

Arbeitshilfe Sickerwasserprognose/ ALTEX-1D

Dr. Yorck Adrian

Referat L3.3 „Grundwasserschutz, Altlasten, Deponien“

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

24. Niedersächsische Bodenschutzforum

29. Oktober 2025



Gliederung

- Erarbeitung der LABO-Arbeitshilfe
- Bodenschutzrechtlicher Bearbeitungsablauf beim WP Boden-GW
- ALTEX-1D

LABO

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft
Bodenschutz

Arbeitshilfe zur Sickerwasserprognose

beschlossen auf der 66. LABO-Sitzung am 25.09.2024 in Potsdam

Ständiger Ausschuss Altlasten (ALA)



Hintergrund

- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)
 - In-Kraft getreten am 1. August 2023
- Weitreichende Änderungen zur Bewertung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser:
- weitergehend gestufte Vorgehensweise bei der Sickerwasserprognose
 - neu: Prüfwerte am Ort der Probenahme
- die Möglichkeit der Einmischungsprognose
- veränderte Elutionsverfahren
- Neue Prüfwerte am Ort der Beurteilung

Abschnitt 3	
Abwehr und Sanierung schädlicher Bodenveränderungen und Altlasten	
Unterabschnitt 1	
Gefahrenabwehr bei Bodenerosion	
§ 9	Gefahrenabwehr bei Bodenerosion durch Wasser oder Wind
Unterabschnitt 2	
Untersuchung, Bewertung und Sanierung schädlicher Bodenveränderungen und Altlasten	
§ 10	Erforderlichkeit von Untersuchungen
§ 11	Allgemeine Anforderungen an Untersuchungen
§ 12	Orientierende Untersuchung
§ 13	Detailuntersuchung
§ 14	Sickerwasserprognose
§ 15	Bewertung
§ 16	Sanierungsuntersuchungen und Sanierungsplanung
§ 17	Sanierungsmaßnahmen, Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen, natürliche Schadstoffminderung
Abschnitt 4	
Vorerkundung, Probennahme und -analyse	
§ 18	Vorerkundung
§ 19	Allgemeine Anforderungen an die Probennahme
§ 20	Besondere Anforderungen an die Probennahme aus Böden in situ
§ 21	Besondere Anforderungen an die Probennahme aus Haufwerken



Erarbeitung der LABO-Arbeitshilfe

- Im Auftrag der LABO hat eine Arbeitsgruppe des Altlastenausschusses (ALA) eine neue Arbeitshilfe erarbeitet
 - Zusammenführung der Arbeitshilfen OU (2003) und DU (2008)
 - umfassende inhaltliche Aktualisierung und Ergänzung
- **ALA-Umlaufbeschluss 1/2021** und **Beschluss der 60. LABO**
- AG hat im Juni 2022 ihre Arbeit aufgenommen (Vorsitz NRW)
- **70. ALA-Sitzung Juni 2024**: Zustimmung
- **66. LABO September 2024**: Zustimmung
- **UMK Umlaufbeschluss**: 11.12.2024
- **Veröffentlichung** auf LABO-Homepage: Ende Januar 2025
- **Einführung in Niedersachsen** per [Erlass](#) v. 11.06.2025



Aufbau der Arbeitshilfe

Inhalt

1	Veranlassung und Arbeitsauftrag	8
2	Zielsetzung, Anwendungsbereich und Aufbau der Arbeitshilfe.....	9
3	Rechtliche Grundlagen	10
4	Allgemeine Vorgehensweise bei der Beurteilung des Wirkungspfad Boden-Grundwasser	16
4.1	Grundsätzlicher Bearbeitungsablauf.....	16
4.2	Verfahren und Vorgehensweise bei der Sickerwasserprognose	18
5	Ablauf der Sickerwasserprognose in der orientierenden Untersuchung.....	22
5.1	Standortcharakterisierung	22
5.2	Konzepterstellung und Untersuchungen.....	23
5.3	Abschätzung des Schadstoffeintrags in das Grundwasser und Ergebnisbeurteilung.....	23
5.3.1	Transportbetrachtungen auf Grundlage von Materialuntersuchungen und Beurteilung	24
5.3.2	Rückschlüsse aus Grundwasseruntersuchungen und Beurteilung.....	27
5.4	Einmischung in das Grundwasser	29
6	Ablauf der weitergehenden Sickerwasserprognose in der Detailuntersuchung.....	31
6.1	Konzepterstellung	31
6.1.1	Zielstellung	31
6.1.2	Plausibilitätsprüfung und Defizitanalyse	32
6.1.3	Ermittlung Untersuchungsbedarf (Untersuchungskonzept)	32
6.2	Untersuchungen und Auswertung	32
6.3	Abschätzung des Stoffeintrags in das Grundwasser auf Grundlage von Materialuntersuchungen	33
6.3.1	Beschreibung der Schadstoffquelle	33
6.3.2	Transportprognose	37
6.3.3	Einmischung in das Grundwasser	45
6.4	Rückrechnung aus Grundwasseruntersuchungen und Ergebnisbeurteilung	49
6.4.1	Voraussetzungen.....	49
6.4.2	Berechnung der Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung durch Rückrechnung aus Grundwasseruntersuchungen.....	51
6.5	Anwendung der Prüfwerte	52

Literaturverzeichnis	54
Abkürzungsverzeichnis	57
Formelzeichen	58
Glossar	61
1 Anhang: Materialuntersuchungen	I
1.1 Allgemeines.....	I
1.2 Freisetzung von Schadstoffen	I
1.3 Grundsätze zu den Elutionsverfahren	II
1.3.1 Validierung	III
1.3.2 Anmerkungen zur Probenvorbereitung bei Elutionsuntersuchungen.....	III
1.4 Beschreibung und Ablauf der Elutionsverfahren	IV
1.5 Schadstoff-Gesamtgehalte im Boden.....	VIII
1.6 Literaturverzeichnis	VIII
2 Anhang: In-Situ-Untersuchungen	X
2.1 Saugkerzen	XI
2.2 Grundwassersondierungen (nahe OdB)	XII
2.3 Grundwassermessstellen	XII
2.4 Sensorbasierte Untersuchungen	XII
2.5 Bodenluftuntersuchungen.....	XIII
2.6 Vor- und Nachteile von In-Situ-Untersuchungsmethoden.....	XIV
2.7 Literaturverzeichnis	XVI
3 Anhang: Abbau- und Rückhaltungswirkung der wasserungesättigten Zone	XVII
3.1 Allgemeines.....	XVII
3.2 Abbau- und Rückhaltungswirkung der wasserungesättigten Zone.....	XVII
3.2.1 Länge der unbelasteten Sickerstrecke	XVIII
3.2.2 Durchlässigkeit der wasserungesättigten Zone	XVIII
3.2.3 Sickerwasserrate	XVIII
3.2.4 Rückhalteprozesse.....	XX
3.2.5 (Mikrobiologische) Umwandlungs- und Abbauprozesse	XXI
3.3 Literaturverzeichnis	XXI
4 Anhang: Grundwasseruntersuchungen	XXIII
4.1 Allgemeines.....	XXIII
4.2 Planung und Durchführung der Grundwasseruntersuchungen	XXIII

4.2.1 Bau von Grundwassermessstellen	XXIII
4.2.2 Vorgehensweise bei Existenz von Schadstoffphase	XXV
4.3 Literaturverzeichnis	XXV
5 Anhang: Beispiele für die Herleitung einer flächenrepräsentativen Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung und der Länge einer Schadstoffquelle in Grundwasserströmungsrichtung.....	XXVI
6 Anhang: Basisinformationen zu umweltrelevanten Schadstoffen.....	XXXIV
6.1 Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX).....	XXXIV
6.2 Chlorbenzole	XXXVI
6.3 Chlorphenole.....	XXXVIII
6.4 Etheroxygene (MTBE, ETBE, TAME).....	XL
6.5 Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	XLI
6.6 Mineralölbasierte Kohlenwasserstoffe (MKW).....	XLIII
6.7 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).....	XLV
6.8 NSO-Heterocyden	XLVII
6.9 Polychlorierte Biphenyle (PCB)	XLIX
6.10 Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS)	LI
6.11 Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte (PSMBP)	LIII
6.12 Cyanide	LIV
6.13 Umweltrelevante Metalle und Halbmetalle	LVI
6.14 Erläuterungen physikalisch-chemischer Größen	LXII
6.15 Literaturverzeichnis	LXII
7 Anhang: Prüfwerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden- Grundwasser	LXVI
8 Anhang: Beschreibung der Schadstoffquelle, des Freisetzungsverhaltens und der Transportprognose	LXIX
8.1 Beschreibung der Schadstoffquelle	LXIX
8.1.1 Ermittlung der Schadstoffmasse	LXIX
8.1.2 Abschätzung der zukünftigen Schadstoffkonzentration im Sickerwasser und Emissionsdauer	LXXI
8.2 Transportprognose	LXXIX
8.2.1 Methodik	LXXIX
8.2.2 Analytische Lösung der Transportgleichung.....	LXXX
8.2.3 Ermittlung der Parameter	LXXXI
8.2.4 Stofftransport in der wasserungesättigten Zone	XCII
8.2.5 Sickerwasserbewegung.....	XCIII
8.2.6 Gesamtfreisetzung im Prognosezeitraum	XCIV
8.3 Literaturverzeichnis	XCV



Orientierende Untersuchung

§ 12 BBodSchV: Orientierende Untersuchung

- (1) Ziel der orientierenden Untersuchung ist, auf der Grundlage der Ergebnisse der Erfassung mit Hilfe örtlicher Untersuchungen, insbesondere Messungen, festzustellen, ob ein **hinreichender Verdacht** für das Vorliegen einer Altlast oder einer schädlichen Bodenveränderung besteht. ...
- (3) Wird bei Untersuchungen für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser ein **Prüfwert nach Anlage 2 Tabelle 1 oder 3 am Ort der Probennahme überschritten**, soll durch eine **Sickerwasserprognose** abgeschätzt werden, ob zu erwarten ist, dass die Konzentration dieses Schadstoffs im Sickerwasser am **Ort der Beurteilung den Prüfwert nach Anlage 2 Tabelle 2 oder 3 übersteigen** wird. Ergänzend kann die **Einmischung des Sickerwassers** in das Grundwasser berücksichtigt werden.



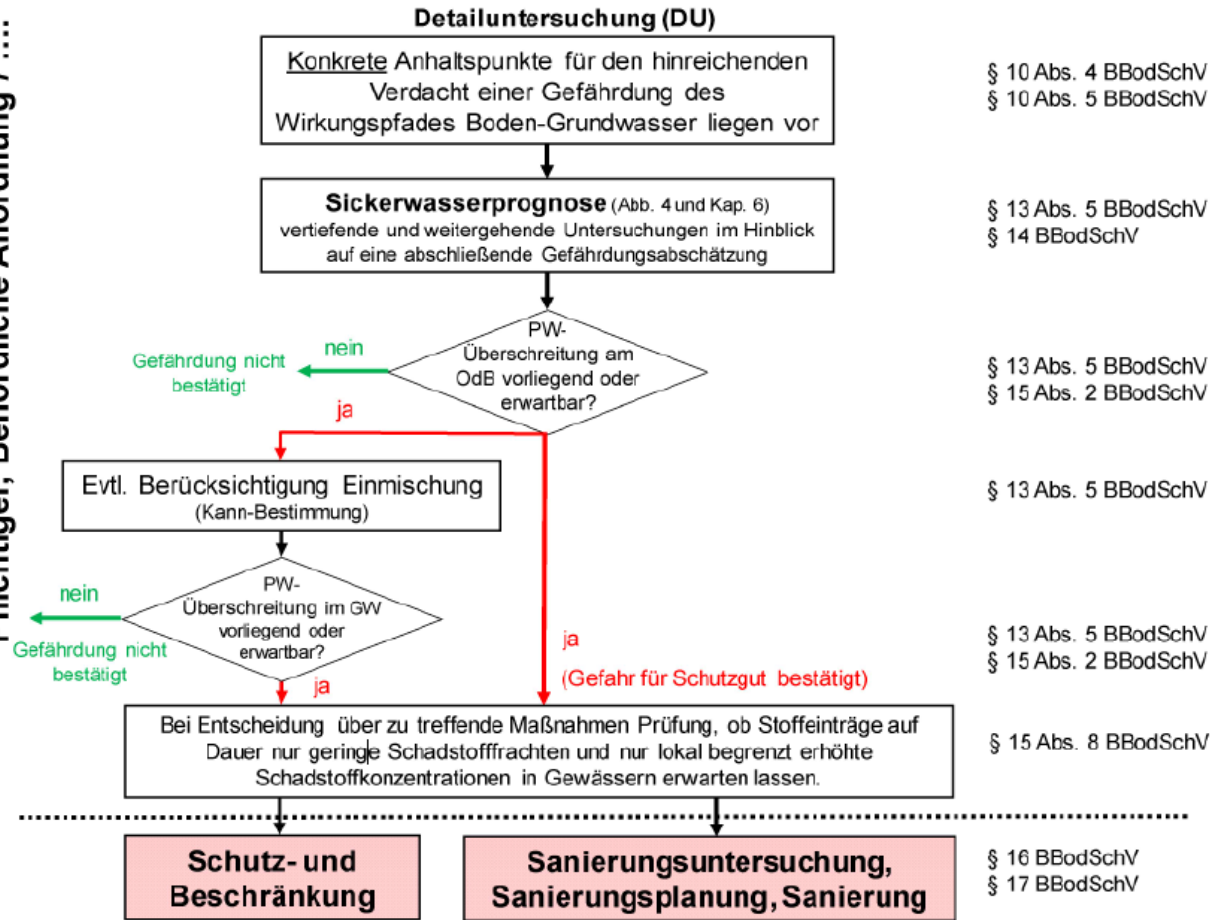
§ 13 BBodSchV: Detailuntersuchung

- (1) Ziel der Detailuntersuchung ist, mit Hilfe vertiefender und weitergehender Untersuchungen eine abschließende Gefährdungsabschätzung zu ermöglichen.
- (5) Ergibt sich auf Grund einer Abschätzung nach § 12 Absatz 3 der hinreichende Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast, sollen durch eine **weitergehende Sickerwasserprognose** die Schadstoffeinträge in das Grundwasser abgeschätzt werden.
Ergänzend kann die zuständige Behörde eine Einmischungsprognose verlangen.



Grundsätzlicher Ablauf einer Detailuntersuchung

Pflichtiger, Behördliche Anordnung /



OdP: Ort der Probenahme / OdB: Ort der Beurteilung / PW: Prüfwert

Voraussetzung: Konkrete Anhaltspunkte für den hinreichenden Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder einer Altlast

- Ergibt die weitergehende Sickerwasserprognose Überschreitungen der Prüfwerte (derzeit oder erwartbar) am Ort der Beurteilung (OdB), ist die Gefahr bestätigt
- Für eine abschließende Gefährdungsabschätzung sind ggf. weitere Untersuchungen erforderlich



§ 14 BBodSchV: Sickerwasserprognose

- (1) *Die Prognose der Stoffkonzentration für einen Prüfwertvergleich am Ort der Beurteilung kann, auch unter Anwendung von Stofftransportmodellen, vorgenommen werden*
- 1. auf der Grundlage von **Materialuntersuchungen durch Elution** mit Wasser in Verbindung mit einer **Transportprognose**,*
 - 2. durch **Rückschlüsse oder Rückrechnungen aus Untersuchungen im Grundwasserabstrom** unter Berücksichtigung der Stoffkonzentration im Grundwasseranstrom, der Verdünnung, des Schadstoffverhaltens in der wasserungesättigten und der wassergesättigten Bodenzone sowie des Schadstoffinventars im Boden oder*
 - 3. auf der Grundlage von in **situ-Untersuchungen**.*

In der AH:

- Materialuntersuchungen (Kapitel 5.3.1, Kapitel 6.3.1, Anhang 1)
- In-Situ-Untersuchung (Anhang 2)
- Grundwasseruntersuchungen (Kapitel 5.3.2, Kapitel 6.4, Anhang 4)



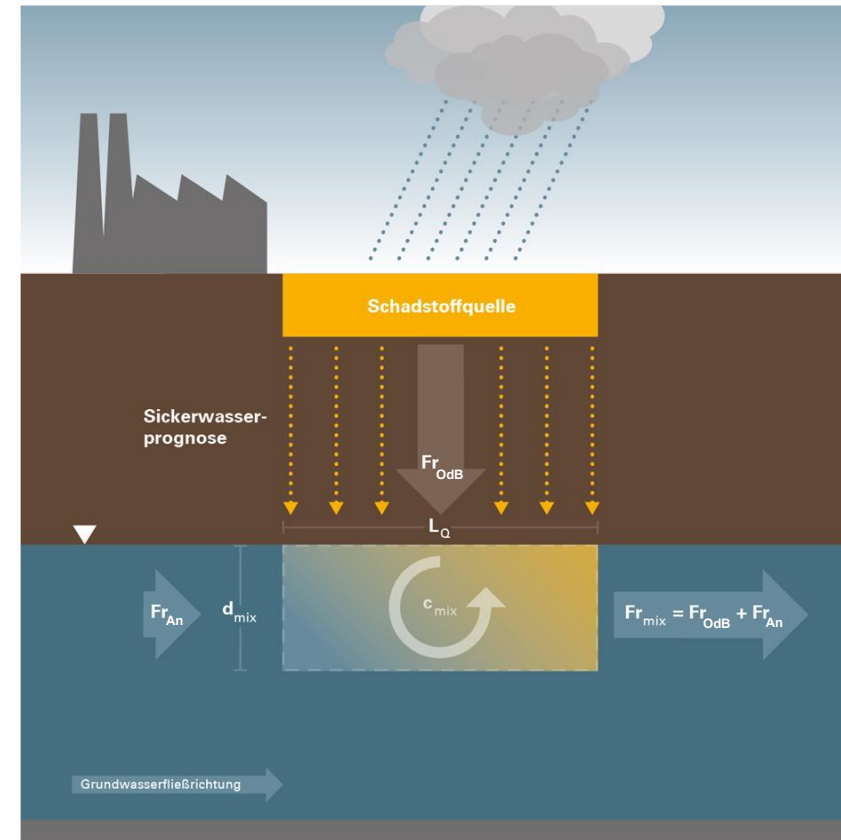
Materialuntersuchungen - Arbeitshilfe

- I. d. R. haben Eluatkonzentrationen Vorrang gegenüber der Bestimmung im Feststoff (Gesamtgehalte)
- Stufe OU: Ergeben die Eluatkonzentrationen der Bodenuntersuchungen eine Unterschreitung der für den Ort der Probennahme geltenden Prüfwerte [...], ist [...] der Verdacht ausgeräumt. Wird dagegen eine Überschreitung der Prüfwerte festgestellt, ist dem Verdacht mittels einer Sickerwasserprognose weiter nachzugehen [...].
 - Feststoffuntersuchungen zur Ermittlung der Schadstoff-Gesamtgehalte im Boden können Hinweise für eine Priorisierung von Elutionsuntersuchungen liefern.
- Stufe OU/DU: Feststoffgehalte liefern Informationen über das Schadstoffinventar, das zur Abschätzung bzw. Ermittlung der Dauer der Freisetzung benötigt wird (Kapitel 5.3 - OU, Kapitel 6.3 - DU).



Grundlagen zur Einmischungsprognose

- BBodSchV §12(3) und §13(5): **Kann-Bestimmung**
- Zu berücksichtigende Größen beim Übergang von Sickerwasser in das Grundwasser:
 - Sickerwasserrate
 - Länge der Quelle in Grundwasserfließrichtung
 - Filtergeschwindigkeit v_f
 - Mächtigkeit der Einmischungszone (1 m)
- **Einmischungsprognose i. d. R nur in der DU möglich!**



$$c_{mix} = \frac{c_{OdB} \cdot SWR \cdot L_Q + c_{An} \cdot v_f \cdot d_{mix}}{SWR \cdot L_Q + v_f \cdot d_{mix}}$$

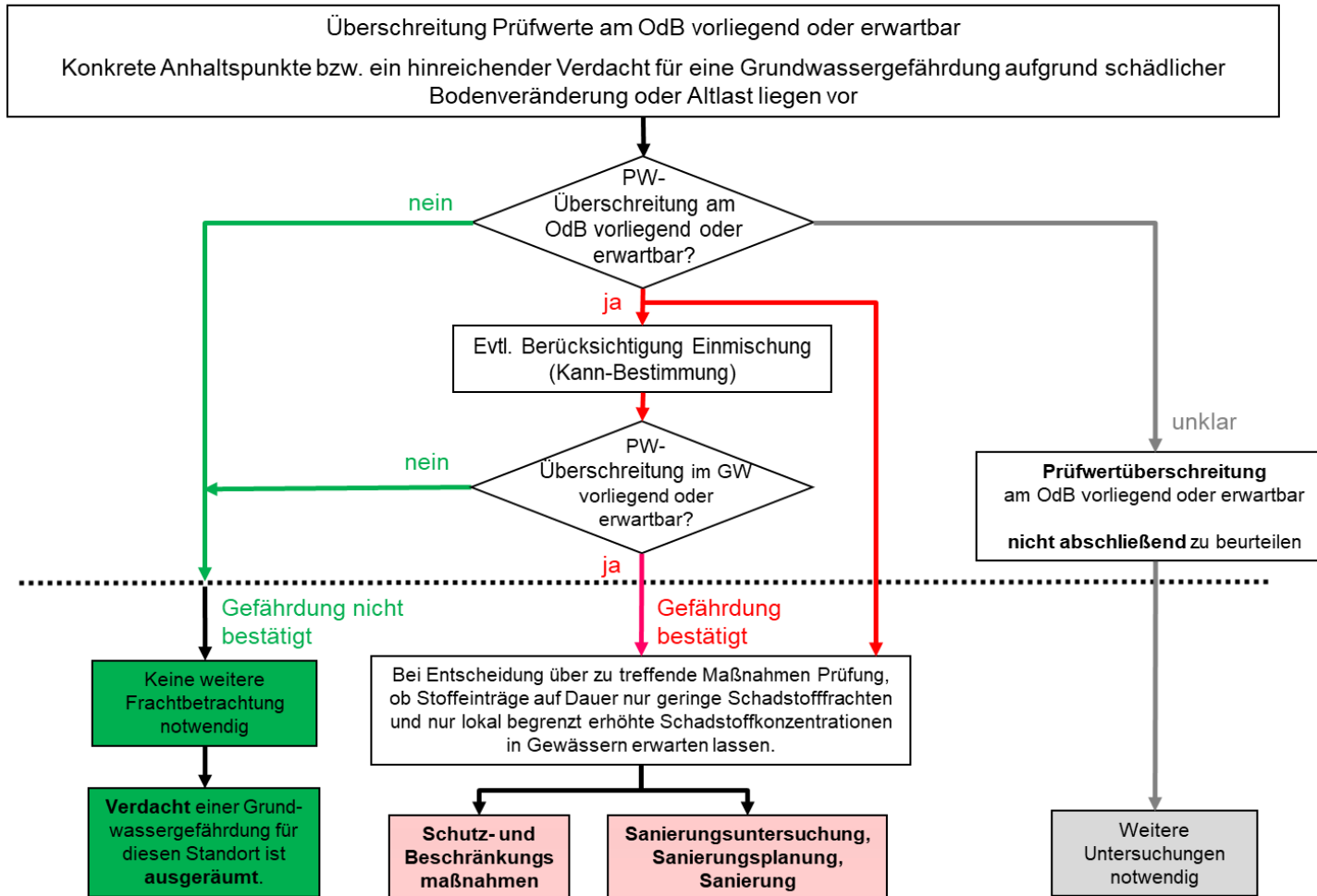
mit:

- c_{mix} : Einmischungskonzentration [g/m^3]¹ oder [g/L]
- c_{OdB} : flächenrepräsentative Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung [g/m^3] oder [g/L]
- c_{AN} : Grundwasserkonzentration im Anstrom (Anstromkonzentration) [g/m^3] oder [g/L]
- SWR : Sickerwasserrate [m/a]
- v_f : Filtergeschwindigkeit [m/a]
- L_Q : Länge der Schadstoffquelle mit Prüfwertüberschreitung am Ort der Beurteilung in Grundwasserströmungsrichtung [m]
- d_{mix} : Tiefe der Einmischungszone [m], per Konvention festgesetzt auf 1 m.



Ergebnisbeurteilung der Transportprognose

Detailuntersuchung (DU)



OdB: Ort der Beurteilung / PW: Prüfwert

Das Ergebnis ist eine quantifizierende Abschätzung der mittleren räumlichen und zeitlichen Entwicklung der am Ort der Beurteilung in das Grundwasser eintretenden Schadstoffkonzentrationen und -frachten

Abgleich mit Prüfwerten der Anlage 2 BBodSchV:

- ➔ PW-Überschreitung: Eine Gefährdung liegt vor
- ➔ PW-Unterschreitung: Eine Gefährdung liegt nicht vor

Sensitivitätsanalyse für Parameter, für die Wertespannen vorliegen

- ➔ Vergleich konservativer mit idealen Annahmen

Plausibilitätskontrolle:

- Regionale Vergleichsfälle? Literaturbeispiele?
- Beurteilung der Modellvereinfachungen und Eingangsgrößen



Anwendung der Prüfwerte

- Prüfwerte der BBodSchV für den WP Boden-Grundwasser am Ort der Beurteilung im Einklang mit den Anwendungsgrundsätzen für die LAWA GFS-Werte
 - Ableitungssystematik bei der Bewertung im Einzelfall berücksichtigen
- Keine Prüfwertüberschreitung am OdB zu erwarten → keine schädliche Bodenveränderung oder Altlast
- Prüfwertüberschreitung am OdB → schädliche Bodenveränderung oder Altlast liegt vor. Ggf. ergänzend Einmischungsprognose
- Nach § 15 Abs. 3 Satz 1 BBodSchV sind zudem die Ergebnisse der Detailuntersuchung „unter Beachtung der Umstände des Einzelfalls daraufhin zu bewerten, inwieweit Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen im Sinne des § 2 Abs. 7 und 8 des Bundes-Bodenschutzgesetzes erforderlich sind“.
- **Nicht Teil dieser Arbeitshilfe:**
 - Die abschließende fachliche Beurteilung und rechtliche Bewertung der gewonnenen Informationen im Hinblick auf die mit Schadstoffeinträgen verbundenen Gefahren für das Grundwasser
 - ggf. notwendige Maßnahmen nach § 2 Abs. 7 und 8 BBodSchG



Was ist ALTEX-1D?

Analytische Lösung der 1D - Transportgleichung mit Excel

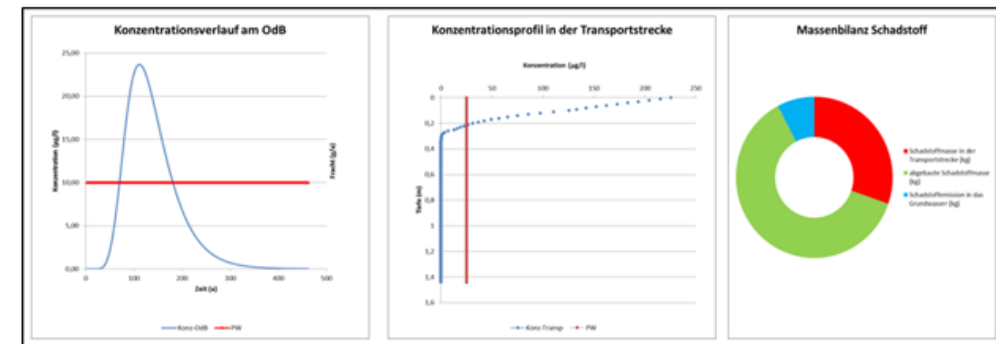
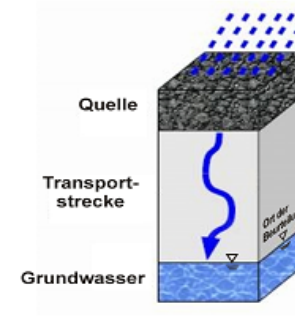
- ALTEX-1D ermöglicht eine **quantifizierende Abschätzung** des durch Sickerwasser verursachten Stoffeintrages in das Grundwasser bzgl. Konzentrationen $c_s(t)$ und Frachten $Fr(t)$
- ALTEX-1D ist die **analytische Lösung der eindimensionalen Advektions-Dispersions-Transportgleichung**

$$R \cdot \delta c / \delta t = D_z \cdot \delta^2 c / \delta z^2 - v_z \cdot \delta c / \delta z - \lambda \cdot c$$

ALTEX-1D

Analytische Lösung der 1D-Transportgleichung mit MS-EXCEL

Version 3.4.5



Stand: November 2018

Hinweis:

Die Version 3 des Berechnungsinstrumentes für die Sickerwasserprognose ALTEX-1D wurde im Rahmen der LFP-Projekte B2.15 (Teil 1/Teil 2) und B1.17 erstellt und durch das Länderfinanzierungsprogramm „Wasser, Boden und Abfall“ finanziert



Aufbau ALTEX-1D

- Unterteilung in
 - Standort
 - Quelle
 - Transport
- Weitere Tabellenblätter können aufgerufen werden, z.B. Stoffdaten, Jahreswerte am OdB
- Graue Felder können ausgefüllt werden
- Grüne u. blaue Felder führen zu weiteren Eingabemasken

Standortbeschreibung			Konzeptionelle Standortskizze	
Kontaminationsgeometrie	Einheit		GOK	OK
Kontaminationsfläche	(m ²)	100000,0		OK
Quelle OK (m u. GOK)	(m)	0,00		UK
Quelle UK (m u. GOK)	(m)	0,30		
kontaminierte Kubatur	(m ³)	30000,0		
Wasserhaushalt				
Methode zur Sickerwasserrate-Berechnung		eigene Angabe		
Sickerwasserrate	(mm/a)	230,0		
Transportstrecke				
Ort der Beurteilung OdB (m. u. GOK)	(m)	3,50		
mittl. Temp. Transportstrecke	(°C)	15		
Disp-SF (gesamte Transportstrecke)	(-)	0,100		
Vorbelastung Transportstrecke	(µg/l)	0,000		
Typisches Schichtprofil				
Schicht-Anzahl	2			
	von (m u. GOK)	bis (m u. GOK)	Bodenart Tab. 30/31 KA 5	Festgestein GeoBerichte 19
Schichtaufbau				
Schicht-Nr. 1	0,30	0,60	Sl3	
Schicht-Nr. 2	0,60	3,50	fs, fSms, fSgs	
Aquiferparameter				
Länge der Kont.Fläche in	(m)	200,0		
Grundwasserfließrichtung	(m)	1,0		
Mächtigkeit der Einmischzone	(m/s)	2,000E-04		
Aquiferdurchlässigkeit	(m/m)	1,000E-03		
hydr. Gefälle	(µg/l)	0,000		
Schadstoff-Anstromkonzentration				
Altex 1d Projekt Standort Quelle Transport +				

Einfluss der Eingabeparameter auf das Ergebnis

Eingabeparameter	Symbol	Einheit	Einfluss	Bandbreite (ungefähr)	Unsicherheit Ermittlung	Quelle
Halbwertszeit Abbau	HWZ	Jahr	hoch	0,1 - 10 a	hoch	Literatur/(Labor)
mobilisierbarer Anteil	M_{mob}	%	hoch	0,1 - 100	mittel	Labor
kd-Wert	k_d	L/kg	hoch	0,1 - 100	mittel	Literatur/ Labor
Länge Sickerstrecke	z_{sw}	m	hoch	0,5 - 50	gering	Felduntersuchung (UK-Q - OdB)
Sickerwasserrate	SWR	mm/a	mittel	50 - 500	gering	standortspez. Abschätzung
Feldkapazität	FK	%	mittel	5 - 40	gering	Felduntersuchung (Bodenart) Berechnung
Dispersivitäts- Skalenfaktor	f_d	-	mittel	0,01 - 1	gering	Literatur
Trockenraumdichte Sickerstrecke	ρ_b	g/cm ³	gering	1,2 – 1,8	gering	Labor/ Literatur



Zusammenfassung

- Einfache Berechnungen für den Standardfall möglich
- Umfangreichere Datengrundlage ermöglicht genauere Aussagen am OdB
- Einfluss verschiedener Standortverhältnisse
- Grenzen des Modells beachten, z. B. bevorzugte Fließwege, Transport in der nichtwässrigen organischen Schadstoffphase, Schadstoffquelle in der wassergesättigten Zone
- Fachliche Beurteilung der Ergebnisse unerlässlich



ALTEX-1D Webanwendung

- Geplant für voraussichtlich Ende 2025
 - Web-Version, numerische Lösung
 - Validierung mit HYDRUS-1D
 - Aufbau orientiert sich an Version 3
 - Überarbeitung des Parameterspektrums und der Stoffdatenbank
 - PFAS, STV, Pflanzenschutzmittel
 - Stoffdatenbank: K_{OC} , Henry-Konstante, Halbwertszeit
- Vergleichbarkeit der Ergebnisse zur ALTEX-1D-Version 3 ist eingeschränkt

- Aktualisierung der Vergleichswerte

6PPD	N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl	DDP	25	$C_{18}H_{24}N_2$	268,40	DTXSID9025114
6PPD-q	6PPD-Chinon	DDP	25	$C_{18}H_{22}N_2O_2$	298,38	DTXSID301034849
p-Phenylendiamin	1,4-Diaminobenzol	DDP	25	$C_6H_8N_2$	108,14	DTXSID9021138
Hexamethoxymethylmelamin	HMMM	Aminoplast	25	$C_{15}H_{30}N_6O_6$	390,44	DTXSID9027520
Perfluorbutansäure	PFBA	PFAS	25	$C_4HF_7O_2$	214,04	DTXSID4059916
Perfluorpentansäure	PFPeA	PFAS	25	$C_5HF_9O_2$	264,05	DTXSID6062599
Perfluorhexansäure	PFHxA	PFAS	25	$C_6HF_{11}O_2$	314,054	DTXSID3031862
Perfluorheptansäure	PFHpA	PFAS	25	$C_7HF_{13}O_2$	346,06	DTXSID1037303
Perfluoroctansäure	PFOA	PFAS	25	$C_8HF_{15}O_2$	414,07	DTXSID8031865



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

