



Fortbildung im Umweltsektor

Seminar

Altlasten und Schadensfälle 2024

– Neue Entwicklungen –

Marburg, 25. und 26. Juni 2024

Impressum

Herausgeber:

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Rheingaustraße 186

65203 Wiesbaden

Tel.: 0611-6939-0

Fax: 0611-6939-555

E-Mail: poststelle@hlnug.hessen.de

Bildnachweis Titelbild:

Denkmalamt Stadt Frankfurt am Main, Nr. 478

www.hlnug.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter.

Seminar Altlasten und Schadensfälle

25./26. Juni 2024

Technologie- und Tagungszentrum Marburg, Software-Center 3, 35037 Marburg

1. Tag	25. Juni 2024	Seite
10:00 Uhr	Begrüßung und Einführung Volker Zeisberger, HLNUG	
10:10 Uhr	Vorsorgender Bodenschutz, Bodenschutzrecht, Altlasten – Neues aus dem Ministerium Juliane Kieseewetter, HMLU	
10:30 Uhr	Who wants to skim forever? Ist eine Sanierung bis zur vollständigen LNAPL-Entfernung eine verhältnismäßige Option? Laura Simone, Arcadis Germany GmbH	5
11:10 Uhr	Kaffeepause	
11:30 Uhr	In-situ-Sanierung eines großflächigen LCKW-Schadens im Grundwasser mit einer einmaligen Wirkstoffinjektion zur beschleunigten Revitalisierung eines vormals militärisch genutzten Standortes Michael Herbst, AECOM Deutschland GmbH	9
12:10 Uhr	Systematische ergänzende Standortuntersuchungen und In-situ-Sanierungstests als belastbare Grundlage für erfolgreiche Sanierungsuntersuchungen und nachhaltige Sanierungslösungen Dr. Karsten Menschner, CDM-Smith	16
12:50 Uhr	Mittagspause	
14:20 Uhr	PFAS-Immobilisierung Dr. Stephan Hüttmann, Sensatec GmbH	24
15:00 Uhr	Vom sanierten Industriestandort zum PFAS-Schadensfall Daniel Fröhlich, HIM-ASG	30
15:40 Uhr	Kaffeepause	
16:00 Uhr	PFAS: Sicherung, Bodenmanagement und Grundwassermonitoring am Beispiel eines Militärstandortes Michael Wolf, RP Darmstadt	36
16:40 Uhr	Ende des ersten Seminartages	
18:00 Uhr	Erfahrungsaustausch/Programm (Stadtführung)	

2. Tag	26. Juni 2024	Seite
9:30 Uhr	Asbest im Boden Monika Machtolf, IFUA-Projekt-GmbH	43
10:10 Uhr	Bodenkundliche Baubegleitung Kevin Handke, LfU Rheinland-Pfalz	45
10:50 Uhr	Kaffeepause	
11:10 Uhr	Aktuelles aus der Altlastenanalytik Florian Schaller, HLNUG	49
11:40 Uhr	Neue LABO-Arbeitshilfe zur Sickerwasserprognose Volker Zeisberger, HLNUG	53
12.10 Uhr	Mittagspause	
13:40 Uhr	„Sicherung der Altdeponie Eisert - der Weg zum Start und die erste Etappe“ Heiko Grosch, RP Darmstadt; Dr. Ulrich Langer, HIM-ASG	57
14:20 Uhr	LABO-Arbeitshilfe zum Expositionsszenario Grundwasser–Bodenluft–Innenraumluf Volker Zeisberger, HLNUG	67
14.50 Uhr	Kaffeepause	
15:10 Uhr	Die MantelIV im Vollzug der Bodenschutzbehörde - Erfahrungen zwischen bodenfunktionaler und bautechnischer Verwendung Jens Finkenstein, RP Darmstadt	73
15:50 Uhr	Schlusswort Matthias Adam, HLNUG	
16:00 Uhr	Ende des Seminars	

Seminarleitung: Matthias Adam, Florian Schaller, Volker Zeisberger, HLNUG, 0611 / 6939-710, -764, -748

Who wants to skim forever? Ist eine Sanierung bis zur vollständigen LNAPL-Entfernung eine verhältnismäßige Option?

Laura Simone, Arcadis Germany GmbH, Darmstadt;
Imke Hesse, Arcadis Germany GmbH, Hannover

1 Einleitung

LNAPL¹-Rückgewinnungsmaßnahmen werden oft jahrzehntelang betrieben. Sie werden immer ineffizienter, bis sie schließlich an ihre technischen Grenzen stoßen. Meist sind die Schadstoffkonzentrationen im Boden und Grundwasser zu diesem Zeitpunkt immer noch erhöht und LNAPL noch vorhanden. Daher wird das Ende der aktiven Sanierung von den Behörden häufig abgelehnt. Dies liegt vor allem an der irrtümlichen Annahme, dass die Mächtigkeit der Phase ein Parameter zur Beurteilung der Mobilität und Rückgewinnbarkeit der Ölphase (LNAPL) darstellt. Darüber hinaus sind die mittlerweile wissenschaftlich vertieft untersuchten und mehrmals im Feld verifizierten Ansätze zur Gefährdungsabschätzung (im Sinne einer Phasenmigration) und Prüfung der natürlichen Verminderungsprozesse der Ölphase (Natural Source Zone Depletion, NSZD) in Deutschland noch nicht hinreichend bekannt. Aber ist eine Sanierung bis zur vollständigen LNAPL-Entfernung wirklich eine verhältnismäßige Option? Diese Frage wurde in einem deutschen Sanierungsprojekt untersucht.

2 Ausgangssituation

Bei einem Bombenangriff im Jahr 1945 wurden Produktions- und Tankanlagen auf dem Gelände eines ehem. Schmierstoffwerks zerstört. In der Folge sind mehrere Hundert Tonnen an Ölphase (LNAPL) in den Untergrund gelangt. Seit 1995 erfolgte die Sanierung mittels hydraulisch unterstütztem Skimming über wenige Sanierungsbrunnen an den Grundstücksgrenzen. Im Jahr 2007 wurde erst ein formaler Sanierungsplan erstellt. Dieser sah eine Fortführung der Maßnahme im größeren und technisch optimierten Maßstab vor. Die dafür erforderliche Infrastruktur wurde in den Jahren 2009 – 2010 errichtet und anschließend der Sanierungsbetrieb wieder aufgenommen.

Bereits 2004, d.h. 9 Jahre nach Beginn der ersten Ölphasen-Rückgewinnung wurde die Ölmenge im Untergrund des Standortes mit Hilfe des vom American Petroleum Institute (API) veröffentlichten Rechentools abgeschätzt. Diese Abschätzung wurde 2014 wiederholt. Sämtliche Daten seit Beginn der Sanierung wurden für eine sukzessive Aktualisierung des Standortmodells verwendet.

Während der Sanierung ab 2010 wurden umfangreiche Optimierungsversuche (u. a. Veränderung der Pumpraten, Intervallbetrieb, punktueller Betrieb, Rückgewinnung mit und ohne hydraulische Unterstützung) durchgeführt. Im Jahr 2017 wurden im Zentrum des Kontaminationsbereiches sechs weitere Ölrückgewinnungsbrunnen nach neuestem Stand der Technik errichtet.

Trotz all dieser Maßnahme war die Ölphasen-Rückgewinnung auch nach der Inbetriebnahme der neuen Brunnen nicht in Einklang mit den geschätzten Ölmengen im Untergrund zu bringen. Dies liegt hauptsächlich an zwei Faktoren:

- Das API-Rechentool ist bei alten, bereits lange sanierten bzw. in Sanierung befindlichen Standorten zur Schätzung von LNAPL-Mengen nicht geeignet, da es auf Annahmen zur Phasensättigung basiert, die an solchen Standorten nicht zutreffend sind.

¹ LNAPL: Light Non-Aqueous Phase Liquids

- Die theoretisch zurückgewinnbare Ölphase stellt lediglich einen kleinen und über die Zeit abnehmenden Anteil des gesamten vorhandenen LNAPL-Körpers dar. Die mit einem wirtschaftlich und technisch verhältnismäßigen Aufwand extrahierbare Ölphase ist ein geringer Anteil hiervon.

Die zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführte Abschätzung des Ölphaseninventars stellt somit kein geeignetes Mittel dar, weder um den Sanierungserfolg zu bewerten noch um Kriterien für eine Beendigung der Sanierung zu definieren.

3 Herangehensweise

Von Arcadis wurde daher eine andere innovative Vorgehensweise vorgeschlagen. Für eine Bewertung der Rückgewinnbarkeit der Ölphase wurde die LNAPL-Transmissivität bestimmt. Eine erste Auswertung der aktuellen Betriebsdaten der Phasenabschöpfung hat ergeben, dass auch an den 2017 im Schadenszentrum neu errichteten Brunnen nur eine sehr geringe LNAPL-Transmissivität vorlag. Dies weist darauf hin, dass eine Verbesserung der Effizienz der LNAPL-Rückgewinnung mit dem betriebenen Sanierungsverfahren nicht mehr mit verhältnismäßigem Aufwand erreichbar ist. Es war daher zu prüfen, ob (i) ein anderes Sanierungsverfahren effizienter sein konnte oder (ii) die aktive Phasenförderung eingestellt und die Restphase einer passiven Handlungsoption (MNA bzw. NSZD) überlassen werden konnte. Dazu wurden weitere Untersuchungen am Standort durchgeführt.

Die Untersuchungen umfassten die Überprüfung der aus den Standortdaten ermittelten LNAPL-Transmissivität mit Hilfe von Bail-Down-Tests (Mai 2020) und die Überprüfung der Immobilität der restlichen Ölphase mit Hilfe von LNAPL-Tracertests (Juni bis November 2021, s. Abb. 1). Voraussetzungen für den Start des Tracertests waren der vollständige Wiederanstieg der Ölphase nach den Baildown-Tests und eine temporäre Einstellung der aktiven Phasenförderung.

Für die notwendige temporäre Außerbetriebnahme der Anlage und die Zugabe des Tracers (nur im Öl löslich) wurde der Fachbehörde ein entsprechender Antrag vorgelegt, dem stattgegeben wurde.

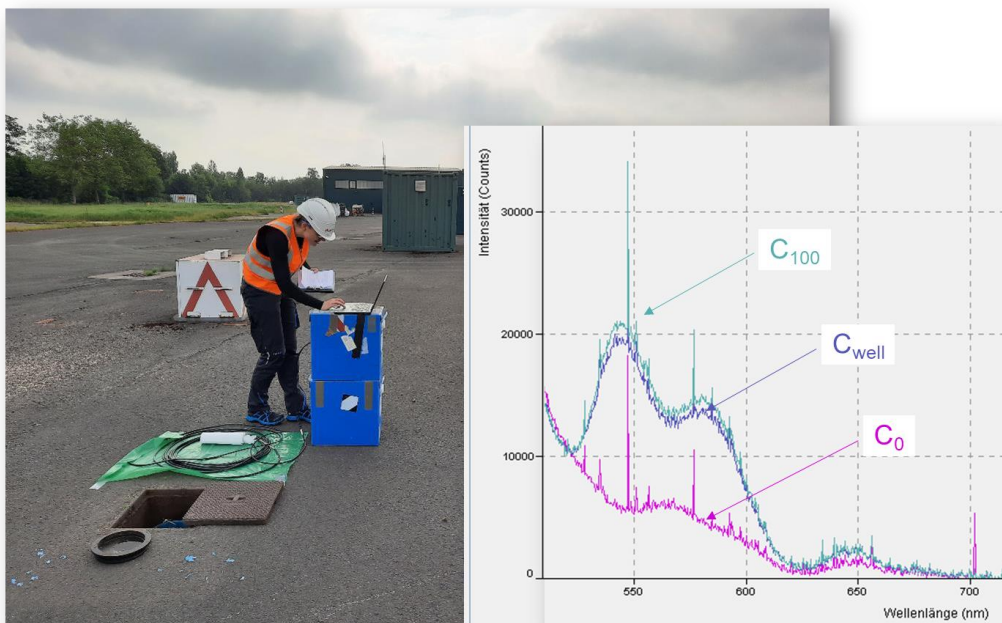


Abb. 1: Links: Feldmessungen im Rahmen des LNAPL-Tracer-Tests. Rechts: Spektrogramm der Startmessung der Tracer-Fluoreszenz-Intensität in den Brunnenbereichen C0 (LNAPL ohne Tracer/Background-Fluoreszenz), C100 (LNAPL/Tracer-Mischung mit 100% Anfangskonzentration) und Cwell (LNAPL-Tracer-Mischung im Brunnen), hier exemplarisch für eine Test-Messstelle.

Ferner wurden mittels Linerbohrungen vertikal differenzierte LNAPL-Sättigungsprofile erstellt und der Ölphasenkörper durch die Einbeziehung von neu errichteten Rammpegeln genauer eingegrenzt (Sommer 2020). Diese Daten stellten die Grundlage für eine neue Abschätzung des aktuellen Ölphaseninventars dar. Ergänzend wurden Voruntersuchungen zur quantitativen Abschätzung des NSZD-Potentials mit Hilfe von Fossil-Fuel-Trap-Messungen durchgeführt (Juni 2020, s. Abb. 2).

Dabei wird das aus dem Abbau der Ölphase generierte CO₂ unter Berücksichtigung von Hintergrundwerten (CO₂ aus der Atmosphäre bzw. dem Abbau natürlicher organischer Substanz) bestimmt.



Abb. 2: Vor Ort installierte Fossil-Fuel Trap. Bild links: Einzelkomponenten bestehend aus Sammler mit Sorptionsmedium und Regenschutz (links), Zwischenelement (mittig) sowie im Boden eingebrachtes Außengehäuse (rechts). Bild rechts: zusammengesetzte Fossil-Fuel Trap

4 Ergebnisse

Zusätzlicher Beweis der Stabilität des LNAPL-Körpers: Der LNAPL-Tracer Test hat einen sehr geringen LNAPL-Durchfluss an den Testbrunnen gezeigt. Dies stellt einen weiteren, schneller ermittelbaren Beweis der lateralen Stabilität der mobilen Phase zusätzlich zur langjährigen Beobachtung der Ölphasenverteilung in den Monitoringbrunnen (kein neues Erscheinen von LNAPL in vorher nicht betroffenen Brunnen, Stabilität der LNAPL-Mächtigkeitisolinien) dar.

Betrachtung und Quantifizierung des Natural Source Zone Depletion (NSZD) Potentials: Eine Bildung von CO₂ aus dem biologischen Abbau von Kohlenwasserstoffen konnte an sämtlichen durch Fossil-Fuel-Traps untersuchten Messpunkten nachgewiesen werden. Im Durchschnitt lässt sich daraus ein erhebliches NSZD-Potential ableiten (ca. 9 m³ LNAPL/a), welches mit der LNAPL-Rückgewinnungsrate des hydraulisch unterstützten Skimmings der letzten Jahre vergleichbar ist.

Aktualisierung des Ölphaseninventars: Obwohl das LNAPL-Inventar als Basis für neu zu vereinbarende Sanierungsziele suboptimal ist, wurde eine Neuabschätzung des LNAPL-Inventars durchgeführt, um den Fortschritt der Ölphasenentfernung zu bewerten und einen Vergleich des aktuellen Umfangs des LNAPL-Körpers mit den früheren Schätzungen zu erzielen. Bei der aktuellen Schätzung wurden die folgenden Parameter berücksichtigt:

- Ölphasenmächtigkeit: Durch die Baildown-Tests und die Entfernung der LNAPL-Phase aus sämtlichen Messstellen, die zur Kartierung der Ölphasenmächtigkeit berücksichtigt werden, konnten nach Ende der Wiederanstiegsphase (mehrheitlich bereits nach ca. 2 Monaten erreicht, spätestens nach ca. 6 - 9 Monaten) glaubwürdige, für den Untergrundzustand repräsentative, untereinander vergleichbare LNAPL-Mächtigkeiten erfasst werden. Die LNAPL-

Mächtigkeitkartierung ab November 2020 ist somit belastbarer als die bisherigen, bei denen eine Mischung aus Daten von Messstellen in unterschiedlichen Zuständen (bei manchen lange keine Abschöpfung, bei anderen evtl. noch laufender Wiederanstieg in der gleichen Kampagne) ausgewertet wurden.

- Ölphaseneingrenzung: die Ölphaseneingrenzung wurde präzisiert, indem Rammpegel an den bisher unklaren LNAPL-Körpergrenzen errichtet wurden und in der LNAPL-Stichtagsmessung einbezogen worden sind.
- LNAPL-Sättigung: die aktuelle Sättigung in den unterschiedlichen Phasenbereichen wurde anhand von Linerbohrungen und hochaufgelösten Bodenanalysen berechnet. Diese lag erwartungsgemäß deutlich unterhalb der Annahmen des API-Tools.

Das auf Basis der oben genannten Parameter neu abgeschätzte LNAPL-Inventar lag um den Faktor 8 bzw. 4 unter der Inventarschätzung aus 2014. Selbst bei den gleichen Annahmen der 2014er Schätzung zur LNAPL-Sättigung, zeigt sich im Mittel ein Rückgang des durch das API-Tool berechneten Inventars um 50 % allein durch die Abnahme der LNAPL-Mächtigkeiten.

Bestätigung der geringen LNAPL-Transmissivität: Die geringen LNAPL-Transmissivitätswerte aus der Auswertung der Betriebsdaten des LNAPL-Rückgewinnungssystems wurden durch die Ergebnisse der Baidown-Tests und des LNAPL-Tracer-Versuchs bestätigt.

5 Anpassung der Sanierungszielwerte und Übergang in die Nachsorgephase

Sämtliche Sanierungsziele des ursprünglichen Sanierungsplanes aus dem Jahr 2007 waren bereits erfüllt außer einem Sanierungsziel, das sich auf die Ölphase bezog. Auf der Basis der Untersuchungsergebnisse konnte angenommen werden, dass ein Teil dieses Zieles („mobile LNAPL rückzugewinnen, die mit technisch und wirtschaftlich vertretbarem bzw. verhältnismäßigem Aufwand aus dem Untergrund entfernt werden können“) ebenfalls erreicht worden ist.

Weiterhin wäre jedoch zur Erfüllung des Sanierungsziels für die Ölphase notwendig gewesen, dass „sowohl während der Maßnahme als auch nach Abschluss der Ölrückgewinnung die laterale Stabilität der mobilen LNAPL nachhaltig gewährleistet ist“. Dies kann durch eine gestufte Vorgehensweise geprüft werden, in der Überschreitungen von Schwellenwerten bei den Ölphasenmächtigkeiten an der abstromigen Standortgrenze weitere Maßnahmen auslösen (inkl. evtl. LNAPL-Transmissivitätsmessungen).

Es wurde daher vorgeschlagen, das Sanierungsziel für die Ölphase durch die gestufte Vorgehensweise zu ersetzen, die aktive Sanierung zu beenden und in die Nachsorgephase überzugehen, was von der Fachbehörde im Jahr 2022 genehmigt wurde.

Anschließend erfolgte die Außerbetriebnahme der Sanierungsanlage und der Übergang in die Nachsorgephase, in der MNA (die zusätzlich zum Grundwasserleiter auch den LNAPL-Körper berücksichtigt) angewendet wird. Die Nachsorge läuft bis heute wie prognostiziert. Überschreitungen der Schwellenwerte zur Auslösung von weiteren Maßnahmen haben bisher nicht stattgefunden.

6 Fazit

Durch die Anpassung der Sanierungszielwerte und den Übergang in die Nachsorgephase wurden nicht nur die Kosten bis um das Sechsfache gesenkt, sondern auch die Emissionen und der Energieverbrauch deutlich reduziert. Dabei hat sich die geschätzte Dauer bis zur vollständigen LNAPL-Entfernung nicht wesentlich verlängert und die Gefährdung für die Umwelt und die Bevölkerung hat nicht zugenommen. Es wurde somit eine insgesamt nachhaltigere und verhältnismäßigere Lösung erreicht.

In-situ-Sanierung eines großflächigen LCKW-Schadens im Grundwasser mit einer einmaligen Wirkstoffinjektion zur beschleunigten Revitalisierung eines vormals militärisch genutzten Standortes

Michael Herbst, Dr. Peter Martus, AECOM Deutschland GmbH;
Mark Zittwitz, Gordon Bures, Lars Erpel, Sensatec GmbH

1 Einleitung

Die Entwicklung der ehemaligen Pioneer-Kaserne in Hanau war zeitweise das größte Wohnbauprojekt im Rhein-Main-Gebiet.¹ In Vorbereitung der Wohnbebauung war u. a. die Sanierung eines Grundwasserschadens mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW), ausgehend von der ehemaligen chemischen Reinigung der Kaserne sowie eines weiteren Schadensherds, erforderlich. Aufgrund der geplanten Umnutzung des Geländes bestand Zeitdruck bei der Planung und Durchführung der Sanierungsmaßnahme.

Neben Austauschverfahren wie Großlochbohrungen bzw. langfristig zu betreibenden Sicherungsverfahren beschränkten sich die Möglichkeiten auf verschiedene *in situ*-Sanierungsverfahren. Die Implementierung von Zirkulationssystemen wurde aufgrund negativer Erfahrungen bei früheren Sanierungsversuchen am Standort als nicht zielführend erachtet. Auf Basis einer Kosten-Nutzen-Analyse wurde die Injektion von Wirkstoffen für die Sanierung in beiden Schadensherden ausgewählt.

Die am häufigsten eingesetzten Wirkstoffe für diesen Zweck, sowohl für die mikrobielle reduktive Dechlorierung von LCKW (z. B. Melasse) als auch die Initiierung einer *in situ*-chemischen Oxidation (Fentons Reagenz), haben allerdings gemeinsam, dass sie im Untergrund rasch verbraucht werden. Für den Erfolg der mikrobiellen Abbaukomponente muss darüber hinaus gewährleistet sein, dass das Vorkommen und die Aktivität von *Dehalococcoides (Dhc)* im Untergrund ausreichend ist. Ein häufiges Problem bei der *in situ*-Wirkstoffinfiltration ist außerdem die ungleichmäßige Wirkstoffverteilung entlang von Vorzugswegsamkeiten, wodurch kein ausreichender Kontakt zwischen Schad- und Wirkstoff hergestellt wird und die Sanierung ihr Ziel verfehlen kann.

Am Standort sollten daher Wirkstoffe als Feststoffemulsion mittels hydraulischen Drucks über ein Bohrgestänge eingegeben werden.

2 Standort

Das Projektgebiet liegt etwa 2 km südöstlich des Stadtzentrums von Hanau. Westlich, in Abstromrichtung grenzen Kleingartenanlagen an den Standort. Die Schutzzone II des Trinkwasserschutzgebietes „Wasserwerk II“ beginnt ca. 400 m westlich des Standorts. Das Grundwasser fließt nach Westen in Richtung Wasserwerk.

Detaillierte Kenntnisse des Untergrundes und der Schadstoffverteilung am Standort konnten durch umfangreiche Untersuchungen mit hochauflösenden Methoden (MIP-, EC-, und Liner-Sondierungen sowie horizontierte Grundwasserprobenahmen) z. T. bis in Tiefen > 30 m erlangt werden.

Die beiden Herdbereiche hatten demnach eine Gesamtfläche von ca. 11.000 m², wobei die davon ausgehende Schadstofffahne über die Liegenschaftsgrenze hinaus reicht. Eine grobe Abschätzung der Schadstoffmasse im Untergrund ergab etwa 3,3 t LCKW.

¹ Quelle: <https://pioneer-park.de/>

Die Hauptbelastung liegt im tieferen Teil des quartären Grundwasserleiters zwischen ca. 6 und 12 m u. GOK. Mit bis zu 7 mg/l LCKW wurden die höchsten LCKW-Konzentrationen im Grundwasser des Schadensherds „KF 013“ im Bereich der ehem. chemischen Reinigung festgestellt. Im flachen quartären Grundwasserleiter wurden in beiden Herdbereichen jeweils deutlich geringere Konzentrationen gemessen. Im zweiten Schadensherd (Herd West) lagen die maximalen LCKW-Konzentrationen etwa eine Größenordnung unter denen im Hauptschadensherd. Im Bereich KF 013 ist der tertiäre Grundwasserleiter ebenfalls betroffen.

Den quartären Grundwasserleiter bilden Sande und Kiese, die lokal durch eingeschaltete Schluffhorizonte untergliedert sind. Der Grundwasserflurabstand beträgt etwa 1,5 bis 3,0 m.

Abb. 1 zeigt den Standort mit den beiden Schadensherden KF 013 (ehem. chemische Reinigung) und Herd West sowie der Schadstoffverteilung im Grundwasser des tieferen quartären Grundwasserleiters vor Sanierungsbeginn. Außerdem dargestellt sind die im Rahmen der Gesamtsanierung in diesem Tiefenintervall durchgeführten Injektionsbohrungen (grüne Kreise/Injektionsradien). Ausgespart ist im Herd KF 013 das Pilottestfeld, in dem keine weitere Eingabe erforderlich war.

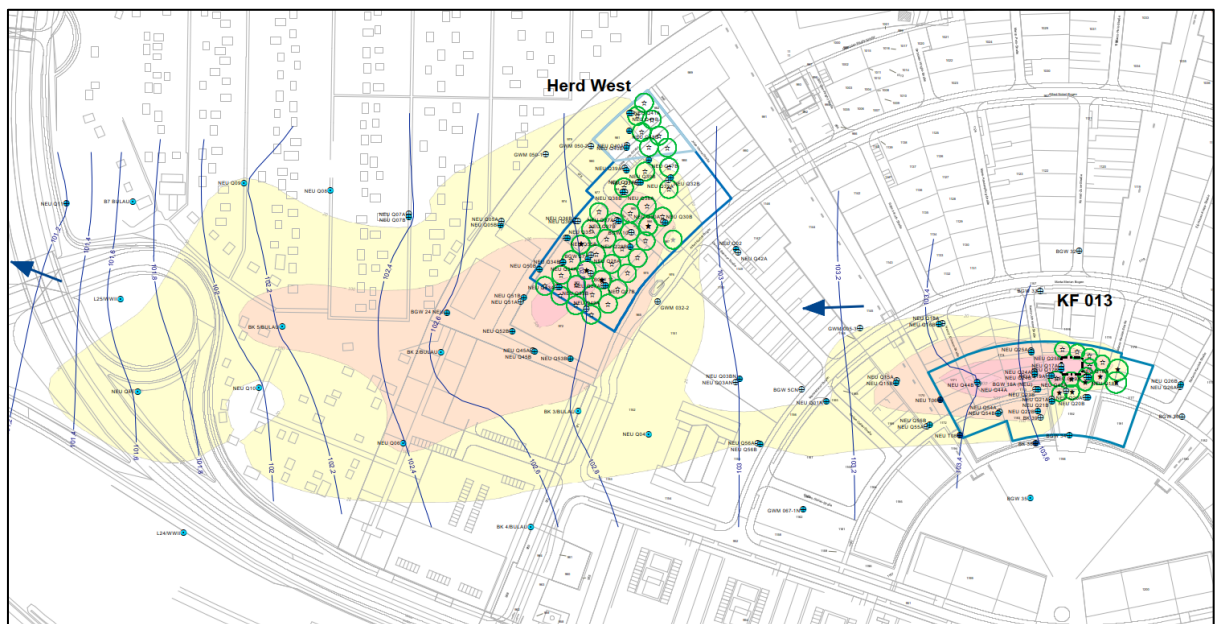


Abb. 1: Standortplan mit Sanierungsbereichen und LCKW-Fahne

3 Sanierungsziel

Als Sanierungsziel wurde der Geringfügigkeitsschwellenwert von 20 µg/l LCKW festgelegt, der im Mittel in den einzelnen Sanierungsbereichen in drei Probenahmen innerhalb eines Jahres eingehalten werden muss.

4 Sanierungsverfahren

Für die Sanierung wurde eine Wirkstoffformulierung mit mehrstufiger Wirkungsweise, langer Wirkdauer und auf den Verlauf der *in situ*-Maßnahme angepasster Freisetzung der Wirkstoffe gewählt (*EHC[®] Reagent*).² Das EHC-Substrat stimuliert durch dessen Anteil an organischer Substanz (ca. 60 %) sowohl den bereits natürlich stattfindenden biologischen Abbau als auch den abiotischen Abbau durch nullwertiges Mikroisen (ca. 40 %). Das EHC sorgt dabei auch für die Einstellung eines optimalen geochemischen Milieus im Grundwasserleiter.

² Quelle: <https://active-oxygens.evonik.com/de/produkte-und-services/boden-und-grundwassersanierung/ehc-reagent>

Die Wirkstoffformulierung wurde durch horizontgenaue *Direct Push*-Injektionen mit dem *Targeted Solids Emplacement (TSE™)* d.h. „gezielte Feststoff Injektion“-Verfahren in einem geeigneten Bohreraster gleichmäßig in den Untergrund eingebracht.³ Dabei wurden Ausbreitungsradien von > 5 m erreicht. Zusätzlich wurde eine Dhc-Kultur über kleinkalibrige Infiltrationselemente in den Untergrund eingebracht (Bioaugmentation), um den Aufbau einer ausreichend großen Dhc-Population zu unterstützen.

5 Pilotversuch

Um den Sanierungserfolg abzusichern, die Wirksamkeit des Ansatzes zu verifizieren und die Planung der Gesamtsanierungsmaßnahme zu verfeinern, wurde die Gesamtsanierung durch einen Pilotversuch vorbereitet.

Das etwa 100 m² große Pilottestfeld liegt im Belastungsschwerpunkt des Herdbereichs ehem. chemische Reinigung (KF013, Abb. 2). Im Rahmen des Pilotversuchs wurden im Juni 2020 5 t EHC® über sechs Bohrungen in den tieferen Teil des quartären Grundwasserleiters eingegeben. Zudem wurden 50 l einer Dhc-Kultur in den Untergrund infiltriert.



Abb. 2: Lage des Pilottestfeldes mit Grundwassermessstellen

Das Grundwasser wurde begleitend zunächst monatlich und später in größeren Abständen auf LCKW, Ethen, Eisen, gelösten organischen Kohlenstoff, verschiedene Milieuparameter wie Sulfat und Methan und Dhc untersucht.

6 Gesamtsanierung

Die Substrateingabe im Rahmen der Gesamtsanierung der beiden Herdbereiche erfolgte in der ersten Jahreshälfte 2023. Im nördlichen Teil von Herd West wurde die Sanierung vorgezogen. Die Substrateingabe an sieben Injektionsbohrungen erfolgte hier bereits im März 2021.

Insgesamt wurden im Rahmen der Gesamtsanierung inkl. Pilotversuch und der vorgezogenen Sanierung des nördlichen Teils von Herd West 200 t EHC®, sowie 400 l einer Dhc-Kultur in den Untergrund eingebracht. Das folgende Foto (Abbildung 3) zeigt die Substrateingabe am Standort.

³ Quelle: <https://sensatec.de/wp-content/uploads/2022/11/Flyer-Sensatec-TSE-Injektion.pdf>



Abb. 3: EHC-Eingabe (Bohrgerät links, Mischanlage rechts)

Die sanierungsbegleitende Grundwasserüberwachung erfolgt in den Herdbereichen sowie in deren unmittelbarem Abstrom vierteljährlich und standortweit halbjährlich.

7 Ergebnisse

Abschließende Ergebnisse liegen für den Pilotversuch sowie die Teilfläche im nördlichen Teil des Herd West, auf der die Sanierung vorgezogen wurde, vor. Für die Gesamtsanierung sind derzeit die Daten des ersten Jahres nach Wirkstoffeingabe der vierteljährlichen sanierungsbegleitenden Grundwasserüberwachung verfügbar.

Abb. 4 zeigt die Entwicklung der LCKW- und Ethen-Konzentrationen in den GWM des Pilottestfeldes (Lage der GWM siehe Abb. 2).

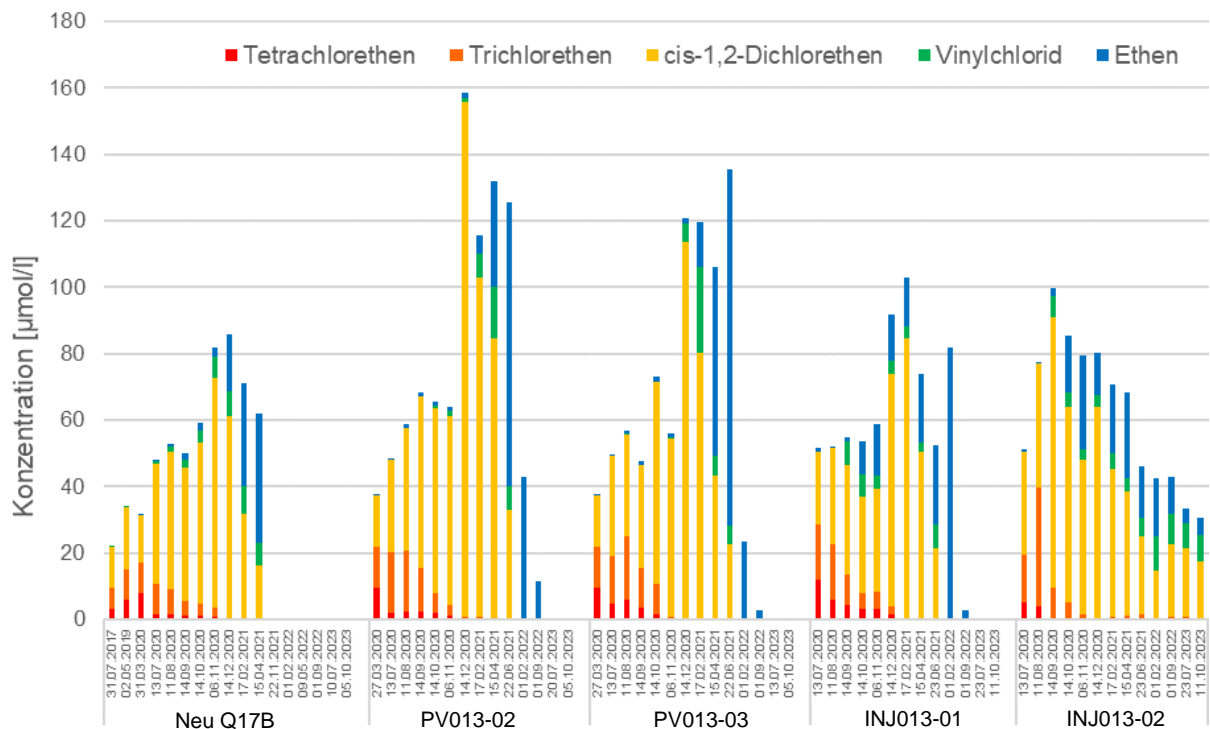


Abb. 4: Konzentrationsentwicklung im Pilottestfeld, die EHC-Eingabe erfolgte im Juni 2020

Demnach begann die anaerobe reduktive Dechlorierung unmittelbar nach der Substrateingabe, was durch eine Verschiebung der LCKW-Zusammensetzung zu den nieder chlorierten LCKW deutlich wird (sequenzielle Abspaltung von Chloratomen). Gleichzeitig stiegen die LCKW-Konzentrationen infolge einer Mobilisierung durch die Substrateingabe. Vinylchlorid trat dabei stets untergeordnet auf, was auf einen relevanten Beitrag abiotischer Abbaumechanismen hinweist. Der Nachweis von Ethen belegt die vollständige Dechlorierung zu chlorfreien Abbauprodukten.

Spätestens 20 Monate nach Substrateingabe lagen die LCKW-Konzentrationen im Pilottestfeld unterhalb der Bestimmungsgrenze. Die einzige Ausnahme bildet die am anstromigen Rand des Pilottestfeldes gelegene Messstelle INJ013-02. Zuströmendes belastetes Grundwasser verhinderte hier den vollständigen Rückgang der LCKW-Konzentration im Rahmen des Pilotversuchs. Reboundeffekte wurden auch fast vier Jahre nach Pilotversuchsbeginn nicht beobachtet.

Ein ähnlicher Verlauf wurde im nördlichen Teil von Herd West beobachtet. Hier bestanden vor Sanierungsbeginn vergleichsweise geringe Belastungen. Für diese Teilfläche (siehe Abbildung 1, hellblau umrandet) ist der Sanierungserfolg bereits behördlich bestätigt worden. Hier konnte das Monitoring eingestellt werden und die Bebauung kann erfolgen.

Für die Gesamtsanierung deuten die derzeit verfügbaren Daten auf einen ähnlichen Verlauf hin. Wie die folgende Abb. 5 zeigt, ist in beiden Herdbereichen etwa ein Jahr nach Sanierungsbeginn im Januar 2023 ein deutlicher Konzentrationsrückgang erkennbar. In einigen GWM lagen die LCKW-Konzentrationen bereits unterhalb der Bestimmungsgrenze.

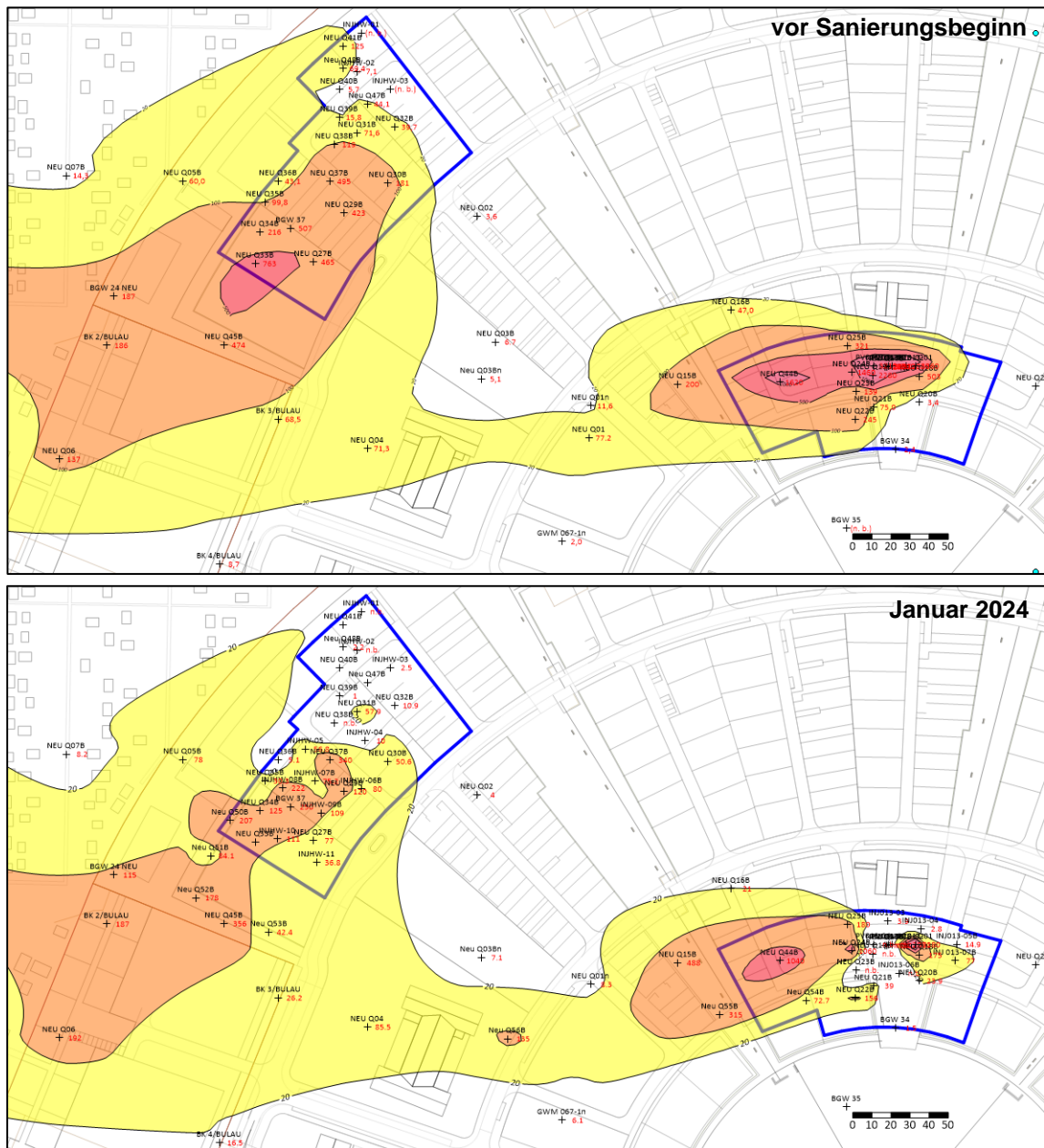


Abb. 5: LCKW-Verteilung im tiefen quartären Grundwasserleiter vor Sanierungsbeginn und im Januar 2024

8 Sanierungskosten

In beiden Herdbereichen wurden ca. 77.000 m³ (entspricht ca. 140.000 t) Boden direkt behandelt. Die spezifischen Behandlungskosten (inkl. Planung, fachgutachterliche Begleitung und Monitoring für drei Jahre ab Substrateingabe) beliefen sich auf 20 €/t. Unter der Annahme eines zehnmaligen Austauschs des Porenvolumens im kontaminierten Bereich ergeben sich für das Grundwasser spezifische Behandlungskosten von 18 €/m³. Somit wurden ca. 850 €/kg Schadstoff aufgewendet.

9 Nachhaltigkeitsbewertung

Im Zuge einer Nachhaltigkeitsbewertung wurde eine Energiebilanz für die Maßnahme aufgestellt und die Treibhausgasemissionen abgeschätzt. Die Abschätzung erfolgte mit dem Excel basierten Berechnungstool SiteWise™. Dabei wurde beispielsweise der Ressourcenverbrauch für die Herstellung der Wirkstoffe, der Kraftstoffverbrauch der Baumaschinen, für An- und Abreise der Mitarbeiter sowie die Anlieferung der Wirkstoffe einbezogen.

Dabei ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch von 10,5 kWh/t Boden sowie Treibhausgasemissionen von 1,9 kg CO₂/t Boden. Das verwendete *EHC*[®]-Reagenz ist darüber hinaus ungiftig, sicher in der Handhabung und wird aus Recyclingmaterialien hergestellt. Für die zu Vergleichszwecken betrachteten alternativen Sanierungsverfahren Bodenaustausch und P&T ergaben sich deutlich höhere spezifische Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen (Bodenaustausch: 66,1 kWh/t und 15,0 kg CO₂/t Boden, P&T: 46,3 kWh/t und 8,1 kg CO₂/t Boden) bei zudem erheblich höheren Kosten. Die folgende Abb. 6 veranschaulicht das.

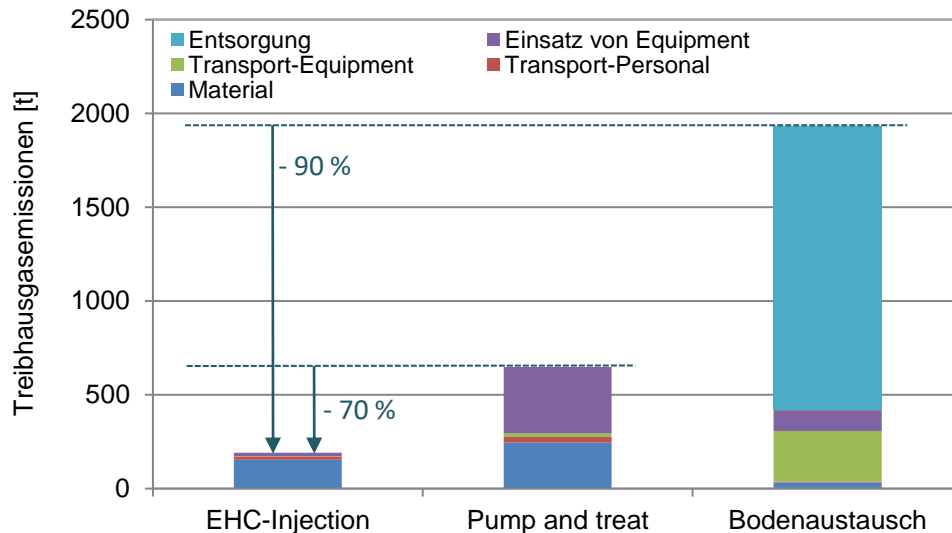


Abb. 6: Treibhausgasemissionen für verschiedene Sanierungsverfahren

Die Treibhausgasemissionen für das eingesetzte Sanierungsverfahren (EHC-Injection) sind um etwa 90 % geringer als für Bodenaustausch und etwa 70 % geringer als für eine P&T-Maßnahme. Für den Energieverbrauch ergibt sich ein ähnliches Bild.

10 Fazit

Bei einer Wirkungsdauer von > 20 Monaten können die strengen Sanierungsziele von 20 µg/l LCKW mit einer einmaligen Substratinjektion erreicht werden. Das Verfahren ist minimal invasiv und ermöglicht eine „diskrete“ Durchführung vor Ort. Zudem sind Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen bis zu 90% geringer als bei konventionellen Sanierungsverfahren.

Die dargestellte Sanierung im Pioneer Park, Hanau wird sich gemäß den vorliegenden Daten nicht nur als effektiv, sondern auch als kostengünstig und nachhaltig erweisen.

Systematische ergänzende Standortuntersuchungen und In-situ-Sanierungstests als belastbare Grundlage für erfolgreiche Sanierungsuntersuchungen und nachhaltige Sanierungslösungen

Dr. Karsten Menschner, CDM Smith

1 Einleitung

Rechtliche Grundlagen für die Bearbeitung von Altlasten sind das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) sowie die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, ab 01.08.2023 gültig in der neuen Fassung siehe Mantelverordnung).

Ergänzend dazu sind die Handbücher und Materialien zur Altlastenbehandlung der Länder zu beachten.

Eine der wichtigsten Phasen beim Übergang von Erkundung zur Sanierung ist die Sanierungsuntersuchung, weil sie die fallbezogenen Weichen für die konzeptionelle Entwicklung der bestgeeigneten Sanierungstechnologie stellen soll. Die schrittweise Vorgehensweise dazu wird z. B. im Freistaat Sachsen mit dem aktuellen Handbuch 8 Sanierungsuntersuchung (SU) untersetzt.

Danach sind die Leistungen zur SU in 4 Teilschritten durchzuführen:

- I. Grundlagenermittlung / Bestandsaufnahme / Defizitanalyse / Auswahl grundsätzlich geeigneter Sanierungsverfahren
- II. Verfahrensbedingte Standortuntersuchungen
- III. Abschließende Auswahl standortspezifisch geeigneter Sanierungsvarianten / Sanierungsziele / Sanierungsvorschlag
- IV. Sanierungskonzept (im Sinne einer Vorplanung zur Vorzugsvariante)

2 Sanierungsverfahren

Bei den möglichen Sanierungsverfahren (speziell für Grundwasser) kann grundsätzlich in aktive und passive Technologien differenziert werden.

Die aktiven Verfahren unterscheiden sich von den passiven dadurch, dass hier durch induzierte Maßnahmen unter Einbringung von Energie oder Stoffen in verschiedener Form kontinuierliche oder diskontinuierliche Eingriffe in das Grundwasser erfolgen.

Dies erfolgt zum Beispiel mittels Wasserentnahme durch Pumpen bei Pump&Treat-Maßnahmen, mittels biologischen oder chemischen Wirkzusätzen oder physikalischen Wirkinstallationen bei In-situ-Sanierungsverfahren.

Im Zuge des technischen Fortschritts wurden zunehmend spezifische innovative in-situ-Sanierungstechnologien entwickelt, die im Rahmen einer SU auf begründeter fachlicher Basis neben den klassischen Verfahren fallbezogen ebenso zu beurteilen sind.

Eine übersichtsmäßige Unterscheidung der diversen zur Verfügung stehenden sanierungstechnologischen Verfahrensgruppen wird in der nachfolgenden Tabelle vorgenommen.

Tab. 1: Technologische Verfahrensübersicht zur Grundwassersanierung.

Aktive Verfahren	Passive Verfahren
Pump & Treat (ggf. mit Reinfiltration) Multi-Phasen-Extraktion (Bohraustauschverfahren)	Permeable reaktive Systeme: Reactive Wall / Funnel & Gate, Funnel & Reactor, Drain & Gate Nanopartikelinjektion
In-situ-Verfahren: Biologische, Chemische und Physikalische Verfahren, ggf. in Verbindung mit hydraulischen Maßnahmen mit/ohne Zirkulation	(Passive) unterstützte natürliche Schadstoffminderungsprozesse (NA, MNA, ENA)

Bei komplexen Schadensfällen mit schwierigen Standortbedingungen und differenzierter Schadstoffausbreitung führt oft nicht eine einzelne Sanierungstechnologie effizient zum Ziel, sondern kann ein integrales Sanierungskonzept mit räumlich und zeitlich aufeinander aufbauenden Sanierungselementen (als sog. „Treatment Train“) Vorteile aufweisen.

Allein mit herkömmlichen Technologien wie Pump & Treat sind komplexe Schadensfälle in Boden und Grundwasser in „endlichen“ Zeiträumen und mit angemessenem Aufwand meist nicht nachhaltig sanierbar. Eine Steigerung der Sanierungsleistung ist oft nur möglich (ggf. in Kombination) mit modernen in-situ-Sanierungsverfahren, die Mobilisierungsprozesse bewirken und die natürlichen Abbau- oder Umwandlungsprozesse gezielt verstärken und nutzen.

Zu beachten sind dabei regelmäßig die (vor und parallel zu Schadstoffabbau/-präzipitation) ablaufenden konkurrierenden Redox-Prozesse (ggf. als MNA-Komponente einbeziehbar).

3 Untersuchungsverfahren und Sanierungstests

Die Basis für erfolgreiche Sanierungslösungen stellen systematische ergänzende Standortuntersuchungen und technologische Sanierungstests dar, für die in den letzten Jahren auch etliche neue methodische Entwicklungen auf den Markt gekommen sind, wie:

- Thermo-Flowmeter-Messungen
- Direct-push-Sondierungen mit Direktmessungen wie CPT-U, MIP, LIF/ROST und XFR, in-situ-Probenahmen, aber auch als zielgenaue Injektionstechnologie
- Biogeochemische Baseline-Monitorings, direkte Frachtmessungen, Säulenversuche und abbausensitive Isotopenuntersuchungen
- Quellstärken- und Immissionspumpversuche
- Biosparging-, Airsparging- und MPE-Sanierungstests im Klein-Feldmaßstab
- Biotische und abiotische Abbauversuche (ISBR, ISCR, Nano-Rem) im Labormaßstab
- Push-Pull-Tests und Zirkulationsversuche mit in-situ-Zusätzen im Klein-Feldmaßstab
- 3D-Visualisierungen für konzeptionelle Standortmodelle und Sanierungskonfigurierung

In diesem Beitrag soll an mehreren Fallbeispielen gezeigt werden, wie ergänzende technische Untersuchungen und Sanierungstests in Feld und Labor zielführend und angemessen angelegt werden können.

Aus deren Ergebnissen können dann belastbare fallspezifische Grundlagen für die zu entwickelnden Sanierungsszenarien abgeleitet und dann auch in der Kosten-Nutzen-Analyse zur Sanierungsvariantenauswahl beurteilt werden.

Ergebnisoffene technologische Untersuchungen und Tests zeigen teils durchaus auch überraschende Ergebnisse mit erheblichen Konsequenzen für die in der Folge zu entwickelnden Sanierungslösungen, die die Wichtigkeit gezielter verfahrensbedingter Standortuntersuchungen unterstreichen.

4 Ergänzende Standortuntersuchungen / für CSM

Zur Präzisierung konzeptueller Standortmodelle (CSM) zu Geologie, Hydrogeologie, Schadstoffchemie mit Transport-, Mobilisierungs- und Umwandlungseigenschaften dienen Untersuchungsprogramme zur gezielten Kenntnisdefizitbeseitigung.

→ Fallbeispiel LCKW-Schaden, Defizitanalyse mit Abwägung zur Durchführung (ErgStU)

Defizite	Maßnahmen Defizitbeseitigung	Risiko bei Nichtdurchführung
Defizite zur Geologie / Hydrogeologie		
Geologische / hydrogeologische Charakterisierung	Geologische Ansprache aller Bohrungen	Unsicherheit bei der Ableitung und Differenzierung hydrogeologischer Struktureinheiten (z.B. GWL oder GW-Stauer)
Kf-Werte	Kurzpumpversuche mit Auswertung auf hydraulische Parameter an 9 KMS und einer GWM (ggf. beim Klarpumpen der neuen KMS/GWM)	Unsicherheit bezüglich der hydraulischen Durchlässigkeiten → Frachtab schätzung unsicher
Vorzugswegsamkeiten	Thermo-Flow-Messungen in 4 GWM im Quellbereich und Abstrom	Ggf. unpassende vertikale Positionierung von Sanierungselementen (z.B. Filterlagen)
GW-Fließrichtungen	Verdichtung Messnetz mit weiteren Mehrfach-GWM, ggf. Phrealogmessungen in Einzelmessstellen	Nicht optimale Positionierung der Sanierungselemente

Defizite zu Schadstoffinventar und -verteilung im Quellbereich		
Boden-Bodenluft-Grundwasserbelastung	Bodenuntersuchung auf Feststoff und Eluat, Bodenluft-Grundwasserkartierung mit 9 Kombi-KMS (DN 50) und 3 Bodenluftabsaugversuchen	Nicht optimale Positionierung der Sanierungselemente
Keine Anstrom-GWM	Messnetzergänzung mit 1 GWM	Hintergrundbelastung unbekannt, Auswirkungen in den Anstrom unbekannt
Keine GWM im Quellbereich	Messnetzergänzung mit 1 GWM inkl. Bodenuntersuchung Feststoff und Eluat	Monitoring der Quellgrundwasserbelastung nicht möglich
Keine GWM im direkten Abstrombereich	Messnetzergänzung mit 1 GWM	Monitoring der Quellgrundwasserbelastung nicht möglich
Grundwasserbelastung	Quellpumpversuch an 1 GWM	Nicht optimale Positionierung der Sanierungselemente
Schadstoffinventar und -nachlieferungsverhalten	Säulenversuche und Laborversuche an 2 Linerproben	Abschätzung Sanierungsdauer nicht möglich

Defizite zu Schadstoffverteilung im Fahnenbereich

Nicht abgedeckte Bereiche in der Schadstoffverteilung, LCKW-Frachtbilanzierung	Messnetzergänzung mit 7 GWM	Unsicherheit in der LCKW-Verteilung, LCKW-Bilanzierung zum Teil nicht möglich
Fahnen spitze unbekannt	Messnetzergänzung mit 1 GWM	Gesamtfahnenlänge unbekannt
Grundwasserbelastung	Immissionspumpversuche an 2 GWM	Nicht optimale Positionierung der Sanierungselemente
Transportparameter Abbau und Retardation	Säulenversuche, Laborversuche an 2 Linerproben	Abschätzung der LCKW-Ausbreitung nicht möglich

❖ Fallbeispiel: Ergebnis → Präzisierung des konzeptionellen Standortmodells (Schnitte)

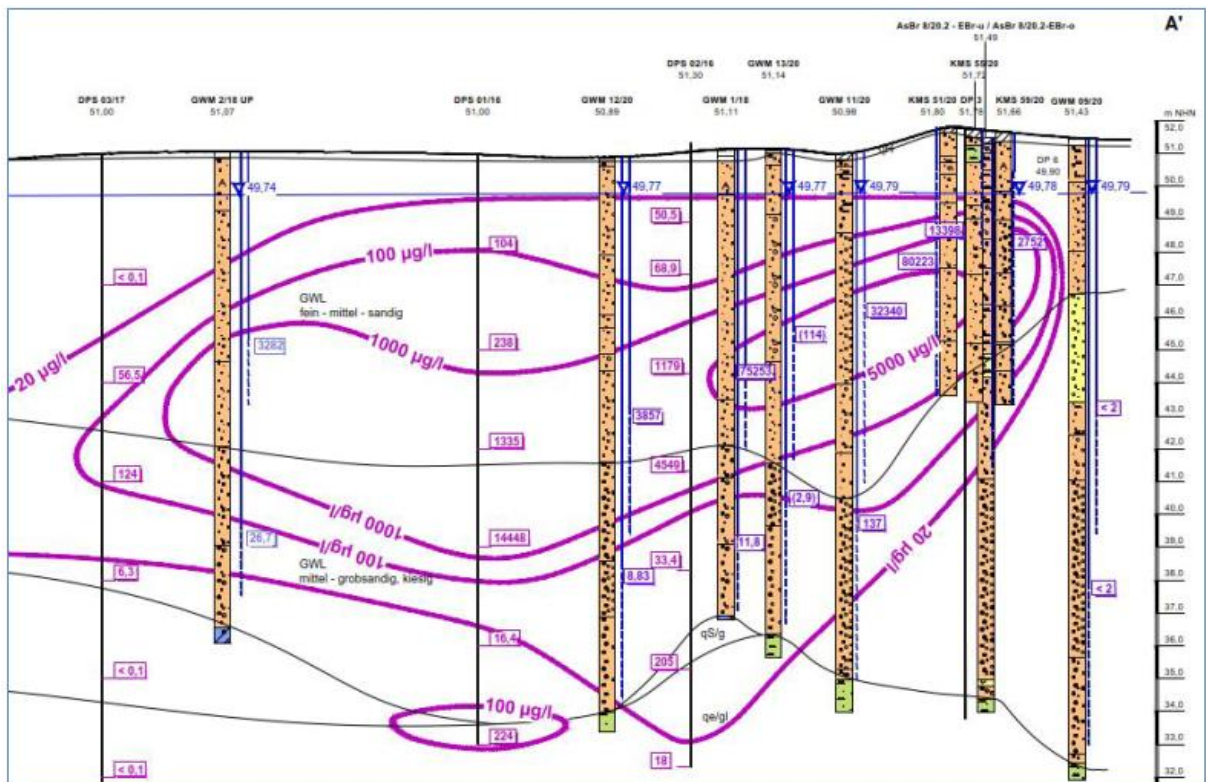


Abb. 1: Schematischer Kontaminationsschnitt vom KSP nach Nordwest (Ausschnitt)

❖ Fallbeispiel: Ergebnis → Präzisierung des CSM (Synoptische Belastungskarte)

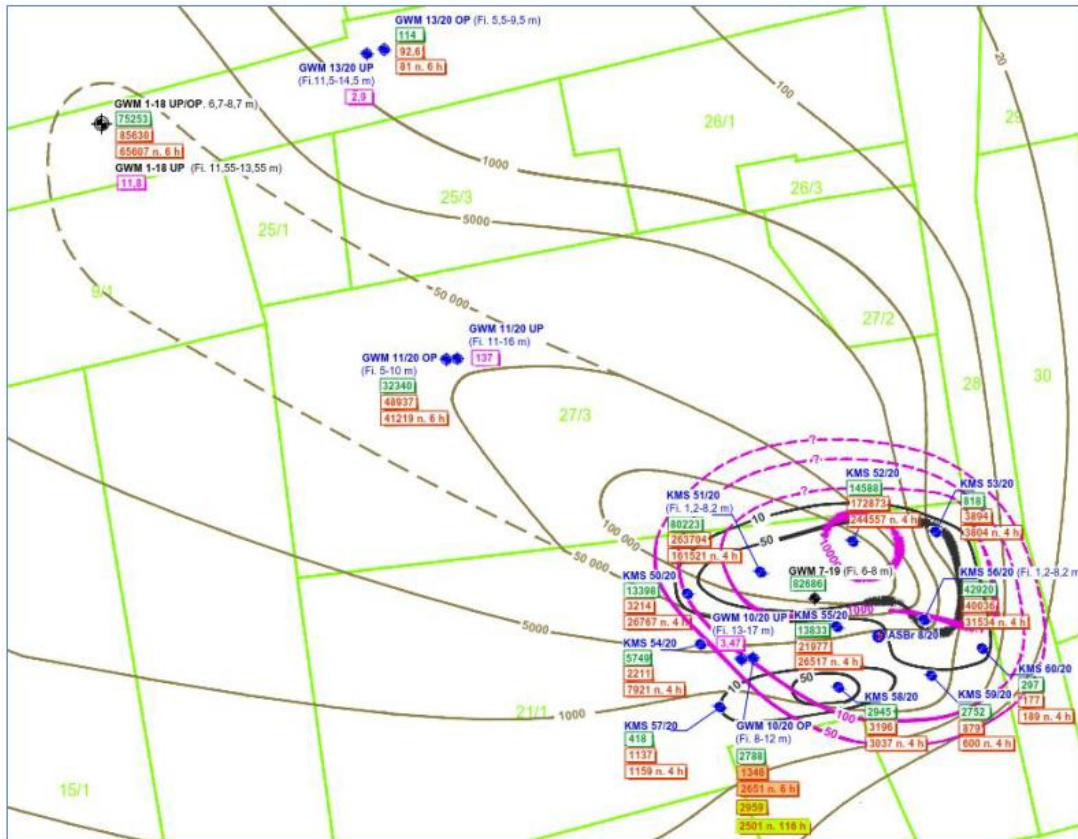


Abb. 2: Synoptische Darstellung der LCKW-Belastung in Boden, Bodenluft und Grundwasser für Schadenszentrum und direkten hochbelasteten Abstrom

❖ Fallbeispiel: Ergebnis → Begründete Ableitung von differenzierten Sanierungszonen

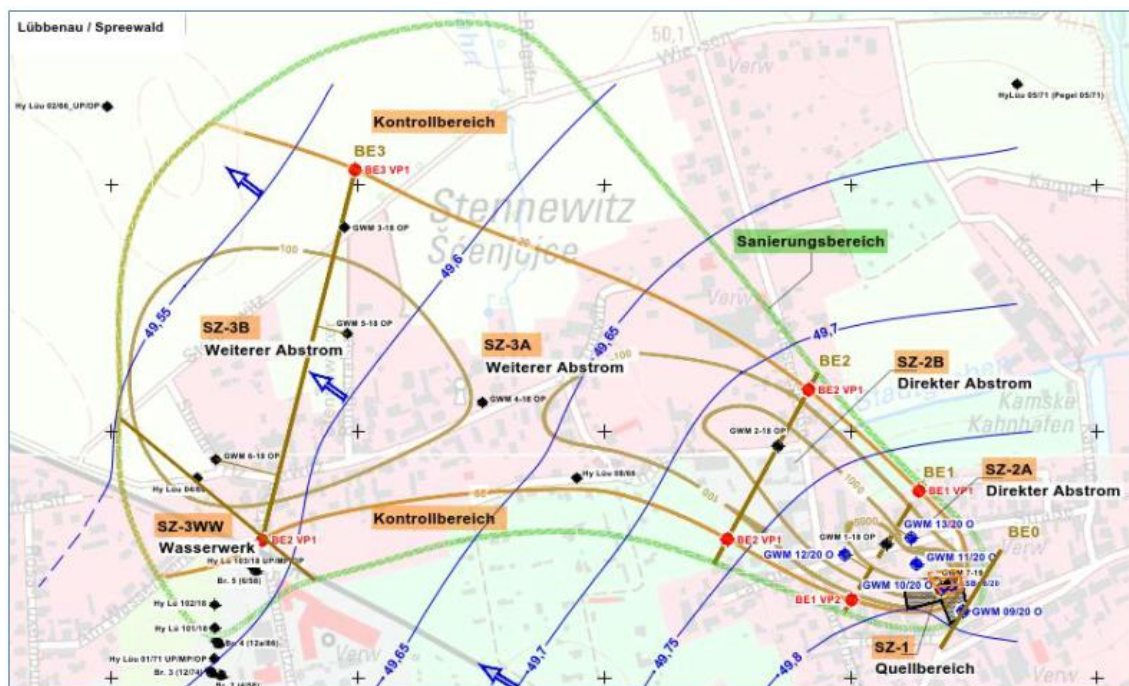


Abb. 3: Räumliche Lage der Sanierungszonen (schematisch)

❖ Fallbsp.: Ergebnis → 3D-Visualisierung für LCKW-Schaden, mit Sanierungselementen

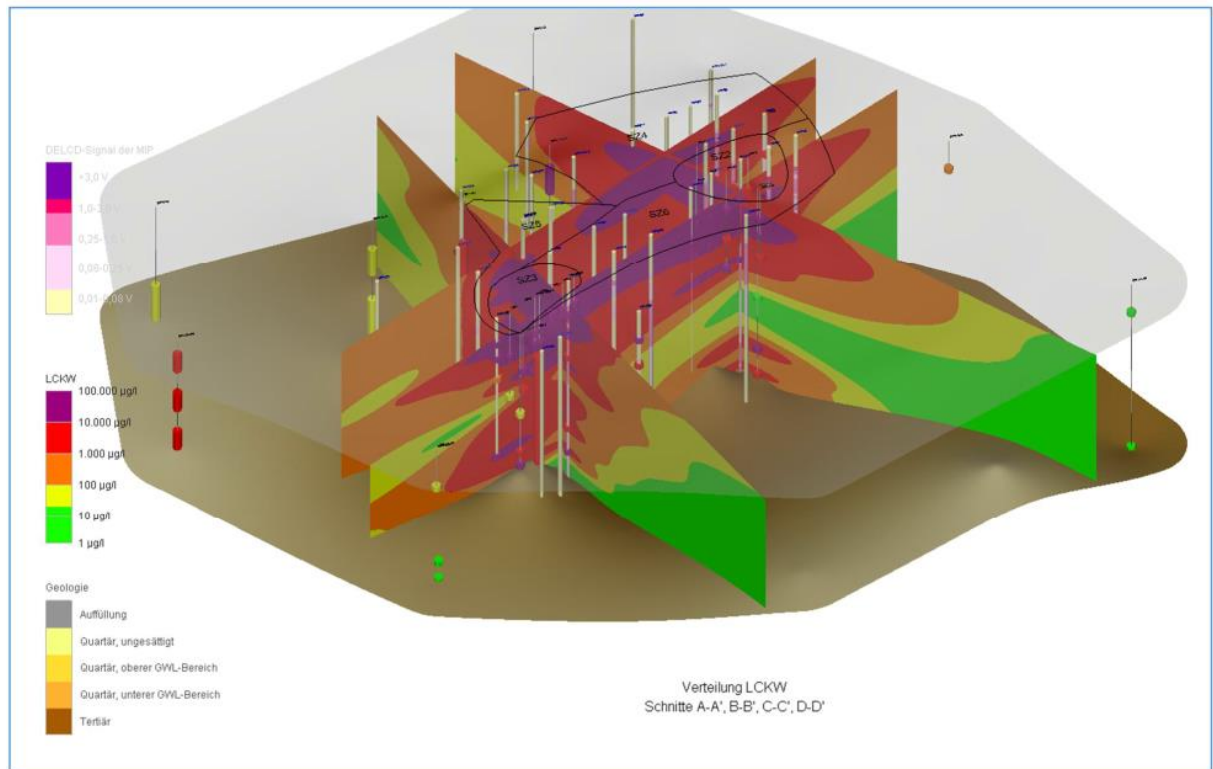


Abb. 4: 3D-Visualisierung für LCKW-Schaden

5 Verfahrensbedingte Untersuchungen

Untersuchungsprogramme zur gezielten Kenntnisdefizitbeseitigung dienen ebenso der Gewinnung fallspezifischer technologischer Grundlagen für die zu entwickelnden Sanierungsszenarien inklusive Basisdaten für Kosten-Nutzen-Analysen

→ Fallbeispiel LCKW-Schaden, Defizitanalyse zu Sanierungstests mit Abwägung

Defizite	Maßnahmen Defizitbeseitigung	Risiko bei Nichtdurchführung
Defizite zu einzelnen Sanierungsverfahren		
Bodenluftabsaugung	3 Bodenluftabsaugversuche (BLAV)	Unsicherheit bei Auswahl Sanierungsverfahren
Air-Sparging	1 Air-Sparging-Brunnen erstellen (Position operativ nach Ergebnissen der Kartierung) 1 Air-Sparging-Versuch (als fortgesetzter BLAV)	Unsicherheit bei Auswahl Sanierungsverfahren
ISCO	ISCO-Laborversuche mit verschiedenen Oxidationsmitteln an Linerproben	Unsicherheit bei Auswahl Sanierungsverfahren
ISBR	ISBR-Laborversuche mit verschiedenen Wirkstoffen an Linerproben	Unsicherheit bei Auswahl Sanierungsverfahren

- ❖ Beispiel: Quellstärken- und Immissionspumpversuche für Quell-Abstromverhalten (Test für hydraulische Verfahren, aber auch mit Datengewinnung für CSM)
- ❖ Beispiel LCKW: Airsparging-Sanierungstest, mit Basisdatengewinnung zu Austrag, ROI und p-V-t sowie zur Machbarkeitsbeurteilung mit Randbedingungen wie Flurabstand
- ❖ Beispiel LCKW: Labortest ISBR (In-situ-Biologische Reduktion) mit 4 Wirkstoffen
Ergebnis für Herd: Keine LCKW-Reduzierung, nur bei V2 Abbau nur bis zu CIS
Konsequenz: Keine weitere Verfolgung in der SU
- ❖ Beispiel LCKW: Labortest ISCO (In-situ-Chemische Oxidation) mit 3 Wirkstoffen
Ergebnis für Herd: Nur V2 Permanganat geeignet, aber dies sehr gut
Konsequenz: Weitere Verfolgung in der SU, Dimensionierung ermöglicht
- ❖ Beispiel LCKW: Labortest Nano-Partikel-Sanierung mit 5 Wirkstoffen
Ergebnis für Herdabstrom: V5+V6 sehr gut geeignet, V4 bedingt, V2+V3 nicht
Konsequenz: Dimensionierung ermöglicht, zunächst für Pilotsanierung mit Injektion kolloidaler adsorptiv-reaktiver Nanopartikel als permeable Wand (PARB)

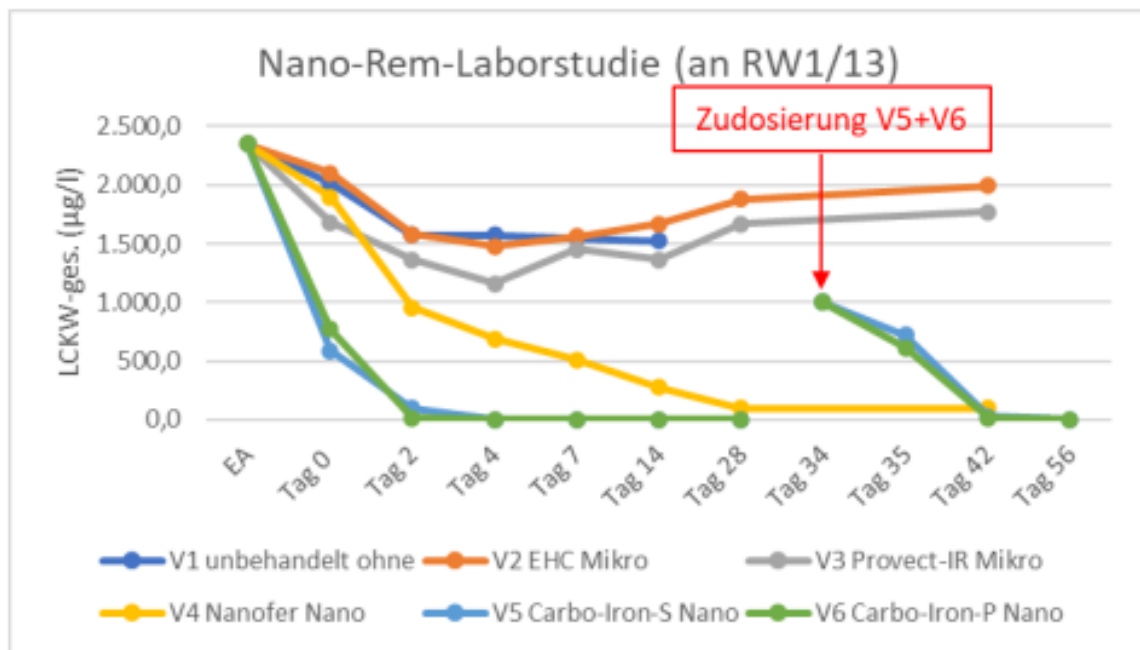


Abb. 5: LCKW-Entwicklung für die Grundwasserprobe aus RW 1/13 im Verlauf der Labortests mit den Varianten V1-6 über 42 bzw. 56 Versuchstage

→ Fallbeispiel Chrom-VI-Schaden, Defizitanalyse mit Untersuchungs+Testprogramm
Ergänzende Standortuntersuchungen / Abgestufte Sanierungstests

- Direct-Push-Sondierungen mit direkter Chrom-Detektion
- Labortests auf ISBRM (Laktat, Melasse o.ä) und ISCR (Fe-Sulfat, ZVE)
- Push-Pull-Tests parallel auf ISBRM und ISCR an GWM
- Zirkulationstests mit ISBRM- und ISCR-Favoriten
- Ggf. TSE-Tests mit Direct Push in bindigen Bereichen

6 Schlussfolgerungen für erfolgreiche Sanierungslösungen

Basis für erfolgreiche SU nach der Verfahrensvorauswahl sind belastbare systematische verfahrensbedingte Standortuntersuchungen und Sanierungstests, mit klassischen Methoden, aber insbesondere mit Tests zu innovativen in-situ-Sanierungstechnologien, die aktuell noch mehr Erfolgsnachweise und Dimensionierungsdaten im Vorfeld benötigen.

- Wie an mehreren Fallbeispielen gezeigt
- können stoff- und technologiebezogene Verfahrensuntersuchungen
- bei angemessenem Aufwand zielführend angelegt werden,
- um bestgeeignete Verfahren nachzuweisen und zu dimensionieren,
- in der Kosten-Nutzen-Analyse hinreichend beurteilen zu können
- und so Risiken von Fehlentscheidungen zu minimieren,
- aber auch keine aussichtsreichen, oft ökologisch guten, nachhaltigen, jedoch noch nicht so bekannten Technologien „außen vor“ zu lassen,
- die dann oft noch zu höherer Kosteneffizienz führen.

Im Ergebnis sind in den nächsten Planungs- und Realisierungsschritten auch bei komplexen schwierigen Schadensfällen effiziente angemessene und nachhaltige Sanierungslösungen in Qualität und Quantität viel sicherer auszuführen. Oft weisen integrale Sanierungslösungen mit räumlich und zeitlich aufeinander aufbauenden Sanierungselementen (als sog. „Treatment Train“) deutliche Vorteile gegenüber einzelnen Sanierungstechnologien au

PFAS-Immobilisierung

Dr. Stephan Hüttmann, Sensatec GmbH

1 Eigenschaften der PFAS mit Bezug zu ihrem Adsorptionspotential

PFAS (Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen) stellen mittlerweile sicher eine der bedeutendsten, altlastrelevanten Kontaminanten in der Umwelt dar. Es handelt sich dabei um fluorierte Stoffe, die mindestens ein vollständig fluoriertes Methyl- ($-\text{CF}_3$) oder Methylen- ($-\text{CF}_2-$) Kohlenstoffatom enthalten (gemäß OECD-Definition, 2021). PFAS stellen eine heterogene Stoffgruppe mit > 5000 Einzelverbindungen, das CompTox Chemical Dashboard der US EPA zählt sogar 14735 Einzelstoffe (US EPA, 2021) auf, möglicherweise gibt es aber noch weitaus mehr dieser Verbindungen. In Abb. 1 ist eine mögliche Systematisierung der PFAS von Mahinroosta et al. (2020) dargestellt.

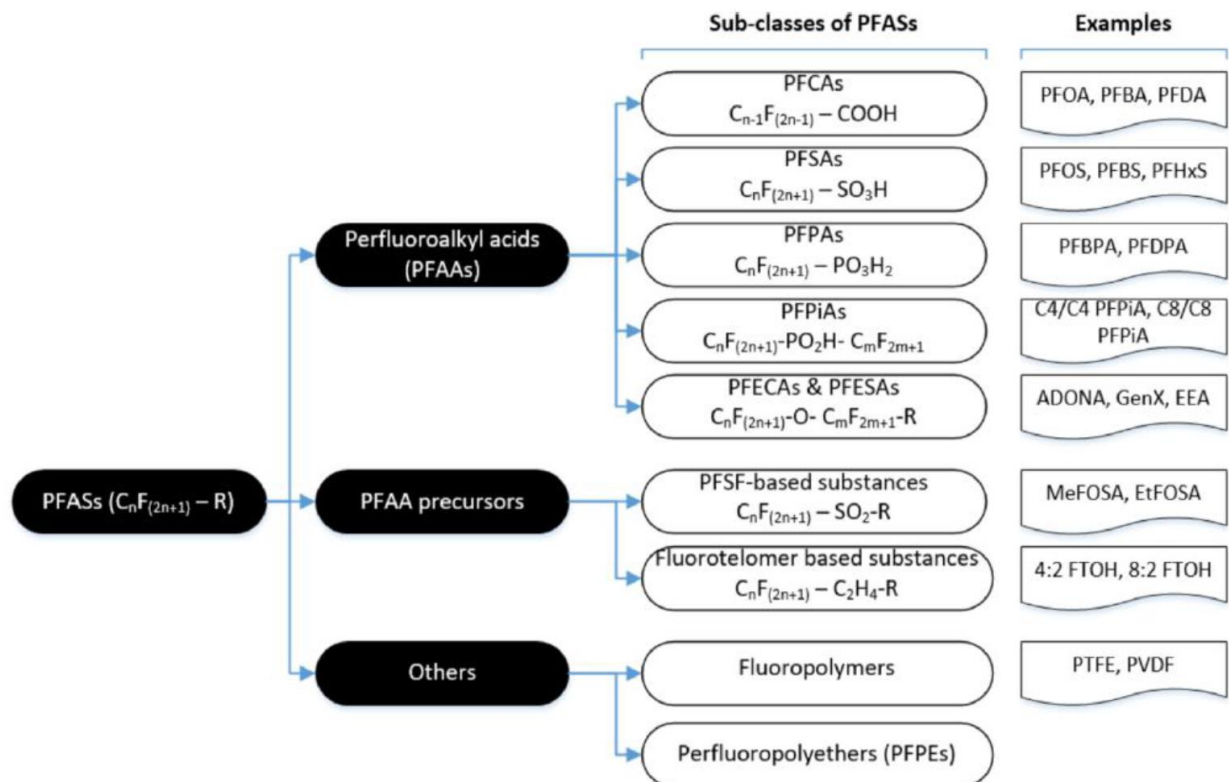


Abb. 1: Systematisierung der PFAS nach Mahinroosta et al., 2020

Dementsprechend weist die Gruppe der PFAS ein durchaus unterschiedliches Adsorptionsverhalten auf. Generelle Eigenschaften sind bedingt durch ihre funktionelle Gruppe – Sulfonsäuren und Carbonsäuren, die in Abhängigkeit vom pH-Wert negativ geladen sein können. PFAS-Moleküle sind in der Regel amphiphil, d.h. sie weisen generell eine hydrophilen i. d. R. polaren Teil sowie einen unpolaren Teil auf. Damit ähneln viele PFAS in ihren Eigenschaften auch der Gruppe der Tenside, weshalb sie zunächst auch als Perfluorierte Tenside (PFT) bezeichnet wurden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Tensiden verfügen perfluorierte Kohlenstoffketten jedoch auch über einen lipophoben Charakter. Dadurch sind sie nicht nur wasser- und fettabweisend, sondern auch abweisend gegen andere unpolare Verbindungen und Schmutzpartikel.

Zusammenfassend lassen sich im Hinblick auf ihre Behandlungsmöglichkeit folgende Eigenschaften der PFAS betonen:

- Amphiphiler Charakter: sowohl hydrophobe als auch hydrophile Eigenschaften
- PFAS reichern sich an Phasengrenzen an
- Sie aggregieren in Micell-Strukturen
- PFAS sind thermisch und chemisch sehr stabil
- PFAS haben generell einen niedrigen Henry-Koeffizient
- PFAS haben i. d. R. einen geringen Dampfdruck, die meisten Verbindungen sind nicht flüchtig
- PFAS sind bioakkumulativ und reichern sich v.a. im Blut und im Gehirn an.

Eine weitere Eigenschaft ist bedingt durch die hohe Elektronegativität des Fluors in der C-F-Bindung, wodurch die Elektronen sehr stark vom Fluor angezogen werden. Infolge dieser Elektronenverschiebung weisen PFAS im allgemeinen eine negative Oberflächenladung auf, während der Kern des Moleküls eher positiv geladen ist. Dadurch können sich PFAS-Moleküle an positiv geladene Oberflächen anlagern.

Innerhalb der Gruppe der PFAS werden des Weiteren die Precursor-Verbindungen differenziert. Das sind polyfluorierte Verbindungen, die zum Teil durch biologische Prozesse z. B. in der Bodenmatrix zu perfluorierten Verbindungen umgewandelt werden können. Precursor-Verbindungen weisen in der Regel ein wesentlich stärkeres Bindeverhalten z. B. an die Bodenmatrix auf, welches sich durch die Umwandlung zu perfluorierten Verbindungen verändern kann, wodurch PFAS stärker mobil werden (Vegas und TZW, 2022).

Schließlich unterscheiden sich PFAS insbesondere auch durch ihre Kohlenstoff-Kettenlänge. Kurze PFAS-Kettenlängen starten im Bereich von 4 Kohlenstoffketten (Perfluorbutylsäure, Perfluorbutylsulfonat), während hohe PFAS-Kettenlängen deutlich mehr als 10 Kohlenstoff-Atome lang sein können. Insbesondere auch die Kettenlänge der PFAS spielt im Hinblick auf die Sorptionseigenschaften diese Moleküle eine große Rolle.

Die Sorption von PFAS an der Feststoffmatrix wird von verschiedenen Mechanismen bestimmt:

- hydrophobe Wechselwirkung der hydrophoben C-F-Ketten mit organogenen Strukturen der Matrix (Mahinroosta et al., 2020, Inyang and Dickenson, 2017, Merino et al., 2016, and Higgins and Luthy, 2006)
- elektrostatische Interaktion der polaren Strukturen z. B. mit Tonmineralien (Mahinroosta et al., 2020, Inyang and Dickenson, 2017, Merino et al., 2016, and Higgins and Luthy, 2006)
- Komplexierung von Oberflächen (Wei et al., 2017)
- Anlagerung über Wasserstoffbrücken (Wei et al., 2017)
- PFOS Adsorptionsisothermen an der Bodenmatrix können nach Freundlich mit positiver Korrelation zu Al-/Fe-Oxiden und TOC dargestellt werden.
- Steigende Konzentrationen von Calciumionen sowie ein absinkender pH-Wert erhöhen die Sorptionskapazität in der Bodenmatrix (Higgins und Luthy, 2006)

2 Geeignete Adsorbentien und ihre Vor- und Nachteile

PFAS adsorbieren relativ gut an Adsorbentien, wie vor allem Aktivkohle, aber auch an Tonerde und spezifischen Ionenaustauscherharzen. Auch an spezifisch präparierten Oberflächen, wie z. B. quarternäre Ammoniumverbindungen (z. B. PerFluorAd, Fa. Cornelsen) binden PFAS gut.

Eine Immobilisierung von PFAS durch eine Immobilisierung mittels Zementzugaben (Bodenverfestigung) ist demgegenüber nicht wirksam und kann sogar zu einer stärkeren PFAS-Freisetzung im Vergleich zum unbehandelten Boden führen (VEGAS und TZW, 2022).

Je feiner die Aktivkohlen gemahlen sind, umso höher ist ihre massespezifische Adsorptionskapazität, ausgedrückt als Boden/Wasser-Partitionskoeffizient K_d -Wert, wie in Abb. 2 dargestellt (Xiao et al., 2017).

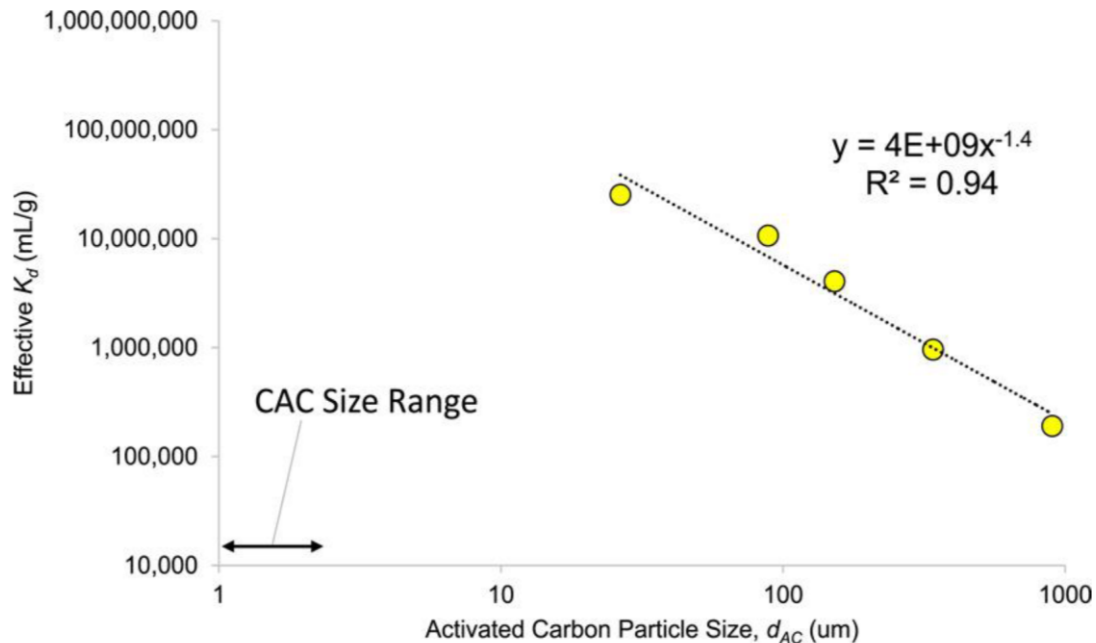


Abb. 2: Boden-/Wasser-Partitionskoeffizient (K_d) in Abhängigkeit von der Aktivkohle-Partikelgröße (Xiao et al., 2017)

Mit klassischen Abwasseraufbereitungsverfahren, wie z. B. einer Flockung, Ultrafiltration oder Oxidation lassen sich PFAS nicht aus dem behandelten Wasser entfernen.

Kurzkettige PFAS (C4, C5-PFAS) haben ein wesentlich schnelleres Durchbruchverhalten gegenüber Aktivkohle, daher sind es diese Verbindungen, die die generelle Standzeit der Aktivkohle bestimmen (Vegas und TZW, 2022). Die kurzkettigen PFAS werden auf der Aktivkohle durch die besser adsorbierenden, nachströmenden langkettigen Verbindungen von ihren Adsorptionsplätzen verdrängt, so dass es zu einer Art „Chromatographieeffekt“ bei den Kurzkettern auf der Aktivkohle kommt (Quelle TZW, 2024).

Zhang und Liang (2022) wiesen im Zusammenhang mit der Sorption kurzkettiger PFAS bei Zugabe von aktivkohlebasierten Adsorbentien darauf hin, dass die Sorption der Kurzketter sich mit zunehmender Kontaktzeit deutlich verbessert. Auch niedrige pH-Werte vermindern eine potenzielle Desorption von PFAS aus zuvor mittels Aktivkohlehaltigen Sorbentien stabilisierten PFAS im Boden deutlich (Kabiri et al., 2021).

In Langzeitanalysen aus Feldanwendungen zur PFAS-Immobilisierung in verschiedenen Böden wurden PFAS-Elutionsminderungen zwischen 95 und 99% erreicht (McDonough et al., 2022).

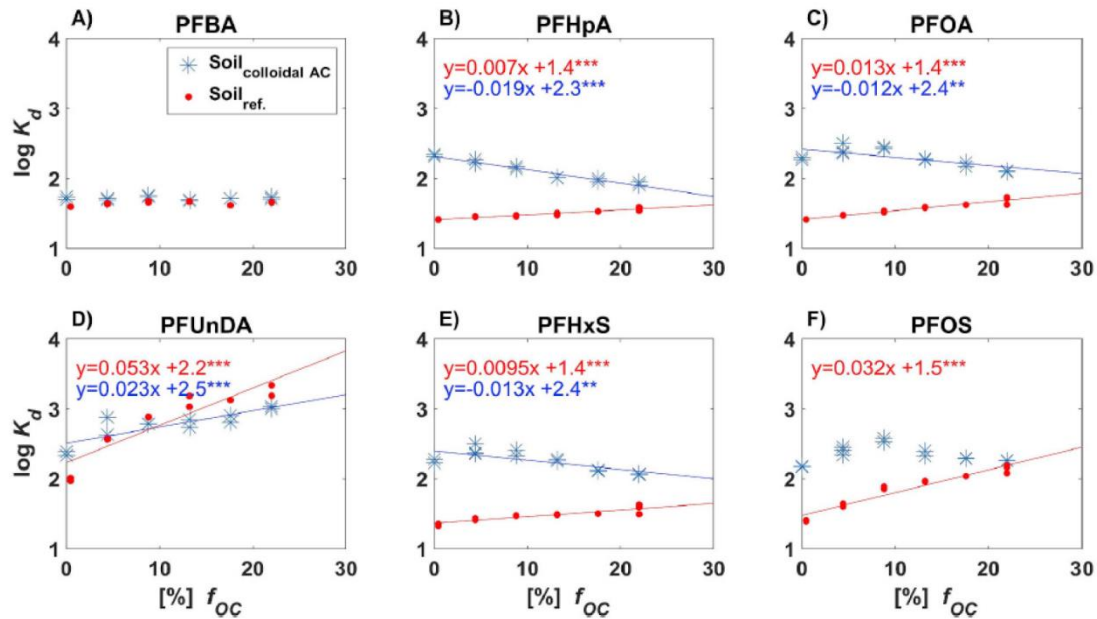


Abb. 3: Wirkung kolloidaler Aktivkohle-Bodengemische auf die Elutionsfähigkeit der PFAS (Sørengård et al., 2019)

Soil-water partitioning coefficient $\log K_d$ as a function of soil organic carbon fraction (f_{OC}) for:

- A) perfluorobutanoate (PFBA),
- B) perfluoroheptanoate (PFHpA),
- C) perfluorooctanoate (PFOA),
- D) perfluoroundecanoate (PFUnDA),
- E) perfluorohexane sulfonate (PFHxS) and
- F) perfluorooctane sulfonate (PFOS),

in six different colloidal AC treated and non-treated soils. $*p < 0.05$; $**p < 0.01$; $***p < 0.001$.

Bei kolloidalen Aktivkohlen, die über wässrige Lösungen in den Untergrund injiziert werden, ist zudem aus einer Studie von Sørengård et al., 2019 bekannt, dass sie nicht in der Lage sind, kurzkettige PFAS, wie z. B. PFBA sowie auch sehr langkettige PFAS, wie hier Perfluorundekansäure, zurückzuhalten. Die Wissenschaftler kamen zu der Einschätzung dass sich bezüglich dieser Stoffe die Wirkung im PFAS-Rückhaltevermögen nicht von unbehandeltem Boden unterscheidet.

3 Anwendungsbeispiele für PFAS-Sanierungen basierend auf Adsorption

Auf die aktivkohlebasierten Adsorptionsverfahren im Rahmen hydraulischer Sicherungsverfahren „Pump and Treat“ wird an dieser Stelle nicht eingegangen, da sie auch für PFAS mittlerweile zu den Standardanwendungen gehören und ihre Anwendungsprinzipien aus jahrzehntelangen hydraulischen Sicherungen gut bekannt sind.

Stattdessen soll an dieser Stelle auf innovativere, adsorptionsbasierte Verfahren zur On-site-Sanierung sowie zur In-situ-Sicherung von PFAS-Schäden eingegangen werden.

Für die Behandlung von PFAS-haltigen Bodenmaterialien besteht grundsätzlich die Möglichkeit, diese Bodenmaterialien mit PFAS-Adsorptionsmaterialien zu vermischen, um dadurch die Elution von PFAS aus diesem Bodenmaterialien weitgehend zu unterbinden. Das Verfahren kann als On-site-Bodenaufbereitungsverfahren oder auch als „mixed-in-place“-Verfahren realisiert werden. Dabei werden die Bodenmaterialien auf eine gewünschte Bodenfeuchte eingestellt und anschließend in einem zuvor laborativ bestimmten Mischungsverhältnis mit den Adsorbentien vermischt. Anschließend kann das Material unter kontrollierten, ggf. undurchlässigen Strukturen direkt wieder eingebaut werden oder es ist aufgrund erfüllter Annahmekriterien auch eine Deponierung der Bodenmaterialien möglich. Für das bekannteste Adsorbens „Rembind“ liegen bereits eine Reihe von Anwendungsreferenzen vor:

- Christchurch, Neuseeland (Rembind press release, 2023)
- Military Fire Fighting Training site, Sweden (Rembind press release, 2023)
- Townsville RAAF site, Queensland, Australia (Rembind press release, 2019)
- Airport fire fighting training site, Norway (Hale et al., 2016)

Eine alternative Verfahrensweise ist die In-situ-Immobilisierung von PFAS durch Injektion oder Infiltration von Adsorbentien. Hier ist zu unterscheiden zwischen verschiedenen und vor allem verschieden wirksamen Aktivkohlequalitäten:

- Granuläre Aktivkohlen – verfügen über eine gute hydraulische Durchlässigkeit und können mit Spezialtechniken meist unter Druck injiziert werden
- Pulverförmige Aktivkohlen – verfügen über eine mäßig gute hydraulische Durchlässigkeit und werden ebenfalls mit Spezialtechniken in gewünschte Teufe und Menge injiziert
- Kolloidal gelöste Aktivkohle – verfügen über eine hohe Mobilität in-situ und werden als Niederdruck-Infiltration über Pegel oder über direct push-Injektion appliziert. Besonderes Augenmerk ist bei dieser Anwendung auf die schwierige Kontrolle der Ausbreitung zu legen.

Für alle zuvor beschriebenen Beispiele der In-situ-Immobilisierung gibt es mittlerweile Anwendungsbeispiele im Vollmaßstab.

Bei der Anwendung von kolloidalen Aktivkohlen mittels Infiltration flüssiger Aktivkohlen ist zu berücksichtigen, dass die Verteilung von kolloidalen Aktivkohlen im Untergrund schwer zu kontrollieren ist. In einem Anwendungsbeispiel am Standort „Flughafen Fairbanks, Alaska“ färbte sich ein Großteil der abstromig gelegenen Monitoringpegel nach der anstromigen Infiltration von kolloidaler Aktivkohle schwarz und konnte daher nicht mehr zweifelsfrei als Monitoringpegel verwendet werden. Unklar blieb in diesem Fall auch, ob die Infiltration von kolloidalen Aktivkohlen sogar zu einem verstärkten PFAS-Transport beigetragen haben (Shannon und Wilson, 2021).

Die Injektion von partikulären Aktivkohlen erfolgt dagegen streng horizontgetreu und lediglich in einem zuvor festgelegten Injektionsradius, der vor allem durch die zu injizierenden Massen und den Volumenstrom während der Injektion definiert wird.

Erste Anwendungsbeispiele für die Hochdruckinjektion von partikulären Aktivkohlen zur Sicherung von Grundwasserschäden gibt es z. B. an einem Standort in Troisdorf, NRW.

Die Anwendung von Aktivkohlen als durchströmte Reinigungswände sind insbesondere in Kombination mit der zuvorigen Elimination von Schadstoffquellen eine interessante Perspektive, denn dadurch kann der jahrzehntelange Einsatz von hydraulischen Sicherungsmaßnahmen verhindert werden.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die aktivkohlebasierte, hydraulische Sicherung von PFAS-kontaminierten Standorten wird sicher weiter in der Altlastensanierung – und sicherung persistieren, sie ist aber ganz sicher nicht alternativlos. Es gibt mittlerweile leistungsfähige Alternativen für die Bodenbehandlung sowie für die Abstromsicherung PFAS-haltigen Grundwassers. Darüber hinaus wurden spezifische Ionenaustauscher mit einer mittlerweile mehr als 10-fachen Beladepazität im Vergleich zu PFAS-optimierten Aktivkohlen entwickelt, die möglicherweise auch für adsorptive Prozesse in Grundwasserreinigungsanlage oder auch für die Stabilisierung von PFAS in Böden gut geeignet sind.

Angesichts der mittlerweile großen Entsorgungsschwierigkeiten für PFAS-haltige Bodenmaterialien aus Sanierungsmaßnahmen im zentralen Europa, die nicht ansatzweise den prognostizierten Entsorgungsbedarf für PFAS-haltige Aushubmaterialien decken können, sollten Verfahren zur Stabilisierung der PFAS in Böden mittels geeigneter Adsorbentien weiter intensiv geprüft und bei ausreichender, erzielbarer Stabilisierung in der Praxis auch zur Anwendung kommen.

Die Verwendung von kolloidalen Aktivkohlen zur Infiltration in Brunnen ist insbesondere aufgrund ihrer praktisch nicht vorhandenen Adsorptionsfähigkeit kurzkettiger PFAS durchaus kritisch zu sehen und ggf. nur für Sicherungsmaßnahmen von Schadensfällen geeignet, in denen diese kurzkettigen PFAS nicht nachgewiesen wurden.

Aussichtsreich für die Behandlung von PFAS-Schäden im Grundwasser sind möglicherweise Kombinationsverfahren aus kostengünstiger Adsorption der Gesamtmasse von PFAS mittels Aktivkohlen kombiniert mit dem Einsatz von Ionenaustauscherharzen insbesondere zur Adsorption der kurzkettigen PFAS. Ein gutes Beispiel dafür ist das unter Beteiligung des TZW entwickelte Verfahren ZeroPM (www.zeropm.eu).

5 Literatur

Hale, S.E., Arp, H.P., Aasen Slinde, G., Wade, E.J., Bjørseth, K., Breedveld, G.D., Straith, B.F., Grothting Moe, K., Jartun, M., Høisæter, Å. (2016): Mobility and leaching in a contaminated sandy soil from a Norwegian firefighting training facility. *Journal of the Chemosphere*. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.12.057

Kabiri, S., Centner, M. und McLaughlin, M.J. (2021): Durability of sorption of per- and polyfluorinated alkyl substances in soils immobilised using common adsorbents: 1. Effects of perturbations in pH. *Science of the Total Environment*, Volume 766 (2021) 144857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144857>

Mahinroosta, R. und Senevirathna, L. (2021): A review of the emerging treatment technologies for PFAS contaminated sites. *Journal of Environmental Management* 255 (2020) 109896

McDonough, J.T., Anderson, R.H., Lang, J.R., Liles, D., Matteson, K. und Olechiw, T. (2022): Field-Scale Demonstration of PFAS Leachability Following In Situ Soil Stabilization. *ACS Omega* 7 (2022), 419- 429.

Shannon und Wilson (2021): Fairbanks International Airport PlumeStop® Pilot Study, Summary Report. Quelle:

<https://dot.alaska.gov/airportwater/docs/Fairbanks%20International%20Airport/2021.12%20FAI%20PlumeStop%20Pilot%20Study%20Report%20for%20Public.pdf>

Sørengård, M., Berggren Kleja, D. und Ahrens, L. (2019): Stabilization of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) with colloidal activated carbon (PlumeStop®) as a function of soil clay and organic matter content. *Journal of Environmental Management* 249 (2019) 109345

Vegas und TZW (2022): Forschungsvorhaben „Nachweis PFAS-Immo“ – Entwicklung einer Vorgehensweise zum Nachweis der PFAS-Immobilisierung für konkrete, vorgegebene Immobilisierungsansätze. Förderkennzeichen L7519001 / L75 19002

Xiao, X., Ulrich, B. A., Chen, B., & Higgins, C. P. (2017). Sorption of poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) relevant to aqueous film-forming foam (AFFF)-impacted groundwater by biochars and activated carbon. *Environmental Science & Technology*, 51 (2017), 6342–6351.

Zhang, W. und Liang, Y. (2022): Performance of different sorbents towards stabilizing per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in soil. *Environmental Advances* 8 (2022), 10021

Vom sanierten Industriestandort zum PFAS-Schadensfall

Daniel Fröhlich, HIM-ASG

1 Standort

1.1 Lage und Umgebung

Bürrstadt liegt in Südhessen, ca. 50 km südlich von Frankfurt am Main im Hessischen Ried, dem nordöstlichen Teil der Oberrheinischen Tiefebene. Die Ebene entstand durch eine mit Sedimenten verfüllte Grabenbruchzone, dem sog. Oberrheingraben.

Der Rhein verläuft im Westen in 5,4 km Entfernung, der Lampertheimer Altrhein liegt ca. 3,6 km südwestlich.

Der ehem. Industriestandort war unterteilt in die aneinander grenzenden Werke I und II. Nördlich des Werks II verläuft die Straße „Krämersweide“ bzw. die Bahnlinie Worms-Bensheim (Nibelungenbahn). Im Osten und Süden grenzen unmittelbar an die ehem. Werke I und II Ein- und Mehrfamilienhäuser mit privaten Gärten. Im Westen schließen sich neben der Straße „Am Weiher“ weitere Privatgrundstücke mit Wohnbebauung an.

Werk I und Werk II besaßen jeweils eine Größe von ca. 6.000 m². Das Gelände von Werk I wurde inzwischen durch Wiederbebauung mit Mehrfamilienhäusern revitalisiert. Werk II ist derzeit eine Brachfläche.

1.2 Historie

Seit 1952 waren auf dem Gelände von Werk I metallverarbeitende Betriebe angesiedelt, wobei vor allem Kochtöpfe und Pfannen aus Aluminium für den Haushaltsbedarf produziert wurden. Beim Produktionsprozess wurden Beiz- und Neutralisationsbäder und in der Werksschleiferei Schleif- und Hydrauliköle verwendet. Zur Entfettung metallischer Teile wurden der Zeit entsprechend LHKW-haltige Lösungsmittel eingesetzt.

Ab ca. 1975 wurde das Werk I um das unmittelbar nordwestlich angrenzende Gelände erweitert und dort das Werk II errichtet.

In Tab. 1 ist ein kurzer historischer Abriss der Nutzung von Werk I und II und relevanter Ereignisse zusammengefasst.

Tab. 1: Historischer Abriss

	Werk I	Werk II
vor 1952	landwirtschaftliche Nutzfläche, Wohnbebauung	
1952	Produktionsbeginn	Wohnbebauung
ca. 1975	Produktion	Produktionsbeginn
1989	Produktionsende Boden-, Bodenluft- und GW- Untersuchungen	Produktionsende

	Werk I	Werk II
1993	Gebäuderückbau, Bodensanierung	-
1995	Inbetriebnahme Grundwasserreinigungsanlage (GWRA) zur LHKW-Abreinigung	-
1997	-	Boden-, Bodenluft- und GW- Untersuchungen
2004	-	Anschluss an GWRA
2008	-	Großbrand, Löscharbeiten mit AFFF-Schäumen
2012	Revitalisierung, Wiederbebauung mit Wohngebäuden	
2015	Abschluss LHKW-GW-Sanierung	
2019	-	PFC-Boden- und GW-Untersuchungen
2022	-	Gebäuderückbau; PFAS-Boden- und GW-Untersuchungen
2023	-	PFAS-GW-Monitoring; Beprobung von Gartenbrunnen

1.3 Hydrogeologie

Die Schichtenfolge am Standort des Werks I und II ist durch die zahlreichen Boden- und Grundwasseruntersuchungen seit 1989 (Werk I) bzw. 1997 (Werk II) bis in Teufen von etwa 77 m u. GOK erkundet. In dieser Teufe wurde die Basis des Mittleren Grundwasserleiters (MGWL) in Form eines grauen Tons angetroffen.

Im Bereich des ehem. Werks II beträgt der Flurabstand etwa 2,6 m. Die Fließrichtung ist nach Süd-Südwest gerichtet und mit einem Gradienten von 0,03 sehr flach.

Der Durchlässigkeitsbeiwert (kf) lag im Rahmen vergangener Pumpversuche bei $8,8E-04$ m/s.

Charakteristisch für den Standort ist ein nur sehr geringmächtig ausgeprägter OZH, der eine ausgeprägte Kommunikation zwischen OGWL und MGWL ermöglicht. Unterhalb von Werk I wurde zudem eine ausgedehnte Schlufflinse erkundet.

2 Werk I

Auf Grund der Problematik hinsichtlich der unterhalb von Werk I erkundeten Schlufflinse, etwaiger Wasserhaltungsmaßnahmen und Gewährleistung der Standsicherheit der umliegenden Bebauung wurde die Bodensanierungsmaßnahme mittels eines kombinierten Verfahrens von konventionellem Bodenaushub mit Bagger sowie Großlochbohrungen durchgeführt. Insgesamt wurden in mehreren Bauabschnitten unter fachgutachterlicher Begleitung ca. 4.900 m^3 Bodenmaterial für die Sanierung von Werk I ausgehoben und verwertet.

Für die mikrobiologische on-site-Sanierung des kontaminierten Bodenmaterials wurden Einhausungen mit Abluftreinigungssystemen errichtet.

Der Sanierungserfolg wurde durch die Entnahme von Sohl- und Wandproben nachgewiesen.

Gemäß Sanierungsbescheid wurde eine Grundwassersanierungsanlage zur Abreinigung von LHKW (Enteisung, Nassoxydation und Strippung) im Mai 1995 dauerhaft in Betrieb genommen. Im Jahr 2004 wurde das Gelände des Werk II über einen Sanierungsbrunnen an die vorhandene Grundwasserreinigungsanlage angeschlossen.

Im Zuge der Revitalisierung und Neubebauung des Geländes von Werk I durch die Stadt Bürstadt wurde der Standort der Grundwassersanierungsanlage Ende 2011 verlegt, eine neue Anlage errichtet und 2012 in Betrieb genommen (der weitere Sanierungsverlauf wird in Kapitel 3.1 beschrieben).

3 Werk II

3.1 Großbrand, Ende der LHKW-Grundwassersanierung und Gebäuderückbau

Im Jahr 2008 kam es in den ehemaligen, leerstehenden Betriebsgebäuden auf dem Gelände von Werk II zu einem Großbrand ausgehend von in Brand geratenen Müllablagerungen. Mehrere Feuerwehren, auch aus dem Umkreis, waren zur Brandbekämpfung vor Ort. Der Großbrand konnte schließlich unter Einsatz von Mehrbereichsschaummittel (AFFF-Schäume) gelöscht werden.

Das Gelände von Werk II wurde 2012 im Rahmen der Wiederbebauung von Werk I und der Verlegung der vorhandenen Grundwasserreinigungsanlage über einen neu errichteten Horizontalbrunnen an die neue Anlage angeschlossen.

Eine im Jahr 2015 durchgeführte Verhältnismäßigkeitsprüfung erbrachte als Ergebnis neben einem Sanierungserfolg von 95 % auch einen über das Grundwassermonitoring nachgewiesenen, unbelasteten Abstrom. Die Anlage wurde daraufhin Ende 2015 abgeschaltet- und zunächst noch im Stand-by-Modus weiter vorgehalten. Die LHKW-Grundwassersanierung war erfolgreich beendet.

In den Folgejahren wurde zur Nachsorge ein Grundwassermonitoring an den vorhandenen Grundwassermessstellen durchgeführt.

Die Stadt Bürstadt erwarb 2020 das Gelände des Werks II und veranlasste 2022 den Rückbau der verbliebenen ehemaligen Betriebsgebäude. In Abstimmung mit dem Land Hessen wurde vereinbart, die Bodenplatten zu belassen, um eine Verfrachtung der PFAS durch Niederschläge zu reduzieren.

3.2 PFAS-Boden- und Grundwasseruntersuchungen

2019 wurden auf dem Gelände des ehem. Werks II orientierende Boden- und Grundwasseruntersuchungen auf PFAS durchgeführt. In den abgeteufte Bohrungen wurden PFAS-Summengehalte (25 PFAS-Einzelsubstanzen) von max. 1.060 µg/kg (Feststoff) ermittelt, im Eluat von bis zu max. 210 µg/l. Die maßgeblichen Einzelsubstanzen waren PFOS, PFOA, PFHxS und PFHxA. In zwei beprobten Grundwassermessstellen lagen die Konzentrationen bei max. 87 µg/l für die Summe-PFAS₂₅.

Auf Grund der 2019 nachgewiesenen PFAS-Belastungen wurden 2022 sechs Bohrungen auf dem Gelände des Werks II bis in eine Tiefe von max. 20 m u. GOK niedergebracht. Drei der Bohrungen wurden als Grundwassermessstellen ausgebaut.

Die aus den Bohrungen entnommenen Bodenproben wurden zunächst auf PFAS im Eluat untersucht, im Nachgang erfolgte zur abfalltechnischen Beurteilung eine Analyse auf PFAS im Feststoff. Aus den neu errichteten und weiteren noch vorhandenen Messstellen wurden zudem Grundwasserproben entnommen.

bis in eine Tiefe von 5,0 m u. GOK. In den grundwasserführenden Schichten konnten vier Hot-Spot-Bereiche für PFAS lokalisiert werden.

Ein Handlungsbedarf für eine Bodensanierung war aus fachgutachterlicher Sicht gegeben. Es wurden sechs Sanierungsvarianten vorgestellt, fünf mit konventionellem Bodenaushub, z. T. mit Einbau von Kunststoffdichtbahnen und Wiedereinbau des ausgehobenen Bodenmaterials sowie eine Variante mit Bodenaustausch durch Großlochbohrungen.

In der Bewertung wurden sowohl die spätere Nutzung als auch Synergien zwischen der vorhandenen, aber derzeit stillgelegten Anlagentechnik zur LHKW-Grundwassersanierung sowie der Bodensanierung berücksichtigt und aufgezeigt.

3.4 PFAS-Grundwassermonitoring

Das Grundwassermonitoring wurde 2023 an den vorhandenen Grundwassermessstellen fortgesetzt. Neben dem Messstellennetz aus der vergangenen LHKW-Grundwassersanierung wurden nach einer Bürgerinformationsveranstaltung im Rathaus der Stadt Bürstadt auch Gartenbrunnen auf Privatgrundstücken in der Umgebung von Werk II untersucht.

Hinsichtlich der Verteilung der PFAS-Einzelparameter ergab sich für das Gelände des ehem. Werks II und des südwestlichen Abstroms eine deutliche Dominanz von PFOS und PFHxS. Im Südosten bzw. im Bereich des ehem. Werk I war PFOA der maßgebliche Parameter (Abb. 2).

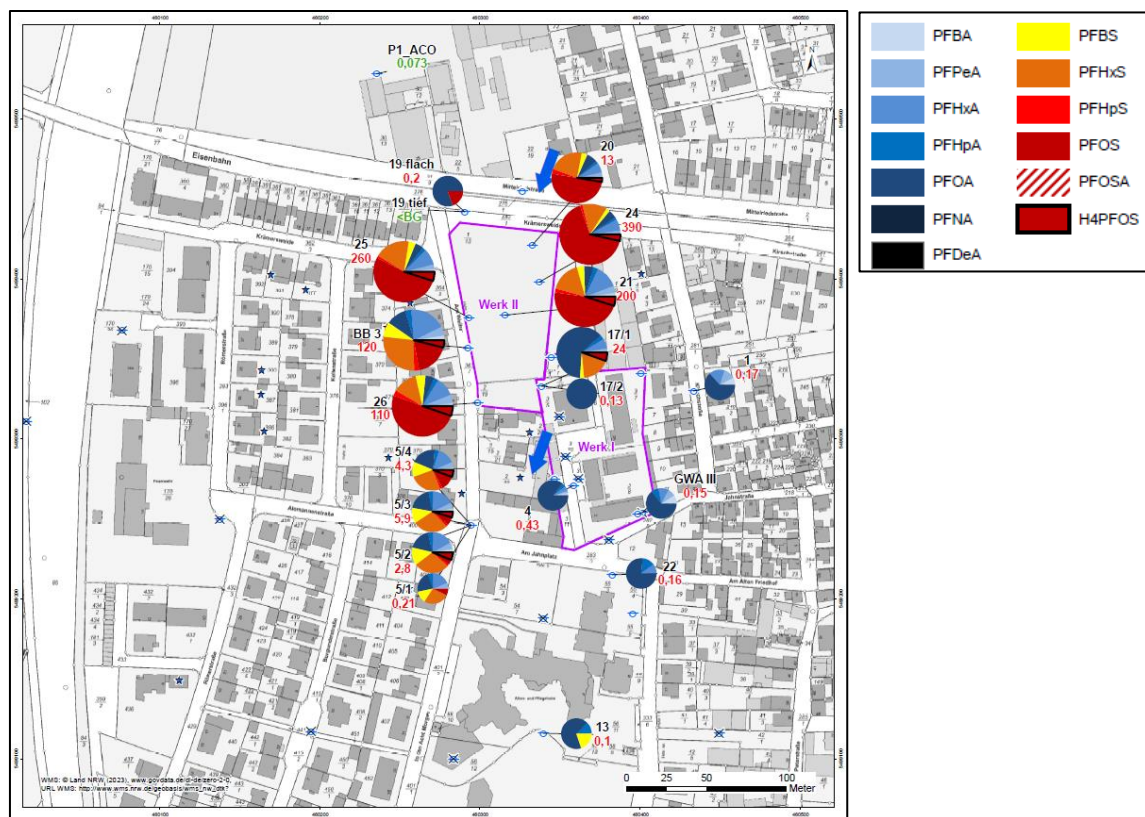


Abb. 2: Prozentuale Verteilung der PFAS dargestellt in Tortendiagrammen, Dezember 2023

In den Messstellen auf dem Gelände des Werks II lagen die Konzentrationen bei max. 320 µg/l für PFAS₁₃. Die beprobten Gartenbrunnen enthielten max. 26 µg/l (PFAS₁₃). Die Ergebnisse der Gartenbrunnen können jedoch auf Grund des nicht fachgerechten und uneinheitlichen Ausbaus sowie der dadurch beeinträchtigten Probenahme nur als Orientierung gewertet werden.

Für die an dem Standort maßgeblichen PFAS-Einzelparameter PFOS, PFHxS und PFOA wurden einzelne Schadstoffverteilungspläne erstellt (Abb. 3).

In der Probe des im Abstrom gelegenen Pegels 5/1 (Filterstrecke 37 - 75 m u. POK) waren PFAS noch mit einer Konzentration von 0,21 µg/l (PFAS₁₃) nachweisbar. Im Pegel 5/2 (Filterstrecke 30,5 - 34,5 m u. POK) wurden 2,8 µg/l (PFAS₁₃) ermittelt.

Der am Standort nur geringfügig ausgeprägte obere Zwischenhorizont (OZH) kann eine weitere Verfrachtung in den mittleren Grundwasserleiter (MGWL) nicht verhindern (vgl. Kapitel 1.3). Anhaltspunkte für eine ubiquitäre PFAS-Belastung des Grundwassers im städtischen Bereich liegen nicht vor.

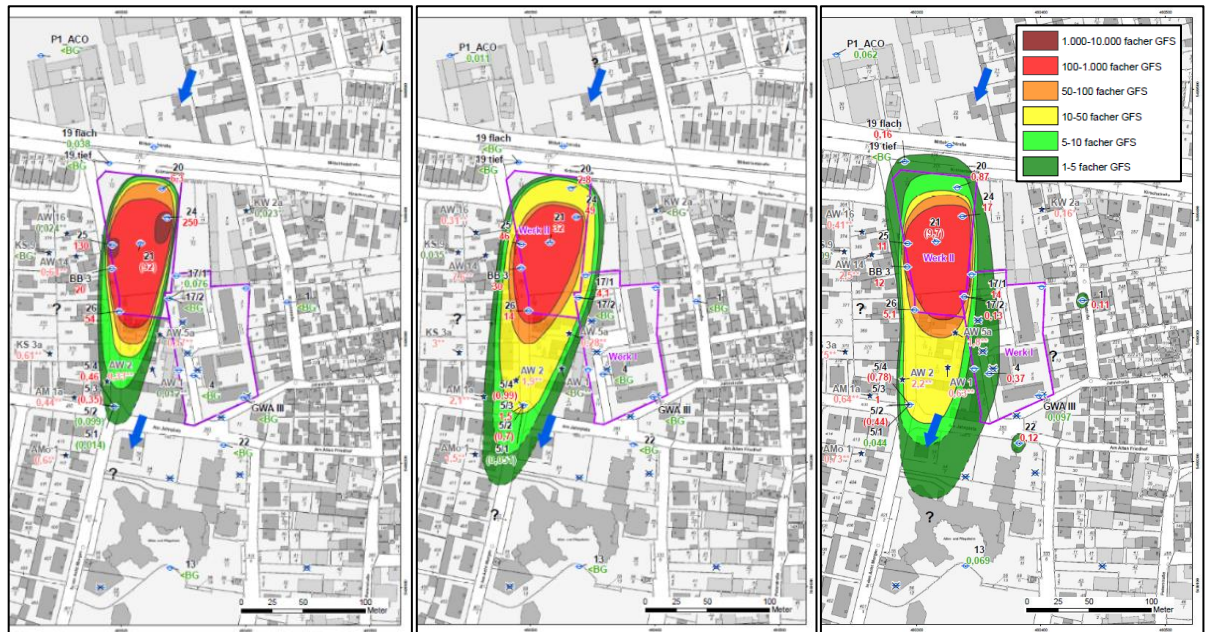


Abb. 3: Grundwasser Schadstoffverteilungspläne für PFOS (links), PFHxS (mittig) und PFOA (rechts) aus Dezember 2023

Für 2024 ist eine in mehrere Phasen unterteilte Erkundung (Eingrenzung) der PFAS-Schadstofffahne im Grundwasser durch den Bau von Grundwassermessstellen vorgesehen. Nach Aufnahme der kompletten PFAS-Schadstofffahne soll mittels einer Berechnung der Schadstofffrachten eine Gefährdungsabschätzung ausgearbeitet werden.

4 Zusammenfassung

Die dargestellte Projekthistorie der Werke I und II zeigt anschaulich die Problematik der eingeschränkten Sichtweise auf einen Altstandort und dessen Bewertung. Im Bereich von Werk II wurden zwar die durch Betriebsprozesse in den Grundwasserleiter eingetragenen LHKW erfolgreich entfernt, jedoch verursachte zwischenzeitlich der Großbrand und dessen Bekämpfung neue schwerwiegende Grundwasserbelastungen durch PFAS-haltige Schaummittel.

Auf Grund der Tatsache, dass die allgemeine Verwendung von PFAS und die dadurch verursachten Boden- und Grundwasserbelastungen erst in der letzten Dekade aufgearbeitet wurden, ist nicht zu ausschließen, dass es bei vermeintlich sanierten Industriestandorten nach entsprechenden Untersuchungen zu ähnlichen Entdeckungen kommt.

Die Entwicklung des Standorts erscheint prinzipiell möglich, wobei sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit gestellt werden muss. Neben den „Sowieso-Kosten“, v. a. Abriss, Rückbau Bodenplatte, Bodenaushub und Tiefenenttrümmerung ist der maßgebliche Kostenfaktor die Entsorgung PFAS-belasteter Böden. Auch die Abreinigung von PFAS-belastetem Grundwasser muss in die Kostenbetrachtung einbezogen werden.

PFAS: Sicherung, Bodenmanagement und Grundwassermonitoring am Beispiel eines Militärstandortes

Michael Wolf, Regierungspräsidium Darmstadt

1 PFAS

PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen) sind organische oberflächenaktive Verbindungen anthropogenen Ursprungs. Ihre chemische Struktur besteht aus einer hydrophilen funktionellen Gruppe und einer hydrophoben Kohlenstoffkette, in der Wasserstoff- durch Fluor-Atome ersetzt worden sind.

Die Perfluoroktansulfonsäure (PFOS), Perfluoroktansäure (PFOA) und Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) sind auf der Clay-Kaserne besonders häufig anzutreffen.

Seit ca. 1960 sind PFAS in unterschiedlichen Anwendungen im Umlauf, PFAS-haltige Feuerlöschschäume (AFFF-Aqueous Film Forming Foam) ab 1970 bis heute, insbesondere PFOS und PFHxS. Kontaminationen können daher auf Übungsplätzen von Feuerwehren, Flughäfen, auch militärischen Liegenschaften, nicht ausgeschlossen werden.

Bei der Brandbekämpfung mit Löschschaum unterstützen PFAS die schnelle Ausbreitung des Schaums über der Oberfläche des Brennstoffs, die Verringerung der Oberflächenspannung des Wassers und die Stabilisierung des Schaums über die Zeit.

PFAS gelangen in die Kanalisation, Regenrückhaltebecken, Kläranlagen und Gewässer. Sie können bei Ausbringung von Klärschlamm als Dünger in Nahrungskette und Gewässer gelangen. PFAS werden aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit vom Boden weiter ins Grundwasser (GW) verfrachtet.

Das BMUV hat am 21.02.2022 den „Leitfaden zur PFAS-Bewertung - Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials“ herausgegeben:

Es werden Verwertungskategorien (VK) in Anlehnung an die früheren LAGA-Zuordnungswerte („Z-Werte“) eingeführt:

- VK 1 = Uneingeschränkter offener Einbau
- VK 2 = Eingeschränkter offener Einbau in Gebieten mit erhöhten PFAS-Gehalten
- VK 3 = Eingeschränkter Einbau in technischen Bauwerken mit definierten Sicherungsmaßnahmen

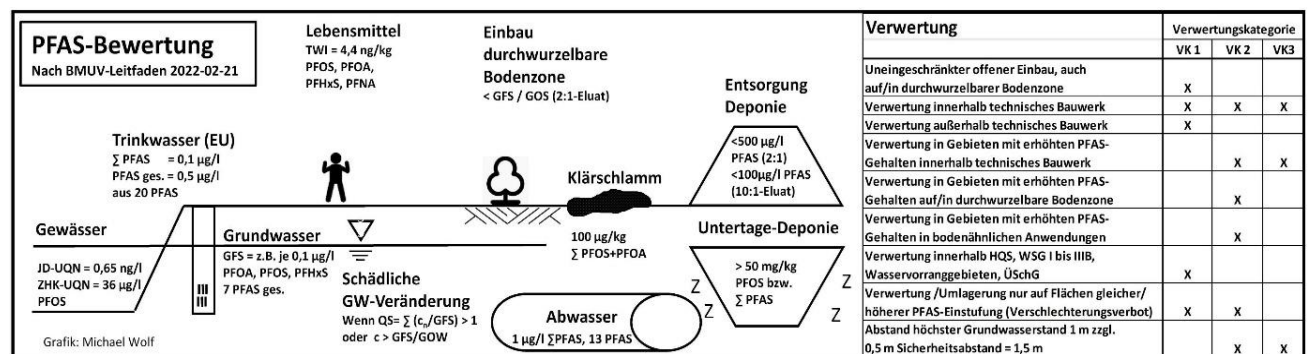


Abb. 1: PFAS-Bewertung nach BMUV-Leitfaden - Grafik: RPDA

2 Clay Kaserne - Historie

Der ehemalige Flugplatz Wiesbaden-Erbenheim hat heute eine Fläche von über 2,6 km² und liegt südöstlich von Wiesbaden-Erbenheim. Die Kaserne steht im Eigentum der Bundesrepublik Deutschland, verwaltet durch die Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA).

Ab 1910 befand sich hier zunächst die Wiesbadener Pferderennbahn. 1928/29 erfolgte der Umbau zum Flugfeld "Wiesbaden-Mainz". 1936 Übernahme durch die Wehrmacht. 1945 Besetzung durch U.S. Army. 1948-1953 Europa-Hauptquartier der U.S. Air Force. Ab 1973 Stationierung der U.S. Army. 2010 Benennung der Liegenschaft als Lucius D. Clay-Kaserne. Hier befindet sich auch das Hauptquartier der U.S. Army Europe and Africa (USAREUR-AF).

Baumaßnahmen erfolgen durch den Landesbetrieb Bau und Immobilien Hessen (LBIH) im Auftragsbauverfahren. Die U.S. Army Garrison Wiesbaden (USAG) unterhält eine eigene Umweltabteilung: Directorate of Public Works (DPW) Environmental Division.

3 Ursachen der PFAS-Belastungen

AREA 12

Ab den 1990er Jahren erfolgten umwelttechnische Untersuchungen und Sanierungen in verschiedenen Bereichen, sogenannten AREA's. Die Feuerwehr der U.S. Army führte nordöstlich der Startbahn im „Burn Pit“ (Feuerlöschübungsplatz - AREA 12) bis 1976 Feuerlöschübungen mit AFFF-Schäumen durch. Dies ist heute der Hotspot der PFAS-Belastungen. Nach Auskunft der U.S. Army wurde die Verwendung von AFFF-Schäumen eingestellt.

Im Bereich des Burn Pit sollte der Bau eines „Auto-Skills-Centers“ (Selbsthilfwerkstatt und Auto-waschcenter) erfolgen. Auf Hinweis des RPDA-Dezernats Abfall untersuchte man Boden auf PFAS wegen der Anwendung von AFFF-Schäumen, und wurde mit 2.300 µg/kg im Boden und 473,2 µg/l im Grundwasser fündig.

AREA 11 und weitere

2018 wurde im Brunnen eines Bauern südwestlich der Startbahn 46,3 µg/l PFAS gemessen. Dieser Brunnen befindet sich im Grundwasser-Abstrom der ehemaligen Lackfabrik Erbenheim und der Verdachtsfläche AREA 11.

Nach U.S.-Recherchen wurde AREA 11 als Lager-/Schrottplatz für Privatfahrzeuge und diverse Abfallprodukte genutzt. Bis etwa 1975 wurde hier gelegentlich Altöl verbrannt und die Brände durch die Feuerwehr gelöscht, was als Hinweis auf die Einbringung von PFAS gewertet wurde. Hier erfolgten mehrere Untersuchungen der U.S. Army. Bis dato konnte aber keine Schadensherde mit hoher PFAS-Quellstärke ermittelt werden.

Als Quelle der Verunreinigungen kommen nach derzeitigem Kenntnisstand mehrere mutmaßliche Quellen in Frage (s. Kap. 5.1, Umfeldmonitoring, letzter Absatz).

Im Jahr 2020 wurde eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe gebildet (RPDA, HLNUG sowie Umwelt-, Gesundheits- und Veterinäramt der Landeshauptstadt Wiesbaden).

Aufgabe der AG ist, das Ausmaß der PFAS-Verunreinigungen inner- und außerhalb der Clay-Kaserne zu ermitteln, und weitere Schritte einzuleiten. Die Landeshauptstadt Wiesbaden unterhält zur PFAS-Problematik eine Website. Das RPDA hat mehrere Pressemitteilungen hierzu verfasst und berichtet regelmäßig an das Umweltministerium (jetzt HMLU).

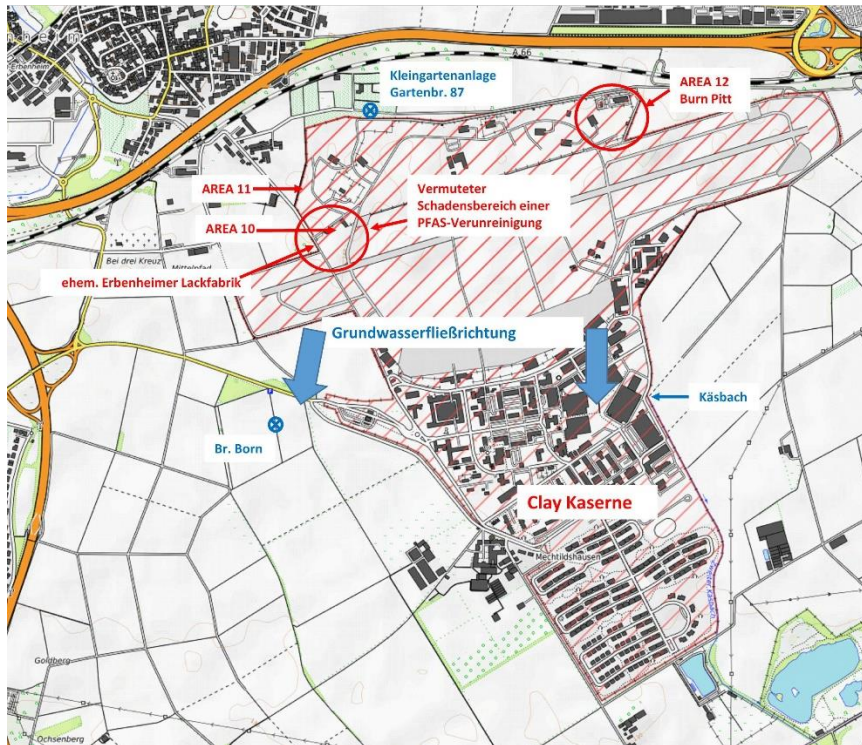


Abb. 2: Clay-Kaserne, Wiesbaden-Erbenheim – Datengrundlage: Opentopomap

4 Öffentlichkeit und Presse

Mit einer DEFACTO-Reportage am 10.02.2020 auf HR 3 wurde zusätzlich auch die öffentliche Aufmerksamkeit auf die PFAS-Problematik der Clay-Kaserne gelenkt. Dies zog eine Reihe von politischen Anfragen, Zeitungsartikeln und zwei Unterausschusssitzungen der Landeshauptstadt (LH) Wiesbaden nach sich.

5 Maßnahmen

5.1 Monitoring

Long Term Monitoring

Seit 2016 wird eine Grundwasserüberwachung (Long-Term-Monitoring) an vorhandenen Grundwassermessstellen durch die U.S. Army durchgeführt. Alle 6-12 Monate werden Proben entnommen und analysiert. Das Messstellennetz wurde in Abstimmung mit dem RPDA weiter verdichtet.

Die jüngsten Ergebnisse von 2023 zeigen die höchsten PFAS-Konzentrationen an MW 6/1 mit 373,3 µg/l in AREA 12. In der gut 2 km südlich gelegenen Messstelle CK-SW liegen die Gehalte bei 0,7 µg/l. Sie liegen somit in derselben Größenordnung wie zu Beginn der Messungen. Die Grundwasserfließrichtung ist nach Süden ausgerichtet

Monitoring Oberflächengewässer

Regenwasser aus der Clay-Kaserne wird in den an der östlichen Grundstücksgrenze liegenden Käsbach eingeleitet. Im Auftrag des LBIH erfolgte 2016 erstmals die Entnahme einer PFAS-Probe im Käsbach, mit positivem Befund. Daher wurde ein Monitoring von Käsbach und Nordenstädter Bach aufgegeben. Es wurden bis zu 4,9 µg/l PFAS, davon 2,2 µg/l PFHxS, detektiert. Seit 2021 führt die U.S. Army regelmäßig Untersuchungen an drei Einleitstellen innerhalb der Kaserne durch.

Die U.S. Army ließ 2023 das Regenwassersystem der Kaserne erkunden, um einen potentiellen PFAS-Eintrag über das Grundwasser zu eruieren. Es wurde festgestellt, das Grundwasser in das Regenwassersystem einströmt. Demzufolge könnte das die Ursache für die erhöhten PFAS-Belastungen bei der Einleitung in den Käsbach sein. Die Abdichtung der schadhafte Stellen soll nun projiziert werden.

Umfeldmonitoring

Wegen der im Bereich der AREA 11 und Umgebung vermuteten oder festgestellten PFAS erfolgten 2021 im Auftrag des RPDA Untersuchungen des westlichen Seitenstroms der Kaserne. Ergebnisse:

Das Grundwasser strömt von Nord nach Süd. Die höchsten Konzentrationen sind am Brunnen Born feststellbar. Hauptvertreter der PFAS sind PFHxS, PFOS und PFOA. In weiteren Abstrom nimmt der Anteil von PFHxS an der Gesamtkonzentration zu, der Anteil an PFOS und PFOA jedoch ab, da PFHxS mobiler als die anderen PFAS-Vertreter ist.

Die PFAS-Konzentrationen fallen nach rund 2 km auf ein Niveau unter 1 µg/l PFAS ab. Ein ähnliches Verhalten der PFAS-Konzentrationen wird durch das Long-Term-Monitoring innerhalb der Kaserne bestätigt.

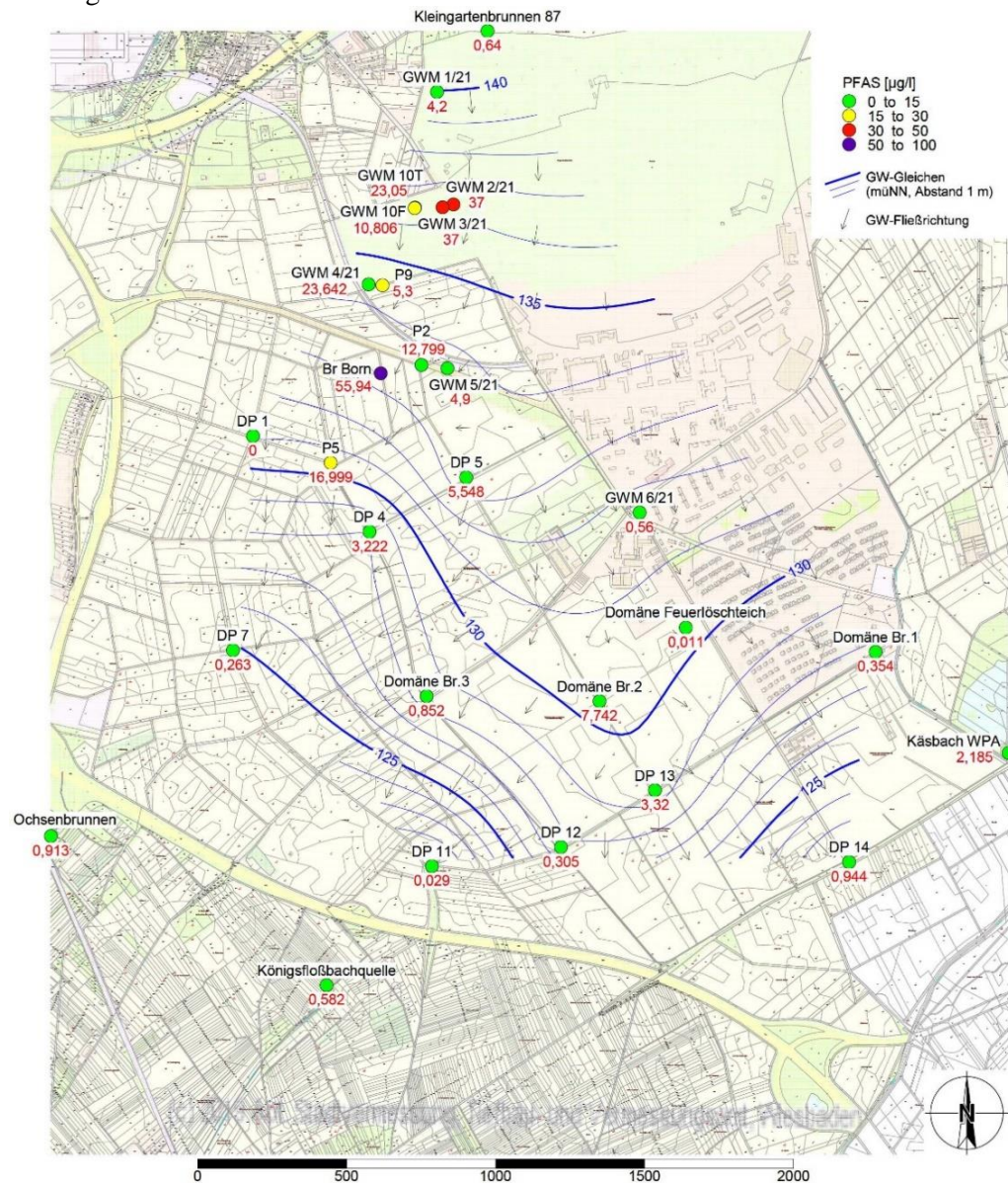


Abb. 3: CDM-Bericht - 26.11.2021 - Übersichtslageplan Untersuchungsgebiet - AG: RPDA

Für diese Maßnahme wurde schon 2020 ein Entschädigungsantrag bei der BImA nach NATO-Truppenstatut gestellt. Wegen Verfristung wurde der Antrag abgelehnt.

Seitens des RPDA ist ein dauerhaftes Umfeldmonitoring im Außenbereich südwestlich der Clay-Kaserne in Vorbereitung. Die Lage der Messstellen ist angelehnt an die Probenahmestellen der 2021 durchgeführten Untersuchung.

Nach Einschätzung des RPDA können Maßnahmen außerhalb der Kaserne der U.S. Army nicht aufgegeben werden. Die Durchführung von Monitoring-Maßnahmen soll ggf. gemäß § 15 (2) BBodSchG der BImA als Eigentümerin der Clay Kaserne aufgegeben werden.

Weitere Untersuchungen im Bereich der ehem. Erbenheimer Lackfabrik durch das RPDA und der neu hinzutretenden AREA 10 durch die U.S. Army sollen hierzu neue Erkenntnisse liefern.

Kleingärten im Umfeld

Im Auftrag des Umweltamtes der Landeshauptstadt Wiesbaden und RPDA wurden 2020 Untersuchungen von Kleingärten und Brunnen im Umfeld der Kaserne durchgeführt. In einer im Oberstrom liegenden Kleingartenanlage (KGV) wurden hierbei im Grundwasser der direkt angrenzenden ersten Parzellenreihe 1,8 µg/l PFAS detektiert.

Die Ursache der Grundwasserverunreinigungen ist vermutlich auf die Clay-Kaserne zurückzuführen. Durch intensiven Pumpbetrieb der Kleingartenpächter in den trockenen Jahren 2018/19 könnte eine kleinräumige Umkehrung der allgemeinen Grundwasserfließrichtung, üblicherweise Nord-Süd, erfolgt sein.

Als Schutz- und Beschränkungsmaßnahme wurde von der Landeshauptstadt Wiesbaden und RPDA dringend empfohlen, auf die Nutzung zu Brauchwasserzwecken zu verzichten.

5.2 Bodenmanagement

Vorläufige Leitlinie

Baumaßnahmen in PFAS-kontaminierten Bereichen stellen eine Sicherung dar. Versiegelungen verhindern das Eindringen von Niederschlagswasser und reduzieren PFAS-Emissionen in das Grundwasser. Oberboden ist nicht mehr frei zugänglich für den Menschen. PFAS-kontaminiertes Material verbleibt also vor Ort, nur wird seine Quellstärke minimiert.

Das RPDA hat mit den Verantwortlichen vor Ort und in Absprache mit dem Umweltamt der Landeshauptstadt Wiesbaden eine abgestimmte „Vorläufige Leitlinie zum Umgang mit PFAS-haltigen Böden“ eingeführt. Hierdurch sollen im Rahmen von Baumaßnahmen Bereiche mit hohen PFAS-Kontaminationen beseitigt, oder durch Versiegelung und anderen Maßnahmen gesichert werden. Die „Vorläufige Leitlinie“ wurde am 23.05.2022 nun als 4. Version fortgeschrieben.

Die Einhaltung dieser Leitlinie wird vom LBIH bei Bauvorhaben auf der Clay-Kaserne an die Auftragnehmer verpflichtend aufgegeben.

Inhalt (kurzgefasst):

- Grundsätzliches zur Bodenanalytik:
2:1-Eluat gem. BMUV-Leitfaden PFAS vom 21.02.2022.
- Minimierungsgebot und Abfallvermeidung:
Vermischungsverbot - PFAS-haltiger Bodenaushub darf nicht in PFAS-freien Bereichen wieder eingebaut werden.
- Aushub, Beprobung und Lagerung in PFAS-haltigen Bereichen.

- Umgang mit Aushub in PFAS-freien Bereichen:
Dieser Aushub kann nach Haufwerksbeprobung am Ort des Anfalls oder an anderer PFAS-freier Stelle wieder verbaut werden
- Verwertung von PFAS-haltigem Bodenmaterial innerhalb Clay-Kaserne:
Bei der Verwertung [...] sind die quantitativen PFAS-Gehalte der darunterliegenden Bodenhorizonte zu unterschreiten. Bei hohen PFAS-Gehalten Verwertung unter rückbaufähigem Bauwerk, z. B. Parkplatz.
- Bei niedrigen PFAS-Gehalten Verwertung nach den Verwertungskategorien des BMUV-Leitfadens.
- Vorgaben zur Grundwasserhaltung bei Baumaßnahmen.

Gesichertes Zwischenlager

2022 wurde vom RPDA der Vorschlag eingebracht, einen Standort für ein gesichertes Zwischenlager auszusuchen. Hier könnten PFAS-haltige Böden so lange auf dem Kasernengrundstück gelagert werden, bis dessen sichere Entsorgbarkeit gegeben ist oder machbare Methoden zur Dekontamination entwickelt wurden. Diese Zwischenlösung wurde schon einmal für den Militärflugplatz Bitburg angedacht. Hierzu führte die U.S. Army aus, dass aufgrund der zukünftigen Landesentwicklung keine Flächen für die Lagerung von PFAS-kontaminierten Böden festgelegt werden können.

5.3 Sicherungsmaßnahmen

Der nördliche Bereich des „Burn Pit“ in AREA 12 wurde mit bereits einem Auto-Skill-Center überbaut und dadurch gesichert. Im südlich angrenzenden Bereich wurden 2023 bis zu 1.760 µg/l PFAS im 2:1-Eluat festgestellt. Dieser Bereich soll durch einen Parkplatzneubau gesichert werden. Durch die Versiegelung soll die Quellstärke der darunterliegenden PFAS-Belastungen deutlich reduziert werden.

Ähnliche Sicherungsmaßnahmen wurden auch in anderen Bereichen nach Vorgaben der „Vorläufigen Leitlinie“ nördlich der Startbahn durchgeführt.



Abb. 4: FIS AG 2024 - AREA 12 - Auto-Skill-Center und Parkplatzneubau

6 Fazit - PFAS auf der Clay Kaserne

Grundwassermonitoring

Die PFAS-Gehalte im Grundwasser im Bereich der Hotspots wie AREA 12 liegen im 2-3-stelligen µg-Bereich. Die Grundwasserfließrichtung ist nach S bis SSW ausgerichtet. Im weiteren Abstrom inner- und außerhalb der Kaserne fallen die Gehalte auf eine Größenordnung $\leq 1 \mu\text{g/l}$ PFAS ab.

Die weitere Durchführung von Monitoringmaßnahmen, innerhalb durch das Long-Term-Monitoring und in Zukunft auch außerhalb im SSW, ist angedacht.

Ein Wasserschutzgebiet ist nicht betroffen.

Bodenmanagement

Aktive Sanierungsmaßnahmen sollten sich auf den Bereich innerhalb der Clay-Kaserne konzentrieren, wo jetzt schon durch intensive Bautätigkeit, Wasserhaltungen u.s.w. eine stete Reduzierung der Quellstärke erfolgt. Für das Bodenmanagement zum Umgang mit PFAS-haltigen Böden wurde die RP-Leitlinie zum Umgang mit PFAS eingeführt und von den vor Ort tätigen Unternehmen angewandt.

Sicherung

Nördlich der Startbahn gibt es diffuse Einträge von PFAS, die auf den Gebrauch von AFFF-Schäumen zurückzuführen sind. Neben AREA 12 gilt der im Nordwesten gelegene Bereich als potentielle Hauptquelle. Die derzeit durchgeführte Versiegelung des Bereichs südlich des Auto-Skill-Center mit einem Parkplatz sollte zu einer erheblichen Reduzierung der derzeit noch bestehenden Quellstärke führen.

Nach wie vor gilt es, im Nordwesten (AREA 10 u. a.), einen möglicherweise sehr kleinräumigen Bereich aufzuspüren. Dessen Beseitigung oder Sicherung sollte langfristig zu einer erheblichen Verbesserung der Grundwassersituation westlich der Clay-Kaserne führen.

Sonstige Maßnahmen

Die von der U.S. Army geplante Abdichtung im Regenwassersystem, hier dringt PFAS-kontaminiertes Grundwasser in den Regenwasserkanal ein, sollte in Zukunft die Emissionen in den Käsbach deutlich vermindern.

Erfolgversprechend ist auch ein angedachtes Monitoring im Regenwassersystem seitens der für die Kaserne zuständigen Planer. Hierdurch sollen weitere Bereiche hoher PFAS-Gehalte aufgespürt werden, um dann angepasste und geeignete Maßnahmen an Ort und Stelle zu ergreifen.

Die Verwendung von PFAS-haltigen Schaumlöschmitteln auf dem Standort wurde eingestellt. Somit ist die primäre Quelle der PFAS-Belastungen und die Nachlieferung von Schadstoffen ausgeschaltet.

Asbest im Boden

Monika Machtoľ, IFUA-Projekt-GmbH

Asbest wurde aufgrund seiner besonderen Eigenschaften (hohe Beständigkeit gegenüber Hitze sowie gegenüber chemischen und biologischen Abbauprozessen) ab der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts bis zum Asbestverwendungsverbot 1993 in einer Vielzahl von Produkten, insbesondere in solchen mit hoher Reibungs- bzw. Hitzebeständigkeit sowie in Baumaterialien eingesetzt. Dazu zählen beispielsweise Platten für den Hochbau, Brems- und Kupplungsbeläge für Fahrzeuge, Dichtungen und Formmassen.

Der Begriff „Asbest“ wird dabei als Sammelbezeichnung für eine Gruppe von sechs verschiedenen natürlich vorkommenden, kristallinen Silikaten verwendet, die in Form von Fasern bzw. Faserbündeln auftreten. Chrysotil, auch bekannt als weißer Asbest, ist dabei die vorherrschende kommerziell verwendete Form von Asbest, während Amphibolasbeste im Hinblick auf die verarbeiteten Mengen deutlich darunterliegen. Die meisten Amphibole können sowohl in asbestiformer (faserförmiger) als auch in nicht-asbestiformer Morphologie vorliegen.

Deutschland verfügt(e) über keine relevanten Asbestlagerstätten, insbesondere über keine Lagerstätten mit Chrysotil-Asbest. Allerdings ist mit – regional stark schwankenden – natürlichen Hintergrundgehalten¹ insbesondere an Amphibolasbesten zu rechnen. Vor allem ist aber aufgrund der vielfältigen Asbestverarbeitung und -verwendung, aber auch später durch Abbruch/Rückbau/Recycling von belasteter Bausubstanz oder auch durch Brände ein anthropogener Eintrag von Asbest in die Atmosphäre und ein Eintrag in den Boden anzunehmen. Darüber hinaus wurden asbesthaltige Materialien – in Bezug auf heutige Standards – nicht sachgerecht deponiert bzw. gelangten durch Verwendung asbesthaltigen Bauschutts in den Boden.

Systematische Untersuchungen zu geogenen oder anthropogenen Hintergrundgehalten von Böden in Europa und insbesondere in Deutschland liegen nicht vor. Bislang ist Asbest auch kein regulärer Bestandteil bei der Erkundung und Untersuchung von schädlichen Bodenveränderungen nach BBodSchV. Gleichzeitig fehlen validierte Methoden zur Bestimmung von Asbest im Boden.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des Länderfinanzierungsprogrammes „Wasser, Boden und Abfall“ 2022 das Projekt „Grundlagen für den Umgang mit Asbest auf altlastverdächtigen Flächen und Altlasten“ gestartet, gegliedert in zwei Teilprojekte. Im Rahmen des ersten Teilprojektes (B2.22), durchgeführt von der Bietergemeinschaft Dr. Kerth + Lampe Geo-Infometric GmbH/WESSLING GmbH, wurden in Zusammenarbeit mit dem 2020 gegründeten ITVA/BVB Arbeitskreis „Asbest in Boden und Bauschutt“ exemplarische Untersuchungen an (historischen) mineralischen Auffüllungen auf Asbest durchgeführt und ausgewertet. An allen fünf ausgewählten Standorten wurden die aus der Historie abgeleiteten Hinweise auf Asbest bestätigt.

Im Ergebnis konnte eine mit vertretbarem Aufwand umsetzbare Methodik zur Beprobung und Erstbewertung asbestverdächtiger Böden abgeleitet werden. Allerdings blieb die Frage offen, ob von Grundstücken, deren Böden asbesthaltige Materialien bzw. Asbestfasern enthalten, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Beeinträchtigungen für die Nutzenden dieser Grundstücke ausgehen bzw. ausgehen können. In den aktuellen bodenschutzrechtlichen Regelungen werden dafür keine Bewertungsmaßstäbe im Hinblick auf sensible Flächennutzungen vorgegeben.

¹ v. a. in Verbreitungsgebieten basischer und ultrabasischer Magmatite sowie glazigener Sedimente, die Bestandteile fennoskandischer basischer und ultrabasischer Magmatite enthalten.

Ziel des zweiten Teilprojektes (B2.23) war es daher, Ansätze zu einer gefahrenbezogenen, bodenschutzkonformen Bewertung von Asbest im Boden für den Wirkungspfad Boden-Mensch zu entwickeln. Hierzu war die IFUA-Projekt-GmbH im Rahmen der Bietergemeinschaft Dr. Kerth + Lampe Geo-Infometric GmbH/WESSLING GmbH betraut, Möglichkeiten und Methoden zur humantoxikologischen Bewertung und Expositionsabschätzung für Asbestfaserstäube zu prüfen und vor dem Hintergrund praxistauglicher Untersuchungsmethoden Vorschläge zu entwickeln.

Nach umfangreicher Auswertung der Literatur und Recherche zur Vorgehensweise in anderen Ländern wurde offensichtlich, dass die Schwierigkeit in der Asbestbewertung weniger in der humantoxikologischen Bewertung liegt, sondern vielmehr Fragen aufwirft, was die Bestimmung des Freisetzungspotenzials von Asbest aus kontaminierten Böden und damit die Expositionsabschätzung für verschiedene Nutzungsszenarien betrifft.

Die strategischen und methodischen Vorgehensweisen zur Asbestbewertung im Boden fokussieren daher in den meisten Ländern auf Entscheidungsbäume zur Abschichtung der Fragestellung im Kontext der jeweils vorhandenen bodenschutzrechtlichen Regelungen. Damit soll das Ziel verfolgt werden, einen Asbestverdacht bereits im Vorfeld von Untersuchungen soweit wie möglich einzugrenzen, um aufwändige Untersuchungsstrategien auf ein sinnvolles Maß zu minimieren. Besteht ein Gefahrenverdacht, wird dann eine Prüfung des Freisetzungspotenzials im Feldversuch mit Simulation von Aktivitäten und Anwendung verschiedener Messmethoden, wie beispielsweise personal samplings oder anderen Methoden zur Messung von Asbest in der Luft oder im Staub (z. B. Hausstaub) empfohlen.

Aufbauend auf den recherchierten Strategien und Erfahrungen wurde daher auch für den bodenschutzrechtlichen Kontext in Deutschland eine Strategie zur Vorgehensweise für die Untersuchung und Bewertung von Asbest im Boden auf sensibel genutzten Flächen entwickelt, in die vorläufige, aber nachvollziehbar begründete Orientierungswerte für die Bewertung von Asbest im Boden eingebettet sind.

In dem Beitrag werden erste Ergebnisse dazu vorgestellt und offene Fragen erörtert, die beispielsweise die Durchführung und Auswertung der Sichtprüfung im Hinblick auf die Feststellung der Erheblichkeit einer Asbestbelastung betreffen. Auch laboranalytische Fragen zur Bestimmung von Asbest im Boden sowie methodische Fragen zur Bestimmung des Freisetzungspotenzials von Asbest in Abhängigkeit unterschiedlichster Einflussfaktoren, wie mechanische Beanspruchung, Bodeneigenschaften sowie Witterungseinflüsse (Trockenheit, Feuchtigkeit, Wind) lassen weiteren Klärungsbedarf erkennen.

Eine Dokumentation der abschließenden Ergebnisse wird im LFP-Bericht B2.23 erfolgen, begleitet von geplanten Fachveröffentlichungen in entsprechenden Fachzeitschriften.

Bodenkundliche Baubegleitung

Kevin Handke, LfU Rheinland-Pfalz

1 Zusammenfassung

Die Bodenkundliche Baubegleitung (BBB) ist ein wichtiges Instrument des vorsorgenden Bodenschutzes. Mit der Novellierung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung wurde die in § 4 Abs. 5 BBodSchV beschriebene BBB in das nationale Bodenschutzrecht verankert und liefert einen Beitrag zum Schutz unserer Böden. Dabei ist die DIN 19639 ein wichtiger technischer Standard. Das Bodenschutzkonzept ist eine wichtige Säule der BBB in der DIN-Norm. Im Rahmen einer BBB werden die Ziele und Maßnahmen zum Bodenschutz umgesetzt (Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen). Bei der Durchführung von Baumaßnahmen muss der Bodenschutzbelang erkannt werden, dazu ist eine Sensibilisierung notwendig die noch weiter gestärkt werden sollte. Die Nachfrage nach Fortbildungen zur BBB ist hoch, die Qualität und Ausbildung der BBB sollte noch harmonisiert werden (BVB 2024a, sanu 2024).

2 Was ist eine Bodenkundliche Baubegleitung und ein Bodenschutzkonzept?

Die Bodenkundliche Baubegleitung ist eine fachliche Beratung durch bodenkundlich ausgebildetes Personal zum Schutz des Bodens auf Baustellen. Im Bodenschutzkonzept nach DIN 19639 wird der Schutz des Bodens bei Planung und Durchführung von Bauvorhaben konkret beschrieben. Es enthält insbesondere die notwendigen Maßnahmen zum Erhalt oder zur Wiederherstellung der natürlichen Bodenfunktionen und der damit verbundenen Bodenqualität (DIN 19639). Dies kann schon Teil der Baugenehmigung und des Leistungsverzeichnisses sein. Im Bodenschutzkonzept werden die Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen beschrieben, die durch die BBB überwacht werden (DIN 19639).

3 Motivation und Anlass zum Bodenschutz beim Bauen

In der Praxis kommt oft die Frage auf – „Lohnt sich das?“ – „Warum sollten Böden überhaupt geschützt werden?“. Es besteht eine klare Ja-Empfehlung, da Böden als Lebensgrundlage für Pflanze, Tier und Mensch dienen. Böden übernehmen viele Bodenfunktionen; dies reicht von der Hochwasserregulierung, über Kohlenstoffspeicherung bis hin zur Produktionsgrundlage für Lebensmittel (FAO 2015). Lössböden können bis zu 400 Liter Wasser pro Quadratmeter speichern und übernehmen damit eine zentrale Rolle im Klimawandel (Weyer 2022). Das Umweltbundesamt hat dargestellt, dass ein Zentimeter Boden in 100 bis 300 Jahren entstehen kann (UBA 2024). Da aber die Böden in Mitteleuropa das Resultat der letzten Eiszeit sind, gibt es heute keine nennenswerte Boden Neubildung mehr. Daher sind Böden eine endliche Ressource und so nicht wiedervermehrbar (Thiemeyer 2015). Medien könnten über Bauvorhaben negativ berichten, sofern dem Bodenschutz keine Rechnung getragen wird. Dies kann zur Folge haben, dass sich Widerstände gegen Bauvorhaben formieren, Imageschäden für die Vorhabensträgerin und Baufirma auftreten und hohe Baukosten entstehen können.

4 Rechtliche Einordnung (BBodSchG, BBodSchV)

Den rechtlichen Rahmen zur Legitimation einer BBB bilden das BBodSchG, die BBodSchV und die jeweiligen Landesbodenschutzgesetze (z. B. das HAltBodSchG). Allgemein gilt der Grundsatz „Vermeiden vor Reparieren“, der sich in den §§ 4 und 7 des BBodSchG wiederfindet. Die folgende Tabelle 1 enthält die jeweiligen Bezüge und Anforderungen, die in den Paragraphen genannt sind und die einen Bezug zur Legitimation einer BBB haben bzw. beim Bodenschutz beim Bauen zu beachten sind.

Tab. 1: Übersicht der Anforderungen und Pflichten aus BBodSchG und BBodSchV

Inhalt, Pflichten und Anforderungen	Quelle
Vermeidung und Wiederherstellung [...] die Funktionen des Bodens sind nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen . Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, [...] und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen.	§ 1 BBodSchG
Allgemeine Vorsorgepflicht Jeder, der auf den Boden einwirkt, hat sich so zu verhalten, dass schädliche Bodenveränderungen nicht hervorgerufen werden.	§ 4 Abs. 1 BBodSchG
Sanierungspflicht Die [Pflichtigen] [...] sind verpflichtet den Boden und Altlasten sowie durch schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten verursachte Verunreinigungen von Gewässern so zu sanieren , dass dauerhaft keine Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen.	§ 4 Abs. 3 BBodSchG
Vorsorgepflicht Die Pflichtigen, sind verpflichtet, Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu treffen, [...] Vorsorgemaßnahmen sind geboten, wenn wegen der [...] Auswirkungen einer Nutzung auf die Bodenfunktionen besteht. Zur Erfüllung der Vorsorgepflicht [...] sind Bodeneinwirkungen zu vermeiden oder zu vermindern , soweit dies [...] verhältnismäßig ist.	§ 7 BBodSchG
Besorgnis schädlicher Bodenveränderungen Das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen ist in der Regel zu besorgen, wenn [...] physikalische Einwirkungen den Boden verändern und dadurch die natürlichen Funktionen sowie die Nutzungsfunktion als Standort für die land- oder forstwirtschaftliche Nutzung erheblich beeinträchtigt werden können.	§ 3 Abs. 1, Nr. 3 BBodSchV
Vorsorgeanforderungen Bei physikalischen Einwirkungen auf den Boden haben die Pflichtigen Vorkehrungen zu treffen, um die physikalischen Einwirkungen zu vermeiden oder wirksam zu vermindern , soweit dies auch im Hinblick auf den Zweck der Nutzung des Grundstücks verhältnismäßig ist. Auf Verlangen der zuständigen Behörde sind Untersuchungen der physikalischen Bodeneigenschaften am Standort durchzuführen.	§ 4 Abs. 3, i. V. m. § 3 Abs. 1 Nr. 3 BBodSchV
Bodenkundliche Baubegleitung Bei Vorhaben , bei denen auf einer Fläche von mehr als 3000 m² Materialien auf oder in die durchwurzelbare Bodenschicht auf- oder eingebracht werden, Bodenmaterial aus dem Ober- oder Unterboden [...] [abgetragen] wird oder der Ober- und Unterboden dauerhaft oder vorübergehend vollständig oder teilweise verdichtet wird , kann die für die Zulassung des Vorhabens zuständige Behörde im Benehmen mit der für den Bodenschutz zuständigen Behörde von dem [...] Pflichtigen die Beauftragung einer bodenkundlichen Baubegleitung nach DIN 19639 im Einzelfall verlangen .	§ 4 Abs. 5 BBodSchV

Die Voraussetzung für die Durchführung einer BBB ist, dass die zuständige Bodenschutzbehörde beteiligt wird. Dies setzt wiederum voraus, dass die für die Genehmigung zuständige Behörde Kenntnis über die Anwendung des § 4 Abs. 5 BBodSchV hat. Um der Vorsorge, der Vermeidung und der Gefahrenabwehr nachzukommen leitet sich ab, dass aus der *KANN-Formulierung* des § 4 Abs. 5

BBodSchV eine *IST-Formulierung* wird. Die Alternative wäre, dass die Vorhabensträgerin oder der Bauherr Bodenschutzmaßnahmen definiert, um die Anforderungen aus den Paragraphen des BBodSchG und der BBodSchV zu erfüllen. Dies wäre dann aber wiederum die Durchführung einer BBB. Andernfalls müsste die Vorhabensträgerin oder der Bauherr nachweisen, dass eine Vermeidung und Minderung durchgeführt werden, um schädliche Bodenveränderungen nicht besorgen zu müssen. Dies wäre fachlich wiederum nur über eine BBB leistbar.

5 Stand der Technik, DIN-Normen und Verbindlichkeit

Den Stand der Technik zur technischen Umsetzung des Bodenschutzes auf Baustellen liefern die DIN-Normen 18915, 19731 und 19639, die ebenso Teil des § 6 der BBodSchV sind. Die DIN 18915 liegt im Geltungsbereich der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB Teil C) und ist damit für nahezu alle Bauvorhaben verbindlich (Großprojekte und öffentliche Auftraggeberinnen) (Thieme-Hack & Appel 2017). Dies setzt ebenso voraus, dass die Vorhabensträgerin oder der Bauherr Kenntnis darüber hat und den Auftragsnehmer oder die Auftragsnehmerin darauf hinweist.

6 Bodenschutzkonzept – Schlüssel sind Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Das Bodenschutzkonzept nach DIN 19639 gliedert sich in verschiedene Phasen. Diese gehen von der Genehmigungsplanung, der Ausschreibung, beim Bau, der Rekultivierung bis hin zur Zwischenbewirtschaftung. Optional sind Maßnahmen bei Funktionseinschränkungen in der letzten Phase durchzuführen (DIN 19639). Jede Phase ist in der DIN 19639 mit Aufgabenschwerpunkten, die die BBB durchführt, beschrieben. Dies setzt Informationen über die Böden vor Ort voraus. In der Genehmigungsphase werden unter anderem ausgewählte Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen, wie z. B. ein angepasster Maschineneinsatz oder ein bodenschonender Bodenabtrag, beschrieben. Einen guten Überblick zu den Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen und zur Einführung und Aufgaben einer BBB bietet die Publikation „Bodenschutz für Bauausführende“ des Hessischen Landwirtschafts- und Umweltministeriums (HMLU 2023).

7 BBB Kompetenz – Referenz – Verfügbarkeit

Essentiell für eine BBB sind Kenntnisse in Bodenkunde, Bodenphysik und Bodenmanagement. Weiterhin sind Kenntnisse zu Bauabläufen, zu Baumaschinen und technischen Grundlagen wichtig. Das Verständnis der geltenden Gesetze, Normen, Verordnungen, Richtlinien und Leitfäden ist ebenso von Bedeutung. Ferner ist ein Projekt und Konfliktmanagement unabdingbar, um eine BBB durchführen zu können (LANUV 2017). Um diese Anforderungen zu erfüllen, sind ein bodenkundliches Studium und berufliche Praxis im Bereich des Bodenschutzes notwendig. Wichtige Bausteine sind auch eine Fortbildung, Schulung oder Lehrgang. Zu nennen sind hier die Ausbildung der sanu AG aus der Schweiz und der Zertifizierungslehrgang des Bundesverbandes Boden e. V. (BVB) (sanu 2024, BVB 2024b). Weiterhin gibt es zahlreiche Tagesseminare und Fortbildungslehrgänge. Die Harmonisierung der Ausbildung gilt es noch weiter zu schärfen, um den Bedarf an einer Bodenkundlichen Baubegleitung zu decken (BVB 2024a). Einen Überblick bietet der BVB mit einer Liste und Karte der zertifizierten Bodenkundlichen Baubegleiter/innen.

8 Literatur

- BBodSchG 1998: Bundes-Bodenschutzgesetz, BGBl. I S. 306
- BBodSchV 2021: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, 2716, BGBl. 2021 Teil I Nr. 43
- BVB 2024a: Fortbildung Bodenkundliche Baubegleitung, Informationen zur Kursverfügbarkeit, abgerufen am 06.06.24 unter <https://www.bvboden.de/bodenkundliche-baubegleitung/zertifizierungslehrgang>
- BVB 2024b: Karte und Liste der zertifizierten Baubegleitung, Informationen des Bundesverbandes Boden e.V. abgerufen am 06.06.24 unter <https://www.bvboden.de/bodenkundliche-baubegleitung/zertifizierte-bodenkundliche-baubegleiter>
- DIN 19731: Bodenbeschaffenheit – Verwertung von Bodenmaterial, Beuth Berlin
- DIN 19639: Bodenschutz bei Planung und Durchführung von Bauvorhaben, Beuth Berlin
- DIN 18915: Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeiten, Beuth Berlin
- HAltBodSchG 2021: Hessisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes und zur Altlastensanierung, GVBl. S. 602, ber. S. 701
- HMLU (vormals HMUKLV) 2018 (Hrsg.): Boden – mehr als Baugrund Bodenschutz für Bauausführende Infoblatt für Architekten, Bauträger, Bauunternehmen, Landschafts- und Gartenbau, Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat, Wiesbaden, abgerufen am 06.06.24 unter: https://landwirtschaft.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-10/bodenschutz_fuer_bauausfuehrende.pdf
- LANUV 2017 (Hrsg.): Grundlagen und Anwendungsbeispiele einer Bodenkundlichen Baubegleitung in Nordrhein-Westfalen LANUV-Fachbericht 82, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, abgerufen am 06.06.24 unter https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/LANUV-Fachbericht_82_web.pdf
- FAO 2015: Soil functions, Soils deliver ecosystem services that enable life on Earth – Infographics, Food and Agriculture Organization of the United Nation, abgerufen am 06.06.24 unter <https://www.fao.org/publications/card/en/c/0815e457-c6a4-47e9-ab6c-f23224279834/>;
- Sanu 2024: Weiterbildung Bodenkundliche Baubegleitung BBB, Informationen, sanu future learning AG, Biel-Bienne abgerufen am 06.06.24 unter <https://www.sanu.ch/event/weiterbildung-bodenkundliche-baubegleitung-bbb-134/register>
- Thieme-Hack & Appel 2017: Landschaftsbau-Fachnorm DIN 18915 sorgt für verbesserten Bodenschutz in Bauverträgen, Bodenschutz 4 / 2017
- Thiemeyer 2015: Boden(Ge)schichten, Böden als Zeit-, Klima- und Umweltzeugen, Vortrag im Rahmen zum Umweltforum Hessen "Internationales Jahr des Bodens - Der Boden, von dem wir leben“, abgerufen am 06.06.24 unter https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/boden-infos/Vortraege_Umweltforum/V_Thiemeyer.pdf
- UBA 2013: Entwicklung des Bodens, Internetseite des Umweltbundesamtes, abgerufen am 06.06.24 unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/kleine-bodenkunde/entwicklung-des-bodens>
- VOB 2019: VOB/C - VOB Teil C: Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI)
- Weyer 2022: Laudatio – Boden des Jahres 2023 – Ackerboden, Vortrag, abgerufen am 06.06.24 unter <https://www.bonares.de/boden-des-jahres>

Aktuelles aus der Altlastenanalytik

Florian Schaller, HLNUG

1 Rechtliche Grundlagen

Die chemische und physikalische Untersuchung von Boden, Bodenluft und Grundwasser ist elementarer Bestandteil der Altlastenbearbeitung. Da aufgrund von Altlastenuntersuchungen Entscheidungen mit hoher ökologischer und ökonomischer Tragweite getroffen werden, müssen die Untersuchungen hohen Qualitätsanforderungen genügen. Hierfür sind – neben den Anforderungen an die beauftragten Stellen – Verfahren/Methoden erforderlich, mit denen sich die betreffenden Stoffe in den jeweiligen Umweltkompartimenten zuverlässig bestimmen lassen.

Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) enthält hierzu Regelungen:

§ 19 Abs. 1: Die Probennahme ist von Sachverständigen im Sinne des § 18 des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) oder Personen mit vergleichbarer Sachkunde zu entwickeln und zu begründen, zu begleiten und zu dokumentieren. Die Probennahme ist von einer nach DIN EN ISO/IEC 17025 oder DIN EN ISO/IEC 17020 akkreditierten oder nach Regelungen der Länder gemäß § 18 Satz 2 des BBodSchG notifizierten Untersuchungsstelle durchzuführen.

Für diese Anforderungen an die Probennahme gibt es nach § 28 Abs. 2 eine Übergangsregelung. Sie sind demnach ab 1.8.2028 einzuhalten.

§ 24 Abs. 1: Die physikalisch-chemische und chemische Analyse der Proben ist durch eine nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierte Untersuchungsstelle durchzuführen.

§ 24 Abs. 2, 4-10: Hier stehen Verweise auf die (genormten) Verfahren nach Anlage 3 der BBodSchV, nach denen die jeweilige Untersuchung zu erfolgen hat.

§ 24 Abs. 11: Abweichend davon dürfen andere Verfahren und Methoden zur Probennahme, -vorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung sowie zur physikalisch-chemischen und chemischen Analyse angewendet werden, wenn deren Gleichwertigkeit und praktische Eignung

1. durch den **Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU)** allgemein festgestellt und die Feststellung durch das Bundesumweltministerium im Bundesanzeiger veröffentlicht wurde oder
2. vom Anwender im Einzelfall gegenüber der zuständigen Behörde nachgewiesen wird.

2 Methodensammlung Feststoffuntersuchung

2.1 Allgemein

Eine Hilfestellung bei der Auswahl von Probennahme- und Analysenverfahren kann die Methodensammlung Feststoffuntersuchung (Methosa) geben, die historisch aus den Methodensammlungen Abfalluntersuchung des Forums Abfalluntersuchung (Forum AU) und der Methodensammlung Boden-/Altlastenuntersuchung des FBU hervorging. Grundlage hierfür war der Beschluss der 87. Umweltministerkonferenz zu TOP 43 „Harmonisierung der Untersuchungsmethoden für den Feststoffbereich“ vom 2.12.2016.



Der **FBU** ist beim Umweltbundesamt angesiedelt und wurde im Jahr 2000 durch das Bundesumweltministerium einberufen. Er besteht aus Experten von Bundes- und Landeseinrichtungen sowie privaten Untersuchungs- und Forschungsdienstleistern und hat u. a. die Aufgabe, Erkenntnisse über Probenahme- und Analysenverfahren zusammenzustellen und deren jeweilige Eignung für die Untersuchungen im Bereich Bodenschutz/Altlasten zu beurteilen.

Beim **Forum AU** handelt es sich um ein Fachgremium der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), das im Jahr 2004 gegründet wurde und aus behördlichen Experten aus dem Bereich der Umweltanalytik besteht. Eine der Hauptaufgaben des Forum AU ist es, den gesetzeskonformen Umweltschutz im Bereich des Abfallrechtes durch Entwicklung und Bewertung umweltanalytischer Verfahren und Fragestellungen zu unterstützen.

Die Weiter- und Neuentwicklung von Normverfahren sowie die Dynamik in der Regelsetzung machen eine regelmäßige Aktualisierung der Methosa erforderlich. Die „**AG Methodenfortschreibung und Harmonisierung**“ aus FBU und Forum AU hat die überarbeitete und aktualisierte Version 3.0 der Methosa Ende 2023 fertiggestellt. Mit Umlaufbeschluss 11/2024 hat die Umweltministerkonferenz der Veröffentlichung am 8.5.2024 zugestimmt. Die Methosa ist auf den Seiten des FBU und der LAGA abrufbar:

https://www.laga-online.de/documents/anlage-2-methosa-30_1715156681.pdf

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/methosa_3-0_20231013.pdf

2.2 Inhalte der Methosa

Die Methosa stellt ein Kompendium für gesetzlich und untergesetzliche Regelungen aus den Bereichen Abfall, Bodenschutz und Altlasten dar.

Sie enthält im Hauptteil (Teil II – Regelwerksbezogener Teil) eine Auflistung von Untersuchungsverfahren aus boden- und abfallrechtlichen Regelungen sowie weiteren aktuellen Verfahren, die als gleichwertig bzw. fortschrittlich angesehen werden, aber (noch) nicht in den jeweiligen Regelwerken genannt sind.

Weiter enthält die Methosa in Teil I Anwendungshinweise zu den gelisteten Methoden sowie Hinweise zur Auswahl von Methoden in den Bereichen Boden/Altlasten und Abfall. In den Teilen II und III sind zudem Aspekte der Qualitätssicherung sowie Untersuchungs- und fachtechnische Grundlagen aufgeführt.

Zur Auswahl von Untersuchungsverfahren richtet sich die Methosa vornehmlich an Vollzugsbehörden sowie Auftraggeber, Gutachter und Untersuchungsstellen; zudem spricht sie den Ordnungsgeber an, der dadurch sowohl veraltete als auch neue fortschrittliche Verfahren identifizieren und bei der zukünftigen Erstellung oder Änderung von Regelwerken berücksichtigen kann.

2.3 Regelwerksbezogener Teil (Teil II – Liste der Methoden)

Der Regelwerksbezogene Teil mit der tabellarischen Auflistung der Methoden ist nach Kategorien wie z. B. Probennahme, Anorganische und Organische Analytik sowie teilweise zusätzlich nach Matrices (Feststoff, Bodenluft, Wasser/Eluate) untergliedert. Zu jeder gelisteten Methode sind Bewertungen durch die beiden Fachgremien sowie Rechtsbezüge und weitere wichtige Informationen zum Anwendungsbereich angegeben.

Darüber hinaus enthalten die Vortexte zu den Tabellen nützliche Informationen zu den einzelnen Parametern, wobei zu den Stoffgruppen auch die jeweiligen darunter zu verstehenden Einzelverbindungen aufgeführt sind.

Beispiel Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) – Vortext:

<u>PAK</u>		
Untersuchungen auf 16-EPA-PAK, beinhalten auch die Bestimmung von „BaP“ (Benzo(a)pyren), das zur Stoffgruppe der 16-EPA-PAK zählt.		
➤ Naphthalin	➤ Fluoranthen	➤ Benzo(a)pyren
➤ Fluoren	➤ Pyren	➤ Indeno(1,2,3-cd)pyren
➤ Acenaphthylen	➤ Benz(a)anthracen	➤ Dibenz(a,h)anthracen
➤ Acenaphthen	➤ Chrysen	➤ Benzo(ghi)perylen
➤ Anthracen	➤ Benzo(b)fluoranthen	
➤ Phenanthren	➤ Benzo(k)fluoranthen	

Beispiel PAK – Organische Feststoffanalytik (Tabellenauszüge, zusammengestellt):

Tabelle II.7-2: Organische Analytik (Bestimmung von Feststoffgehalten)

Parameter/ Anwendungsbereich	Materialtyp	Methode	Titel	Rechtsbezug	Kurzbeschreibung	Bemerkungen	Bewertung
PAK	Schlamm, Boden, Bioabfall	DIN EN 16181 (08/2019)	Boden, behandelte Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) mittels Gaschromatographie (GC) und Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC)	BBodSchV	- GC- oder HPLC-Detektion nach Lösungsmittel- oder Soxhlet-Extraktion - Norm ist für die Parameter validiert	Die Norm wurde zurückgezogen und vom Normungsgremium durch DIN EN 17503 ersetzt.	FBU / Forum-AU: sollte ersetzt werden durch DIN EN 17503
PAK	Boden, Schlamm, behandelte Bioabfall, Abfall	DIN EN 17503 (08/2022)	Boden, Schlamm, behandelte Bioabfall und Abfall - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) mittels Gaschromatographie (GC) und Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC)	ErsatzbaustoffV	- Modularer Aufbau für verschiedene Anwendungsbereiche - GC-MS und HPLC-Detektion nach Lösungsmittel-Extraktion mit verschiedenen Verfahrensmöglichkeiten - Norm ist validiert	Das Verfahren ist validiert für Boden, Kompost, Schlamm, Bioabfall, Bauschutt, kontaminierten Boden, Dachpappe, Schredderleichtfraktion, Schlamm und Altholz.	FBU / Forum-AU: empfohlen
PAK (BaP)	Boden	DIN ISO 18287 (05/2006)	Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) - Gaschromatographisches Verfahren mit Nachweis durch Massenspektrometrie (GC-MS)	AbfKlärV BBodSchV DepV ErsatzbaustoffV	- GC-MS-Detektion nach Lösungsmittel-Extraktion - Norm ist für die Parameter validiert	Das Ergebnis ist entgegen der Angabe nach Kap. 8 (Auswertung) bei Messwerten < 1 mg/kg auf zwei signifikante Stellen zu runden.	FBU / Forum-AU: sollte ersetzt werden durch DIN EN 17503

Die einzelnen Spalten enthalten wichtige Informationen zu den jeweiligen Methoden. Es sind die **Parameter** bzw. bei Probennahme-, Probenvorbereitungs- und Elutionsverfahren die **Anwendungsbereiche** sowie die **Materialtypen**, die nach der jeweiligen Norm untersucht werden können, enthalten. Die **Methode** und deren **Titel** sind aufgeführt, wobei ein durchgestrichener Ausgabestand bedeutet, dass die entsprechende Norm mit diesem Stand bereits zurückgezogen wurde. Die Spalte „**Rechtsbezug**“ enthält die Verordnungen, in denen das Verfahren genannt ist. Weiter enthält die Spalte „**Kurzbeschreibung**“ Informationen aus der jeweiligen Norm, die nicht im Titel zu finden sind; u. a. sind Informationen zur Validierung enthalten. Unter der Spalte „**Bemerkungen**“ sind wichtige Hinweise wie z. B. mögliche Erweiterungen oder auch Einschränkungen des Anwendungsbereiches zu finden. Die **Bewertung** der Verfahren durch die beiden Fachgremien erfolgt in der letzten Spalte (siehe hierzu auch Kap. 2.4).

2.4 Vorgehen zur Auswahl von Methoden

Sowohl der Verordnungsgeber als auch der Anwender sollte bei der Verfahrensauswahl die Bewertung der jeweiligen Methode durch die Fachgremien berücksichtigen.

Hierbei gibt es folgende Abstufungen:

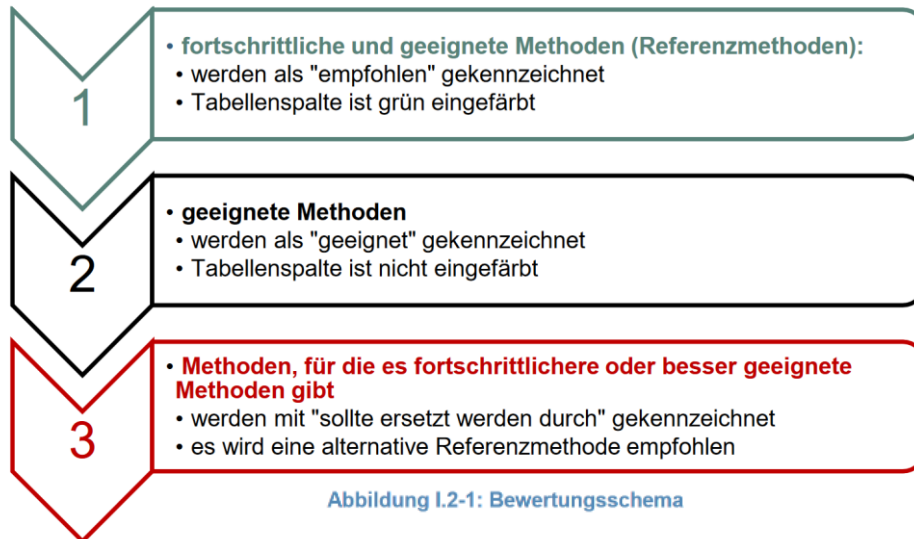


Abbildung I.2-1: Bewertungsschema

Für den **Verordnungsgeber** gilt, dass in künftigen Verordnungen nur Referenzmethoden (grün hinterlegte Tabellenzeilen) benannt werden sollten (sofern Referenzmethoden zur Verfügung stehen).

Für den **Anwender im Bereich Bodenschutz/Altlasten** gilt, dass die in der BBodSchV gelisteten Methoden oder die durch den FBU empfohlenen Methoden aus der Methosa anzuwenden sind. Sollen andere Methoden angewendet werden, so muss deren Gleichwertigkeit und praktische Eignung vom Anwender im Einzelfall gegenüber der zuständigen Behörde nachgewiesen werden.

Durch die Empfehlung von Methoden in der Methosa (Spalte „Bewertung“) stellt der FBU die Gleichwertigkeit im Sinne des § 24 Abs. 11 BBodSchV fest. Diese Feststellung wird auch im Bundesanzeiger veröffentlicht.

Nach dem gezeigten Beispiel (Tabellenausschnitt PAK, siehe Kap. 2.3) kann die DIN EN 17503 durch die Empfehlung des FBU zusätzlich zu den in der BBodSchV genannten Methoden zur PAK-Feststoffanalytik angewendet werden. Außerdem erhält der Verordnungsgeber die Empfehlung, die beiden derzeit in der BBodSchV genannten Normen (DIN EN 16181 und DIN ISO 18287) durch die empfohlene, grün hinterlegte Norm DIN EN 17503 zu ersetzen.

Im Gegensatz dazu sieht sich der **Anwender im Bereich Abfall** mit mehreren Verordnungen konfrontiert, in denen jeweils unterschiedliche Regelungen zur Anwendung von Methoden enthalten sind. Grundsätzlich gilt, dass die in der jeweiligen abfallrechtlichen Regelung genannten Methoden – bevorzugt Referenzmethoden nach Methosa, sofern vorhanden – anzuwenden sind. Sollen andere, gleichwertige Methoden zur Anwendung kommen, ist im entsprechenden Regelwerk zunächst zu prüfen, ob dies generell zulässig ist und wenn ja, ob die zuständige Behörde einzubinden ist. Bei Zulässigkeit gleichwertiger Methoden sollten die Empfehlungen des Forum AU in der Methosa zu den jeweiligen Methoden berücksichtigt werden. Informationen und Regelungen hierzu können auch dem LAGA-Papier „Vorgaben für die Antragstellung zur fachlichen Zustimmung zur Gleichwertigkeit von Analysenverfahren“ entnommen werden (https://www.laga-online.de/documents/anlage-2-gleichwertigkeit-von-analysenverfahren_1714035288.pdf).

Neue LABO-Arbeitshilfe zur Sickerwasserprognose

Volker Zeisberger, HLNUG

1 Einführung

Mit der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) von 1999 wurde das Instrument der „Sickerwasserprognose“ eingeführt. Die Fragestellung bei einer Sickerwasserprognose betrifft den Wirkungspfad Boden-Grundwasser und lautet: Geht von Bodenverunreinigungen, die sich in der ungesättigten Zone befinden, eine Gefährdung für das Grundwasser aus, indem Schadstoffe durch Niederschlagswasser gelöst werden und mit dem Sickerwasser in das Grundwasser gelangen? Hierzu wurden im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) zwei Arbeitshilfen erstellt:

- Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen (2003) [1]
- Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen (2008) [2].

Mit der Novellierung der BBodSchV [3], die im August 2023 in Kraft getreten ist, ergeben sich einige Änderungen für die Durchführung und Beurteilung von Sickerwasserprognosen. Daher sah der Ständige Ausschuss „Altlasten“ (ALA) der LABO eine hohe Priorität darin, die beiden o. g. Arbeitshilfen zu aktualisieren und zusammenzufassen. In einer Arbeitsgruppe unter Beteiligung des HLNUG wurde Anfang 2024 ein Entwurf erstellt [4] und den ALA-Mitgliedern zur Stellungnahme zugesandt. Mit der Veröffentlichung der LABO-Arbeitshilfe ist im Herbst 2024 zu rechnen.

Folgende wesentliche Änderungen haben sich durch die Novellierung der BBodSchV ergeben:

- Für anorganische Schadstoffe werden zusätzlich zu den Prüfwerten für den „Ort der Beurteilung“ auch Prüfwerte für den „Ort der Probennahme“ veröffentlicht (siehe Kapitel 2.1).
- Als Elutionsverfahren werden entweder das Säulenverfahren nach DIN 19528 [5] oder das Schüttelverfahren nach DIN 19529 [6] vorgeschrieben. Beide Verfahren weisen ein Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2:1 auf und gelten als gleichwertig (siehe Kapitel 2.2).
- Ergänzend zur Sickerwasserprognose kann optional eine sogenannte Einmischungsprognose durchgeführt werden (siehe Kapitel 2.3).

Die genannten Änderungen betreffen die „Sickerwasserprognose auf der Grundlage von Materialuntersuchungen durch Elution mit Wasser in Verbindung mit einer Transportprognose“, siehe § 14 Abs. 1 BBodSchV, also die typische Sickerwasserprognose. Für die weiteren Varianten der Sickerwasserprognose (Rückrechnung aus Grundwasseruntersuchungen, Sickerwasserprognose mittels In-situ-Untersuchungen) ergeben sich keine wesentlichen Änderungen.

2 Neue Inhalte in der aktualisierten LABO-Arbeitshilfe

2.1 Prüfwerte für den Ort der Probennahme

Für anorganische Schadstoffe nennt die aktualisierte BBodSchV nicht nur Prüfwerte für den „Ort der Beurteilung“, sondern nun auch Prüfwerte für den „Ort der Probennahme“. Die Notwendigkeit dieser Ergänzung ergab sich aus folgendem Grund: Bei einigen anorganischen Stoffen zeigten auch unbelastete Böden eine Überschreitung der Prüfwerte für den „Ort der Beurteilung“, wenn die 2:1-Elutionsverfahren und die neuen Prüfwerte angewendet wurden. Dieses Phänomen trat insbesondere bei humusreichen Böden auf, da organische Bodenbestandteile die Mobilisierung einiger anorganischer Schadstoffe fördert. Die Prüfwerte für den „Ort der Probennahme“ haben in erster Linie

die Funktion, dass bei deren Unterschreitung der Altlastenverdacht hinsichtlich des Pfades Boden-Grundwasser ausgeräumt ist, eine Sickerwasserprognose kann also entfallen.

Tab. 1: Prüfwerte für den „Ort der Probennahme“ (bei einem gesamten organischen Kohlenstoffgehalt (TOC) in der Bodenprobe $< 0,5\%$ und $\geq 0,5\%$) und Prüfwerte für den „Ort der Beurteilung“ für anorganische Stoffe

Stoff	Ort der Probennahme TOC-Gehalt $< 0,5\%$ [$\mu\text{g/L}$]	Ort der Probennahme TOC-Gehalt $\geq 0,5\%$ [$\mu\text{g/L}$]	Ort der Beurteilung [$\mu\text{g/L}$]
Arsen	15	25	10
Blei	45	85	10
Bor	1 000	1 000	1 000
Cadmium	4	7,5	3
Chrom, gesamt	50	50	50
Chrom (VI)	8	8	8
Kobalt	50	125	10
Kupfer	50	80	50
Molybdän	70	70	35
Nickel	40	60	20
Quecksilber	1	1	1
Selen	10	10	10
Zink	600	600	600
Cyanide, gesamt	50	50	50
Cyanide, leicht freisetzbar	10	10	10
Fluorid	1 500	1 500	1 500

2.2 Elutionsverfahren

Elutionsverfahren werden im Rahmen der BBodSchV angewandt, um die unter natürlichen Standortverhältnissen stattfindende Mobilisierung von Schadstoffen zumindest näherungsweise abzubilden. Der in der BBodSchV von 1999 als Standardverfahren genannte Bodensättigungsextrakt hat sich in der Praxis jedoch nicht bewährt. Das damals ebenfalls aufgeführte S4-Verfahren, das ein Wasser/Feststoff-Verhältnis von 10:1 aufweist, ist i. d. R. ungeeignet, um realitätsnahe Schadstoffkonzentrationen abschätzen zu können.

Als geeignete Verfahren, die einerseits praktikabel sind und andererseits eine näherungsweise Einschätzung der Mobilisierbarkeit ermöglichen, werden in der novellierten BBodSchV zwei Verfahren genannt, die beide ein Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2:1 aufweisen:

- 2:1-Säulenverfahren nach DIN 19528 [5]
- 2:1-Schüttelverfahren nach DIN 19529 [6]

Beide Verfahren werden in der BBodSchV gleichberechtigt genannt und sind daher als gleichwertig anzusehen. Beide DIN-Normen wurden 2023 aktualisiert [5, 6].

2.3 Einmischungsprognose

Für einige anorganische Stoffe hatte die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) im Jahr 2016 Geringfügigkeitsschwellen (GFS) abgeleitet, die deutlich niedriger waren als die 2004 abgeleiteten GFS [7]. Da die Prüfwerte der BBodSchV sich an den GFS orientieren, sind in der Folge die Prüfwerte für einige anorganische Stoffe in der novellierten BBodSchV deutlich geringer als noch 1999. Der Ordnungsgeber wollte jedoch eine deutliche Verschärfung des Altlastenrechts für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser vermeiden.

Ein pragmatischer und von der LAWA mitgetragener Weg war es, die Vermischung/Verdünnung von Sicker- und Grundwasser im obersten Meter des Grundwassers bei der Beurteilung berücksichtigen zu können. Es besteht nun die Option, die Prüfwerte der BBodSchV nicht nur für die Schadstoffkonzentration am Ort der Beurteilung heranzuziehen, sondern auch nach einer (modellhaft angenommenen vollständigen) Vermischung im obersten Meter des Grundwassers (vgl. Abb. 1). Obwohl für die meisten organischen Schadstoffe keine Verschärfung der GFS erfolgte, gilt die Option der Einmischungsprognose auch für diese Stoffe.

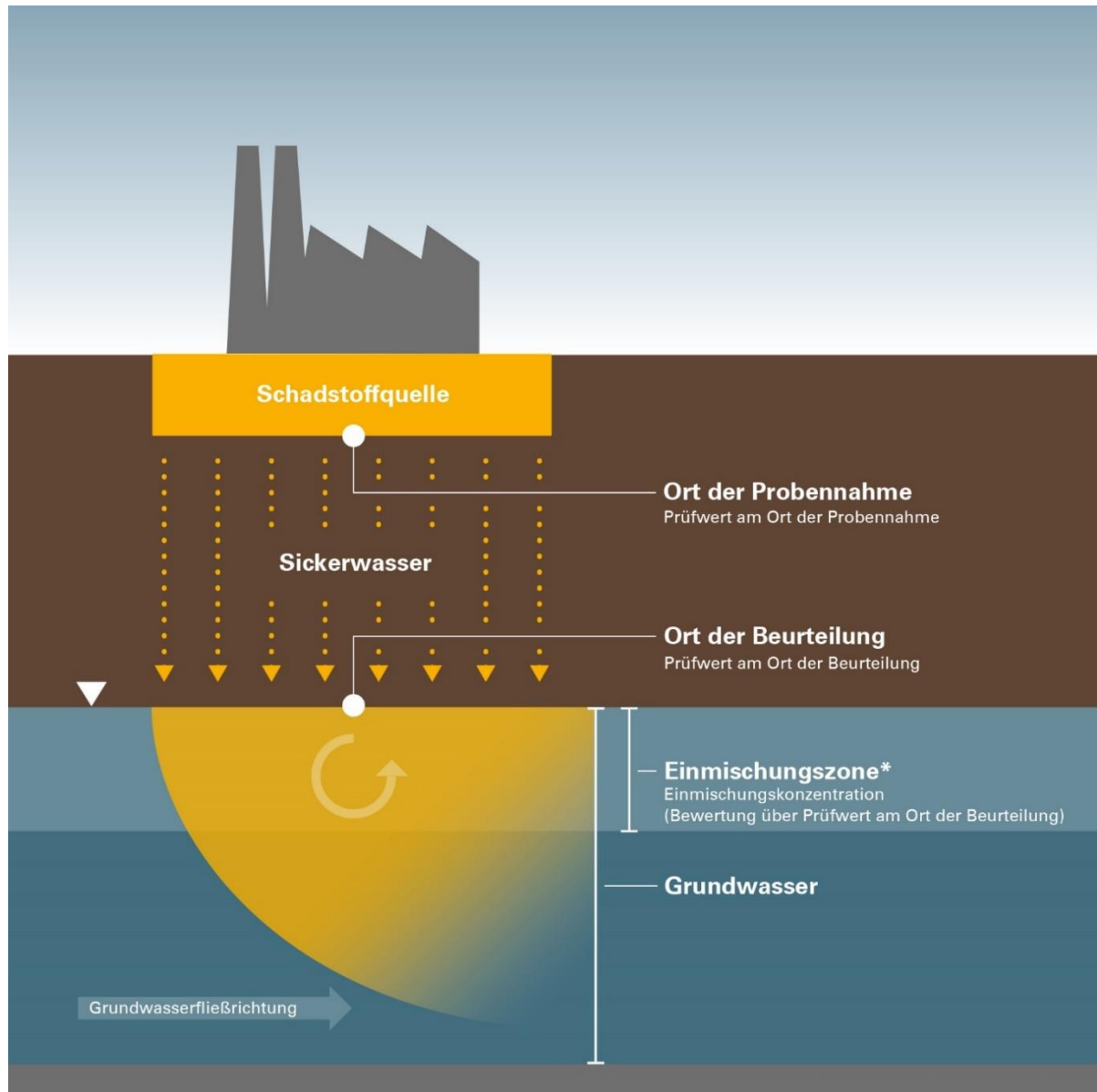


Abb.1: Schematische Darstellung der Einmischungsprognose [4]. * Nach § 14 Abs. 5 BBodSchV wird per Konvention eine pauschale Einmischungstiefe von einem Meter unterhalb der Grundwasseroberfläche angenommen.

Für den Vollzug der BBodSchV ist zu erwarten, dass die Einmischungsprognose eher bei Detailuntersuchungen als bei orientierenden Untersuchungen angewendet wird. Denn Voraussetzung für die Anwendung der Einmischungsprognose ist, dass die Fließgeschwindigkeit im Grundwasser bekannt ist; dieses Wissen liegt bei orientierenden Untersuchungen eher selten vor. Weiterhin ist zu erwarten, dass die Einmischungsprognose eher bei kleinen Altlasten/Punktquellen zu einer Entlastung des Pflichtigen führt. Bei großflächigen Belastungen bzw. geringen Grundwasserfließgeschwindigkeiten sind die Auswirkungen der Einmischungsprognose vergleichsweise gering [8].

3 Ausblick

Das analytische Prognose-Tool ALTEX-1D war bislang Bestandteil der LABO-Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen [2]. Da sich ALTEX-1D einerseits bewährt hat, andererseits das Sicherheitskonzept der EXCEL-basierten Anwendung veraltet ist, wird ALTEX-1D zurzeit überarbeitet und soll webbasiert zur Verfügung gestellt werden. Mit der Veröffentlichung der webbasierten Version ist im Jahr 2025 zu rechnen.

Im Hinblick auf orientierende Untersuchungen ist das HLNUG-Handbuch „Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser – Sickerwasserprognose“ [9] konkreter und damit vollzugsfreundlicher als die LABO-Arbeitshilfen. Daher wird eine hessische Behördenarbeitsgruppe das Handbuch Altlasten aktualisieren, sobald die LABO-Arbeitshilfe verabschiedet ist.

4 Literatur

- [1] LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2003): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen. [https://www.labo-deutschland.de/documents/SiWaPrognose-120903_91f.pdf; Stand: 27.05.2024].
- [2] LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2008): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen. [https://www.labo-deutschland.de/documents/Ah_Du_1208_732_8fa.pdf; Stand: 27.05.2024].
- [3] BBodSchV (2021): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).
- [4] LABO -- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2024): Arbeitshilfe zur Sickerwasserprognose (Entwurf 14.05.2024).
- [5] DIN 19528 (2023): Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen.
- [6] DIN 19529 (2023): Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen bei einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg.
- [7] LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2016): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, aktualisierte und überarbeitete Fassung. [https://www.lawa.de/documents/geringfuegigkeits_bericht_seite_001-028_1552302313.pdf; Stand: 27.05.2024].
- [8] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2022): Neues von der Sickerwasserprognose – Die Einmischprognose. – Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen, Ausgabe 2022: 30-32; Wiesbaden. [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/Boeden_Altlasten_Newsletter_2022_web_final.pdf, Stand: 27.05.2024].
- [9] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2002): Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser – Sickerwasserprognose – Handbuch Altlasten Band 3, Teil 3; Wiesbaden. [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/hba33_web.pdf, Stand: 27.05.2024].

Sicherung der Altdeponie Eisert – der Weg zum Start und die erste Etappe

Dr. Ulrich Langer, HIM-ASG, Heiko Grosch, RP Darmstadt

1 Einleitung

Die Altdeponie Eisert liegt westlich der Gemeinde Großkrotzenburg, ca. 6 km südöstlich von Hanau, zwischen dem südlich gelegenen Main und einem nördlich gelegenen Kraftwerksgelände, auf dem sich unmittelbar angrenzend zwei Seen und eine gesicherte Deponie befinden. Im Zeitraum 1950 bis 1978 wurden in einer Kiesgrube ca. 1,5 Mio. t Haus- und Industrieabfälle sowie mineralische Abfälle auf einer Fläche von ca. 9 ha bis in eine Tiefe von ca. 9 m u. GOK abgelagert. Neben festen Abfällen wurden v. a. flüssige und pastöse Abfälle aus der chemischen Industrie (z. B. Ölschlämme, Kunstharzrückstände, Lösemittelreste oder Säurerückstände) angenommen, bei deren Ablagerung es wiederholt zu Selbstentzündungen mit starker Rauchentwicklung kam (Abb. 1).

Nach Betriebsende wurde der Ablagerungsbereich lediglich mit einer dünnen Lage an humosem Oberbodenmaterial abgedeckt. Im Osten des Deponiebereichs verblieb ein nicht verfüllter Restbereich mit angeschnittenem Grundwasser. Ein Teil des Geländes diente nach Stilllegung der Deponie als Betriebsgelände für einen Containerdienst.

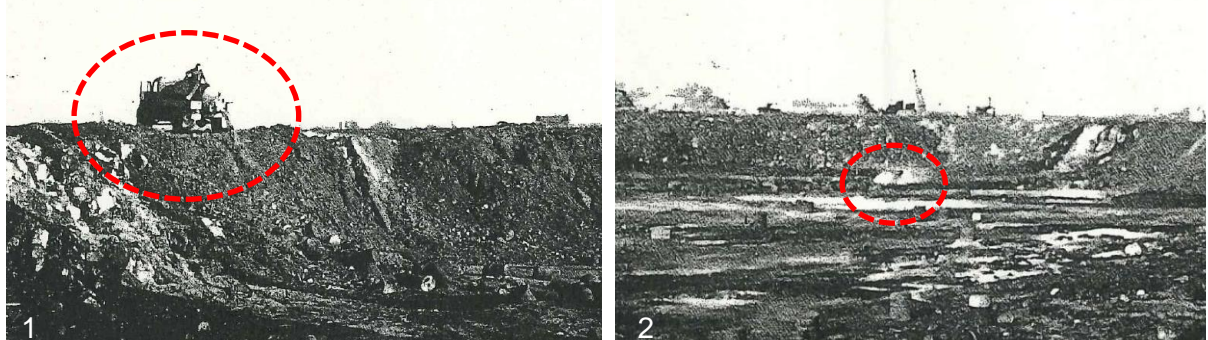


Abb. 1: 1 Leerung von Tankwagen; 2 Rauchentwicklung aus Schwefelsäure (Quelle: Archiv des Regierungspräsidiums Darmstadt)

Aus rechtlicher Sicht fällt die Sicherung der Altdeponie unter den Anwendungsbereich des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Abt. 5 BBodSchG), da es im Ablagerungszeitraum 1950-1972, in dem der Großteil der Ablagerung stattfand, noch kein Abfallgesetz gab.

Da kein Verantwortlicher für die Sanierung herangezogen werden konnte, wurde das Verfahren an die HIM-ASG übertragen, die die Sanierung für das Land Hessen durchführt.

2 Die Ausgangssituation

Die Altdeponie ist ungesichert. Ihr östlicher Bereich befindet sich im Überflutungsgebiet des Mains. Sowohl aus der Kenntnis der abgelagerten Abfälle als auch aus Boden- und Grundwassererkundungen in den 1980er und 1990er Jahren war von einem hohen Gefährdungspotenzial sowohl für das Grundwasser als auch für den nahe gelegenen Main auszugehen. Dies wurde durch eine umfangreiche Gefährdungsabschätzung in 2007 bestätigt. Demnach stellen die Inhaltsstoffe der Deponie einen sanierungsbedürftigen Grundwasserschaden dar. Von der Altdeponie geht eine potenzielle Gefährdung der tiefer liegenden, bisher unbelasteten, Grundwasserleiter und des Mains aus.

Der Deponiekörper (ca. 850.000 m³) liegt z. T. im gesättigten Bereich. Das Grundwasser des 1. Grundwasserleiters, welches den Deponiekörper in Richtung Main durchströmt, ist mit zahlreichen

Schadstoffen wie z. B. aromatischen Aminen, Chlorbenzolen, Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW), aromatischen Kohlenwasserstoffen (BTEX), polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), Schwermetallen oder Phenolen belastet. Außerdem hat sich eine zähe Schicht aus einer Kohlenwasserstoffmischung auf der Grundwasseroberfläche gebildet. Des Weiteren kann es durch Niederschläge und damit einhergehender Sickerwasserbildung zur Auswaschung von Schadstoffen aus dem Deponiekörper ins Grundwasser kommen.

Die genaue Ausdehnung und die jeweiligen Gefährdungspotenziale der Ablagerungen waren zum Zeitpunkt der Übergabe an die HIM-ASG noch nicht ausreichend bekannt. Aufgrund der flüssigen und pastösen Ablagerungen war der Untergrund zudem auf dem Großteil der Fläche nicht tragfähig. Das genaue Schadensbild einschließlich der lokalen hydrogeologischen Verhältnisse musste demnach für eine konkrete Sanierungsplanung noch weiter erkundet werden.

3 Der Weg zur Sicherung

Zwischen 2007 und 2021 wurden zahlreiche Detailerkundungen zur Ausdehnung des Deponiekörpers einschließlich der Ablagerungsverhältnissen in der geplanten Trasse der Dichtwand sowie Erkundungen des 2. und 3. Grundwasserleiters durchgeführt. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse konnte die Altdeponie in drei Ablagerungsbereiche differenziert werden:

1. Zentraler Ablagerungsbereich (hohe Schadstoffbelastung)
2. Östlicher Randbereich (geringe Schadstoffbelastung)
3. Südwestlicher Randbereich (geringe Schadstoffbelastung)

In 2010 wurde das Sicherungsziel „Minimierung des Schadstoffaustrags mit verhältnismäßigem Mitteleinsatz“ definiert. Daraufhin wurde in 2011 eine zweiteilige Variantenstudie zu möglichen Sicherungsvarianten erstellt. Die resultierende Vorzugsvariante sah eine Sicherung des zentralen Ablagerungsbereichs (ca. 61.500 von 90.000 m²) mittels Dichtwand und Oberflächenabdichtung vor (Abb. 2).

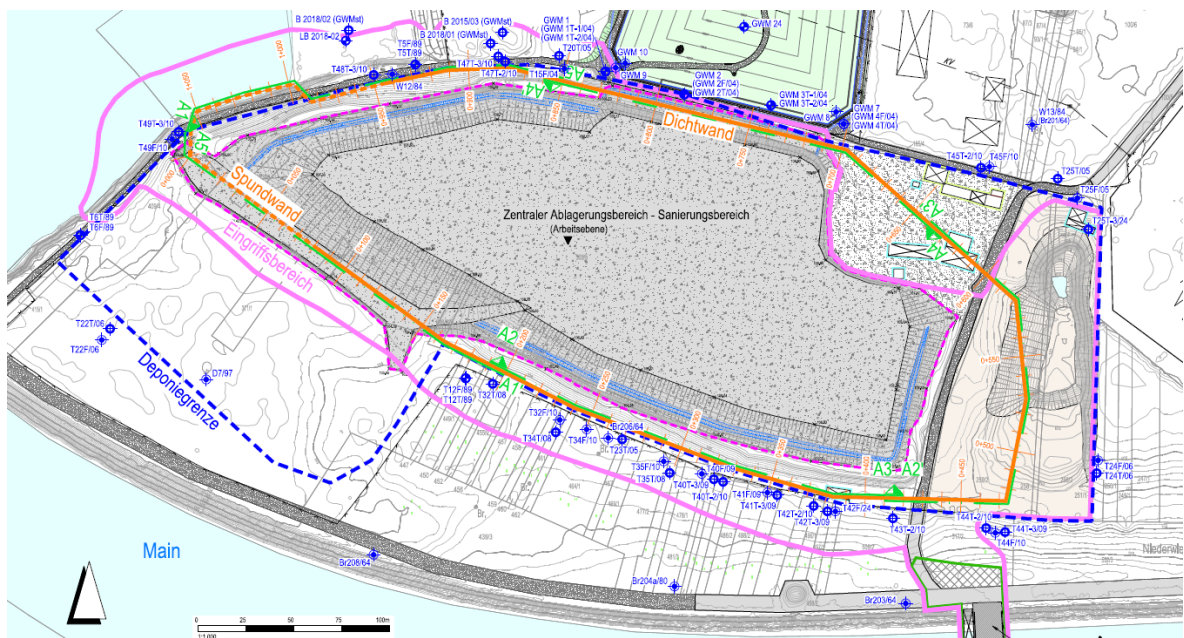


Abb. 2: Lageplan der Altdeponie einschließlich Sicherungsbereich

Zunächst war das Einbinden der Dichtwand in die ersten Stauer vorgesehen. Unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung einer dauerhaften Wasserhaltung und damit verbundenen dauerhaften Kosten wurden jedoch weitere hydrogeologische Untersuchungen des 2. und 3. Grundwasserleiters einschließlich der Aufstellung eines Grundwassermodells veranlasst. Ziel war die Prüfung der Frage, ob eine dauerhafte Wasserhaltung durch das Einbinden der Dichtwand in den zweiten Stauer vermieden werden könnte. Insgesamt wurden zur Erkundung der geologischen/hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der Altdeponie Eisert im Zeitraum 1964 bis 2016 72 Bohrungen in den oberflächennahen, quartären

Ablagerungen abgeteuft, davon wurden 50 zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Die tiefer liegenden tertiären Schichten wurden mit insgesamt 85 Bohrungen erschlossen, davon wurden 78 zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Der größte Teil der Grundwassermessstellen wurde innerhalb oder im Nahbereich der Altdeponie eingebaut. Hierbei musste v. a. bei der Erkundung des 2. und 3. Grundwasserleiters ein hoher Aufwand betrieben werden, um eine Verunreinigung der tertiären Grundwasserleiter zu vermeiden. Mittlerweile wurden viele Grundwassermessstellen zurückgebaut.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Erkundungen wurde eine Modellvorstellung zum Untergundaufbau und zu den Grundwasserverhältnissen entwickelt. Im Untergrund der Altdeponie Eisert wurden drei lithologische Einheiten differenziert: Quartäre Kiessande einschließlich Deponiekörper (Einheit 1), jüngere tertiäre Ablagerungen (Wechsellagerung von Sanden, Schluffen und Tonen, Einheit 2) und ältere tertiäre Ablagerungen (Wechsellagerung von Sanden, Schluffen und Tonen), die unterhalb des Leithorizonts „schwarzer Ton“ anstehen, Einheit 3). Anhand des Grundwassermodells wurde in 2015 entschieden, die Dichtwand nicht in den ersten sondern in den zweiten Stauer („schwarzen Ton“) einzubinden, um damit eine dauerhafte Wasserhaltung vermeiden zu können. Zu diesem Zweck musste ein Konzept zur Überwachung der Druckpotenziale in den drei Grundwasserleitern erarbeitet werden, um eine vertikale Schadstoffverlagerung im Bau- und Endzustand der Sicherung überwachen und ausschließen zu können.

Außerdem wurden hinsichtlich des exakten Verlaufs der Dichtwand vor allem die Randbereiche der Altdeponie in mehreren Sondierungskampagnen detailliert erkundet. Ebenfalls Gegenstand weiterer Untersuchungen war das Gefährdungspotenzial der beiden o.g. geringer belasteten Bereiche der Altdeponie (südwestlicher und östlicher Randbereich).

Zur Konkretisierung der komplexen Sanierungsplanung wurden die jeweils aktuellen Ergebnisse und darauf basierenden vorgesehenen Sicherungsmaßnahmen im Rahmen der Arbeitsgruppe „AG Eisert“ zwischen der HIM, den Planern und den betroffenen Behördenvertretern in regelmäßigen Besprechungen erörtert. Insgesamt wurden 43 Besprechungen abgehalten. Neben den Bodenschutzbehörden nahmen regelmäßig Vertreter weiterer Behörden wie z. B. Naturschutz, Abfallwirtschaft, Oberflächengewässer oder auch das HLNUG an den Besprechungen teil. Die Ergebnisse definierten die Randbedingungen, welche kontinuierlich fortgeschrieben wurden. Thematisch sind die Randbedingungen unterteilt in die einzelnen Bauwerke bzw. Themenbereich wie z. B. Oberflächenabdichtung, Dichtwand, Wasserhaltung, Naturschutz, Nachbargrundstücke etc. sowie den jeweils aktuellen Sachstand und das weitere Vorgehen. Im Nachgang hat sich diese Vorgehensweise im Rahmen eines solch komplexen und langwierigen Planungsprozesses als äußerst hilfreiches Mittel, auch im Hinblick auf die Erstellung der Sanierungsplanung, herausgestellt.

Zur Umsetzung der Sicherung waren im Vorfeld Maßnahmen für einen optimierten Ablauf notwendig, die im Folgenden erläutert werden:

Arbeitsebene

Die Oberfläche der Altdeponie war bis 2017 nur durch eine dünne Abdeckschicht gesichert, sodass eine Befahrung mit schweren Gerätschaften aus Gründen der Tragfähigkeit nicht möglich war. Die Oberfläche wurde daher mit einer ca. 1 m mächtigen Schicht aus Hausmüllverbrennungsschlacke (HMV-Schlacke) befestigt. Dafür mussten im Vorfeld aus naturschutzrechtlichen Gründen die vorhandenen Eidechsen umgesiedelt werden.

Schiffsanleger/Umschlaganlage

Zur Entkopplung vom Straßenverkehr und zur Entlastung der umliegenden Gemeinden wurde 2019 durch die Errichtung einer Schiffsanlegestelle am Nordufer des Mains eine alternative Anlieferungsmöglichkeit geschaffen. Der Binnenschiffstransport wurde gegenüber dem LKW-Transport als umweltfreundlicher und ausführungssicherer erachtet. Dabei handelt es sich um eine nach dem BImSchG genehmigte Anlage zum Umschlagen von Abfällen bis DK-I nach DepV, die mit Genehmigung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes errichtet wurde (Abb. 3).



Abb. 3: Schiffsanleger/Umschlaganlage

Anlieferung von unbelastetem Bodenmaterial

Nach der Fertigstellung der Umschlaganlage wurden ca. 100.000 m³ unbelastetes Bodenmaterial aus einer Renaturierungsmaßnahme in Frankfurt-Fechenheim zur späteren Verwendung für den Bau des Raddamms angeliefert. Mit der Renaturierungsmaßnahme in Frankfurt-Fechenheim wurde gleichzeitig auch das durch die Sicherung der Altdeponie entstehende Retentionsraumdefizit ausgeglichen. Das unbelastete Bodenmaterial wurde nach Anlieferung in zwei Halden auf der Altdeponie getrennt nach Ober- und Unterboden gelagert bzw. zur Verfüllung der Restgrube am Ostrand der Altdeponie eingesetzt.

Einbindung der Öffentlichkeit

Die Planung zur Sicherung der Altdeponierung sieht auch die z. T. temporäre oder dauerhafte Nutzung angrenzender Privatgrundstücke zur Zwischenlagerung von Bodenmaterial, zur Errichtung der Umschlaganlage und zur Durchführung naturschutzrechtlicher Ausgleichsmaßnahmen oder Überbauung vor. Entsprechend wurden durch die HIM über 20 Gestattungsverträge mit betroffenen Eigentümern abgestimmt und abgeschlossen. Hierzu wurden Informationsveranstaltungen organisiert, Informationsbriefe verfasst, sowie nach Notwendigkeit und Interesse direkt mit den Eigentümern verhandelt.

Genehmigungsplanung

Basierend auf den Randbedingungen wurde der Sanierungsplan in 2021 vorgelegt und Anfang 2022 nach zusätzlicher Prüfung durch einen Behördengutachter gemäß § 13 Abs. 6 BBodSchG für verbindlich erklärt. Im Anschluss wurde die Ausführungsplanung zur Annahme von Profilierungsmaterial und der Herstellung des Raddamms vorgelegt und genehmigt. Im Frühjahr 2023 konnte mit den Maßnahmen zur Sicherung der Altdeponie Eisert begonnen werden.

4 Sanierungs- bzw. Sicherungskonzept

Unter Berücksichtigung des oben bereits genannten Grundsatzes „Minimierung des Schadstoffaustrags aus der Altdeponie Eisert unter verhältnismäßigem Mitteleinsatz“ wurde eine technische Sicherung der Altdeponie beschlossen. Diese sieht eine Sicherung des zentralen Ablagerungsbereichs vor. Da vom östlichen und südwestlichen Bereich der Altdeponierung nur ein geringes Gefährdungspotenzial ausgeht, können diese Bereiche ohne Sicherung verbleiben. Die Maßnahmen zur Sicherung der Altdeponie umfassen die Umsetzung einer Kapselung durch Spund-/Dichtwand und Oberflächenabdichtung mit Rekultivierung, siehe Abb. 4. Eine aktive Wasserhaltung im Dichtwandtopf ist unter den gegebenen geologischen/hydrogeologischen Randbedingungen nicht bzw. nur im Ausnahmefall bei länger anhaltenden Hochwasserereignissen erforderlich. Die Einbindung der vertikalen Dichtungselemente erfolgt in den mehrere Meter mächtigen Stauer („schwarzen Ton“) oberhalb des 3. Grundwasserleiters.

In Abschnitt 2 werden Abdichtungsarbeiten und Infrastruktureinrichtungen umgesetzt. Die Abdichtungsarbeiten beginnen mit dem Einbau der Spundwand im westlichen Dammabschnitt. Im Anschluss erfolgt die Herstellung der Einphasendichtwand in den östlich angrenzenden Bereichen. Nach Abschluss der Profilierung werden mehrere Förderbrunnen als Kombinationsbrunnen errichtet. Nach Fertigstellung eines Großteils der Dichtwand wird eine mehrkomponentige Oberflächenabdichtung nach Deponiestandard (DK II) aufgebracht und mit der vertikalen Abdichtung im Bereich des Randdammes verbunden. Der Ringschluss der Dichtwand im Süden erfolgt parallel zur Fertigstellung des letzten Bauabschnitts der Oberflächenabdichtung. Diese Vorgehensweise soll sicherstellen, dass es zu keinem Aufstau im 1. Grundwasserleiter und damit einhergehenden Risiken einer vertikalen Verlagerung von Schadstoffen in den 2. und/oder 3. Grundwasserleiter kommen kann.

Der errichtete Randdamm wird im Bereich der Privatgrundstücke südlich der Altdeponie abgeflacht und anschließend – genau wie der gesicherte Deponiebereich – begrünt. Über die Kombinationsbrunnen wird austretendes Deponiegas (Schwachgas) mittels Methanoxidation unschädlich gemacht. Sollte eine Wasserhaltung im Dichtwandtopf zeitlich befristet erforderlich werden, soll anfallendes Sickerwasser aus den Kombinationsbrunnen gefördert und über Tankwagen entsorgt bzw. bei größeren Mengen über eine Behandlungsanlage geklärt werden.

5 Die erste Etappe der Sicherung

Im Mai 2023 wurde mit der Umsetzung des Abschnitts 1 begonnen. Die im Folgenden aufgeführten Maßnahmen wurden umgesetzt:

Errichtung eines Boden-Zwischenlagers

Auf einer bis dato landwirtschaftlich genutzten Fläche wurde ein nach BImSchG genehmigtes Zwischenlager für Böden errichtet. Beim Aufbau der Halden waren Vorgaben zum Bodenschutz (Vermeidung von Schadverdichtung) und auch besondere Vorgaben des Arbeitsschutzes zu definieren und zu beachten. Die maximal zulässige Arbeitshöhe wurde eingeschränkt, um den festgelegten Sicherheitsabstand zu den Hochspannungsleitungen einhalten zu können. Im Vorfeld wurden zudem bodenkundliche Untersuchungen zur Beweissicherung durchgeführt und Anforderungen an die Wiederherstellung des Bodens nach Nutzungsende definiert.

In einem ersten Schritt wurde der vorhandene Oberboden der Fläche abgetragen und separat aufgehaldet. In einem zweiten Schritt wurde die Verkehrsfläche innerhalb des Zwischenlagers aufgeschottert. Der nicht für den Bau des Randdammes benötigte Boden auf der Altdeponie wurde in das neu errichtete Zwischenlager getrennt nach Ober- und Unterboden verbracht.

Baustellensicherung

Der Arbeitsbereich wurde sukzessive mit ca. 700 m Bauzaun gesichert. Aus naturschutzrechtlichen Gründen wurden Teilabschnitte des Bauzauns als Sichtschutzzaun ausgeführt. Im nördlich gelegenen Einfahrtsbereich wurde ein elektrisches Rolltor installiert.

Auf der am nordöstlichen Rand der Altdeponie liegenden Baustelleneinrichtungsfläche (BE-Fläche) wurde die Infrastruktureinrichtung der Baustelle errichtet (Schwarz-Weißanlage, Besprechungs-, Mannschafts- und Materialcontainer, Reifenwaschanlage).

Einbau des Randdamms

Der Randdamm wurde in sechs Bauabschnitten (BA) eingebaut (Abb. 5).

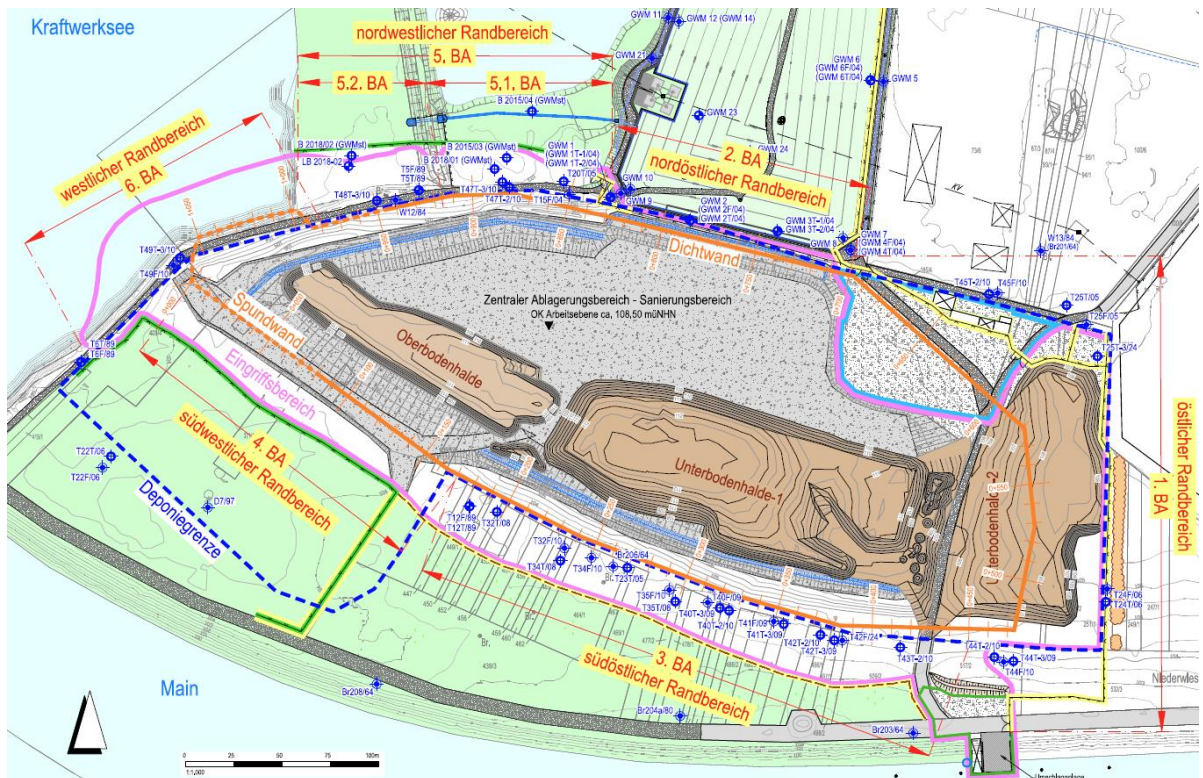


Abb. 5: Übersichtslageplan der Bauabschnitte zur Errichtung des Randdamms

In BA 1 wurde die Dichtwandtrasse auf der gesamten Länge mit einem bis zu 3,5 m tiefen Bagger-schurf erkundet. Störstoffe wurden nicht angetroffen. Die ausgehobenen Abfälle wurden in den Profilierungsbereich verbracht und dort eingebaut. In den Schurf wurde unbelasteter Boden eingebaut (Abb. 6 Nr. 1).

Im nördlichen Bereich (BA 2) zwischen der Altdeponie und dem Kraftwerksgelände war nur ein geringer Abtrag und Bodenaustausch zur Sicherstellung der Befahrbarkeit erforderlich.

Am südöstlichen Rand der Altdeponie (BA 3) wurde der Randdamm nach Abtrag des Oberbodens unmittelbar auf den gewachsenen Boden eingebaut (Abb. 6 Nr. 2). Die im Grundrissbereich des BA 3 liegenden Grundwassermessstellen wurden vor Einbau des Randdamms verlängert und mit Schachtringen gesichert.

Die Trasse im BA 4 verläuft zwischen dem hochbelasteten Zentralbereich und dem südwestlichen Randbereich. Der Aushub erfolgte in offener Baugrube in zwei Schritten (Abb. 6 Nr. 3 und 4). Im ersten Schritt wurde ein Voraushubebene bis ca. 2 m u GOK hergestellt. Von hier aus wurde der Aushub bis auf den anstehenden Boden in 8 m u GOK (tertiäre Ablagerungen) vorgenommen. Das überwiegend aus Reifen bestehendes Abfallgemisch wurde in der Spund-/Dichtwandtrasse durch unbelasteten Boden ersetzt.



Abb. 6: 1 Erkundung Dichtwandtrasse (BA 1); 2 Randdamm mit gesicherten Grundwassermessstellen (BA 3); 3 Voraushubebene und 4 Tiefenaushub (BA 4)

BA 5 befindet sich östlich vom Kraftwerksee. Ein Teil des BA 5 wies ein Höhenniveau von wenigen Dezimetern über Seewasserspiegel auf und war aufgrund der Vernässung nicht befahrbar. Daher wurde dieser Teilabschnitt mit Grobschlag (Gesteinsbruch) stabilisiert. Danach konnte der Dammbau umgesetzt werden (Abb. 7 Nr. 1). Die im Grundrissbereich des BA 5 liegenden Grundwassermessstellen wurden vor Einbau des Bodens verlängert und gesichert.

BA 6 verläuft parallel zum ehemaligen Ufer des Kraftwerksees. Die Spundwandtrasse verläuft in diesem Abschnitt innerhalb des Sees im Abstand von einigen Metern von der Altdeponiegrenze. Zunächst wurde der zu verfüllende Bereich durch einen Damm vom See abgetrennt (Abb. 7 Nr. 3). Vor der Verfüllung des abgetrennten Bereichs mussten die auf dem Grund des Kraftwerksees liegenden Störstoffe (v. a. Reifenkarkassen) mittels Langarmbagger entfernt werden (Abb. 7 Nr. 2).

Um den Räumungserfolg zu überprüfen, wurden vom Seeufer aus auf der Gesamtlänge der Spundwandtrasse Spundbohlen in den am Seegrund anstehenden Einbindehorizont ("schwarzer Ton") eingerammt und anschließend wieder gezogen (Abb. 7 Nr. 4).

Im Anschluss wurde der gesamte Bereich mit Grobschlag bis kurz über den Wasserspiegel des Sees verfüllt und anschließend der Randdamm mit Erdmaterial fertiggestellt (Abb. 7 Nr. 5 und Nr. 6).



Abb. 7: 1 Dammbau mit Stabilisierung (helles Material, BA 5); 2 Entfernung der Störstoffe auf dem Seegrund (BA 6); 3 Einbau der Vorschüttung (BA 6), 4 Proberammung (BA 6); 5 Verfüllung des Dammbbeckens und 6 Dammaufbau (BA 6)

Profilierung

Mit der Profilierung wurde in der westlichen Hälfte der Altdeponie begonnen. Das Profilierungsmaterial wurde mittels Raupe verteilt und mit einer Schaffußwalze lagenweise verdichtet eingebaut. Die Einbauqualität wurde durch die Bauüberwachung und den Fremdprüfer überwacht. Das Einbaumaterial bestand zum Großteil aus aufbereiteter HVM-Schlacke. Außerdem wurde Straßenaufbruch, Bauschutt und Boden eingebaut. Der Abfallaushub aus den Bauabschnitten BA 1 bis BA 6 wurde

ebenfalls in die Profilierung eingebaut. Reifen und Reifenkarkassen wurden zerkleinert, mit HMV-Schlacke vermischt und lagenweise in die Profilierung eingebaut.

Naturschutzaspekte

Schon für die vorbereitenden Maßnahmen erfolgten Ausgleichsmaßnahmen. So wurden Habitate wie Benjeshecken, Nistmöglichkeiten für Fledermäuse und Steinschüttungen für Eidechsen außerhalb des Baufelds eingerichtet. Im Zuge der Planung wurde auf Grundlage des Naturbestands der landschaftspflegerischen Begleitplan erstellt. Ausgleichs- und Pflegemaßnahmen wurden identifiziert und Schon- und Brutzeiten berücksichtigt, um baubedingte Nachteile so weit wie möglich zu minimieren. Um die durch die notwendige Rodung reduzierten Lebensräume schon im Vorfeld zu kompensieren, wurden Ausgleichsmaßnahmen umgesetzt (CEF-Maßnahmen: „Continuous Ecological Functionality“).

Die Baumaßnahme wird durch eine ökologische Baubegleitung (ÖBB) für alle die Sicherung betreffenden Naturschutzaspekte begleitet. Durch regelmäßige Begehungen der ÖBB wird eine mit den Anforderungen des Naturschutzes konforme Ausführung sichergestellt. Aktive Schutzmaßnahmen wie Evakuierung von Amphibien, Insektenlarven, Muscheln und Fischen v. a. in BA 5 und 6 wurden bereits im Sicherungsbetrieb umgesetzt.

6 Fazit und Ausblick

Ein Teil des Abschnitts 1 der Sicherung wurde planmäßig bis März 2024 umgesetzt. Hierbei wurden die Voraussetzungen für eine hohe Ausführungssicherheit der Abdichtungsarbeiten in Abschnitt 2 durch Bodenaustausch und Randsammerrichtung geschaffen. Ein Drittel der notwendigen Profilierung wurde umgesetzt. Naturschutzrechtliche Belange hatten einen hohen Stellenwert im Zuge der Ausführung.

Die Profilierung wird derzeit fortgesetzt. In 2025 soll die Profilierung abgeschlossen und mit der Herstellung der Dichtwand und Oberflächenabdichtung (Abschnitt 2) begonnen werden. Die Fertigstellung der Sicherung ist für Ende 2028 vorgesehen.

LABO-Arbeitshilfe zum Expositionsszenario Grundwasser–Bodenluft–Innenraumluft

Volker Zeisberger, HLNUG

1 Einführung

Im Rahmen der Altlastenbearbeitung kann folgende Situation auftreten: Bei einer Altlast werden wasserlösliche/leichtflüchtige Schadstoffe freigesetzt, so dass im Grundwasser eine Schadstofffahne entsteht. Typische leichtflüchtige Schadstoffe sind BTEX-Aromaten wie Benzol, Toluol und Xylole sowie leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW). Prinzipiell können diese leichtflüchtigen Schadstoffe aus dem Grundwasser ausgasen und über die Bodenluft in die Innenraumluft von Gebäuden gelangen (Expositionsszenario Grundwasser-Bodenluft-Innenraumluft). Sofern im Bereich der Schadstofffahne eine Wohnbebauung geplant ist, sollte daher geprüft werden, ob die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse trotz der Grundwasserbelastung gewahrt werden können.

Wenn Gebäude noch nicht errichtet sind, sind Innenraumluft-Messungen als Prüfwerkzeug nicht geeignet. Auch Bodenluft-Messungen auf BTEX bzw. LCKW sind in der Regel nicht aussagekräftig, wie in Kapitel 2 erläutert wird. Unter Beachtung der o. g. Aspekte wurde die Arbeitshilfe „Bewertung von leichtflüchtigen Schadstoffen im Grundwasser hinsichtlich einer möglichen Belastung der Innenraumluft von geplanten Gebäuden (Entwurfsfassung Stand Feb. 2024)“ [1] als Hilfestellung für die Vollzugsbehörden (z. B. Bodenschutzbehörden, Gesundheitsämter) und für Ingenieurbüros erstellt. Auftraggeber ist die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), die fachlichen Rahmenbedingungen wurden vom Altlastenausschuss (ALA) der LABO festgelegt. Erstellt wurde die Arbeitshilfe durch eine Arbeitsgruppe des ALA-Gesprächskreises „Schadstoffbewertung“ unter Obmannschaft des HLNUG.

In der Arbeitshilfe werden sogenannte „Hinweiswerte“ für Schadstoffbelastungen im Grundwasser abgeleitet, bei deren **Überschreitung** eine Beeinträchtigung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann (siehe Kapitel 2). Weiterhin werden vergleichsweise günstige Szenarien (biologisch abbaubare Schadstoffe, großer Grundwasserflurabstand) betrachtet (siehe Kapitel 3).

2 Ungünstigstes Szenario

Das Szenario „ungünstigster Fall“ geht von folgenden Randbedingungen aus, die in Abb. 1 dargestellt sind:

- Die leichtflüchtigen Schadstoffe BTEX/LCKW liegen im obersten Bereich des Grundwassers vor (nur dann können Schadstoffe aus dem Grundwasser in die Bodenluft ausgasen).
- Beim Übergang von BTEX/LCKW aus dem Grundwasser in die Bodenluft stellt sich eine Gleichgewichtskonzentration ein, die durch die Henry-Konstante (K_{Henry}) beschrieben wird. Ist die BTEX/LCKW-Konzentration im obersten Bereich des Grundwassers bekannt, errechnet sich mittels der Henry-Konstante die maximal mögliche Schadstoffkonzentration in der Bodenluft. Die Henry-Konstante ist stoff- und temperaturabhängig und kann der Fachliteratur bzw. Anhang 1 der Arbeitshilfe entnommen werden.
- Der Grundwasserflurabstand (Abstand zwischen der Bodenplatte des geplanten Gebäudes und der Grundwasseroberfläche) ist gering, so dass eine Konzentrationsminderung in der Bodenluft (infolge Dispersion/Diffusion) vernachlässigbar ist.

- Beim Übergang von der Bodenluft in die Innenraumluft findet eine Konzentrationsminderung um den Faktor 1.000 statt. Dieser sogenannte Transferfaktor ist in bundesweiten Arbeitshilfen etabliert [2].

Der mittlere Bereich der Abbildung 1 zeigt ein ungünstiges Szenario, bei dem BTEX/LCKW sich unterhalb der Bodenplatte eines Gebäudes anreichern. Die Schadstoffkonzentration ist unterhalb der Bodenplatte nicht wesentlich geringer als unmittelbar oberhalb der Grundwasseroberfläche (dort liegt die maximal erreichbare Konzentration vor).

Der rechte Teil der Abb. 1 soll verdeutlichen, weshalb Bodenluftmessungen in unversiegelten Bereichen wenig aussagekräftig sind. Denn im Gegensatz zu versiegelten Bereichen findet dort keine Schadstoffanreicherung statt, sondern die Schadstoffkonzentration nimmt ab der Grundwasseroberfläche bis zur Geländeoberkante linear ab. Bodenluft-Messstellen, die bei vorschriftsgemäßer Ausführung deutlich oberhalb des Grundwassers verfiltert wären, würden auf unversiegelten Flächen (also vor einer Bebauung) daher deutliche Minderbefunde zeigen im Vergleich zu versiegelten Flächen (also nach einer Bebauung).

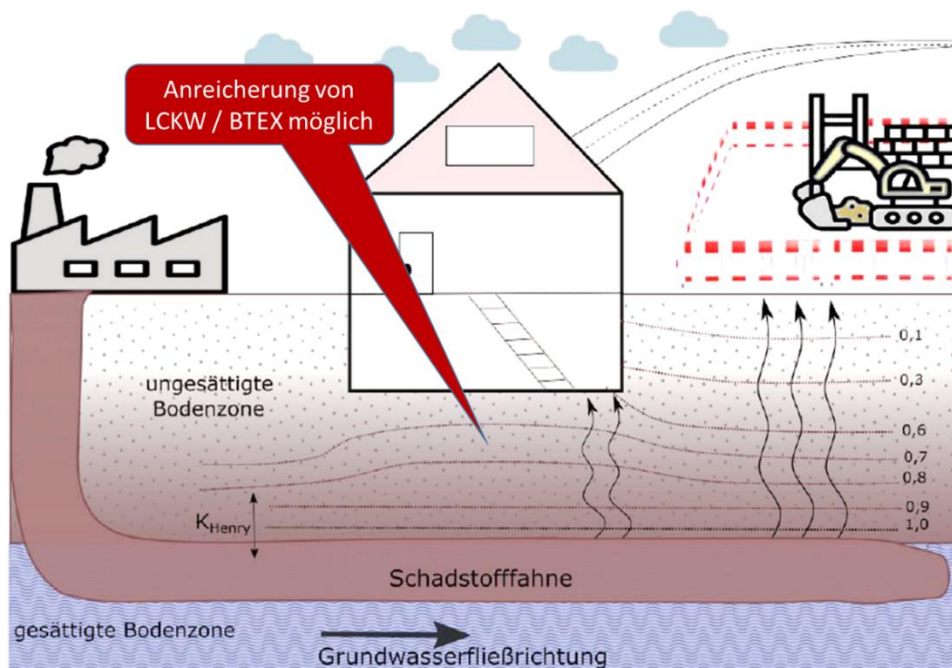


Abb. 1: Expositionsszenario Grundwasser-Bodenluft-Innenraumluft bei Schadstofffahnen im Grundwasser mit der Verteilung von leichtflüchtigen Schadstoffen im Grundwasser und in der Bodenluft (K_{Henry} = Henry-Konstante); Bildmitte: versiegelte Bereiche mit Schadstoffanreicherung unterhalb des Gebäudes; rechte Seite: keine Schadstoffanreicherung in unversiegelten Bereichen

Beim Szenario „ungünstigster Fall“ können tolerable Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser durch Rückwärtsrechnung abgeleitet werden:

- Im ersten Schritt sind tolerable Innenraumluft-Konzentrationen zu ermitteln, wie sie beispielsweise vom Ausschuss für Innenraumluft (AIR) veröffentlicht wurden [3].
- Diese Werte werden durch den Faktor 1.000 geteilt, um die Konzentrationsminderung Innenraumluft zu Bodenluft abzubilden (s. o.). Als Zwischenergebnis erhält man tolerable Bodenluft-Konzentrationen.
- Im letzten Schritt wird über das Verteilungsgleichgewicht zwischen Bodenluft und Grundwasser (unter Verwendung der Henry-Konstante) eine tolerable Grundwasser-Konzentration für einzelne BTEX/LCKW errechnet.

Die tolerablen Grundwasser-Konzentrationen werden in der LABO-Arbeitshilfe als „Hinweiswerte“ bezeichnet. Bei Unterschreitung der Hinweiswerte kann eine Beeinträchtigung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Tabelle 1 zeigt Hinweiswerte für altlastenrelevante flüchtige Schadstoffe:

Tab. 2: Hinweiswerte für das Grundwasser [$\mu\text{g/L}$] in Bezug auf eine mögliche Exposition von Menschen in Innenräumen durch leichtflüchtige Stoffe aus dem Grundwasser auf noch unbebauten Flächen. Bei deren Unterschreitung kann eine Beeinträchtigung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden

Leichtflüchtige Stoffe	Hinweiswerte für Grundwasser [$\mu\text{g/L}$]
BTEX	
Benzol	40
Toluol	2.000
Ethylbenzol	1.000
Xylol	900
Styrol	600
LCKW	
Dichlormethan	1.000
Trichlormethan	30
Tetrachlormethan	5
1,2-Dichlorethen	40
Chlorethen (Vinylchlorid)	3
cis-1,2-Dichlorethen	100*
Trichlorethen	100
Tetrachlorethen	200

***Das rechnerische Ergebnis der Ableitung einer tolerierbaren Grundwasserkonzentration für cis-1,2-Dichlorethen von 10.000 $\mu\text{g/L}$ ist für die Praxis nicht praktikabel, da ein möglicher Abbau zu Chlorethen (Vinylchlorid) ebenfalls beachtet werden muss. Angesichts der niedrigen Grundwasserkonzentrationen, die für Vinylchlorid abgeleitet wurde, wird ein Hinweiswert von 100 $\mu\text{g/L}$ vorgeschlagen.**

Für den Vollzug ist von besonderer Bedeutung, dass auch bei vergleichsweise hohen Schadstoffbelastungen im Grundwasser eine Beeinträchtigung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann, sofern die o. g. Hinweiswerte unterschritten werden. Dies soll am Beispiel „Benzol“ erläutert werden:

Für Benzol unterscheiden sich die Bewertungsmaßstäbe für das Schutzgut Grundwasser (hier gelten die Geringfügigkeitsschwellen (GFS) der LAWA) deutlich vom Expositionsszenario Grundwasser-Bodenluft-Innenraumluft. Bereits bei Grundwasser-Konzentrationen über 1 $\mu\text{g/l}$ Benzol wird der entsprechende GFS überschritten und es liegt eine nachteilige Beeinflussung des Grundwassers bzw. ein Grundwasserschaden vor. Sofern jedoch die Benzol-Konzentration im Grundwasser 40 $\mu\text{g/l}$ Benzol unterschreitet (Hinweiswert aus Tab. 1), kann trotz einer GFS-Überschreitung eine Beeinträchtigung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

3 Fallkonstellationen mit geringerem Potenzial für den Übergang von Schadstoffen in die Innenraumluft

Der ungünstigste Fall (siehe Kapitel 2) kann hinsichtlich der Fragestellung, ob gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse gewährleistet werden können, zu einer unplausiblen Einschätzung führen. Fallkonstellationen, bei denen eine mögliche Beeinträchtigung deutlich geringer ist als im

ungünstigsten Fall, sind:

- Die Schadstoffe sind in der ungesättigten Bodenzone unter aeroben Bedingungen gut abbaubar (z. B. BTEX) und/oder
- der Flurabstand des Grundwassers (Abstand Bodenplatte zur Grundwasseroberfläche) ist groß und/oder
- die versiegelte Gebäudefläche ist klein und/oder
- unter dem geplanten Gebäude, d. h. zwischen Bodenplatte und Grundwasseroberfläche, liegt eine durchgehende tonige, lehmige oder schluffige Bodenschicht vor (Mächtigkeit > 0,5 m).

Grundlage für die nachfolgenden Ausführungen sind Arbeitshilfen aus den USA [4] und aus Australien [5]. Diese Arbeitshilfen berücksichtigen Feldmessungen von Grundwasser-, Bodenluft- und Innenraumluftproben sowie numerische Modellierungen. Insbesondere in den USA liegen Messwerte (Grundwasser, Bodenluft, Innenraumluft) aus mehreren Hundert untersuchten Gebäuden vor. Die Berücksichtigung dieser Arbeitshilfen war notwendig, da im deutschsprachigen Raum nur wenige auswertbare Messergebnisse vorliegen.

In der LABO-Arbeitshilfe [1] werden zwei Schadstoffgruppen betrachtet:

- BTEX, aerob gut abbaubar (siehe Kapitel 3.1)
- LCKW, aerob nicht oder schlecht abbaubar (siehe Kapitel 3.2).

3.1 BTEX

Bei den aerob abbaubaren Schadstoffen BTEX (Benzol, Toluol, Etylbenzol, Xylol) ist entscheidend, ob ausreichend Luftsauerstoff im Bereich zwischen Kellersohle und Grundwasser vorhanden ist. Abb. 2 zeigt ein Szenario mit ausreichender Sauerstoffversorgung: Die BTEX-Konzentrationen (linkes Bild) nehmen von unten nach oben sehr rasch ab, da Sauerstoff (rechtes Bild) für den Schadstoffabbau ausreichend zur Verfügung steht.

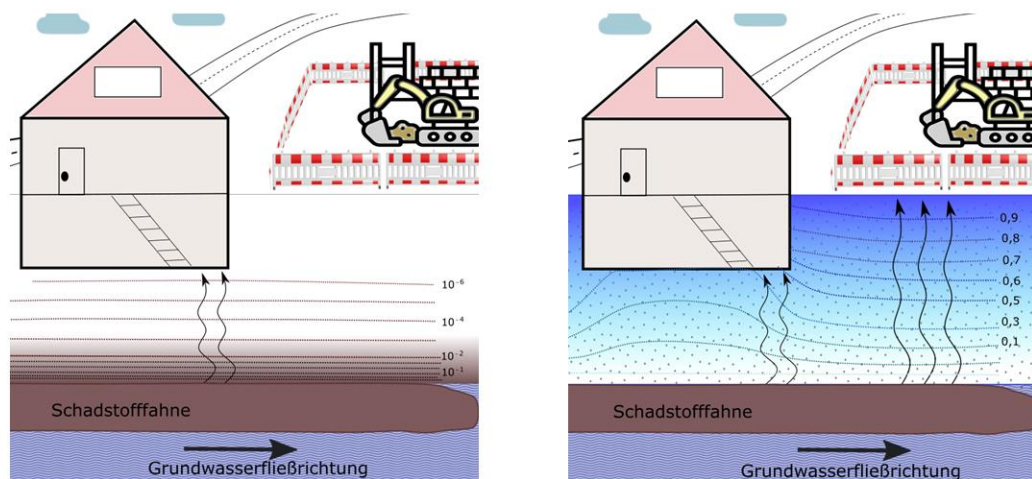


Abb. 2: Schematische Abbildung der Iso-Konzentrationslinien als relative Angabe (in Anlehnung an US-EPA [5]). Auf dem linken Bild ist die relative Konzentration von BTEX bzw. MKW in der Bodenluft schematisch dargestellt. Auf dem rechten Bild ist die relative Sauerstoff-Konzentration in der Bodenluft schematisch dargestellt.

In der LABO-Arbeitshilfe wurden für BTEX die Vorgehensweise der australischen Arbeitshilfe [5] als Vorbild genommen, wobei ein zusätzlicher Sicherheitsaufschlag angewendet wurde. Die prinzipielle Vorgehensweise wird in Abb. 3 am Beispiel Benzol gezeigt:

- Die Benzol-Konzentration im Grundwasser beträgt 200 µg/l, dargestellt durch den waagrechten blauen Pfeil

- Das Verhältnis ‚Gebäudebreite‘ zu ‚Abstand Bodenplatte zum Grundwasser‘ weist einen Wert von 9 auf (dies ist z. B. bei einer ‚Gebäudebreite‘ von 18 m und einem ‚Abstand Bodenplatte zum Grundwasser‘ von 2 m der Fall, da $18 \div 2 = 9$), dargestellt durch den senkrechten blauen Pfeil
- Die beiden Pfeile treffen sich im grünen Feld. Unter diesen Randbedingungen sind die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse wahrscheinlich nicht beeinträchtigt.

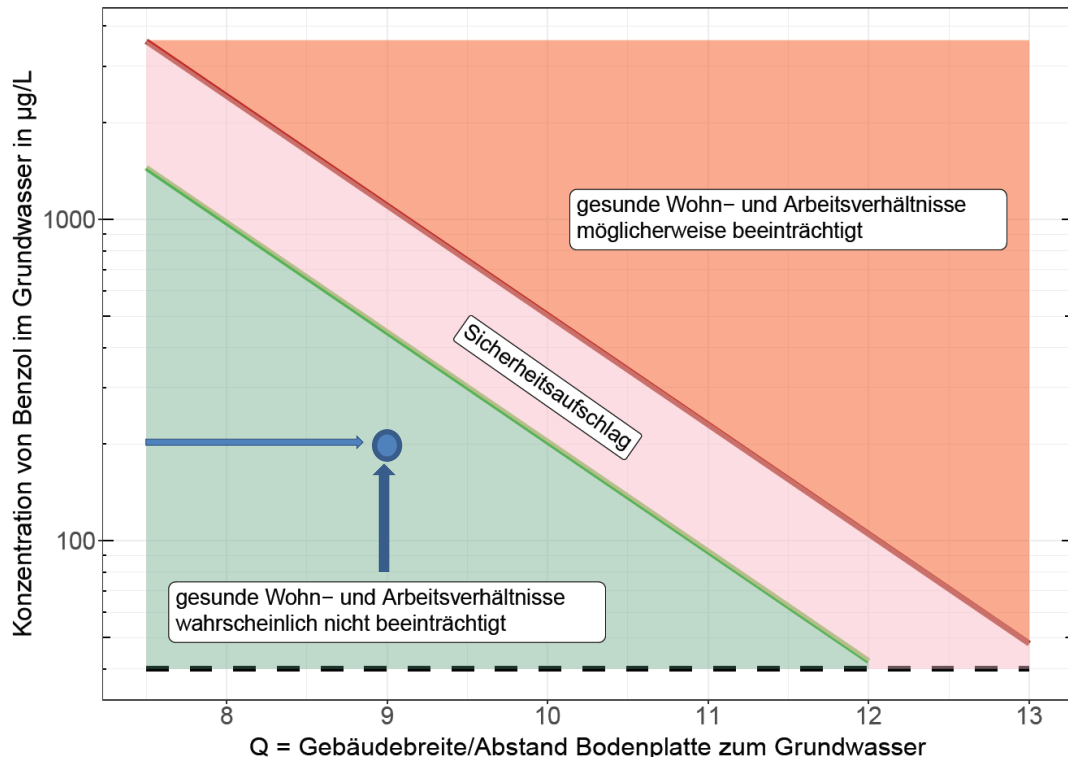


Abb. 3: Grafik aus (Australia CRC Care [6]) (verändert, übersetzt) hinsichtlich der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse betreffend das Expositionsszenario Grundwasser-Bodenluft-Innenraumluft; ergänzt um einen Sicherheitsaufschlag und einen grün markierten Bereich, der als sicher eingeschätzt werden kann. Das Beispiel gilt für eine Benzolkonzentration von 200 $\mu\text{g/L}$ und für ein Q von 9; in diesem Fall sind die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse wahrscheinlich nicht beeinträchtigt.

3.2 LCKW

Für die Stoffgruppe LCKW werden Empfehlungen gegeben, die sich auf eine umfangreiche US-EPA-Studie zu LCKW-Schadensfällen stützt [6]. Die Ergebnisse der Studie lassen folgende Schlüsse zu: Je größer der Abstand Fundament/Bodenplatte zum Grundwasser ist, desto niedrigere LCKW-Innenraumluftkonzentrationen sind zu erwarten. Hinsichtlich der Bodenart ergab die statistische Auswertung der US-EPA-Studie, dass bei feinkörnigen Böden geringere Schadstoffkonzentrationen in der Innenraumluft zu erwarten sind als bei grobkörnigen Böden. Zusammenfassend werden in der Arbeitshilfe unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und des Vorsorgedankens folgende Empfehlungen abgeleitet:

- Bei einem **Abstand Bodenplatte zur Grundwasseroberfläche** von mindestens 3 m können die für den ungünstigsten Fall (Kapitel 2) abgeleiteten LCKW-Hinweiswerte um den **Faktor 2** erhöht werden. Bei einem Abstand von mindestens 5 m können die Hinweiswerte um den **Faktor 3** erhöht werden.
- Bei einer **durchgehenden Bodenschicht** der Bodenarten-Hauptgruppen Ton, Schluff oder Lehm mit einer Mächtigkeit von mehr als 0,5 m zwischen der Unterkante des geplanten Gebäudes und der Grundwasseroberfläche können die für den ungünstigsten Fall (Kapitel 2) beschriebenen LCKW-Hinweiswerte um den **Faktor 2** erhöht werden.

- Treffen **beide o. g. Kriterien gemeinsam** zu, kann ein **Faktor 4** angewendet werden.

Unterschreiten die im Grundwasser gemessenen LCKW-Konzentrationen die um die Faktoren 2 bis 4 erhöhten Hinweiswerte, dann ist davon auszugehen, dass die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse wahrscheinlich nicht beeinträchtigt werden.

Hinweis: Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Artikels ist die LABO-Arbeitshilfe noch nicht veröffentlicht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich keine wesentlichen inhaltlichen Änderungen ergeben werden und die Arbeitshilfe im Herbst 2024 veröffentlicht wird. Bei Interesse an diesem Thema steht der Autor gerne für einen Austausch zur Verfügung.

Literatur

- [1] LABO (2023): Entwurf der Arbeitshilfe „Bewertung von leichtflüchtigen Schadstoffen im Grundwasser hinsichtlich einer möglichen Belastung der Innenraumluft von geplanten Gebäuden“, Stand Dez. 2023, Veröffentlichung voraussichtlich Herbst 2024
- [2] LABO (2008): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten – Informationsblatt für den Vollzug. Ständiger Ausschuss Altlasten der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, Stand: 01.09.2008 inkl. Ergänzung Juni 2009
- [3] UBA (2012): Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas – Mitteilung der Ad-hoc Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumluft-hygiene und der Obersten Landesbehörden. In: Bundesgesundheitsblatt Umweltbundesamt. 2012 · 55; Springer Verlag
- [4] US-EPA (2015): Technical Guide For Addressing Petroleum Vapor Intrusion At Leaking Underground Storage Tank Sites. Abgerufen am 01.02.2024 von <https://www.epa.gov/ust/technical-guide-addressing-petroleum-vapor-intrusion-leaking-underground-storage-tank-sites>
- [5] Australia CRC Care (2013): Petroleum hydrocarbon vapour intrusion assessment - australian guidance. Technical Report 23
- [6] US-EPA (2012): EPA’s Vapor Intrusion Database: Evaluation and Characterization of Attenuation Factors for Chlorinated Volatile Organic Compounds and Residential Buildings. Abgerufen am 01.02.2024 von <https://www.epa.gov/vaporintrusion/epas-vapor-intrusion-database-evaluation-and-characterization-attenuation-factors>

Die MantelV im Vollzug der Bodenschutzbehörde – Erfahrungen zwischen bodenfunktionaler und bautechnischer Verwendung

Jens Finkenstein, Regierungspräsidium Darmstadt

Mit der sogenannten Mantelverordnung (MantelV) vom 9. Juli 2021 wurde in Artikel 1 die Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV) neu eingeführt und in Artikel 2 die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) neu gefasst. In Artikel 5 der MantelV wird das Inkrafttreten der beiden Verordnungen zum 1. August 2023 bestimmt. Bereits im Vorfeld der Veröffentlichung und des Inkrafttretens haben sich unterschiedliche Gruppen und Gremien auf Ebene des Bundes und der Länder mit den neuen Bestimmungen und deren Umsetzung auseinandergesetzt. Hierbei sind vor allem übergeordnet die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) und die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) sowie deren ständige Ausschüsse und in Hessen inner- und zwischenbehördliche Abstimmungen und Beratungen zu nennen, die von Informationsveranstaltungen, Workshops und fachlichen Beiträgen flankiert wurden. Dabei ging es vor allem darum, die Regelungen für einen rechtmäßigen, zweckmäßigen und gleichartigen Verwaltungsvollzug auszulegen und Fragen aus dem Kreis der Vollzugsbehörden aber auch der Wirtschaft aufzunehmen und einer Antwort zuzuführen. Mit der MantelV liegen nun auf Basis eines wissenschaftlichen Fachkonzeptes aufeinander abgestimmte Regelung zur ressourcenschonenden und kreislauforientierten Verwendung mineralischer Ersatzbaustoffe in technischen Bauwerken sowie zum vorsorgenden Schutz des Bodens und des Grundwassers vor. Die Regelungen gelten bundeseinheitlich verbindlich und machen damit länderspezifische Normen und Umsetzungen wie einst mit dem LAGA Merkblatt 20 entbehrlich.

Nahezu drei Jahre sind seit der ersten Veröffentlichung, einer zwischenzeitlich ersten Novelle und ein Jahr seit Inkrafttreten der neuen BBodSchV und ErsatzbaustoffV vergangen. Dennoch besteht der Eindruck, dass hinsichtlich des Verständnisses der jeweiligen Geltungsbereiche, deren Abgrenzung untereinander sowie der materiellen Regelungen und Verwaltungsverfahren wenn auch mit abnehmender Tendenz noch zahlreiche Fragen bestehen. Dies gilt sowohl für die jeweiligen Normadressaten, deren Auftragnehmer, Planer und Ausführende sowie in manchen Aspekten auch für die betroffenen Verwaltungsstellen selbst. Dieser Umstand verdeutlicht einmal mehr die hinsichtlich der praktischen Ausführung in manchen Aspekten bedauerlicherweise unvollständigen oder zumindest als unbestimmt empfundenen Regelungen, gerade hinsichtlich der Beurteilung von Einzel- und Grenzfällen sowie Abgrenzungsfragen untereinander.

In Bezug auf die behördlichen Zuständigkeiten und damit auch die jeweiligen Ansprechpartner für inhaltliche und verfahrensbezogene Fragen ist es wichtig zu wissen, dass es sich bei der ErsatzbaustoffV um eine abfallrechtliche Regelung handelt, mithin also die Abfallbehörde hierfür zuständig ist. Diese ist in Hessen nach §§ 19, 21 Hessisches Ausführungsgesetz zum Kreislaufwirtschaftsgesetz (HAKrWG) das örtliche Regierungspräsidium. Bei der BBodSchV handelt es sich dagegen um eine Norm des Bodenschutzes, für dessen Vollzug die jeweilige Bodenschutzbehörde zuständig ist. Nach § 16 Abs. 1 des Hessischen Gesetzes zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes und zur Altlastensanierung (HAltBodSchG) besteht diesbezüglich eine Grundzuständigkeit des jeweiligen Regierungspräsidiums. Diese wird mit der Verordnung über Zuständigkeiten nach dem Hessischen Altlasten- und Bodenschutzgesetz (BodSchZustV) dahingehend abweichend geregelt, dass auch der Unteren Bodenschutzbehörde bodenschutzrechtliche Zuständigkeiten zugewiesen werden. Für den Bereich des vorsorgenden Bodenschutzes sind dies Maßnahmen soweit der Kreisausschuss oder der Magistrat der kreisfreien Stadt oder der Magistrat einer Sonderstatus-Stadt nach anderen Vorschriften zuständig ist. Dies betrifft damit insbesondere die bodenschutzrechtliche Bewertung bzw. Stellungnahme in bauordnungsrechtlichen Verfahren. In Verfahren, für die keine führende Zuständigkeit des Kreises oder der kreisfreien Stadt besteht, z. B. immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren, wasser- oder verkehrsrechtlichen Planfeststellungsverfahren, ist damit das Regierungspräsidium als Obere Bodenschutzbehörde zuständig. Die örtliche Zuständigkeit bestimmt sich in der Regel nach dem Ort der Maßnahme bzw. der beabsichtigten Verwendung von Boden und mineralischen Ersatzbaustoffen.

Die Erfahrungen der Oberen Bodenschutzbehörde im Vollzug der MantelV erstrecken sich unter Bezug auf den Anwendungsbereich der BBodSchV nach § 1 Abs. 1 Nr. 1 sowie Abschnitt 2 der BBodSchV sowie dem Ausschluss der bodenschutzrechtlichen Anwendbarkeit auf den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (§ 1 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchV) auf den vorsorgenden Bodenschutz. Zum einen, da es hierbei insbesondere um Fragen der ordnungsgemäßen und schadlosen Verwendung von Boden, Baggergut und mineralischen Ersatzbaustoffen im Hinblick auf die Vorsorge gegen das Entstehen nachteiliger Einwirkungen auf den Boden bzw. dessen Funktionen nach § 6 Abs. 2 BBodSchV geht. Zum anderen, da die bodenschutzrechtlichen Anforderungen in Bezug auf die Umlagerung im Rahmen der Sanierung nach § 16 Abs. 5 BBodSchV dem nachsorgenden Bodenschutz vorbehalten sind: Für die Umlagerung im Rahmen der Sanierung einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast oder innerhalb eines für verbindlich erklärten Sanierungsplanes ist gemäß § 1 Abs. 2 Nr. 3 Lit. c ErsatzbaustoffV (hier auch für die Zwischenlagerung) und § 6 Abs. 1 S. 2 BBodSchV die jeweilige vorsorgebezogene Anwendbarkeit ausgeschlossen.

Im bodenschutzbehördlichen Vollzug der MantelV sind daher insbesondere die Regelungen der §§ 6 - 8 BBodSchV relevant, die sich mit den allgemeinen und spezifischen Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden befassen. Den entsprechenden Tatbeständen begegnet die Behörde insbesondere im Rahmen von Beteiligungen in Zulassungsverfahren für Anlagen z. B. nach Immissionsschutzrecht, Wasserrecht oder Verkehrsrecht, Beteiligungen durch die Abfallbehörde im Rahmen von Einzelfallentscheidungen nach § 21 ErsatzbaustoffV, Anzeigen nach § 11 HAltBodSchG, sofern eine Altlast oder ein Grundstück mit einer schädlichen Bodenveränderung saniert oder anderweitig verändert werden soll, sowie in eigenen bodenschutzrechtlichen Verfahren.

In Bezug auf die Identifikation und einen etwaigen Ausschluss des bodenschutzrechtlichen Anwendungsbereiches nach § 1 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchV (Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken) stellt sich regelmäßig die Frage nach der Abgrenzung des technischen Bauwerkes im Sinne der ErsatzbaustoffV. Hierbei ist vor allem die vertikale Abgrenzung nach unten gegen den „Boden“ relevant. Damit unmittelbar verbunden ist die Frage nach einer bodenähnlichen oder bodenfunktionalen Verwendung in Abgrenzung zu einer bautechnisch begründeten Verwendung. Außerhalb des technischen Bauwerkes ist das Auf- und Einbringen von Boden und Baggergut oder die Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht nach Bodenschutzrecht nur zulässig, wenn u. a. mindestens einer der in § 2 Abs. 2 Nr. 1 und Nr. 3 Lit. b und c BBodSchG genannten Bodenfunktionen verbessert, gesichert oder wiederhergestellt werden. Damit gemeint sind natürliche Bodenfunktionen und Nutzungsfunktionen für Siedlung und Erholung sowie die Land- oder Forstwirtschaft.

Handelt es sich um das Auf- und Einbringen unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht nach § 8 BBodSchV kann sich im Zusammenhang mit Baumaßnahmen die Frage der Abgrenzbarkeit zu einem der Verfüllung ähnlichen Massenausgleich nach § 8 Abs. 3 BBodSchV stellen. Die LABO Vollzugshilfe zu §§ 6-8 BBodSchV führt hierzu aus, dass ein alleiniger Massenausgleich keine technische Funktion darstellt. Soweit und sofern jedoch eine bautechnisch begründete Notwendigkeit und ein notwendiger Bedarf im Rahmen des Massenausgleichs für diese verfüllungsrelevanten Bauweisen gemäß ErsatzbaustoffV besteht, unterfallen sie der ErsatzbaustoffV. Massenunterdeckungen, die über von außen zugeführtes Material ausgeglichen werden sollen, etwa bei Verfüllungen großer Baugruben nach einem Gebäudeabriss ohne dass hierfür eine bautechnische Notwendigkeit besteht, können der (Wieder-) Herstellung natürlicher Bodenfunktionen zuzurechnen sein. Für eine zutreffende und sachgerechte Bewertung des Verwendungszweckes im Einzelfall sind Abfall- und Bodenschutzbehörden auf die Erläuterungen und Darstellungen des Vorhabenträgers, ggf. auch der Bauordnungsbehörde angewiesen. In diesem Zusammenhang können seitens der Abfallbehörde auch die durch das Umweltbundesamt veröffentlichten Orientierungswerte für Schichtmächtigkeiten von Regelbauweisen nach ErsatzbaustoffV herangezogen werden. Daneben bleibt die Möglichkeit eine Sondereinbauweise zuzulassen.

Auch wenn in der dem Grunde nach klaren Regelsystematik zwischen Abfall- und Bodenschutzrecht anzunehmen ist, dass unterhalb der für den bautechnischen Zweck erforderlichen Schicht (z. B. Trag- oder Deckschicht) das einzubauende Material den bodenschutzrechtlichen Regelungen unterliegt, können sich im Einzelfall Fragen nach der tatsächlichen Erfüllung bzw. Erfüllbarkeit insbesondere

natürlicher Bodenfunktionen stellen. Dies gilt beispielsweise für massenbedingte Verfüllungen unterhalb eines technischen Bauwerks in Form versiegelter oder teilversiegelter Flächen oder unter Gebäuden, wenn diese innerhalb von großflächigen Auffüllungen in historisch anthropogen überprägten Gewerbe- oder Industriestandorten realisiert werden sollen. Auch gibt es Konstellationen in seit Langem genutzten Industrieflächen, die als schädliche Bodenveränderung mittels Oberflächenversiegelung und Grundwasserbewirtschaftung gegen einen Austrag von Schadstoffen dauerhaft gesichert sind. Eine anstehende (Bau-) Maßnahme dient hier in der Regel nicht dem Zweck der Sanierung und ist allein über eine Anzeigepflicht von bodenschutzrechtlichen Regeln erfasst. Liegt mit der Verwendung von externem Material dabei auch keine Umlagerung im Rahmen einer Sanierung nach § 6 Abs. 1 BBodSchV oder eine Umlagerung innerhalb eines Gebietes oder räumlich abgegrenzten Industriestandortes nach § 6 Abs. 4 BBodSchV vor, ist der Anwendungsbereich der §§ 6-8 BBodSchV grundsätzlich eröffnet. Ein systematischer Ausschluss der abfallrechtlichen Regelungen der ErsatzbaustoffV außerhalb des bautechnisch begründeten Verwertungszweckes (technisches Bauwerk) führt demnach in die Prüfung der Anwendbarkeit des Bodenschutzes.

Außerhalb von Abgrabungen und Tagebauen sollen aus Gründen des vorsorgenden Bodenschutzes keine anderen Materialien als Boden und Baggergut zum bodenbezogenen Einbau zugelassen werden. Für einen baubedingten Massenausgleich und für die Verfüllung von Tagebauen und Abgrabungen bestehen daher über § 8 Abs. 3 BBodSchV hinaus bodenschutzrechtlich unterschiedliche materielle Anforderungen an die Verwendung. Dies wird auch bei der Anwendung des Ablaufschemas der LABO-Vollzugshilfe deutlich. Maßnahmen des Massenausgleiches im Rahmen von Baumaßnahmen können den Verfüllungen oder den Aufschüttungen zuzuordnen sein (LABO Vollzugshilfe). Ob und unter welchen Voraussetzungen und nach welchen Maßstäben im Einzelfall eine solche Zuordnung ohne die Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung oder nachteiligen Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit nachhaltig gelingen könnte, wäre aus Sicht des bodenschutzbehördlichen Vollzugs an der Schnittstelle zum nachsorgenden Bodenschutz bzw. des Altlastenregimes jenseits der Umlagerung zu überlegen.

In anthropogen überprägten Gebieten sowie im Wirkungsbereich einer Altlastensicherung wird diesbezüglich gegenüber der Bodenschutzbehörde beispielsweise der Wunsch vorgetragen, in Bezug auf etwaige ressourcenschonende Massenausgleiche unter-/außerhalb des technischen Bauwerks bzw. unter versiegelten Flächen zu prüfen, ob nicht auch Boden Verwendung finden könnte, der die Werte nach § 8 Abs. 3 BBodSchV überschreitet, sofern das Entstehen einer schädlichen Bodenveränderung nach den örtlichen Verhältnissen nicht zu besorgen und keine bodenfunktionale Verbesserung oder Wiederherstellung mit Boden bis Klasse BM-0* zu erwarten ist. Hierzu bedürfte es allerdings nach derzeitigem Verständnis der Rechtslage einer entsprechenden Ermächtigung oder Auslegung, z. B. in Analogie zu § 8 Abs. 8 BBodSchV. In diesem Zusammenhang wird von Dritten vergleichend auch auf die bestehenden Möglichkeiten zur Verwendung von entsprechendem Boden in technischen Bauwerken ohne oder mit gebundener Deckschicht nach ErsatzbaustoffV verwiesen.

Auch die bisherigen Einbauklassen und Zuordnungswerte der LAGA werden vielfach noch für die Untersuchung und Bewertung von Bodenmaterial herangezogen. Dies ist vor allem auf die lange Anwendbarkeit in der Vergangenheit und der dadurch festen Etablierung in der Baupraxis zurück zu führen. Daneben sind LAGA-Werte bis heute noch teilweise in § 10 Abs. 1 der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) für Gemische der Einbauklassen Z 0 und Z 1.1 zur Einstufung als nicht wassergefährdend aufgeführt. Vergleiche der entsprechenden Zuordnungswerte von Boden nach LAGA M 20 mit denen der ErsatzbaustoffV führen bislang immer noch zu der Annahme einer ausreichenden Bewertungsgrundlage, die aus der bisherigen Praxis und Gewohnheit grundsätzlich nachvollziehbar ist, normativ aber weder in der BBodSchV noch der ErsatzbaustoffV eine Entsprechung erfahren hat.

Im Zuge der neuen Regelungen der MantelV sind seitens der Bodenschutzbehörde vorhandene Entscheidungen in Bezug auf Anforderungen an das zu verwertende Material, z. B. in der Rückverfüllung, zu überprüfen. Hierbei ist zwischen den Anforderungen auf und in der durchwurzelbaren Bodenschicht, unterhalb und außerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht sowie dem gesättigten Bereich zu unterscheiden. Die Anforderungen im gesättigten Bereich bestimmen sich auch weiterhin nicht nach Bodenschutzrecht, sondern nach Wasserrecht. Letztere bedürfen auch vor dem Hintergrund

der novellierten hessischen Verfüllrichtlinie einer Konkretisierung. Für die im Vollzug der MantelV eingebundenen Verwaltungsstellen besteht neben der inhaltlichen Auseinandersetzung mit den materiellen Anforderungen die Notwendigkeit einer engen Abstimmung. Dies gilt besonders für Bodenschutz- und Abfallbehörde über die gegenseitige Beteiligung im Verwaltungsverfahren, z. B. bei Anzeigen nach § 11 HAltBodSchG oder Einzelfallentscheidungen nach § 21 ErsatzbaustoffV. Darüber hinaus sind für einen recht- und zweckmäßigen Verwaltungsvollzug interne Arbeitshilfen sowie mit Sanierungspflichtigen abgestimmte Umsetzungsschemata für größere Standorte wie Industrieparks hinsichtlich eines etwaigen Anpassungsbedarfs zu bewerten. Hierbei bieten die bestehenden Arbeitshilfen der LABO (Vollzugshilfe zu §§ 6-8 BBodSchV) sowie der LAGA (FAQ zur ErsatzbaustoffV) eine wichtige Erkenntnisquelle.

Die Bodenschutzbehörde ist hinsichtlich des Vollzugs der MantelV mit immer wieder unterschiedlichen Sachverhalten und auch aktuell noch zahlreichen Fragen im Einzelfall konfrontiert. Durch Vollzugshilfen und Verwaltungserlasse sowie im direktem Austausch zwischen den zuständigen Behörden auf Landes- und kommunaler Ebene wurden in Hessen die Voraussetzungen geschaffen, dass der Einstieg in das Verständnis und die Umsetzung einer komplexen und teilweise als unvollständig bzw. unbestimmt erscheinenden Rechtsmaterie erfolgreich gelingen konnte. Die bisherige Erfahrung zeigt aber auch, dass noch nicht alle Fragen in Bezug auf etwaige Einzelfälle der Vollzugs- und Baupraxis zufriedenstellend beantwortet werden konnten. Es ist daher davon auszugehen, dass sich in der Verwaltungspraxis einerseits weiterer Beratungsbedarf ergibt, andererseits untereinander und im Austausch mit den jeweiligen Normadressaten aber auch geeignete Antworten und Lösungen gefunden werden können.

Referenten HLNUG-Altlastenseminar 2024

Tag 1

Juliane Kiesewetter

Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat
Referat III 6 – Vorsorgender Bodenschutz, Bodenschutzrecht, Altlasten

Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden

Tel.: 0611/8151372

E-Mail: juliane.kiesewetter@umwelt.hessen.de

Laura Simone

Arcadis Germany GmbH
Europaplatz 3
64293 Darmstadt

Tel.: 0151/171 43 427

E-Mail: laura.simone@arcadis.com

Michael Herbst

AECOM Deutschland GmbH
Siemensstraße 10
63263 Neu-Isenburg

Tel.: 06102/3050 360

Mobil: 0172/6180 520

E-Mail: michael.herbst@aecom.com

Dr. Karsten Menschner

CDM Smith
Weißenfeller Str. 65 H
04229 Leipzig

Tel.: 0341/33389500

E-Mail: karsten.menschner@cdmsmith.com

Dr. Stephan Hüttmann

Sensatec GmbH
Friedrichsorter Straße 32
24159 Kiel

Tel.: 0431/389009-28

E-Mail: s.huettmann@sensatec.de

Daniel Fröhlich

HIM GmbH
Bereich Altlastensanierung
- HIM-ASG -
Waldstraße 11
64584 Biebesheim
Tel.: 06258/895 3711
E-Mail: daniel.froehlich@him.de

Michael Wolf

Regierungspräsidium Darmstadt
Abteilung Umwelt Wiesbaden
Kreuzberger Ring 17 a + b
65205 Wiesbaden
Tel.: 0611/3309 2326
E-Mail: michael.wolf@rpda.hessen.de

Tag 2

Monika Machtolf

IFUA-Projekt-GmbH
Milser Straße 37
33729 Bielefeld
Tel.: 0521/97710 12
E-Mail: monika.machtolf@ifua.de

Kevin Handke

Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz
Abteilung Kreislaufwirtschaft / Referat 33 - Bodenschutz
Kaiser-Friedrich-Straße 7
55116 Mainz
Tel.: 06131/60331318
kevin.handke@lfu.rlp.de

Florian Schaller

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Dezernat G3 – Boden und Altlasten
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden
Tel.: 0611/6939 764
E-Mail: florian.schaller@hlnug.hessen.de

Volker Zeisberger

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Dezernat G3 – Boden und Altlasten
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden
Tel.: 0611/6939 748
E-Mail: volker.zeisberger@hlnug.hessen.de

Heiko Grosch

Regierungspräsidium Darmstadt
Dezernat IV/F 41.5 - Bodenschutz -
Gutleutstraße 114
60327 Frankfurt am Main
Tel.: 069/2714 2937
E-Mail: heiko.grosch@rpda.hessen.de

Dr. Ulrich Langer

HIM GmbH
Bereich Altlastensanierung
- HIM-ASG -
Waldstraße 11
64584 Biebesheim
Tel.: 06258/895 3720
E-Mail: ulrich.langer@him.de

Jens Finkenstein

Regierungspräsidium Darmstadt
Dezernat IV/F 41.5 - Bodenschutz -
Abteilung Umwelt Frankfurt
Gutleutstraße 114
60327 Frankfurt am Main
Tel.: 069/2714 2970
E-Mail: jens.finkenstein@rpda.hessen.de
