



Geofakten 32

■ Boden

Anforderungen an den umweltgerechten Rückbau und die Wiedernutzbarmachung von Standorten der Erdöl- und Erdgasgewinnung aus Sicht des Boden- und Grundwasserschutzes

Engeser, B., Hammerschmidt, U., Lietzow, A. & Schneider, J.

Juli 2018

1. Veranlassung und Zielsetzung

Standorte der Erdöl- und Erdgasgewinnung (s. Kap. 2.) sind nach Beendigung der betrieblichen Nutzung zurückzubauen und wieder nutzbar zu machen. Dabei ist sicherzustellen, dass die erforderliche Vorsorge zur Wiedernutzbarmachung der Oberfläche in dem nach den Umständen gebotenen Ausmaß getroffen wird. Mit Wiedernutzbarmachung ist die Herrichtung der vom Bergbau genutzten Flächen für eine Folgenutzung, z. B. land- oder forstwirtschaftlicher Art, gemeint. Im Rahmen der Vorsorge für eine künftige anderweitige Nutzung ist dem öffentlichen Interesse durch die Berücksichtigung der Erfordernisse der einschlägigen Fachgesetze (u. a. BBODSCHG) i. V. mit dem jeweiligen untergesetzlichen Regelwerk (u. a. BBODSCHV) und der Vermeidung von „gemeinschädlichen Auswirkungen“ Rechnung zu tragen. Bei dem Begriff der „gemeinschädlichen Auswirkungen“ handelt es sich um einen unbestimmten Rechtsbegriff, dessen Ausfüllung nur durch Bewertung und Abwägung im Einzelfall erfolgen kann (LABO 2000). Im Rahmen dieser Abwägung sind gemäß LABO (2000) die Belange des Bodenschutzes und des Wasserrechtes zu berücksichtigen. Ziel des vorliegenden Geofakts ist es, die fachlichen Anforderungen für den umweltgerechten Rückbau und die Wiedernutzbarmachung von Standorten der Erdöl- und Erdgasgewinnung bezüglich der relevanten Wirkungspfade (Boden – Mensch, Boden – Gewässer, Boden – Nutzpflanze) aufzuzeigen. Dadurch soll die Planungssicherheit beim Rückbau und der Wiedernutzbarmachung von Standorten der Erdöl- und Erdgasgewinnung erhöht und eine landesweit einheitliche Vorgehensweise befördert werden.

2. Allgemeine Charakterisierung von Standorten der Erdöl- und Erdgasgewinnung

2.1. Standorttypen

Standorte der Erdöl- und Erdgasgewinnung können folgende Typen umfassen:

- Erdölförderplätze,
- Erdgasförderplätze,
- Bohrplätze,
- Plätze zur Versenkung von Lagerstättenwasser,
- Leitungstrassen,
- Betriebsplätze zur Aufbereitung, Behandlung oder Lagerung/Speicherung von Erdöl, Erdgas oder Lagerstättenwasser.

Abhängig vom jeweiligen Typ können an den Standorten unterschiedliche betriebliche Anlagen vorkommen (wie z. B.):

- Bohrlochkopf/Bohrlochkeller,
- Platzbefestigungen/
Entwässerungseinrichtungen,
- Tankanlagen,
- Aufbereitungsanlagen,
- Ver- und Entsorgungsinfrastruktur (bspw. Rohrleitungen).

2.2. Stoffspektrum

Das auf Standorten der Erdöl- und Erdgasgewinnung umweltrelevante Stoffspektrum wird vorwiegend geprägt durch die in den gefördert Medien, Erdöl, Erdgas und Lagerstättenwasser enthaltenen Kohlenwasserstoffe und Begleitstoffe sowie die bei der Exploration und Gewinnung eingesetzten Hilfsstoffe. Leitparameter sind z. B.:

- Kohlenwasserstoffe (Erdöl, Erdgas, Gaskondensat),
 - Aliphatische Kohlenwasserstoffe (Alkane, Alkene, Naphthene),
Unterscheidung nach Kettenlänge:
C₅-C₁₀ (leichtflüchtige kurzkettige Alkane hauptsächlich im Kondensat),
C₁₀-C₂₂,
C₂₂-C₄₀,
 - Aromaten (Benzol) und alkylierte Aromaten (BTEX, Trimethylbenzole),
 - PAK, Naphthalin,
 - NSO-Heterocyclen,
 - Mercaptane/Thiole (schwefelhaltige KW).
- Begleitstoffe
 - Quecksilber,
 - Schwermetalle (u. a. Cadmium, Blei, Zink),
 - Natürliche radioaktive Stoffe (NORM),
 - Chlorid, Bromid, Jodid, Fluorid, Barium.
- Hilfsstoffe
 - u. a. Triethylenglycol (Trocknung von Erdgas),
 - u. a. Mono-/Di-/Triethanolamin (Entschwefelung),
 - u. a. Biozide, Polymere (Zusatzstoffe für Frac-Flüssigkeiten),
 - Polyfluorierte Chemikalien (vor allem PFOS/PFOA bei Brandbekämpfung/Feuerlöschübungen mit Schaum).

3. Umweltrelevante Aspekte im Betriebsplan

3.1. Standortbeschreibung

Als Grundlage für eine umweltgerechte Wiedernutzbarmachung eines Standortes kann von der zuständigen Behörde ein geeignetes Erkundungs- und Untersuchungskonzept durch die Beschreibung und Auswertung der für den Standort vorliegenden Informationen zur Nutzungshistorie, zur bodenkundlichen, geologischen und hydrogeologischen Situation und zum Kontaminationszustand gefordert werden. Dafür können neben den Daten des Gewinnungsunternehmens auch die bei der Bergbehörde, beim Staatlichen Geologischen Dienst, den wasserwirtschaftlichen Dienststellen oder den Umweltämtern von Städten bzw. Landkreisen verfügbaren Informationen und Karten genutzt werden. Darüber hinaus können bereits vorliegende Baugrunduntersuchungen und Sondierungen relevant sein. Die Informationen sind dahingehend zu bewerten, ob sie die lokalen Standortverhältnisse hinreichend beschreiben. Falls maßstabsbedingt eine unzureichende Ge-

naugigkeit oder Hinweise auf kleinräumige Standortunterschiede vorliegen, sind ergänzende Untersuchungen durchzuführen.

Ziel ist die Entwicklung eines standortspezifischen Gesamtverständnisses im Hinblick auf die umweltrelevanten Wirkungspfade (konzeptionelles Standortmodell). Dabei sind insbesondere folgende Informationen bedeutsam:

3.1.1. Allgemeine Standortinformationen

- Lage, Topographie, Relief, Gewässer, Hochwassergefährdung, Schutzgebiete, Umfeldnutzung, Eigentümer,
- Karten und Luftbilder (multitemporale Auswertung),
- Nutzungsgeschichte (Vornutzung vor Nutzung als Standort der Erdöl-/Erdgasgewinnung, betriebliche Historie insbesondere mit Dokumentation von Havarien oder Schadensfällen, Darstellung der standortspezifischen Anlagentechnik).

3.1.2. Boden

- Vorherrschende Bodenverbreitung (i. d. R. ableitbar aus Bodenkarten im geeigneten Maßstab) zur Beschreibung der Böden und der räumlichen Abgrenzung von Bodeneinheiten,
- Charakterisierung der Bodeneinheiten mittels Profil- und/oder Legendenbeschreibung durch Angaben zum/zur/zu Bodentyp, Bodenart, Horizontierung, Humusgehalten,
- Informationen zu Bodenbelastungen.

3.1.3. Geologie

- Überblick über die regionale Geologie,
- Typisches Schichtprofil (Profile von Bohrungen/Sondierungen).

3.1.4. Hydrogeologie und Hydrologie

- Allgemeine hydrogeologische und hydrologische Verhältnisse,
- Charakterisierung der Schutzfunktionen der Grundwasserdeckschicht (Schichtbeschreibung, Mächtigkeit, Durchlässigkeits- und Transporteigenschaften), Ort der Beurteilung, Grundwasserflurabstand,
- Lokaler Wasserhaushalt (versiegelte/befestigte Flächen: Platzentwässerung, unversiegelte Flächen: Sickerwasserrate/Grundwasserneubildung),

- Beschreibung des Grundwasserleiters (ungespannt/gespannt, Stockwerksgliederung), Angaben zur Grundwasserfließrichtung (Grundwassergleichenpläne) und zur Durchlässigkeit des Aquifers,
- Grundwassernutzungen (Trinkwassergewinnung, Wasserschutzgebiete, Vorranggebiete, Brauchwassergewinnung, Feldberegnung),
- Bestandsaufnahme zu bestehenden Grundwassermessstellen und -untersuchungen, Grundwasseraufschlüssen auf und im Umfeld des Standorts.

3.1.5. Schadstoffinventar

- Anlage (z. B. Platzbefestigungen, Bohrlochkeller, Leitungstrassen),
- Boden,
- Grundwasser,
- Oberflächengewässer/Gewässersedimente.

3.2. Erkundungs- und Untersuchungskonzept

3.2.1. Allgemein

Aufgrund des betriebsbedingten Umganges mit Schadstoffen (s. Kap. 2.2) ist an Standorten der Erdöl- und Erdgasgewinnung in der Regel nicht auszuschließen, dass Kontaminationen von Boden und Gewässern (Grundwasser, angrenzende Oberflächengewässer) vorliegen.

Insofern ist vor der Planung und Durchführung von Rückbau- und Wiedernutzbarmachungsmaßnahmen eine Untersuchung (Erhebung des Ist-Zustandes) von Boden und Gewässern erforderlich. Werden im Rahmen dieser Untersuchung schädliche Boden- oder Gewässerveränderungen festgestellt, ist eine Wirkungspfadbezogene Gefährdungsabschätzung auf bodenschutzrechtlicher Grundlage (BBodSchG/BBodSchV) durchzuführen.

3.2.2. Wirkungspfad Boden – Mensch

Schadstoffeinträge in den Boden können auf Standorten der Erdöl- und Erdgasgewinnung generell über den Luftpfad, den Wasserpfad oder partikelgebunden (bspw. Korrosionsprodukte bei der Reinigung von Rohrleitungen) erfolgen. Die für den Standort relevanten Eintragungspfade sind im Rahmen des Erkundungs- und Untersuchungskonzeptes zu berücksichtigen.

Für die Bewertung von Stoffkonzentrationen über den Wirkungspfad Boden – Mensch unterscheidet die BBodSchV

- Kinderspielflächen,
- Wohngebiete,
- Park- und Freizeitanlagen und
- Industrie- und Gewerbegrundstücke.

Bei der Festlegung des Untersuchungsumfangs sind die Ergebnisse der Standortbeschreibung, insbesondere die Kenntnisse oder begründeten Vermutungen über das Vorkommen bestimmter Schadstoffe und deren Verteilung, die gegenwärtige Nutzung, die Nutzung gemäß § 4 Abs. 4 des Bundes-Bodenschutzgesetzes und die sich daraus ergebenden Schutzbedürfnisse sowie die sonstigen beurteilungserheblichen örtlichen Gegebenheiten, zu berücksichtigen.

Die Untersuchung soll insbesondere auch auf die Feststellung und die Einschätzung des Umfangs von Teilbereichen mit unterschiedlich hohen Schadstoffgehalten ausgerichtet werden. Kann dabei nicht auf vorhandene Bodenkartierungen zurückgegriffen werden oder liegen keine geeigneten bodenbezogenen Informationen vor, soll im Rahmen der Untersuchung eine bodenkundliche Kartierung oder Bodenansprache am Ort der Probenahme durchgeführt werden.

Zur Festlegung geeigneter Probenahmestellen ist zunächst zu klären, ob bereits Untersuchungen vorliegen und für welchen Bereich des Anlagengrundstücks diese Untersuchungen gelten. Wenn die Daten nach den anerkannten fachlichen Grundsätzen erhoben wurden und sich auf das relevante Stoffspektrum beziehen, können die Daten übernommen werden. Das Vorgehen bei der Probenahme richtet sich grundsätzlich nach

- der auf Grund der Vorinformationen zu erwartenden Heterogenität sowie
- der Lage, der Ausdehnung und der baulichen Ausführung auf der rückzubauenden Fläche.

Sofern sich auf Basis der Erkenntnisse über die Bodenverhältnisse keine ausreichend gesicherten Abgrenzungen homogener Teilflächen ergeben, können zur Festlegung repräsentativer Beprobungsstellen oder Teilflächen systematische Raster Anwendung finden. Als Anhaltspunkt für die Rasterdichte kann der nach DIN ISO 10381 empfohlene Mittenabstand von 30 m dienen. In diesem Zusammenhang ist auch auf die nach Anhang 1, Nr. 2.1 BBodSchV für den Pfad Boden – Mensch genannte Orientierungshilfe für Mischbeprobungen von jeweils 1.000 m² großen Teilflächen, mindestens jedoch drei Teilflächen, bei Gesamtflächen bis 10.000 m² Größe hinzuweisen. Die Mischprobe

soll aus 15 bis 25 Einzelproben einer Beprobungstiefe gewonnen werden.

Wenn sich aus den Vorinformationen Hinweise auf bereits vorhandene Bodenbelastungen ergeben, sind diese Bereiche räumlich ein- bzw. auszugrenzen. Besonderheiten, die eine höhere Dichte an Beprobungspunkten erfordern, können sich auf Grund der Standortcharakterisierung ergeben, z. B. bei anthropogenen Veränderungen der Bodenbeschaffenheit. Auf Teilflächen, auf denen Anlagenteile zum Umgang mit relevanten gefährlichen Stoffen errichtet und betrieben wurden, sind ggf. gezielt zusätzliche Beprobungspunkte vorzusehen. Als Ergebnis ist eine flächenhafte Darstellung der Stoffgehalte im Boden zu erstellen.

Gegenstand der Untersuchungen sind vorrangig die Stoffe (s. Kap. 2.2), mit denen in der Anlage umgegangen wurde. Sofern einzelne der verwendeten Stoffe nicht relevant sind (z. B. wegen geringer Mengen oder eines prinzipiell ausgeschlossenen Risikos für Boden und Grundwasser), kann nach Abstimmung mit der zuständigen Genehmigungsbehörde und Vorlage einer entsprechenden Begründung ggf. auf eine Untersuchung verzichtet werden. Eine fachliche (bodenschutzrechtliche) Bewertung der vorgenommenen Untersuchungen setzt daneben auch die Kenntnis grundlegender Bodenparameter voraus. Gemäß der Arbeitshilfe Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz (AD-HOC-AG BODEN 2009) sind folgende Parameter obligatorisch:

- Boden-/Torfart des Feinbodens,
- Kornfraktionen und Anteilsklassen des Grobbodens,
- substantielle Beimengungen (im Sinne von Substratinhomogenitäten),
- Humusgehalt,
- Wasserstand unter Geländeoberfläche (ggf. im Einzelfall auch der Schwankungsbereich),
- Carbonatgehalt.

Die Probennahme muss sich für entsprechende Aussagen an den Standards ausrichten, die für belastbare Untersuchungsergebnisse in den fachlichen Regelwerken des Bodenschutzes beschrieben sind (Bezug zu Anhang 1, Punkt 2.1 ff. BBODSCHV). Danach gilt, dass Böden möglichst horizontweise zu beproben und zu untersuchen sind. Grundlage für die Ermittlung der Horizontabfolge ist die Bodenkundliche Kartieranleitung der Geologischen Landesämter (AD-HOC-AG BODEN 2005) bzw. die Arbeitshilfe Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz (AD-HOC-AG BODEN 2009). In begründeten Fällen kann eine Beprobung in Tiefenstufen erfolgen. Die Horizont- oder Tiefenstufe, die durch die Entnahme einer Probe repräsentiert werden kann, beträgt i. d. R. 30 bis maximal 50 cm bis zum Ausgangsgestein der Bodenbildung (C-Horizont¹).

Tab. 1: Nutzungsorientierte Beprobungstiefe Wirkungspfad Boden – Mensch.

Wirkungspfad	Nutzung	Beprobungstiefe
Boden – Mensch	Kinderspielfläche, Wohngebiet	0–10 cm ¹ 10–35 cm ²
	Park- und Freizeitanlage	0–10 cm ¹
	Industrie- und Gewerbegrundstücke	0–10 cm ¹ 0–2 cm ³

¹ Kontaktbereich für orale und dermale Schadstoffaufnahme, zusätzlich 0–2 cm bei Relevanz des inhalativen Aufnahmepfades.

² 0–35 cm: durchschnittliche Mächtigkeit aufgebracht Bodenschichten; zugleich max. von Kindern erreichbare Tiefe.

³ 0–2 cm: Für Untersuchungen der Staubbelastung aus vegetationsfreien Bereichen ist die Feinfraktion bis 63 µm aus der Bodenschicht 0–2 cm relevant.

¹ C-Horizonte: Ausgangsmaterial der Bodenbildung, kann auch durch jC-und/oder yC-Horizonte repräsentiert werden. Diese sind zu beproben.

3.2.3. Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze

Die generellen Hinweise zur Heterogenität der Flächen, zu Teilbereichen mit unterschiedlich hohen Schadstoffgehalten, zu den Untersuchungsparametern etc. (vgl. Kap. 3.2.2) sind auch für das auf den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze ausgerichtete Erkundungs- und Untersuchungskonzept zu berücksichtigen. Für den Fall, dass eine landwirtschaftliche Folgenutzung angestrebt wird, ist das Erkundungs- und Untersuchungskonzept den Anforderungen der BBodSchV (vgl. § 12) für den Pfad Boden – Nutzpflanze anzupassen.

Beim Rückbau und der Wiedernutzbarmachung mit landwirtschaftlicher Folgenutzung sind gemäß BBodSchV (vgl. Anhang 1, Abs. 2.1, Tab. 1) die Nutzungen

- Ackerbau (Nutzgarten),
- Grünland (vgl. Anhang 1, Abs. 2.1, Tab. 1),
- und damit korrespondierende Probenahmetiefen

hinsichtlich der Probenahme auf Mischproben aus 15–25 Einzelproben je Teilfläche und hinsichtlich des Probenahmedesigns auf Vorgaben gemäß Anhang 1, Kap. 2.1.2. BBODSCHV zu unterscheiden.

Tab. 2: Nutzungsorientierte Beprobungstiefen für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze.

Wirkungspfad	Nutzung	Beprobungstiefe
Boden – Nutzpflanze	Ackerbau, Nutzgarten	0–30 cm ¹⁾ 30–60 cm
	Grünland	0–10 cm ²⁾ 10–30 cm

¹⁾ Bearbeitungshorizont.

²⁾ Hauptwurzelbereich.

3.2.4. Wirkungspfad Boden – Gewässer

3.2.4.1. Grundwasser

Als Ursache einer nachteiligen oder schädlichen Gewässeränderung (WHG) können im Einwirkungsbereich von Standorten der Erdöl- und Erdgasgewinnung Schadstoffeinträge über folgende Transferpfade in Frage kommen:

- Sickerwasser (Stoffeintrag über Sickerwasser ins Grundwasser bzw. Gewässer = Freisetzung von Schadstoffen bei der Durchsickerung des in der ungesättigten Zone vorhandenen Schadstoffinventars mit Niederschlagswasser),
- Freisetzung von schadstoffhaltigen Flüssigkeiten (Erdöl, Kondensat, Lagerstättenwasser) infolge von Anlagenleckagen (u. a. Tanks, Lei-

tungen) oder Handhabungsverlusten. Bei der Freisetzung von Ölphase kann es, abhängig von den Standortbedingungen (Flurabstand, Ölphasenmenge), auch zu einer Verlagerung der Ölphase bis zur Grundwasseroberfläche und zur Ausbildung einer auf dem Grundwasser aufschwimmenden Ölphase kommen. Die löslichen Bestandteile der Ölphase können dabei in das Grundwasser übertreten.

Grundsätzlich können für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser die Fallgestaltungen „Gefahr“ (in absehbarer Zukunft vom Standort ausgehende nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit oder schädliche Gewässeränderung) und „Schaden“ (Feststellung einer bereits eingetretenen schädlichen Grundwasseränderung) unterschieden werden (ENGESER 2012).

Die für den Standort relevanten Transferpfade und Fallgestaltungen sind im Rahmen des Erkundungs- und Untersuchungskonzeptes zu berücksichtigen. Nach § 4 Abs. 3 BBODSCHV ist für die Bewertung der Gefahren für das Grundwasser eine Sickerwasserprognose zu erstellen. Diese kann auf Untersuchungen nach Anhang 1, Nr. 3.3 BBODSCHV gestützt werden.

Grundwasseruntersuchungen

Für Standorte mit besonders ungleichmäßiger Schadstoffverteilung wird insbesondere der Rückschluss oder die Rückrechnung aus Untersuchungen im Grundwasser als geeignetes Verfahren angesehen, da damit schnell und kostengünstig eine Bestätigung oder Ausräumung des Verdachts erreicht werden kann. Für den Rückschluss bzw. die Rückrechnung aus dem Grundwasser ist eine Beprobung des Grundwassers im unmittelbaren Abstrom eines Standortes möglichst nahe an der Grundwasseroberfläche erforderlich (LABO 2003). Die Untersuchung kann durch Beprobung mittels temporärer Messstellen (Direct-Push-Verfahren) oder regulärer Messstellen erfolgen. Voraussetzung für die Anwendung der Methode sind Kenntnisse zur Lage der Grundwasseroberfläche, zur Grundwasserfließrichtung (lokale Bestimmung über eine ausreichende Anzahl von Messstellen, mindestens hydrogeologisches Dreieck und einen Grundwassergleichenplan), zu Aquiferdaten (kf-Wert/hydraulisches Gefälle) und ggf. zur Hintergrundsituation im Anstrom (erforderlichenfalls durch entsprechende Untersuchungen zu klären). Die Methode der Grundwasseruntersuchung hat darüber hinaus den Vorteil, dass auch eine integrale Bewertung für Standorte (Zusammenfassung

von Einzelflächen) möglich ist, bei denen die Zuordnung zu einzelnen Flächen nicht oder nur mit unverhältnismäßigem Aufwand durchgeführt werden kann.

Sofern im Rahmen der Untersuchung eine nachteilige oder schädliche Grundwasserveränderung festgestellt wird, ist die räumliche Ausdehnung (flächig und vertikal) im Rahmen einer Gefährdungsabschätzung vollständig (ggfs. auch außerhalb der Grundstücksgrenze gemäß Betriebsplan) abzugrenzen. Als Konzentrationsschwellen für die Abgrenzung können die Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA (LAWA 2017) herangezogen werden (s. Kap. 3.3.1). Im Falle einer Feststellung von freier Ölphase (LNAPL: Light Non Aqueous Phase Liquid) ist die Ausdehnung der Phase abzugrenzen. Dafür können bspw. DP-Sondierungen mit LIF-Detektoren (Laser-Induzierte Fluoreszenz) herangezogen werden. Bei hohen Anteilen an kurzkettingen leichtflüchtigen MKW und Aromaten (Verunreinigungen mit Kondensat, Lagerstättenwasser) können auch Bodenluft-Untersuchungen hilfreich sein.

Bei der Untersuchung von Standorten mit potenziellen Verunreinigungen durch Lagerstättenwasser, ist bei der Erkundung durch Sondierungen bzw. Messstellen besonders zu beachten, dass aufgrund der erhöhten Chlorid-Salinität des Lagerstättenwassers und der damit korrespondierenden erhöhten Dichte eine schnelle Verlagerung der Belastung zur Tiefe erfolgen kann.

Der analytische Untersuchungsumfang ist auf das standortspezifische Stoffspektrum (s. Kap. 2.2) auszurichten. Neben den üblichen Vor-Ort-Parametern (Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt) ist dabei auch der DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) als Indikator für die organische Gesamtbelastung relevant.

Materialuntersuchungen

Die Erfahrungen zeigen, dass trotz hoher Schadstoffgehalte in der ungesättigten Zone (Quelle) nicht in jedem Falle eine Verunreinigung des Grundwassers nachgewiesen werden kann. Mögliche Gründe für einen fehlenden Nachweis von Schadstoffen im Grundwasser trotz eines gefahrenrelevanten Schadstoffinventars in der ungesättigten Zone sind:

- geringe Freisetzung infolge hoher Anteile an gering löslichen Schadstoffen (bspw. länger-kettige Kohlenwasserstoffe ab C_{20}),
- lange Verweildauer der Schadstoffe in der ungesättigten Zone (große Mächtigkeit der unge-

sättigten Zone/großer Grundwasserflurabstand, hohe Rückhaltung durch Sorption),

- hohe Verdünnungsfaktoren beim Eintritt des Sickerwassers in das Grundwasser,
- Überlagerung mit Belastungen aus dem Anstrom.

In diesen Fällen ist eine Sickerwasserprognose auf Grundlage von Materialuntersuchungen und Quellterm-/Transportbetrachtungen (LABO 2007) erforderlich. Dafür sind neben der Bestimmung der Schadstoffgehalte im Feststoff (Quelle) Elutionsuntersuchungen zur Charakterisierung des Freisetzungsverhaltens erforderlich.

Es wird empfohlen, die Elutionsuntersuchungen gemäß DIN 19528 (Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen) oder DIN 19529 (Schüttelverfahren zur Untersuchung von anorganischen und organischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg) durchzuführen. Das Eluat ist auf die Leitparameter gemäß Kap. 2.2 zu analysieren.

3.2.4.2. Oberflächengewässer

Als Ursache für eine nachteilige oder schädliche Veränderung von Oberflächengewässern im Einwirkungsbereich von Standorten der Erdöl- und Erdgasgewinnung können Schadstoffeinträge über folgende Transferpfade in Frage kommen:

- Übertritt von verunreinigtem Grundwasser (Vorfluter),
- Einleitung von schadstoffhaltigem Abwasser aus der Platzentwässerung.

Sind Verunreinigungen von Oberflächengewässern nicht auszuschließen, sind Sedimentuntersuchungen (ggf. Wasseruntersuchungen) im Anstrom, im Eintrittsbereich und im Abstrom mit Analyse der Leitparameter gemäß Kap. 2.2 durchzuführen.

3.3. Gefährdungsabschätzung

Sofern im Rahmen der Untersuchung schädliche Boden- oder Gewässerveränderungen festgestellt werden, ist eine Gefährdungsabschätzung nach bodenschutzrechtlichen Maßstäben durchzuführen.

3.3.1. Bewertungsmaßstäbe für den Wirkungspfad Boden – Mensch

Die Bewertungsmaßstäbe für den Wirkungspfad Boden – Mensch sind in § 4 der BBodSchV explizit benannt. Die Ergebnisse der Untersuchung sind nutzungsspezifisch anhand der Prüfwerte für Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeit-

anlagen oder Industrie- und Gewerbegrundstücke (vgl. BBODSCHV 1999, Anhang 2) zu bewerten. Der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung ist ausgeräumt, wenn der Gehalt oder die Konzentration unterhalb des jeweiligen Prüfwertes liegt.

Tab. 3: Prüfwerte für die direkte Aufnahme von Schadstoffen auf Kinderspielflächen, in Wohngebieten, Park- und Freizeitanlagen und Industrie- und Gewerbegrundstücken (BBodSCHV 1999).

Prüfwerte [mg/kg TM]				
Stoff	Kinderspielflächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanlagen	Industrie- und Gewerbegrundstücke
Arsen	25	50	125	140
Blei	200	400	1.000	2.000
Cadmium	10 ²⁾	20 ²⁾	50	60
Cyanide	50	50	50	100
Chrom	200	400	1.000	1.000
Nickel	70	140	350	900
Quecksilber	10	20	50	80
Aldrin	2	4	10	–
Benzo(a)pyren	2	4	10	12
PAK ₁₆	0,5 ³⁾	1 ³⁾	1 ³⁾	5 ³⁾
DDT	40	80	200	–
Hexachlorbenzol	4	8	20	200
Hexachlorcyclohexan (HCH-Gemisch oder β-HCH)	5	10	25	400
Pentachlorphenol	50	100	250	250
Polychlorierte Biphenyle (PCB ₆) ¹⁾	0,4	0,8	2	40

¹⁾ Soweit PCB-Gesamtgehalte bestimmt werden, sind die ermittelten Messwerte durch den Faktor 5 zu dividieren.

²⁾ In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nutzpflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,0 mg/kg TM als Prüfwert anzuwenden.

³⁾ Bewertung PAK₁₆ über den Leitparameter BaP (NMU 2016).

Neben den in der BBodSchV geregelten Prüfwerten (s. Tab. 3) sind die orientierenden Hinweise als Bewertungsmaßstab für die Pfadbetrachtung Boden – Mensch geeignet.

Tab. 4: Orientierende Hinweise für die nutzungsspezifische Bewertung des Wirkungspfades Boden – Mensch (LABO 2009).

Wirkungspfad Boden – Mensch [mg/kg TM]				
Orientierende Hinweise				
	Kinderspielflächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanlagen	Industrie- und Gewerbegrundstücke
BTEX	–	–	–	–
Benzol	–	0,1	–	0,4
Ethylbenzol	–	3	–	30
Toluol	–	10	–	120
Xylole	–	10	–	100

Bewertungsmaßstab für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze

Auch die Bewertungsmaßstäbe für den Wirkungspfad Boden – Pflanze sind in der BBodSchV im Anhang 2 (Prüf- und Maßnahmenwerte für Ackerbau, Nutzgarten und Grünland) ausgeführt. Danach ist der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung ausgeräumt, wenn der Gehalt oder

die Konzentration der relevanten Stoffe unterhalb des jeweiligen Prüf-/Maßnahmenwertes liegt (vgl. BBodSchV § 4). Neben den in der BBodSchV geregelten Prüfwerten sind hierzu die in Tabelle 5 aufgezeigten ergänzenden Bewertungsgrundlagen für die Pfadbetrachtung Boden-Nutzpflanze geeignet.

Tab. 5: Ergänzende Bewertungsgrundlage für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze (LABO 2009).

Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze [mg/kg TM]	
Besorgniswert	
Ackerbau, Nutzgarten	
BTEX	2
Benzol	0,5
Ethylbenzol	–
Toluol	0,5
Xylole	0,5

Bewertungsmaßstab für den Wirkungspfad Boden – Gewässer/Grundwasser

Gemäß § 4 Abs. 3 BBODSCHV ist zur Bewertung der von schädlichen Bodenveränderungen ausgehenden Gefahren für das Grundwasser eine Sickerwasserprognose (s. Kap. 3.2.4.1) zu erstellen. Dabei ist abzuschätzen und zu bewerten, ob die Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser am Ort der Beurteilung (d. i. der Bereich des Übergangs von der ungesättigten in die gesättigte Zone/Grundwasseroberfläche) die Prüfwerte gemäß Anhang 2 Nr. 3 BBODSCHV überschreiten. Bei Unterschreitung der Prüfwerte ist der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung ausgeräumt.

Liegt bereits eine Beeinflussung des Grundwassers durch standorttypische Schadstoffe vor, kann auf Grundlage der von der LAWA (LAWA 2017) abgeleiteten Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) bewertet werden, ob eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit vorliegt (Überschreitung der GFS) oder unter Berücksichtigung der Anwendungsgrundsätze (LAWA 2017, Kap. 3.3) ggf. eine schädliche Gewässeränderung des Grundwassers vorliegt.

Bewertungsmaßstab für den Wirkungspfad Boden – Gewässer/Oberflächengewässer

Maßgeblich für die Bewertung von Verunreinigungen von Oberflächengewässern sind die vom NLWKN mit Bezug auf die Oberflächengewässerverordnung (OGewV) abgeleiteten Schwellenwerte (NLWKN 2016).

Tab. 6 Auszug aus: Umweltbelastung durch die Erdgas- und Erdölförderung in Niedersachsen, Schwellenwerte für die Bewertung von Oberflächenwasser (OW) (NLWKN 2016).

Parameter	Einheit	Schwellenwert OW	Kornfraktion	Herkunft/ Bewertungsmaßstab
Arsen (As)	mg/kg	40	< 63 µm ¹⁾	OGewV (2011)
Blei (Pb)	mg/kg	100	< 63 µm ¹⁾	LAWA (1998)
Cadmium (Cd)	mg/kg	1,2	< 63 µm ¹⁾	LAWA (1998)
Chrom (Cr)	mg/kg	640	< 63 µm ¹⁾	OGewV (2011)
Kupfer (Cu)	mg/kg	160	< 63 µm ¹⁾	OGewV (2011)
Nickel (Ni)	mg/kg	120	< 63 µm ¹⁾	LAWA (1998)
Quecksilber (Hg)	mg/kg	0,8	< 63 µm ¹⁾	LAWA (1998)
Zink (Zn)	mg/kg	800	< 63 µm ¹⁾	OGewV (2011)
Kohlenwasserstoffe (C ₁₀ –C ₄₀)	mg/kg	200	< 2 mm	Baggergut-RL (2009)
PAK-Summe (16 nach EPA)	mg/kg	3	< 2 mm	FGG Elbe (2013)
Dioxine/Furane	ng/kg TEQ ²⁾	20	< 2 mm	EVERS et al. (1996)

¹⁾ Gewässersedimentproben, bei denen der < 63 µm-Anteil an der Gesamtprobe weniger als 5 % beträgt, können in diesen Ausnahmefällen auch in der < 2 mm-Fraktion auf Schwermetalle/Arsen untersucht werden (also bei weit überwiegend sandigem Substrat). Dies ist entsprechend zu dokumentieren.

²⁾ Berechnung nach WHO (2005).

4. Vorgaben für die Wiedernutzbarmachung

4.1. Allgemein

Zielsetzung von Rückbau- und Wiedernutzbarmachungsmaßnahmen ist es, ausgehend vom Ergebnis der Untersuchung und der wirkungspfadbezogenen Gefährdungsabschätzung einen Standort und die ggf. von Einwirkungen betroffene Umgebung so herzurichten, dass keine schädlichen Boden- oder Gewässeränderungen mehr vorliegen und eine zukünftige Nachnutzung gefahrlos möglich ist. Als Bewertungsgrundlage für den Nachweis, dass dieses Ziel mit den geplanten Maßnahmen erreicht werden kann, sind die in Kap. 3.3 beschriebenen Bewertungsmaßstäbe heranzuziehen. Dabei ist auch die Verhältnismäßigkeit im Einzelfall zu beachten.

Die Rückbau- und Wiedernutzbarmachungsmaßnahmen erfordern die Festlegung von Vorgaben zur Freigabe von Flächen im Hinblick auf die Entfernung belasteter Bodenbereiche und die Qualität

des für eine Aufbringung oder einen Einbau vorgesehenen Bodens.

Gemäß BBODSCHV § 12 ist das Auf- und Einbringen von Boden im Rahmen von Wiedernutzbarmachungsvorhaben (Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht) zulässig, wenn die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen nicht hervorgerufen wird und mindestens eine der im BBodSchG genannten Bodenfunktionen nachhaltig gesichert oder wieder hergestellt wird.

Für die Bewertung von anstehendem oder einzubauendem Boden unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht ist der Wirkungspfad Boden – Grundwasser maßgeblich.

Im Falle vorhandener Gewässerunreinigungen auf dem Standort oder außerhalb davon sind gewässerbezogene Sanierungsziele zu definieren, deren Erreichen im Rahmen einer Nachsorgephase zu überwachen ist. Gewässerbezogene Sanierungsziele definieren maximal zulässige Schad-

stoffkonzentrationen und/oder -frachten, bei deren Einhaltung schädliche Gewässerveränderungen ausgeschlossen werden können. Sofern im Zuge der Maßnahmen eine Entnahme und Abreinigung von verunreinigtem Grundwasser vorgesehen ist, sind im Rahmen der dafür zu beantragenden wasserrechtlichen Erlaubnis ggf. maximal zulässige Schadstoffkonzentrationen für eine Wiederversickerung oder eine Einleitung in Oberflächengewässer (Einleitwerte) festzulegen.

4.2. Wirkungspfad Boden – Mensch

Für den Rückbau und die Räumung sowie die Wiedernutzbarmachung sind die diesbezüglichen Vorgaben der BBodSchV (i. d. R. Vorsorgewerte) zu berücksichtigen.

4.3. Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze

Ist im Anschluss an den Rückbau und die Räumung eines Betriebsplatzes eine Wiedernutzbarmachung mit landwirtschaftlicher Folgenutzung vorgesehen, können für die Wiedernutzbarmachungsplanungen insbesondere die Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden (§ 12 BBODSCHV) sowie die fachlichen Konkretisierungen der LABO (LABO 2002) herangezogen werden.

Bei landwirtschaftlicher Folgenutzung sollen im Hinblick auf künftige unvermeidliche Schadstoffeinträge durch Bewirtschaftungsmaßnahmen oder atmosphärische Schadstoffeinträge die Schadstoffgehalte in der entstandenen durchwurzelbaren Bodenschicht dabei 70 % der Vorsorgewerte nicht überschreiten.

Tab. 7: Bodenartenspezifische Vorsorgewerte.

Parameter	Vorsorgewert [mg/kg]		
	Sand	Lehm/Schluff	Ton
Arsen	10 ¹⁾	20 ¹⁾	20 ¹⁾
Blei	40	70	100
Cadmium	0,4	1	1,5
Chrom	30	60	100
Kupfer	20	40	60
Nickel	15	50	70
Quecksilber	0,1	0,5	1
Zink	60	150	200
Benzo(a)pyren	0,3/1 ²⁾		
PAK ₁₆ (EPA)	3/10 ²⁾		

¹⁾ nach MVO (2017).

²⁾ Humusgehalt <8%/>8%.

Im Zuge von Wiedernutzbarmachungsvorhaben ist die Ertragsfähigkeit der Böden beim Aufbringen von Bodenmaterial nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen und darf nicht dauerhaft verringert werden.

Bei der Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht für eine landwirtschaftliche Wiedernutzbarmachung soll nach Art, Menge und Schadstoffgehalt geeignetes Bodenmaterial auf- oder eingebracht werden. Die Nährstoffzufuhr in und auf den Boden ist nach Menge und Verfügbarkeit der Folgevegetation anzupassen.

Verdichtungen, Vernässungen und sonstige nachteiligen Veränderungen sind durch geeignete technische Maßnahmen sowie durch Berücksichti-

gung der Menge und des Zeitpunkts des Aufbringens zu vermeiden.

Neben der Sicherstellung der stofflichen Eignung des für die landwirtschaftliche Folgenutzung zu verwendenden Materials können für die Erstellung der durchwurzelbaren Bodenschicht auch die Konkretisierungen hinsichtlich der Mächtigkeiten der durchwurzelbaren Bodenschicht in der Vollzugshilfe der LABO (2002) herangezogen werden. Gemäß der Vollzugshilfe ist die durchwurzelbare Bodenschicht die „Bodenschicht, die von den Pflanzenwurzeln in Abhängigkeit von den natürlichen Standortbedingungen durchdrungen werden kann“ (vgl. § 2 Nr. 11 BBODSCHV). Sie schließt i. d. R. den humosen Oberboden (auch „Mutterboden“ im Sinne von § 202 BAUGB) und den Unter-

boden ein, soweit dieser durchwurzelt ist bzw. werden kann. Die Mächtigkeit der durchwurzeltbaren Bodenschicht am Standort hängt im Wesentlichen ab von der Durchwurzelungstiefe und -intensität, der standorttypischen oder der bestimmungsgemäßen Vegetation und von den Standortbedingungen und Bodenmaterialeigenschaften mit ihrem Einfluss auf die Durchwurzelung. Die Mächtigkeit der durchwurzeltbaren Bodenschicht entspricht demnach der Durchwurzelungstiefe, die die standorttypische bzw. bestimmungsgemäße Vegetation am Standort erreichen kann.

Die Ermittlung der Mächtigkeit der durchwurzeltbaren Bodenschicht – auch, wie sie sich nach Durchführung geplanter Maßnahmen darstellt – ist erforderlich,

um beurteilen zu können, ob die Anforderungen gemäß § 12 erfüllt sind. Dabei kann in Abhängigkeit verschiedener Vegetationsarten, die gleichzeitig typische Nutzungen charakterisieren, im Allgemeinen von den in der Tabelle 8 angegebenen Regelmächtigkeiten ausgegangen werden. Da physikalische, chemische oder biologische Substrateigenschaften und Standortfaktoren, wie u. a. Bodenart, Lagerungsdichte oder Schichtwechsel, die vegetationspezifische Durchwurzelungstiefe überlagern können, ist im Einzelfall je nach den Bedingungen am zu beurteilenden Standort eine Konkretisierung der in Tabelle 3 genannten Regelspannen der Mächtigkeit der durchwurzeltbaren Bodenschicht vorzunehmen.

Tab. 8: Regelmächtigkeiten der durchwurzeltbaren Bodenschicht in Abhängigkeit von der (Folge-)Nutzung und der Bodenart (LABO 2002).

(Folge-)Nutzung	Vegetationsart	Regelspannweite [cm]¹⁾	Bemerkungen
Landwirtschaft	Ackerkulturen einschließlich Feldgemüse	50–200	
	Grünland	50–150	
Erwerbsgartenbau	Gemüse, Zierpflanzen	50–100	
Haus- und Kleingärten, sonstige Gärten	Zierpflanzen, Nutzpflanzen	50–100	
Landschaftsbau	Rasen	20–50	Hauptwurzelmasse bis 20 cm
	Stauden und Gehölze	40–100	Hauptwurzelmasse bis 40 cm
Wald	Forstgehölze	50–200	Hauptwurzelmasse bis 50 cm, max. Durchwurzelung einzelner Arten auch über 200 cm

¹⁾ Der untere Bereich der Spannweite gilt für schlecht durchwurzeltbare, der obere Bereich für gut durchwurzeltbare Substrate. Bei Mischnutzungen Ausrichtung nach der vorherrschenden Nutzungsart, Vegetationsart.

4.4. Wirkungspfad Boden – Gewässer

4.4.1. Grundwasser

4.4.1.1. Gefahrexausschlusswerte

Gem. § 4 Abs. 3 BBODSCHV ist zur Bewertung einer Gefahr für das Grundwasser eine Sickerwasserprognose zu erstellen. Eine Gefahr für das Grundwasser kann danach ausgeschlossen werden, wenn die Stoffkonzentrationen des Sickerwassers am Ort der Beurteilung die Prüfwerte gem. Anhang 2 Nr. 3 der BBODSCHV unterschreiten.

Um ohne Durchführung einer standortspezifischen Sickerwasserprognose eine Gefahr für das Grundwasser sicher auszuschließen, erfolgt die Bewertung für die standortrelevanten Schadstoffe in Anlehnung an die Bewertungssystematik der LAGA TR Boden (2004) auf Grundlage von Gehalten im Feststoff und Konzentrationen im Eluat. Als Maßstab für die Bewertung der Eluatkonzentrationen (Schütteleluat nach DIN 19529 mit W/F-Verhältnis 2:1) werden die Prüfwerte der BBodSchV bzw. die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) der LAWA (2017) verwendet.

Tab. 9: Gefahrexausschlusswerte für anstehenden oder einzubauenden Boden unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht.

Parameter	Feststoffgehalt [mg/kg]	Konzentration Eluat [µg/l]
KW C ₁₀ –C ₂₂	200	200
KW C ₁₀ –C ₄₀	400	200
KW C ₅ –C ₁₀	100	200
BTEX	1	20
Benzol	1	1
PAK ₁₆ ohne Naphthalin	3	0,2
Naphthalin	3	2
PFOA ¹⁾		0,1
PFOS ¹⁾		0,1
Blei	140	25
Cadmium	1,5	5
Quecksilber	1	1
Zink	300	500
Chlorid		250.000
Fluorid		750

¹⁾ Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) (LAWA 2017).

4.4.1.2. Sanierungsziele bei schädlichen Gewässerveränderungen

Wurde im Rahmen der Gefährdungsabschätzung eine vom Standort ausgehende schädliche Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit nachgewiesen, ist diese so zu sanieren/sichern, dass zukünftig keine Gefahren für das Grundwasser im Abstrom außerhalb des Standortes ausgehen. Dies ist eingehalten, wenn die Schadensschwelle gemäß ENGESER (2012) an einer an der Grundstücksgrenze eingerichteten Kontrollebene nicht überschritten wird. Sofern sich eine vom Standort ausgehende Grundwasserverunreinigung auch auf Bereiche außerhalb des Betriebsgrundstückes erstreckt, ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen und nachzuweisen (Prognose), dass zukünftig keine weitere Ausbreitung der Grundwasserverunreinigung stattfindet und die Schadstoffkonzentrationen innerhalb eines überschaubaren Nachsorgezeitraumes die GFS (nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit) unterschreiten.

4.4.2. Oberflächengewässer

Bei der Festlegung von Vorgaben für die Wiedernutzbarmachung von Oberflächengewässern ist der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) zu beteiligen.

5. Beschreibung der geplanten Räumungs- und Wiedernutzbarmachungsmaßnahmen

5.1. Fachgutachterliche Begleitung

Wir empfehlen, in Abhängigkeit der betroffenen Wirkungspfade, die durchzuführenden Untersuchungen durch einen nach § 18 BBodSchG für die Sachgebiete 2, 3 bzw. 5 anerkannten Sachverständigen (Wirkungspfad Boden – Gewässer, Wirkungspfad Boden – Pflanze bzw. Sanierung) fachlich begleiten zu lassen.

5.1.1. Geplante Nachnutzung

Die geplante Nachnutzung eines Standortes ist zu beschreiben.

5.1.2. Nachsorge bei Grundwasserverunreinigungen

Sofern keine Verunreinigungen des Grundwassers oder von Oberflächengewässern vorliegen, ist bei Einhaltung der Vorgaben entsprechend Kap. 4 sichergestellt, dass nach der Räumung und Wiedernutzbarmachung keine Gefahren für Gewässer

ausgehen. Auf eine Nachsorgephase kann daher verzichtet werden.

Literatur

AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). – 5. Aufl., 438 S., 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen; Hannover.

AD-HOC-AG BODEN (2009): Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz. – 89 S., 4 Abb., 25 Tab., 7 Listen; Hannover.

BAGGERGUT-RL (2009): Gemeinsame Übergangsbestimmungen zum Umgang mit Baggergut in Küstengewässern vom August 2009. – Erlass vom 18.11.2009; Bonn.

BAUGB: Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2004 (BGBl. I: 2414) zuletzt geändert durch Gesetz vom 20.07.2017 (BGBl. I: 2808) mit Wirkung vom 29.07.2017, Stand 05.01.2018 aufgrund des Gesetzes vom 30.06.2017 (BGBl. I: 2193). – <<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbaug/>>.

BBODSCHG – Bundes-Bodenschutzgesetz: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz) vom 17. März 1998 (BGBl. I: 502), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I: 212) geändert worden ist. – <<http://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/>>.

BBODSCHV: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I: 1554), die zuletzt durch Artikel 102 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I: 1474) geändert worden ist. – <<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbodschv/>>.

DIN ISO 10381-1 (2003): Bodenbeschaffenheit: Probennahme – Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von Probennahme-Programmen. – 2003-08; Berlin (Beuth).

DIN ISO 10381-5 (2007): Bodenbeschaffenheit: Probennahme – Teil 5: Anleitung zur Vorgehensweise bei der Untersuchung von Bodenkontaminationen auf urbanen und industriellen Standorten. – 2007-02; Berlin (Beuth).

DIN 19528 (2009): Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen. – 2009-01; Berlin (Beuth).

DIN 19529 (2015): Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhal-

tens von anorganischen und organischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg. – 2015-12; Berlin (Beuth).

ENGESER, B. (2012): Ermessensleitende Kriterien bei der Bearbeitung altlastbedingter Grundwassergerfahren und -schäden. – GeoBerichte **22**: 82 S., 61 Abb., 9 Tab., 6 Anh.; Hannover (LBEG).

EVERS, E. H., LAANE, R. W. P. M., GROENEVELD, G. J. J., OLIE et al. (1996): Levels, temporal trends and risk of dioxins and related compounds in the Dutch aquatic environment. – Organohalogen compounds **28**: 117–122.

FGG Elbe: <<https://www.fgg-elbe.de/fgg-elbe.html>>.

LABO – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2000): Abgrenzung zwischen Bundes-Bodenschutzgesetz und Bundesberggesetz. – https://www.labo-deutschland.de/documents/bergabg_a9e.pdf.

LABO – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ in Zusammenarbeit mit LAB, LAGA und LAWA (2002): Vollzugshilfe zu den Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden (§ 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung). – <https://www.labo-deutschland.de/documents/12-Vollzugshilfe_110902_9be.pdf>.

LABO – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2003): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen. – <https://www.labo-deutschland.de/documents/SiWaPrognose-120903_91f.pdf>.

LABO – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2007): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen Arbeitshilfe DU mit ALTEX-1D. – LABO Arbeitshilfe „Sickerwasserprognose DU“ 10/2006 mit redaktionellen Anpassungen 12/2008, <https://www.labo-deutschland.de/documents/Ah_Du_1208_732_8fa.pdf>.

LABO – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2009): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten, 2. Orientierende Hinweise für flüchtige Stoffe (stoffbezogene Berechnungen) bei Untersuchungen des Bodenfeststoffes. – <https://www.labo-deutschland.de/documents/34_Infoblatt_Altlasten_01092008_e69_34f.pdf>.

LAGA – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (2004): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Teil II: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmate-

rial (TR Boden). – <https://mlul.brandenburg.de/media_fast/4055/tr_laga2.pdf>.

LAWA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (1998): Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer, Band II. – Berlin.

LAWA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (2017): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC). – 28.02.2017.

LBEG – LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (2018): Belastung von Böden im Umfeld aktiver Erdgasförderplätze. – <https://www.lbeg.niedersachsen.de/startseite/bergbau/schadstoffmessungen/untersuchungen_im_umfeld_von_erdgasfoerderplaetzen/untersuchungen-im-umfeld-von-erdgasfoerderplaetzen-135742.html>.

LFULG – LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE, Sachsen (2018): Bewertungshilfen bei der Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbearbeitung, Teil A, Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze. – 2. Aufl. (PDF über <<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13456>>).

MVO – MANTELVERORDNUNG DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (2017): Referentenentwurf der Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung. – <http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Gesetze/mantelv_text.pdf>.

NLWKN – NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERHAUSHALT, KÜSTEN UND NATURSCHUTZ (2016): Umweltbelastung durch die Erdgas- und Erdölförderung in Niedersachsen. – [PDF über Titelsuche beim NLWKN].

NMU – NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ (2016): Erlass zur Bewertung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen PAK bezüglich des Wirkungspfades Boden – Mensch. – Erlass vom 24.08.2016 [PDF über <https://www.umwelt.niedersachsen.de/themen/boden/altlasten/schwerpunkte/bewertung_von_pak/bewertung-von-polyzyklischen-aromatischen-kohlenwasserstoffen-pak-bezueglich-des-wirkungspfades-boden-mensch-146387.html>].

OGewV (2011): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV) vom 20. Juli 2011. – BGBl. 2011, I/37: 1429. – <https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl111s1429.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl111s1429.pdf%27%5D__1530522372352>.

WHO – Van den Berg, M., Birnbaum, L. S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Haws, L., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N. & Peterson, R. E. (2005): The 2005 World Health Organization reevaluation of human and Mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. – In: Toxicological Sciences: An Official Journal of the Society of Toxicology, **93**/2: 223–241, doi:10.1093/toxsci/kfl055, PMC 2290740 [freier Volltext].

Impressum

Die Geofakten werden vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) herausgegeben und erscheinen unregelmäßig bei Bedarf.

Die bisher erschienenen Geofakten können unter <http://www.lbeg.niedersachsen.de> abgerufen werden.

© LBEG Hannover 2018

Version: 25.07.2018

DOI: 10.48476/geofakt_32_1_2018

Autoren

- Bernhard Engeser, Tel.: 0511/ 643-2497
mail: Bernhard.Engeser@lbeg.niedersachsen.de
 - Uwe Hammerschmidt, Tel.: 0511/ 643-3602
mail: Uwe.Hammerschmidt@lbeg.niedersachsen.de
 - Axel Lietzow, Tel.: 0511/ 643-3512
mail: Axel.Lietzow@lbeg.niedersachsen.de
 - Dr. Jürgen Schneider, Tel.: 0511/ 643-3593
mail: Juergen.Schneider@lbeg.niedersachsen.de
- Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie
Stilleweg 2, 30655 Hannover
Internet: <http://www.lbeg.niedersachsen.de>