012)
		Lysimeter	DWA-M 905 (2012)
		Passiv-Adsorber	DWA-M 905 (2012) Bischoff et al. (1997)
	Entnahme von Grundwasser	Rückrechnung auf die Stoffkonzentration im Sickerwasser	LUBW (2008)
Organische Schadstoffe – schwer flüchtig	Elution von Feststoffen	Schüttelverfahren 2:1 (s. oben)	DIN 19529:2015-12
		Säulenversuch (s. oben)	DIN 19528:2009-01
	Entnahme von Stagnationswasser	s. Grundwasser	LUBW (2008)
	Entnahme von Sickerwasser	Saugkerzen/Saugplatten	DWA-M 905 (2012)
		Drainagen	DWA-M 905 (2012)
		Lysimeter	DWA-M 905 (2012)
		Passiv-Adsorber	DWA-M 905 (2012)
	Entnahme von Grundwasser		LUBW (2008)
Organische Schadstoffe – leicht flüchtig	Bodenluft		LfU (2000)
			LABO (2012b)
			DIN10381-7:2007-10
			VDI-Richtlinie 3865 Blatt 1:2005-06
			VDI-Richtlinie 3865 Blatt 2:1998-01
			Reisinger et al. (1996)
			Grathwohl et al. (1997)
	Stagnationswasser	keine Methode zu empfehlen	
	Sickerwasser	Saugkerzen/Saugplatten	DWA-M 905 (2012)
		Drainagen	DWA-M 905 (2012)
		Lysimeter	DWA-M 905 (2012)
		Passiv-Adsorber	DWA-M 905 (2012)
	Grundwasser		LUBW (2008)



7.2 Elutions- und Extraktionsverfahren

7.2.1 Allgemeines

Elutions- und Extraktionsverfahren werden angewendet, um den Schadstoffaustrag mit dem Sickerwasser aus dem Schadensherd abzuschätzen. Als Elutionsmittel der Feststoffproben werden Wasser oder wässrige Lösungen eingesetzt.

Die bisher in der BBodSchV (2012) für die Untersuchungen anorganischer Schadstoffe vorgesehenen Verfahren Bodensättigungsextrakt (Anhang 1 Nr.3.1.2 BBodSchV, 2012) und S4-Verfahren nach DIN 38414-4:1984-10 (1984) werden im Rahmen der Novellierung der BBodSchV durch die Elution mit Wasser mittels Schüttelverfahren oder Säulenschnellverfahren bei einem Flüssigkeits-Feststoffverhältnis 2:1 abgelöst (DIN 19529:2015-12, DIN 19528:2009-01). Das Schüttelverfahren für die Elution organischer Bodenverunreinigungen ist für die Parameter PAK, PCB, MKW und Phenole validiert, das Säulenverfahren für PAK.

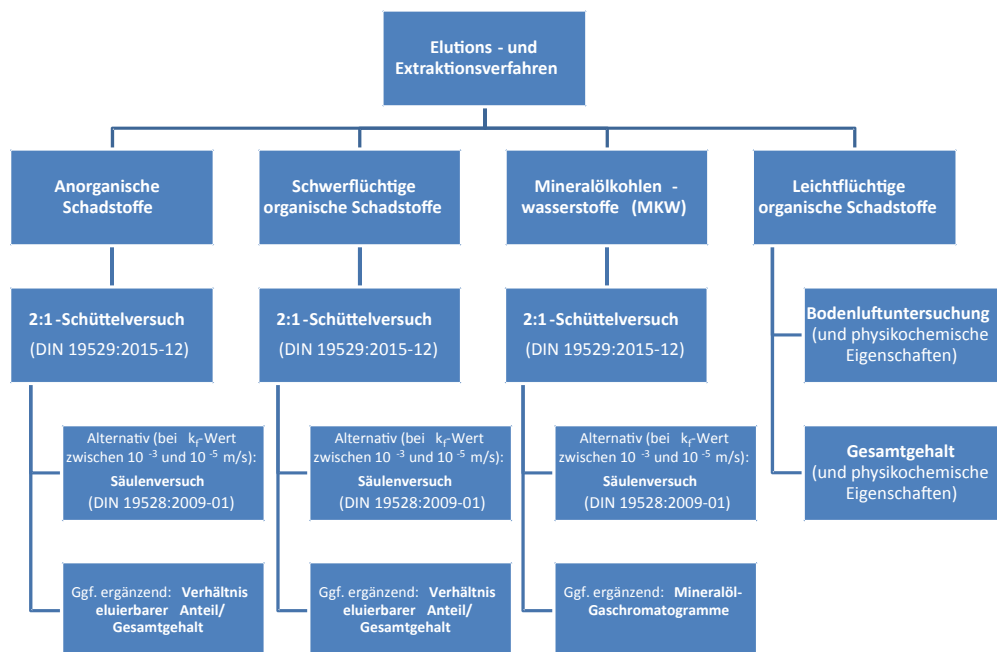
Sind Elutionsuntersuchungen nicht sinnvoll, z.B. bei leichtflüchtigen Schadstoffen (LHKW, BTEX), muss die Sickerwasserprognose hauptsächlich auf den Schadstoffgehalten in den Bodenproben basieren. Für leichtflüchtige organische Schadstoffe (z.B. LHKW und BTEX) wird die Beprobung der Bodenluft mit anschließender

Gleichgewichtsberechnung zur Bestimmung der Gehalte in Lösungsphase empfohlen (Kap. 7.5).

Sollen bei der Untersuchung von Verdachtsflächen Elutions-/Extraktionsversuche durchgeführt werden, ist im Einzelfall zu entscheiden, welches Verfahren für den jeweiligen Standort und Fragestellung geeignet ist (Abbildung 13).

7.2.2 Schüttelversuch oder Säulenversuch?

Generell werden bei der OU Verfahren bevorzugt, die zuverlässig, einfach, schnell und kostengünstig sind. Da das Schüttelverfahren nach DIN 19529:2015-12 in der Regel kostengünstiger ist und vergleichbare Aussagen wie der Säulenversuch liefert, wird dieses Verfahren für **anorganische Schadstoffe** und für **schwerflüchtige organische Schadstoffe** empfohlen. Für Böden mit einem k_f -Wert zwischen 10^{-3} und 10^{-5} m/s ist der Säulenversuch nach DIN 19528:2009-01 in begründeten Fällen ebenfalls geeignet. Die in der DIN 19528:2009-01 empfohlene Zumschung von 80 % Quarzsand bei Säulenversuchen mit bindigen Böden verfälscht die Versuchsbedingungen und ist daher nicht zu empfehlen.



LUBW

Abb. 13: Elutions- und Extraktionsverfahren: Entscheidungspfad für unterschiedliche Schadstoffgruppen.

Für **leichtflüchtige organische Schadstoffe** (v.a. BTEX und LHKW) sind Schüttel- und Säulenverfahren aufgrund der hohen Flüchtigkeit nicht geeignet. Rückschlüsse auf die Konzentrationen im Sickerwasser können entweder durch die Bestimmung der Schadstoff-Gesamtgehalte in der Festphase oder durch eine Analyse der Bodenluft erfolgen.

7.3 Sickerwasserbeprobung

Bodenwasser kann für die Untersuchung der Inhaltsstoffe aktiv mittels Saugkerzen oder Saugplatten oder passiv mittels Drainagen, Lysimetern oder Adsorbern entnommen werden (siehe Merkblatt mit Entscheidungshilfen des DWA (2012)). In-situ-Beprobungen des Sickerwassers liefern die beste Abschätzung der Quellkonzentration. Nachteilig wirkt sich bei allen Verfahren aus, dass Installationen nötig sind, die unter der altlastverdächtigen Fläche/Verdachtsfläche beproben/messen. Dies erfordert Spezialkenntnisse und ist teilweise mit erheblichem Aufwand verbunden. Im Rahmen der OU spielen diese Verfahren aufgrund des hohen Aufwands im Allgemeinen keine Rolle, es sei denn, entsprechende Anlagen sind am Standort bereits installiert.

7.4 Grundwasseruntersuchung und -beurteilung

7.4.1 Allgemeines

Gemäß Anhang 1 Nr.3.3 der BBodSchV (2012) kann der Stoffeintrag am Ort der Beurteilung auf Grundlage von Rückschlüssen oder Rückrechnungen aus Grundwasseruntersuchungen abgeschätzt werden. Grundwasseruntersuchungen haben den Vorteil, ggf. vorhandene Stoffeinträge im Grundwasser integrativ zu erfassen. Bei Grundwasseruntersuchungen ist allerdings nur die derzeitige, nicht jedoch eine mögliche künftige Verunreinigung sichtbar. Um einen zeitlichen Verlauf von Schadstoffeinträgen abzuschätzen, sind häufig weitere Untersuchungen nötig.

7.4.2 Durchführung

Vor der Durchführung von Grundwasseruntersuchungen ist es zwingend notwendig, die hydrogeologischen Standortbedingungen hinreichend genau zu charakterisieren. Nur bei ausreichender Kenntnis der standortspezifischen

hydrogeologischen Bedingungen können Aussagen zur Repräsentativität der Grundwassermessstellen erfolgen.

Grundwasseruntersuchungen sind durchzuführen, wenn bereits repräsentative Messstellen vorhanden sind. Sind keine bzw. keine repräsentativen Messstellen vorhanden, ist im Einzelfall zu entscheiden, ob die Errichtung neuer Messstellen im Rahmen der OU sinnvoll und verhältnismäßig ist. Die Errichtung neuer Messstellen kann insbesondere bei inhomogener Schadstoffverteilung sowie bei geringen Flurabständen sinnvoll sein. Bereits vorhandene Grundwasseruntersuchungen sind bei der Bewertung zu berücksichtigen. Art, Anzahl, Ausbau und Lage der Messstellen sind auf der Basis der standortspezifischen Gegebenheiten festzulegen.

Geeignet für die Sickerwasserprognose auf der Basis von Grundwasseruntersuchungen sind vor allem Grundwassermessstellen im unmittelbaren Abstrom der erwarteten Kontaminationsschwerpunkte. Eine tiefendifferenzierte Betrachtung kann zweckmäßig sein. Zu beachten ist insbesondere, inwieweit der tatsächliche Zu- und Abstrom der Untersuchungsfläche erfasst wurde.

Eine detaillierte Beschreibung der Planung, Durchführung und Bewertung von Grundwasseruntersuchungen findet sich im Leitfaden „Untersuchungsstrategie Grundwasser“ (LUBW, 2008).

7.4.3 Beurteilung

Wird die Sickerwasserprognose auf Grundwasseruntersuchungen gestützt, ist auf die Stoffkonzentrationen im Sickerwasser am OdB rückzuschließen, ggf. rückzurechnen. Bei der Abschätzung, ob am OdB der Prüfwert überschritten wird, sind die Stoffkonzentration im Grundwasserzu- und Abstrom, die Verdünnung, die Repräsentativität der Abstromerfassung sowie das Schadstoffverhalten und -inventar zu berücksichtigen.

Dabei ist zu beachten, dass auch bei einer Grundwasserprobe direkt aus dem Schadenszentrum eine Durchmischung mit unbelastetem Grundwasser unvermeidbar ist und eine Verdünnung der Probe stattfindet. Die in dieser Probe ermittelte Konzentration kann somit nicht mit der

Konzentration am OdB gleichgesetzt werden. Für die Beurteilung in der weiteren Altlastenbearbeitung ist jedoch die Konzentration am Ort der Beurteilung maßgeblich.

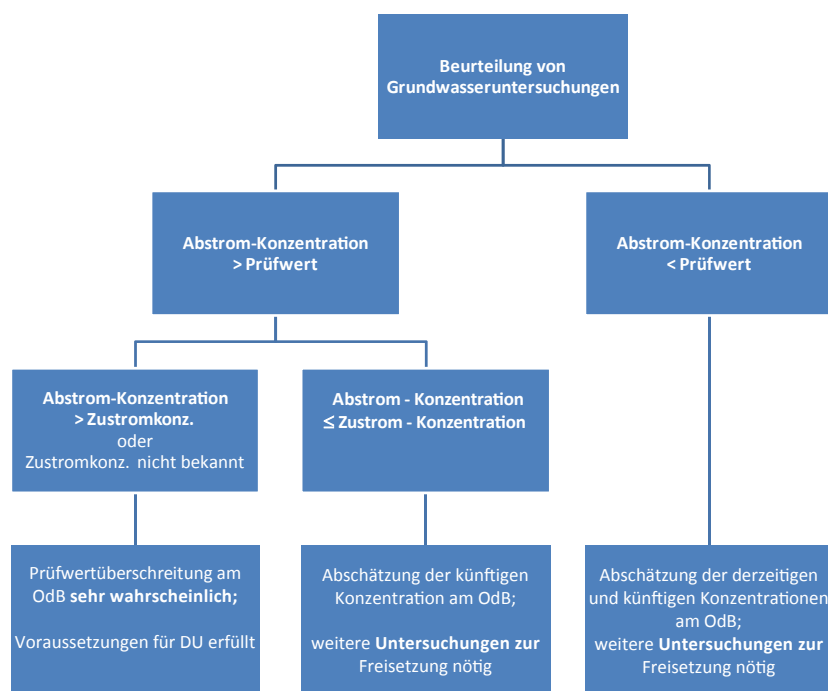
Es sind folgende Fallgestaltungen möglich:

- Wird eine Überschreitung des Prüfwertes der BBodSchV (2012) durch Grundwasseruntersuchungen im Schadenszentrum oder im Grundwasserabstrom einer altlastverdächtigen Fläche/Verdachtsfläche festgestellt, so ist eine Überschreitung der Prüfwerte am OdB anzunehmen, sofern der Zustrom nicht vergleichbare Konzentrationen aufweist. Bei Kontaminationen, die in der gesättigten Zone liegen, betrifft dies das Kontaktgrundwasser. Sind die Schadstoffeinträge auf die Fläche zurückzuführen, ist der Verdacht einer Altlast bestätigt.
- Wenn eine Überschreitung des Prüfwertes der BBodSchV (2012) durch Grundwasseruntersuchungen im Schadenszentrum oder im Grundwasserabstrom einer altlastverdächtigen Fläche/Verdachtsfläche festgestellt wird, jedoch die Schadstoffkonzentration etwa so hoch wie im Zustrom ist, kann auf Grundlage von Grundwasseruntersuchungen nicht abschließend beurteilt werden, ob von der Fläche eine Grundwassergefährdung ausgeht. Daher sind weitere Untersuchungen notwendig, z.B. Bodenuntersuchungen.

- Liegt die Stoffkonzentration im Grundwasser an der Probennahmestelle unterhalb des Prüfwertes, muss im Einzelfall abgeschätzt werden, ob der Prüfwert am OdB gegenwärtig oder in überschaubarer Zeit überschritten wird. Neben den Stoffkonzentrationen im Grundwasser fließen die o.g. Kriterien sowie hydrogeologische Kenndaten in diese Abschätzung ein. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Ausbreitung der Stoffe verzögert und die Belastung im Bereich der Messstelle noch nicht oder erst teilweise angekommen sein könnte. Im Einzelfall kann also der Verdacht einer Altlast nicht ausgeschlossen werden.

Wird aufgrund der Grundwasseruntersuchung der hinreichende Verdacht auf eine Grundwassergefährdung bestätigt, kann die OU abgeschlossen werden. Um einen Verdacht auszuräumen, sind neben Grundwasseruntersuchungen auch in situ-Untersuchungen und/oder Bodenuntersuchungen sowie weitere Erkenntnisse einzubeziehen. Das Vorgehen ist in Abbildung 12 zusammengefasst.

Weiterführende Informationen sind im Leitfaden „Untersuchungsstrategie Grundwasser“ (LUBW, 2008) und im „Fachmodul Boden und Altlasten“ (LABO 2012a) beschrieben.



LUBW

Abb. 14: Sickerwasserprognose auf der Basis von Grundwasseruntersuchungen bei einer OU

7.5 Bodenluftuntersuchungen

7.5.1 Allgemeines

Flüchtige organische Schadstoffe können in der wasser- ungesättigten Bodenzone je nach Dampfdruck, Wasserlöslichkeit und Sorptionsneigung in unterschiedlichen Anteilen sowohl gasförmig in der Bodenluft, gelöst im Porenwasser als auch adsorbiert an der Festphase des Bodens vorliegen. Mit der Zeit stellt sich ein Gleichgewicht zwischen den Schadstoffgehalten in den unterschiedlichen Phasen (Boden/Wasser/Luft) ein. Die Geschwindigkeit der Gleichgewichtseinstellung zwischen zwei Phasen hängt von der Diffusionsstrecke und der Diffusionsgeschwindigkeit in jeder Phase ab.

7.5.2 Methoden

Die **Beprobung der Bodenluft** auf flüchtige Verbindungen stellt in der ungesättigten Bodenzone eine einfache und gut erprobte Methode dar. Der Vorteil des Verfahrens ist, dass die Wasser- oder Bodenprobennahme entfallen, die nahezu unvermeidlich zu Verlusten leichtflüchtiger Stoffe aus der Probe führen. Zusätzlich werden Schwierigkeiten vermieden, die im Zusammenhang mit Schwebstoffen im Wasser und kolloidalen Wasserinhaltsstoffen (Trübe) auftreten können.

Durch den Einsatz **stationärer Messstelleneinrichtungen** können die verfahrensbedingten Nachteile der Bodenluftprobennahme mittels mobiler Sonden (Memory-Effekte und Eindringen atmosphärischer Luft in das Bohrloch) vermieden werden. Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, Bodenluftbeprobungen ohne großen Aufwand beliebig oft und – bei Einbau mehrerer Sonden in definierten Bereichen – auch tiefenhorizontiert durchzuführen. Die Probennahme kann direkt durch ein beidseitig kapillar verjüngtes Glasrohr (modifizierte Pasteurpipette) erfolgen, das anschließend durch Zuschmelzen der Enden luftdicht verschlossen wird, oder über Adsorberröhrchen („Purge and Trap“, z.B. Tenax, Aktivkohle). Durch den Einsatz von Adsorberröhrchen wird eine Anreicherung der Schadstoffe bei der Probennahme erreicht, welche ermöglicht, die z.B. für BTEX notwendigen niedrigen Nachweisgrenzen in der Bodenluft (PW-Wert*Henry-Konstante) zu erreichen (Tabelle 16, Anhang 8.8). Diese Methoden

haben gegenüber anderen Probennahmebehältern (Gasmäuse, Teflonbeutel, Rollrandgläser mit teflonbeschichteten Butylgummisepten, etc.) den Vorteil, dass die Bodenluft bei Entnahme und Lagerung bzw. Transport nur mit Glas oder Metall in Berührung kommt und Sorptionseffekte sowie Verflüchtigung praktisch ausgeschlossen werden können. Durch die quantitative Erfassung des Unterdrucks und dessen Veränderungen mit Hilfe von Schräghrohr- oder Unterdruckmanometern können z.B. auch Reichweiten von Bodenluftabsaugungen bestimmt werden. Darüber hinaus können durch Bodenluftbeprobungen potentielle Eintragsstellen (Lagerung, Anwendungs- und Produktionsbereiche leichtflüchtiger Chemikalien) lokalisiert werden (Grathwohl et al. (1997)).

Generell ist zu berücksichtigen, dass bei gering durchlässigem Untergrund ($k_f < 10^{-6}$ m/s), bei bindigen Böden oder hohem Wassergehalt im Boden nur begrenzte Luftvolumina gezogen werden können, und eine Probennahme der Bodenluft nur eingeschränkt möglich ist.

Detaillierte Empfehlungen zum Vorgehen bei der Beprobung von Bodenluft finden sich in der „Handlungsempfehlung Entnahme von Bodenluftproben“ (LfU, 2000).

7.5.3 Ableitung von Sickerwasserkonzentrationen aus Bodenluftanalysen

Berechnung

Unter Gleichgewichtsbedingungen kann für leichtflüchtige organische Schadstoffe die Konzentration im Sickerwasser unter Verwendung des Henry-Koeffizienten (K_H , Verteilungskoeffizient zwischen Gas- und Wasserphase) aus der Konzentration in der Gasphase (Ergebnisse von Bodenluftuntersuchungen) errechnet werden (UBA, 2011).

Gleichung 1

$$c_w = c_g / K_H$$

c_w : Sickerwasserkonzentration (in µg/l)

c_g : Gehalt der Verbindung in der Gasphase (in mg/m³)

K_H : Henry-Koeffizient

Henry-Koeffizienten liegen für viele Stoffe tabellarisch in der Fachliteratur vor. Unter Feldbedingungen muss

in erster Linie dem Einfluss der Temperatur auf den Henry-Koeffizienten Rechnung getragen werden. Die relative Zu- oder Abnahme des Henry-Koeffizienten bei Temperaturänderung kann mit Hilfe eines Temperaturkorrekturfaktors berechnet werden (Reisinger et al. (1996)). Darüber hinaus können organische und anorganische Wasserinhaltsstoffe eine Verschiebung des Henry-Koeffizienten bewirken, dies kann unter Feldbedingungen jedoch meist vernachlässigt werden. Tabelle 16 (Anhang 8.8) zeigt beispielhaft Henry-Koeffizienten für eine mittlere Bodentemperatur von 10°C.

Interpretation der Daten

Eine wesentliche Voraussetzung für die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse von Bodenluftuntersuchungen ist eine eindeutige schichtspezifische Zuordnung des Probennahmebereiches (bevorzugt Probennahme mit Vorbohrung oder aus stationären Messstellen). Die Unter-

scheidung und Abgrenzung relevanter Belastungsbereiche ist mit Bezug zu bekannten Schadensherden und konkretem Untergrundaufbau darzustellen. Dabei können auch Angaben zur Korngrößenverteilung sowie zum Wassergehalt zweckmäßig sein. Sollen z.B. zur Abschätzung der Sickerwasserfrachten Bereiche unterschiedlich hoher Belastung abgegrenzt werden, so ist je Probennahmepunkt jeweils die höchste gemessene Bodenluftkonzentration zu berücksichtigen, unabhängig von der Entnahmetiefe.

In Abhängigkeit von Art und konkreter Durchführung der Probennahme kann der Einzugsbereich der Probennahme stark variieren. In Abhängigkeit von Temperatur, Wassergehalt und Druckschwankungen kann die Belastung der Gasphase in der ungesättigten Bodenzone durch leichtflüchtige organische Schadstoffe deutlich variieren. Auch Schwankungen der Gehalte leichtflüchtiger organischer Schadstoffe im Jahresverlauf sind möglich. Längerfristige Beobachtungen an stationären Messstellen zeigen dabei häufig Schwankungsbreiten in der Größenordnung des Faktors 2.

8 Anhang

8.1 Grundwasserneubildung

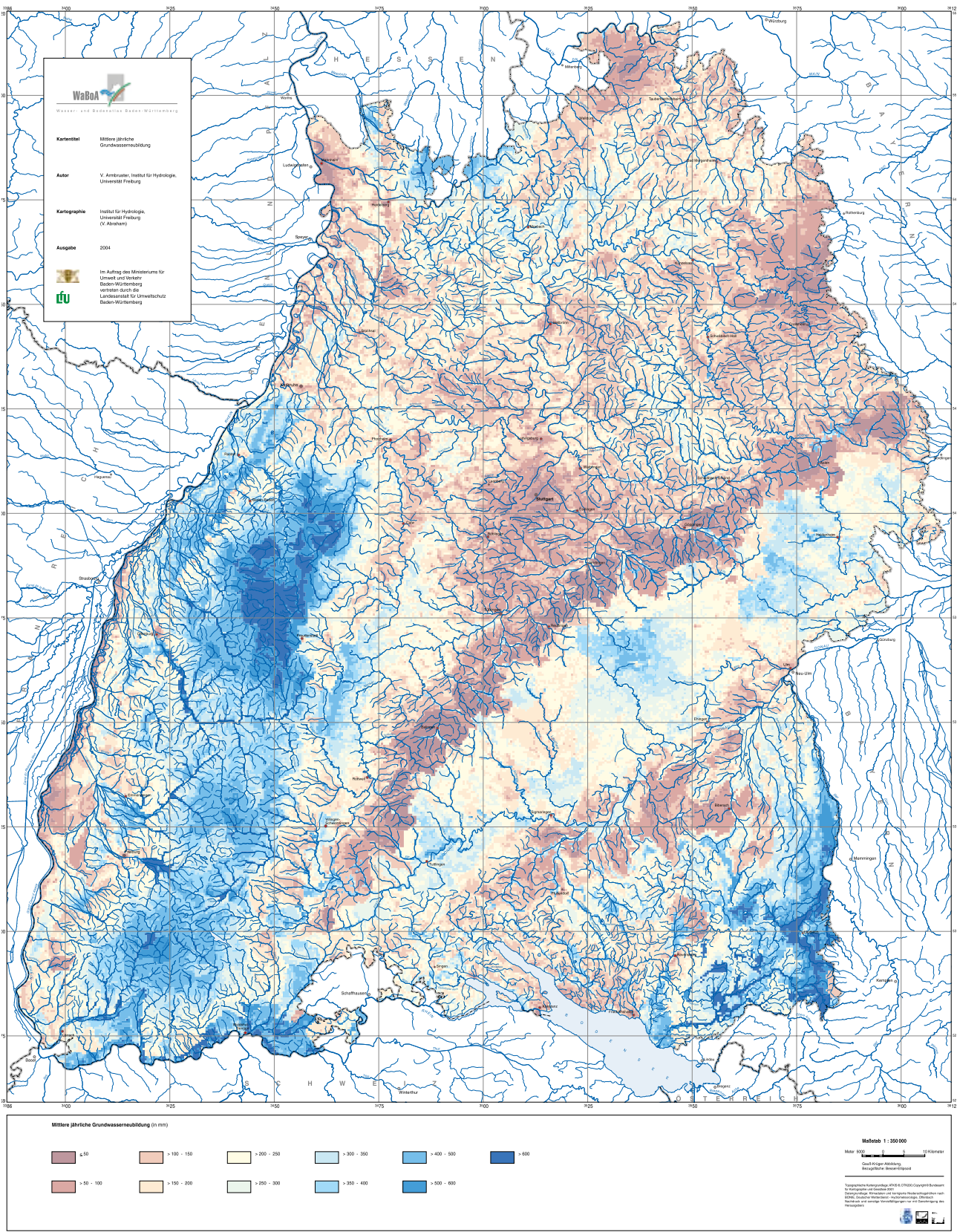


Abb. 15: Übersicht Grundwasserneubildung nach Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (WaBoA, 2012)



8.2 Bestimmung Wassermengenfaktor

Nach der Korrektur des WaBoA-Wertes (WaBoA, 2012 siehe Abbildung 15) mit den Werten aus Tabelle 1 (Kapitel 4.1.1) ergibt sich eine standortspezifische Grundwasserneubildung, aus der der Wassermengenfaktor W in Tabelle 5 abgeleitet werden kann.

Beispiel

Der WaBoA (2012) ergibt für den Rasterpunkt, auf dem die altlastverdächtige Fläche / Verdachtsfläche liegt, eine Grundwasserneubildung von 250 mm/Jahr (Mittelwert für Baden-Württemberg). Da die Fläche jedoch teilversiegelt ist, wird eine um 100 mm/Jahr verminderte Sickerrate abgeschätzt. Die resultierende Sickerwasserrate von 150 mm/Jahr entspricht dem Faktor $W = 1,5$ (Tabelle 5).

Tab. 5: Bestimmung des Wassermengenfaktors W (verändert nach Hölting et al. (1995))

Grundwasserneubildung [mm/Jahr]	Wassermengenfaktor W
< 50	3
50-99	2
100-199	1,5
200-299	1,25
300-399	1
≥ 400	0,75



8.3 Bodenansprache

Tab. 6: Bohrprofilaufnahme im Gelände

Bohrprofilaufnahme im Gelände																
Aufnahmedatum:		Profil Nr.:		Rechtswert:		Aktuelle Witterung:		Versiegelungsgrad und -art: (23)*		Reliefposition:		Ausgangsgestein: (71-75)				
		Feld Nr:		Hochwert:						Exposition: (28)						
Bearbeiter:		m ü. NN		Karten Nr.:		Ø NS Ø T		Nutzung: (24)		Inklination: (27)		Größe der alllastverdächtigen Fläche/Verdachtsfläche [m²]				
Hangwasser:		Ja <input type="radio"/> Nein <input type="radio"/>		Bemerkung:				Vegetation/Bedeckungsgrad:								
Lfd. Nr.	Schichtgrenzen (Horizonte)		Schichtmächtigkeit [cm]		Schicht/Horizontbezeichnung		Bodenart oder Gestein		Bei Festgestein: Struktur**		C _{org} -Gehalt***		Kalk od. pH		Besonderheiten: ****	
1			[cm]		(31)		(59.-71-75)		[Vol. %]		(21)		Ja/Nein		(70)	
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
Anzeichen für organische Flüssigphase z.B. Öl etc.				akt. Grundwasserstand [cm] unter GOF:				Gesamtmächtigkeit der Schichten mit sichbarer organischer Substanz:								
				mittl. Grundwasserstand [cm] unter GOF:				Bodentyp:								

* Seitenangabe in "Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz" (2009)
** Falls erkennbar: mittel/stark geklüftet usw.
*** In speziellen Fällen C_{org}-Gehalt anhand einer Bodenprobe mit Munsell-Skala (Farbe) und "Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz" (2009), S. 41-42 in Masse- % genauer abschätzen
**** Alles, was auffällig erscheint, z.B. Hydromorphe Merkmale, Fremdkörper, Geruch etc.



Tab. 7: Kornfraktionen des Feinbodens (nach Adhoc AG Boden, (2005), gekürzt)

Fraktion	Unterfraktion	Kurzzeichen	Äquivalentdurchmesser [µm]
Sand		S	63 – < 2000
	Grobsand	gS	630 – < 2000
	Mittelsand	mS	200 – < 630
	Feinsand	fS	63 – < 200
Schluff		U	2 – < 63
Ton		T	< 2

LUBW

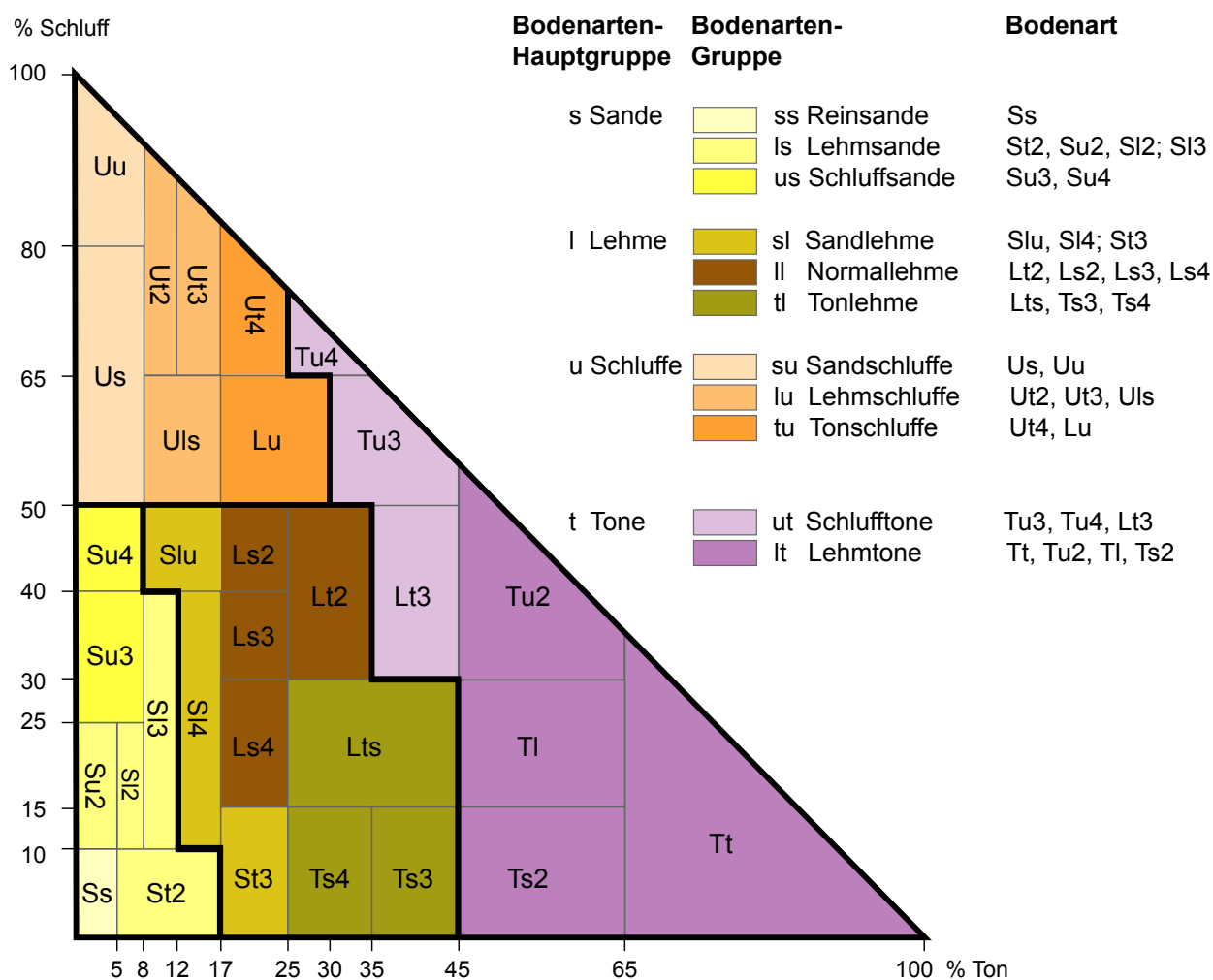


Abb. 16: Texturdreieck zur Bestimmung der Textur (Bodenart) nach KA5 anhand des Ton- und Schluffgehaltes. Fehlende Massenanteile zu 100 % sind Sand. Grobboden (> 2 mm) wird separat als Skelett angegeben. (Quelle: „KA5 Diagramm“ von HPsy - Eigenes Werk Lizenziert unter Public domain über Wikimedia Commons - (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:KA5_Diagramm.png#mediaviewer/File:KA5_Diagramm.png))

Tab. 8: Bodenartenansprache: Beispielhafte Gegenüberstellung der Textur nach DIN 4220:2008-11 (2008) und nach Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (Adhoc AG Boden, 2005)

Substrat	DIN 4022							KA5						
	Anteil [%]				Klassifizierung			Anteil [%]				Klassifizierung		
	Ton	Schluff	Sand	Skelett	ausführlich	Abk.		Ton	Schluff	Sand	Skelett	ausführlich	Abk.	
Löss	10	85	5	0	Schluff, schwach sandig	U, s'		10	85	5	0	schwach toniger Schluff	Ut2	
Löss, leicht verlehmt	14	81	5	0	Schluff, schwach sandig	U, s'		14	81	5	0	mittel toniger Schluff	Ut3	
Lösslehm	20	75	5	0	Schluff, tonig, schwach sandig	U, t, s'		20	75	5	0	stark toniger Schluff	Ut4	
Bt-Horizont aus Löss	28	67	5	0	Schluff, tonig, schwach sandig	U, t, s'		28	67	5	0	stark schluffiger Ton	Tu4	
Sandboden	6	22	42	30	Sand, schluffig, kiesig	S, u, g		9	31	60	30	mittel lehmiger Sand	SI3	
Sandboden	6	22	57	15	Sand, schluffig, kiesig	S, u, g		7	26	67	15	mittel schluffiger Sand	Su3	

Eine einfache „Übersetzung“ der Textur von DIN 4220:2008-11 (2008) zu KA5 ist nicht möglich. Dies hat mehrere Gründe



- Die Klassengrenzen der DIN 4220:2008-11 (2008) sind streng nach arithmetischen Grundsätzen gezogen (Anteil über/unter 40% usw.). Die Klassengrenzen der KA5 orientieren sich hingegen an hydraulischen und ökologischen Eigenschaften der Böden. Daher sind die Grenzen zwischen Klassen meist nicht übertragbar. Dies zeigt sich z.B. für die 4 in Tabelle 8 dargestellten aus Löss entwickelten Horizonte: In Bezug auf die hydraulischen Eigenschaften und auch in Bezug auf die Filterwirkung auf Schadstoffe unterscheiden sich diese Horizonte von Ut2 hin zu Tu4 stark. Diesem Umstand wird in KA5 durch eine Zuordnung zu 4 unterschiedlichen Texturen Rechnung getragen. Nach DIN 4220:2008-11 (2008) werden hingegen nur zwei Texturklassen ausgewiesen.
- Der Skelettgehalt wird in DIN 4220:2008-11 (2008) in die Klassifikation neben Sand, Schluff und Ton als vierte Korngröße einbezogen. In der Klassifikation nach KA5 wird die Textur ausschließlich anhand des Feinbodens (Sand, Schluff und Ton) bestimmt, der Skelettgehalt wird separat angegeben. Dieser konzeptionelle Unterschied führt dazu, dass die Ansprachen nach DIN 4220:2008-11 (2008) nicht eindeutig nach KA 5 übersetzt werden können (Beispiel Sandboden in Tabelle 8)

8.4 Deckschichtenpunkte zur Beurteilung von Gesteinsarten und Feinbodenarten

Tab. 9: Deckschichtenpunkte pro m Mächtigkeit abhängig von der Gesteinsart (verändert nach Hölting et al. (1995), Feinbodenarten nach KA5 (Adhoc AG Boden, 2005))

Gesteinsart	Deckschichtenpunkte
Torfe und Mudden	
Torf	400
Mudde	300
Feinboden	
Tt	500
Tl, Tu2	400
Ts2	350
Tu3	320
Lt3	300
Ts3	270
Ut4, Tu4	250
Lt2, Lts	240
Lu	220
Ts4, Ls2, Ut3	200
Ls3, Ut2	180
Uls, Uu, Ls4	160
St3, Slu	140
Us, Sl4	120
Sl3, Su4	90
St2, Su3	75
Sl2	60
Su2	50
Ss	25
Lockergestein	
sandig toniger Grus	75
sandig schluffiger Grus	60
sandiger Grus, grusiger Sand	10
Kies, Grus, Steine	5
vulkanische Lockergesteine	200
Festgestein	
Tonstein, Tonschiefer, Mergelstein, Schluffstein	20
Sandstein, Quarzit, vulkanische Festgesteine, Plutonite, Metamorphite	15
poröser Sandstein, poröse Vulkanite	10
Konglomerat, Brekzie, Kalkstein, Kalktuff, Dolomitstein, Gipsstein	5

Liegen keine Informationen zu den Deckschichten vor, werden 110 Punkte für die Deckschicht angenommen, wenn der Schadstoffherd mindestens 5 m Abstand zur Grundwasseroberfläche hat.



Tab. 10: Faktor für strukturelle Eigenschaften für silikatische Gesteine (verändert nach Hölting et al. (1995))

Struktur (Silikatgestein)	Faktor
Standardwert	0,3
mittel geklüftet	1
stark geklüftet, zerrüttet	0,3

Liegen keine Informationen zu den Deckschichten vor, werden 110 Punkte für die Deckschicht angenommen, wenn der Schadstoffherd mindestens 5 m Abstand zur Grundwasseroberfläche hat.



Tab. 11: Faktor für strukturelle Eigenschaften für Kalkgesteine (verändert nach Hölting et al. (1995))

Struktur (Kalkgestein)	Faktor
unbekannt (Standardwert)	0,3
mittel geklüftet, wenig verkarstet	1
mittel verkarstet	0,5
stark geklüftet, zerrüttet, stark verkarstet	0,3

Oberflächennahe Kalke oder Gipse sind mindestens mittel geklüftet / wenig verkarstet. In der Regel sind sie eher mittel bis stark verkarstet / stark geklüftet. In SIWA-SP ist letzteres als Standardwert vorgegeben. Liegen zur Struktur der Festgesteine keine Informationen vor, wird der voreingestellte Standardwert verwendet.



Tab. 12: Ableitung der standortspezifischen Schutzklasse

Standortspezifische Schutzklasse	Schutzfunktion (Produktion aus Deckschichtenpunkten und Faktor)
sehr gering	< 320
gering	< 1000
mittel	< 2700
hoch	≥ 2700

Eine vollständige Versiegelung schließt eine Kontamination des Grundwassers aus, wenn der zugehörige Auffang, z.B. die Kanalisation, ebenfalls dicht ist, und kein seitlicher Zutritt von Hangwasser erfolgt. Fehlender Bewuchs und grobes abgelagertes Material erhöhen hingegen die Sickerwassermengen. Beides kann durch entsprechende Anpassungen im SIWA-SP-Tool berücksichtigt werden.

Hangwasser, das zu unterschiedlichen Zeiten einer altlastverdächtigen Fläche / Verdachtsfläche zufließt, muss auf jeden Fall gesondert abgeschätzt und beurteilt werden. Es kann nicht innerhalb der SIWA-SP abgeschätzt, sondern nur im Tool als Ergänzung zur Grundwasserneubildung mit angegeben werden. Je nachdem, ob der kontaminierte Körper durchflossen oder unterströmt wird, kann Hangwasser zu erheblichen Mehrausträgen oder zu Verdünnungseffekten führen.



8.5 Berücksichtigung von Humus und Skelettgehalt

Organische Substanz (Humus) wird berücksichtigt, wenn sie im Verlauf der Sickerstrecke auf mindestens 0,2 m sichtbar ist. Die ersten 0,2 m werden mit 100 Punkten bewertet, anschließend werden größere Mächtigkeiten mit zusätzlich 100 Punkten je m berücksichtigt.

Humusformel: Wenn Schicht mit erkennbarem Humus $\geq 0,2$ m, dann gilt:

$$DP = 100 + (Mb[m] - 0,2) * 100 [1/m] \quad (\text{Gleichung 2})$$

DP - Deckschichtenpunkte

Mb - Mächtigkeit der humosen Schicht [m]

Diese Deckschichtenpunkte werden zu den sonstigen Punkten hinzuaddiert.

Berücksichtigung des Skelettgehaltes bzw. Grobbodens (Korngröße > 2 mm) im Gesamtboden. Ein Anteil von < 10% wird nicht berücksichtigt. Bei > 75% Skelettanteil werden 5 Punkte/m unabhängig von der Feinbodenart dazugerechnet. Skelettgehalt zwischen 10% und 75%:

$$DP = (5 - DP(FB)) / 65 * \% GB - 50 / 65 + 75 / 65 * DP(FB) \quad (\text{Gleichung 3})$$

DP - Deckschichtenpunkte

$DP(FB)$ - Deckschichtenpunkte (Tabelle 9)

$\% GB$ - Grobboden

Beispiele:

(1) 5 m eines Lockergesteins der Textur T1 oder Tu2, davon 0,3 m humos ergeben:

$5 [m] * 400 [\text{Punkte}/m] + (100 + (0,3 - 0,2) * 100) [\text{Punkte}] = 2.110 \text{ Punkte (+ Humusformel)}$

oder

(2) 20 m eines Metamorphits (Struktur unbekannt) ergeben:

$20 [m] * 15 [\text{Punkte}/m] * 0,3 = 90 \text{ Punkte (Tabelle 10)}$

Liegen beide Schichten übereinander und oberhalb der GW-Oberfläche, werden sie addiert: $2.110 + 90 = 2.200 \text{ Punkte}$

8.6 Schadstoffe und Schadstoffgruppen des Excel-Tools

Tab. 13-1: Schadstoffe und Schadstoffgruppen, für die Prüfwerte nach BBodSchV (2012) oder abgeleitete vergleichbare Werte vorliegen und die im Excel-Tool SIWA-SP als Berechnungsgrundlage verwendet werden

Schadstoff(-gruppe)	Prüfwert [µg/l] 6)	E _{max} -Wert [g/d] 9)
Ammonium	500 7)	1100
Aluminium (Al)	150 7)	320
Antimon (Sb)	10	-
Arsen (As)	10	22
Blei (Pb)	25	20
Cadmium (Cd)	5	6,5
Chrom (gesamt)	50	90
Chromat (Cr(VI))	8	18
Kobalt (Co)	50	-
Kupfer (Cu)	50	220
Molybdän (Mo)	50	-
Nickel (Ni)	50	45
Quecksilber (Hg)	1	1,5
Selen (Se)	10	17,5
Thallium (Tl)	8 7)	17,5
Zink (Zn)	500	3200
Zinn (Sn)	40	20
Cyanid (gesamt)	50	85
Cyanid (leicht freisetzbar)	10	85
Fluorid	750	1600
MTBE, ETBE, TAME (Summe)	5 8)	-
ETBE (Ethyl-tert.-butylester)	2,5 8)	-
MTBE (Methyl-tert.-butylester)	5 8)	-
TAME (tert.-Amyl-methylester)	5 8)	-
BTEX (Summe) 1)	20	20
Benzol	1	2
Toluol	10 7)	-
Ethylbenzol	10 7)	-
1,2-Dimethylbenzol (o-Xylol)	10 7)	-
1,3-Dimethylbenzol (m-Xylol)	10 7)	-
1,4-Dimethylbenzol (p-Xylol)	10 7)	-
1,2,4-Trimethylbenzol (Pseudocumol)	10 7)	-
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	10 7)	-
Chlorbenzol	10 7)	-
LHKW (Summe) 2)	10	20
Trichlormethan (Chloroform)	10 7)	-
Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlenstoff)	3 7)	-



Tab. 13-2: Schadstoffe und Schadstoffgruppen, für die Prüfwerte nach BBodSchV (2012) oder abgeleitete vergleichbare Werte vorliegen und die im Excel-Tool SIWA-SP als Berechnungsgrundlage verwendet werden

Schadstoff(-gruppe)	Prüfwert (µg/l) 6)		E _{max} -Wert (g/d) 9)
1,1-Dichlorethen	10	7)	-
1,2-Dichlorethan	3	7)	-
1,1,1-Trichlorethan (Methylchloroform)	10	7)	-
Chlorethen (Vinylchlorid)	3	7)	-
1,1-Dichlorethen	10	7)	-
cis-1,2-Dichlorethen	10	7)	-
trans-1,2-Dichlorethen	10	7)	-
Trichlorethen	10	7)	-
Tetrachlorethen (Perchlorethen)	10	7)	-
Tribrommethan (Bromoform)	10	7)	-
1,1,2-Trichlor-1,2,2-Trifluorethan (R113)	10	7)	-
MKW (Summe) 3)	200		100
Aldrin	0,1		-
DDT	0,1		-
HCH (Summe)	0,1	7)	0,2
PCP	0,1	7)	0,2
Phenole (Summe)	20		65
PCB (Summe) 4)	0,05		0,1
PCDD/F	5*10 ⁻⁶ ITE	7), 10)	10 ⁻⁶ ITE 10)
PAK (Summe, ohne Naphthalin) 5)	0,2		0,32
Naphthalin	2		4,5

1): Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Xylol, Ethylbenzol, Styrol, Cumol).

2): Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (Summe der halogenierten C1- und C2-Kohlenwasserstoffe).

3): n-Alkane (C10 – C39), Isoalkane, Cycloalkane und aromatische Kohlenwasserstoffe.

4): PCB, gesamt: Summe der polychlorierten Biphenyle; in der Regel Bestimmung über die 6 Kongenere nach Ballschmiter gemäß Altöl-VO (DIN 51527-1:1987-05, (1987)) multipliziert mit 5; ggf. z. B. bei bekanntem Stoffspektrum einfache Summenbildung aller relevanten Einzelstoffe (DIN 38407-2 (1993) bzw. DIN 38407-3 (1998)).

5): PAK, gesamt: Summe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe ohne Naphthalin und Methylnaphthaline; in der Regel Bestimmung über die Summe von 15 Einzelsubstanzen gemäß Liste der US Environmental Protection Agency (EPA) ohne Naphthalin; ggf. unter Berücksichtigung weiterer relevanter PAK (z. B. Chinoline).

6): wenn nicht anders angegeben aus BBodSchV (2012)

7): aus VwV Orientierungswerte (1998) (kein Prüfwert nach BBodSchV, 2012)

8): analog zur TrinkwV (2011) (kein Prüfwert nach BBodSchV, 2012)

9): LUBW (2008)

10): ITE-Eq.: International Toxicity Equivalency Factor

LUBW

8.7 Kriterien zur Klassifikation und Klassennamen

Tab. 14: Kriterien zur Bewertung der Schadstoffe nach Mobilität

Bewertung der Mobilität	Kd-Wert (Anorganik)	Kd-Wert (Organik)
sehr mobil	< 0,01	< 0,4
mobil	< 3	< 20
wenig mobil	≥ 3	≥ 20
K _d -Werte (Anorganik) sind pH-abhängig; linearisierter Freundlich-Koeffizient nach Utermann et al. (2005) K _d -Werte (Organik): linearer Freundlich-Koeffizient nach US-EPA (2011)		

LUBW

Tab. 15: Kriterien zur Bewertung der Schadstoffe nach Abbaubarkeit

Bewertung der Abbaubarkeit	Halbwertszeit in Jahren [a]
hoch = "abbaubar"	< 0,25
mittel oder gering = "persistent"	≥ 0,25
Halbwertszeiten nach US EPA (2011) in der ungesättigten Zone	

LUBW

Tab. 16: Zuordnung der Schadstoffe zu Klassen nach Mobilität und Abbaubarkeit

Mobilität / Abbaubarkeit	sehr mobil	mobil	wenig mobil
persistent	sehr mobil / persistent	mobil / persistent	wenig mobil / persistent
abbaubar	sehr mobil / abbaubar	mobil / abbaubar	wenig mobil / abbaubar

LUBW

8.8 Schadstoffeigenschaften und Mobilitätskategorien

Tab. 17-1: Schadstoffeigenschaften und Mobilitätskategorien

Schadstoff	Untergruppen	Phase möglich?	pH-Bereich	Schadstoffeigenschaften	Henry-Konstante KH (10°C)	Wasserlöslichkeit [mg/l] (25°C)
Ammonium		nein	< 6,5	sehr mobil/persistent		
			≥ 6,5	mobil/persistent		
Antimon (Sb)		nein		sehr mobil/persistent		
Arsen (As)		nein	< 4,5	mobil/persistent		
			4,5 - 7,0	sehr mobil/persistent		
			≥ 7,0	mobil/persistent		
Blei (Pb)		nein	< 4,5	mobil/persistent		
			≥ 4,5	wenig mobil/persistent		
Cadmium (Cd)		nein	< 6,5	sehr mobil/persistent		
			≥ 6,5	mobil/persistent		
Chrom (gesamt)		nein		wenig mobil/persistent		
Chromat (Cr(VI))		nein		sehr mobil/persistent		
Kupfer (Cu)		nein	< 6,0	mobil/persistent		
			≥ 6,0	wenig mobil/persistent		
Molybdän (Mo)		nein	< 4,5	mobil/persistent		
			≥ 4,5	sehr mobil/persistent		
Nickel (Ni)		nein	< 6,0	sehr mobil/persistent		
			≥ 6,0	mobil/persistent		
Quecksilber (Hg)		nein	< 4,0	sehr mobil/persistent		
			≥ 4,0	mobil/persistent		
Selen (Se)		nein		sehr mobil/persistent		
Thallium (Tl)		nein	< 7,5	sehr mobil/persistent		
			≥ 7,5	mobil/persistent		
Zink (Zn)		nein	< 4,0	sehr mobil/persistent		
			≥ 4,0	mobil/persistent		
Zinn (Sn)		nein		sehr mobil/persistent		

Tab. 17-2: Schadstoffeigenschaften und Mobilitätskategorien

Schadstoff	Untergruppen	Phase möglich?	pH-Bereich	Schadstoffeigenschaften	Henry-Konstante KH (10°C)	Wasserlöslichkeit [mg/l] (25°C)
Cyanid (gesamt)		nein		mobil/persistent		
Cyanid (leicht freisetzbar)		nein		sehr mobil/persistent		
Fluorid		nein		sehr mobil/persistent		
MKW (Summe)	Schmieröl, schweres Heizöl	ja		wenig mobil/persistent		1
	Diesel, leichtes Heizöl	ja		mobil/abbaubar		5
	Benzin	ja		sehr mobil/abbaubar		100
BTEX (Summe)	BTEX-Gemisch (Standard)	ja		sehr mobil/persistent	0,120 1)	1158 1)
	Ethylbenzol, Xylol dominieren	ja		mobil/persistent	0,113 2)	156 2)
Benzol		ja		sehr mobil/persistent	0,114	1790
Toluol		ja		sehr mobil/persistent	0,126	526
Ethylbenzol		ja		mobil/persistent	0,146	169
1,2-Dimethylbenzol (o-Xylol)		ja		mobil/persistent	0,0885	143
1,3-Dimethylbenzol (m-Xylol)		ja		mobil/persistent	0,106	143
1,4-Dimethylbenzol (p-Xylol)		ja		mobil/persistent	0,106	143
1,2,4-Trimethylbenzol (Pseudocumol)		ja		mobil/abbaubar	0,0881	57
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)		ja		mobil/abbaubar	0,84	57
LHKW (Summe)	LHKW-Gemisch (Standard)	ja		sehr mobil/persistent	0,237 3)	743 3)
	v.a. PER (Tetrachlorethen)	ja		sehr mobil/persistent	0,305	206
	v.a. TRI (Trichlorethen)	ja		sehr mobil/persistent	0,169	1280
	v.a. Vinylchlorid (Chlorethen)	ja		sehr mobil/persistent	0,641	8800
	v. a. Abbaubare (Chlormethan, Chlorethan, Tetrachlor-kohlenstoff, Tetrachlorethan)	ja		sehr mobil/abbaubar	0,334	4274
Dichlormethan (Methylenchlorid)		ja		sehr mobil/persistent	0,0458	13000
Trichlormethan (Chloroform)		ja		sehr mobil/persistent	0,0668	7950
Tetrachlormethan (Tetrachlor-kohlenstoff)		ja		sehr mobil/persistent	0,572	793
1,1-Dichlorethan		ja		sehr mobil/persistent	0,111	8600
1,2-Dichlorethan		ja		sehr mobil/persistent	0,0233	8600



Tab. 17-3: Schadstoffeigenschaften und Mobilitätskategorien

Schadstoff	Untergruppen	Phase möglich?	pH-Bereich	Schadstoffeigenschaften	Henry-Konstante KH (10°C)	Wasserlöslichkeit [mg/l] (25°C)
1,1,1-Trichlorethan (Methylchloroform)		ja		sehr mobil/persistent	0,34	8600
Chlorethen (Vinylchlorid)		ja		sehr mobil/persistent	0,641	8800
1,1-Dichlorethen		ja		sehr mobil/persistent	0,556	6410
cis-1,2-Dichlorethen		ja		sehr mobil/persistent	0,08	6410
trans-1,2-Dichlorethen		ja		sehr mobil/persistent	0,184	6410
Trichlorethen		ja		sehr mobil/persistent	0,169	1280
Tetrachlorethen (Perchlorethen)		ja		sehr mobil/persistent	0,305	206
Tribrommethan (Bromoform)		ja		sehr mobil/persistent	0,00981	
1,1,2-Trichlor-1,2,2-Trifluorethan (R113)		ja		sehr mobil/persistent	6,62	
Aldrin		nein		wenig mobil/persistent		
DDT		nein		wenig mobil/persistent		
Phenole (Summe)		ja		sehr mobil/persistent		
PCB (Summe)		nein		wenig mobil/persistent		
PAK (Summe, ohne Naphthalin)	Gesamt	ja		wenig mobil/persistent		
	3er-Ringe	ja		mobil/persistent		
Naphthalin		ja		mobil/persistent		
MTBE, ETBE, TAME (Summe)		nein		sehr mobil/persistent		
MTBE (Methyl-tert.-butylester)		nein		sehr mobil/persistent		
ETBE (Ethyl-tert.-butylester)		nein		sehr mobil/persistent		
TAME (tert.-Amyl-methylester)		nein		sehr mobil/persistent		
HCH (Summe)		nein		mobil/persistent		
PCDD/F		nein		wenig mobil/persistent		
PCP		nein		mobil/persistent		

1) Mittelwert aus Benzol, Toluol; 2) Mittelwert aus Ethylbenzol und Xylo; 3) Mittelwert aus Tetrachlorethen und Trichlorethen

8.9 Gesamtbeurteilung in SIWA-SP

Tab. 18: Mögliche Bewertungen und deren „Bedeutung“

Eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung (OdB) ist				
nicht zu erwarten				
möglich				
sehr wahrscheinlich				

LW:W

Tab. 19: Bewertung für Schadstoffgruppe sehr mobil/persistent: Eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung ist...

Schadstoffbelastung	Standortspezifische Schutzklasse			
	sehr gering	gering	mittel	hoch
nicht erhöht	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
erhöht	...sehr wahrscheinlich	...möglich	...möglich	...nicht zu erwarten
hoch	...sehr wahrscheinlich	...sehr wahrscheinlich	...sehr wahrscheinlich	...möglich*
sehr hoch	...sehr wahrscheinlich	...sehr wahrscheinlich	...sehr wahrscheinlich	...möglich*

* bei ausreichender Quellstärke

LW:W

Tab. 20: Bewertung für Schadstoffgruppe sehr mobil/abbaubar: Eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung ist...

Schadstoffbelastung	Standortspezifische Schutzklasse			
	sehr gering	gering	mittel	hoch
nicht erhöht	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
erhöht	...sehr wahrscheinlich	...möglich	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
hoch	...sehr wahrscheinlich	...sehr wahrscheinlich	...möglich	...nicht zu erwarten
sehr hoch	...sehr wahrscheinlich	...sehr wahrscheinlich	...möglich	...nicht zu erwarten

LW:W

Tab. 21: Bewertung für Schadstoffgruppe mobil/persistent: Eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung ist...

Schadstoffbelastung	Standortspezifische Schutzklasse			
	sehr gering	gering	mittel	hoch
nicht erhöht	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
erhöht	...möglich	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
hoch	...sehr wahrscheinlich	...möglich	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
sehr hoch	...sehr wahrscheinlich	...möglich	...möglich	...nicht zu erwarten

LW:W

Tab. 22: Bewertung für Schadstoffgruppe mobil/abbaubar: Eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung ist...

Schadstoffbelastung	Standortspezifische Schutzklasse			
	sehr gering	gering	mittel	hoch
nicht erhöht	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
erhöht	...möglich	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
hoch	...sehr wahrscheinlich	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
sehr hoch	...sehr wahrscheinlich	...möglich	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten

LUBW

Tab. 23: Bewertung für Schadstoffgruppe wenig mobil/persistent: Eine Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung ist...

Schadstoffbelastung	Standortspezifische Schutzklasse			
	sehr gering	gering	mittel	hoch
nicht erhöht	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
erhöht	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
hoch	...möglich	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten
sehr hoch	...sehr wahrscheinlich	...möglich	...nicht zu erwarten	...nicht zu erwarten

LUBW

Tab. 24: Sonderfälle in der Bewertung nach SIWA-SP

Parameter	Ausprägung	abweichende Bewertung	Hinweis zur Bewertung
organische Schadstoffphase	vorhanden	Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung sehr wahrscheinlich	
	möglich		Empfehlung weiterer Untersuchungen
Konzentration organischer Schadstoffe	größer als Löslichkeit		Empfehlung zur Untersuchung, ob Schadstoffphase vorhanden ist
Hangwasser	möglich oder vorhanden		Empfehlung weiterer Untersuchungen

LUBW

8.10 Abkürzungsverzeichnis

1. Allgemeines

BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung
BGR	Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe Hannover
c_A	Konzentration im Abstrom
c_g	Gehalt der Verbindung in der Gasphase (in mg/m ³)
C_{org}	organisch gebundener Kohlenstoffgehalt im Boden (Masse-%); konventionell erfolgt die Berechnung von C_{org} aus den Humusgehalten durch Division mit dem Faktor 1,724
c_s	sorbierte Schadstoffmasse (in µg Schadstoff pro kg Boden)
c_w	Konzentration des Schadstoffes in der Bodenlösung (in µg/l)
c_z	Konzentration im Zustrom
DU	Detailuntersuchung
GW	Grundwasser
K_d	Verteilungskoeffizient Wasser/Boden
K_H	Henry-Koeffizient
K_{oc}	organischer Kohlenstoff/Wasser-Verteilungskoeffizient (in l/kg)
K_{ow}	Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient
OdB	Ort der Beurteilung
OU	Orientierende Untersuchung
TM	Trockenmasse

2. Schadstoffe und Schadstoffklassen

PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
BTEX	Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol, Styrol, Cumol)
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
LHKW	Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
MTBE	Methyl-tert.-butylester
ETBE	Ethyl-tert.-butylester
TAME	tert.-Amyl-methylester
HCH	Hexachlorcyclohexan
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane
PCP	Pentachlorphenol

9 Literatur

Adhoc AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage (KA5), Hannover

ALA (2002): Altlastenausschuss der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO): Arbeitshilfen zur Qualitätssicherung in der Altlastenbearbeitung; www.muf.rlp.de, dort unter „Abfall und Boden“, „ALEX-Aktualisierungsstand“, „ALEX-Merkblatt 14“

ALA (2003): Altlastenausschuss der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Boden (LABO): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei der Orientierenden Untersuchung, Download: https://www.labo-deutschland.de/documents/SiWaP-rognose-120903_91f.pdf

BBodSchG (2012): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17.03.1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.

BBodSchV (2012): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 31 des Gesetzes vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.

Bischoff, W.-A., Kaupenjohann, M. (1997): Verfahren zur Bestimmung der Verlagerung von im Bodenwasser gelösten Stoffen und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Deutsches Patentamt DE 197 26 813 A1. Anmeldedatum: 25.06.1997

DIN 38414-4:1984-10 (1984): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4), 10/1984

DIN 51527-1:1987-05 (1987): Prüfung von Mineralöl-erzeugnissen - Bestimmung polychlorierter Biphenyle (PCB) - Flüssigchromatographische Vortrennung und Bestimmung 6 ausgewählter PCB mittels eines Gaschromatographen mit Elektronen-Einfang-Detektor (ECD)

DIN 4049 (1992): Hydrologie, Grundbegriffe

DIN 38407-2 (1993): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Gemeinsam erfaßbare Stoffgruppen (Gruppe F); Gaschromatographische Bestimmung von schwerflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen (F 2)

DIN 38407-3 (1998): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) - Teil 3: Gaschromatographische Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (F 3)

DIN EN 12457-1 (2003): Charakterisierung von Abfällen - Auslaugung; Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen - Teil 1: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/ Feststoffverhältnis von 2l/kg und einer Korngröße unter 4 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung); Deutsche Fassung EN 12457-1:2002, 01/2003

DIN EN ISO 15680-04 (2004): Wasserbeschaffenheit - Gaschromatographische Bestimmung einer Anzahl monocyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe, Naphthalin und einiger chlorierter Substanzen mittels Purge und Trap-Anreicherung und thermischer Desorption (ISO 15680:2003); Deutsche Fassung EN ISO 15680:2003

DIN ISO 10381-7:2007-10 (2007): Bodenbeschaffenheit - Probennahme - Teil 7: Anleitung zur Entnahme von Bodenluftproben (ISO 10381-7:2005)

- DIN 4220:2008-11 (2008): Bodenkundliche Standortbeurteilung - Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen)
- DIN 19528:2009-01 (2009): Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen, 01/2009
- DIN 19529:2015-12 (2015) Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg
- DIN 19730 (2009): Bodenbeschaffenheit - Extraktion von Spurenelementen aus Böden mit Ammoniumnitratlösung, 07/2009
- DIN 19527 (2012): Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von organischen Stoffen mit einem Wasser-/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg, 01/2011
- DWA-Merkblatt 905 (2012): Gewinnung von Bodenlösung – Beprobungssysteme und Einflussgrößen
- E DIN 19715: Probennahme von Bodenwasser zur Bestimmung der Inhaltsstoffe und Abschätzung von Sickerfrachten
- FBU Fachbeirat Bodenuntersuchung (2014): Methodensammlung Boden- / Altlastenuntersuchung, Version 1.0
- Geyer, O.F., Gwinner, M. P. (2011): Geologie von Baden-Württemberg, 5. Aufl., Stuttgart
- Grathwohl, P., Reisinger, C. (1997): Bestimmung der Emission leichtflüchtiger organischer Schadstoffe aus kontaminierten Böden, Altlasten-News LfU-1/97
- GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV) vom 09.11.2010 (BGBl. I S. 1513)
- HLUG (2002): Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 3, 2. Auflage: Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfad des Boden -> Grundwasser – Sickerwasserprognose –, Bearbeitung: Dipl.-Ing. Volker Zeisberger und Dr. Thomas Schmid, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), Wiesbaden
- HLUG (2005): Handbuch Altlasten Band 3 Teil 5, Auswertung von Mineralöl-Gaschromatogrammen
- Hölting, B., T. Haertle, K.-H. Hohberger, K. H. Nachtigall, E. Villinger, W. Weinzierl und J.-P. Wrobel (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung, Geologisches Jahrbuch C63: 5-24.
- Kalbe, U., Berger, W., Krüger, O.: Aspekte der Versuchsplanung von Säulenversuchen – Möglichkeiten der Optimierung und Fallbeispiele, Vortrag beim 2. Anwendertreffen Elutionsverfahren, Berlin 9.11.2010
- Kördel, W., (Fraunhofer IME Schmallenberg): Ergebnisse eines Ringversuchs zu E DIN 19527 mit PAK, Vortrag beim Workshop/Anwendertreffen Elutionsverfahren im Boden- und Abfallbereich am 09.11.2010 in Berlin
- LABO (2012 a): Notifizierung und Kompetenznachweis von Untersuchungsstellen im bodenschutzrechtlich geregelten Umweltbereich – Fachmodul Boden und Altlasten –, Stand 16.08.2012; Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO)
- LABO (2012 b): LABO-Vorhaben 3.11: Projekt zur externen Qualitätssicherung der Analytik und Probennahme von Bodenluft, Teil 1: Ringversuch 2012.
- Lewandowski, J.; S. Leitschuh; V. Koß (1997): Schadstoffe im Boden – eine Einführung in Analytik und Bewertung; mit Versuchsanleitungen, Springer, Heidelberg
- LfU (2000): Handlungsempfehlung Entnahme von Bodenluftproben, Karlsruhe
- LUBW (2008, Hrsg.): Untersuchungsstrategie Grundwasser – Leitfaden zur Untersuchung bei belasteten Standorten, Karlsruhe

- LUBW (2010, Hrsg.): Altlastenbewertung – Priorisierungs- und Bewertungsverfahren Baden-Württemberg, Karlsruhe
- LUBW (2014, Hrsg.): Anforderungen an ein Gutachten zur Altlastenuntersuchung nach einer orientierenden Untersuchung oder Detailuntersuchung in Baden-Württemberg, Karlsruhe, (kostenloser Download unter: <http://w-ww.lubw.baden-wuerttemberg.de>).
- LUG (2001): Altlablagerungen, Altstandorte und Grundwasserschäden: Untersuchung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser; Sickerwasserprognose, Merkblatt ALEX 13, Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht (LUG) sowie Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW)
- Reisinger, C., Grathwohl, P. (1996): Formulierung einer Verfahrensempfehlung zur Bestimmung der Emission leichtflüchtiger organischer Schadstoffe (LCKW, BTEX etc.) aus kontaminierten Böden (Berechnungsverfahren und Methoden); Im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg; Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Geologisches Institut, Lehrstuhl für Angewandte Geologie
- Rippen, G., Umweltchemikalien, CD-ROM, Ausgabe 2/2001, ecobase Media Explorer
- TrinkwV (2011): Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 28.11.2011 (BGBl. I S. 2370), die durch Artikel 2 Absatz 19 des Gesetzes vom 22.12.2011 (BGBl. I S. 3044) geändert worden ist.
- UBA (2011): Umweltbundesamt Österreich: Bernhard Wimmer und Gernot Döberl (2011): Abschätzung von Sickerwasserbelastungen – Arbeitshilfe zur Abschätzung von Sickerwasserbelastungen an kontaminierten Standorten Endbericht zum Arbeitspaket 5 des Projektes „Altlastenmanagement 2010“ (Neuausrichtung der Beurteilung und Sanierung von kontaminierten Standorten), Wien
- US EPA. (2011): Estimation Programs Interface Suite™ for Microsoft® Windows, v 4.10]. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA
- Utermann, J.; G. Meyenburg; S. Altfelder; H.-E. Gäbler; W.H.M. Duijnvisveld; A. Bahr und T. Streck (2005): Entwicklung eines Verfahrens zur Quantifizierung von Stoffkonzentrationen im Sickerwasser auf der Grundlage chemischer und physikalischer Pedotransferfunktionen- Endbericht an das BMBF - Förderkennzeichen: 02 WP 0206 ;
Download:http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Schriften/Downloads/BMBF_Endbericht_SiWaP.html
- VDI-Richtlinie 3865 Blatt 1:2005-06: Messen organischer Bodenverunreinigungen - Messplanung für die Untersuchung der Bodenluft auf leichtflüchtige organische Verbindungen
- VDI-Richtlinie 3865 Blatt 2:1998-01: Messen organischer Bodenverunreinigungen - Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben
- GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung – GrwV), 11/2010
- VwV Orientierungswerte (1998): Verwaltungsvorschrift über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen, Erlass des Sozialministeriums und des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 16.09.1993, in der Fassung vom 30.04.1998
- WaBoA (2012): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg, DVD, Karlsruhe

