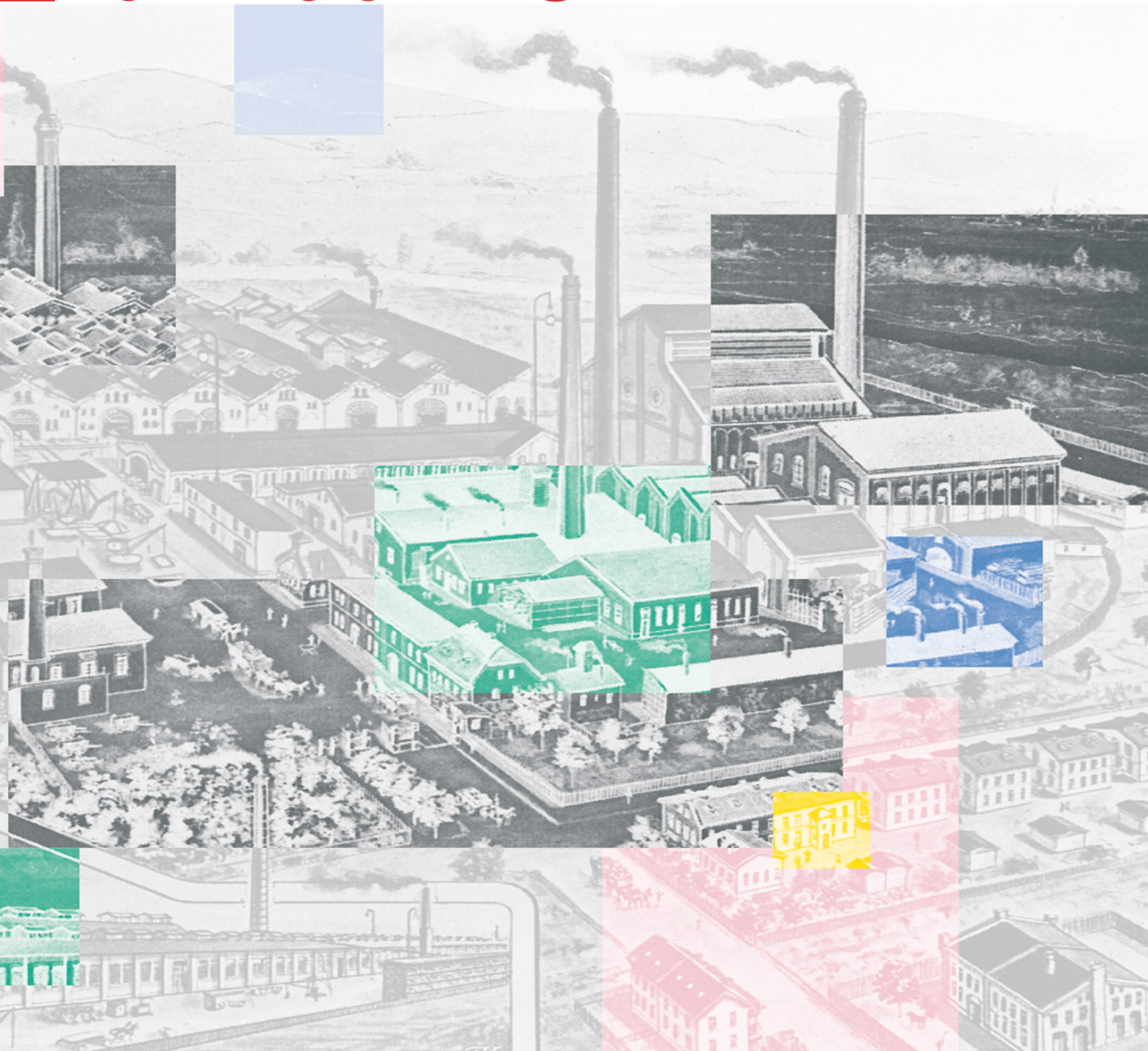




Altlasten- **annual 2019**



Altlasten- annual 2019

Wiesbaden, 2020

Impressum

Altlasten-annual 2019

ISBN: 978-3-89531-878-8

Bearbeitung: Redaktionsteam „annual 2019“, Dezernat Boden und Altlasten

Layout: Nadine Senkpiel

Titelbild: Heddernheimer Kupferwerk und Süddeutsche Kabelwerke AG
Gesamtansicht um 1910, Bildnachweis: Denkmalamt Stadt Frankfurt am Main, Nr. 478

Herausgeber, © und Vertrieb:
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Telefon: +49 (0)611 69 39-0
Telefax: +49 (0)611 69 39-555
E-Mail: vertrieb@hlnug.hessen.de

www.hlnug.de

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

Diese Broschüre wurde mit FSC-Zertifizierung gedruckt.

Inhalt

Volker Zeisberger

Stand der Altlastenbearbeitung in Hessen7

Aktuell 11

Matthias Adam

Alterzbergbau in Hessen – Bergbaufolgelandschaften und Stoffausträge 11

J. Schroth, S. Feisthauer, K. Friedrich, J.G. Fritsche & H. Thiemeyer

Historische Erkundung und Untersuchung von Öl- und Bohrschlammgruben
im hessischen Oberrheingraben 17

Volker Zeisberger

Polyfluorierte PFC – eine unterschätzte Gefahr?29

Seminar Altlasten und Schadensfälle

Seminar Altlasten und Schadensfälle 2019 31

Maike Lamp & Zrinko Rezig

Raumluftbelastungen am Rüstungsaltsstandort der DAG Stadtallendorf –
von der Untersuchung zur Sanierung33

Sylvia Widmann & Hans-Henning Wagner

Bodenschutz in der Bauleitplanung am Beispiel der Umnutzung der Pioneer-Kaserne in Hanau 41

Reinhard Sudhoff & Jan Brodsky

Die Methodensammlung Feststoffuntersuchung – Inhalte und Anwendungsmöglichkeiten49

T. Klein, U. Apel, K. Friedrich, R. Miller, D. Pecoroni & M. Peter

Bodenschutzkonzept Wetzlar – ein erster Zwischenstand zum Projekt53

G. Schrauwen, L. Simone, J. Rotscholl & T. Held

ISCO mit Fracturing zur Grundwassersanierung im gering durchlässigen Bodenbereich –
ein Beispiel aus der Praxis 61

Walter Lenz

Der lange Schatten einer Altlast – Erkenntnisse aus der Untersuchung geohydraulischer
Zusammenhänge in einem Wassergewinnungsgebiet in Unterfranken 67

Ingo Müller, Kati Kardel & Steffen Schürer

Auswertungen zur Resorptionsverfügbarkeit bei großflächigen Bodenbelastungen in Sachsen79

Volker Zeisberger

PFC – Das wichtigste in Kürze87

Tina Neef & Axel Meßling

PFC – Gefährdungsabschätzung an ausgewählten Feuerwachen im Stadtgebiet Düsseldorf97

Gerd M. Wiedenbeck

Optimierung von Bodenluftsanierungen 101

Infothek

Altlasten im Internet	109
Handbuchreihe Altlasten	110
Sonstige Veröffentlichungen	116
Autorinnen und Autoren des Altlasten-annual 2019	118

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,



auch nach vier Jahrzehnten Altlastenbearbeitung bieten „Altlasten“ immer wieder Neues. An dieser Stelle möchte ich die Themen Bergbaualtlasten und PFC (per- und polyfluorierte Chemikalien) sowie die neue Dynamik bei der Erfassung von Altflächen nennen.

Bergbaubedingte Altlasten stehen seit einigen Jahren im Fokus, denn der ehemalige Erzbergbau mit dem Betrieb entsprechender Aufbereitungsanlagen und Schmelzhütten kann noch heute zu deutlichen Schadstoffeinträgen in die Umwelt führen, relevant sind vor allem Arsen, Cadmium und Zink. Neben der 1991 zur Altlast erklärten Kupferhütte *Richelsdorf* wurden auch in *Biebergemünd* Stoffausträge aus einem ehemals bedeutenden Bergrevier im Spessart nachgewiesen. Im Altlasten-annual 2018 wurde die Altlastensituation in Biebergemünd bereits vorgestellt. Es stellen sich neue Herausforderungen durch großräumig erhöhte Schadstoffgehalte und die Frage: Gibt es in Hessen weitere Hinterlassenschaften des Alterzbergbaus, die ein Gefahrenpotenzial darstellen?

Der Umgang mit PFC-Kontaminationen war, wie schon in den Vorjahren, ein Schwerpunkt bei unserem Seminar Altlasten und Schadensfälle, das diesmal in Wetzlar stattfand. Interessant ist, dass nicht nur die „altbekannten“ perfluorierten PFC, sondern auch die als Ersatzstoffe verwendeten polyfluorierten PFC weitreichende Umweltgefährdungen verursachen können. Die Vorträge zu diesem und weiteren interessanten Themen aus dem Altlastenbereich können Sie hier im vorliegenden Altlasten-annual nachlesen.

In der hessischen Altflächendatei sind heute ca. 106 000 Altablagerungen und Altstandorte erfasst. Im nächsten Jahr wird voraussichtlich eine größere Zahl zu nennen sein. Denn eine Kleine Anfrage im Hessischen Landtag hat verdeutlicht, dass zwar alle großen Städte und Gemeinden bereits die im Gemeindegebiet liegenden Altflächen erfasst haben, aber die meisten kleineren Gemeinden ihrer Verpflichtung zur Erfassung noch nicht nachgekommen sind. Anlass der Anfrage war ein Fall in einer mittelhessischen Gemeinde, wo sich für die Bauherren erst mit Beginn der Aushubarbeiten herausstellte, dass es sich bei dem vermeintlich unbelasteten Grundstück um eine kontaminierte Altlast handelte. So wurde die Gemeinde verklagt, weil sie ihrer gesetzlichen Verpflichtung, vorliegende Informationen zur Altlastensituation eines Baugrundstücks zu melden, nicht nachgekommen war. Der positive Effekt dabei: In den letzten Monaten treffen zahlreiche Anfragen von Gemeinden ein, wie die Informationslücken in der Altflächendatei zu schließen seien. Mit dem vom Land zur Verfügung gestellten Programm DATUS online kann geholfen werden, hierzu erschien ein ausführlicher Beitrag im Altlasten-annual 2018.

Ich hoffe, die im Altlasten-annual ausgewählten Themen finden Ihr Interesse. So wünsche ich Ihnen eine spannende Lektüre und bedanke mich bei allen, die zum Gelingen dieser Ausgabe beigetragen haben.

A handwritten signature in black ink that reads "Thomas Schmid". The signature is fluid and cursive, with a large initial 'T'.

Prof. Dr. Thomas Schmid

Präsident des Hessischen Landesamtes für
Naturschutz, Umwelt und Geologie

Stand der Altlastenbearbeitung in Hessen

VOLKER ZEISBERGER

Die Abwehr von Gefahren für Mensch und Umwelt steht im Fokus der Altlastenbearbeitung. Dabei haben die beiden Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Grundwasser die größte Bedeutung. Oftmals steht der letztgenannte Pfad im Vordergrund, denn die typischen altlastenrelevanten Schadstoffe führen in der Mehrzahl der Schadensfälle auch zu Grundwasserverunreinigungen.

Neben dem Wirkungspfad Boden-Grundwasser stellt sich insbesondere bei bewohnten Altlasten und bei Kleingartenanlagen auf kontaminierten Flächen die Frage, in welchem Umfang Bewohner und andere Nutzer mit schadstoffbelasteten Böden in Kontakt kommen. Dabei wird insbesondere spielenden Kindern ein hoher Schutzstatus zugesprochen. In der aktuellen Ausgabe des Altlasten-annuals bilden daher Untersuchungen und Bewertungen hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Mensch einen besonderen Schwerpunkt.

Auch in Gebäuden können flüchtige Schadstoffe über den Pfad Boden-Bodenluft-Raumluft zu einer Gefährdung von Menschen führen. Nähere Informationen zu diesem Thema finden Sie im Artikel „Raumluftbelastungen am Rüstungsaltsstandort der DAG Stadtallendorf“ auf S. 33.

Insbesondere in Gebieten mit erhöhter flächenhafter Hintergrundbelastung von Schadstoffen stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß Schadstoffe im Körper

aufgenommen (resorbiert) bzw. als nicht-resorbierbarer Anteil rasch wieder ausgeschieden werden. Um die Resorptionsverfügbarkeit von Schadstoffen abschätzen zu können, wurden in Sachsen umfangreiche Untersuchungen basierend auf der DIN 19738 „Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen in Böden und Bodenmaterialien“ durchgeführt. Ergebnisse der sächsischen Untersuchungen sind im Artikel „Auswertungen zur Resorptionsverfügbarkeit bei großflächigen Bodenbelastungen in Sachsen“ auf S. 79 dargestellt.

Die hier gewonnenen Erkenntnisse können auch bei hessischen Standorten mit historischem Erzbergbau berücksichtigt werden. Einen ersten Überblick über den historischen Erzbergbau in Hessen gibt der Artikel „Alterzbergbau in Hessen – Bergbaufolgelandschaften und Stoffausträge“ auf S. 11.

Auf Bundesebene steht eine Arbeitshilfe der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) zum Thema „Expositionsabschätzung innerhalb der Detailuntersuchung“ kurz vor der Veröffentlichung. Bei der Expositionsabschätzung gilt es zu ermitteln, mit welchen Mengen eines Schadstoffes ein Mensch unter den Umständen des betrachteten Einzelfalls in Kontakt kommt. Neben dem sogenannten „Direktpfad“ (Pfad Boden-Mensch) kann auch der Pfad Boden-Nutzpflanze-Mensch von Bedeutung sein.

Schadstoffbewertung und Analytik

Seit einigen Jahren arbeitet das HLNUG im **ALA-Gesprächskreis „Schadstoffbewertung“** mit. Der Gesprächskreis hat den Auftrag, **länderübergreifende Prüfwerte und Bewertungshilfen** bei der Altlastenbearbeitung zu entwickeln.

Das Projekt B3.16 des Länderfinanzierungsprogramms „Prüfung von Datenquellen zur humantoxikologischen Wirkung kurzkettiger Alkylphenole (SCAP) und NSO-Heterozyklen (NSO-HET)“ konnte erfolgreich zum Abschluss gebracht werden. Der

entsprechende Abschlussbericht steht auf der Homepage des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“ zum Download zur Verfügung.

Des Weiteren befindet sich – ebenfalls im Rahmen eines LFP-Projekts – eine Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung in Arbeit. Hierbei werden die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze betrachtet.



Im Bereich der Analytik engagierte sich das HLNUG auch 2019 im DIN-Arbeitskreis NA 119-01-02-02-05 (AK 5 „**Organische Analytik**“), in dem aktuelle DIN-Normen geprüft und der Sachstand nationaler und internationaler Normungsvorhaben diskutiert wird. Die Sitzung des AK findet in der Regel einmal pro Jahr statt. Auf Initiative des HLNUG wurde im Arbeitskreis ein Projekt zur Vereinheitlichung der

Vorgehensweise bei dem in den Laboren häufig angewandten Verfahren zum „GC-MS-Screening von Feststoffen“ ins Leben gerufen. Nach intensiver Vorarbeit ist das Dokument im Entwurf fertiggestellt und soll Anfang 2020 durch eine Vergleichsuntersuchung auf seine Anwendbarkeit in der Praxis und Validität getestet werden. Das Dokument soll nach Fertigstellung entweder als Norm oder als Technische Richtlinie erscheinen.



Derzeit betreut das HLNUG in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl Aquatische Ökotoxikologie der Goethe Universität in Frankfurt eine Masterarbeit zur Aussagekraft des Leuchtbakterienhemmtests für die Altlastenbearbeitung. Die Ergebnisse sollen in die geplante Überarbeitung des Handbuch Altlasten Band 3 Teil 8 „Ökotoxikologische Verfahren als Bewertungshilfe bei Altlastenverfahren“ einfließen.

Sachverständige und Untersuchungsstellen

Das **Recherchesystem ReSyMeSa** ist ein wichtiges Instrument bei der Bekanntgabe von Untersuchungsstellen (Messstellen) und Sachverständigen im gesetzlich geregelten Umweltbereich. Das HLNUG hat in den Jahren von 2012 bis 2018 im Auftrag des ALA die fachliche Verantwortung für den Bereich Boden und Altlasten in der Projektgruppe ReSyMeSa übernommen und war damit Ansprechpartner für die fachlichen Belange des Systems im Bereich Boden und Altlasten bei der **Bekanntgabe von Untersuchungsstellen und**

Sachverständigen nach § 18 Bundes-Bodenschutzgesetz.

Die Betreuung des Moduls Boden/Altlasten in ReSyMeSa wird ab Anfang 2019 von LANUV NRW übernommen.

Im Juli 2013 ist die Systembetreuung (Betreuung der Web-Anwendung) von ReSyMeSa an das Land Hessen übergegangen. Die Aufgabe wird vom HLNUG in Kassel wahrgenommen.

Altflächendatei

Die Altflächendatei des Landes Hessen ist Teil eines Bodeninformationssystems. Sie wird wie gesetzlich vorgeschrieben vom HLNUG in Zusammenarbeit mit den Regierungspräsidien als obere Bodenschutzbehörden und den Landkreisen und kreisfreien Städten als untere Bodenschutzbehörden geführt.

Der zentrale Bestandteil der Altflächendatei ist das Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle (FIS AG). Die Datenbank von FIS AG

enthält Lagedaten und weitere Informationen zu Flächen. Bei den Flächen kann es sich um Altstandorte, Altablagerungen, Grundwasserschadensfälle oder sonstige schädliche Bodenveränderungen handeln. Als weitere Informationen werden z. B. Daten zu Betrieben, Ablagerungen, Nutzungen, Untersuchungen, Messstellen, Probennahmen und Analysen verarbeitet. Zurzeit sind Informationen zu ca. 106 000 Standorten in Hessen erfasst.

Die Quantität und Qualität der Datenbankinhalte hängt nicht zuletzt vom intensiven Austausch zwischen dem HLNUG und den Kommunen ab. Die Städte und Gemeinden, aber auch die Sanierungspflichtigen, sind gefordert ihre Erkenntnisse zu Altstandorten und Sanierungsmaßnahmen regelmäßig über das Datenübertragungssystem DATUS an das HLNUG zu liefern. Zur Unterstützung stellt das Land Hessen kostenlos ein Programm zur Verfügung, DATUS online. DATUS online hat eine anwenderfreundliche Oberfläche zur Erfassung der Daten und ermöglicht zudem den geforderten digitalen Versand

der außerhalb des Hessennetzes erfassten Daten zu der zentralen landesweiten Altflächendatei FIS AG.

Leider gibt es immer noch viele Städte und Gemeinden, die sich an der regelmäßigen Datenerfassung nicht beteiligen und damit ihrer gesetzlichen Verpflichtung nicht nachkommen. Allerdings ist die Zahl der DATUS-Nutzer seit Mitte 2019 erfreulicherweise stark angestiegen. Auf der Internetseite des HLNUG und auch per E-Mail steht den Mitarbeitern der Städte und Gemeinden umfangreiche Unterstützung zur Verfügung.

Alterzbergbau in Hessen - Bergbaufolgelandschaften und Stoffausträge

MATTHIAS ADAM

1 Einleitung

Der Begriff Bergbaufolgelandschaften wird oft mit großen deutschen Kohlerevieren in Nordrhein-Westfalen und Ostdeutschland in Verbindung gebracht. Dass der Bergbau auch in einigen Regionen Hessens landschaftsprägend war, gerät aufgrund jahrzehntelanger Überprägung ehemaliger Bergbaulandschaften häufig in Vergessenheit.

Bereits in vorchristlicher Zeit wurde in den Mittelgebirgsregionen Hessens Bergbau betrieben. An vielen Orten wurden zunächst noch sehr kleinräumig Erze gefördert, aufbereitet und verhüttet. Mit zunehmenden Fortschritt der Gewinnungs- und Verarbeitungstechniken ab dem 17. Jahrhundert vergrößerten sich die Produktionsstätten zunehmend und führten in einigen Regionen zu einer deutlichen Landschaftsprägung.

Insbesondere durch den im Erzbergbau langanhaltenden Umgang mit potenziell bodenverunreinigenden Stoffen kann es in Abhängigkeit der Rohstoffe sowie Art und Intensität der bergbaulichen Abbau-, Verarbeitungs- und Verhüttungsprozesse in und außerhalb der ehemaligen Betriebsgelände zu deutlichen Schadstoffeinträgen in Böden und Gewässer kommen.

Hierzu zählen die Hinterlassenschaften aus dem Alterzbergbau und vor allem aus dem Buntmetallbergbau, der in Hessen z. T. seit dem Mittelalter in den Regionen Lahn-Dill, Spessart, Richelsdorfer Gebirge, Waldeck-Frankenberg und Odenwald eine bedeutende Rolle gespielt hat.

2 Bergbaubedingte Stoffausträge

Ausbreitung und Anreicherung bergbaubedingter Schadstoffe sind abhängig vom örtlichen Mineralbestand sowie der jeweils angewandten Montantechnik. Entsprechend der lokalen Bergbaugeschichte können vom Mittelalter bis zum industriellen Bergbau verschiedene Bergbauepochen mit unterschiedlichen Abbau- und Aufbereitungstechniken differenziert werden. Ein Großteil der Ausbreitung und Anreicherung von Gefahrstoffen (insb. Schwermetallen und Arsen) wird in Bergbauregionen durch Waschabgänge der Erzaufbereitung aus Nasspochwerken hervorgerufen. Der schadstoffangereicherte Schlamm gelangte so in die Vorfluter und in die Auen.

Gefahren können auch von Halden der Erzaufbereitung ausgehen, wenn diese verweht, verlagert, umgelagert oder ausgewaschen werden. In Abhängigkeit

der Standortfaktoren und des Schadstoffpotenzials können z. B. kontaminierte Haldensickerwässer und Grubenwässer eine Gefahr für Oberflächen- und Grundwässer darstellen.

Durch atmogene Verbreitung des sog. Hüttenrauchs und durch Bodenverlagerungen können Schwermetallanreicherungen in einer Bergbauregion auch diffus verteilt sein. Während sich der Hüttenrauch im nahen Umfeld der Hütten (Hauptwindrichtung) absetzt, ist eine historische Verlagerung von belastetem Abraum- oder Bodenmaterial (z. B. im Zuge von Baumaßnahmen) häufig nur schwer zu rekonstruieren.

Durch langanhaltende bergbauliche Nutzung und den entsprechenden Verlagerungsprozessen werden, neben den eigentlichen bergbaulichen Altstandorten,

insbesondere auch landwirtschaftlich genutzte Flächen in den Auen sowie Siedlungsflächen beeinträchtigt.

Schadstoffanreicherungen können somit erhebliche Auswirkungen auf die Nutzung der Flächen haben. Insbesondere sensibel genutzte Bereiche wie Spielplätze, Wohngebiete mit Gartenanlagen, Kleingärten und landwirtschaftliche Flächen sind daher im Rah-

men einer Wirkungspfadbezogenen Untersuchung nach Möglichkeit im Einzelfall zu prüfen, so dass bei Bedarf entsprechende Maßnahmen (Sicherungs- oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen) abgeleitet werden können. Darüber hinaus besteht in belasteten Gebieten ein erheblicher Aufwand zur Entsorgung von belastetem Bodenaushub sowie eine mögliche Wertminderung von Immobilien.

3 Aktuelle Beispiele in Hessen

Derzeit werden in Hessen zwei Alterzbergbau-Standorte altlastentechnisch bearbeitet: Die Untersuchung und Sanierung des ehem. Kupferhüttenstandortes Richelsdorfer Hütte sowie die Untersuchung des ehem. Bergbaureviers Bieber in der Gemeinde Biebergemünd. Die Bearbeitung beider Standorte wurde von der zuständigen Bodenschutzbehörde an die HIM-ASG übertragen.

Der Bergbau im Richelsdorfer Gebirge wurde erstmals im Jahr 1460 urkundlich erwähnt und hatte als Standort der Kupfer- und Kobalterzverhüttung bis Ende des 19. Jh. überregionale Bedeutung. Anschließend wurde die Richelsdorfer Hütte in eine Spatmühle umgebaut. Produktionsrückstände aus der Erzverhüttung und der Weißpigmentproduktion führten zu hohen Boden- und Grundwasserbelastungen durch Arsen, Cadmium und Zink. Während die Richelsdorfer Hütte mit Arsen- und Schwermetallbelastungen des Bodens und des Grundwassers

schon im Jahr 1991 zur Altlast erklärt wurde und seitdem eine hydraulische Sicherung sowie umfangreiche Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen laufen, ist das ehem. Bergbaurevier in Biebergemünd im Rahmen eines HLNUG-Auenprojektes im Jahr 2016, in dessen Verlauf erhöhte Arsen- und Schwermetallkonzentrationen in Auenböden nachgewiesen wurden, in den Fokus gerückt. Auch der Bergbau in Bieber ist seit dem Mittelalter belegt und war in seiner Blütezeit Mitte des 18. Jh. mit dem Abbau von Kupferschiefer und Kobalterzen das bedeutendste Bergrevier im Spessart. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist davon auszugehen, dass in Biebergemünd durch Anreicherung insb. von Arsen und Blei in die Auen der Bieber und des Schwarzbaches großräumige erhöhte Schadstoffgehalte vorliegen. Derzeit werden in Biebergemünd weitere Untersuchungsmaßnahmen zur Gefährdungsabschätzung der in Böden festgestellten Belastungen durchgeführt.

4 Großräumig erhöhte Schadstoffgehalte (GES)

Liegen großräumig erhöhte Schadstoffgehalte (GES) vor, ist aufgrund der hohen Anzahl an unterschiedlich genutzten Grundstücken und Betroffenen eine grundstückbezogene (Einzelfall-) Bewertung oftmals nicht umsetzbar. Auch Dekontaminationsmaßnahmen sind auf diesen Gebieten häufig unverhältnismäßig. Somit wird für entsprechende Gebiete in der Regel eine gebietsbezogene Vorgehensweise bevorzugt.

Die landesrechtliche Grundlage dafür ist im § 21 Abs.3 BBodSchG [1] aufgeführt, in dem es heißt:

„Die Länder können... Gebiete, in denen flächenhaft schädliche Bodenveränderungen auftreten oder zu erwarten sind, und die dort zu ergreifenden Maßnahmen bestimmen sowie weitere Regelungen über gebietsbezogene Maßnahmen des Bodenschutzes treffen.“

Gemäß § 12 Abs. 10 BBodSchV [2] kann die zuständige Bodenschutzbehörde entsprechende Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten festlegen sowie Abweichungen für Regeluntersuchungspflichten zulassen und gebietsbezogene Beurteilungswerte angeben:

„In Gebieten mit erhöhten Schadstoffgehalten in Böden ist eine Verlagerung von Bodenmaterial innerhalb des Gebietes zulässig, wenn die ... Bodenfunktionen nicht zusätzlich beeinträchtigt werden und insbesondere die Schadstoffsituation am Ort des Aufbringens nicht nachteilig verändert wird. Die Gebiete erhöhter Schadstoffgehalte können von der zuständigen Behörde festgelegt werden...“

Für die Festlegung eines sog. Bodenplanungsgebietes müssen zunächst belastbare Daten der großräumigen Schadstoffbelastung und der Gebietsabgrenzung zu unbelasteten Bereichen vorliegen. Die großflächige Belastungssituation sollte möglichst aussagekräftig skizziert werden.

Hierzu liegen entsprechende Arbeitshilfen und Leitfäden vor [4] bis [11]. Abhängig von der Lage großräumiger Belastungen (Siedlungsbereiche, Auenbereiche, etc.) sind dabei unterschiedliche Schwerpunkte bei der räumlichen Darstellung der stofflichen Bodenbelastungen zu berücksichtigen.

Insbesondere bei durch den Altbergbau hervorgerufenen Bodenbelastungen in den Bach- und Flussauen liegt häufig eine deutlich heterogene Schadstoffverteilung vor. Daher ist es notwendig entsprechend der topografischen, hydrologischen und stofflichen Einflussfaktoren Raumeinheiten zu bilden und repräsentativ zu beproben.

Gemäß [11] sind insbesondere die folgenden Faktoren von Bedeutung: Gefälle, Fließgeschwindigkeit, Überschwemmungseinflüsse, Sedimentationsverhalten, relative Geländehöhe über dem Gewässer und Bodenartenhauptgruppe. Weitere Faktoren (wie z. B. Landnutzung, Aufschüttung, etc.) können bei Bedarf Berücksichtigung finden. Entweder wird das Untersuchungsgebiet hierfür in Flussabschnitte geteilt oder es werden weitere Raumeinheiten gebildet. Die validierten Untersuchungsergebnisse werden anschließend mit den vorläufigen Raumeinheiten abgeglichen. Jede Raumeinheit sollte durch eine möglichst homogene Schadstoffverteilung gekennzeichnet sein. Bei hoher Variabilität der Messwerte können Raumeinheiten entsprechend angepasst bzw. geteilt werden. Bei Bedarf kann das Messnetz durch weitere Probennahmen verdichtet werden.

Ziel ist eine möglichst homogene Datenbasis zu erhalten, um eine wirkungspfadbezogene Bewertung durchzuführen und anschließend Regelungen für eine gebietsbezogene Vorgehensweise festzulegen.

5 Landesweite Erfassung und Bewertung von altlastenverdächtigen Flächen im Bereich Alterzbergbau - Historische Erkundung und Gefahrenermittlung

Ob in Hessen neben den Schadstoffbelastungen des Alterzbergbaus in Richelsdorf und Biebergsmünd weitere Bergbaureviere ein altlastenrelevantes Gefahrenpotential aufweisen, wird derzeit vom HLNUG im Rahmen einer landesweiten Erfassung und Bewertung von altlastenverdächtigen Flächen im Bereich Alterzbergbau geprüft. Hierfür werden zunächst Standorte und Reviere des Alterzbergbaus erfasst und auf Altlastenrelevanz geprüft.

Im Vergleich zu „jungen“ Altstandorten stellen historische Bergbauaktivitäten aufgrund des hohen Alters

besondere Herausforderungen an eine historische Aufarbeitung. Diese ist aufgrund der z. T. bis in das Mittelalter zurückreichenden Historie ehem. Bergbaustandorte sehr stark von der Quellenlage, dem Zugang zu Archivalien sowie den Möglichkeiten zur Auswertung von Archivgut abhängig. Die Ausweisung potenzieller Verdachtsflächen wird somit insbesondere durch Auswertung historischer Dokumente, Karten, Fotos, Risswerke und zeitgenössischer Berichte erreicht (s. Beispiel Abb.).

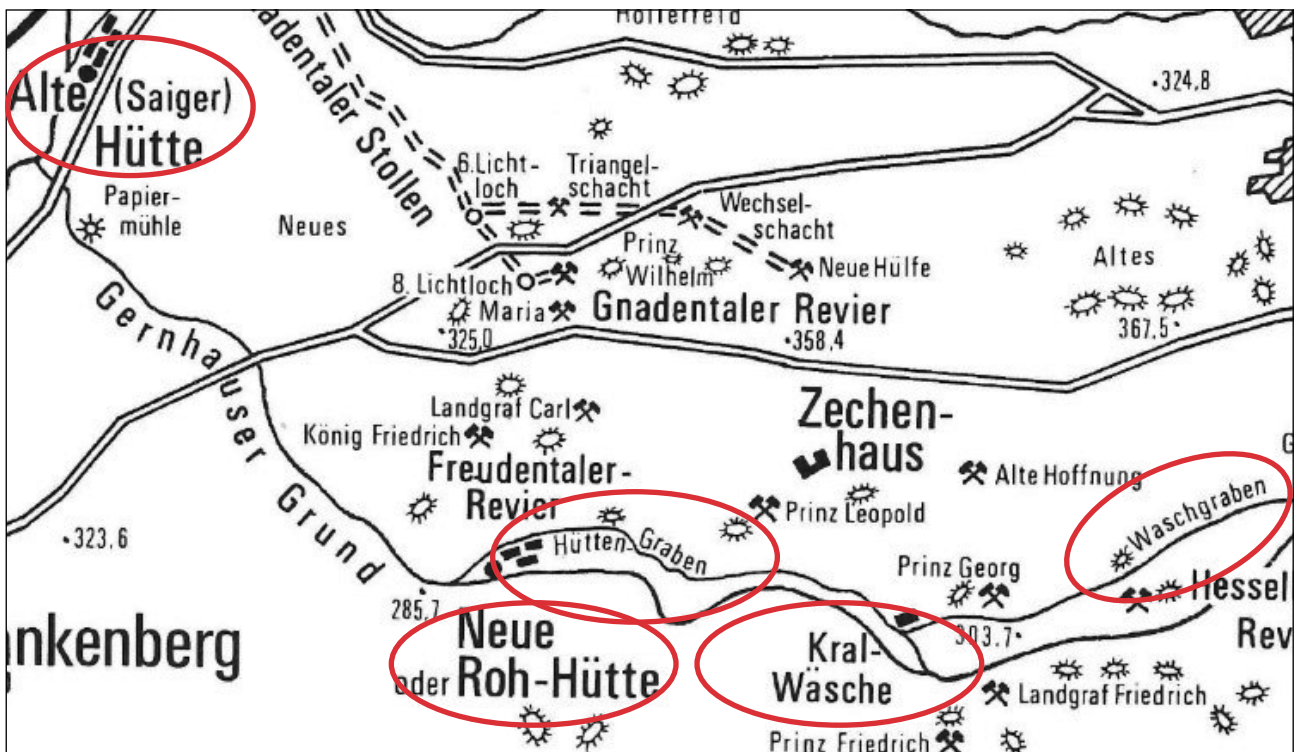


Abb. 1: Der ehemalige Bergbau bei Frankenberg [12] (Beispiel für potenziell altlastenrelevante Verdachtsflächen)

Insbesondere bei großflächigen Untersuchungsgebieten, auf denen deutliche Eingriffe in die Oberflächenmorphologie stattfanden, können auch mit der Auswertung von digitalen Geländemodellen (DGM) wichtige Erkenntnisse zu altlastenrelevanten Bergbaustrukturen gewonnen werden.

Zur Validierung der erfassten Bergbaustandorte werden die gewonnen Erkenntnisse mit den folgenden Standortinformationen abgeglichen:

- Geologische, pedologische und hydrogeologische Standortsituation
- gewonnene Metalle/Begleitminerale, Abfallprodukte
- Hintergrundkonzentrationen
- Flächennutzung, Schutzgüter

Sind die rohstoffgeologischen und bergbautechnischen Voraussetzungen gegeben und weist die Standortsituation auf eine potenzielle Gefährdung von Schutzgütern hin, wird im Rahmen einer Gefährdungsabschätzung eine Priorisierung weiterer Maßnahmen (Orientierende Untersuchungen) erfolgen.

Literatur

- [1] Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt geändert durch Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465, 3505) m. W. v. 03.10.2017
- [2] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999; BGBl. I, S.1554 zuletzt geändert durch Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474, 1491) m. W. v. 08.09.2015
- [3] LABO in Zusammenarbeit mit LAB, LAGA und LAWA (2002): LABO-Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV: Vollzugshilfe zu den Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden (§ 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlasten-verordnung). Bund-Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) unter Einbe-ziehung der Länderarbeitsgemeinschaften Abfall (LAGA) und Wasser (LAWA) sowie des Länderausschusses Bergbau (LAB), Stand 11.9.2002
- [4] LUA NRW (2001): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten. Teil I: Außenbereiche. – LUA-Merkblatt Nr. 24, Essen.
- [5] Umweltbundesamt (2003): Kennzeichnung von Gebieten mit großflächig siedlungs-bedingt erhöhten Schadstoffgehalten im Boden, Texte 10/05, Berlin.
- [6] LUA NRW (2006): Anleitung zur Ermittlung und Abgrenzung von Gebieten mit erhöhte Schadstoffgehalten in Böden (GE-Anleitung). Merkblatt 57, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Essen.
- [7] LfUG Sachsen (2006): Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des Bodenschutz-rechtes in Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten; Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.), Dresden.
- [8] LANUV (2007): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten, Teil II: Siedlungsbereiche, LANUV-Arbeitsblatt 1, Landesamt für Natur Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Recklinghausen.
- [9] LfUG (2007): Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten zur flächenhaften Darstellung und Beurteilung von Schadstoffen in sächsischen Böden, Leitfaden, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.), Dresden.
- [10] LUBW (2011): Arbeitshilfe zum Umgang mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten im Boden, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.), Karlsruhe.
- [11] LANUV NRW (2011): Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten. Teil III: Erfassung von Umgang mit überschwemmungsbedingten Belastungsbereichen. – LANUV-Arbeitsblatt 17, Recklinghausen.
- [12] SLOTTA, R. (1985): Technische Denkmäler der Bundesrepublik Deutschland – Der Metallbergbau Teil 1. Band 4/1. Deutsches Bergbaumuseum Bochum, Bochum.

Historische Erkundung und Untersuchung von Öl- und Bohrschlammgruben im hessischen Oberrheingraben

J. SCHROTH, S. FEISTHAUER, K. FRIEDRICH, J.G. FRITSCHKE & H. THIEMEYER

1 Einleitung

Ab den 1950er Jahren begann man in Hessen umfangreiche Explorationen zu Erdöl- und Erdgasvorkommen durchzuführen (WIRTH 1962). 1952 wurde bei Stockstadt am Rhein im hessischen Ried dann eines der größten Ölfelder in Hessen erschlossen (SCHÜBLER 2004), woraufhin fast im gesamten hessischen Oberrheingraben Tiefbohrungen durchgeführt wurden, um Kohlenwasserstoffe zu fördern (STRAUB 1962).

Damals wie heute fallen bei Bohrungen nach Kohlenwasserstoffen mit dem Rotary-Bohrverfahren sogenannte Bohrschlämme an. In der Vergangenheit wurden diese meist in einfachen Gruben in der Nähe der Bohrungspunkte abgelagert. Neben Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) kann der abgelagerte Bohrschlamm auch in den Bohrspülungen verwen-

dete chemische Additive enthalten (ENGESER et al. 2015).

Nach umfangreichen Untersuchungen in Niedersachsen und Schleswig-Holstein (LBEG 2017, LLUR 2017) wurde in einer kleinen Anfrage nach dem Vorkommen und Zustand von Bohrschlammgruben in Hessen gefragt (Hessischer Landtag 2016). Daraufhin fanden erste Archivrecherchen durch die hessische Bergaufsicht statt (SCHORN 2014).

Im Rahmen einer Masterarbeit wurde 2018 eine flächendeckende historische Erkundung zur Verortung und Zustandsbewertung von Bohrschlammgruben in Hessen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Arbeit werden in diesem Artikel zusammengefasst dargestellt.

2 Grundlagen

Trotz umfangreicher Erdöl- und Erdgasförderung in der Vergangenheit gibt es bisher nur wenige Hinweise auf die Anlage und den Betrieb von Öl- und Bohrschlammgruben (WIRTH 1962, STRAUB 1962, HLNUG 2018b). Die Vermutung liegt jedoch nahe, dass es

auch in Hessen zur Anlage mehrerer Öl- und Bohrschlammgruben kam. Zum besseren Verständnis soll im Folgenden zunächst die Anlage der Gruben und die damit zusammenhängende Rotary-Bohrmethode näher erläutert werden.

2.1 Öl- und Bohrschlammgruben

Bei den sogenannten Öl- und Bohrschlammgruben handelt es sich um einfache Gruben zur Ablagerung von Bohrschlämmen, die bei Tiefbohrungen nach Kohlenwasserstoffen wie Erdöl und Erdgas anfielen (ENGESER et al. 2015). Die Gruben wurden meist nahe von Bohrungsstandorten angelegt (ENGESER et al. 2015) oder es wurden bereits vorhandene, ehemalige Sand- oder Kiesgruben genutzt. Die Einleitung von

Bohrschlämmen in solche Gruben fand unter Aufsicht der zuständigen Bergämter statt. Ab den 1960er Jahren wurden von der Bohrindustrie zentrale Bohrschlammdeponien angelegt. Diese Sammelgruben enthielten Bohrschlämme von vielen verschiedenen Bohrungen und konnten ein Volumen von mehreren tausend Kubikmetern umfassen. Sie mussten behördlich genehmigt werden und wurden aus der Bergauf-

sicht erst entlassen, wenn keine Gefahr mehr von ihnen ausgehen konnte (RWE Dea AG 2010). Zum Teil wurden in Schlammgruben auch Siedlungs- und Gewerbeabfälle entsorgt. Je nach Stoffzusammensetzung können nach ENGESER et al. (2015) drei unterschiedliche Grubenkategorien definiert werden:

Bohrschlammgruben enthalten hauptsächlich Bohrschlamm, der aus nicht wiederverwertbaren Bohrspülungen, Bohrklein und Bohrspülungsresten zusammengesetzt ist. Je nach Zusammensetzung der Bohrspülungen können in den Gruben auch Spülungschemikalien enthalten sein. Bohrschlammgruben enthalten in der Regel keinen oder nur gering (< 5%) mineralöhlhaltigen Bohrschlamm.

Ölschlammgruben wurden zur Zwischenlagerung von Öl oder ölhaltigen Rückständen aus der Exploration oder Produktion von Erdöl und Erdgas angelegt.

Mischgruben enthalten neben Öl- und Bohrschlamm auch Siedlungs- oder Gewerbeabfälle.

In einigen Plänen taucht zusätzlich der Begriff der **Spülungsgrube** auf. Diese wurden nachweislich bis in die 1980er Jahre hinein angelegt (Archiv-Nr.: 6117/732, HLNUG 2018c). Die meist kleineren Gruben wurden in direkter Nähe zum Bohrloch angelegt und dienten als Aufbewahrungs- und Absetzbecken für die im Kreislauf gefahrenen Bohrspülungen (CAMBEFORT 1964, NONNENMACHER 1954). Heute werden die Spülungen in einem geschlossenen Kreislauf über Container mit Filter- und Absetzanlagen gefahren, sodass das Anlegen von Erdgruben zu diesem Zweck nicht mehr notwendig ist (BUJA 2012).

Nach dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR 2017) ist für die potentiell von Bohrschlämmen ausgehende Umweltgefahr vor allem relevant, ob diese ölhaltig sind. Dies ist der Fall, wenn ölbasierte Spülungen zum Einsatz kamen, wenn bei erdölfündigen Bohrungen erdöhlhaltiges Bohrklein gefördert oder ölhaltige Abfälle aus anderer Herkunft in den Gruben abgelagert wurden.

2.2 Rotary-Bohrverfahren und Bohrspülungen

Damals wie heute wird für Tiefbohrungen wie nach Erdöl und Erdgas das sogenannte Rotary-Bohrverfahren angewendet (FRICKE 1954, NONNENMACHER 1954, TECKLENBURG 1914, BUJA 2012). Nach NONNENMACHER (1954) war das Rotarybohren auch in den 1950er

Jahren die gebräuchlichste Bohrmethode, weshalb diese vermutlich auch in Hessen bei Kohlenwasserstoffbohrungen zu dieser Zeit zur Anwendung kam (Abb. 1).

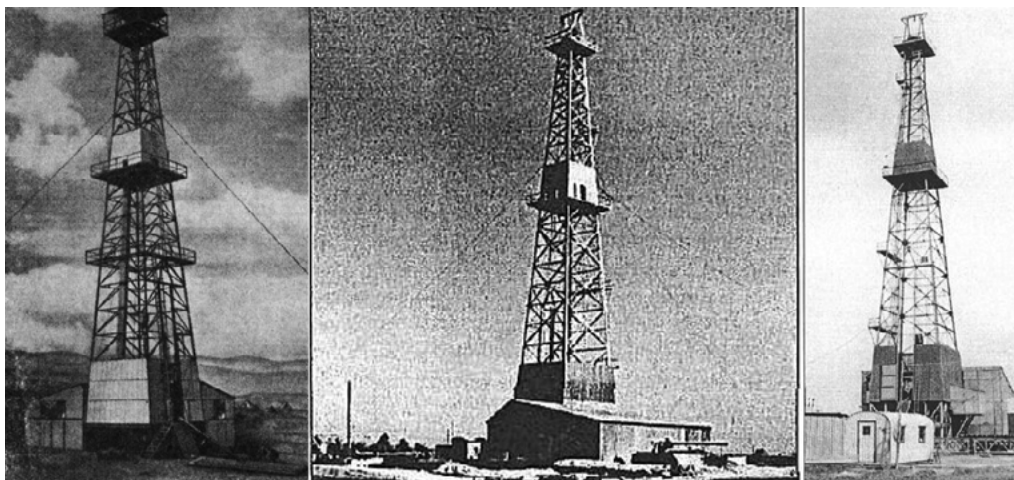


Abb. 1: Links: Schema einer Rotary-Bohranlage (NONNENMACHER 1954), Mitte: Bohranlage der Gewerkschaft Elwerath 1953 (SCHÜßLER 2004), rechts: Bohranlage der Gewerkschaft Elwerath 1961 (SCHÜßLER 2004)

Der Einsatz von Bohrspülungen gehört zu den wichtigsten Merkmalen des Rotary-Bohrverfahrens. Neben der Säuberung des Bohrlochs und dem Transport der erbohrten Gesteinspartikel nach oben müssen Bohrspülungen eine Reihe weiterer Funktionen wie die Kühlung des Bohrmeißels und die Aufrechterhaltung des Formationsdrucks im Bohrloch erfüllen (BUJA 2012, NONNENMACHER 1954). Als Bohrspülungen werden fließfähige Suspensionen bezeichnet, die während des Bohrvorgangs im Bohrloch zirkulieren und aus einer flüssigen Phase (Wasser oder Öl) und einer Feststoffphase (Tone, Beschwerungsmittel, Bohrklein) bestehen (ENGESER et al. 2015, BUJA 2012).

Je nach bohrtechnischer Anforderung werden den Spülungen, heute und auch damals, verschiedene natürliche und chemische Additive hinzugegeben, um ihre Eigenschaften an die örtlichen Gegebenheiten anzupassen (ENGESER et al. 2015, NONNENMACHER 1954). Die Zusammensetzung der Additive hat sich nach ENGESER et al. (2015) in der Anwendungsphase von Bohrschlammgruben kaum verändert.

Wasserbasierte Spülungen

Die am meisten angewendeten Bohrspülungen sind und waren **Tonspülungen** auf Wasserbasis, wobei in der Regel Bentonite als Tone eingesetzt werden (ENGESER et al. 2015, BUJA 2012, NONNENMACHER 1954, ALLIQUANDER 1968). Ende der 1960 verwendete man vermehrt feststofffreie Spülungen aus Wasser und Polymeren (ENGESER et al. 2015, BUJA 2012, ALLIQUANDER 1968). Zudem kamen in den 1960er Jahren Polymere zur Aufbereitung der Bohrspülungen zum Einsatz (ALLIQUANDER 1968).

Neben Tonen zur Einstellung des Fließverhaltens werden und wurden den Spülungen eine Reihe anderer Additive zugesetzt. Eine Übersicht der häufig verwendeten Spülungsadditive wasserbasierter Spülungen ist in Tabelle 1 dargestellt. NONNENMACHER (1954) beschreibt Ton, Baryt, Tixoton, Naphtenseife, Salz, Soda, Kalk und Glyzerin als gängige Zusatzstoffe, weshalb diese in Bohrschlammgruben aus dieser Zeit zu erwarten sein könnten.

Tab. 1: Übersicht der häufig verwendeten Spülungsadditive wasserbasierter Bohrspülungen (ENGESER et al. 2015)

Gruppe/Funktion	chemische Komponente
Einstellung des Fließverhaltens, Einstellung des Filtrationsverhaltens (Filterkuchenbildung)	Bentonit, Attapulgit, Sepiolith, MgO, Kieselsäure
Polymere (Schuttkolloide und Einstellung des Fließverhaltens)	Stärke, Carboxylmethylcellulose, PAC, Polyacrylamide, Vinylsulfonat/Vinylamid u. a.
Beschwerungsmittel	BaSO ₄ , Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , Pb ₃ O ₄ , FeTiO ₃
Verflüssiger	Tannate, Phosphate, Lignosulfonate
Salze	NaCl, KCl, MgCl ₂ , CaCl ₂
Entschäumer	Polyalkohole, Silikone
Korrosionsinhibitoren	Amine
pH-Regulatoren	NaOH, KOH, Ca(OH) ₂ , Na ₂ CO ₃ , K ₂ CO ₃
abdichtende Stoffe	Sägemehl, Holzspäne, Torf, Nusschalen, Muschelschalen, Glimmer
Sauerstoffentferner	Na ₂ SO ₃
H ₂ S-Binder	Zn-Verbindungen
Biozide	

Ölbasierte Spülungen

Aufgrund der höheren Kosten werden und wurden Ölsplungen nach ENGESER et al. (2015) und BUJA (2012) nur bei bohrtechnischen Problemen angewendet. Auch ALLIQUANDER (1968) ordnet ölbasische Spülungen den Spezialsplungen zu, weshalb deren

Einsatz vermutlich nicht die Regel war. Allerdings empfiehlt NONNENMACHER (1954) in seinen allgemeinen Spülungsregeln, beim Erbohren von ölführenden Schichten eine Ölsplung zu verwenden, die sich im Wesentlichen aus Heizöl als flüssige Phase,

Kalk, Baryt oder Austernschalen als Beschwerungsmittel, Lampenruß als Binde- und Geliermittel und geblasenem Asphalt für die Auskleidung der Bohrlochwand zusammensetzt. So könnten in angeleg-

ten Bohrschlammgruben, insbesondere aus den 50er Jahren, durchaus auch Rückstände aus Ölspülungen enthalten sein.

2.3 Umweltrelevante Stoffe in Bohrschlämmen

Nicht von allen oben aufgeführten Zusatzstoffen geht auch ein potentiell Umweltisiko aus. Hauptsächlich sind die in Rohöl enthaltenen Kohlenwasserstoffe (KW), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und BTEX von besonderer Bedeutung für die potentielle Umweltgefahr von Bohrschlämmen. An Standorten, wo ausschließlich wasserbasierte Spülungen verwendet wurden und die zugehörige Bohrung außerdem nicht ölfündig war, sind Mineralöle voraussichtlich entweder gar nicht oder nur in sehr

geringen Mengen in Bohrschlämmen anzutreffen. Nur einige wenige Spülungsadditive (z. B. blei- oder chromhaltige Additive) werden ebenfalls als umweltgefährdend eingestuft. Der Einsatz von Additiven in Bohrspülungen erfolgte einzelfallbezogen nach Bedarf in geringen Mengen. Durch die Vermengung mit Bohrklein und Wasser entsteht zudem ein starker Verdünnungseffekt. Spülungsadditive sind aus diesem Grund wahrscheinlich nur in sehr geringen Konzentrationen in Bohrschlämmen enthalten (LLUR 2017).

3 Untersuchungsgebiet

Als Grundlage zur Abgrenzung des Untersuchungsgebiets diente die Kohlenwasserstoff-Datenbank des HLNUG (HLNUG 2018b). Da für die Untersuchungen nicht alle in Hessen durchgeführten Tiefbohrungen relevant waren, wurden nur ölfündige Bohrungen und Bohrungen mit KW-Anzeichen aus der Datenbank selektiert (siehe auch Kapitel 2.3 umweltrelevante Stoffe).

Die selektierten Bohrungen konzentrierten sich vollständig auf den Bereich des Oberrheingrabens (ORG) weshalb dieser als Untersuchungsgebiet ausgewählt wurde (Abb. 2).

Der ORG stellt neben dem Norddeutschen Flachland und dem Alpenvorland eines von drei großen KW-Produktionsgebieten in Deutschland dar. Er ist als tertiäres Senkungsfeld mit Bruchschollen charakterisiert, auf deren Hochschollen sowie antithetischen Brüchen sich KW-Felder entwickeln konnten (SIMON 1962). Im nördlichen Teil des ORG dienen hauptsächlich tertiäre Gesteine, wie der alttertiäre Rupel-Fischschiefer sowie Sandsteine des oberen Eozäns und die Pechelbronner Schichten (PbS) aus dem Altligozän als Mutter- bzw. Speichergesteine. Im südlichen Teil des Oberrheingrabens dominieren dagegen altjurassische Posidonienschiefer (REINHOLD et al. 2016).

Die oligozänen Pechelbronner Schichten stellen die wichtigsten Speichergesteine für Erdöl im nördlichen ORG dar (GAUPP/NICKEL 2001, MAUTHE et al. 1993), da ein Großteil der bekannten Ölvorkommen im hessischen ORG innerhalb dieser Schichten nachgewiesen wurde (STRAUB 1962). Erdgasführende Horizonte liegen dagegen vorwiegend in den Hydrobienschichten und vor allem im Jungtertiär (KUPFAHL et al. 1972, STRAUB 1962).

Die Böden im Untersuchungsgebiet unterscheiden sich in den naturräumlichen Hauptgruppen. Sie reichen von Auenböden in der stark durch Hochwasserereignisse geprägten nördlichen Oberrheinniederung über (Reliktgley-) Parabraunerden, Pararendzinen und Bänderparabraunerden in der hessischen Rheinebene zu Anmoorgleyen und Niedermooren in den Altneckarschleifen und alten Rheinschleifen (WEIDNER 1990).

Die Jahresniederschläge im nördlichen Oberrheingraben können bis zu 600 mm betragen. Zusammen mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von etwa 9,5 °C und nur geringen Geländehöhen um 100 m ü. NN stellt das Gebiet einen klimatischen Gunstraum dar (HLNUG 2013).

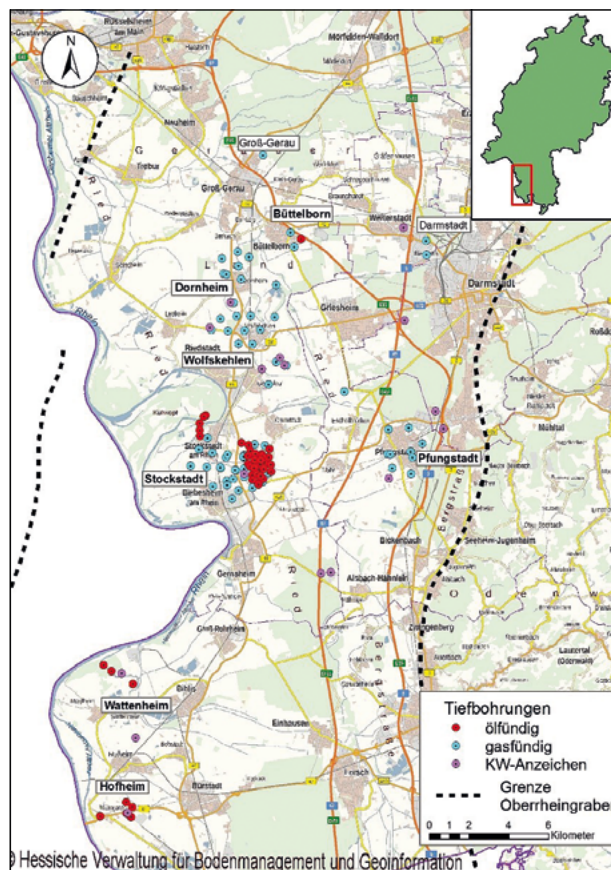


Abb. 2: Übersicht des Untersuchungsgebiets mit Darstellung der KW-Felder. Datengrundlage: © DTK 100 HVBG 2018a; KW-Datenbank HLNUG 2018b; STRAUB 1962, verändert

4 Methodik

Methodisch orientierte sich die Arbeit an den hessischen Hanbüchern zur Altlastenuntersuchung sowie den Erkenntnissen und Herangehensweisen der bereits durchgeführten Untersuchungen von Öl- und Bohrschlammgruben in Niedersachsen und Schleswig-Holstein (ENGESER et al. 2015, LLUR 2017, HLUG 2012).

Zur Ermittlung von Schlammgruben wurden sowohl Recherchen von Bohrakten und Gutachten, Anfragen bei den in Hessen tätigen Ölfirmen (bzw. deren Nachfolgern), multitemporale Auswertung von Luftbildern, Auswertungen von Bodenkarten und digitalen Geländemodellen als auch Untersuchungen im Gelände durchgeführt.

4.1 Auswertung von Bodenkarten und eines digitalen Geländemodells

Um Hinweise auf die Bodenverhältnisse im Bereich der ehemaligen Bohrplätze zu erhalten, wurden Bodenflächendaten für Hessen im Maßstab 1 : 25 000 (BFD25 Hessen) herangezogen. Diese wurden auf im Vergleich zur Umgebung abweichende Bodenverhältnisse im Bereich der Bohrplätze hin untersucht.

Um zusätzliche Hinweise auf potentielle Gruben zu erhalten, wurde als weitere Methode die Auswertung des digitalen Geländemodells (DGM) mit einer Rasterweite von 1 m hinzugezogen (HVBG 2015). Ziel dieser Auswertung war die Ausgliederung kleinster, im heutigen Mikorelief noch erkennbarer Vertiefungen im Bereich ehemaliger Schlammgruben.

4.2 Historische Luftbilder

Auf Grundlage der angegebenen Bohrzeiten (Kohlenwasserstoff-Datenbank von Hessen; HLNUG 2018b) wurden Luftbilder aus den Jahren vor als auch nach dem Zeitpunkt der Bohrungen in Form einer multitemporalen Luftbilddauswertung untersucht. Die Luftbilder stammen zum einen von einem WMS-Dienst der hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation. Dieser Kartendienst

beinhaltet für Hessen flächendeckend georeferenzierte Luftbilddaufnahmen aus den Jahren 1952–1967 (HVVG 2018b). Zum Anderen wurden digitale Luftbilddaufnahmen aus dem hessischen Luftbildarchiv bezogen. Die Luftbilder wurden monoskopisch am PC ausgewertet und auf Hinweise zu Schlammgruben analysiert.

4.3 Archivrecherchen

Um festzulegen, welche Flächen im Gelände näher untersucht werden sollten, wurde eine Prioritätenliste erstellt. Diese basierte auf Informationen, die aus den Bohrakten und Gutachten des geowissenschaftlichen Archivs des HLNUG sowie Akten der ehemaligen Bohrunternehmen (Deutsche Erdöl AG, Brigitta Elwerath Betriebsgesellschaft bzw. heutige ExxonMobilProduction) gewonnen werden konnten. Je mehr Hinweise auf eine potentiell schädliche Bodenveränderung durch eine Schlammgrube

vorhanden waren, desto höher wurde die Priorität für eine Ortsbegehung gesetzt. Für eine potentiell schädliche Bodenveränderung wurden, basierend auf den Erkenntnissen aus Schleswig-Holstein (LLUR 2017), folgende Indikatoren festgelegt:

- Verwendung von Ölspülungen
- Ölunfälle
- Verwendung umweltrelevanter Spülungsadditive
- Vermerk von Ölsuren im Bohrschlamm

4.4 Geländeuntersuchungen

Flächen, bei denen anhand eines Lageplans aus den Bohrakten oder aus der Luftbilddauswertung konkrete Grubenstandorte ermittelt werden konnten, wurden gezielt im Gelände überprüft. Bei Flächen ohne direkten Hinweis auf eine Grube wurde ein Gitterraster mit 10 x 10 m großen Gitterquadraten über die gesamte Bohrfläche gelegt und diese systematisch mit einer Bohrung pro Gitterquadrat abgebohrt. Dabei wurden insbesondere die Bereiche des Bohrplatzes untersucht, die in einem 20 m Radius um den Bohrpunkt herum lagen. Dieser Radius wurde ausgewählt, da sich bei Luftbildern mit sichtbaren Gruben und bei vorhandenen Lageplänen die Gruben innerhalb eines solchen Radius befanden. Anhand von abweichenden Substratmerkmalen zu den typischen Böden der Region wurde versucht, Schlammgruben im Gelände zu verifizieren bzw. zu finden. Dafür wurden an jedem Standort punk-

tuelle Bohrungen mittels einer 1-m-Pürckhauer-Sonde und einer 2-m-Bohrnadel vorgenommen. Pro Standort wurden ein bis drei repräsentative Bodenprofile tabellarisch aufgenommen. Bei Standorten, bei denen die Lage von Gruben bekannt war, wurde eine Bohrung innerhalb der Grube und bei Auffälligkeiten eine Referenzbohrung außerhalb der Grube durchgeführt. Die Bodenuntersuchungen und -ansprachen wurden auf Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) durchgeführt (Ad-Hoc-AG Boden 2005). Zusätzlich wurden die erbohrten Profile auf organoleptische Auffälligkeiten hin überprüft, um eine potentielle Umweltbelastung durch MKW erkennen zu können (vgl. Kap. 2.3). Die Durchführung von Bodenansprachen auf Grundlage der KA5 entspricht dem Standardvorgehen für orientierende Bodenuntersuchungen nach der BBodSchV (1999, Anhang 1 Nr. 1.1).

5 Ergebnisse

Die Auswertung der Daten der Kohlenwasserstoff-Datenbank ergab insgesamt 246 Kohlenwasserstoffbohrungen in Hessen, wovon 63 als ölfündig verzeichnet waren. Die Tiefbohrungen nach Erdöl und Erdgas in Hessen beschränkten sich alle auf das Gebiet des Oberrheingrabens. Die Hauptförderregion für Erdöl lag dabei im Bereich des Kohlenwasserstoff-Feldes Stockstadt. Hier konnten auch die meisten Gruben lokalisiert werden.

Die Archivrecherchen erbrachten Hinweise auf verwendete Spülungen und Spülungsadditive bei den Tiefbohrungen. Analog zur Literaturrecherche (ENGESER et al. 2015, BUJA 2012, NONNENMACHER 1954, ALLIQUANDER 1968) wurden auch in Hessen am häu-

figsten Süßwasserspülungen mit Ton als Additiv verwendet. Bei nur sechs Bohrungen Ende der 1950er Jahre wurden Ölspülungen verwendet.

Insgesamt konnten bei der Auswertung der historischen Luftbilder 52 Bohrstandorte nachgewiesen werden, die potentiell Verunreinigungen in den Bohrschlämmen aufweisen könnten. Auf vier Bildern waren Schlammgrubenverdachtsflächen identifizierbar. Für den Großteil der Bohrungen waren jedoch keine Bildaufnahmen aus den entsprechenden Jahren der Bohrung verfügbar. Dies betraf insbesondere den Zeitraum zwischen 1954 und 1958. Deshalb waren Hinweise auf diese Bohrungen erst auf jüngeren Luftbildaufnahmen in Form von Förderplätzen und

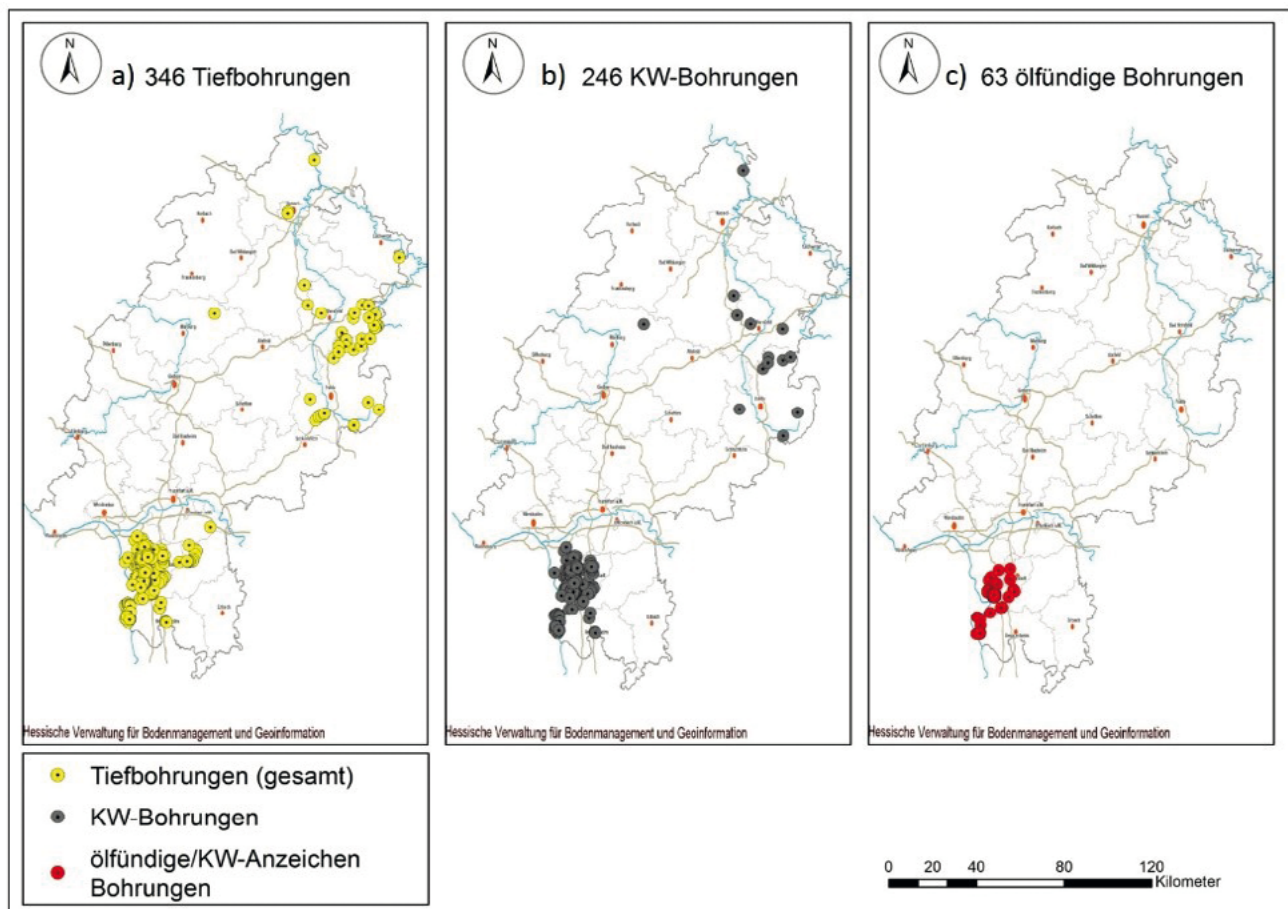


Abb. 3: Erfassung der KW-Bohrungen in Hessen und Eingrenzung des Untersuchungsgebietes. a) Alle durchgeführten Tiefbohrungen, b) alle KW-Bohrungen und c) alle ölfündigen Bohrungen und Bohrungen mit KW-Anzeichen (Datengrundlage: HVBG 2018c; HLNUG 2018b).

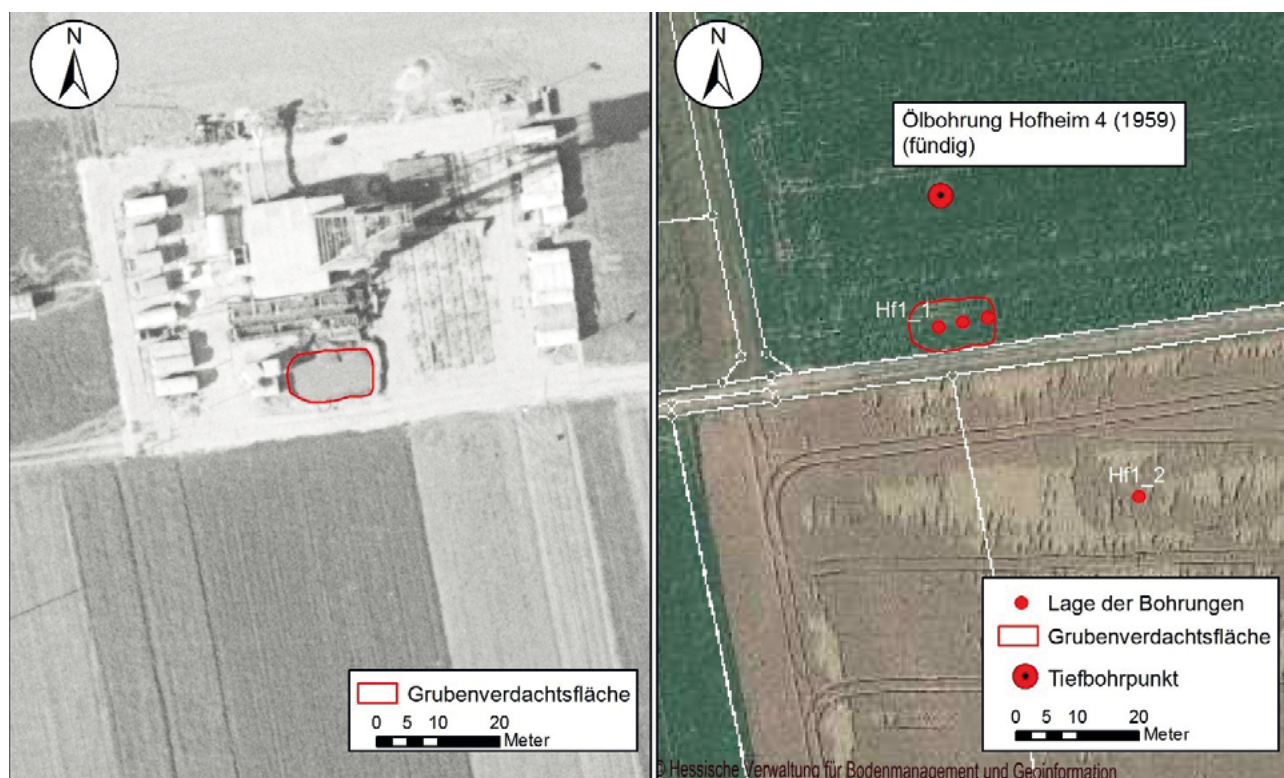


Abb. 4: Bohrplatz der Erdölbohrung Hofheim 4 (links) (HVBG 2018d, Flug Nr. 769/59; Bild Nr. 7210; Flugdatum 13.04.1959, verändert) und aktuelles Luftbild mit ungefährender Lage der Bohrpunkte und einer Verdachtsfläche (rechts) (HVBG 2018a; HLNUG 2018b)

Förderpumpen zu erkennen. Die eigentlichen Bohrplätze, auf denen Schlammgruben vorhanden sein könnten, waren zum Zeitpunkt dieser Bildaufnahmen schon geräumt.

Insgesamt wurde anhand von historischen Luftbildern (4), Lageplänen der DEA (7), Akten der Exxon Mobil GmbH (3) und Ortsbegehungen (2) Hinweise auf sechzehn Schlammgrubenverdachtsflächen ermittelt, die einer weiterführenden Untersuchung vor Ort unterzogen wurden. Die Auswertung der Bodenkarten und des digitalen Geländemodells führten zu keinen zusätzlichen Erkenntnissen.

6 Fazit

Insgesamt liefert die vorliegende Arbeit eine orientierende Übersicht zu Schlammgruben aus KW-Bohrungen mit potenzieller Umweltgefährdung in Hessen.

Bei den Geländeuntersuchungen von insgesamt 9 der 16 o. g. prioritären Standorte konnten an 2 Standorten aufgrund deutlicher Substratunterschiede zu den in der Bodenkarten verzeichneten natürlichen Böden Grubenstandorte verifiziert werden. Zusätzlich konnten anhand von künstlichen Sandauffüllungen, Funden von Schlacke, Ziegelstücken oder Umlagerungen der natürlichen Bodenhorizonte anthropogene Aktivitäten im Bereich von 8 Bohrplätzen belegt werden. An keiner der untersuchten Standorte gab es organoleptische Hinweise auf Bohrschlämme oder schädliche Bodenveränderungen.

Die Ergebnisse der Luftbildauswertung und der anschließenden Erkundung von neun Standorten im Gelände legen nahe, dass alle in dieser Arbeit untersuchten Schlammgruben nach Beenden der Bohrtätigkeit geräumt wurden, da keine Reste von Bohrschlämmen im Gelände gefunden werden

konnten. Dies lässt darauf schließen, dass die bei den Bohrungen angefallenen Bohrschlämme an anderer Stelle entsorgt wurden oder, falls die Bohrschlämme in Sammelschlammgruben abgelagert wurden, diese in Hessen außerhalb der Bohrstandorte errichtet wurden. Zusätzlich bezeugen Unterlagen aus den 1980er Jahren die Entsorgung von Bohrschlämmen einzelner Bohrungen auf eine entsprechende, nicht näher genannte Deponie. Wohin die Bohrschlämme aus älteren Bohrungen der 50er und 60er Jahre verbracht wurden, konnte im Rahmen der durchge-

fürten Untersuchungen nicht ermittelt werden, da hierzu keine Unterlagen verfügbar waren. Insgesamt konnten die aus den historischen Recherchen ermittelten Schlammgrubenverdachtsflächen im Gelände nur teilweise bestätigt werden. An keinem der im Gelände untersuchten Standorte gab es Anzeichen für Bodenbelastungen. Ob diese Aussage auch auf die anderen Standorte ölfündiger Bohrungen zutrifft, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden und erfordert gegebenenfalls weitere Untersuchungen.

Literatur

- Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Bundesanstalt für Geow. und Rohstoffe. Hannover.
- ALLIQUANDER, Ö. (1968): Das moderne Rotarybohren. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig.
- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (zuletzt geändert durch Art. 3 Abs. 4 V. v. 27.09.2017). Internet: <https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/BBodSchV.pdf> (23.10.2018).
- BUJA, H.O. (2012): Handbuch der Bohrtechnik. Band 1. Monsenstein & Vannedat. – 1. Münster.
- CAMBEFORT, H. (1964): Bohrtechnik. Tief-, Gründungs- und Erkundungsbohrungen. Bauverlag GmbH. Wiesbaden.
- ENGESER, B., BASEDOW, H.W. & LIETZOW, A. (2015): Untersuchung von Öl- und Bohrschlammgruben. In: LBEG (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie) (Hrsg.): Geofakten 29. Hannover, 1–13.
- ExxonMobil Production GmbH (2018): ExxonMobil in Deutschland. ExxonMobil Production GmbH. Internet: corporate.exxonmobil.de/de-de/unternehmen/%C3%BCber-uns/un-sere-geschichte (27.8.2018).
- FRICKE, K. (1954): Die Lagerstätten Niedersachsens und ihre Bewirtschaftung. Die unterirdischen Lagerstätten. In: Brüning, K. (Hrsg.): Geologie und Lagerstätten Niedersachsens. Walter Dorn Verlag. Bremen, Bd. 5.
- GAUPP, R. & NICKEL, B. (2001): Die Pechelbronn-Schichten im Raum Eich-Stockstadt. (Nördlicher Oberrheingraben; Blatt 6216 Gernsheim). In: HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) (Hrsg.): Geol. Jb. Hessen. – 128. Wiesbaden, 19–27.
- HESSE, R. (2010): LiDAR-derived Local Relief Models – a new tool for archaeological prospection. In: Archaeological Prospection 17, 67–72.
- Hessischer Landtag (2016): Kleine Anfrage der Abg. Schott (DIE LINKE) vom 14.06.2016 betreffend Bohrschlammgruben aus Öl- und Gasförderung in Hessen und Antwort der Ministerin für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Internet: starweb.hessen.de/cache/DRS/19/3/03293.pdf (17.8.2018).
- HLNUG (2013): Die Naturräume Hessens und ihre Haupteinheiten. Internet: atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/naturschutz/naturraum/texte/ngl-vb.htm (20.8.2018).
- HLNUG (2014): Naturräumliche Gliederung nach Otto Klausing, Wiesbaden 1988. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. Internet: atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/naturschutz/naturraum/karten/m_3_2_1.htm (20.8.2018).
- HLNUG (2018a): Gutachten aus dem geowissenschaftlichen Archiv des HLNUG. Archivnummern: 6116 19, 6116 20, 6116 23, 6116 45, 6116 54, 6116 73, 6117 32, 6117 85, 6216 3, 6216 5. Wiesbaden.

- HLNUG (2018b): Kohlenwasserstoffdatenbank des Landes Hessen. Wiesbaden (unveröffentlicht).
- HLNUG (2018c): Schichtenverzeichnisse aus dem geowissenschaftlichen Archiv des HLNUG. Archivnummern: 6017 63, 6116 23, 6116 24, 6116 25, 6116 30, 6116 31, 6116 37, 6116 38, 6116 42, 6116 43, 6116 45, 6116 59, 6116 68, 6117 104, 6117 110, 6117 382, 6117 75, 6117 76, 6117 77, 6117 80, 6117 81, 6117 85, 6117 94, 6117 97, 6117 732, 6216 22, 6216 23, 6216 24, 6216 25, 6216 26, 6216 27, 6216 41, 6216 43, 6216 45, 6216 46, 6216 46, 6216 62, 6217 27, 6217 28, 6217 29, 6217 30, 6217 301, 6217 302, 6217 303, 6217 31, 6217 32, 6217 32, 6217 33, 6217 37, 6217 39, 6217 41, 6217 42, 6217 45, 6217 47, 6217 48, 6217 49, 6217 50, 6217 52, 6316 82, 6316 84, 6316 86, 6316 87, 6316 88, 6316 90, 6316 93, 6316 94. Wiesbaden.
- HLUG (2012): Handbuch Altlasten Band 3, Teil 1-Einzelfallrecherche. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. Internet: www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/Handbuch-Altlasten-Band3-Teil1_Web.pdf (21.8.2018).
- HVBG (2018a): Geobasisdaten-Digitale Orthophotos. Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation. Internet: www.geoportal.hessen.de/mapbender/php/mod_showMetadata.php?languageCode=de&resource=layer&layout=tabs&id=37620 (22.8.2018).
- HVBG (2018b): Geobasisdaten-Historische digitale Orthophotos 1952–67. Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation. Internet: www.geoportal.hessen.de/mapbender/php/mod_showMetadata.php?languageCode=de&resource=layer&layout=tabs&id=38491 (18.11.2018).
- HVBG (2018c): Geobasisdaten – Hessen Übersichtskarte (HUEK). Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation. Internet: www.geoportal.hessen.de/mapbender/php/mod_showMetadata.php?languageCode=de&resource=layer&layout=tabs&id=36988 (14.11.2018).
- HVBG (2018d): Landesluftbildarchiv Hessen. Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation. Wiesbaden.
- HVBG (2015): Digitales Geländemodell DGM1 mit Genehmigung der Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation. Wiesbaden.
- LBEG (2017): Sachstand Fördermaßnahme Untersuchung von ehemaligen Öl- und Bohrschlammgruben in Niedersachsen. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Internet: www.umwelt.niedersachsen.de/download/121335/Aktueller_Sachstand_Foerdermassnahme_Untersuchung_von_ehemaligen_Oel-_und_Bohrschlammgruben_in_Niedersachsen_08_2017_.pdf (23.8.2018).
- LLUR (2017): Verifizierung der Nutzungsgeschichte ehemaliger Bohrschlammgruben in Schleswig-Holstein. Abschlussbericht. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein. Internet: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/A/altlasten/Downloads/abschlussberichtVerifizierung.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (20.11.2018).
- MAUTHE, G., BRINK, H.J. & BURRI, P. (1993): Kohlenwasserstoffvorkommen und -potential im deutschen Teil des Oberrheingrabens. In: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und-Ingenieure 60 (137), 15–29.
- Munsell Soil Color Charts (1992). – Kollmorgen Instruments Corp., Baltimore, Maryland 21218.
- NONNENMACHER, K. (1954): Tiefbohrtechnik. Band 1: Einführung und Rotarybohren. Dipl.-Ing. Rudolf Bohmann Industrie- und Fachverlag. Wien.
- REINHOLD, C., SCHWARZ, M., BRUSS, D., HEESBEEN, B., PERNER, M. & SUANA, M. (2016): The Northern Upper Rhine Graben. Re-dawn of a mature petroleum province? In: Swiss Bull. angew. Geol. 21(2), 35–56.
- RWE Dea AG (2010): Unterlagen zu Schlammgruben in Hessen. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Wiesbaden (unveröffentlicht).
- SCHORN, H.J. (2014): Vermerk zum Ergebnis der stichprobenartigen Durchsicht von Akten der Bergaufsicht zum Thema Öl- und Bohrschlammgruben in Hessen. Regierungspräsidium Darmstadt. Wiesbaden (unveröffentlicht).
- SCHÜBLER, B. (2004): Chronik des Betriebs Stockstadt.

- SIMON, W. (1962): Erdöl am Oberrhein. In: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Erdöl am Oberrhein. Ein Heidelberger Kolloquium. – Abhandlungen des Geologischen Landesamtes in Baden-Württemberg 4. Freiburg i. Br.: Kommissionsverlag Herder KG, 9–12.
- STRAUB, E.W. (1962): Die Erdöl- und Erdgaslagerstätten in Hessen und Rheinhessen. In: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Erdöl am Oberrhein. Ein Heidelberger Kolloquium. – Abhandlungen des Geologischen Landesamtes in Baden-Württemberg 4. Freiburg i. Br.: Kommissionsverlag Herder KG, 123–136.
- TECKLENBURG, T. (1914): Handbuch der Tiefbohrkunde. Band 5, 2. Auflage. Berlin: W. & S. Loewenthal.
- WEIDNER, E. (1990): Bodenkarte der nördlichen Oberrheinebene 1 : 50 000. Wiesbaden: Hessisches Landesamt für Bodenforschung.
- WIRTH, E. (1962): Geschichte und wirtschaftliche Bedeutung der Erdöl- und Erdgasgewinnung in der Oberrheinebene. In: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Erdöl am Oberrhein. Ein Heidelberger Kolloquium. – Abhandlungen des Geologischen Landesamtes in Baden-Württemberg 4. Freiburg i. Br.: Kommissionsverlag Herder KG, 13–28.

Polyfluorierte PFC - eine unterschätzte Gefahr?

VOLKER ZEISBERGER

Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) sind seit einigen Jahren ein Dauerbrenner auf Veranstaltungen des Boden- und Gewässerschutzes: Einerseits gibt es PFC-Schadensfälle, deren Sanierungen extrem aufwändig und schwierig sind. Andererseits sind PFC humantoxisch und werden in vielen Umweltmedien, aber auch in Muttermilch, Blut und wildlebenden Tieren, in steigenden Konzentrationen nachgewiesen.

Auch wenn PFC eine vielfältige Stoffgruppe ist – einige 100 PFC sind marktverfügbar – stehen nur sehr wenige PFC im Blickpunkt: Es sind die **perfluorierten** PFC-Vertreter PFOS und PFOA, die in der Vergangenheit am häufigsten verwendet wurden. Beide Stoffe sind mittlerweile verboten bzw. reglementiert. Der enge Blick auf nur wenige PFC-Vertreter zieht sich durch die gesamte Umweltgesetzgebung, angefangen vom Wasser- und Bodenschutzrecht bis hin zum Abfall- und Düngemittelrecht. Beispielsweise hat das Chemikalien-, Abfall- und Düngemittelrecht ausschließlich PFOS und PFOA im Blick. Immerhin werden beim Grundwasserschutz einige weitere PFC betrachtet, allerdings nahezu ausschließlich **perfluorierte** PFC. Für die Fülle der Ersatzstoffe (meist **polyfluorierte** PFC) gibt es keine Regelungen. Somit kann festgestellt werden: Abfallrecht, Düngerecht und teilweise auch das Wasserrecht betrachten nur Stoffe, die früher hergestellt wurden, mittlerweile aber nicht mehr gehandelt werden. Es ist ein Blick in die Vergangenheit.

Als Ersatzstoffe zu **perfluorierten** PFC wie PFOS werden mittlerweile **polyfluorierte** PFC eingesetzt. Doch sind diese tatsächlich eine umweltfreundliche Alternative zu den verbotenen PFC, wie oftmals von den Herstellern und Anwendern suggeriert wird? Vieles spricht dagegen!

An dieser Stelle lohnt es sich, auf die Unterschiede zwischen **perfluorierten** und **polyfluorierten** PFC

einzugehen (siehe auch den Beitrag „PFC – Das Wichtigste in Kürze“ auf S. 87). Bei den **perfluorierten** PFC sind in der unpolaren Kohlenstoffkette sämtliche Wasserstoffatome durch Fluoratome ersetzt, bei den **polyfluorierten** PFC sind die meisten, jedoch nicht alle Wasserstoffatome durch Fluoratome ausgetauscht. Der polare Molekülteil ist bei den **polyfluorierten** wesentlich variabler als bei den **perfluorierten** PFC. Diese Unterschiede erscheinen zunächst geringfügig, haben jedoch weitreichende Konsequenzen:

- **Perfluorierte** PFC sind nicht biologisch abbaubar und thermisch extrem stabil; **polyfluorierte** PFC sind teilweise abbaubar, als Endprodukte bleiben jedoch stets **perfluorierte** PFC zurück.
- **Perfluorierte** PFC sind mit Standardanalytik analysierbar (DIN 38407-42 und DIN 38414-14), dagegen ist nur ein einziges **polyfluoriertes** PFC (H_4 PFOS) mit Standardanalytik analysierbar (nicht zur Standardanalytik zählt der Summenparameter AOF, mit dem viele **polyfluorierte** PFC indirekt erfassbar sind; dieser Summenparameter erlaubt jedoch keine Rückschlüsse, welche PFC einer Probe vorliegen).
- Für 12 **perfluorierte** PFC liegen Bewertungsmaßstäbe vor (Geringfügigkeitsschwellen bzw. gesundheitliche Orientierungswerte), dagegen gibt es nur für ein einziges **polyfluoriertes** PFC (H_4 PFOS) einen Bewertungsmaßstab.
- Die Toxizität vieler **perfluorierter** PFC ist bekannt (es überwiegt die Humantoxizität gegenüber der Ökotoxizität). Bei den **polyfluorierten** PFC wird zunächst davon ausgegangen, dass diese kaum toxisch sind; die Toxizität der Abbauprodukte wird dabei allerdings nicht betrachtet.

Die oftmals steigenden Hintergrundbelastungen in Gewässern, Fischen, Muttermilch und Blut mit PFC könnte folgende Ursache haben: Eingesetzt werden derzeit meist **polyfluorierte** PFC, beispielsweise zur Papierveredelung oder zur Imprägnierung von Tex-

tilien. Diese sind bei deren Einsatz/Anwendung derzeit nicht analysierbar. Erst nach einem Teilabbau in der Umwelt entstehen aus (nicht-analysierbaren) **poly**fluorierten PFC im Laufe der Zeit (mit Standardanalytik analysierbare) **per**fluorierte PFC.

Am Beispiel des Schwarzbachs im hessischen Ried – einem Gewässer mit hohem Abwasseranteil – wird deutlich, dass **poly**fluorierte PFC von großer Relevanz sind. In Wasserproben wurden zusätzlich zur Standardanalytik (mit der nur **per**fluorierte PFC erfasst werden) auch der Summenparameter AOF angewendet (dieser erfasst sowohl per- als auch polyfluorierte PFC). Ist der AOF deutlich höher als die Summe der mittels Standardanalytik bestimmbarer PFC („perfluorierte_PFC_gesamt“), ist dies ein klares Indiz, dass **poly**fluorierte PFC vorhanden sind. Die Differenz zwischen den Parametern „perfluorierte_PFC_gesamt“ und „AOF“ gibt einen Hinweis, in welchen Konzentration **poly**fluorierte PFC auftreten.

Die nachfolgende Abbildung zeigt, dass im Schwarzbach die **poly**fluorierten PFC in deutlich höheren Konzentrationen auftreten als die **per**fluorierten PFC. Während die **per**fluorierten PFC (blaue Säulen, Angabe als „perfluorierte_PFC_gesamt“) in Konzentrationen kleiner 1 µg/l auftreten, ist die Summe aus per- und **poly**fluorierten PFC wesentlich höher ist und liegt über 10 µg/l (orange Säulen, Messungen ab 2015, Analytik mittels Summenparameter AOF). Das heißt, in den Wasserproben dominieren die **poly**fluorierten PFC deutlich gegenüber den **per**fluorierten PFC. Wie oben bereits ausgeführt, werden die

polyfluorierten PFC früher oder später zu **per**fluorierten PFC abgebaut werden und können dann zur Hintergrundbelastung beitragen.

Auf Bundesebene ist dieses Problem prinzipiell bekannt. So gibt es eine PFC-Arbeitsgruppe unter Federführung des Bundesumweltministeriums, die Ende 2019 den „Leitfaden zur PFC-Bewertung: Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFC-haltigen Bodenmaterials“ veröffentlichte. In diesem Leitfaden werden zwar die oben genannten Defizite beschrieben, letztlich werden jedoch keine vollzugstauglichen Regelungen hinsichtlich der **poly**fluorierten PFC genannt.

Zur Behebung der Defizite und zur Klärung, ob von polyfluorierten PFC Gefahren für Mensch und Umwelt ausgehen, wären folgende Schritte sinnvoll:

- Normierung der Analysenverfahren AOF, EOF, TOP-Assay, mit denen **poly**fluorierte PFC bestimmbar sind
- Entwicklung von Bewertungsmaßstäben für Analysenergebnisse, die mittels AOF, EOF, TOP-Assay gewonnen wurden
- Entwicklung analytischer Verfahren für solche PFC, die insbesondere in Wegwerfartikeln eingesetzt werden (Kaffeebecher, Wurstpapier, Backpapier, ...), für die jedoch noch kein Analysenverfahren verfügbar ist
- Recherche, welche PFC in großen Mengen hergestellt werden und in welchen Produkten sie eingesetzt werden.

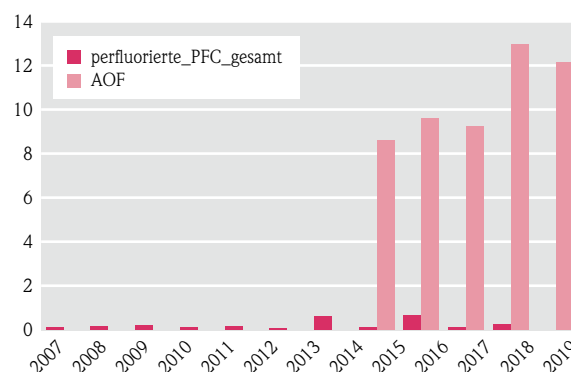


Abb. 1: PFC-Messungen im Schwarzbach bei Astheim – die dunklen Säulen zeigen den Parameter „perfluorierte_PFC_gesamt“, die hellen Säulen den Summenparameter „AOF“

Seminar Altlasten und Schadensfälle 2019

Etwa 100 Fachleute aus staatlichen und kommunalen Behörden sowie aus Firmen und Ingenieurbüros trafen sich am 17. und 18. September in Wetzlar zum Informations- und Erfahrungsaustausch rund um die Sachgebiete Altlasten und Bodenschutz.

Einen Programmschwerpunkt bildete, wie schon im letzten Jahr, die Erfassung, Analyse und Bewertung von Per- und Polyfluorierten Chemikalien – kurz PFC. Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Schadstoffausbreitung über Boden- und Raumluft sowie Bodenluftsanierungen. Der dritte Schwerpunkt umfasste die Expositionsabschätzung für den Pfad Boden-Mensch und die Resorptionsverfügbarkeit von Schwer- und Halbmetallen.

Als regelmäßige Programmpunkte wurden innovative Sanierungstechniken sowie interessante Sanierungsfälle aus Hessen vorgestellt. Eine Führung



Abb. 1: Blick in das Auditorium beim HLNUG-Altlastenseminar 2019 in der Naturschutz-Akademie Hessen

wahlweise entlang des nahegelegenen bodenkundlichen Lehrpfads oder durch die Altstadt von Wetzlar bildete den Abschluss des ersten Seminartages.

Auf den nachfolgenden Seiten finden Sie die Kurzfassungen der Vorträge.



Abb. 2: Exkursion beim HLNUG-Altlastenseminar 2019 zum Thema „Boden“ unter Leitung von Thilo Klein, Stadt Wetzlar

Raumlufbelastungen am Rüstungsaltsstandort der DAG Stadtallendorf - von der Untersuchung zur Sanierung

MAIKE LAMP & ZRINKO REZIC

1 Hintergrund

1.1 Die DAG

Das ca. 420 ha umfassende Gebiet des ehemaligen Werkes Allendorf wird heute landläufig als DAG-Gebiet bezeichnet. Es handelte sich dabei um ein Sprengstoffwerk zur Produktion von TNT, das von der Fa. Dynamit AG (DAG) im Auftrag der Verwertungsgesellschaft für Montan-Industrie GmbH (MONTAN) geplant und errichtet wurde. Betreiber des Werkes bis zum Ende des 2. Weltkrieges war die Gesellschaft zur Verwertung chemischer Erzeugnisse (VERWERTCHEMIE), eine 100 %-ige Tochter der DAG.

Das Werk wurde nach Kriegsende zerstört bzw. demontiert. Bis zur Demontage wurden die Einrichtungen noch zur Delaborierung von Munition, auch von anderen Standorten, genutzt. Im Rahmen der Umnutzung des Standortes hat sich eine ausgewiesene Gemengelage entwickelt, die neben Wohnen industrielle und gewerbliche Nutzungen aufweist.

1.2 Die Hinterlassenschaften der DAG

Von den insgesamt ca. 450 Gebäuden des DAG-Werkes wurden nach Kriegsende ca. 20 % gesprengt. Von den heute noch erhaltenen Altgebäuden wurden viele zu Wohn- und/oder Gewerbegebäuden umgebaut. Problematisch sind dabei Gebäude, in denen mit Mononitrotoluol (MNT) umgegangen wurde, da hier potentiell mit einer Belastung der Raumluf gerechnet werden muss.

MNT werden als Vorprodukt für die TNT-Produktion eingesetzt bzw. fallen als Zwischenprodukt an. Mit MNT muss daher bei folgenden Altgebäuden gerechnet werden:

- MNT-Lagergebäude und Pumpstationen
- MNT- und DNT-Nitrierhäuser
- Abwasseranlagen (ausgewaschene MNT aus der DNT- und TNT-Wäsche)

Aufgrund des kanzerogenen Potentials des 2-MNT und der Mobilität der MNT in der Gasphase können intolerabel hohe Schadstoffexpositionen der Nutzer der entsprechenden Altgebäude nicht ausgeschlossen werden.

Neben MNT können ebenfalls BTEX auftreten, da auch Toluol (mit Benzol verunreinigt) zur TNT-Herstellung benutzt wurde.

2 Untersuchungen

2.1 Untersuchungshistorie

In einigen Gebäuden am Standort wurden bereits in früheren Jahren Begehungen und Untersuchungen durchgeführt. Bei den ersten Untersuchungen der Jahre 1991/92 wurde in drei Gebäuden ein MNT-Geruch festgestellt. In einem dieser Gebäude wurde MNT darüber hinaus analytisch nachgewiesen. Das Kreisgesundheitsamt hat daraufhin folgende Verhaltensempfehlungen ausgesprochen:

- Keine offene Lagerung von Lebensmitteln
- Kein ständiger Aufenthalt von Personen in den Kellerräumen
- Bei längerfristigem Aufenthalt von Personen in den Kellerräumen:
 - Aktive und passive Lüftungsmaßnahmen
 - Prüfung ob die vorhandene Lüftung ausreicht

In den Jahren 1997/1998 wurde ein weiteres Wohnhaus untersucht. Hierbei konnten erneut MNT in der Raumluft ermittelt werden. Es wurde der Einbau einer Lüftungsanlage empfohlen, um die Raumluftbelastungen zu reduzieren.

Nach Durchführung einer historischen Recherche zur Festlegung weiterer relevanter Gebäude mit möglichen Raumluftbelastungen wurde 2002 eine weitere Begehungskampagne mit 14 Gebäuden durchgeführt.

Im Jahr 2015 wurde die Thematik der Raumluftbelastungen erneut aufgegriffen und auf der Grundlage verbesserter Analysetechnik sowie vor dem Hintergrund eigens abgeleiteter Beurteilungswerte neu betrachtet.

2.2 Generelle Herangehensweise

Auf der Basis der Ergebnisse der früheren Begehungen und Untersuchungen wurde in einem ersten Bearbeitungsschritt eine historische Recherche durchgeführt, um diejenigen Gebäude zu ermitteln, für die aufgrund ihrer ursprünglichen Nutzung oder zusätzlicher Erkenntnisse ein Verdacht auf entsprechende Raumluftbelastungen grundsätzlich nicht auszuschließen ist.

Hierbei wurden relevante Gebäude bezüglich ihres Belastungspotenzials hinsichtlich MNT und BTEX in der Raumluft kategorisiert. Es wurden 41 betroffene Gebäude ermittelt, die sich in folgende Kategorien einteilen ließen:

- a. Kategorie 1 (Verdacht auf Belastung)
 - 19 Altgebäude in denen mit MNT/Toluol umgegangen wurde, welche heute noch genutzt werden
- b. Kategorie 2 (geringer Verdacht auf Belastung)
 - 18 Gebäude welche in der Nähe von ehemaligen Altgebäuden / Verdachtsflächen gebaut wurden

- c. Kategorie 3 (Belastung unwahrscheinlich)
 - 4 Gebäude bei denen aufgrund der Lage und Nutzung eine Belastung unwahrscheinlich ist.

Die darauffolgenden Untersuchungen wurden in drei wesentlichen Schritten abgearbeitet. In einem ersten Schritt sollten die Gebäude der Kategorie 1, also jene mit dem stärksten Verdacht auf Raumluftbelastungen, untersucht werden. Sollten sich bei den hierbei durchgeführten Raumluftmessungen Belastungen mit MNT/BTEX nachweisen lassen, sollte in einem zweiten Schritt eine weitere Messkampagne in den Gebäuden der Kategorie 2 erfolgen.

Da diese nämlich in der Nähe von Altgebäuden oder ehemaligen Sanierungsbaugruben errichtet wurden, sind dort auch Raumluftbelastungen nicht auszuschließen. Bei abermals positiven Befunden in der 2. Messkampagne sollten die Untersuchungen in einem 3. Schritt auch auf die restlichen Gebäude ausgeweitet werden. Ziel dieser Herangehensweise war es, sukzessive den Umfang der Raumluftbelastungen zu ermitteln, um den notwendigen

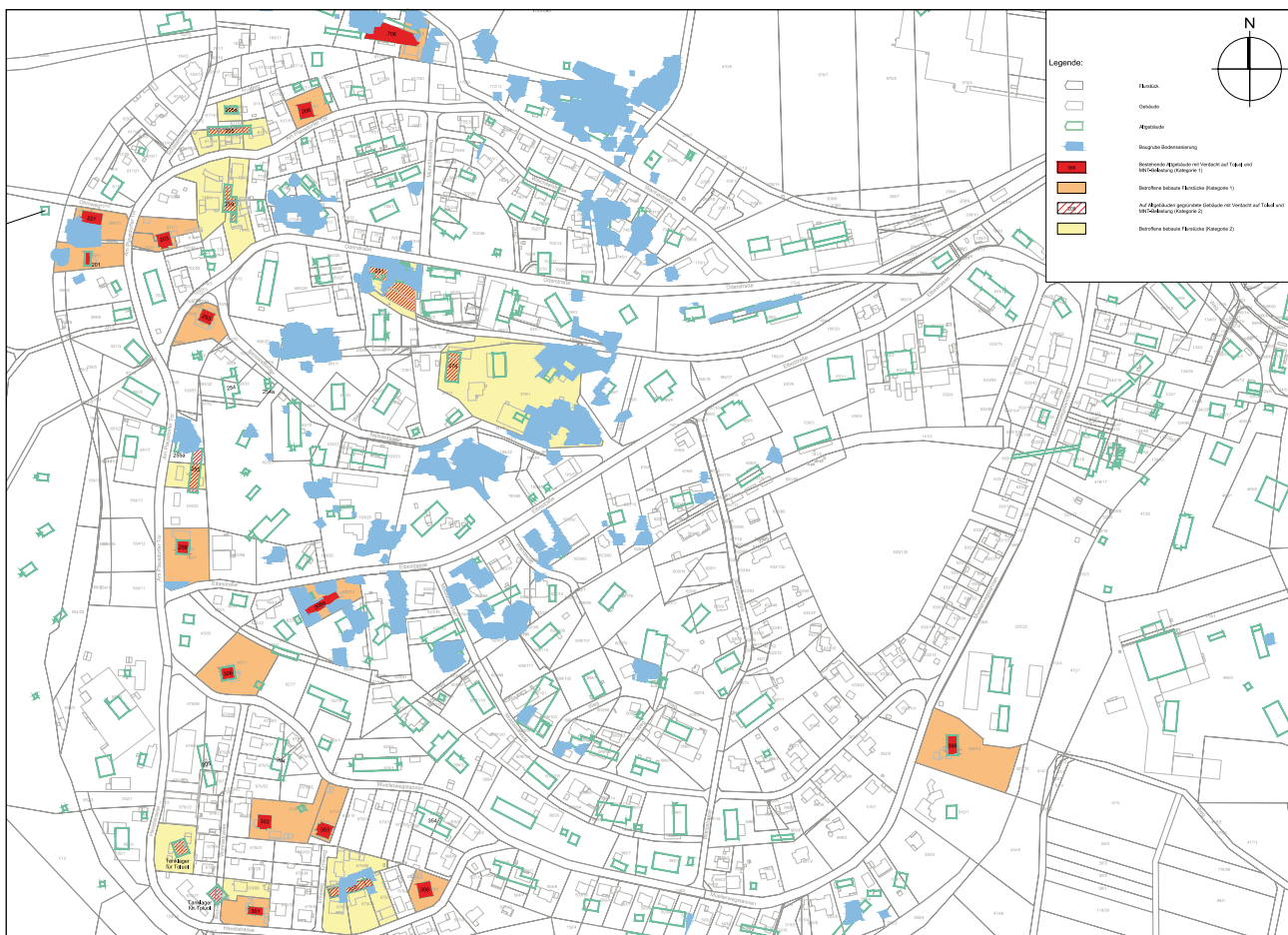


Abb. 1: Übersichtsplan der DAG mit Kennzeichnung der Verdachtsgebäude

Organisations- und Kostenaufwand zu minimieren und die Akzeptanz bei den betroffenen Anwohnern und Hauseigentümern zu maximieren.

Die Begehungen wurden stets in der untersten Etage (sofern vorhanden im Keller, ansonsten im Erdgeschoss) der Altbauwerke begonnen, da hier eine Schadstoffbelastung am wahrscheinlichsten ist. Die Räume in denen Messungen durchgeführt wurden, wurden auf der Grundlage möglicher Kontaminationsschwerpunkte – wie beispielsweise offen zugängliche Altbauwerkesubstanz, ehemalige Kanalschlüsse, Pumpensümpfe etc. – ausgewählt. Bei Feststellung einer Kontamination wurden die Raumluftmessungen auf die weiteren Gebäudebereiche ausgeweitet.

Bei den Begehungen wurden folgende Punkte dokumentiert/protokolliert:

- Sichtbare Altbauwerkesubstanz
- MNT-Geruch (typischer Bittermandelgeruch)

- Kanalschlüsse, Pumpensümpfe
- Verfärbungen der Bausubstanz
- Verfärbtes Sickerwasser

Weiterhin wurden folgende Punkte aufgenommen:

- Nutzung der Etagen
- Aufenthaltsdauer der Bewohner in den Etagen
- Beobachtungen der Eigentümer/Mieter
- Verkleidete Altbauwerkesubstanz
- Abgrenzung der Etage zu anderen Teilen des Hauses

In jedem Gebäude wurde mindestens 2 Mal die Raumluft überprüft. In einigen Gebäuden sind weitere Zusatzmessungen erforderlich gewesen, da die Datenlage noch nicht ausreichend war, um eine abschließende Bewertung zu ermöglichen. Wenn Auffälligkeiten in der Raumluft festzustellen waren, die eine Gefährdung der Bewohner erwarten ließen, wurden weitere Untersuchungen vorgenommen.

Hierbei wurden im Wesentlichen die Gebäudesubstanz (Böden, Wände) und der Boden unterhalb der Gebäude auf die relevanten Schadstoffe hin aufgeschlossen. Hierzu sind zahlreiche Kernbohrungen in den unterschiedlichen Materialien aus der Ursprungszeit sowie aus späteren Aufbauphasen der Gebäude durchgeführt worden. Mittels Kleinrammbohrungen und teilweise auch Großlochbohrungen sind die Bodenschichten unterhalb der Gebäude erkundet worden.

Ebenso wurden, anhand historischer Leitungspläne und vorliegenden Daten zur Befahrung alter Kanalleitungen des DAG-Werkes, mögliche Eintragswege erkundet. Vor allem alte Kanalanschlüsse und Pumpensäumpfe sind besonders in Augenschein genommen worden.

Diese Detailuntersuchungen sollten Aufschluss über die Verteilung der Schadstoffe und den Grad der Belastung von Baumaterialien und Böden geben und die Grundlage für Sanierungsplanungen darstellen.

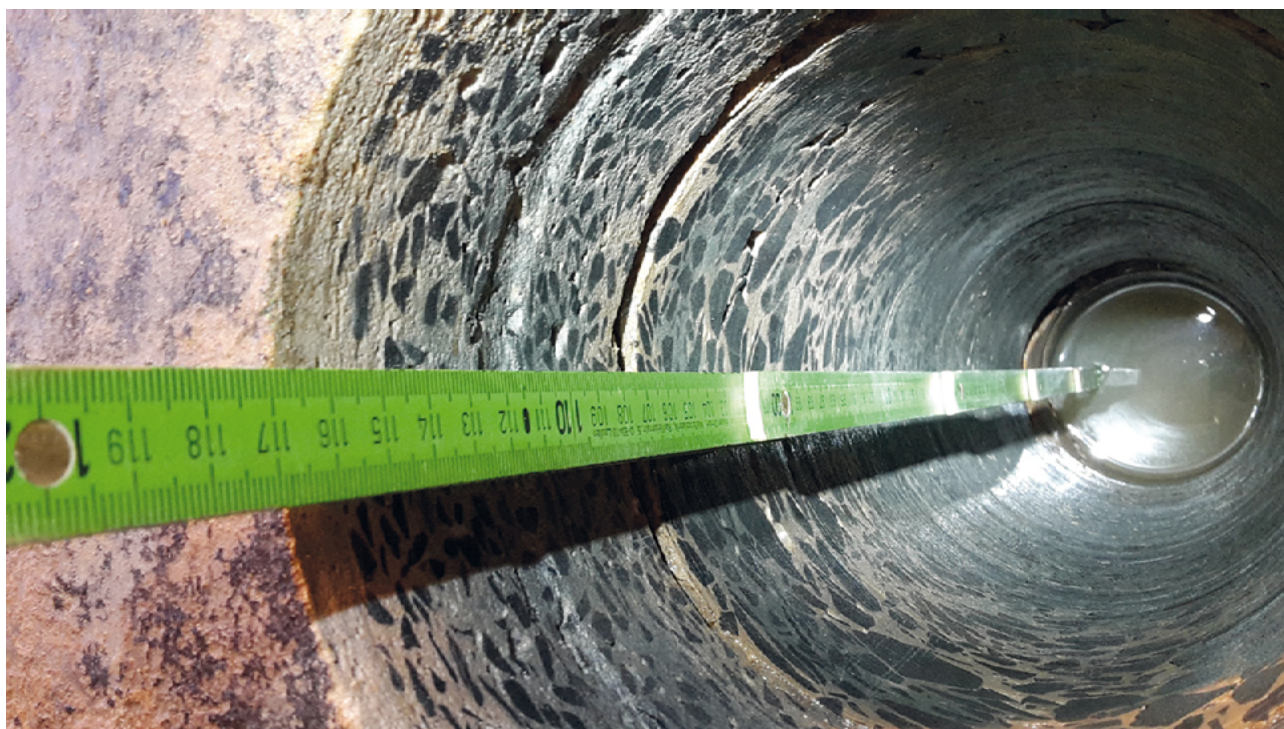


Abb. 2: Durchörterte Bodenplatte in einem Altgebäude

2.3 Festlegung einer Bewertungsgrundlage

Mononitrotoluole gehören zu den monocyclischen Nitroverbindungen, die nicht natürlich vorkommen, sondern bei der Nitrierung von Toluol entstehen. Das synthetische Gemisch der Nitrotoluole setzt sich aus den Isomeren 2-Nitrotoluol (2-MNT), 3-Nitrotoluol (3-MNT) und 4-Nitrotoluol (4-MNT) zusammen, die sich in der Umwelt polar verhalten und aufgrund ihres Dampfdruckes vergleichsweise leicht in die Gasphase übergehen. Eine der zentralen toxischen Wirkungen der Nitroverbindungen bei Säugetier und Mensch besteht in der Methämoglobinbildung im Blut sowie den damit verbundenen gesundheitlichen

Auswirkungen, z. B. auf Leber, Niere, Milz und Fortpflanzungsorgane.

Zur Beurteilung gesundheitlich adverser Effekte werden üblicherweise für toxisch wirkende Substanzen Wirkschwellen für das zu betrachtende Zeitfenster (kurzfristig, langfristig) herangezogen, während für kanzerogene Substanzen ein einzelstoffbezogenes zusätzliches akzeptables Krebsrisiko definiert wird. Zur Umsetzung dieses Konzeptes werden so genannte TRD-Werte (Tolerierbare Resorbierte Dosis) herangezogen. Diese sind definiert als Körperdosen

eines Gefahrstoffes, bei denen mit hinreichender Wahrscheinlichkeit bei Einzelstoffbetrachtung nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis keine nachteiligen Effekte auf die menschliche Gesundheit erwartet werden bzw. bei denen nur von einer geringen Wahrscheinlichkeit für Erkrankungen ausgegangen wird. Zur Beurteilung von Innenraumluft werden von der Kommission Innenraumlufthygiene (IRK) des Umweltbundesamtes Richtwerte definiert, die gemäß eines Basisschemas abzuleiten und zu begründen sind. Da bislang von der IRK jedoch keine Richtwerte für Innenraumluft für MNT zur Verfügung standen, mussten entsprechende Werte abgeleitet und definiert werden.

Vor dem Hintergrund des vom Umweltbundsamt 2015 vorgestellten Konzeptes zur Bewertung von Kanzerogenen in der Innenraumluft wurde im

Rahmen eines Fachgespräches 2017 vereinbart, für kanzerogen wirkende Stoffe (2-MNT) in der Innenraumluft Risikoabschätzungen auf der Basis eines akzeptablen zusätzlichen Krebsrisikos von 10–6 durchzuführen. Für toxisch wirkende Substanzen (3-MNT, 4-MNT) sollen TRD-Werte zur Expositionsabschätzung herangezogen werden.

Unter weiterer Berücksichtigung von Expositionsbedingungen hinsichtlich einer inhalativen Aufnahme von MNT wurden tolerable Raumluftkonzentrationen für Wohn- und gewerblich genutzte Räume abgeleitet und zur Bewertung der Raumluftuntersuchungen herangezogen. Für die BTEX-Bestandteile sind die von der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e. V. (AGÖF) 2013 publizierten Normal- und Orientierungswerte verwendet worden.

Tab. 1: Beurteilungswerte für MNT in der Raumluft in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Tolerable Raumluftkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			
	Wohnräume (dauerhaft) ¹	Wohnräume (untergeordnet) ²	Gewerbliche Räume (mäßige Aktivität) ³	Gewerbliche Räume (leichte Aktivität) ⁴
2-MNT	0,025	0,25	0,07	0,14
3-MNT	162/62*	2 915/62*	858/62*	1 715/62*
4-MNT	29/84*	514/84*	151/84*	303/84*

¹ Menschen halten sich lebenslang (auch im Kindesalter) dauerhaft in den Räumen auf.

² Menschen halten sich lebenslang (auch im Kindesalter) max. 0,5 h/d mit intensiver Aktivität in den Räumen auf.

³ Erwachsene halten sich 8h/d während der Arbeitszeit über 40 Jahre mit mäßiger Aktivität in den Räumen auf.

⁴ Erwachsene halten sich 8h/d während der Arbeitszeit über 40 Jahre mit leichter Aktivität in den Räumen auf.

* Geruchsschwellen nach LABO (2008)

2.4 Ergebnisse

Auf Grundlage der historischen Recherche sind im Jahr 2016 Raumluftmessungen und Begehungen in Gebäuden durchgeführt worden. Insgesamt sind 36 Gebäude begangen worden.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen stand am Ende folgendes fest:

- Von den 19 Gebäuden der Kategorie 1 besteht für 13 Stück kein weiterer Handlungsbedarf und für 6 Stück ein Maßnahmenbedarf.

- Von den 18 Gebäuden der Kategorie 2 besteht für 17 Stück kein Handlungsbedarf. Bei einem Gebäude wurde der Zutritt durch den Eigentümer verweigert¹.
- Bei den 4 Gebäuden der Kategorie 3 wurde von einer Begehung abgesehen, da sich bereits in den Gebäuden der Kategorie 2 die Verdachtsmomente nicht bestätigt haben.

In den 6² relevanten Häusern der Kategorie 1 sind in den Jahren 2018 und 2019 Detailuntersuchun-

¹ Das Altgebäude ist nicht mehr vorhanden, es erstreckte sich über zwei weitere Grundstücke, in den darauf befindlichen Gebäuden wurden keine auf die Rüstungsaltlast zurückzuführende Auffälligkeiten festgestellt.

² In dem Altgebäude Nr. 256 wurden die Detailuntersuchungen bereits zu einem früheren Zeitpunkt aufgenommen und abgeschlossen.

gen durchgeführt worden. Hierbei sind teilweise sehr hohe Belastungen der zumeist ursprünglichen Gebäudesubstanz festgestellt worden. Bis zu mehreren g/kg MNT konnten in einigen ehemaligen Bodenplatten der Altgebäude ermittelt werden. Es sind somit starke Punktquellen, aber auch teilweise deutlich geringere, flächenhafte Belastungen ausgemacht worden.

Auch sekundäre Kontaminationen von neuen Baumaterialien (z. B. Gipskartonwänden) konnten festgestellt werden. Teilweise sind die Kontaminationen

mehrere Dezimeter tief in den alten Betonfundamenten und Sohlplatten nachzuweisen.

Bereits geringe Konzentrationen von wenigen mg/kg MNT (insbesondere 2-MNT) in der Gebäudesubstanz können anhaltende Raumluftbelastungen mit Überschreitung der zulässigen Gehalte bewirken.

Des Weiteren wurden auch stellenweise im unterhalb der Bodenplatten liegenden Boden bzw. Festgestein Belastungen mit MNT festgestellt.

3 Maßnahmen und Ausblick

Nach Vorlage der Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden sofortige Interimsmaßnahmen veranlasst. Hierzu gehören die umgehende und ausführliche Information der Anwohner und Eigentümer sowie organisatorische Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition von Personen in den Gebäuden. So sind die in der Raumluft belasteten Räume effektiv zu lüften (d. h. beim Betreten der Räume Lüften und dann

jede Stunde für 10 Minuten den Raum komplett durchlüften), Lebensmittel nicht offen zu lagern und der ständige Aufenthalt von Personen in den belasteten Räumen zu vermeiden.

Ergänzend hierzu wurden mobile Luftreiniger aufgestellt, sofern es die Bewohner zuließen. Diese werden seitdem kontinuierlich betrieben. Sie bewirken



Abb. 3: Bodenaushub innerhalb der Einhausung; im Hintergrund Reste der Altgebäudesubstanz

zwar eine deutliche Reduzierung der Schadstoffe in der Raumluft, aber leider nicht in dem Maße, dass die entsprechenden zulässigen Gehalte eingehalten werden können.

Bisher wurde für 4 Gebäude eine Sanierung ausgesprochen. Für die weiteren laufen derzeit noch die Auswertung der Detailuntersuchungen und die Abstimmung mit der Behörde und den Eigentümern.

Im Rahmen von Variantenstudien sind diverse Sanierungstechniken für den jeweiligen Einzelfall beurteilt und dabei auch hinsichtlich ihres langfristigen Nutzens bewertet worden. Neben den Eingriffen in den Lebensalltag für die Anwohner sind auch monetäre Aspekte in die Bewertung eingeflossen.

Aufgrund der schwierigen baulichen Situation der teilweise umfangreich um- und überbauten Altgebäude sowie der grundsätzlichen Problematik, dass geringe Belastungen in der Bausubstanz bereits anhaltende Raumluftbelastungen bewirken können, wurde in den bisher ausgesprochenen Sanierungsfällen der vollständige Gebäuderückbau mit anschließender Bodensanierung entschieden.

Für die Umsetzung dieser Sanierungsmaßnahmen ist das Land Hessen einen neuen Weg gegangen, indem es betroffene Gebäude und Grundstücke

erworben hat. Nach Durchführung der Sanierungen ist es geplant, die sanierten Grundstücke wieder zu veräußern.

Die Sanierung des ersten Gebäudes über diesen Weg hat Ende 2018 begonnen und wurde Juli 2019 erfolgreich abgeschlossen. Hierbei ist in einem ersten Arbeitsschritt der un- bzw. geringbelastete oberirdische Gebäudeteil in klassischer Weise zurückgebaut worden.

Dann wurde der stark belastete, erdgebundene Kellerbereich innerhalb einer Einhausung mit Abluftreinigung abgetragen.

Anschließend wurde ebenfalls innerhalb der Einhausung der unterhalb des ehemaligen Gebäudes liegende belastete Boden ausgehoben.

Es laufen derzeit die Sanierungsplanungen für weitere Gebäude in vergleichbaren Situationen im DAG-Gebiet. Voraussichtlich 2020 soll die nächste Sanierung eines mit Raumluft belasteten Gebäudes begonnen werden.

Bodenschutz in der Bauleitplanung am Beispiel der Umnutzung der Pioneer-Kaserne in Hanau

SYLVIA WIDMANN & HANS-HENNING WAGNER

1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

In Hanau ist die Neuerschließung respektive die Umnutzung der ehemaligen Pioneer-Kaserne einschließlich Triangle Housing Area geplant. Hierfür ist die Aufstellung eines Bebauungsplans (B-Plan) und die Durchführung einer Bauleitplanung für das Gesamtareal erforderlich. Vorrangiges Ziel des Bebauungsplans ist die Entwicklung eines Wohngebietes in naturnaher Umgebung mit einem hohen Anteil an Grünflächen. Dabei sind vorrangig Nutzungen als allgemeine Wohngebiete (WA) sowie urbane Gebiete (MU) und Park-/Freizeitanlagen (P/F) für Park-/Grünanlagen und Sportstätten vorgesehen. Weiterhin sind eingeschränkte Gewerbegebiete (GE; gewerblich genutzte Gebäude und Verwaltungs-/Bürogebäude mit deren Umfeld) sowie öffentliche Verkehrsflächen bzw. öffentliche Verkehrsflächen besonderer Zweckbestimmung in der Bauleitplanung berücksichtigt.

Aus der historischen Erkundung des Projektareals ergaben sich 74 Verdachtsflächen. Zusätzlich waren zum Übergabezeitpunkt unter anderem knapp 50 Abscheide- und Tankanlagen registriert. Daher wurde als Grundlage für die Durchführung der Bauleitplanung von der hierfür verantwortlichen kommunalen Stelle vor der Offenlage eine fachgutachter-

liche Beurteilung und integrale Gesamtbewertung des gesamten B-Plan-Gebiets aus bodenschutzrechtlicher Sicht gefordert. Diese war aus den aus Voruntersuchungen und Vorbeurteilungen vorliegenden Daten sowie aus Erfahrungswerten aus gleichartigen Geländen im Gesamtkonsens zu erstellen.

Aus der Stellungnahme musste eine rechtssichere Aussage zu möglichen Belastungen im B-Plan-Gebiet, nicht nur in den 74 bereits identifizierten Verdachtsflächen, sondern auch in allen nicht untersuchten dazwischenliegenden Bereichen, ableitbar sein. So war zu beurteilen, ob hier relevante Belastungen vorliegen, die den Zielen der Bauleitplanung entgegenstehen. Es waren Risiken und Einschränkungen für die geplanten Folgenutzungen aufzuzeigen und Maßnahmen zur Geländefreimachung aus bauleitplanerischer Sicht zu konzipieren.

Unabhängig hiervon musste auch die Identifizierung von wasser-/bodenschutzrechtlich relevanten Untergrundverunreinigungen vorgenommen werden, für die dann Sanierungsplanungen zur Beseitigung der Belastungen erstellt wurden (im Detail nicht Thema der vorliegenden Abhandlung).

2 Vorstellung des Projektareals

Das Projektareal liegt in Hanau im Ortsteil Wolfgang, direkt nördlich an die B 8 angrenzend. Im Südosten wird das Gelände von der autobahnähnlich ausgebauten B 43a sowie der Bahnlinie Hanau - Fulda abgeschlossen, im Norden und Osten befindet sich das Waldgebiet des FFH-Gebietes Bulau. Die westliche Geländegrenze wird durch Kleingartenanlagen gebildet.

Die insgesamt ca. 48 Hektar große Projektfläche wurde im größeren Nordteil zwischen 1936 und 1938 von der deutschen Wehrmacht für die Stationierung eines Eisenbahn-Pionier-Regiments erbaut. Nach der Besetzung durch US-Streitkräfte im April 1945 wurde das Kasernengelände bis zur Rückgabe an die Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2008 durch verschiedene Einheiten der US-Armee genutzt,

die vorhandenen Baulichkeiten wurden sukzessive erweitert und umgebaut. In den 1950er Jahren wurde unter anderem das Wohngebiet Triangle Housing im Süden des eigentlichen Kasernengeländes errichtet.

Durch die Nutzbarmachung und Umbauarbeiten weist das Projektareal an der Oberfläche aufgefüllte, sandig kiesige Einheiten mit wechselnden Gehalten an Fremdanteilen (vornehmlich 3–5 % Bauschuttreste) sowie unterschiedlichen Mächtigkeiten (0,7–1,4 m u GOK, punktuell bis 4 m u GOK) auf. Darunter folgen quartäre Talauenablagerungen der Vorfluter Kinzig und Main in Form von sandig-kiesigen Terrassensedimenten mit eingelagerten Schluff- und Tonschichten. Diese bewirken eine bereichsweise Trennung des oberflächennahen Poren-Aquifers in einen flacheren und tieferen Abschnitt. Der quartäre Grundwasserleiter wird zum Liegenden durch mit Rinnenstrukturen stark gegliederte, tonig-schluffig ausgebildete Tertiärsedimente abgeschlossen. Unter

den Tertiärtonen folgen sandig-schluffig ausgebildete Lockersedimente, die einen tieferen Grundwasserleiter mit gespannten Grundwasserverhältnissen bilden.

Die Ruhewasserspiegel im oberflächennahen quartären Leiter liegen im Mittel bei 2–3 m u GOK, am Nordrand des Projektareals kann der Flurabstand auf Grund der räumlichen Nähe des Vorfluters Kinzig auch geringer sein. Die allgemeine Grundwasserfließrichtung im Projektareal ist westlich orientiert, in Teilbereichen können die Fließrichtungen auf Grund der beschriebenen Untergrundverhältnisse auch innerhalb des 3. und 4. Quadranten variieren.

Das Projektareal selbst liegt nicht innerhalb eines rechtsgültig festgesetzten Trinkwasser- oder Heilquellenschutzgebiets, etwa 400 m in westnordwestlicher Richtung befinden sich die Grenzen der Schutzzonen II und III des Trinkwasserschutzgebiets „Wasserwerk II Leipziger Straße“ der Stadtwerke Hanau.

3 Durchführung der fachgutachterlichen Beurteilung und Entwicklung des bauleitplanerischen Maßnahmenplans

Zur Schaffung einer Datenbasis für die fachgutachterliche Beurteilung wurden alle verfügbaren Gutachten, Berichte, Dokumentationen und Stellungnahmen aus den Jahren 1960 bis 2018 – insgesamt 56 Stück – ausgewertet.

Bei den Datenauswertungen wurden nicht nur die chemoanalytischen Untersuchungsergebnisse geprüft, sondern auch die allgemeinen Untergrund- und Grundwasserverhältnisse, die Lithologie der Erkundungsaufschlüsse sowie auch die Untersuchungsmethodik berücksichtigt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Dokumentationen und Berichte der historischen Erkundung, orientierenden Erkundung und Detailerkundung gelegt.

Bei der Datenauswahl wurden die bei den vorliegenden Untersuchungen jeweils festgestellten, maximalen Schadstoffkonzentrationen herangezogen und aufgearbeitet. Um eine schadstofforientierte Beurteilung der so erhobenen Daten vornehmen zu können, wurde eine Beurteilungsmatrix mit nutzungsbezo-

genen Ziel-/Schwellenwerten für das B-Plan-Areal in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behördenvertretern sowie dem Investor erstellt (Details hierzu siehe unten).

Nach der ersten Auswertung wurde deutlich, dass für große Teilbereiche des Projektareals – vorrangig die außerhalb von den identifizierten und näher untersuchten, kontaminationsverdächtigen und kontaminierten Flächen liegenden Bereiche – nur unzureichende oder gar keine Daten vorlagen. Zur Integration dieser „weißen“ Flächen in die Datenbasis wurden nach eingehenden Ortsbesichtigungen, zur Identifizierung von belastungsrelevanten Indizien (z. B. Oberflächenbeschaffenheit, Bewuchs etc.), zusätzlich ergänzende, umwelttechnisch orientierte Untersuchungen in flächenübergreifender Anordnung durchgeführt und ausgewertet. In die fachgutachterliche Beurteilung flossen abschließend auch Erfahrungswerte aus gleich gelagerten Fremdprojekten des Gutachters ein.

Die Beurteilung mündete in einen Katalog mit Definitionen und Konzepten für Maßnahmen zur Erlangung der Geländereife unter bauleitplanerischen Gesichtspunkten, die tabellarisch sowie in thematischen Plänen dargestellt und in der Beurteilung näher erläutert wurden. Hierbei wurden drei Beurteilungsstufen respektive Geländebereiche definiert:

- Bereiche, in denen keine Maßnahmen außer der Entfernung der Oberflächenversiegelung (Geländereifmachung) erforderlich werden, um Nutzungsszenarien nach den bauleitplanerischen Zielvorgaben zu ermöglichen (grüne Bereiche),
- Bereiche, in denen aus bauleitplanerischer Sicht Aushubmaßnahmen zur Belastungsentfernung notwendig sind, um die bauleitplanerisch vorgesehene, nicht eingeschränkte Nutzung zu ermöglichen (gelbe Bereiche), und
- Bereiche, in denen bodenschutzrechtlich relevante Verunreinigungen – größtenteils bis in den grundwassergesättigten Untergrund – vorliegen, die auch ohne bauleitplanerisch bedingte Umnutzung ein Maßnahmenerfordernis zur Belastungsentfernung nach sich ziehen (rote Bereiche).

Für die letztgenannte Beurteilungsstufe wurden separate Sanierungsplanungen nach Bundesbodenschutzrecht erstellt. Die bauleitplanerisch bedingten Maßnahmenbereiche wurden anhand der nutzungsbezogenen Ziel-/Schwellenwertliste flächen- und tiefenbezogen näher definiert und das Handlungsvorgehen in der fachgutachterlichen Beurteilung sowohl textlich als auch tabellarisch konzipiert. Tabelle 1 zeigt beispielhaft einen Auszug aus der daraus resultierenden Maßnahmentabelle. Zusätzlich wurden die Maßnahmenbereiche flächen- und tiefenbezogen in einem Maßnahmenplan zeichnerisch festgelegt. Die Aushubtiefen wurden sowohl bezogen auf die ehemalige Geländeoberkante als auch auf das Höhenniveau Meter NN ausgewiesen.

Als Mindestaushubtiefe in zu Wohnzwecken vorgesehenen Bereichen wurde ein Niveau bis 0,6 m u GOK fixiert, jedoch sind hier je nach Schadstoffverteilung Aushubmaßnahmen bis zum Erreichen der festgelegten Ziel-/Schwellenwerte vorzunehmen (Details hierzu siehe unten).

Die bauleitplanerisch erforderlich werdenden Aushubmaßnahmen werden durch den Investor vor der Übergabe an den Endnutzer durchgeführt. Sie werden vollumfänglich fachgutachterlich begleitet. Hierdurch ist gewährleistet, dass der Endnutzer eine gemäß den Festlegungen in der Bauleitplanung vollumfänglich uneingeschränkte Nutzungsmöglichkeit seines Grundstücks erhält.

Als Sonderfall wurden Maßnahmen für eine Umnutzung zu Kinderspielflächen sowie Schul- und Kita-Geländen definiert. Hier sind vor der Umnutzung mit den zuständigen Fachbehörden abgestimmte, detaillierte Flächenuntersuchungen vorzunehmen, um die Eignung des Geländeteils für die vorgesehene hochsensible Nutzung zu prüfen. Bereits im Maßnahmenplan der fachgutachterlichen Beurteilung wurden hierfür grundsätzlich geeignete Teilbereiche ausgewiesen.

Zusätzlich wurden – vorrangig in den thematischen Karten – Bereiche gekennzeichnet, in denen Einschränkungen bei jeglichen Maßnahmen aus artenschutz- und naturschutzrechtlicher Sicht sowie zur Sicherung der Energieversorgung zu berücksichtigen sind.

Zur Erhaltung der Flächeneignung in bauleitplanerischer Sicht, auch bei späteren Baumaßnahmen, wurden mit den Projektbeteiligten Vorgaben zu den Qualitätsanforderungen an das Verfüllmaterial im Projektareal im Detail – unterschieden nach tiefenmäßigen Verfüllniveaus, geplanten Nutzungsszenarien und Materialherkunft – definiert.

Tab. 1: Auszug aus dem Maßnahmenkatalog zur Gewährleistung der bauleitplanerischen Nutzungsfreiheit

KVF/KF/ hsw-Bohrung/ Bereich	Aushub/ Maßnahme angezeigt	Aushubtiefe – Aushubsohle/ Aushubfläche (ca.) [m u GOK – m NN/m²]	Schadstoffe	Beurteilung – Begründung – Hinweise (Nutzung in fett dargestellt)
006	X	3,7–102,80/ 1 250	KW, BTEX	Die im Nutzungsbereich WA eingegrenzte Verunreinigung aus der ehemaligen Nutzung als Tankstelle reicht bis in den grundwassergesättigten Untergrund und muss – unabhängig von der Folgenutzung – unter Wasserhaltung ausgekoffert werden (Sanierungsplanung / Sanierungsbescheid liegt vor). Ein im Sanierungsbereich noch vorhandener, bereits verfüllter Erdtank muss rückgebaut werden.
067E	X	0,6–105,60/ 300	Pb, Zn, B[a]p	In der Verfüllung wurden hohe Blei- und Zink-Gehalte sowie ein erhöhter Benzo[a]pyren-Gehalt festgestellt, die die ZS für die Nutzung P/F überschreiten und durch lokale Aushubmaßnahmen entfernt werden müssen.
076	–	–	–	Es wurden keine handlungsrelevanten Stoffinhalte im Untergrund festgestellt (Nutzung P/F und Verkehrsfläche).
078	–	–	–	In der orientierenden Erkundung durchgeführte Baggerschürfe erbachten keine Indikation für einen umweltbedingten Handlungsbedarf (Nutzung WA).
RK 19	X	0,7–105,50/ 4 100	PAK	In der hsw-Bohrung RK 19 wurden für die Nutzung WA deutlich erhöhte PAK-Gehalte festgestellt, die durch den Aushub der gesamten Auffüllung zu beseitigen sind. An der Nordwestgrenze des als WA-Nutzung gekennzeichneten Bereichs ist eine schutzwürdige Baumpflanzung bei der Auskoffierung zu berücksichtigen. Abstimmung mit Naturschutz erforderlich.

4 Rechtlicher Rahmen und projektbezogene Randbedingungen

Die beschriebene Vorgehensweise beruht auf einer Einzelfallentscheidung, die für diesen Bebauungsplan unter Beteiligung des Investors und seinem Gutachter, der planaufstellenden Behörde sowie der unteren und oberen Bodenschutzbehörde getroffen wurde. Folgende Rahmenbedingungen und Überlegungen waren dafür maßgebend.

Es handelt sich um einen Angebots-Bebauungsplan, bei dem der Investor bereits feststeht und die

Erschließungsmaßnahmen durchführt. Die Bebauung erfolgt im Regelfall (d.h. bei Einhaltung aller Festsetzungen) im freigestellten Verfahren, sodass keine behördliche Überwachung mehr erfolgt. Seitens des Investors bestand der Wunsch, möglichst keine Kennzeichnungen der Bodenbelastungen im Bebauungsplan festzusetzen. Jedoch war absehbar, dass die Bodensanierung nicht vor Satzungsbeschluss des Bebauungsplans abgeschlossen sein wird. Daher war es aus planungsrechtlicher Sicht erfor-

derlich, den Umgang mit belastetem Boden konkret festzulegen. Dies erfolgte in der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen fachgutachterlichen Beurteilung zur Bauleitplanung/Bodenschutz, die im städtebaulichen Vertrag zum Bebauungsplan (zwischen Investor und Kommune) die Umsetzung der Maßnahmen verbindlich regelt.

Das Ziel der o.g. Beteiligten war es, eine einheitliche Qualitätsvorgabe für die gesamte Fläche in Form von Ziel-/Schwellenwerten festzulegen. Der Schwellenwert (Eingriffswert) und der Zielwert wurden deshalb mit identischen Stoffkonzentrationen belegt. Diese Liste sollte Grundlage jeglicher Baumaßnahmen auf der Fläche sein, einschließlich der Vorgaben für die Wiederfüllung, sowohl für die vom Investor oder von Wohnbaugesellschaften veranlassten Baumaßnahmen als auch für private Endnutzer. Nach Durchführung der in der gutachterlichen Beurteilung konzipierten Maßnahmen soll das Plangebiet ohne weitere fachgutachterliche Überwachung bebaut werden können. Die Grundstücke in den festgesetzten Wohngebieten sollen uneingeschränkt nutzbar sein.

Bei der Entwicklung der Ziel-/Schwellenwertliste waren neben den genannten Randbedingungen die folgenden rechtlichen Grundsätze und Zuständigkeiten zu beachten:

- Altlasten werden nach den im BBodSchG verankerten Grundsätzen der **Gefahrenabwehr** durch die **Bodenschutzbehörde** bewertet.
- Bei der Festlegung der Sanierungszielwerte ist die planungsrechtlich zulässige Nutzung – in diesem Fall also die zukünftige Nutzung gemäß Bebauungsplan – zu berücksichtigen.
- Die **Kommunen** sind verpflichtet, bei der Bauleitplanung die Anforderungen an **gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse** und die Belange des Umweltschutzes zu berücksichtigen.
- Die Kommune hat über die Pflichten zur Gefahrenabwehr hinaus auch eine bauplanungsrechtliche Vorsorgepflicht. D.h., die Kommunen müssen in ihrer Abwägungsentscheidung auch solche Belastungen berücksichtigen, die **unterhalb der Gefahrenschwelle** liegen.

Um zwischen den verschiedenen Zuständigkeiten zu unterscheiden, wurden die erforderlichen Maßnahmen unterschieden in Bereiche, deren Sanierungen nach rein bodenschutzrechtlichen Kriterien der Gefahrenabwehr erforderlich sind (Sanierungsbereiche), und dem bauleitplanerischen Aushub, der erforderlich ist, um der bauplanungsrechtlichen Vorsorgepflicht Rechnung zu tragen. Um das gewünschte einheitliche Qualitätsziel zu erhalten, wurde jedoch unabhängig der rechtlichen Zuständigkeiten und Verantwortung eine gemeinsame Ziel- und Schwellenwertliste erarbeitet.

5 Entwicklung der Ziel-/Schwellenwertliste und Festlegung von Prüftiefen

5.1 Ziel-/Schwellenwertliste

Für die Bewertung von Bodenbelastungen in der Bauleitplanung gibt es keine verbindlichen Werte. Für die im Rahmen der gemeindlichen Abwägung möglichen Werte findet sich in der Rechtsprechung eine große Bandbreite zwischen

„Die Prüfwerte sind so weit wie möglich zu unterschreiten [1]“

und

„Im Einzelfall kann allerdings auch in der Bauleitplanung sogar eine Überschreitung von Maßnahmenwerten zulässig sein, da die Maßnahmenwerte nach § 8 Abs. 1 S. 2 BBodSchG das Vorliegen einer Gefahr nur im Regelfall vermuten lassen“ [2].

Auf dieser Grundlage wurden für die Ziel-/Schwellenwertliste zunächst die Prüfwerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Mensch verwendet. Für Parameter, für die kein Prüfwert in der BBodSchV

existiert, wurde hilfsweise auf die Prüfwerte aus dem Entwurf zur Mantel-VO zurückgegriffen. Die Zielwerte für die Parameter Mineralölkohlenwasserstoffe und PAKges wurden in Anlehnung an die LAGA-Zuordnungswerte festgelegt. Zudem wurde der Erlass zur Bewertung von PAK bezüglich des Wirkungspaths Boden-Mensch aus Schleswig-Holstein mitberücksichtigt. Für die Nutzung als Park-/und Freizeitanlage sowie Gewerbegebiete wurden diese wie oben beschrieben festgelegt.

Für Kinderspielflächen und Wohngebiete wurden zum Teil niedrigere Werte als die Prüfwerte vereinbart. Grund dafür ist, dass die Prüfwerte für Wohngebiete für die Parameter Thallium, Quecksilber, Cyanid, PCB und Benzo[a]pyren über den LAGA Z2-Werten liegen. Somit könnten bei Baumaßnahmen in Bereichen, in denen nach den Prüfwerten der BBodSchV keine Maßnahmen erforderlich wären, Böden mit einem Zuordnungswert LAGA >Z2 anfallen. Dadurch könnten auf den Endnutzer nicht hinnehmbare Belastungen auf Grund abfallrechtlicher Maßnahmen zukommen. Dies widerspräche

der gewünschten uneingeschränkten Nutzbarkeit der Grundstücke und würde die nicht erwünschte fachgutachterliche Überwachung von Baumaßnahmen nach sich ziehen. Daher wurde für die genannten Parameter ein Zielwert entsprechend den LAGA Z1-Werten festgelegt. Diese Werte wurden ebenfalls für die Kinderspielflächen übernommen, sofern die Prüfwerte dieser Nutzungskategorie > LAGA Z1 liegen. Ergänzend wurde festgelegt, dass für Kinderspielflächen, deren Lage im Bebauungsplan noch nicht konkret festgelegt ist, vor Errichtung eines Spielplatzbereichs eine flächenbezogene Eignungsprüfung vorgenommen werden muss.

Die Ziel-/Schwellenwertliste diene auch als Grundlage für die Regelungen zur Wiederverfüllung/ Auftrag von Bodenmaterial. Geländeinterner Boden darf unter Einhaltung der Ziel-/Schwellenwertliste im oberen und mittleren Verfüllbereich verwertet werden. Für angeliefertes Material und den unteren Verfüllbereich (innerhalb des Grundwassers) wurden die Regelungen des Tagebauerlasses vorgegeben.

5.2 Prüftiefen

In den Wohngebieten wurden auch die relevanten Prüftiefen, abweichend von den Festlegungen in der BBodSchV, festgelegt.

Für die Beurteilung des Wirkungspaths Boden-Mensch ist nach BBodSchV eine Prüftiefe von 35 cm bzw. 60 cm für Nutzpflanzen ausreichend. Sofern keine Grundwassergefährdung besteht, wäre es unter dem Gesichtspunkt der Gefahrenabwehr aus-

reichend, diesen Tiefenbereich auszukoffern, eine Grabsperr einzubringen und mit unbelastetem Boden wieder aufzufüllen. Aufgrund der Größe des Baugebiets und der gewünschten uneingeschränkten Nutzbarkeit der Grundstücke, scheidet diese Vorgehensweise aus. Insofern wurde für die Wohngebiete ein Aushub von kontaminiertem Boden bis zur Unterschreitung der Zielwerte unabhängig von der Tiefenlage der Kontamination festgelegt.

6 Fazit

Die Ausführungen in den vorherigen Kapiteln zeigen, wie schwierig es ist, mit den Instrumenten des BBodSchG, welches in erster Linie nachsorgend die Gefahrenabwehr bei bestehenden Flächen regelt, den vorsorgenden planungsrechtlichen Anforderungen an gesunde Wohnverhältnisse Rechnung zu tragen, zumal es hierzu in der Baugesetzgebung keine Vorgaben gibt.

Es bleibt letztendlich den Beteiligten überlassen, eine einzelfallbezogene Regelung zu treffen.

Ohne enge Zusammenarbeit der Beteiligten ist dies, zumindest in einem Projekt dieser Größe, nicht möglich. Bereits ca. 2 Jahre vor der frühzeitigen Behördenbeteiligung fand ein erstes Arbeitstreffen statt. In diesem Zeitraum fanden zur Abstimmung der fachgutachterlichen Beurteilung (insbesondere

des bauleitplanerischen Maßnahmenplans, der Ziel-/Schwellenwertliste, der Vorgaben zur Verfüllung) 11 Besprechungstermine und unzählige Telefonate zwischen den Beteiligten statt.

Gemeinsam ist es gelungen, durch die Vorgaben in der gutachterlichen Beurteilung, einen einheitlichen Qualitätsstandard für die Fläche und eine transparente Regelung für den Bebauungsplan zu schaffen. Jeder Grundstücksinteressent kann sich leicht einen Überblick über mögliche Bodenbelastungen verschaffen. Nach Ausführung der Sanierungsmaßnah-

men und der bauleitplanerischen Maßnahmen kann die Fläche uneingeschränkt bebaut werden. Kennzeichnungen im Bebauungsplan konnten vermieden werden.

Die vorhandene abgestimmte Handlungsanweisung erwies sich als großen Vorteil bei der Überwachung sämtlicher Erdbaumaßnahmen auf der Fläche. Bei unvorhergesehenen Funden, z. B. im Rahmen der Rückbau- und Erschließungsmaßnahmen, gab es keine Bauunterbrechung zur Klärung der weiteren Vorgehensweise.

Literatur

[1] Mustererlass zur Berücksichtigung von Flächen mit Bodenbelastungen, insbesondere Altlasten, bei der Bauleitplanung und im Baugenehmigungsverfahren, StAnz. 19/2002 S.1753.

[2] SCHRÖDTER/WAHLHÄUSER, a.a.O., § 1 Rn. 342.

Die Methodensammlung Feststoffuntersuchung - Inhalte und Anwendungsmöglichkeiten

REINHARD SUDHOFF & JAN BRODSKY

1 Allgemeines

Die 87. Umweltministerkonferenz (UMK) hatte die Bund-/Länderarbeitsgemeinschaften Bodenschutz (LABO) und Abfall (LAGA) aufgefordert die unterschiedlichen Untersuchungsverfahren anzupassen:

„Die Umweltministerinnen, -minister und -senatoren der Länder bitten LABO und LAGA, die Harmonisierung der Untersuchungsmethoden für den Feststoffbereich (Abfall, Boden, Altlasten) anzustreben. Sie bitten LABO und LAGA, über den Fortschritt der Harmonisierungsbemühungen zur 91. Umweltministerkonferenz zu berichten.“

Durch eine gemeinsame adhoc AG, gebildet aus Mitgliedern von LAGA Forum Abfalluntersuchung (Forum-AU) und dem Fachbeirat Bodenuntersuchung (FBU), wurde unter Federführung der LAGA eine Methodensammlung Feststoffuntersuchung erarbeitet. Diese stellt eine Zusammenführung der Inhalte der LAGA Methodensammlung Abfalluntersuchung V3.0 (14.10.2016) und der Methodensammlung Boden-/Altlastenuntersuchung V1.1 (28.02.2018) des FBU dar.

Die Methodensammlung Feststoffuntersuchung wurde mittlerweile als Version 1.1, Stand: 04.07.2018, veröffentlicht. Die Grundlage für die Veröffentlichung basiert auf dem Umlaufbeschluss Nr. 42/2018 der Umweltministerkonferenz: *„Die Amtschefkonferenz nimmt die Methodensammlung Feststoffuntersuchung (Version 1.1) zur Kenntnis und stimmt deren Veröffentlichung zu. Sie empfiehlt den Ländern, diese einzuführen.“*

Die Methodensammlung ist ein universelles Nachschlagewerk und enthält neben dem inhaltlichen Hauptteil Regelungen zur Auswahl von Untersuchungsverfahren und zur Bewertung von Messergebnissen. In dem Hauptteil werden alle in relevanten Verordnungen genannten Verfahren aufgelistet und bewertet. Er ist entsprechend dem Ablauf einer Untersuchung von der Planung über Probennahme, Probenvorbereitung, Analytik und Bewertung gegliedert. Die analytischen Verfahren sind nach Parametern gegliedert.

2 Tabellenteil

Im Tabellenteil sind neben den Methoden zur Probennahme und Probenvorbereitung auch die einzelnen Untersuchungsparameter, gegliedert in Kapiteln zu allgemeinen, physikalischen, anorganischen, organischen Parametern und Summenparametern sowie biologischen Verfahren, aufgeführt.

In den Tabellenzeilen zu den einzelnen Parametern ist das nach Ansicht des FBU und des Forums-AU leistungsstärkste Verfahren mit grüner Farbe hinterlegt. Grüne gekennzeichnete Verfahren sind im Vergleich zu anderen Verfahren robuster und fortschritt-

licher. Es handelt sich hierbei um etablierte und in Normen genannte Verfahren. Als robust werden Verfahren bezeichnet, die unabhängig von der untersuchten Matrix (Boden, Abfall) zu gut reproduzierbaren Ergebnissen kommen.

Neben der Dokumentation der grün gekennzeichneten Verfahren war es den Autoren wichtig, auf bekannte Schwachstellen der verschiedenen Untersuchungsverfahren hinzuweisen. Diese sind im Laborbereich zwar überwiegend bekannt, GutachterInnen und BehördenmitarbeiterInnen hatten bis-

her aber eher zufällig von diesen Mängeln erfahren. Auch für diese Berufsgruppen ist es wichtig zu wissen, dass der Messwert, der auf einem für diesen Fall ungeeigneten Verfahren basiert, für eine tragfähige Entscheidung nicht angewandt werden sollte.

In den Tabellen finden sich auch Hinweise auf Leistungsgrenzen, die untere Anwendungsgrenze, die erforderliche Probenaufbereitung und die Aussage zur Validität des Verfahrens. In der Spalte „fachliche Beurteilung“ ist hinterlegt, von welchem Gremium das Verfahren empfohlen wird.

3 Anwendungsregeln

Die von der 87. UMK geforderte Anpassung der Untersuchungsmethoden kann mit Hilfe der Methodensammlung zu einer deutlichen Reduzierung der zulässigen Untersuchungsverfahren führen, wenn der Bund und die Länder konsequent die grün hinterlegten Verfahren in ihren Gesetzen und Verordnungen vorschreiben. Dies würde die erforderliche Anzahl der bedruckten Seiten künftiger Methodensammlungen drastisch reduzieren.

Bei der Auswahl von Verfahren zur Untersuchung von Feststoffen ist es wichtig zu prüfen, für welchen Rechtsbereich die Untersuchung durchgeführt werden soll.

Für Abfalluntersuchungen ist folgendes Vorgehen erforderlich:

1. Parameter auswählen.
2. Prüfen, ob ein grünes Verfahren für den betroffenen Verordnungsbereich (in rechter Spalte) zugelassen ist.
3. Wenn ja, ist dieses im Regelfall auszuwählen.
4. Wenn nicht, prüfen ob die Verordnung ein gleichwertiges Verfahren zulässt. Ist dies der Fall, entscheidet die zuständige Behörde, ob das gewählte Verfahren gleichwertig ist. Diese kann für die Prüfung die grün gekennzeichneten Verfahren als Entscheidungsgrundlage nutzen.

Für den bodenschutzrechtlichen Bereich gilt, dass vom FBU empfohlene Verfahren verwendet werden dürfen, da der FBU zur Feststellung der Gleichwertigkeit von Untersuchungsverfahren und zur Fortschreibung des Standes der Untersuchungstechnik autorisiert ist.

4 Hintergrundinformationen zu organischen Gruppenparametern

Zusätzlich zu dem Hauptziel der Dokumentation der derzeit zulässigen Analysenverfahren zur Bewertung von Abfall und Boden finden sich in der Methodensammlung auch Hintergrundinformationen zu den für den Vollzug bedeutsamen organischen Stoffgrup-

pen wie z.B. PAK, LHKW, PCB und PFC. Dort ist hinterlegt, aus welchen Einzelparametern die organischen Stoffgruppen bestehen und wie die Summe der Einzelparameter zu berechnen ist.

5 Bewertungsteil

Feste Abfälle und Böden sind oft heterogen zusammengesetzt. Sie weisen Schwankungen in der stofflichen Zusammensetzung auf. In einer Grundmenge können daher Bestandteile mit hohen und niedrigen Schadstoffgehalten nebeneinander auftreten. Diese Schwankungen spiegeln sich auch in den Analyseergebnissen der Einzel- und Mischproben wider.

Für den Fall, dass nicht der punktuelle Wert am Ort der jeweiligen Einzelprobenentnahme, sondern die durchschnittliche Zusammensetzung des Haufwerkes entscheidungsrelevant ist, werden in der Methodensammlung drei Möglichkeiten vorgeschlagen: Ein Grenzwert gilt als eingehalten, wenn alle Messwerte der Laborproben den Beurteilungswert unterschreiten oder der Mittelwert (M) und 80 % (4 von 5-Regel) aller Laborproben (LP) diesen Wert unterschreiten oder der Mittelwert zuzüglich der ermittelten Streuung des Mittelwerts unterhalb von diesem Wert liegt.

Zulässig sind diese Berechnungen im Abfallbereich allerdings nur, wenn keine Vermischung von Abfällen unterschiedlicher Zusammensetzung mit dem Ziel der Veränderung von Schadstoffgehalten stattgefunden hat und die Beprobung des Haufwerks nach den Vorgaben der LAGA-RL PN 98 erfolgte und der Erhalt der Verteilung der Ausprägung der Merkmale des Haufwerks bei der Gewinnung der Laborproben berücksichtigt wurde.

Im Bereich der Bodenschutzverordnung können diese Regelungen nach Ansicht der Autoren analog auf Auffüllungskörper angewandt werden, wenn es sich um Auffüllungen mit einheitlicher Schadstoffzusammensetzung handelt. Nicht angewandt werden kann die Regelung auf Bodenkörper, bei denen ein flüssiger Schadstoff eingetragen wurde, wie dies z. B. typischerweise bei Ölschäden der Fall ist.

Bei der Bewertung von Messergebnissen ist in jedem Fall zu prüfen, ob der vorliegende Messwert überhaupt die notwendige Ergebnissicherheit für die jeweils erforderliche Entscheidung bietet. Für eine erste kursorische Prüfung wurden für die Methodensammlung Checklisten zur Prüfung von Gutachten im Abfallbereich und Prüfberichten im Bodenschutzbereich entwickelt. Erste Erfahrungen zeigen, dass ca. $\frac{1}{3}$ der vorgelegten Unterlagen nicht bewertbar sind. Die Checkliste für den Bodenschutzbereich ist kürzer gefasst, da davon ausgegangen wird, dass die nicht abgefragten Punkte grundsätzlich in den jeweiligen Standortgutachten vorhanden sind.

Die Methodensammlung Feststoffuntersuchung ist ein für alle mit der Untersuchung von Feststoffen befassten Personenkreise aktuelles Nachschlagewerk und bietet einen umfassenden Überblick über die in dem Zusammenhang benötigten Methoden/Verfahren. Die Methodensammlung wird künftig unter der Federführung der LAGA regelmäßig gepflegt und aktualisiert.

Bodenschutzkonzept Wetzlar - ein erster Zwischenstand zum Projekt

T. KLEIN, U. APEL, K. FRIEDRICH, R. MILLER, D. PECORONI & M. PETER

1 Einleitung

Kommunen kommt eine Schlüsselrolle beim Schutz von Böden zu:

Kommunen gehen bei der Durchführung von Bau- und Erschließungsmaßnahmen sowie der Pflege von Grünflächen unmittelbar mit Böden um. Durch die kommunale Bauleitplanung werden nach wie vor in großem Umfang Flächeninanspruchnahmen vorbereitet, die häufig durch Bebauung und Versiegelung mit einer Beeinträchtigung bis zum Totalverlust der Bodenfunktionen einhergehen.

Andererseits profitieren Kommunen von intakten Böden: Sie sind Voraussetzung für den dezentralen Rückhalt von Niederschlagswasser, Basis für vitale Grün- und Freiflächen und ein wichtiger Baustein für die biologische Vielfalt. Die Kühlungsfunktion von Böden nimmt mit Blick auf die Bestrebungen zur Klimaanpassung an Bedeutung zu. Der Erhalt von Böden mit ihrer Ertragsfunktion ermöglicht eine regionale Versorgung mit Lebensmitteln.

Diese Thematik wurde in zwei Broschüren [1], [2] des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) aufbereitet und in 2016 in fünf regionalen Veranstaltungen [3] mit Vertretern aus Kommunen und Planungsbüros diskutiert.

Die Aufstellung eines Bodenschutzkonzepts wurde bereits in den Broschüren als Möglichkeit zur Vernetzung unterschiedlicher kommunaler Aufgaben mit Bodenbezug beschrieben. Im Rahmen der Veranstaltungen wurde neben inhaltlichem Klärungsbedarf der Wunsch nach Pilotprojekten und Best Practice Beispielen formuliert.

In der Folge hat sich hieraus ein gemeinsames Projekt des HMUKLV und der Stadt Wetzlar als Kooperationspartner entwickelt: Im Auftrag des HMUKLV wird derzeit vom Ingenieurbüro Schnittstelle Boden, Ober-Mörlen, für die Stadt Wetzlar ein umfassendes Bodenschutzkonzept erarbeitet.

2 Zielsetzung des Projekts „Bodenschutzkonzept Wetzlar“

Das Vorhaben hat Pilotcharakter und soll für andere hessische Kommunen ein mögliches Vorgehen zur Erstellung eines Bodenschutzkonzepts aufzeigen. Gleichzeitig sollen die Vorteile für die Verwaltung und den kommunalen Bodenschutz herausgearbeitet werden. Ziel ist dabei, den Bodenschutz auf kommunaler Ebene in Hessen zu stärken.

Mit Hilfe des Bodenschutzkonzepts sollen die unterschiedlichen bodenbezogenen Entscheidungsprozesse in der Stadt Wetzlar identifiziert und noch besser strukturiert werden. Dabei sind insbesondere die Schnittstellen zwischen den Ämtern, die bodenbezogene Aufgaben bearbeiten, zu berücksichtigen.

Das Bodenschutzkonzept soll eine belastbare Entscheidungshilfe und Entscheidungsgrundlage in Bezug auf bodenbezogene Fragestellungen sein.

Insbesondere soll das Bodenschutzkonzept bodenbezogene Grundlagen für Abwägungsentscheidungen liefern und die Lenkung von Planungsvorhaben auf weniger schutzwürdige bzw. schutzbedürftige Böden unter Berücksichtigung des Vorrangs der Innenentwicklung erleichtern.

Mit dem Bodenschutzkonzept soll eine größere Akzeptanz hinsichtlich eines schonenden und nachhaltigen Umganges mit der begrenzten Ressource Boden erreicht werden. Dazu gilt es, die Bedeutung und Leistungsfähigkeit der Böden in den Gemarkungen der Stadt Wetzlar zu vermitteln und Konsequenzen aufzuzeigen, die Eingriffe in den Boden oder eine Neuinanspruchnahme von Flächen haben. Zudem soll aufgezeigt werden, wie Bodeneigenschaften gezielter genutzt und Planungen und Entwicklungen optimiert werden können.

3 Erstellung des Bodenschutzkonzepts: Ansätze und Zwischenstand

Die Arbeiten zur Erstellung des Bodenschutzkonzepts Wetzlar haben im Dezember 2018 begonnen.

Die Erstellung umfasst verschiedene Bausteine, deren Bearbeitung teilweise parallel erfolgt und zum

Vortragszeitraum unterschiedlich weit fortgeschritten ist. Im nachfolgenden Kapitel werden daher der jeweilige Ansatz und Bearbeitungsstand skizziert.

3.1 Baustein 1: Bestandsaufnahme

Verwaltungsbezogene Bestandsaufnahme

Zunächst wurde eine umfassende Bestandsaufnahme und Analyse der Verwaltungs- und Planungstätigkeit mit Bodenbezug für die Stadt Wetzlar durchgeführt. Hierzu wurden Interviews mit den Amtsleitungen und Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern verschiedener städtischer Ämter geführt, die von dem Thema besonders betroffen sind.

Für die Stadtverwaltung Wetzlar wurden folgende Ämter mit einbezogen:

- 39 – Amt für Umwelt und Naturschutz,
- 61 – Amt für Stadtentwicklung inklusive Grundstücksverwaltung („Planungsamt“),
- 65 – Amt für Gebäudemanagement („Hochbauamt“),
- 66 – Tiefbauamt,
- 63 – Bauordnungsamt,
- 60 – Büro des Baudezernenten,
- 68 – Stadtbetriebsamt,
- 15 – Amt für IT.

Zusätzlich wurde ein Vertreter der enwag energie- und wassergesellschaft mbH, an der die Stadt Wetzlar beteiligt ist, befragt. Die Interviews wurden durch Gespräche mit Vertretern der Magistratebene ergänzt.

Anhand der Interviews konnten Informationen insbesondere zu folgenden Fragen zusammengetragen werden:

- In welchen Bereichen haben Sie mit dem Thema Boden (oder Bodenschutz) zu tun? / In welchen Zusammenhängen spielt Boden bei Ihnen eine Rolle? / Ist Boden ein eigenständiges Thema?
- Welche Planungen und Entscheidungsprozesse mit Bodenbezug sind für Sie gerade aktuell bzw. in Bearbeitung (z. B. Bauleitplanung, Siedlungsentwicklung, Erschließungsmaßnahmen, Aktivitäten zu Klimaanpassung, Hochwasservorsorge, Grünflächenmanagement, Arten- und Biotopschutz)?
- Verwenden Sie oder benötigen Sie Bodeninformationen?
- Mit welchen Ämtern oder Personen haben Sie Kontakt bei bodenschutzrelevanten Fragestellungen? Wie sehen die Abläufe aus? / Gibt es

Anlaufstellen oder Ansprechpartner/innen bei bodenbezogenen Problemen oder Schwierigkeiten?

- Gibt es Vorgaben zu Zuständigkeiten oder organisatorischen Abläufen hinsichtlich bodenschutzrelevanter Fragestellungen? Welche sind dies konkret?
- Können Sie bodenbezogene Probleme oder Ereignisse benennen (z. B. Fälle von Bodenerosion, mangelnde Versickerung bei Starkregenereignissen, Schädigung von Freiflächen durch Verdichtung in Neubaugebieten, weitere Schadensfälle)? Welche Maßnahmen wurden ergriffen?
- Wo sehen Sie für die Stadt Handlungsbedarf im Themenbereich Boden und Bodenschutz?
- Was wünschen Sie sich im Bodenschutzkonzept – was könnten Sie gebrauchen? Welche Ansprüche und Erwartungen haben Sie an das Bodenschutzkonzept?

Im Rahmen der verwaltungsbezogenen Bestandsaufnahme konnten so die bestehenden Bezüge zu bodenschutzfachlichen Fragestellungen innerhalb der Verwaltung ermittelt werden.

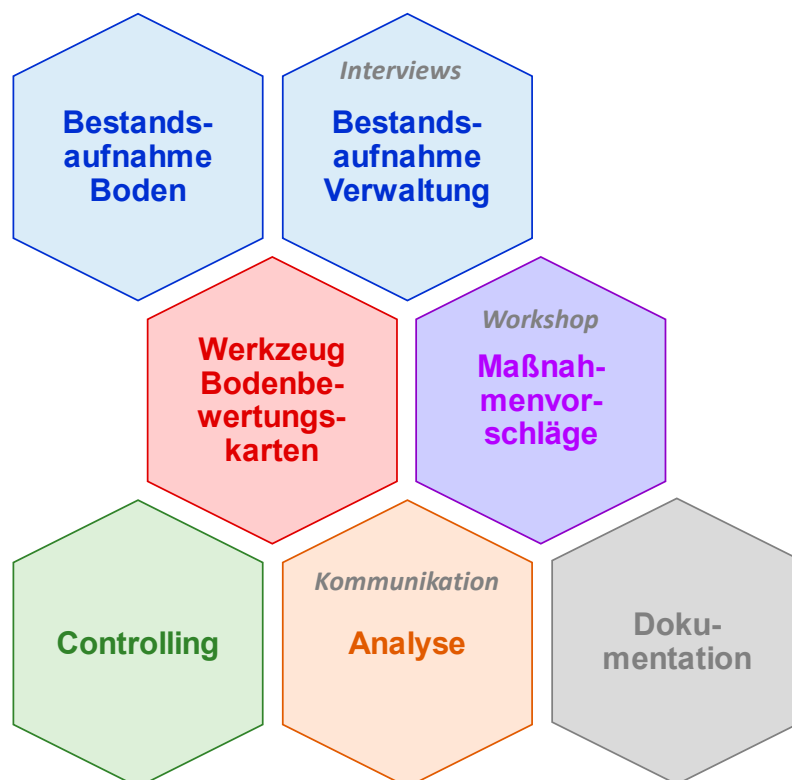


Abb. 1: Überblick Bearbeitungskonzept „Bodenschutzkonzept Wetzlar“

Die folgenden Abbildungen zeigen erste Teilergebnisse der verwaltungsbezogenen Bestandsaufnahme. Sie veranschaulichen die Interaktionen zwischen den beteiligten Ämtern und stellen die für die Ämter wesentlichen aktuellen Bodenthemen dar.

Außerdem wurden Bebauungspläne bzw. Umweltberichte zu Bebauungsplänen der letzten fünf Jahre hinsichtlich der Anwendung bodenbezogener

Arbeitshilfen [4], [5], [6], [7] und Daten, die im BodenViewer Hessen verfügbar sind (Bodenfunktionsbewertung und BFD5L), untersucht. Die Arbeiten hierzu sind noch nicht abgeschlossen.

Weitergehende Auswertungen werden derzeit zur Ableitung eines Handlungsrahmens und von Maßnahmenvorschlägen durchgeführt (vgl. Baustein 3).

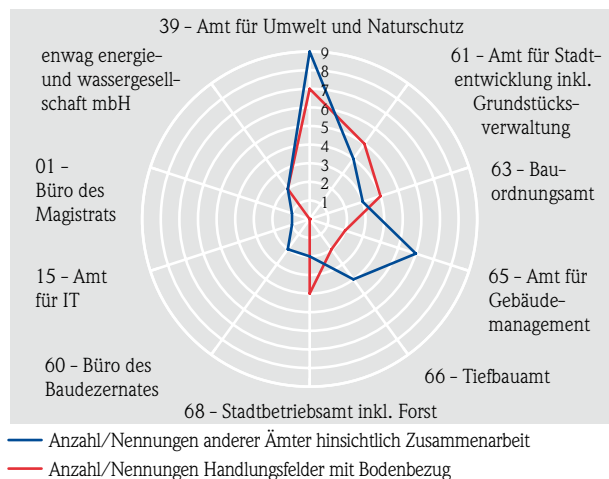


Abb. 2: Interaktionen zwischen Ämtern und Handlungsfelder mit Bodenbezug (Anzahl/Nennungen)

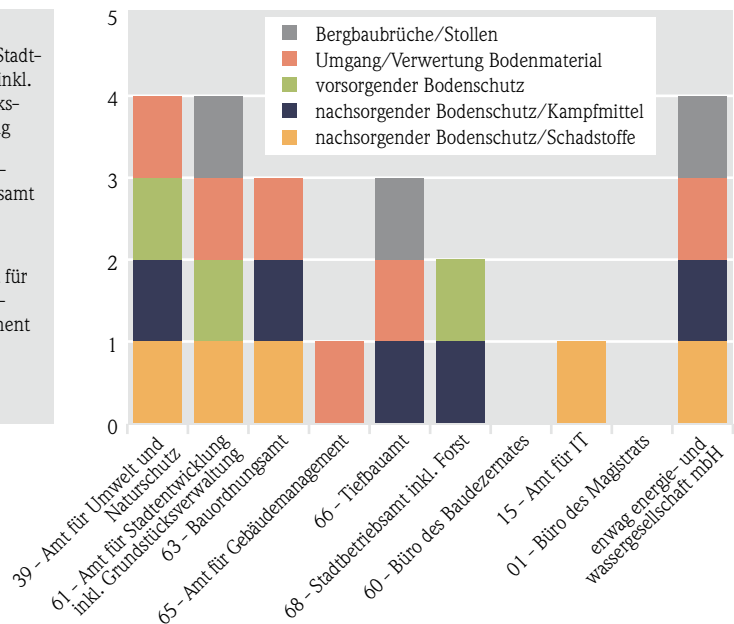


Abb. 3: Bodenthemen in Bezug zur Nennung aus den Ämtern (unabhängig von der Intensität der Bearbeitung)

Bodenbezogene Bestandsaufnahme

Neben der verwaltungsbezogenen Bestandsaufnahme erfolgt eine differenzierte Betrachtung der Böden, ihrer Funktionen und Eigenschaften im Stadtgebiet Wetzlar als Grundlage für eine Bodenbewertung und für Planungen (vgl. Baustein 2):

Bisher wurden insbesondere folgende bodenrelevanten Informationen erfasst und ausgewertet (Abzug des aktuellen Datenbestandes):

- Bodenflächendaten Hessen 1 : 5 000, landwirtschaftliche Nutzfläche BFD5L (Bodenfunktionskarten; aktueller Bearbeitungsstand HLNUG)
- Bodenflächendaten 1 : 50 000 Hessen (Bodenformen, Bodenfunktionskarten; BFD50, 2. Aufl. 2018, HLNUG)
- Forstliche Standortkarte (Bodenart, Geländewasserhaushaltsstufe; Hessenforst)

- Flächennutzung (ALKIS; HVBG)
- versiegelte Flächen (Abwassersplitting)
- Luftbilder (aktuell und historisch)
- Altflächen (Altflächenkataster)
- Baulückenkataster der Stadt.

Folgende Grundlagen sollen darüber hinaus noch berücksichtigt werden:

- potenzielle Bodenerosionsflächen (Erosionsatlas HLNUG, 2. Auflage 2018)
- Bodenzustandskataster/Labordaten (HLNUG)
- naturschutzfachlich relevante Flächen (NATUREG)
- Digitales Geländemodell DGM1 (HVBG)
- Hochwassergebiete HQ10, HQ100 (HLNUG).

3.2 Baustein 2: Bodenbewertungskarten

Als zentraler Bestandteil des Bodenschutzkonzepts soll eine Bodenbewertungskarte für das gesamte Stadtgebiet Wetzlar auf der Grundlage der bodenbezogenen Bestandsaufnahme erstellt werden. Insbesondere Forstflächen und innerstädtische Flächen bedürfen einer einfachen (Gesamt-)Bewertung.

Daneben sind weitere Auswertungen und thematische Einzelkarten zu folgenden Themen geplant:

- Wasserspeichervermögen (Funktion des Bodens im Wasserhaushalt)
- Biotopentwicklungspotenzial/Standorttypisierung (Funktion des Bodens als Lebensraum für Pflanzen)
- Ertragspotenzial (Funktion des Bodens als Lebensraum für Pflanzen)
- Kühlungsfunktion (Klimafunktion des Bodens)
- Archivfunktion/seltene Böden.

Die Karten sollen sowohl für das bodenbezogene Verwaltungshandeln als auch für Planungen die Grundlagen liefern.

Derzeit liegen erste Auswertungen für die Funktion des Bodens im Wasserhaushalt vor. Dabei wurden Daten der BFD5L, des Versiegelungskatasters sowie Forstdaten zugrunde gelegt.

In Abb. 4 ist die räumliche Verteilung des Wasserspeichervermögens, klassifiziert in fünf Stufen (1 – sehr gering bis 5 – sehr hoch), dargestellt. 36 % der bewerteten Böden weisen ein mittleres bis hohes Wasserspeichervermögen auf. Dies sind vor allem Parabraunerden aus Löss, Kolluvisole sowie Böden der Lahn- und Dillaue. Flachgründige Böden in ungünstigen Reliefpositionen sowie anthropogen überprägte Flächen mit wasserdurchlässiger Befestigung weisen eine sehr geringe Funktion im Wasserhaushalt auf und sind auf ca. 5 % der bewerteten Flächen zu finden. Eine geringe Funktion wurde 25 % der Flächen zugeordnet. Voll versiegelte Bereiche ohne eine Funktion im Wasserhaushalt nehmen ca. 13 % ein. Ein Teil der Flächen (z.B. Tagebauflächen) wurde nicht bewertet.



Abb. 4: Bewertung der Funktion des Bodens im Wasserhaushalt (Wasserspeichervermögen) im Stadtgebiet Wetzlar

3.3 Baustein 3: Maßnahmenvorschläge und Handlungsrahmen

Auf der Grundlage der Bestandsaufnahme (vgl. Baustein 1) und der Bodenbewertungskarten (vgl. Baustein 2) sowie unter der Berücksichtigung der einschlägigen gesetzlichen Vorschriften wird ein Handlungsrahmen für städtische Tätigkeiten mit Bodenbezug erarbeitet. Dazu gehören insbesondere die Bereiche

- Bauleitplanung,
- Baugenehmigungsverfahren,
- Grünflächenpflege,
- Klimaanpassung,
- städtische Vorhaben wie Erschließungs-, Bau- und Naturschutzmaßnahmen,

- Verwertung von Bodenmaterial, das bei Bauvorhaben anfällt,
- Betrachtung des Schutzguts Boden in der Eingriffsregelung und
- Festlegungen zu Bodenarbeiten und bodenrelevanten Aspekten von Ausschreibungen (Vorlagen/Textbausteine).

Maßnahmenvorschläge, die den Handlungsrahmen konkretisieren, werden derzeit erarbeitet und im Herbst 2019 in einem Workshop mit Vertreter/innen der Stadt Wetzlar diskutiert und im Anschluss auf Basis der Workshop-Ergebnisse erweitert und angepasst.

3.4 Baustein 4: Controllingkonzept

Ein Controllingkonzept soll als Grundlage für die zukünftige Überprüfung der Wirksamkeit des Handlungsrahmens dienen. Hierzu soll ein Konzept mit geeigneten Kriterien und Indikatoren entwickelt

werden. Weiterhin soll die Fortschreibung der im Projekt erfassten Daten sowie die Erfassung zusätzlich erforderlicher Daten beschrieben werden.

4 Ausblick

Die weiteren Ergebnisse zu den oben genannten Bausteinen bleiben zunächst abzuwarten. Die inhaltlichen Arbeiten sollen bis zum Ende dieses Jahres abgeschlossen werden. Innerhalb der Stadt Wetzlar ist dann zu entscheiden, wie die bis dahin vorliegenden Informationen in die Verwaltungs- und Planungspraxis integriert und welche Maßnahmenvorschläge umgesetzt werden können.

Daneben sollen die grundlegenden Erkenntnisse, die im Rahmen des Projekts gewonnen wurden, der Öffentlichkeit in der 2. Hälfte des Jahres 2020 vorgestellt werden und damit insbesondere anderen Kommunen zur Verfügung stehen. Ein wesentlicher Aspekt wird dabei die Darstellung der Möglichkeiten sein, die sich durch eine geschickte Auswertung bodenbezogener Informationen eröffnen, die bereits

an unterschiedlichen Stellen vorhanden sind. Damit kann die Grundlage geschaffen werden, um die Bedeutung der Böden innerhalb des Gebiets einer Kommune, z. B. für Klimaanpassung und Wasserrückhalt, erkennbar zu machen und den Schutz der Bodenfunktionen zu erleichtern.

Das modulare Vorgehen bei der Erstellung des Bodenschutzkonzeptes Wetzlar verdeutlicht bereits jetzt, dass es durchaus sinnvoll sein kann, wenn Kommunen zunächst Teilthemen behandeln, die vor Ort von besonderer Relevanz oder Dringlichkeit sind. Neben fachlichen Fragestellungen kann dabei auch die genauere Beleuchtung der Verwaltungsvorgänge dazu beitragen, dass Bodenbelange in stärkerem Maß Berücksichtigung finden.

Literatur

- [1] Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2016): Politik mit Tiefgang – Vorsorgender Bodenschutz: Wissen für Entscheider.
- [2] Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2016): Planung mit Tiefgang – Vorsorgender Bodenschutz: Wissen für die Praxis.
- [3] Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2017): Bodenschutz in Hessen. Vorsorgender Bodenschutz in Städten und Gemeinden – Konkreter Nutzen und praktische Umsetzung. Dokumentation der Informations- und Diskussionsveranstaltungen im November 2016.
- [4] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2011): Bodenschutz in der Bauleitplanung – Arbeitshilfe zur Berücksichtigung von Bodenschutzbelangen in der Abwägung und der Umweltprüfung nach BauGB in Hessen.
- [5] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2013): Bodenschutz in der Bauleitplanung – Methodendokumentation zur Arbeitshilfe: Bodenfunktionsbewertung für die Bauleitplanung auf Basis der Bodenflächendaten 1 : 5 000 landwirtschaftliche Nutzfläche (BFD5L).
- [6] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2018): Umwelt und Geologie, Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 14, Kompensation des Schutzguts Boden in der Bauleitplanung nach BauGB – Arbeitshilfe zur Ermittlung des Kompensationsbedarfs für das Schutzgut Boden in Hessen und Rheinland-Pfalz; auf der Internetseite des HLNUG zusätzlich Maßnahmensteckbriefe sowie das Berechnungswerkzeug zur Ermittlung des bodenbezogenen Kompensationsbedarfs.
- [7] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) (2018): Checklisten Schutzgut Boden für Planungs- und Zulassungsverfahren – Arbeitshilfen für Planungspraxis und Vollzug.

ISCO mit Fracturing zur Grundwassersanierung im gering durchlässigen Bodenbereich - ein Beispiel aus der Praxis

G. SCHRAUWEN, L. SIMONE, J. ROTSCOLL & T. HELD

1 Einleitung

Bei der Planung oder Optimierung von Grundwassersanierungen ist in erster Linie die Auswahl einer geeigneten Sanierungstechnologie unter Berücksichtigung der standorttypischen Randbedingungen entscheidend. Vor allem bei nicht standardmäßig eingesetzten Technologien wie ISCO (*in situ chemical*

oxidation) mit Fracturing gibt es weitere Herausforderungen, die in einem Pilotversuch im Detail betrachtet und bewertet werden sollen, wie z. B., ob diese Technologie auch auf bebauten Grundstücken mit entsprechenden logistischen Einschränkungen eingesetzt werden kann.

2 Ausgangssituation

Auf einem Betriebsgelände in Südhessen liegt aufgrund der Vornutzung eine Kontamination mit LCKW in Boden, Bodenluft und Grundwasser bis zu einer Tiefe von ca. 8 m u GOK vor. Das Gelände ist aktuell größtenteils überbaut, wobei die Betriebshallen überwiegend als Lagerhalle genutzt werden.

Unterhalb der Oberflächenversiegelung können 3 geologische Horizonte identifiziert werden. Unter der Auffüllung (bis ca. 2 m Tiefe) befindet sich ein Ton-/Schluff-Stauer, der vereinzelt bis in fast 6 m Tiefe reicht, gefolgt von verwittertem Rotliegend (zersetzt zu Sand, Schluff und untergeordnet Ton). Es gibt einen zeitweilig schwebenden Grundwasserhorizont im Quartär (Stauwasser) und ein einheitliches Grundwasserstockwerk im Rotliegenden. Im oberen, schluffig zersetzten Bereich des Grundwasserstockwerkes liegt eine geringe hydraulische Durchlässigkeit (k_f -Wert: 10^{-8} bis 10^{-7} m/s) vor.

Seit 2001/2002 erfolgt die LCKW-Sanierung der oberflächennahen Bodenluft- und Stauwasserbelastung und der Verunreinigung des Grundwassers (in der Verwitterungszone der Rotliegendformation) mittels Pump-and-Treat und Bodenluftabsaugung. Durch diese Maßnahme konnte die oberflächennahe Bodenluft- und Stauwasserverunreinigung entfernt werden. Allerdings treten noch signifikant erhöhte LCKW-Konzentrationen im Rotliegendbereich (Grundwasser) auf. Für das Grundwasser wurden bisher jedoch keine Sanierungszielwerte festgelegt.

Trotz des Erfolgs der derzeitigen Maßnahmen (im Sinne einer jährlichen Entfrachtung des Untergrundes im Bereich mehrerer Kilogramme Schadstoff pro Jahr) wurde vom Sanierungspflichtigen eine Quellsanierung durch ein wirksames Verfahren befürwortet um eine effizientere Schadstoffentfernung zu erzielen und um damit die Sanierungsdauer erheblich zu verkürzen.

3 Machbarkeitsstudie

Ein Technologie-Screening ergab, dass nur wenige und relativ teure Sanierungsoptionen die Verunreinigung im wenig durchlässigen Boden und unter

komplexen Standortbedingungen (Betriebsgelände, die meisten kontaminierten Bereiche unter den Lagerhallen) wirksam beseitigen konnten. Durch

den Vergleich dieser Optionen im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde eine Kombination aus der Injektion von ISCO-Reagenzien (Permanganat) mit Fracturing als bester Kompromiss aus Anwendbarkeit, Effektivität und Kosten identifiziert.

Bei ISCO mit Fracturing wird eine Kaliumpermanganatsuspension mit einem hochviskosen Substrat (zum Beispiel einem Guarkernmehlderivat), Wasser und ggf. weiteren Additiven gemischt und in verschiedenen Tiefen in den Grundwasserleiter injiziert (Abbildung 1). Bei ausreichend hohem Druck wird

die Materialstärke des Untergrundes überwunden und dünne Risse (Klüfte, wenige mm bis cm mächtig) entstehen, in denen sich die Kaliumpermanganatsuspension verteilt. Die Ausrichtung und genaue Mächtigkeit der Klüfte sind abhängig von den geologischen Bedingungen. Die Risse schließen sich langsam wieder, nachdem das Permanganat vollständig aufgelöst ist. Außerdem verbessert die durch das Fracturing verursachte Bodenbeanspruchung die vertikale Diffusion, wodurch der Sanierungsprozess beschleunigt wird.

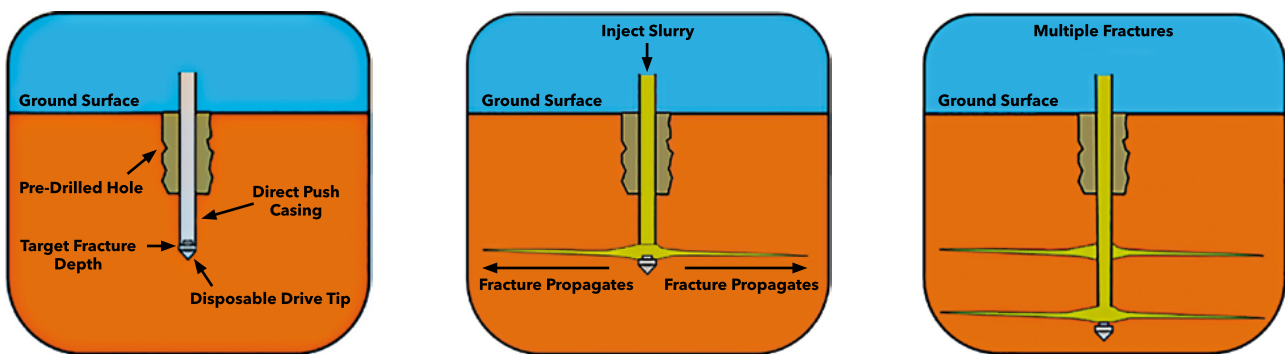


Abb. 1: Darstellung des Funktionsprinzips von ISCO mit Fracturing

4 Pilotversuch ISCO mit Fracturing

Zur weiteren Prüfung der Machbarkeit des designierten Verfahrens (ISCO/Fracturing) wurde im Jahr 2017 ein Pilotversuch durchgeführt (Abbildung 2). Die Ziele des Pilotversuches waren insbesondere:

1. Prüfung bzw. Ermittlung von Planungsgrundlagen für das Fracturing-Verfahren im technischen Maßstab (u.a. Bestimmung des Einflussbereiches),
2. Bewertung der Wirkung der Injektionen auf vorhandene bauliche Infrastruktur und
3. Prüfung des Schadstoffabbaus im Bereich des Pilotversuches.

Der Pilotversuch bestätigte die Machbarkeit und Eignung dieser Methode zur Beseitigung der Quelle der Kontamination in den noch betroffenen Schichten. Boden- und Grundwasseruntersuchungen zeigten, dass der geplante Einflussbereich erreicht werden konnte und eine signifikante und dauerhafte

Reduzierung der LCKW-Konzentration erreicht wurde. Darüber hinaus wurde die erwartete vertikale Diffusion aus den Klüften im angrenzenden Boden beobachtet.

Der Pilotversuch zeigte allerdings auch einige Herausforderungen, die in der Gesamtplanung berücksichtigt werden müssen:

- Während des Pilotversuches zeigte das als Verdicker verwendete Guarkernmaterial einen hohen Oxidationsmittelbedarf, was zu einem erhöhten Permanganatverbrauch führte und damit die für die Boden- und Grundwasserkontamination verfügbare Oxidationsmittelmenge begrenzte.
- Während des Pilotversuches traten Hebungen des Bodens auf, die innerhalb vom vorher definierten statisch zulässigen Bereich lagen. Änderungen an den tragenden Bauteilen im weiteren Umkreis des Pilotfeldes wurden nicht festgestellt.



Abb. 2: Pump- und Mischanlage während des Pilotversuches

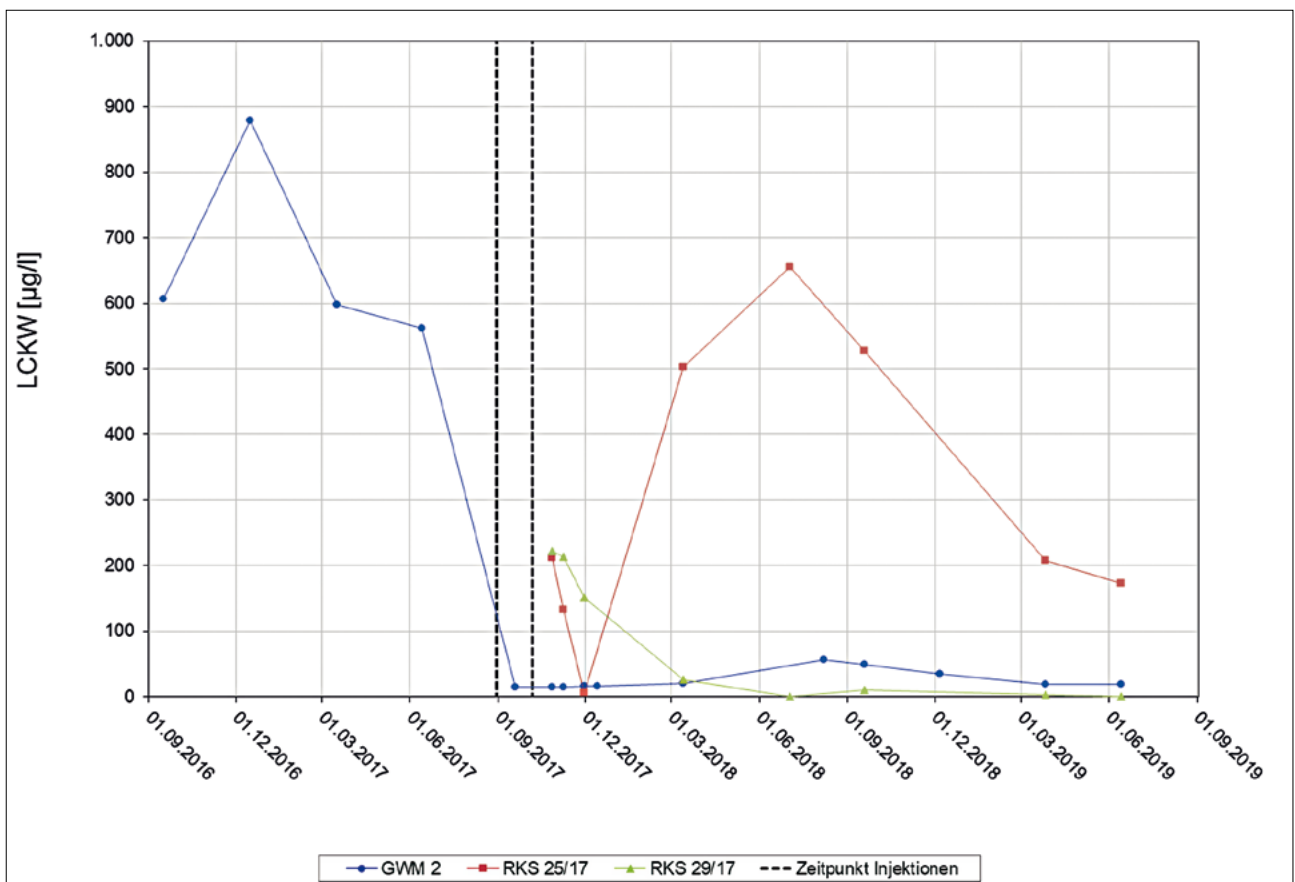


Abb. 3: Verlauf der LCKW Konzentrationen im Bereich des Pilotversuches; die gestrichelten vertikalen Linien zeigen die Zeitpunkte der Injektionen

5 Festlegung von Sanierungszielwerten und Sanierungsplanung

Für das Grundwasser im Verwitterungs- und Rotliegendehorizont wurden 1999, d.h. zu Sanierungsbeginn, keine Sanierungsziele festgelegt. Auf Basis der Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen (Band 3, Teil 7) lag im Jahr 2017 für die LCKW und Summe „Tetrachlorethen (PCE) + Trichlorethen (TCE)“ eine mittlere schädliche Grundwasserverunreinigung vor, die Sanierungsmaßnahmen erforderlich macht. Als Sanierungsziel wurde daher 2019 eine „geringe schädliche Grundwasserverunreinigung“ angestrebt. Auf Basis der Arbeitshilfe und des gewünschten Sanierungszieles wurden Konzentrationsgrenzwerte für LCKW und die Summe von PCE und TCE berechnet und mit den Behörden abgestimmt. Ein Sanierungszielwert für Vinylchlorid war nicht notwendig, da für diesen Parameter keine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt.

Während der Sanierungsplanung wurden vor allem die Herausforderungen aus dem Pilotversuch in Angriff genommen:

- Zusammensetzung der Kaliumpermanganatsuspension (Kombination Oxidationsmittel/Verdickungsmittel/Additiv (Cross-Linker)): Um die Gesamtmenge an Oxidationsmitteln zu reduzieren und ihre Verteilung zu verbessern, wurden Laborversuche mit verschiedenen Verdicker und Additiven (Cross-Linker) durchgeführt, um die technisch beste Zusammenstellung des Injektionssuspensions zu ermitteln. Auch das Thema Arbeitsschutz (u. a. die Stabilität und Temperatur der Suspension) wurde berücksichtigt. Aus den

Laborversuchen ergab sich Carboxymethyl-Cellulose ohne Cross-Linker als am besten geeignetes Verdickungsmittel.

- Bauwerksüberwachung: Eventuelle kurzfristig auftretende Hebungen sowie Senkungen an tragenden Bauteilen im Umfeld der Injektionspunkte müssen während der Injektionen kontinuierlich hochauflösend überwacht werden. Die Änderungen an der Stahlbaukonstruktion darf die auf der Basis statischer Berechnungen festgesetzten maximal zulässigen Bodenerhöhungen und -senkungen von 2,5 cm nicht überschreiten. Sollten sich im Verlauf des Bauablaufs Setzungen in diesen Dimensionen einstellen, müssen die Injektionen und Bohrungen in diesem Bereich unverzüglich eingestellt werden und es müssen Abstützungsmaßnahmen getroffen werden, die die Belastung in nicht betroffene Bereiche ableiten. Die Messungen werden mittels eines elektronisch-hydraulischen Setzungsmesssystemes (Schlauchwaagen) erfolgen.

Insgesamt wurde geplant, 11 Injektionen bis in einer Tiefe von ca. 8 Meter (jeweils eine Injektion je 50 cm weiterer Tiefe) durchzuführen. Auf Basis des Pilotversuches wird von einem Einflussradius von 5 m ausgegangen. Mittels Rammkernsondierungen, wenige Tagen bis Wochen nach der Beendigung der Injektionen, wird die Verbreitung des Kaliumpermanganats in den Untergrund untersucht. Ein Grundwassermonitoring-Programm ist geplant, mit dem Ziel, den Verlauf und die Effektivität der chemischen Oxidationsprozesse zu überwachen.

6 Sanierung im technischen Maßstab

Die Sanierung im technischen Maßstab wird im August 2019 durchgeführt. Die nächsten Abbildungen geben eine erste Impression der Maßnahmen vor Ort. Ergebnisse stehen zum Zeitpunkt des Erfassens der Kurzfassung noch nicht zur Verfügung.

Im Vortrag wird näher auf die Planung und Durchführung einer Sanierung im technischen Maßstab (erste Ergebnisse) mittels ISCO mit Fracturing eingegangen.



Abb. 4: Durchführung der Injektionen (Sanierung im technischen Maßstab)



Abb. 5: Bauwerksüberwachung mittels Sensoren an den tragenden Bauteilen

Der lange Schatten einer Altlast - Erkenntnisse aus der Untersuchung geohydraulischer Zusammenhänge in einem Wassergewinnungsgebiet in Unterfranken

WALTER LENZ

1 Veranlassung

1.1 Zielsetzung

Ziel des Vortrags ist die Sensibilisierung für die Bedeutung einiger geohydraulischer Zusammenhänge, die auf den ersten Blick zu kaum erklärbaren Beobachtungen führen. Unabhängig von dem konkreten Beispiel sind die beschriebenen Mechanismen

zwar an zahlreichen Standorten potenziell umwelt-relevanter Verdachtsflächen von Bedeutung, sie werden erfahrungsgemäß aber häufig nicht erkannt, was zu Fehleinschätzungen in der Risikobewertung für Schutzgüter führt.

1.2 Projektgeschichte

Der Freistaat Bayern hat in den 1980er Jahren, insbesondere in Regionen mit geringer Grundwasser (Gw)-Neubildung, Vorbehaltsgebiete für die Trinkwasserversorgung erkundet und ausgewiesen. Eines dieser Gebiete befindet sich im Landkreis Miltenberg in Unterfranken, das abseits des Maintals tendenziell einen Mangel an gewinnbarem Grundwasser aufweist. Überschlägige Abschätzungen kamen zu dem Schluss, dass in dem gesicherten Gebiet ein natürliches Gw-Dargebot von mehreren Millionen m³/a verfügbar ist.

Durch den Ausbau der Infrastruktur, insbesondere der B 469, siedelten sich hier zahlreiche Gewerbebetriebe an, wodurch der Wasserbedarf in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen ist. Gleichzeitig

machte die geänderte räumliche Nutzung (Gewerbegebiete, Straßenbau etc.) die Aufgabe bestehender Wasserschutzgebiete (WSG) erforderlich, so dass für die öffentliche Wasserversorgung neue Brunnen installiert und neue WSG ausgewiesen werden mussten. Deswegen wurden zu Beginn der 2000er Jahre vertiefende Untersuchungen des Gewinnungsgebiets durchgeführt und ein erstes numerisches Gw-Modell ausgearbeitet.

Im Jahr 2008 konnte daraufhin mit Brunnen B IV der erste neue Brunnen ans Netz genommen werden. Ab 2012 wurden die (teilweise noch als Versuchsbrunnen) ausgebauten Brunnen V–VIII errichtet, um den absehbar weiter auf mindestens 1,7 Mio. m³/a steigenden Bedarf decken zu können.

2 Beschreibung des Untersuchungsgebiets

2.1 Geologische Rahmenbedingungen

Das Gewinnungsgebiet befindet sich in einer Schleife des Ur-Mains, der sich im Pliozän in den anstehenden Buntsandstein eingeschnitten hat. Im Westen

bildet der Buntsandstein einen Höhenzug, dessen Hügel bis fast 300 m ü. NN aufragen.

Durch die tektonischen Bewegungen im Tertiär (Paläogen, Neogen) ist das Festgestein in Schollen zerbrochen, die entlang der etwa Nord bis Süd streichenden Randverwerfungen zum hier mehrere km breiten Tal des rezenten Mains hin treppenartig abgesunken sind. Geoelektrische Oberflächenmessungen zeigen, dass die Oberkante Fels unter dem bei ca. 120 m ü. NN befindlichen Talniveau ein starkes Relief aufweist. Im Bereich des früheren Prallhangs sinkt der Sandstein bis auf ca. 80 m ü. NN ab, so dass die Lockergesteine im Zentrum der Nord bis Süd verlaufenden Rinnenstruktur eine Mächtigkeit bis > 60 m erreichen.

Die Lockergesteinsauflage wird an der Basis von fluviatilen Sedimenten des Pliozäns aufgebaut, die in den Tieflagen Mächtigkeiten von > 30 m erreichen, während sie auf Hochschollen des Buntsandsteins weitgehend ausfallen. Bohrungen zeigen, dass die Lithologie der pliozänen Sedimente sich nicht grund-

legend von der der hangenden Terrassenablagerungen des Pleistozäns unterscheidet. Zwar ist der Feinkornanteil der älteren Sedimente meist etwas höher und es sind häufiger feinsandig-schluffige Horizonte eingeschaltet, eine eindeutige Grenze zwischen den beiden fluviatilen Abfolgen ist aber nicht in jedem Bohrprofil erkennbar. Dies auch aufgrund der unterschiedlichen Schüttungskörper, die einander anschneiden und so zu kleinräumig stark wechselnden Kornverteilungen führen.

Dies bedingt, dass auch mittels geoelektrischer Messungen meist nur die Grenze zum Festgestein relativ eindeutig zu identifizieren ist.

Erst im Überblick verschiedener Aufschlussdaten kann die Quartärbasis trotz der sehr inhomogenen Verhältnisse aufgrund von Analogien identifiziert und ein plausibles Bild der Schichtgrenze entwickelt werden.

2.2 Hydrogeologische Rahmenbedingungen

Der Buntsandstein stellt einen KluftGw-Leiter dar, der, ausgehend von der nicht exakt zu lokalisierenden unterirdischen Wasserscheide, nach Westen zur Mömling entwässert und nach Osten zur dominierenden Vorflut Main. Aufgrund von Abflussmessungen an der Mömling ist davon auszugehen, dass das unterirdische Einzugsgebiet des Mains nach Osten über die oberirdische Wasserscheide hinausreicht. Ursächlich dafür ist die zum Maintal stärkere Auflockerung des Gebirges und das höhere Gefälle zu dem auf ca. 95–105 m ü. NN (unter-/oberhalb der Schleuse Wallstadt) verlaufenden Main, möglicherweise auch das Einfallen der Schichten.

Erste Versuchsbohrungen in Hanglagen (außerhalb landwirtschaftlicher Nutzflächen) scheiterten mit dem Versuch, Grundwasser im KluftGw-Leiter zu erschließen, weil es nicht gelang, ausreichend durchlässige Kluftzonen zu erbohren. Zwar sind hoch durchlässige Zonen des Trennflächengefüges zweifellos vorhanden, es gelang jedoch nicht, diese im Vorfeld der Bohrungen eindeutig zu lokalisieren. Der daraufhin auf einer Hochscholle des Buntsandsteins installierte Brunnen IV weist im verfilterten KluftGw-Leiter, unter nur 25 m mächtigen Deckschichten, eine hohe Ergiebigkeit auf, jedoch war das

Bauwerk aufgrund seiner Ausbautiefe von ca. 100 m auch mit hohen Kosten verbunden.

Aufgrund dieser Erfahrung wurde beschlossen, die geplante Brunnengalerie im PorenGw-Leiter zu installieren, in den eine Druckentlastung aus dem liegenden KluftGw-Leiter erfolgt, so dass dieses Gw-Dargebot mit großer Wahrscheinlichkeit zu geringeren Kosten auch in den überwiegend sandig-kiesigen Deckschichten erschlossen werden kann.

Eine Stockwerksgliederung innerhalb der (pliozänen und pleistozänen) fluviatilen Sedimente war nicht erkennbar. Vielmehr muss von einer ausgeprägten kleinräumigen Inhomogenität und Anisotropie innerhalb und zwischen den einzelnen Sedimentkörpern ausgegangen werden, jedoch nicht von wirksamen hydraulischen Barrieren, die über größere Flächen wirksam wären.

Eine derartige Trennung ist allenfalls im Verwitterungsbereich des Buntsandsteins anzunehmen, ohne dass die räumliche Ausdehnung dort möglicherweise vorhandener Barrieren anhand der wenigen bis in diese Tiefe reichenden Aufschlüsse beschrieben werden könnte.

3 Entwicklung des Projekts

3.1 Hinweise auf eine Kontamination der Gw-Leiter

Erste Hinweise auf eine Verunreinigung des/der PorenGw-Leiter(s) ergaben sich 2014 im Rahmen der Installation von Vorfeld-Grundwassermessstellen (GWM) zu den benachbarten Bohrungen Brunnen V und VB VI. In der hangseitig/westlich dieser Brunnen abgeteufte Bohrung 1/14 zeigten sich im Gw-Schwankungsbereich schwarze Verfärbungen des Korngerüsts, die einen nicht zuzuordnenden Fremdgeruch aufwiesen. Die Analyse von Feststoffproben aus diesem mehrere Dezimeter mächtigen Horizont wies Spuren von MKW und PAK nach.

In Analogie zu anderen Standorten vermittelte die Bohrung den Eindruck, dass hier vor langer Zeit eine Leichtphase (LNAPL) durch den Gw-Leiter gewandert ist, deren Rückstände zwischenzeitlich weitgehend biologisch abgebaut wurden, so dass lediglich immobile Abbauprodukte im Korngerüst verblieben sind.

Eine daraufhin durchgeführte Überprüfung von aufbewahrten Kernkisten der Bohrungen B V und Versuchsbrunnen (VB) VI zeigte auch in VB VI eine geringfügige Verfärbung im Korngerüst, die analytisch mit Spuren von Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) einherging. Aufgrund der geruchlich relativ unauffälligen Veränderung war dieser Horizont bei der ersten Ansprache unbemerkt geblieben. Zunächst kaum erklärlich war die Beobachtung, dass die Verunreinigung, im Gegensatz zu der ca. 200 m hangseitig durchgeführten Bohrung 1/14, nicht im

Gw-Schwankungsbereich auftrat, sondern ca. 10 m tiefer, innerhalb der gesättigten Zone.

Bereits anhand der Erstbefunde war klar, dass es sich bei der Verunreinigung nicht um eine geringfügige Freisetzung wassergefährdender Stoffe gehandelt haben kann. Bei einem Gw-Flurabstand im Hangbereich von > 15 m müssen vielmehr erhebliche Mengen von Fluiden in den Untergrund gelangt sein, um im Kapillarsaum einen mobilen Phasenkörper aufzubauen.

Vor diesem Hintergrund wurde durch das zuständige Wasserwirtschaftsamt (WWA) Aschaffenburg das gesamte Vorhaben zur Gw-Erschließung in Frage gestellt und darauf gedrungen, dass eine Identifizierung der Ursache/Quelle des Schadstoffeintrags und eine räumliche Abgrenzung der Verunreinigung erforderlich ist. Erst auf Grundlage einer umfassenden Schadensaufnahme und Risikobewertung könne das Konzept für die zukünftige Wasserversorgung weiter verfolgt werden.

Eine Überprüfung der Rohwasseranalysen des seit 2008 mit Förderleistungen bis über 20 l/s betriebenen Brunnens B IV gab keinen Hinweis auf analytisch nachweisbare PAK. Dabei wurden allerdings lediglich die 5 PAK der Trinkwasser-Verordnung überwacht, die in den ersten Analysen aus dem sensorisch auffälligen Bereich nicht vertreten waren.

3.2 Untersuchung des Gw-Leiters und der Kontamination

3.2.1 Historische Recherche (Teil 1)

Das anzunehmende Einzugsgebiet wird durch land- und forstwirtschaftliche Nutzungen geprägt. Die einzige gewerbliche Nutzung in der näheren Umgebung stellt eine seit den 1950er Jahren betriebene und weitgehend verfüllte Sandgrube dar, die sich allerdings ca. 0,5 km südlich befindet und damit unter Berücksichtigung des auf den Main, also nach

Osten, gerichteten Gradienten der Gw-Strömung nicht im Zustrombereich der fraglichen Bohrung befinden sollte.

Die Auswertung von Luftbildern aus der Zeit von ca. 1940–1990 brachte in Übereinstimmung mit dem Kenntnisstand zur Nutzung des Gebiets keinen

Hinweis auf mögliche Ursachen. Den einzigen Anhaltspunkt gaben daher Aussagen Ortskundiger, dass ab den 1950er Jahren regelmäßig Pioniereinheiten der US-Streitkräfte und später auch der Bundeswehr den Brückenbau am Main geübt hatten, wozu im Untersuchungsgebiet Spezialpanzer, LKW etc. bewegt wurden, die an unbekannten Stellen auch betankt worden sein sollen.

Die Auswertung der Schadensmeldungen des früheren Amts für Verteidigungslasten dokumentierten in Übereinstimmung mit diesen Informationen zwar zahlreiche Schäden durch militärische Übungen, dabei handelte es sich aber lediglich um land- und forstwirtschaftliche Flurschäden sowie Schäden an der Infrastruktur von Verkehrswegen. Hinweise auf Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen waren nicht dokumentiert, was unter Berücksichtigung des in früheren Jahrzehnten fehlenden Umweltbewusstseins aber keinen Ausschluss eines solchen Szenarios zulässt.

3.2.2 Immissions-Pumpversuch (IPV) an Brunnen B V

Unabhängig von der Ursachenerforschung wurde in einem ersten Schritt der technischen Erkundung beschlossen, zeitnah mit einem mehrstufigen IPV an B V zu beginnen, um auf diesem Weg Abschätzungen der räumlichen Ausdehnung der Verunreinigung und der mobilisierbaren Schadstoff-Fracht zu ermöglichen. Dieser Versuch wurde im Zeitraum 12/2015 bis 10/2016 durchgeführt (316 d). Vorher wurde das Netz der Vorfeldmessstellen in diesem Bereich verdichtet und zu den bereits vorhandenen GWM 1/14 und 1/15 zwei weitere Messpunkte zur Beobachtung des Gw-Spiegels und für die Entnahme von Gw-Proben eingerichtet.

Während der ersten 3 Monate des IPV waren in den aus B V bei Förderraten von 6 l/s entnommenen Proben weder PAK nachweisbar, noch die übrigen untersuchten Stoffe (BTEX, Alkane, Alkylbenzole, MKW). Erst nach Steigerung der Förderrate auf 15 l/s machte sich die Verunreinigung des Gw-Leiters mit einer Verzögerung von etwa 6 Wochen durch einen Anstieg der PAK-Konzentrationen auf bis zu 0,05 µg/l bemerkbar, um danach wieder unter die Nachweisgrenze zu sinken. Besonders problematisch war dabei in einer Probe aus B V der Nachweis des in der Trinkwasser-Verordnung genannten Benzo[a]pyrens mit 0,019 µg/l, was einer Überschreitung des Grenzwerts etwa um den Faktor 2 entspricht.

Die aus dem Maximalwert der PAK-Summe und der zu diesem Zeitpunkt realisierten Förderrate berechenbare PAK-Fracht von ca. 0,65 g/d ist „groß“ im Sinne der Arbeitshilfe des HLNUG, aber unrealistisch, weil der Maximalwert im Rohwasser des Brunnens ebenso wenig repräsentativ ist wie der im Messnetz (7,25 µg/l in GWM 1/14).

Unter Einbeziehung der weit überwiegenden „n. n.“-Werte (Berücksichtigung als „0,001“ bei der Berechnung des geometrischen Mittels) errechnen sich sowohl die „gelöste Menge“, wie auch die „Fracht im Grundwasser“, als „klein“. Dieses Ergebnis wird jedoch stark von dem verwendeten Maximalwert der Summenkonzentration beeinflusst; je nach Verwendung der u. g. Werte wird die „gelöste Menge“ auch „mittel“ und die Fracht sogar „groß“ (>0,1 bis >10 g/d).

Letztlich waren PAK aber nur in 2 von 14 Gw-Proben aus B V nachweisbar. In den 4 Probennahmestellen im Umfeld waren in weiteren 6 von 43 Gw-Proben Spuren von PAK nachweisbar, mit einem Maximum von 7,3 µg/l in GWM 1/14. Die Geringfügigkeitsschwelle (GFS) für die Summe der PAK₁₅ von 0,2 µg/l wurde nur in 2 Proben überschritten, dabei allerdings jeweils auch der Grenzwert der Trinkwasser-Verordnung für Benzo[a]pyren.

Abgesehen davon waren die in der TrinkwV berücksichtigten 5 PAK nicht vertreten.

3.2.3 Markierungsversuch (MV)

Ergänzend zu dem IPV an B V wurde im Untersuchungskonzept ein Markierungsversuch vorgeschlagen und mit Zustimmung des WWA Aschaffenburg durchgeführt, um die Ausbreitung gelöster Stoffe im Untergrund messtechnisch nachvollziehen zu können. Dazu wurde am 01.12.2015 hangseitig von B V in der GWM 1/14 ein Injektor installiert, aus dem über einen Zeitraum von 2 Monaten kontinuierlich SF₆ in das Grundwasser abgegeben worden ist, wodurch sich an der Eingabestelle eine Konzentration in der Größenordnung von $1\text{--}2 \cdot 10^8$ fmol/l einstellte. Dadurch war gegenüber der Hintergrund-Belastung von < 5 fmol/l auch noch eine Verdünnung bis um den Faktor 10^7 sicher nachweisbar.

Da die Eingabestelle und der Entnahmekbrunnen sowie mehrere dazwischen installierte GWM entlang einer Linie parallel zum zuvor durch Gw-Stichtagsmessungen ermittelten maximalen Gradienten angeordnet waren, konnten mittels des MV die zuvor anhand von Gw-Gleichenplänen und Pumpversuchsdaten berechneten Abstandsgeschwindigkeiten (v_a) überprüft werden.

Dabei zeigte sich die aufgrund der makroskopischen Inhomogenitäten zu erwartende Bandbreite:

- Erste Reaktionen entsprachen für die schnellsten Stromfäden einer $v_a = 1,5$ m/d,
- das erste Maximum in B V ($2,7 \cdot 10^3$ fmol/l) wurde nach ca. 310 d beobachtet, was einer $v_a = 1,0$ m/d entspricht.
- Die zuvor rechnerisch und mit dem numerischen Gw-Modell aus 2004 abgeschätzte v_a für den oberen PorenGw-Leiter lag mit 1,3 m/d dazwischen.

Aufgrund der Erfahrungen mit früheren MV wurde die Beobachtung des Tracers fortgesetzt, auch nachdem das erste Ziel des Versuchs mit der Ermittlung dieses Werts erreicht war. Wegen der Inhomogenität und Anisotropie des Gw-Leiters ließ die Fortsetzung der Messungen weitere Erkenntnisse erwarten. Tatsächlich waren in der Folgezeit mehrere wichtige Beobachtungen zu verzeichnen:

- In der Einspeisestelle GWM 1/14 gingen die SF₆-Gehalte im Verlauf des Jahres 2018 auf Werte zu-

rück, die nur noch um den Faktor 10 über dem Hintergrund lagen. Der Tracer war also vollständig in den PorenGw-Leiter abgefließen.

- Die Konzentration des Tracers in B V ging nach Ende der Gw-Entnahme im Oktober 2016 bis Mitte 2018 auf ca. $1 \cdot 10^3$ fmol/l zurück, was teilweise auch auf die geänderte Anstromsituation durch die nicht mehr kontinuierliche Förderung bedingt sein kann. Ende 2018, 3 Jahre nach Beginn der Eingabe des Tracers, stiegen die SF₆-Gehalte wieder auf ein zweites Maximum von $1,6 \cdot 10^4$ fmol/l an.
- Ein ähnlicher Effekt war in dem nahegelegenen VB VI zu beobachten, wo bereits Anfang 2018 Werte von $3,3 \cdot 10^5$ fmol/l auftraten, die in ihrer Größenordnung bis Ende 2018 andauerten. Dabei konnte durch die Entnahme tiefenzonierter Gw-Proben ein Anstieg zur Tiefe festgestellt werden.
- Anfang 2019 wurde dann erstmals in der 200 m nördlich von B V gelegenen VB VIII eine Konzentration des Tracers gemessen, die um den Faktor 10–20 über dem Hintergrundwert lag.

Diese Beobachtungen ließen folgende Schlussfolgerungen zu:

- (1) Offenbar ist ein relevanter Anteil des Tracers in die pliozänen Sedimente abgefließen, die in der Einspeisestelle GWM 1/14 aufgrund der Hanglage jedoch nicht zweifelsfrei angesprochen werden konnten. Das Bohrprofil weist hier unter 22,4 m Kies, der an der Basis große Sandsteinbrocken aufwies, verwitterten Sandstein aus.
- (2) Im unteren PorenGw-Leiter sind die Abstandsgeschwindigkeiten deutlich geringer als im oberen PorenGw-Leiter, obwohl die Lithologie sich in den wenigen Bohrungen, die die gesamte Lockergesteinsauflage durchteuften, makroskopisch nicht immer grundlegend unterschied. Die tieferen EC-Logs, die geophysikalischen Bohrlochmessungen und die geoelektrische Vermessung zeigen jedoch für die pliozänen Sedimente des Gewinnungsgebiets einen größeren Anteil feinkörnigerer Sedimente, der die mittlere Abstandsgeschwindigkeit v_a etwa um einen Faktor 2 auf ca. 0,6 m/d reduziert.

- (3) Der Nachweis des Markierungsstoffs in dem ca. 150 m nördlich der durch den maximalen Gradienten definierten Stromröhre gelegenen VB VIII, der nicht allein durch die transversale/Quer-Dispersion erklärt werden kann, weist auf die eingeschränkte Bedeutung des maximalen Gefäl-

les für die reale Fließrichtung hin. Je nach angenommenen Migrationspfad quer zum Gradienten errechnen sich mittlere Abstandsgeschwindigkeiten für die Ausbreitung in Richtung Süd-Nord bis $> 0,1$ m/d.

3.2.3.1 Bohrlochgeophysikalische Messungen

Im Rahmen der Abnahme aller (Versuchs-) Brunnen sowie einiger GWM wurden TV-Befahrungen und verschiedene geophysikalische Messungen durchgeführt. Damit wurden u. a. mittels Flowmeter die relevanten Zuflusszonen lokalisiert und vertikale Ausgleichsströmungen gemessen.

Dabei zeigten sich in fast allen Einsatzstellen die dominierenden Gw-Zuflüsse in den quartären Deck-

schichten und im Ruhezustand vertikale Ausgleichsströmungen zur Tiefe. Das Druckniveau im unteren PorenGw-Leiter in den pliozänen Sedimenten ist demnach generell niedriger als das im ergiebigeren oberen PorenGw-Leiter, aus dem dadurch Wasser in tiefere Schichten abfließt. Ursächlich dafür ist, numerischen Berechnungen zufolge, die Druckabsenkung im liegenden KluftGw-Leiter durch die Gw-Entnahme aus B IV.

3.2.3.2 Oberflächen-Geophysik

Zur Erkundung insbesondere des Reliefs der Schichtgrenze zwischen Locker- und Festgestein wurden geoelektrische Profile mit einer Gesamtlänge von 11 km vermessen. Eine eindeutige Differenzierung von quartären und pliozänen Sedimenten war allein damit nicht möglich, die Struktur der Lockergesteinsrinne konnte dagegen relativ gut kartiert werden.

Es zeigt sich eine etwa NNW-SSE verlaufende Hochscholle des Buntsandsteins, die bis über 105 m ü. NN aufragt, während die Oberfläche des KluftGw-Leiters östlich davon in einer nur ca. 200 m breiten Senke bis unter 80 m ü. NN absinkt.

3.2.3.3 Messungen von Gw-Fließrichtung und -Geschwindigkeit (Phrealog)

Allein aufgrund der starken Mächtigkeitsänderungen der PorenGw-Leiter und der in Bohrungen erkennbaren Inhomogenität der sedimentären Schüttungskörper war offensichtlich, dass k_f -Werte und Transmissivität der PorenGw-Leiter kleinräumig erheblich variieren, was sich auf Gw-Fließrichtung und -Geschwindigkeit auswirken muss. Um diese Variation zu überprüfen, wurden 5 im Gewinnungsgebiet verteilte GWM für entsprechende Messungen ausgewählt, in denen jeweils in verschiedenen Tiefen gemessen wurde. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Messreihen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- (1) Wie bereits an anderen Standorten zeigt sich, dass Gw-Fließrichtung und -Geschwindigkeit innerhalb einer einzigen GWM teufenspezifisch stark variieren. Es wurden in unterschiedlichen Tiefen Vektoren gemessen, die sich um 90° bis $> 180^\circ$ unterscheiden.

- (2) Der anhand von Gw-Gleichenplänen zu ermittelnde maximale hydraulische Gradient ist nach Ost bis Nordost gerichtet und auch in den Messreihen nachweisbar. Die tiefengemittelten Vektoren der Gw-Fließrichtung weichen jedoch deutlich von dieser Richtung ab, da sie eher der Schüttungsrichtung der Sedimentkörper und damit der maximalen Durchlässigkeit der Schichten folgen, die tendenziell von Süden nach Norden gerichtet ist.

- (3) In den beiden südlichen GWM sind an der Basis sogar gegenläufig, also nach Süd bis Südwest gerichtete Vektoren messbar, was möglicherweise auf die Entnahme des ca. 1,2 km weiter südsüd-östlich gelegenen Brunnens B IV zurückzuführen sein könnte.

- (4) Die Messungen zeigen, dass jeder Sedimentkörper tendenziell als eigener lokaler Gw-Leiter fungiert, in dem andere Bedingungen herrschen. Zwischen den einzelnen Sedimentkörpern findet

zwar ein Austausch statt, der jedoch nie so direkt ist, wie in den als hydraulischer Kurzschluss wirkenden Brunnen und GWM.

3.2.4 Eingrenzung der Kontamination mittels Entnahme tiefenzonierter Gw-Proben

Aufgrund der fehlenden Hinweise auf mögliche Ursachen wurde unabhängig von Pump- und Markierungsversuch ein Untersuchungskonzept umgesetzt, bei dem, ausgehend von der Bohrung 1/14, mittels direct push (DP)-Sondierungen tiefenzonierete Gw-Proben aus der obersten Stromröhre des PorenGw-Leiters entnommen wurden. Nachdem an zwei Stellen die Machbarkeit des Verfahrens überprüft war, wurde mit einer flächig ausgedehnten Beprobung begonnen und jeweils im Abstand von zunächst ca. 50 m Gw-Proben aus dem Gw-Schwankungsbereich sowie aus der Stromröhre 5–10 m in der gesättigten Zone entnommen.

Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Konzentration möglicher Schadstoffe aus einer Leichtphase zur Tiefe abnehmen und im Gw-Schwankungsbereich mit der Annäherung an die Eintragsstelle steigen sollten. Als Indikator für die Kontamination wurden alle Gw-Proben auf die Liste der PAK₁₅ untersucht, Proben mit Nachweis von PAK auch auf andere Stoffe (BTEX, Methylnaphthaline, Inden, Indan, Alkane, NSO-Heterozyklen, SCAP).

Die Arbeitshypothese erwies sich im Verlauf der Erkundung rasch als unzutreffend. Auch mit letztlich

ca. 40 Probennahmestellen gelang keine Abgrenzung der Verunreinigung in der Fläche, obwohl der Abstand der Sondierungen bis auf > 200 m gesteigert wurde. Im Ergebnis zeigte sich eine Fläche von > 2 km in N-S-Richtung und > 0,6 km in E-W-Richtung als durch PAK verunreinigt. Auf den ursprünglichen Versuch einer Abgrenzung in der Fläche wurde daraufhin verzichtet.

Auch die vertikale Abgrenzung der Verunreinigung zur Tiefe gelang nicht. Nachdem sich bei Umsetzung des ursprünglichen Konzepts zeigte, dass die Gw-Proben aus größerer Tiefe nicht geringere, sondern oft höhere Konzentrationen aufwiesen als die aus dem Gw-Schwankungsbereich, wurde mit entsprechend angepasster Ausrüstung die Erkundungstiefe bis zur Grenze des technisch möglichen ausgedehnt. Einzelne Sondierungen erreichten Tiefen von 25 bis > 30 m u. GOK und mutmaßlich den Auflockerungsbereich des Buntsandsteins.

Dabei wurden in vertikalen Abständen von ca. 5 m einzelne Stromröhren beprobt, um Vertikalprofile der Schadstoffverteilung zu erhalten. Auch in den Gw-Proben aus den größten Tiefen wurden dabei noch PAK nachgewiesen.

3.2.5 Hydrochemische Untersuchungen

Wie bereits im Vorfeld der Erkundung der Verunreinigung im Rahmen von Pumpversuchen an Brunnen und GWM nachgewiesen war, herrscht in der gesättigten Zone ein durchgehend aerobes Milieu mit relativ geringem Lösungsinhalt des Grundwassers. Trotz der überwiegend intensiven landwirtschaftlichen Nutzung im Umfeld der Brunnen liegen die Nitrat-Gehalte tiefengemittelter Mischproben des Grundwassers unter dem Richtwert von 25 mg/l, was auch auf den Zufluss aus dem KluftGw-Leiter im Liegenden zurückzuführen sein dürfte, dessen Neubildungsgebiet forstwirtschaftlich genutzt wird.

Eine Überprüfung des N/Ar-Verhältnisses zeigt, dass die niedrigen NO₃-Gehalte nicht auf einen Abbau zurückzuführen sind, sondern auf eine offenbar überwiegend fachgerechte landwirtschaftliche Nutzung und die Verdünnung aus dem Liegenden. In Übereinstimmung damit sind auch lediglich Spuren von Metaboliten der in Frage kommenden Pflanzenschutzmittel nachweisbar.

In den mittels DP-Sondierungen tiefenzoniert entnommenen Gw-Proben waren in 85 von ca. 90 Analysen PAK nachweisbar. In der Mehrzahl der untersuchten Gw-Proben lag die Summenkonzentration

unterhalb der GFS-Werte, in 5 Proben auch darüber. Die Grenzwerte der Trinkwasser-Verordnung wurden in keiner dieser Proben erreicht, weil die dafür relevanten 5 Einzelsubstanzen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Am häufigsten vertreten waren Naphthalin, Fluoren, Anthracen und Phenanthren, die in der TwV nicht erfasst sind.

Die in einem Teil der tiefenzoniert entnommenen Gw-Proben untersuchten anderen Schadstoffgruppen (Methylnaphthaline: 36 Proben; SCAP, Inden und Indan: je 27; BTEX, Alkane und Alkylbenzole: je 4) wiesen lediglich in 6 Proben Spuren von Methylnaphthalinen nach.

Bei der Bewertung dieser Daten war zu berücksichtigen, dass durch die Art der Probenahme unmittelbar nach dem Vortrieb der Sonde und dem damit verbundenen Eintrag mechanischer Energie in das Korngestüt des Gw-Leiters eine maximale Mobilisierung der Stoffe erfolgt, die mit der Entnahme von Pumpproben aus Brunnen und GWM nicht vergleichbar ist. Der Mobilisierungseffekt der Gw-Strömung ist selbst im Nahbereich einer Entnahmestelle erheblich

geringer und deswegen ist mit deutlich niedrigeren Konzentrationen zu rechnen.

Vor diesem Hintergrund wurden in 7 Gw-Proben mit Nachweis von PAK (ca. 0,06–0,18 µg/l), die aufgrund der Probennahme aus Sondierungen auch deutliche Trübstoffanteile aufwiesen, die Schwebstoffe > 43 µm abfiltriert und gesondert untersucht. Dabei war lediglich in einer Probe des Feststoffanteils 8,8 µg/kg PAK nachweisbar.

Auch in Feststoffproben aus dem sensorisch verunreinigten Gw-Schwankungsbereich in den Bohrungen VB VII und GWM 1/17 bzw. einer daneben abgeteufte Inliner-Sondierung und Eluatproben dieser Proben waren PAK analytisch nicht nachweisbar.

Diese Befunde lassen in der Summe darauf schließen, dass es sich tatsächlich um gelöste Stoffe handelt, die unter ungünstigen Bedingungen aus dem Korngestüt des Gw-Leiters mobilisiert werden können, wo sie allerdings unregelmäßig verbreitet und nicht an einzelne definierte Horizonte gebunden sind.

3.2.6 Non-Target-Screening (NTS)

Aufgrund der fehlenden Kenntnis zu Ort und Ursache des Schadstoffeintrags, Stoffinventar etc. wurden bei der Entnahme von Gw-Proben aus den Sondierungen und während dieser Zeit entnommenen Pumpproben jeweils Doppelproben entnommen und anhand der eingehenden Prüfberichte der Labore entschieden, welche der Proben mit PAK-Nachweis in einem weitergehenden NTS untersucht werden sollten. Ziel dieser Analytik war die Vermeidung weiterer Überraschungen, die zu einer zusätzlichen Gefährdung des Vorhabens der Gw-Erschließung hätten führen können, weil außer den o. g. Stoffgruppen möglicherweise weitere Substanzen im Grundwasser vorhanden waren, die jedoch bis dahin unerkannt geblieben waren.

Dazu wurden durch das Labor des Zweckverbands der Landeswasserversorgung in Langenau (Baden-Württemberg) ca. 25 Gw-Proben untersucht. Festgestellt wurden dabei jedoch lediglich „nicht relevante Metabolite“ von Pflanzenschutzmitteln und Spuren von Stoffen aus der Probennahmeausrüstung (Pumpen, Steigleitungen, Schläuche etc.). Nicht nachweisbar waren alle in der Datenbank des Labors erfassten und damit identifizierbaren Stoffe. Das NTS ergab insofern keinen Hinweis auf ein bis dahin unerkanntes Gefährdungspotenzial für die Wasserversorgung.

3.2.7 Historische Recherche (Teil 2)

Nachdem alle bisherigen Bemühungen zur Identifizierung möglicher Eintragsstellen der Verunreinigung ergebnislos blieben, die bis Mitte 2018 vorliegenden Ergebnisse aber die Notwendigkeit einer Anpassung der hydrogeologischen Modellvorstellung

für das Untersuchungsgebiet und die Entwicklung der Verunreinigung zeigten, wurden Unterlagen zu zwei im Süden des Gewinnungsgebiets gelegenen Altablagerungen erhoben und ausgewertet, die bisher unberücksichtigt geblieben waren, weil der eine

Standort zwar als Altlast identifiziert, aber durch ein vollständiges Abgraben „saniert“ und bei dem zweiten „keine Beeinträchtigung des Grundwassers nachweisbar“ war. Deswegen wurden die dazu vorhandenen Informationen seitens des zuständigen WWA Aschaffenburg und der Kommune zunächst als irrelevant und ihre Auswertung darum als nicht erforderlich beurteilt.

Bei beiden Altablagerungen handelte es sich um die in den 1960er Jahren üblichen kommunalen Müllkippen, die Mitte der 1970er Jahre geschlossen und nach damaligem Stand der Technik rekultiviert worden sind. Verfüllt wurden dabei jeweils Geländeeinschnitte in Hanglage mit Haus- und Gewerbeabfällen,

wobei sich deren Herkunft nur noch in Einzelfällen zuordnen ließ, zumal zu dieser Zeit keine Zugangskontrolle erfolgte, so dass auch Unberechtigte Material abladen konnten.

Nähere Informationen dazu waren der historischen Erkundung (HE) zu den beiden Standorten aus 2005 nicht zu entnehmen. Der Kontakt zu dem in 2005 noch bestehenden Unternehmen, das seinerzeit mit der kommunalen Entsorgung und dem Betrieb der „Deponien“ beauftragt war, beschränkte sich auf eine telefonische Anfrage und die dokumentierte Auskunft, dass zu dem Thema „keine Unterlagen und Informationen mehr vorhanden sind“.

3.3 Beschreibung der Altablagerungen / Altlasten

Durch die Begehung der Örtlichkeiten und die Auswertung der Unterlagen zu den beiden Altablagerungen (Berichte zu HE, OU, DU, SU, Sanierung/Gw-Monitoring) ließen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- (1) An beiden Standorten steht oberflächennah Buntsandstein ohne nennenswerte Überdeckung an, wobei aufgrund der W-E-Orientierung der (Trocken-) Täler davon auszugehen ist, dass diese tertiären Störungen folgen, entlang derer mit einer tiefgründigen Auflockerung des Gebirges und hohen vertikalen Durchlässigkeiten zu rechnen ist. Die in der stratigrafischen Abfolge des Buntsandsteins üblichen hydraulischen Barrieren innerhalb der Wechselfolge von Sand-, Silt- und Tonsteinen sind dadurch nicht wirksam.
- (2) Aufgrund der Verfüllung der Taleinschnitte war kein ungehinderter Abfluss des Oberflächenwassers mehr möglich, das sich hinter den Deponiekörpern aufstaute, wo sich Tümpel bildeten, aus denen quasi kontinuierlich Wasser in die Altablagerungen eindrang und als Sickerwasser im anstehenden Buntsandstein versickerte. Dieser Sickerwasserzufluss war im Falle des Standorts P von ca. 1960 bis zur Sanierung in 2010 anzunehmen, am Standort F besteht er bis heute fort.
- (3) Wegen des kontinuierlichen Andrangs von Sickerwasser war 2010, im Rahmen der Sanie-

rung durch Abgrabung von ca. 20 000 m³ Deponiegut, eine Wasserhaltung mit Aufbereitung erforderlich, die analytisch überwacht worden ist. Der Dokumentation dieser Aufbereitung ist zu entnehmen, dass das Sickerwasser zu Beginn der Maßnahme eine PAK-Konzentration von 8,6 µg/l aufwies. Im Lauf der fortschreitenden Entfernung des Deponiekörpers ging dieser Wert kontinuierlich auf letztlich ca. 0,2 µg/l zurück.

- (4) In beiden Deponiekörpern waren anhand der Profilsprachen von Sondierungen und Bohrungen deutliche sensorische Auffälligkeiten zu verzeichnen („Schwarzfärbung“, „Ölgeruch“, „Lösemittelgeruch“ etc.), die sich insbesondere an der nicht abgedichteten Basis der Altablagerungen häuften und bis in das Unterlager reichten. Diese sensorischen Befunde gingen einher mit z.T. hohen Konzentrationen von PAK, MKW in Feststoffproben, Eluaten und dem Wasser der oberhalb eingestauten Tümpel. Die detaillierte Untersuchung einzelner Proben wies auch exotische Stoffgemische mit Anteilen von Estern, Phthalaten, Trime-thoxymethylbenzen, Dimethoxydiphenylethanon oder „alkylierte Dioxolanderivate“ nach.
- (5) Die Erkundung der Auswirkungen dieser Altablagerungen auf das Grundwasser war aufgrund der Hanglage im Wald mit großem Aufwand verbunden und erforderte wegen des großen Flurabstands Bohrungen bis über 100 m Tiefe. Die am

Standort F installierte 80 m tiefe (einzige) GWM versandete aufgrund unsachgemäßen Ausbaus unmittelbar nach Fertigstellung, so dass daraus lediglich noch Schöpfproben entnommen werden konnten, die aber trotzdem für ein Gw-Monitoring genutzt worden sind. Die in diesen Proben festgestellten „n.n.“-Befunde können nicht als aussagefähig bewertet werden, so dass auf die Gw-Beschaffenheit im Umfeld des Standorts lediglich anhand der Untersuchungsergebnisse im Deponiekörper (s. o.) indirekte Schlussfolgerungen gezogen werden können.

- (6) Im Nahbereich des Standorts P und dessen vermuteten Abstrom wurden 8 GWM installiert, weil zu dieser Zeit die Brunnen I–III noch in Betrieb und IV in Planung war. Wie eine Karte zur PAK-Konzentration in Gw-Proben der DU aus 2006 zeigte, waren in der ersten Probenserie in 6 dieser GWM PAK nachweisbar, darunter 2 Proben mit Summenkonzentrationen über 0,1 µg/l. Grenzwerte der TrinkwV wurden dabei in einem Fall überschritten, der Sachverhalt wurde aber trotz der deutlichen Hinweise aus den Untersuchungen der Altablagerungen selbst nicht angemessen gewürdigt, weil Wiederholungsmessungen die Erstbefunde für den Gw-Pfad nicht in gleicher Höhe bestätigten.

Wie eigene Untersuchungen zeigten, treten diese „n.n.“-Befunde bei fachgerechter Probennahme mit mehrmaligem Austausch des Totvolumens auf, weil die Verunreinigungen aus der Imprägnation der Gesteinsmatrix nur langsam mobilisiert werden. Werden dagegen Schöpfproben entnommen, zeigen die GwProben erhöhte PAK-Konzentrationen, weil die Wassersäule tendenziell im Lösungsgleichgewicht mit dem GwLeiter steht.

Anhand der Unterlagen zur Erkundung/Sanierung der beiden Altablagerungen in den Jahren 2005–2012 ist mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass in beiden Müllkippen große Mengen flüssiger Abfälle wie Altöl abgelassen wurden, die im klüftigen Buntsandstein versickert sind. Diese Entsorgungspraxis war bis Ende der 1970er Jahre weit verbreitet, wie der damalige Skandal um die im 40 km entfernten Hanau ansässige Fa. Plaumann zeigte¹.

Innerhalb des Deponiekörpers verbleiben in einem solchen Fall lediglich Anhaftungen am Deponiegut und Imprägnationen speicherfähiger Feststoffe, wie sie für die Altablagerungen P und F dokumentiert sind. Die Masse der Fluide versickert aber in der ungesättigten bis zur bzw. in die gesättigte Zone, wo sie sich als eigene Phase sammeln und ausbreiten kann, von der aus gelöste Anteile mit dem Gw-Strom transportiert werden.

4 Hydrogeologische Modellvorstellung zur Entwicklung der Kontamination im Gewinnungsgebiet

Die wesentlichsten Fragen, die sich angesichts der vorliegenden Daten stellte, betreffen die Ausbreitung von Leichtphasen in der gesättigten Zone in Kluft- und PorenGw-Leiter:

- (1) Wie ist es möglich, dass die in den (liegenden) KluftGw-Leiter eingetragenen LNAPL in die gesättigte Zone und die sedimentären Deckschichten gelangen?

Als verantwortlich hierfür werden der große Flurabstand im Eintragsbereich und die Ausbreitung im Trennflächengefüge des Buntsandsteins gesehen. Werden nicht mit Wasser mischbare Fluide bei einem Flurabstand > 50 m–100 m in ein Kluftsystem eingespeist, kann sich in diesem „discrete fracture network“ ein Druck von mehreren bar aufbauen, der dazu führt, dass die Leichtphase in wassererfüllte Klüfte gepresst wird, weil über die Matrix des Gebirges keine ausreichende Druckentlastung möglich ist. Innerhalb des Kluftsystems kann sich der Phasen-

¹ <https://www.fr.de/rhein-main/main-kinzig-kreis/spd-org26325/giftstoffe-wahllos-abgekippt-11205765.html>

körper ausbreiten und seinem spezifischen Gewicht gemäß versuchen, zur Gw-Oberfläche aufzusteigen, ist dabei aber auf entsprechende Wegsamkeiten angewiesen, die im vorliegenden Fall vorzugsweise in den etwa Nord-Süd verlaufenden Störungen entlang des Talrandes anzunehmen sind sowie auf den West-Ost streichenden Querstörungen.

Selbst bei Einspeisung in eine poröse Matrix des Buntsandsteins ist eine Ausbreitung als Phase über große Entfernungen möglich, wie das Beispiel eines anderen Standorts beweist. Dort wurde nachgewiesen, dass LNAPL sich bei ausreichender Nachlieferung aus der ungesättigten in die gesättigte Zone an die Einspeiseschicht gebunden auch in größere Tiefe ausbreiten können, solange eine hydraulische Barriere den Aufstieg zum Kapillarsaum verhindert. Erst dort, wo entlang des Migrationswegs geogen (etwa an Störungszonen) oder anthropogen (in Bohrungen) eine ausreichende vertikale Wegsamkeit vorhanden ist, kann die Leichtphase wieder zum Gw-Schwankungsbereich aufsteigen.

Im vorliegenden Fall hat sich die Leichtphase im Buntsandstein unter das Deckgebirge ausgebreitet und ist, mutmaßlich an mehreren Stellen und in unterschiedlichen Tiefen, an deren Basis in die fluviatilen Sedimente übergetreten, wo an Klüften eine Druckentlastung in den/die PorenGw-Leiter möglich war.

(2) Wie ist es möglich, dass die in die PorenGw-Leiter eingetragenen LNAPL sich in der gesättigten Zone und im Kapillarsaum quer zum maximalen Gefälle des Gw-Spiegels über eine Entfernung von über 2 km ausgebreitet haben?

Analog zum KluftGw-Leiter gilt auch in diesem Fall, dass die an der Basis der Lockersteinsauflage eingespeisten Leichtphasen ihrem spezifischen Gewicht folgend in den Gw-Schwankungsbereich aufsteigen, sich dort ansammeln und je nach Volumen weiter ausbreiten. Der Migrationsweg dorthin wird allerdings wiederum von der Durchlässigkeitsverteilung innerhalb der einzelnen Schüttungskörper und eventuellen hydraulischen Barrieren dazwischen bestimmt, wodurch sich in der gesättigten Zone ein komplexes Muster von Verunreinigungen des Korngerüsts ergibt.

5 Zusammenfassung

Als wesentliche Erkenntnis bestätigt das Fallbeispiel die bereits an anderen Standorten gemachte Erfahrung, dass Grundwasser (und andere Fluide) dem Weg des geringsten (Fließ-) Widerstands folgen, also der maximalen Durchlässigkeit und nicht dem kürzesten Weg zur Vorflut, der durch den maximalen hydraulischen Gradienten definiert wird.

Diese üblicherweise aus Gw-Gleichenplänen abgeleitete „Gw-Fließrichtung“ ist in vielen Fällen irreführend, weil die an GWM gemessenen Gw-Spiegellagen oft durch hydraulische Kurzschlüsse über mehrere geohydraulisch teilweise entkoppelte Sediment-/Kluftkörper zustande kommen, also einen Mischwasserspiegel repräsentieren, der mehr oder weniger deutlich von der Druckverteilung innerhalb der einzelnen Gesteinseinheiten abweichen kann.

Diese Fehleinschätzung kann bei der Erkundung des Gw-Pfads dazu führen, dass das Gw-Messnetz falsch

konzipiert und Risiken falsch beurteilt oder gar übersehen werden.

Im vorliegenden Fall ist festzustellen, dass eindeutige Hinweise aus der Erkundung weder durch das ausführende Büro, noch durch das zuständige WWA zutreffend interpretiert worden sind, wodurch es zu Investitionen in die wasserwirtschaftliche Infrastruktur gekommen ist, die bereits heute eine Größenordnung von mehreren Millionen € erreicht hat. In Ermangelung ernst zu nehmender Alternativen ist nach heutigem Kenntnisstand davon auszugehen, dass das ergiebige Gewinnungsgebiet trotz der vorhandenen Verunreinigungen der Gw-Leiter genutzt werden muss, um die öffentliche Wasserversorgung sicherzustellen und die wirtschaftliche Entwicklung nicht zu behindern. Dank des weitgehenden natürlichen Abbaus der Schadstoffe sind im Korngerüst nur noch Restbelastungen verblieben, die sich dem Grundwasser immer noch mitteilen, wenn auch nur in Spuren und bereichsweise.

Um dieses Restrisiko zu beherrschen, ist eine geeignete Wasseraufbereitung erforderlich, die aufgrund der großen Volumenströme mit ursprünglich nicht eingeplanten Investitions- und Betriebskosten verbunden ist. Vorbehaltlich der zukünftigen Betriebserfahrungen fallen dafür, bezogen auf die in der

Wasserwirtschaft üblichen langen Zeiträume, Kosten > 10–20 Mio € an, was die Kosten der Beräumung der Altablagerung P um ein Mehrfaches übersteigt. Das weitere Vorgehen am Standort der Altablagerung F ist bislang noch ungeklärt.

Auswertungen zur Resorptionsverfügbarkeit bei großflächigen Bodenbelastungen in Sachsen

INGO MÜLLER, KATI KARDEL & STEFFEN SCHÜRER

Kurzfassung

An 816 Standorten aus Regionen, in denen großflächig mit erhöhten Stoffkonzentrationen an Arsen, Cadmium und Blei zu rechnen ist, wurden an Oberbodenproben die Resorptionsverfügbarkeit dieser Schadstoffe bestimmt und Gesamtgehalte, wie auch die Resorptionsverfügbarkeit über statistische Kennzahlen, charakterisiert. Die relative Resorptionsverfügbarkeit für Cadmium lag mit ca. 43 % deutlich über der von Blei und Arsen mit ca. 25 %. Der Zusammenhang zwischen den Gesamtgehalten und den resorptionsverfügbaren Gehalten war signifikant und hinreichend eng, um Regressionsmodelle ableiten zu können. Im Vergleich bei der Abschätzung der resorptionsverfügbaren Gehalte aus

gemessenen Gesamtgehalten wurden zwei mögliche Wege aufgezeigt, zum einen über die Nutzung der Werteverteilung (Perzentile) mit und ohne Anpassung von Verteilungsfunktionen, zum anderen über Regressionsmodelle auf Basis logarithmierter Werte. Über diese Wege kann bei Vorliegen von Analysewerten für Gesamtgehalte in Abhängigkeit von der gewünschten Aussagesicherheit ein zu erwartender Wert für die Resorptionsverfügbarkeit abgeschätzt werden. Das LfULG hat zur Unterstützung bei der weitergehenden Sachverhaltsermittlung ein aus diesen beiden Wegen gekoppeltes Prognosemodell zur vereinfachten Abschätzung der Resorptionsverfügbarkeit im Internetangebot bereitgestellt.

1 Einleitung

Im Freistaat Sachsen finden sich geogen und vererzungsbedingt und durch die Bergbau- und Hütten-tätigkeit des Menschen verstärkt flächenhaft erhöhte Gehalte vor allem an Arsen, Blei und Cadmium in den Böden (KARDEL et al. 1996, RANK et al. 1999 und 2006). Neuere Auswertungen belegen eine flächenhafte Ausdehnung von etwa 2 000 km² mit Hinweisen auf das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung (LEP 2013). Die Schadstoffe finden sich zum einen in Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung und können von dort in Nahrungs- und Futtermittel übergehen (BFUL 2017). Darüber hinaus treten diese Schadstoffe auch flächenhaft in den Böden der Siedlungsbereiche auf und können dort über die direkte Aufnahme durch den Menschen eine Schädwirkung entfalten (LFUG 2006).

Für die Schadstoffe Arsen, Blei und Cadmium wurden in der BBodSchV (1999) Prüfwerte für typische Aufnahmeszenarien, z. B. Kinderspielflächen, Wohn-

gebiete und Park- und Freizeitanlagen festgelegt, die zunächst auf Untersuchungen des Gesamtgehaltes durch Königswasserextraktion beruhen. Bei der Ableitung der Prüfwerte wurden bewusst konservative Regelannahmen getroffen, die zum einen die Bodenaufnahmerate, zum anderen die Resorptionsverfügbarkeit der Schadstoffe nach oraler Aufnahme von belastetem Boden betreffen (BBodSchVA 1999). Bei einer Überschreitung von Prüfwerten ist im Rahmen der weitergehenden Sachverhaltsermittlung auf dem Weg hin zur abschließenden Gefahrenbeurteilung zu prüfen, ob die bei der Ableitung der Prüfwerte festgelegten Annahmen zutreffen (LFULG 2014, LANUV 2014). Dieses betrifft insbesondere die Resorptionsverfügbarkeit der Schadstoffe bei einer oralen Bodenaufnahme, da diese bei der Prüfwertableitung zumeist pauschal mit 100 % angesetzt wurde.

In zahlreichen Vorhaben wurden Verfahren zur Untersuchung der Resorptionsverfügbarkeit im Labor

entwickelt, verfeinert, validiert und schließlich auch im Tierversuch getestet (ROTARD et al. 1999, HACK et al. 1998, 1999 und 2002) und mit der DIN 19738 als ein abgestimmtes, validiertes Untersuchungsverfahren veröffentlicht. Viele Untersuchungen belegen, dass zahlreiche Schadstoffe in Böden eine deutlich geringere Resorptionsverfügbarkeit aufweisen, als die für die Prüfwertableitung angenommenen 100 % (LFULG 2010, IFUA 2012, KAISER 2013). Auch bei der Erstellung der fachlichen Grundlagen zur Ausweisung von Bodenplanungsgebieten für großflächig belastete Regionen in Sachsen wurden regionalspezifische

Auswertungen zur Resorptionsverfügbarkeit bei der Festlegung gebietsbezogener Beurteilungswerte einbezogen (LD 2011, SCHÜRER et al. 2011 und 2012). Gegenstand dieses Beitrags ist die übergreifende Auswertung aller vorliegenden Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit von Arsen, Cadmium und Blei in Oberböden der Regionen mit Hinweisen auf erhöhte Schadstoffbelastung in Sachsen mit dem Ziel, über vorhandene Gesamtgehalte eine erste Abschätzung der resorptionsverfügbaren Gehalte zu ermöglichen.

2 Material und Methoden

Für die Auswertungen liegen Untersuchungen von 816 Standorten zugrunde, aus Regionen, in denen großflächig mit erhöhten Stoffkonzentrationen an Arsen, Cadmium und Blei zu rechnen ist, insbesondere aus dem Erzgebirge sowie den Auen der von dort kommenden Gewässer (LEP 2003). Die Standorte liegen im Siedlungsbereich bzw. dem angrenzenden Umfeld unter naturnaher Nutzung. Die Untersuchungen begründen sich überwiegend auf einen Belastungsverdacht geochemischen Ursprungs, ergänzt um weiträumige, anthropogene und historisch bergbau- und hüttenbedingte Einträge. Ergebnisse aus Untersuchungen von Altlasten und altlastverdächtigen Flächen wurden von den Auswertungen ausgeschlossen.

Die Entnahme von Oberbodenproben erfolgte gemäß den Vorgaben des Anhang 1 der BBodSchV (1999), die Dokumentation nach KA5 (2005) und die Erfassung mit dem Programm UBoden (LFULG 2017). Die Untersuchung der Gesamtgehalte (oft als Pseudototalgehalte bezeichnet) an Arsen, Cadmium und Blei erfolgte mittels Königswasserextraktion nach DIN EN 13657 (01/2003) und die Analyse der Resorptionsverfügbarkeit mit Hilfe eines physiologienahen in-vitro Magen-Darm-Modells unter Verwendung von Milchpulver nach DIN 19738 (07/2004). Statistische Auswertungen erfolgten mit IBM SPSS Statistics 24.0; statistische Signifikanzen wurden mit Wahrscheinlichkeiten von $p=0,05$ (*), $p=0,01$ (**) und $p=0,001$ (***) festgestellt. Für den Test auf Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk-Test genutzt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Konzentrationen an Arsen, Blei und Cadmium in den untersuchten Oberbodenproben wiesen eine große Wertespanne auf, von unterhalb der Vorsorgewerte bis zum Vielfachen der Prüfwerte (s. Abb. 1). Die Wertespanne der resorptionsverfügbaren Gehalte war ebenfalls groß, aber insgesamt geringer als die der Gesamtgehalte. Sowohl die Gesamtgehalte (KW) als auch die resorptionsverfügbaren Gehalte (RV) waren im vorliegenden Datensatz nicht normalverteilt. Für statistische Analysen, die eine Normalverteilung voraussetzen (insb. Korrelations- und Regressionsprüfungen), wurden daher logarithmierte Daten (LOG) verwendet.

Im Datenkollektiv bestehen signifikante und deutliche Korrelationen zwischen den Gesamtgehalten der untersuchten Elemente (Pearsons r : 0,54*** bis 0,76***), die einen deutlichen und zumeist geochemisch gleichgerichteten Beitrag unterstreichen. Die Gesamtgehalte weisen mit den sehr großen Konzentrationsbereichen erwartungsgemäß keine signifikanten Korrelationen zu zusätzlich erhobenen Bodenparametern wie pH-Wert, C_{org} , Tongehalt, KAK_{pot} auf.

Auch die RV-Gehalte im Datenkollektiv überstreichen wie die KW-Gehalte mehrere Größenordnungen.

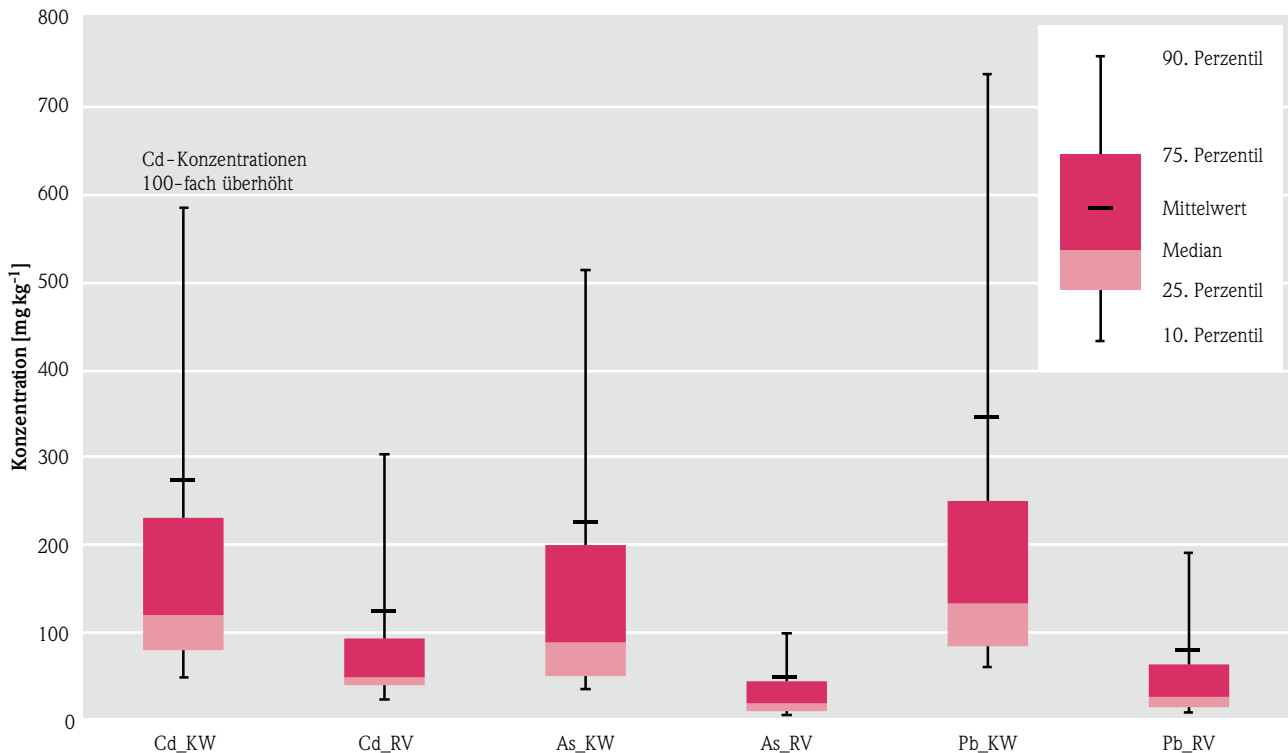


Abb. 1: Vergleich der Gesamtgehalte (KW) und der resorptionsverfügbaren Gehalte (RV) für Cd, As und Pb im Oberboden/ LfULG Sachsen, FIS Boden – Auswertung 15.05.2019

gen und weisen keine Normalverteilung auf. Für nachfolgende Auswertungen wurde zusätzlich die relative Resorptionsverfügbarkeit (RV_{rel}) abgeleitet (Anteil der resorptionsverfügbaren Gehalte am KW-Gehalt in %), um die Elemente untereinander vergleichen zu können, aber auch um festzustellen, ob der relative verfügbare Anteil ggf. von der Höhe der Belastung abhängt.

Im Datenkollektiv kommen für die relative Resorptionsverfügbarkeit, insbesondere für Cadmium, auch Werte von (weit) über 100 % vor, die allerdings nur bei sehr geringen Konzentrationen auftreten und maßgeblich durch die unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen in den beiden Analyseverfahren für die Gesamtgehalte (Königswasser) und resorptionsverfügbaren Gehalte (Magen-Darm-Modell) sowie die Messunsicherheiten bei sehr geringen Konzentrationen begründet sind. Gesamtgehalte deutlich unterhalb der Prüfwerte ($< 75\%$ des jeweils kleinsten in der BBodSchV angegebenen Prüfwertes) wurden daher von den weitergehenden Auswertungen ausgeschlossen. Die Anwendung der DIN 19738 zur Ermittlung der resorptionsverfügbaren Anteile erfolgt ohnehin in der Praxis nur dann, wenn nach Unter-

suchung der Gesamtgehalte mittels Königswassereextraktion eine Prüfwertüberschreitung erkennbar ist. Wie Abbildung 2 beispielhaft für den Teildatensatz aus der Region der Vereinigten Mulde zeigt, ist deutlich erkennbar, dass der resorptionsverfügbare Anteil von Proben mit geringen Konzentrationen deutlich stärker schwankt, als bei Proben mit Konzentrationen im Bereich und deutlich oberhalb der Prüfwerte. Diese verfahrensbedingten Schwankungen bei geringen Konzentrationen wurden durch das Ausschließen von Proben deutlich unterhalb der Prüfwerte für weitergehende Auswertungen nicht mit einbezogen, da die Auswertungsergebnisse maßgeblich für Konzentrationsbereiche oberhalb der Prüfwerte Anwendung finden sollen.

Die statistischen Kennzahlen der relativen Resorptionsverfügbarkeit im Datenkollektiv liegen für Arsen und Blei vergleichsweise eng beieinander (s. Abb. 3). Die Median- und Mittelwerte für die relative Resorptionsverfügbarkeit liegen um 25 %, die 90. Perzentile um 38 %. Die Anzahl der jeweils in die Auswertung mit einbezogenen Proben weist darauf hin, dass weitaus häufiger bewertungsrelevante Konzentrationen an Arsen auftreten als an Blei. Im Vergleich zum

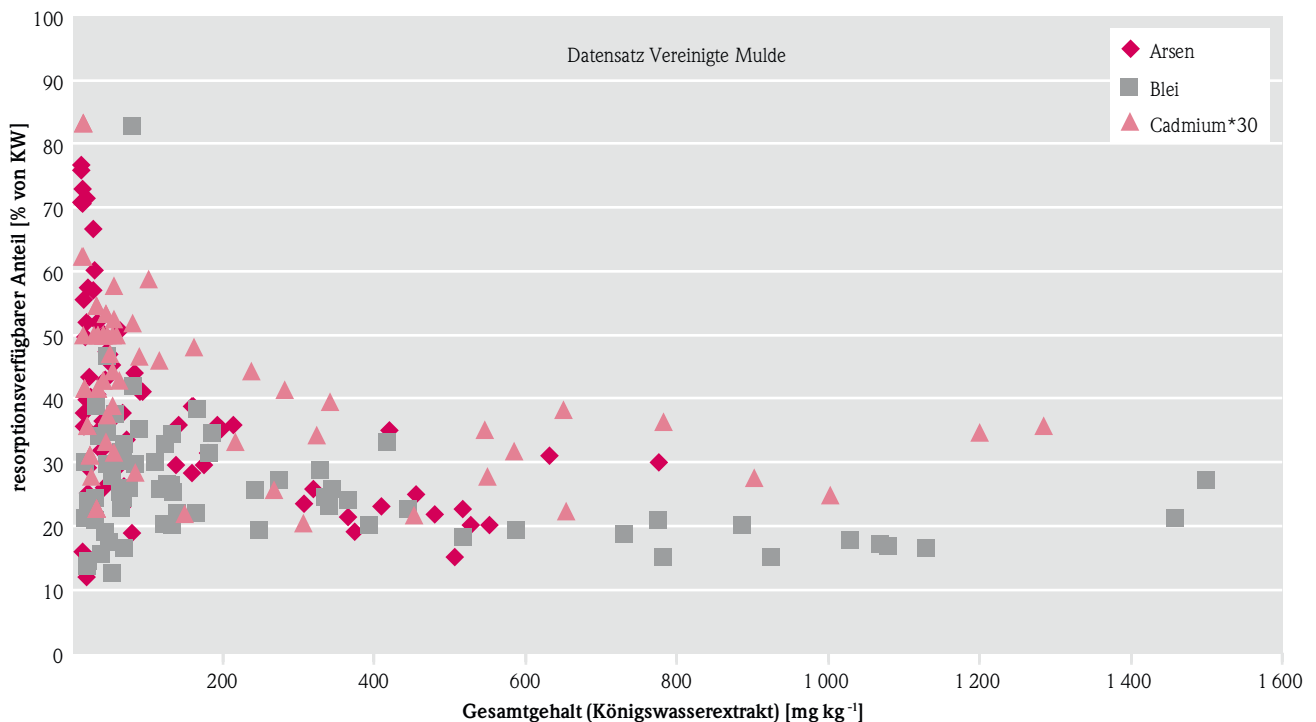


Abb. 2: Resorptionsverfügbarer Anteil für As, Pb und Cd in Abhängigkeit vom Gesamtgehalt (Datensatz Vereinigte Mulde)

Arsen und Blei weisen die Proben für Cadmium eine deutlich höhere relative Resorptionsverfügbarkeit auf; Median- und Mittelwert liegen bei ca. 43 % und das 90. Perzentil bei etwa 62 %.

Im Teilkollektiv mit gemessenen erhöhten Konzentrationen sind die Korrelationen zwischen der relativen Resorptionsverfügbarkeit und den Gesamtgehalten an As, Cd und Pb hochsignifikant, für As-Pb ($r=0,58^{***}$) und Cd-Pb ($r=0,41^{***}$) ausgeprägter, als für Cd-As ($r=0,26^{***}$).

Die relative Resorptionsverfügbarkeit von Blei (RV_{rel} in %; $n=362$) zeigte zu den erhobenen Bodenparametern nur schwache Korrelationen, z. B. zum Tongehalt ($r=-0,17^{**}$) und C_{org} ($r=0,13^*$). Für Blei zeigte sich keine signifikante Korrelation des relativen RV-Anteils (in %) mit dem logarithmierten Gesamtgehalt. Die relative Resorptionsverfügbarkeit von Arsen (RV_{rel} in %; $n=784$) zeigte mit Blick auf die Bodenparameter nur eine extrem schwache Korrelation zum pH-Wert ($r=0,08^*$). Interessanterweise gab es einen Zusammenhang zur Tiefe der entnommenen Probe (PUT) mit $r=-0,24^{**}$. Es zeigte sich zudem die schwach ausgeprägte Tendenz, dass mit zunehmendem Gesamtgehalt (logarithmiert) an As der prozentuale RV-Anteil abnimmt ($r=-0,24^{**}$).

Die relative Resorptionsverfügbarkeit von Cadmium (RV_{rel} %; $n=334$) zeigte zu den Bodenparametern keine signifikanten Korrelationen, nur einen sehr schwachen Zusammenhang zur Entnahmetiefe PUT mit $r=-0,15^{**}$. Es zeigte sich zudem die schwach ausgeprägte Tendenz, dass mit zunehmendem Gesamtgehalt (LOG) für Cd der RV-Anteil zunimmt ($r=0,17^{**}$).

Da die Gesamtgehalte wie auch die absoluten RV-Gehalte nicht normalverteilt sind, wurden die Zusammenhangsmaße für das Teilkollektiv der beurteilungsrelevanten Gesamtgehalte mit den logarithmierten Werten ermittelt. Der Zusammenhang erscheint für alle drei Elemente (Pb $r=0,91^{***}$, As $r=0,87^{***}$, Cd $r=0,92^{***}$) hinreichend eng für die Erstellung von Regressionsmodellen. Die Auswertungen ergaben, dass in möglichen Regressionsmodellen der resorptionsverfügbare Gehalt nahezu ausschließlich über den Gesamtgehalt (KW) erklärt werden konnte. Der Einbezug weiterer, möglicher Erklärender wie Tongehalt, C_{org} , KAK_{pot} , pH-Wert oder der Entnahmetiefe in das Regressionsmodell wäre zwar statistisch teilweise möglich gewesen, aber der Erklärungszuwachs und Zuwachs an Ausagesicherheit im Modell ausgesprochen gering. Da bei einer möglichen Anwendung eines Modells, z. B.

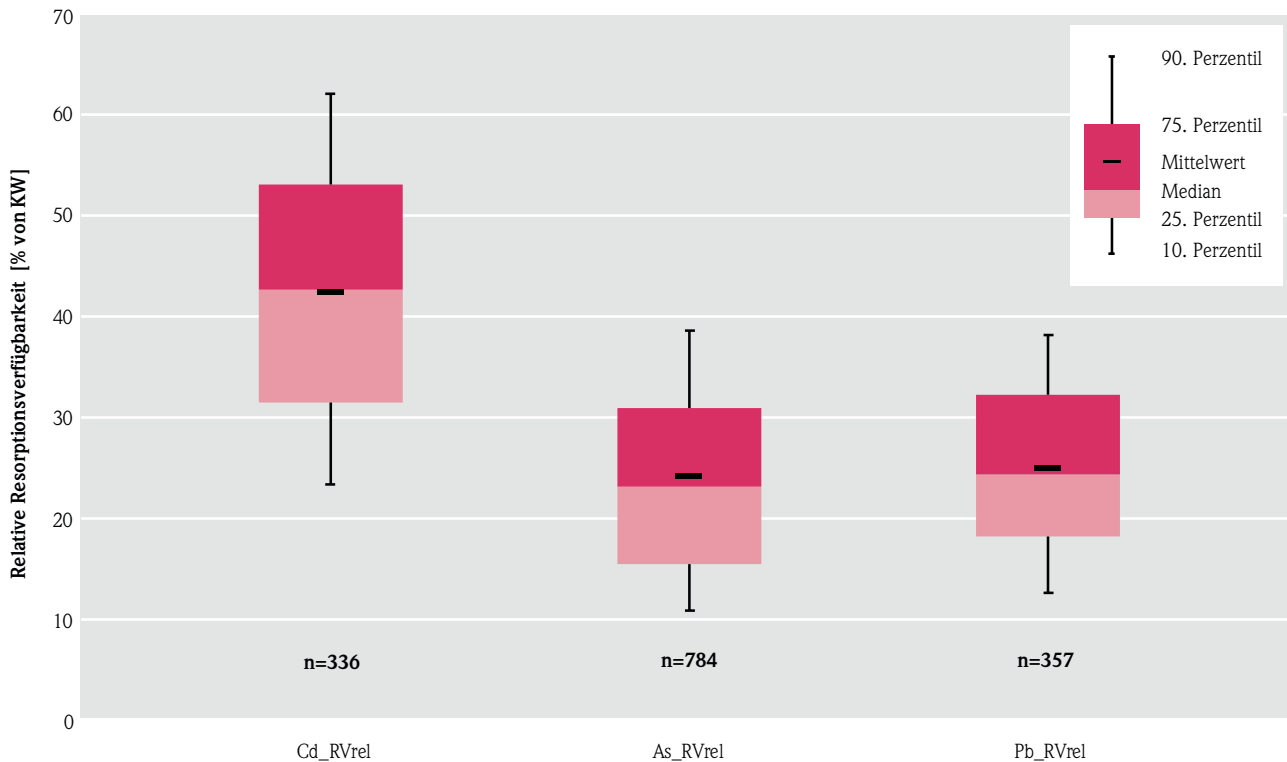


Abb. 3: Vergleich der relativen Resorptionsverfügbarkeiten (RVrel) für Cd, As und Pb im Oberboden/ LfULG Sachsen, FIS Boden – Auswertung 15.05.2019

bei untersuchten Gesamtgehalten oberhalb der Prüfwerte, auch nicht immer alle benannten Parameter vorab erhoben werden, wurde auf den Einbezug von zusätzlichen Bodenparametern bewusst verzichtet und vereinfachte Modelle nur über den Zusammenhang zwischen Gesamtgehalt (KW) und dem resorptionsverfügbaren Gehalt anhand der logarithmierten Werte ermittelt (s. Abb. 4).

Wenn in den vorgenannten Regionen Untersuchungen Gesamtgehalte an Arsen, Blei oder Cadmium aufzeigen, die die Prüfwerte überschreiten, kann auf zwei grundsätzlichen Wegen in einem ersten Schritt bei der weitergehenden Sachverhaltsermittlung abgeschätzt werden, in welcher Höhe voraussichtlich der resorptionsverfügbare Anteil liegen wird, um ggf. über eine Beauftragung dieser weiterführenden Analytik zu entscheiden.

Zum einen können dazu die vorgenannten Regressionsmodelle verwendet werden, zum anderen die Angaben zur statistischen Werteverteilung der relativen Resorptionsverfügbarkeit. Die Auswertung der Werteverteilung kann dabei direkt erfolgen oder mit Hilfe angepasster Verteilungsfunktionen. Mit Hilfe

der Konfidenzintervalle (5 % und 95 %) der Regressionsfunktion oder Perzentilangaben können mit den Modellergebnissen auch Angaben über Aussagesicherheit verknüpft werden.

Das LfULG hat die vorgenannten Wege in ein einfaches Prognosemodell in Form von Excel-Tabellen überführt (LfULG 2019) und zusammen mit fachlichen Hintergrundinformationen und einer Erklärung zu den Nutzungsbedingungen im Internet kostenfrei bereitgestellt. Nach Eingabe der Gesamtgehalte (KW) wird im Ergebnis der Schätzbereich für die im Mittel zu erwartenden resorptionsverfügbaren Gehalte sowie eine Obergrenze für resorptionsverfügbare Gehalte, die mit einer statistischen Aussagesicherheit je nach Element und Modell von 90–95 % wahrscheinlich ist, nicht überschritten. Diese Ausgaben umfassen eine konservative Modellzusammenfassung der vorgenannten Abschätzungswege. Erreichen oder überschreiten Werteangaben die Unsicherheitsbereiche bzw. Modellgrenzen (Arsen 20–1000 mg/kg, Blei 150–2000 mg/kg, Cd 1,5–20 mg/kg), wird in der Modellzusammenfassung darauf hingewiesen und dieser Umstand bei der Ergebnisausgabe stets konservativ berücksichtigt.

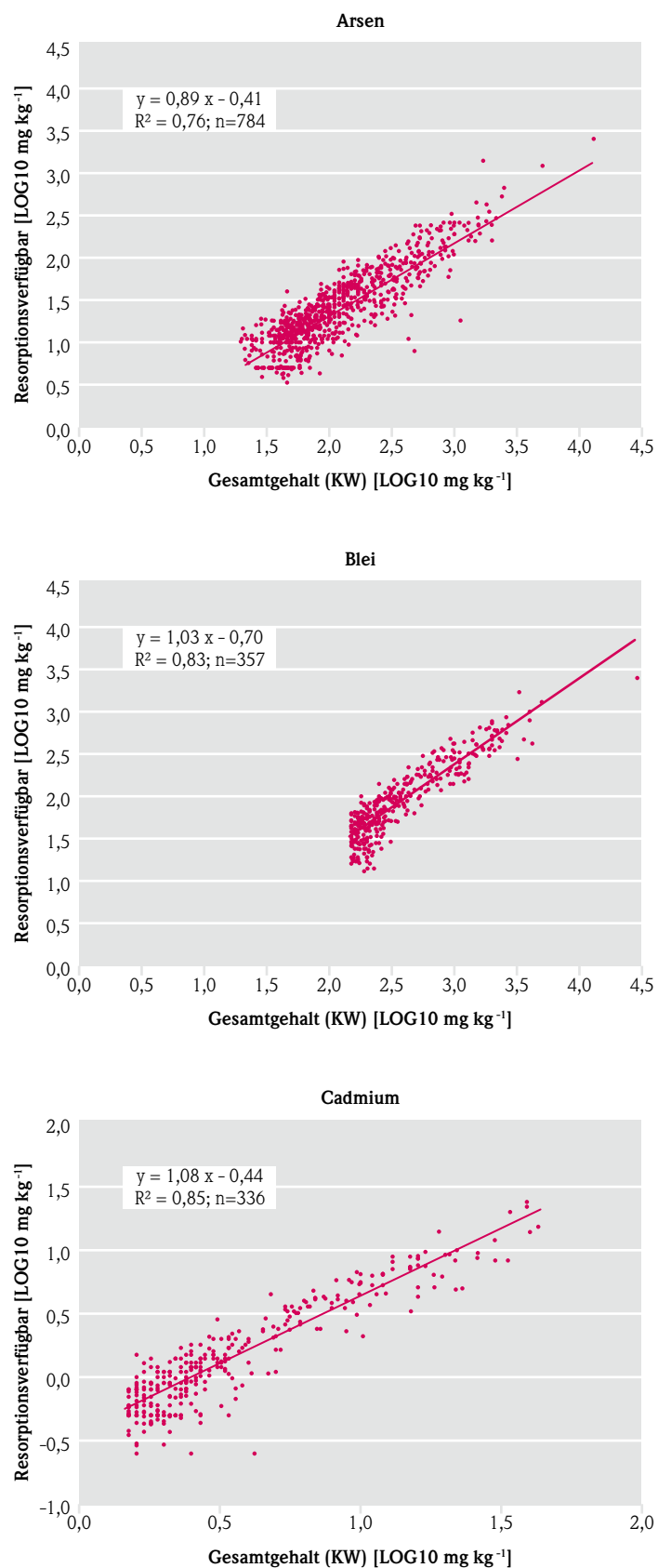


Abb. 4: Logarithmierte Werte für As, Pb und Cd

4 Schlußfolgerungen

Für die Resorptionsverfügbarkeit von Arsen, Blei und Cadmium in den Böden mit Hinweisen auf großflächige schädliche Bodenveränderungen (LEP 2013) lassen sich statistische Kennzahlen ableiten, die eine hinreichend sichere Abschätzung der Resorptionsverfügbarkeit erlauben. Das betrifft zum einen Aussagen zum relativen resorptionsverfügbaren Anteil am Gesamtgehalt durch Auswertung der Perzentilverteilung. Zum anderen sind die Gesamtgehalte an Arsen, Blei und Cadmium so eng mit deren resorptionsverfügbaren Gehalten korreliert, dass es möglich ist, statistisch gesicherte Regressionsmodelle auf Basis der logarithmierten Werte abzuleiten. Beide Ableitungswege weisen Aussagegrenzen für sehr niedrige (damit aber nicht beurteilungsrelevante) und extrem hohe Konzentrationen auf, da gerade letztere im ausgewerteten Datenkollektiv vergleichsweise selten auftreten (Arsen, Blei) oder nicht vorkommen (Cadmium).

Das LfULG hat in 2019 ein Tabellenwerk bereitgestellt, um für die typischen Fälle großflächiger Belastungen mit Arsen, Cadmium und Blei eine erste Abschätzung der zu erwartenden Resorptionsverfügbarkeit zu ermöglichen. Diese Abschätzungen können weder die Analytik der Resorptionsverfügbarkeit

nach DIN 19738 noch eine unbedingt erforderliche sachverständige Beurteilung ersetzen. Es lassen sich damit aber die Möglichkeiten und Grenzen nachfolgender Analysen zur Resorptionsverfügbarkeit frühzeitig in der weitergehenden Sachverhaltsermittlung aufzeigen. Zugleich bietet sich damit Möglichkeit der Einordnung vom Modell deutlich abweichender Analyseergebnisse, die ggf. auf spezifische Belastungsursachen oder Bindungsformen der Schadstoffe hinweisen können.

Über diese Wege lassen sich umgekehrt auch Konzentrationen für Gesamtgehalte (KW) ableiten, bei denen mit einer festgelegten Wahrscheinlichkeit der resorptionsverfügbare Anteil den stoff- und nutzungsbezogen definierten (resorptionsrelevanten) Prüfwert der BBodSchV einhält. Diese Form der Anwendung wurde auch bei der Erarbeitung der fachlichen Grundlagen und Kartenwerke für die Ausweisung von Bodenplanungsgebieten, z. B. für den Raum Freiberg (LD 2011), angewendet. Verknüpft mit der Aussagesicherheit einer Überschreitung gebietsspezifisch abgeleiteter Beurteilungswerte wurden hier zugleich auch von der Intensität her gestufte Maßnahmenoptionen zur Unterbrechung des Wirkungspfadens verknüpft.

Literatur

BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. BGBl I 1999: 1554.

BBodSchV (1999): Bekanntmachung über Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 18. Juni 1999. Bundesanzeiger, Band 51, Heft 161a: 1–39.

BFUL (2017): Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetall-belasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden; Staatliche Betriebs-gesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Nossen; http://www.bful.sachsen.de/download/Faltblatt_2017_C.pdf.

DIN 19738 (2017–06): Resorptionsverfügbarkeit von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminiertem Bodenmaterial; Beuth-Verlag, Berlin.

HACK, A., WELGE, P., WITTSIEPE, J., WILHELM, M. (2002): Aufnahme und Bilanzierung (Bioverfügbarkeit) ausgewählter Bodenkontaminanten im Tiermodell (Minischwein). Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Abschlussbericht April 2002, 324 S.

IFUA (2012): Zusammenstellung und Bewertung vorhandener Daten zur Abschätzung der Resorptionsverfügbarkeit von Schadstoffen in Böden und Bodenmaterialien – Teil 1; Endbericht zum Forschungsvorhaben FKZ 36013018 im Auf-

- trag des Umweltbundesamtes, Dessau; Institut für Umwelt-Analyse Projekt-GmbH, Bielefeld, 01/2012.
- KAISER, D.B. (2012): Evaluierung vorhandener Verfahren und Daten zur Beurteilung der Resorptionsverfügbarkeit ausgewählter Schadstoffe. Dissertation, Fachbereich Geowissenschaften der Freien Universität Berlin. Online verfügbar: http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000093969
- KARDEL, K., RANK, G., PÄLCHEN, W. (1996): Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Spurenelementgehalte in Gesteinen. – Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul.
- KONIETZKA, R., DIETER, H. (1998): Ermittlung gefahrenbezogener chronischer Schadstoffzufuhren zur Gefahrenabwehr beim Wirkungspfad Boden-Mensch. Kennzahl 3530, 27. Erg. Lfg. X/98. In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., EINSELE, G., HARRESS, H. (Hrsg.): Handbuch Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Band 2, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- LANUV (2014): Weitere Sachverhaltsermittlungen bei Überschreitung von Prüfwerten nach BBodSchV für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) LANUV-Arbeitsblatt 22.
- LD 2011: Verordnung der Landesdirektion Chemnitz zur Festlegung des Bodenplanungsgebietes „Raum Freiberg“ vom 10. Mai 2011, Sächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt Nr.6, 14.07.2012.
- LEP (2013): Landesentwicklungsplan 2013 des Freistaates Sachsen, veröffentlicht am 30. August 2013 im Sächsischen Gesetz- und Verordnungsblatt 11/2013.
- LFULG (2010): Evaluierung Resorptionsverfügbarkeit; Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.), Redaktion: BÜSCHEL, M., MÜLLER, L., MÜLLER, I., Schriftenreihe Heft 3/2010, Dresden.
- LFULG (2014): Detailuntersuchung; Handbuch zur Altlastenbehandlung Teil 7; Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.) erschienen 2003, in Teilen aktualisiert 2006 und 2014.
- LFULG (2017): Bodenkundliches Erfassungsprogramm UBODEN.net; Programm, Dokumentation und Schlüssellisten, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.), <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/14117.htm>.
- LFULG (2019): Prognosemodell zur Abschätzung der Resorptionsverfügbarkeit – Version 1.02; Excel-basiertes Tabellenwerk; Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden; abrufbar unter <https://www.boden.sachsen.de/abschätzung-der-resorptionsverfügbarkeit-22452.html>.
- LFUG (2006): Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des Bodenschutzrechtes in Gebieten mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten; Materialien Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- RANK, G., KARDEL, K., PÄLCHEN, W. & WEIDENDÖRFER, H. (1999): Bodentlas des Freistaates Sachsen, Teil 3, Bodenmessprogramm, Bodenmessnetz 4 km x 4 km. – Materialien zum Bodenschutz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- RANK, G., KARDEL, K., WEIDENDÖRFER, H. (2006): Geochemische Untersuchungen an den Hochflutschlämmen in Sachsen in Verbindung mit dem Hochwasserereignis 2002. In: Das Elbe-Hochwasser 2002, Geologisches Jahrbuch Reihe C, Band C 70, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung: 95–114.

PFC - Das wichtigste in Kürze

VOLKER ZEISBERGER

HLNUG-Altlastenseminar 2019



PFC - Das Wichtigste in Kürze

Wer sucht der findet !

oder

Nur wer richtig sucht, findet !

Volker Zeisberger, Altlastenseminar 2019 am 17./18.9.2019 in Wetzlar



Anwendungsgebiete für PFC



- **Feuerlösch-Schäume**
AFFF-Schäume
- **Galvaniken**
Verchromung
- **Papier-Veredelung**
Kaffeebecher, Backpapier, Popcornbecher, Fotopapier...
- **Textil-Imprägnierung**
Sofabezüge, Teppiche, Outdoor-, Schutzkleidung, ...



Foto: Polizeiliegertstaffel Hessen

Volker Zeisberger, HLNUG-Altlastenseminar 2019 am 17./18.9.2019 in Wetzlar



Definitionen



PFC

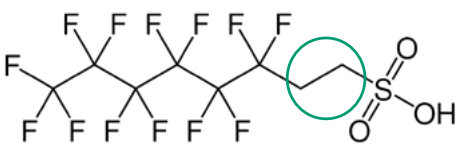
PFAS

Per- und polyfluorierte Chemikalien

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen



PFOA
perfluoriert



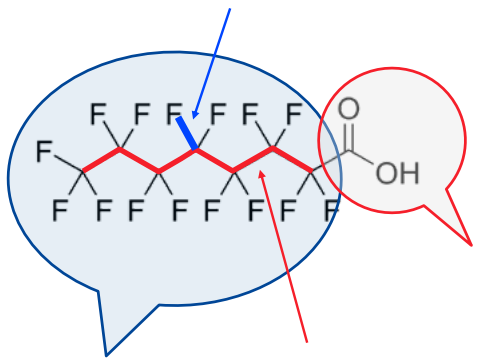
H4PFOS = 6:2 FTS
polyfluoriert



Eigenschaften, Besonderheiten

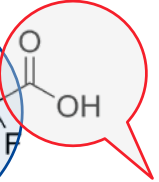


PFOA



unpolar

Kohlenstoffkette



polar



Von ker Zersberger, HLNUG-Altlastenseminar 2019 am 17./18.9.2019 in Wetzlar

Perfluorierte PFC



- „altbekannte“ PFC
- einige Stoffe wie **PFOS** und **PFOA** sind verboten oder die Anwendung ist eingeschränkt
- die einzelnen **perfluorierten** PFC sind untereinander ähnlich und unterscheiden sich in **Kettenlänge** und **polarer Gruppe**
- **Analytik** „etabliert“, es gibt **Bewertungsmaßstäbe**



PFOA
(perfluoriert)

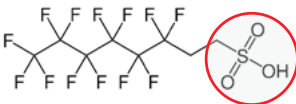


Volker Zeisberger, ILNUG-Altlastenseminar 2019 am 17./18.9.2019 in Wetzlar

Polyfluorierte PFC



- modernes Herstellungsverfahren
- große **Stoffvielfalt** (ca. 1000 industriell hergestellte Stoffe)
- oftmals „unbekannte“ Stoffe (sog. **Precursoren**)
- viele Stoffe unterliegen dem **Betriebsgeheimnis** und müssen nicht im Sicherheitsdatenblatt beschrieben werden
- **Analytik** oftmals NICHT möglich

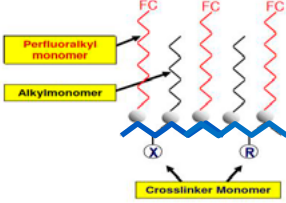


H4PFOS



Betain

Textil / Papier
Acrylate mit Fluorolomer-Seitenketten

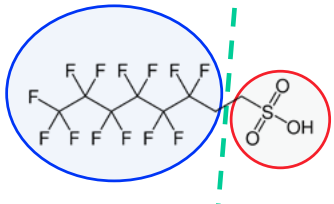


Dr. Volker Schröder - Verband TEGEWA



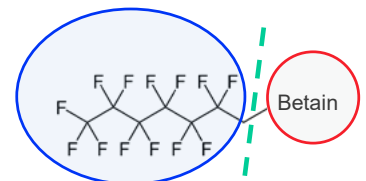
Abbaubarkeit

- **Perfluorierte PFC** nicht biologisch abbaubar, thermisch stabil
- **Polyfluorierte PFC** Teilabbau zu **perfluorierten PFC**



H4PFOS

moderne Feuerlöschschäume



Betain

Vo ker Zeisberger, 'ILNUG-Altlastenseminar' 2019 am 17./18.9.2019 in Wetzlar





Analytik

Mit Standard-Analytik (ca. 20 PFC) können i.d.R. bestimmt werden

- ✓ **Perfluorierte PFC**
- ✓ Einige **Polyfluorierte PFC** wie **H4PFOS**

Mit Standard-Analytik können NICHT bestimmt werden:

- **Polyfluorierte PFC** wie z. B.
 - **Betaine** (Feuerlöschschäume)
 - **PAP** (Papier-Veredelung)
 - **Acrylate** mit Fluortelomer-Seitenketten (Textil-Imprägnierung)

Vo ker Zeisberger, 'ILNUG-Altlastenseminar' 2019 am 17./18.9.2019 in Wetzlar



Erweiterte Analytik



Folgende Analysenverfahren sind noch nicht normiert – und werden nur von wenigen Analysenlaboratorien angeboten:

Summenparameter

AOF adsorbierbares organisch gebundenes Fluor (**Wasser**)

EOF extrahierbares organisch gebundenes Fluor (**Boden**)

Analyse nach Oxidation

TOP total oxidable precursor (**Wasser, Boden**)



Bestimmungsgrenzen



Einzel-PFC

Wasser	ca.	0,001 µg/l = 1 ng/l
Boden	ca.	1 µg/kg

AOF / EOF

Wasser	ca.	1 µg/l
Boden	ca.	10 µg/kg

TOP

Wasser	ca.	0,001 µg/l
Boden	ca.	1 µg/kg





Bewertung

Die **LAWA** und das **Umweltbundesamt** haben **Geringfügigkeitsschwellen (GFS)** und **Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW)** veröffentlicht.

	GFS [µg/l]	GOW [µg/l]
PFBA	10	
PFPeA		3
PFHxA	6	
PFHpA		0,3
PFOA	0,1	
PFNA	0,06	
PFDA		0,1
PFBS	6	
PFHxS	0,1	
PFHpS		0,3
PFOS	0,1	
H4PFOS		0,1
FOSA		0,1

Eher
humantoxisch

als
ökotoxisch

je
langkettiger,

desto
toxischer,

da sie sich
stärker
anreichern





Bewertung

Bewertungsmaßstäbe fehlen für:

- Fast alle **poly**fluorierten PFC (Papier-/Textilveredelung, Feuerlöschschäume)
- AOF, EOF (Summenparameter)
- TOP-Analytik



Von der Zeisberger, HLNUG-Altlastenseminar 2019 am 1./7./18.9.2019 in Wetzlar

PFC - Arbeitshilfe der LABO

- **„Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen“**
- 2016 erschienen
- umfassende Infos über Herkunft/Einsatz von PFC und die betroffenen Branchen
- Erlass HMUKLV vom 19.02.2016 mit Link zur LFP-Homepage
http://www.lacnderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LABO/B_4.14/index.jsp
- Keine leichte Kost, aber lohnend !



Volker Zeisberger, ILNUG-Altlastenseminar 2019 am 1./2./18.9.2019 in Wetzlar



Weitere Arbeitshilfen



- **Bayern**
Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden (2017)
- **Rheinland-Pfalz**
ALEX-Informationsblatt 29, Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) in der Umwelt (2017)
- **Baden-Württemberg**
Per- und polyfluorierte Chemikalien - Hintergrundwerte und mögliche Eintragsquellen in Böden in Nichtschadensfällen (2016)
- **Nordrhein-Westfalen**
PFC in Boden und Grundwasser, Ergebnisbericht des Workshops am 25.09.2017

Volker Zeisberger, ILNUG-Altlastenseminar 2019 am 1./2./18.9.2019 in Wetzlar





Wo kommt die Hintergrundbelastung her ?



Eisbären, Muttermilch, Fische, Flüsse, Grundwasser, ...

- **Früher** wurden PFC wie **PFOS** eingesetzt, nicht aber deren Verbleib in der Umwelt überprüft.
- Erst neuere Messungen zeigen, dass sich PFC (wie z. B. PFOS) ubiquitär verbreitet haben
- **PFOS und PFOA sind inzwischen reglementiert**, damit sollte kein Neu-Eintrag in die Umwelt erfolgen (China ???)

Reicht diese Erklärung aus ???

Können wir uns zurücklehnen ???

Vo ker Zersberger, HLNUG-Altlastenseminar 2019 am 17./18.9.2019 in Wetzlar





Wo kommt die Hintergrundbelastung her ?



Oder tragen **polyfluorierte** PFC zur Hintergrundbelastung bei ?

- Derzeit werden vor allem **polyfluorierten** PFC eingesetzt
- Viele **polyfluorierte** PFC sind nicht analysierbar
- Die **polyfluorierten** PFC sind nur teilweise abbaubar, Endprodukte sind immer die persistenten **perfluorierte** PFC
- Erst durch einen Teilabbau zu **perfluorierten** PFC werden sie analysierbar

Fazit: Direkt bei der Anwendung bleiben die PFC unerkannt, oder sie werden als ungefährlich eingestuft, erkannt und „toxisch“ werden sie erst nach einem Teilabbau

Vo ker Zersberger, HLNUG-Altlastenseminar 2019 am 17./18.9.2019 in Wetzlar



PFC - Alles im Blick ?

PFOS
PFOA

PFC - Alles im Blick ?

PFHxS
PFNA
PFOS
PFOA
PFBS
PFBS
PFHpA
H4PFOS
PAP
Betaine
Polymere mit
PFC-
Seitenketten

PFC - Gefährdungsabschätzung an ausgewählten Feuerwachen im Stadtgebiet Düsseldorf

TINA NEEF & AXEL MESSLING

1 Hintergrund

Per- und polyfluorierte Tenside (PFC) werden seit Jahrzehnten in unterschiedlichen technischen Bereichen wie Galvanik, Oberflächen- oder Textilveredelung etc., aber auch in Feuerlöschschäumen, eingesetzt. Sowohl durch die Herstellung und die Weiterverarbeitung PFC-haltiger Chemikalien als auch durch deren Einsatz u. a. bei Brandlösungen und Löschübungen sowie durch die Deponierung PFC-haltiger Abfälle wurden Boden- und Grundwasserunreinigungen verursacht, die sich aufgrund der Stoffeigenschaften der PFC vor allem im Grundwasser schnell ausbreiten. PFC-Verunreinigungen stellen daher hinsichtlich Erkundung und Sanierung besondere Herausforderungen dar. Diese Herausforderungen bestehen u. a. in den sich ständig weiterentwickelnden, komplexen Untersuchungsmethoden,

in der großen Umweltrelevanz dieser Stoffe und in den derzeit noch ungenügenden Abreinigungsmöglichkeiten der PFC. Wissensdefizite bestehen zudem bei dem zu untersuchenden Parameterumfang, bei den Bewertungskriterien und bei den Sanierungsmöglichkeiten.

Die Erkundung und Sanierung von PFC-Schadensfällen ist zudem aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften (Löslichkeit, Transformation, Sorption, Toxizität u. a.) der Einzelstoffe aufwändig und noch nicht Stand der Technik. Oft ergeben sich auf den ersten Blick widersprüchliche Befunde in Boden und Grundwasser, die jedoch bei genauer Kenntnis des Umweltverhaltens erklärt werden können.

2 Bewertungsgrundlagen

Seit 2017 gibt es für sieben Einzelstoffe der Stoffgruppe PFC Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) zur Bewertung von Grundwasserbelastungen. Darüber hinaus gilt seit Dezember 2018 als Umweltqualitätsnorm für oberirdische Gewässer ein Wert von 0,65 ng/l für den Einzelstoff PFOS.

Für die Bewertung von Bodenverunreinigungen mit PFC existieren noch keine Bewertungskriterien. Für den Wirkungspfad Boden - Grundwasser erfolgt eine Bewertung in der Regel über eine Sickerwasserprognose unter Verwendung der Bewertungsmaßstäbe für das Grundwasser.

Derzeit erarbeitet eine Bund-/Länder Fachgruppe PFC einen Leitfaden (Maßstäbe von PFC-Belastungen in Gewässern, Böden und Abfällen) auch in Form von Prüf-, Grenz- und Zielwerten. Als Grundlage hierfür dienen die „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ des Bayerischen Landesamtes für Umwelt.

3 Systematische Erfassung und Überprüfung möglicher PFC-Einträge in den Boden und das Grundwasser

Mit Bekanntwerden der Auswirkungen, die die Schadstoffgruppe PFC auf die Umweltmedien ausübt, veranlasste das Umweltamt der Stadt Düsseldorf ab dem Jahr 2007 über das gesamte Stadtgebiet von Düsseldorf verteilt Grundwasseruntersuchungen. Insbesondere im Grundwasserabstrom von Galvaniken, Brandereignissen sowie Feuerwachen wurde ein Grundwassermonitoring hinsichtlich PFC durchgeführt. Bei einem Teil der Untersuchungen im Jahr 2007 wurden zunächst nur die beiden Verbindungen PFOS und PFOA analysiert. Auf dieser Datengrundlage war es nicht möglich, PFC-Eintragsstellen zu identifizieren oder PFC-Grundwasserverunreinigungen abzugrenzen. Nach der Erstüberprüfung der Grund- und Oberflächengewässer erfolgte in Düsseldorf eine systematische Erfassung und Erkundung von PFC-Verunreinigungen.

In den Folgejahren wurde die Anzahl der auf PFC untersuchten Grundwassermessstellen schrittweise erhöht sowie der Untersuchungsumfang auf zehn PFC-Verbindungen (entsprechend DIN 38407-42) erweitert. Im Jahr 2014 wurde der Untersuchungsumfang mit der Weiterentwicklung der Analysemethoden an ausgewählten Messstellen um weitere per- und polyfluorierte Verbindungen erweitert.

Mit Kenntnisstand Ende 2017 sind 3 großflächige und 2 flächig begrenzte PFC-Grundwasserverunreinigungen mit zum Teil mehreren Eintragsstellen bekannt. Zusätzlich sind 13 Stellen mit lokal erhöhten PFC-Konzentrationen im Grundwasser nachgewiesen.

Neben dem Grundwassermonitoring erfolgte im Stadtgebiet der Landeshauptstadt Düsseldorf eine flächendeckende systematische Erfassung von potenziellen Löschmittelschäden und von PFC-relevanten Altstandorten, PFC-relevanten Betriebsstandorten und PFC-relevanten Altablagerungen. Das Umweltamt recherchiert hierfür systematisch bei Verwaltungsdienststellen, archivführenden Einrichtungen und sonstigen eventuell Beteiligten bzw. Emittenten nach Hinweisen auf Ereignisse, Handlungen oder Tätigkeiten, in deren Rahmen es zum Einsatz PFC-haltiger Produkte, Brände mit Löschschaumeinsatz oder sonstigen Löschschaumanwendungen gekommen sein kann. Bei den erfassten Flächen mit PFC-Verdacht werden schrittweise orientierende Untersuchungen als Teil einer Gefährdungsabschätzung durchgeführt. Bei hinreichendem Verdacht auf eine schädliche Bodenveränderung folgen Detail- und Sanierungsuntersuchungen.

4 Gefährdungsabschätzung an ausgewählten Feuerwachen im Stadtgebiet Düsseldorf

Für die hinsichtlich der Schadstoffgruppe der PFC als besonders relevant erkannten Standorte der Feuerwachen wurde ein systematisches Untersuchungsprogramm erarbeitet, das schrittweise umgesetzt wird.

Bei den hier vorgestellten Fällen handelt es sich um Feuerwachen im Stadtgebiet Düsseldorf, auf deren Gelände jeweils mit PFC-haltigen Chemikalien (AFFF-Feuerlöschschäume) umgegangen wurde. In relevanten Mengen kamen hier seit Beginn der 1970er Jahre PFC-haltige Chemikalien und Produkte

zum Einsatz, z. B. bei Löschübungen auf dem Gelände der Feuerwachen. Haupteintragspfade neben unversiegelten Flächen (z. B. Rasenflächen und Baumscheiben) und gepflasterten Flächen stellen undichte Kanäle dar, so dass PFC auch in entsprechend größerer Entfernung vom Eintragsort in den Untergrund gelangen können.

Weitere Eintragsstellen für PFC sind Schlauchwäuschen (Abbildung 1), Fahrzeugwaschplätze (Abbildung 2) und Trockentürme.

Je nach Versiegelungsgrad und Neigung des Grundstücks finden sich die PFC-Belastungen direkt am Einsatzort oder im Ablauf von Flächen, auf denen mit PFC-haltigem Wasser umgegangen wurde.

Die möglichen Eintragsstellen sind somit bei Feuerwachen vergleichsweise schwierig zu lokalisieren. Daher ist im Vorfeld von Erkundungsmaßnahmen neben einer detaillierten Nutzungsrecherche die Überprüfung der Grundstücksentwässerungseinrichtungen zu empfehlen. Beides stellt eine wichtige Grundlage für die orientierenden Untersuchungen und die damit verbundene Auswahl der Bohransatzpunkte dar.

Die Analytik der gewonnenen Bodenproben erfolgt im 2:1-Schütteluat nach DIN 19529 in der Regel auf die zehn Einzelsubstanzen nach DIN 38407-42 für wässrige Proben zuzüglich der 6:2-Fluortelomersulfonsäure (H_4PFOS).

Ein Problem bei der derzeitigen Einzelstoffanalytik besteht darin, dass häufig nur ein Teil der PFC erfasst wird. Aufgrund der Vielzahl möglicher eingesetzter Verbindungen und Produkte bei den Feuerwachen besteht der Verdacht, dass ein Eintrag weiterer un-

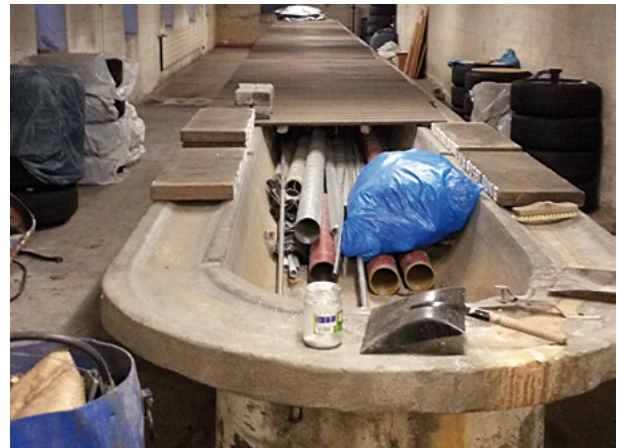


Abb. 1: Ehemalige Schlauchwäsche (Foto: ahu AG, 2014)

bekannter PFC nicht auszuschließen ist. Aus diesem Grund wurden an einem Standort der Feuerwachen exemplarisch erste Untersuchungen von Bodeneluat mit neuen Methoden zur vollständigeren Erfassung der PFC durchgeführt (AOF-Bestimmung und Precursor-Oxidation (TOP)). Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass in den untersuchten Proben hohe Anteile an Precursor-Verbindungen enthalten sind. Da die beiden analytischen Verfahren derzeit noch in der Erprobung sind, sollten auch die Analysenergebnisse validiert werden.



Abb. 2: Ablaufendes Waschwasser (Foto: ahu AG, 2014)

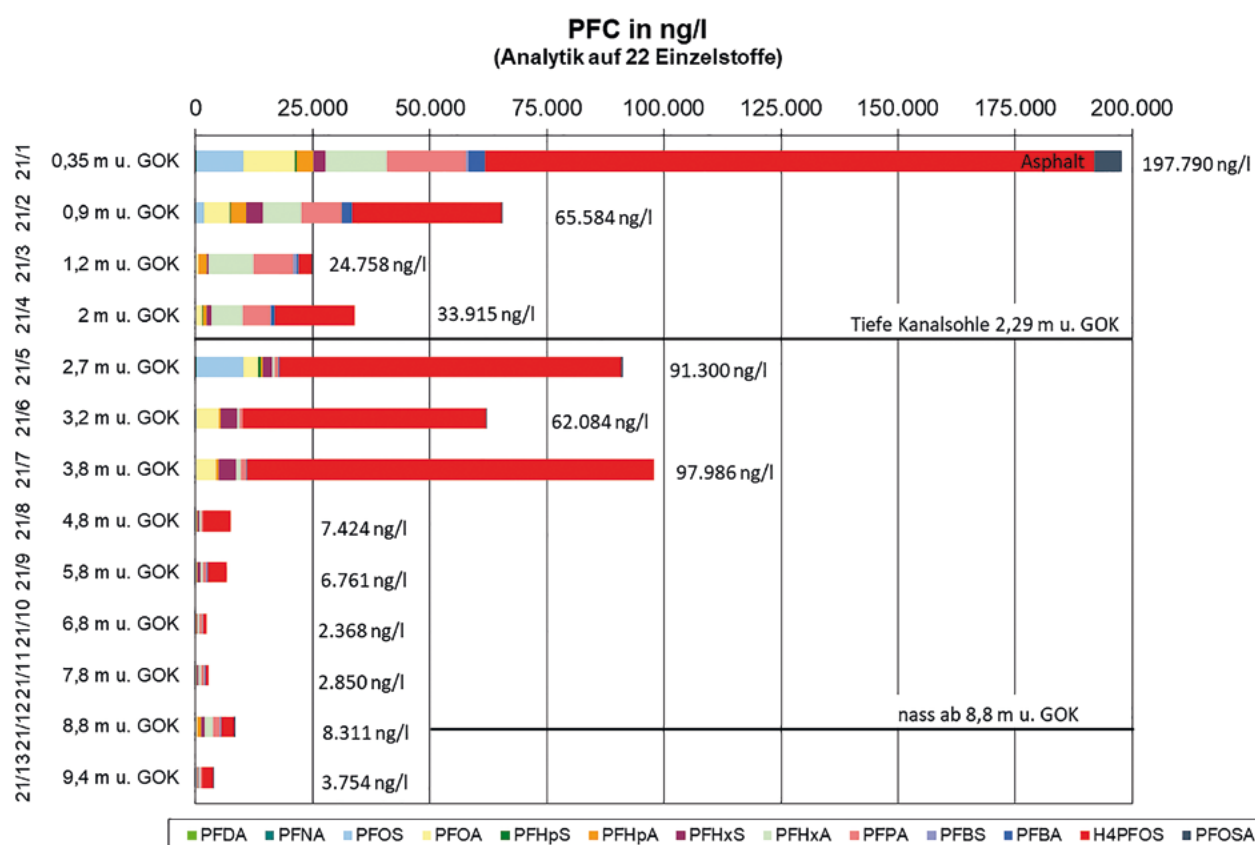


Abb. 3: Ergebnisse der tiefenorientierten PFC-Untersuchung im 2:1-Eluat aus einer Sondierung auf dem Standort einer Feuerwache

5 Fazit

Anhand der Ergebnisse der orientierenden Untersuchungen an den Feuerwachen kann festgestellt werden, dass die belasteten Bodenflächen der einzelnen untersuchten Feuerwachen eine schädliche Bodenveränderung darstellen. Diese muss im Rahmen von Detail- und Sanierungsuntersuchungen weiter eingegrenzt werden. Anhand der vorgestellten Ergebnisse wird deutlich, wie wichtig eine umfassende vorlaufende Nutzungsrecherche vor Beginn der Erkundung der Feuerwachen ist. Dadurch kann eine gezielte Erkundung erfolgen.

Die festgestellten Bodenbelastungen stellen eine Grundwassergefährdung dar (Quelle), da die Flächen der Feuerwachen nicht vollständig versiegelt sind und dadurch mit dem Sickerwasser eine Verlagerung der PFC in tiefere Bodenschichten und in das Grundwasser erfolgt.

Bei Sanierungsmaßnahmen stellt die Entsorgung des PFC-belasteten Bodens den kostenrelevanten Faktor dar. Geeignete Sanierungsmaßnahmen zu wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen stehen noch aus. Zudem wird bisher ein Mangel an geeigneten Entsorgungswegen für PFC-belastete Böden aus der Sanierung festgestellt. Deponievolumen in ausreichendem Umfang steht aktuell – und in Zukunft – nicht zur Verfügung.

Optimierung von Bodenluftsanierungen

GERD M. WIEDENBECK

1 Allgemeines

Die Sanierung von Lösemittelschäden (CKW, BTX) mittels Bodenluftabsaugung ist ein seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetztes Verfahren. Bei jedem Sanierungsfall werden mit diesem Verfahren Schadstoffe aus der ungesättigten Bodenzone extrahiert – was soll man denn dann noch optimieren?

Nachfolgende Aussagen und Statements stützen sich auf unsere langjährigen Erfahrungen aus mehr als 245 Bodenluftsanierungen in Deutschland; zum einen selber geplante, gebaute und durchgeführte Sanierungen, aber auch an uns heran getragene Sanierungsfälle von Planungsbüros oder Sanierungspflichtigen.

Auf den ersten Blick scheint die Planung von Bodenluftsanierungen kein Hexenwerk zu sein, es handelt sich um eine überschaubare, einfache Technik. Viele Bodenluftsanierungen wurden jedoch ohne detaillierte Überlegungen – sprich Planungen mit Vorversuchen – installiert und in Betrieb genommen. Schnell wurden dabei ein paar Rammkernsondierungen zu 1“- bis 2“-Absaugpegeln ausgebaut, ein Motor mit Wasserabscheider und Aktivkohlefilterreinigung angeschlossen und fertig war die Sanierungsanlage – was soll daran falsch sein, es werden doch Schadstoffe entfernt? Und billiger ist es auch noch, wenn man sich die Planung spart!

Häufig wurden (und werden) Bodenluftabsauganlagen ohne vorgeschaltete Absaugversuche installiert. Die Technik ist in der Regel einfach und robust und man muß schon großes Pech haben, wenn die Technik versagt – und sie versagt öfter als man denkt! Eines der häufigsten Probleme wird durch die falsche Motorenwahl und nicht richtig eingestellter Druckdifferenz in Kombination mit schlecht durchlässigen Böden und oberflächennahem Schicht-/Grundwasser verursacht: Es wird Wasser angesaugt

und in Folge verstopfen häufig die Filterstrecken der Absaugpegel durch Ablagerungen, verursacht durch das angesaugte Wasser und den darin enthaltenen Feinkornanteilen (Schluff/Ton). Es kann vorkommen, dass durch die erhöhten Luftgeschwindigkeiten Wassertröpfchen mitgerissen werden, die an der Innenseite des Pegels nach oben „wandern“ und Tonpartikel mitschleppen, die sich konzentrisch an der Pegelwand ablagern und den Pegelquerschnitt noch weiter verringern, was wiederum zu noch höheren Luftgeschwindigkeiten führt, was wiederum zu noch mehr Wasserförderung führt etc.

Hierdurch steigt der Unterdruck und die Luftgeschwindigkeit im Absaugpegel nimmt zu – ein Teufelskreis, den man häufig mit Achselzucken und schweren Herzens akzeptiert. „Ist halt so“, „Die geologischen Verhältnisse sind daran Schuld“ etc. sind häufige Ausreden. Die Absaugung wird weiter betrieben mit erhöhten Betriebskosten; der Kunde zahlt es ja. Oder man nennt es „Kombiabsaugung“, wo Bodenluft abgesaugt und Wasser oberflächlich abgeschlürft wird und dies dann als Grundwassersanierung verkauft wird.

Noch interessanter wird es, wenn sich aufschwimmende Schadstoffphasen (z. B. Benzol) auf dem Grundwasser befinden, dann werden die Wasserabscheider zum Lösemittel-/ Ölabscheider und im Extremfall durch zündfähige Gasgemische gar zu einer Bombe!

Ein weiteres Problem sind zu hohe Temperaturen im Abluftstrom; wir haben bei einigen Fremdanlagen schon nach dem 1. Aktivkohlefilter Temperaturen von 55–80 °C gemessen. Ja und – wo liegt das Problem? Zum einen wird durch die Absaugung bzw. Verdichtung im Absaugmotor die Luft bereits stark erwärmt, was dann noch durch den Aktivkohlefil-

ter, der hierbei als Widerstand fungiert, verstärkt wird, und zum anderen durch den Sachverhalt, dass der Belegungsgrad (= wieviel Schadstoffpartikel) in einem System Gas-Oberfläche (hier Aktivkohle) abhängig ist vom Partialdruck des Gases und der Temperatur. Grundsätzlich wird bei Adsorption Wärme freigesetzt; bei erhöhten Temperaturen sinkt jedoch die Adsorption von Schadstoffen an Aktivkohle – die Schadstoffe wandern durch die Filter und die Abluft wird nicht bzw. nur mangelhaft gereinigt. Steht eine solche Absauganlage auch noch in einem kleinen, vielleicht noch beheizten Raum, können extrem hohe Ablufttemperaturen entstehen und es steigt sogar die Gefahr der Selbstentzündung. Eine andere Auswirkung ist, dass dann die Schadstoffe gar nicht gereinigt werden und einfach die Filter durchwandern.

Viele der uns übergebenen und von uns ausgewerteten Absaugversuche wurden ohne detailliertes, fachliches Know-how durchgeführt:

- Versuchsdauer oft nur wenige Stunden,
- Verwendung ungeeigneter Anlagentechnik,
- keine Reichweitenermittlungen,
- keine Messungen der Betriebsparameter; meist nur 1 bis 3 Bodenluftproben auf den jeweiligen Schadstoff.

2 Praxisbeispiele

Nachfolgend werden einige Praxisbeispiele von problematischen Projekten beschrieben.

2.1 Fallbeispiel 1: CKW-Sanierung Stuttgart-Feuerbach

Wir wurde beauftragt, eine seit ca. 10 Jahren laufende Bodenluftsanierung im Hinblick auf Effizienz zu begutachten, da sich der bisherige Betreiber weigerte bzw. nicht in der Lage war, Optimierungsmaßnahmen durchzuführen. Hierfür sollte die Anlage zuerst einmal durchgemessen werden im Hinblick auf wichtige Betriebsparameter. Die Anlage befand sich in einem Lagerraum, zugeparkt mit allen möglichen Dingen. Im Raum wurde eine Temperatur von 29 °C gemessen, die Abluft nach dem Aktivkohlefilter wurde ins Freie abgeleitet.

Wir führen die Absaugversuche über mindestens 5 Tage durch, meist über eine Woche mit mehreren Messreihen und Proben. In Ausnahmefällen können Absaugversuche auch mehrere Wochen dauern. Ziel eines Versuches soll sein, die optimalen Betriebsparameter zu ermitteln sowie den möglichen Verlauf der Schadstoffkonzentration abzuschätzen.

Wie ein Absaugversuch geplant und durchgeführt wird, kann in der ITVA-Richtlinie „Bodenluftabsaugversuche“ (www.itv-altlasten.de/publikationen/arbeitshilfen-und-richtlinien/bodenluftabsaugversuch.html) nachgelesen werden. Die Richtlinie enthält aber nur die Mindestanforderungen; so sind bei manchen Standorten Versuchsdauern von bis zu 4 Wochen sinnvoll und erforderlich oder auch zusätzliche Messungen.

Wie man sieht, gibt es trotz der „einfachen“ Technik viele Sachverhalte, die bei der Planung und Betriebsweise einer Absauganlage berücksichtigt werden müssen. Und selbst wenn alles richtig geplant wurde, sind die Technik und die Betriebsweise regelmäßig (zum Beispiel in den Jahresberichten) kritisch zu betrachten und gegebenenfalls zu optimieren, was jedoch sehr häufig nicht durchgeführt wird.

An dem 2“ Absaugpegel, der in einem schlecht durchlässigen Keuperhorizont laut Ausbauzeichnung nur 2 Meter Filterstrecke aufwies, war ein Seitenkanalverdichter mit 3,4 kW, 280 m³/h bei 250 mbar Druckdifferenz angeschlossen. Die Schläuche waren hinter Motor, Wasserabscheider und Aktivkohlefilter regelrecht versteckt. Man möge sich unsere Gesichter vorstellen, als wir feststellten, dass der Absaugschlauch zwar an den Pegel angeschlossen war, aber vor dem Absaugmotor befand sich ein offenes T-Stück! Hier wurden mehr als 95 % Raumluft angesaugt und „gereinigt“! Durch die Verdichtung

im Motor und AK-Filter erwärmte sich die Temperatur nach dem AK Filter auf annähernd 60 °C. Hier wurde regelrecht Geld zum Fenster hinaus geblasen! Nach Anschluss des Motors an den Pegel und Umbau der Anlage wurde die optimalen Betriebsparameter ermittelt und eingestellt, wobei der Motor stark gedrosselt werden musste – ein kleinerer Motor mit einem Einsparpotenzial von rund 400 €/ Monat hätte es auch getan; der Kunde wollte jedoch den Vorhandenen behalten.



Abb. 1: Fallbeispiel 1 – Messung von Temperatur und Feuchte in der Messstrecke

2.2 Fallbeispiel 2: CKW-Sanierung Stuttgart-Bad Cannstatt

Am Standort eines metallverarbeitenden Betriebes wurde eine Bodenluftabsauganlage an fünf 2“-Absaugpegeln in einem beheizten Keller (ca. 24 °C) angeschlossen. Diese wurden mit 2 m Filter- und 3 m Vollrohrstrecke ausgebaut. Der gewählte Absaugmotor hatte eine Leistung von 1,1 kW. Ein Jahr lief alles hervorragend; es wurden über 500 kg CKW (CIS, VC) extrahiert.

Dann wurden umfangreiche Baumaßnahmen durchgeführt, die Kellerdecke geöffnet, die Heizung abgestellt. Die Folge war ein Temperatursturz von 24 °C auf 5–10 °C. Kurze Zeit später war die gesamte Anlage „unter Wasser“; die Anlage wurde abgeschaltet, das Wasser entleert und wieder in Betrieb genommen. Bereits nach wenigen Tagen war wieder Wasser in der Absauganlage, zusätzlich stieg der Differenzdruck und die Absaugrate ging stark zurück.

Was war geschehen? Vor der Baumaßnahme war ein Gleichgewicht in der ungesättigten Bodenzone von Temperatur und Wasserdampf. Durch die rapide Abkühlung konnte die Luftfeuchte nicht mehr gasförmig vorliegen, sondern kondensierte, und aus der ungesättigten Zone wurde eine mit Schichtwasser gesättigte Zone. Der sich einstellende Wasserspiegel stieg in mehreren Absaugpegeln bis in den Bereich der Vollrohrstrecken an, so dass Wasser in Phase gefördert wurde. Mehrere Reinigungsversuche und Abpumpen des Pegelwassers brachten keine Besserung mit dem Fazit, dass die Absaugung mit den 2“-Pegeln eingestellt werden mußte.

Die Lösung wurde durch den Einsatz des ProAir-Bodenluftabsaugverfahrens erreicht. Hierbei wird verfahrensbedingt, bedingt durch Bauart und Durchmesser, kein Wasser mehr angesaugt.



Abb. 2: Fallbeispiel 2 – Mehrfachsammler zum Anschluß an einen Motor



Abb. 3: Fallbeispiel 2 – Seitenkanalverdichter mit 1,1 kW

2.3 Fallbeispiel 3: CKW-Sanierung Arnsberg

Bei einer Sanierungsuntersuchung in einem metallverarbeitenden Betrieb wurden in der Bodenluft erhöhte CKW-Konzentrationen festgestellt. Daraufhin wurde eine Sanierungsplanung ohne Absaugversuch erstellt und die Absaugstellen (2“-Pegel zu je 3 m sowie eine Horizontaldrainage in 2 m Tiefe) festgelegt.

Bei einer Begehung stellten wir Schichtwasser in den vorhandenen Bodenluftpegeln zwischen 0,4 und 1,8 m Tiefe fest. Damit war eine Absaugung mit 2“-Pegeln und Horizontaldrainage nicht möglich – die An-

lage wäre „abgesoffen“! Die Lösung war der Einsatz der ProAir-Absaugsysteme, mit deren Einsatz trotz des geringen Wasserabstandes kein Schichtwasser gefördert wurde bei wirtschaftlichen Absaugparametern. Die Absaugrate betrug rund 220 m³/h bei unterschiedlichen Druckdifferenzen – je nach Absaugstelle und Untergrund.

Nach 1,5 Jahren Betriebsdauer und ohne jegliche technischen Probleme wurde die Bodenluftabsaugung im Jahr 2013 erfolgreich eingestellt.



Abb. 4: Fallbeispiel 3 – ProAir-Absaugsysteme im Außenbereich



Abb. 5: Fallbeispiel 3 – ProAir-Absaugsysteme und Anlagentechnik im Gebäude

2.4 Fallbeispiel 4: CKW-Sanierung Bayreuth

Für die Sanierung eines CKW-Schadens in Bayreuth wurde u. a. eine Bodenluftabsauganlage installiert.



Abb. 6: Fallbeispiel 4 – Zwei 4 m³ große Luftaktivkohlefilter im Freien

Aus 12 Absaugpegeln wurde die rund 24 °C warme Bodenluft über Vakuumpumpen, die in einem Container untergebracht waren, über zwei rund 4 m³ große Aktivkohlefilter im Außenbereich gereinigt. Auch hier wurde kein Absaugversuch im Vorfeld durchgeführt und die Probleme waren damit und mit der Wahl der Anlagentechnik vorprogrammiert.

Bedingt durch die Überbauung wurde die ca. 24 °C warme und feuchte Luft über die beiden großen Aktivkohlefilter geleitet. Dabei kondensiert umgehend die Luftfeuchtigkeit, auch wegen des enormen Druckabfalls in den großen Filtern. Die Folge war, dass die Aktivkohlefilter nass wurden und ein- bis zweimal pro Jahr gewechselt werden mussten, obwohl die Standzeit rechnerisch rund 3–4 Jahre beträgt. Das Wasser fiel aber nicht nur in den Aktivkoh-



Abb. 7: Fallbeispiel 4 – Ölverlust an einem Hochdruckventilator

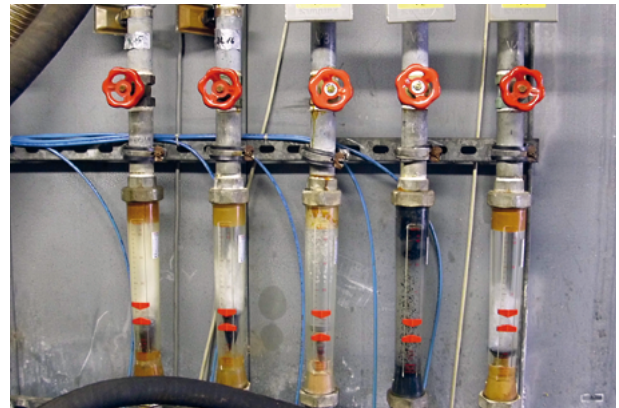


Abb. 8: Fallbeispiel 4 – Schwebedurchflussmesser mit Wasser und ausgeschwemmter Aktivkohle

lefiltern aus, sondern auch in den Leitungen und den Schwebedurchflussmessern im Anlagencontainer.

Darüber hinaus führte die Verwendung von ölgeschmierten Hochdruckventilatoren zu Ölverlusten, die die Reinigungsleistung der Aktivkohle ebenfalls reduzierte und zusätzlich den Anlagencontainer stark verunreinigte.

Die Lösung war die Verwendung eines Seitenkanalverdichters mit ca. 3,4 kW, angepassten kleineren Aktivkohlefiltern, die im Anlagencontainer aufgestellt werden sowie isolierten Leitungen im Außenbereich, um das Kondensationsproblem zu vermeiden.

2.5 Fallbeispiel 5: CKW-Sanierung in Chipfabrik, Hamburg

Für die Sanierung eines CKW-Schadens unter der Bodenplatte einer Produktionshalle wollte der Sanierungsverantwortliche eine thermische Bodenluftabsaugung installieren und recherchierte den Markt. Aufgrund der im Boden liegenden diversen Kabel und Leitungen kam ein Hochtemperaturverfahren (Sattdampf, Tauchsieder, etc.) nicht in Frage. Man

entschied sich nach einer eingehenden Präsentation für unser ThermoAir-Verfahren, ein Niedertemperaturverfahren.

Zuerst wurde ein 4-wöchiger Absaugversuch durchgeführt, der die Eignung des Verfahrens am Standort zeigte. Daraufhin wurde von uns die Detailplanung



Abb. 9: Fallbeispiel 5 – Thermische Bodenluftabsaugung



Abb. 10: Fallbeispiel 5 – Thermische Bodenluftabsaugung

mit ca. 40 Injektions- und 60 Absaugpegeln durchgeführt und angeboten.

Der Auftrag mit Installation und Durchführung des von uns patentierten Verfahrens wurde jedoch an eine andere Firma vergeben. Nach ca. 2 Jahren wurden wir gefragt, ob wir uns nicht an einem Rechtsstreit (Auftraggeber, Sanierungsfirma, Ingenieurbüro) beteiligen möchten.

Was war geschehen? Der Auftraggeber hat dem Auftragnehmer (unbefugterweise) die Kopie der Patentschrift sowie unsere Detailplanung übergeben. Die Sanierungsfirma installierte daraufhin für rund

250 000 € die Anlagentechnik – aber sie funktionierte nicht! Der Boden wurde nicht aufgeheizt; es fand keine thermische Absaugung statt. Daraufhin verklagte der AG die Sanierungsfirma. Als man uns „einlud“ sich dem Rechtsstreit anzuschließen, machten wir den Beteiligten klar, dass hier eine Patentrechtsverletzung vorliegt und wir Klagegrund haben. Wir schlugen jedoch vor, die thermische Absaugung (gegen Honorar und Gewinnausfall) zum Laufen zu bringen. Nach Durchsicht der uns vom Sanierungsunternehmen übergebenen Pläne und technischen Details konnten wir schnell die Fehler finden, die vor allem im Know-how lagen, das nicht in der Patentschrift beschrieben ist.

3 Fragen und Empfehlungen hinsichtlich einer Optimierung

Aus der Erfahrung von über 245 durchgeführten Bodenluftsanierungsprojekten, die teils von uns von Anfang an, teils als „Quereinsteiger“ betreut wurden, können folgende Fragen bzw. Empfehlungen und Maßnahmen für eine eventuelle Optimierung abgeleitet werden:

1. Passt der eingesetzte Motortyp (Seitenkanalverdichter, Radialventilator, Vakuumpumpe) zum vorhandenen Boden (durchlässiger Sand/Kies oder undurchlässiger Schluff)?
2. Kann ein anderer, optimaler Motortyp eingesetzt werden?
3. Gibt es Schicht-, Stau- oder Grundwasser? Wenn ja, in welcher Tiefe?
4. Sind die gewählten Absaugstellen (z. B. 2“- bis 4“-Filter, ProAir, Horizontaldrainagen) überhaupt für den Standort geeignet?
5. Welche Betriebsparameter (u. a. Druckdifferenz, Strömungsgeschwindigkeit, Luftfeuchte, Temperatur, Taupunkt) sind für den Standort optimal?
6. Gibt es möglicherweise Kondensationsprobleme?

7. Wurden entsprechende Messungen im Vorfeld (Absaugversuche) durchgeführt?
8. Wenn ja, waren die Versuche ausreichend?
9. Sind technische Vorrichtungen vorhanden, um die Betriebsparameter variieren zu können?
10. Wie hoch ist die Ablufttemperatur nach Motor bzw. Aktivkohlefiltern?
11. Ist eine Umstellung auf eine thermische Absaugung sinnvoll?
12. Ist eine Absaugung überhaupt (noch) sinnvoll?

Je nachdem, wie die Antworten auf diese Fragen aussehen, sind dann Änderungen an einer bestehenden Sanierung (Anlagentechnik, Betriebsparameter, Überwachungsmodus, Probennahme- und Analytikumfang, etc.) vorzunehmen, um eine technische und wirtschaftliche Optimierung der Bodenluftabsaugung zu erzielen. Das Ganze gilt auch bei der Betrachtung von vermeintlichen Problemfällen wie CKW-Schäden, wo nur CIS oder VC auftreten, denn auch hier sind kostengünstige Lösungen und Optimierungen möglich.

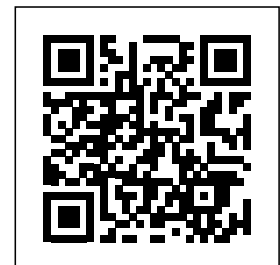
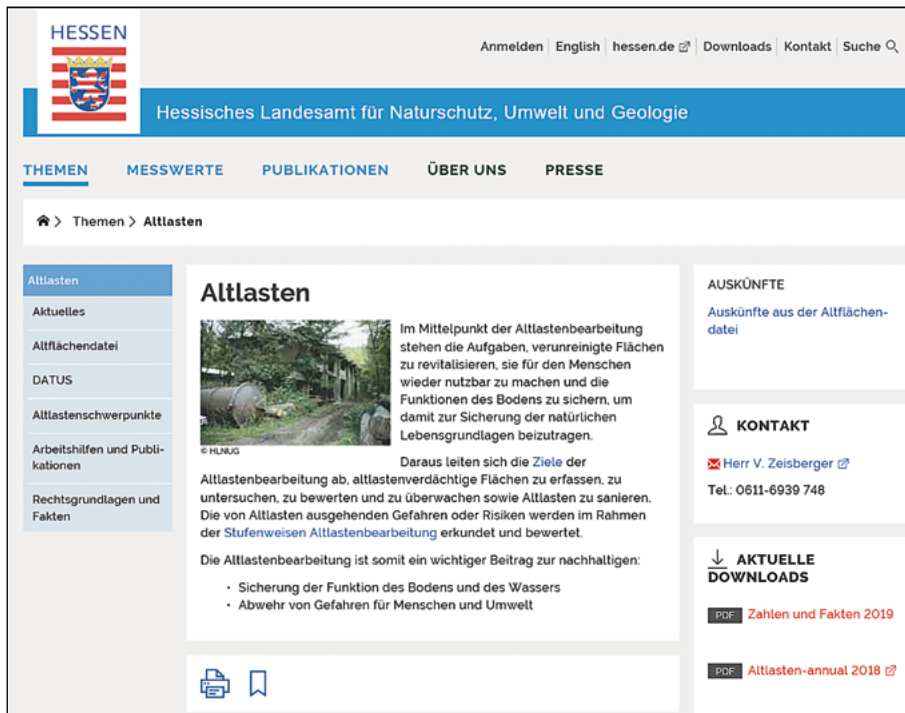
4 Fazit

Auch bei einer auf den ersten Blick einfachen Sanierungstechnik wie die der Bodenluftabsaugung können Probleme auftreten, die eine fehlerhafte Betriebsführung zur Folge haben und damit die Kosten in die Höhe treiben oder eine Absaugung sogar unmöglich machen, wenn das entsprechende Know-how und Erfahrung nicht vorhanden sind.

Ganz wichtig sind sinnvoll an den Schadensfall angepasste Absaugversuche, die zur Planung der Anlagentechnik und Betriebsführung erforderlich sind.

Bei einer optimal an den Schadensfall angepassten und eingestellten Bodenluftabsauganlage (Absaugstelle und Technik) ist ein hervorragendes Kosten-Nutzen Verhältnis (Schadstoffaustrag in kg/Euro) zu erzielen – anderenfalls wird im wahrsten Sinne des Wortes nur „heiße Luft“ erzeugt. Weitere Informationen sind unter www.bodenluftabsaugung.de erhältlich.

Altlasten im Internet: <http://www.hlnug.de/themen/altlasten>



<http://www.hlnug.de/themen/altlasten>

Unter dem Thema Altlasten bietet das HLNUG Informationen und Grundlagen zur Unterstützung der Altlastenbearbeitung in Hessen an:

- Aktuelles
- Altflächendatei
- DATUS
- Altlastenschwerpunkte
- Arbeitshilfen und Publikationen
- Rechtsgrundlagen und Fachdokumente

Das Informationsangebot umfasst u. a.

- Eine Vorschau auf aktuelle Fachveranstaltungen des HLNUG im Altlastenbereich, Hinweise auf Neuerscheinungen der Handbuchreihe Altlasten
- Zahlreiche Handbücher, Arbeitshilfen, Rechtsgrundlagen und Fachdokumente zur Unterstützung der Altlastenbearbeitung und der Altlastenanalytik
- Informationen über die Altflächendatei mit Hinweisen zur Erteilung von Auskünften
- Die Bereitstellung des Datenübertragungssystems DATUS für die Übermittlung von Daten von externen Stellen in die Altflächendatei
- Das Verzeichnis der in Hessen nach § 18 Bundesbodenschutzgesetz anerkannten Sachverständigen

Arbeitshilfen

Handbuchreihe Altlasten

Handbuch Altlasten, Band 1 **Altlastenbearbeitung in Hessen**

(2., überarbeitete Auflage 2014) € 6,95

Volltext verfügbar *

Gefährliche Stoffe auf ehemaligen Industriestandorten oder in Abfallablagerungen haben vielfach zu Verunreinigungen in Grundwasser und Boden geführt. Es gilt deshalb gezielt jene Flächen herauszufinden, die saniert werden müssen. Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie hat den gesetzlichen Auftrag, für Hessen gültige und sinnvolle Regeln und Verfahren der Altlastenbearbeitung zu erarbeiten und zu veröffentlichen.

Die verschiedenen Bände des Handbuchs Altlasten informieren Fach- und Vollzugsbehörden, öffentliche Gebietskörperschaften, Sachverständige und Untersuchungsstellen sowie die interessierte Öffentlichkeit über die technischen und rechtlichen Aspekte der Altlastenbearbeitung; insbesondere angesprochen sind auch Betroffene und Verursacher von Altlasten. Das Handbuch Altlasten dokumentiert den Stand der Technik, ist Arbeitshilfe, Regelwerk und Entscheidungshilfe. Es kann und soll jedoch nicht die individuelle Betrachtung des Einzelfalls ersetzen.

Der Band 1 gibt einen programmatischen Überblick über die Ziele und Konzepte des Landes Hessen bei der Altlastenbearbeitung und informiert über rechtliche, finanz- und datenverarbeitungstechnische Grundlagen. Das Handbuch war erstmals im Jahr 1999 erschienen und liegt nun als überarbeitete Neuauflage vor.

Handbuch Altlasten, Band 2 **Erfassung von Altflächen**

Teil 2

Erfassung von Altstandorten

(2., überarbeitete Auflage 2014)

Volltext verfügbar *

€ 7,50

Das erstmals im Jahr 2003 erschienene Handbuch wurde aktualisiert und liegt nun als 2., überarbeitete Auflage vor. Es richtet sich an die Kommunen und an von diesen mit der Erfassung von Altstandorten beauftragte Dritte.

Die hessischen Kommunen sind nach dem Gesetz verpflichtet, dem HLNUG ihre Kenntnisse über die in ihrem räumlichen Zuständigkeitsbereich liegenden Altstandorte mitzuteilen. Diese Daten werden für Planungen, Berichtspflichten und Auskünfte an Betroffene benötigt. Mit Hilfe des in diesem Leitfaden beschriebenen Vorgehens kann der Aufwand für die Altstandorterfassung minimiert werden.

Teil 4

Branchenkatalog zur Erfassung von Altstandorten (2008)

Volltext verfügbar *

€ 7,50

Für die systematische Erfassung von Altstandorten (stillgelegte Anlagen) werden in Hessen die kommunalen Gewerberegister herangezogen. Der Branchenkatalog dient der Ermittlung der altlastenrelevanten Betriebe und deren Zuordnung zu Branchen und Branchenklassen. Der Branchenkatalog basiert auf der Klassifikation der Wirtschaftszweige 2003 des Statistischen Bundesamtes und ersetzt das bisherige Handbuch „Codierung und Einstufung von Altstandorten“ von 1996.

* <http://www.hlnug.de/themen/altlasten> unter Arbeitshilfen und Publikationen

Handbuch Altlasten, Band 3 Erkundung von Altflächen

Teil 1

Einzelfallrecherche

€ 5,-

(2. überarbeitete Auflage 2012)

Volltext verfügbar *

Die Einzelfallrecherche ist die beprobungslose Erkundung einzelner Altflächen mit Hilfe von Aktenrecherchen, Karten- und Luftbilddauswertungen sowie Ortsbesichtigungen. Ziel dieser Ermittlungen ist die Aufklärung von Anhaltspunkten, die auf eine mögliche Altlast hinweisen können.

Das Handbuch stellt einen Leitfaden für die Durchführung der Einzelfallrecherche vor und soll vor allem Kommunen, aber auch privaten Grundstücksbesitzern sowie beauftragten Ingenieurbüros als Handlungsgrundlage dienen.

Mit der 2. Auflage des Handbuchs liegt eine überarbeitete und aktualisierte Fassung der inzwischen vergriffenen 1. Auflage aus dem Jahr 1998 vor.

Teil 2

€ 20,-

Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen

(2. überarbeitete Auflage 2014)

Volltext verfügbar *

Die Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen nimmt bei der Bearbeitung von Verdachtsflächen eine Schlüsselposition ein, weil auf den Ergebnissen von orientierenden Untersuchungen und Detailuntersuchungen weitreichende Entscheidungen getroffen werden. Der Altlastenverdacht wird entweder bestätigt oder ausgeräumt.

Das erstmals im Jahr 2002 erschienene Handbuch wurde überarbeitet und liegt nun als 2. Auflage vor. Das Handbuch besteht aus den Hauptteilen

- Wassererkundung
- Bodenerkundung
- Bodenlufterkundung

Aufgabe des Handbuchs ist es, geeignete und in der Praxis angewandte Untersuchungsmethoden vorzu-

stellen. Unter Berücksichtigung der Vorgaben der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden die Einsatzgebiete, Vor- und Nachteile der Untersuchungsmethoden beschrieben. Das Handbuch gibt einen Untersuchungsstandard vor, der im Einzelfall an die Standortgegebenheiten angepasst und ggf. erweitert werden kann. Die dargestellte Vorgehensweise zur zielorientierten, optimierten Untersuchung ermöglicht eine effiziente Projektbearbeitung.

Teil 3

€ 15,-

Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden Grundwasser - Sickerwasserprognose -

(2. überarbeitete Aufl. 2002)

Volltext verfügbar *

Mit dem Instrument der Sickerwasserprognose soll die von verunreinigtem Boden ausgehende Gefährdung des Grundwassers abschätzt werden. Die Sickerwasserprognose ist anwendbar, wenn der Schadensherd in der ungesättigten Bodenzone liegt und der Transport von Schadstoffen aus dem Schadensherd in das Grundwasser über das Sickerwasser stattfindet. Ziel der Sickerwasserprognose ist die Abschätzung der Schadstoffkonzentration und -fracht im Sickerwasser am sogenannten Ort der Beurteilung. Dieser befindet sich etwa im Bereich des Grundwasserhöchststandes. In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden drei Möglichkeiten aufgezählt, wie die Sickerwasserprognose durchgeführt werden kann: Bodenuntersuchungen im Labor, Untersuchungen im Grundwasser und In-situ-Untersuchungen.

Bis zum Erscheinen des vorliegenden Handbuches fehlten jedoch praktikable Instrumente zur Umsetzung der Sickerwasserprognose. Insbesondere die Ermittlung der Schadstofffreisetzung aus Böden, z.B. mittels Elutionsverfahren, sowie die Beurteilung des Rückhalte- und Abbauvermögens der ungesättigten Bodenzone lassen einen breiten Interpretationsspielraum zu. Computergestützte Stofftransportmodelle, die prinzipiell zur Beschreibung der Vorgänge in der ungesättigten Bodenzone geeignet sein könnten, sind nur in wenigen Fällen praktikabel. Daher hat das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und

* <http://www.hlnug.de/themen/altlasten> unter Arbeitshilfen und Publikationen

Geologie (HLNUG) in Zusammenarbeit mit einem Arbeitskreis aus Fachleuten der Umweltverwaltung das vorliegende Handbuch als praxistaugliche Arbeitshilfe zur Sickerwasserprognose entwickelt. Das Handbuch ist insbesondere für orientierende Untersuchungen nach § 9 Abs. 1 BBodSchG geeignet und richtet sich an die Mitarbeiter in Behörden und Ingenieurbüros.

Wesentliche Bestandteile des Handbuches sind

- Datenblätter mit Angaben zu den chem.-physik. Eigenschaften organischer Stoffgruppen sowie zu deren Mobilität und Abbaubarkeit
- Kurzbeschreibung der wichtigsten Elutionsverfahren mit Hinweisen zum Anwendungsbereich und zu Vor- und Nachteilen
- Tabellen, mit denen der Schadstoffrückhalt und -abbau im Untergrund und die Grundwassergefährdung abgeschätzt werden können
- Bearbeitungshinweise für den Fall, dass Bodenverunreinigungen in der gesättigten Zone liegen.

Teil 5

€ 7,50

Auswertung von Mineralöl-Gaschromatogrammen (2005)

Volltext verfügbar *

Boden- und Grundwasserverunreinigungen mit Mineralölprodukten (Benzin, Kerosin, Diesel, Heizöl, Hydrauliköl) treten häufig auf. Das bisher angewendete Analysenverfahren „H 18“ darf nicht mehr angewendet werden, da dieses Verfahren auf der Verwendung eines vollhalegonierten Frigens beruht. Die Verwendung dieser ozonschädigenden Frigene ist jedoch mittlerweile verboten.

Als Alternative zu dem „H 18-Verfahren“ stehen gaschromatographische Verfahren für Wasser-, Boden- und Abfalluntersuchungen zur Verfügung. Diese Verfahren sind zwar aufwändiger, haben aber einen

wichtigen Vorzug: Bei der Auswertung von MKW-Gaschromatogrammen sind Rückschlüsse über die Art, die Zusammensetzung und den Abbaugrad der Mineralölprodukte in einer Probe möglich.

Im vorliegenden Handbuch wird erläutert, wie MKW-Gaschromatogramme qualitativ ausgewertet werden können. Anhand typischer Beispielchromatogramme können Vergleiche mit Chromatogrammen aus konkreten Schadensfällen gezogen werden.

Teil 6

€ 7,50

Ermittlung von Schadstofffrachten im Grund- und Sickerwasser (2008)

Volltext verfügbar *

Die Abschätzung von Schadstoff-Frachten sowohl im Sickerwasser als auch im Grundwasser gewinnt bei der Altlastenbearbeitung an Bedeutung. In diesem Handbuch werden u. a. folgende Themen behandelt:

- Neue Entwicklungen zu Elutionsverfahren (Sickerwasserprognose)
- Ermittlung der Sickerwasserrate
- Ermittlung von Schadstoff-Frachten im Sickerwasser
- Zuflussgewichtete Probennahme
- Stromröhrenmodell, Immissionspumpversuch, Transekten-Methode

Zum Handbuch gehörende EXCEL-Dateien:

Anhang 3, Berechnung der Sickerwasserrate

Anhang 4, Rückrechnung aus Grundwasseruntersuchungen

Anhang 5, Stromröhrenmodell

Die Bewertung von Schadstoff-Frachten im Grundwasser wird im Handbuch Altlasten Band 3 Teil 7 „Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen“ beschrieben.

* <http://www.hlnug.de/themen/altlasten> unter Arbeitshilfen und Publikationen

Teil 7 € 10,00 Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen

(3. überarbeitete und ergänzte Auflage 2018)

Volltext verfügbar *

Altstandorte und Altablagerungen verursachen oftmals die Verunreinigung des Grundwassers. Einerseits genießt der Schutz des Grundwassers in Deutschland einen sehr hohen Stellenwert. Andererseits ist die Sanierung von verunreinigtem Grundwasser oftmals sehr aufwändig und mit hohen Kosten verbunden. Den Behörden stellen sich daher zwei wichtige Fragen: Liegt eine schädliche Grundwasserverunreinigung vor, und muss das Grundwasser deshalb saniert werden?

Bei der Beurteilung von Grundwasserschäden lag das Augenmerk in der Vergangenheit vor allem auf den Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser. Weitere wichtige Aspekte wie die abströmende Schadstofffracht und die im Grundwasser und Boden vorhandene Schadstoffmenge wurden oft nicht berücksichtigt, da hierzu keine konkreten Regelungen vorlagen.

Mit der vorliegenden Arbeitshilfe wird ein neuer Weg beschritten, bei dem Schadstoffmenge und -fracht für die Beurteilung eines Grundwasserschadens im Vordergrund stehen. Autoren der Arbeitshilfe waren das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, die Bodenschutzbehörden sowie das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Seit der Erstauflage im Jahr 2008 hat sich die Arbeitshilfe vielfach bewährt, sie findet bei Ingenieurbüros und Behörden hohe Akzeptanz. In der nun vorliegenden dritten Auflage werden einige Themen umfangreicher dargestellt und präzisiert: Wie können Sanierungsziele abgeleitet werden? Wie kann die Verhältnismäßigkeit einer Maßnahme ermittelt und dokumentiert werden? Unter welchen Voraussetzungen können langlaufende Grundwassersanierungen beendet werden? Hierzu nennt die Arbeitshilfe Kriterien und stellt Werkzeuge zur Verfügung.

Die wichtigsten Inhalte der Arbeitshilfe sind:

- Ermittlung und Bewertung der Kriterien „Gelöste Schadstoffmenge“ und „Schadstofffracht“
- Einstufung, ob eine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt
- Festlegung von Sanierungszielen
- Prüfung der Verhältnismäßigkeit von Sanierungsmaßnahmen
- Prüfung, ob langlaufende Sanierungsmaßnahmen beendet werden können

Weiterhin werden in der Arbeitshilfe behandelt:

- Einleitung von Hilfsstoffen in das Grundwasser bei In-situ-Sanierungen
- Ableitung von Grundwasser in Abwasseranlagen und oberirdische Gewässer
- Positionierung und Dimensionierung von Pumpversuchsmessstellen und Sanierungsbrunnen

Damit deckt die Arbeitshilfe die wichtigsten Fragestellungen bei Entscheidungen über Grundwassersanierungen ab, nämlich „ob“, „wie“ und „wie lange“ zu sanieren ist.

Teil 8 € 9,00 Ökotoxikologische Verfahren als Bewertungshilfe bei Altlastenverfahren (2014)

Volltext verfügbar *

Die Studie „Ökotoxikologische Verfahren als Bewertungshilfe bei Altlastenverfahren“ zeigt auf, dass die im Bereich der Oberflächengewässer etablierten Testverfahren unter bestimmten Randbedingungen durchaus ein begleitendes Instrument zur Bewertung von Grundwasserverunreinigungen aus Altlasten sein können. Neben der chemischen Analytik können sie ergänzende Informationen liefern. Den Rahmen für den vorgeschlagenen Bewertungsansatz bilden dabei Festlegungen aus anderen Fachbereichen. Außerdem wird das Grundwasser hinsichtlich seiner Empfindlichkeit gegenüber z. B. Fließgewässern eingeordnet. Darüberhinaus enthält die Studie einen Überblick über theoretische Grundlagen und mögliche Einsatzbereiche, zeigt aber auch Grenzen ökotoxikologischer Testverfahren als begleitendes und ergänzendes Instrument der Altlastenbearbeitung auf.

* <http://www.hlnug.de/themen/altlasten> unter Arbeitshilfen und Publikationen

Handbuch Altlasten, Band 4

Rüstungsaltstandorte

Teil 1 € 7,50 **Historisch-deskriptive Erkundung (1998)**

Im Handbuch Rüstungsaltstandorte Teil 1 wird das methodische Vorgehen bei der historischen Erkundung altlastenverdächtiger Flächen aus der Zeit der ehemaligen Kriegs- bzw. Rüstungsproduktion sowie der Nutzung für Zwecke der militärischen Infrastruktur im Kriege beschrieben. Quellen zur Informationsbeschaffung werden genannt und ein Konzept zur Dokumentation der Recherche-Ergebnisse vorgestellt.

Teil 2 € 17,50 **Materialien über ehemalige Anlagen und Produktionsverfahren auf Rüstungsaltstandorten (1996)**

Im Handbuch Rüstungsaltstandorte Teil 2 sind Materialien über ehemalige Anlagen und Produktionsverfahren auf Rüstungsaltstandorten zusammengestellt, die oftmals eine detaillierte Rekonstruktion altlastenrelevanter Nutzungen und auch singulärer Ereignisse auf den Altstandorten und ihrer näheren Umgebung ermöglichen. Die Fachinformationen reichen von der Beschreibung der Produktionsverfahren zur Herstellung von rüstungsspezifischen chemischen Stoffen über die Darstellung von Anlagen zur Herstellung von Kampfmitteln und von Anlagen auf Standorten der militärischen Infrastruktur bis zur Schilderung der Munitionsvernichtung nach Kriegsende in Hessen.

Handbuch Altlasten, Band 5

Bewertung von Altflächen

Teil 1 € 7,50 **Einzelfallbewertung (1998)**

Die Einzelfallbewertung ist ein Verfahren zur Bewertung von Altstandorten und Altablagerungen im Rahmen der Einzelfallrecherche. Dabei handelt es sich um eine beprobungslose Erkundung mittels Aktenrecherche und Ortsbesichtigung.

Die Einzelfallbewertung unterstützt die Entscheidung, ob ein Altlasten-Anfangsverdacht oder sogar

ein Altlastenverdacht vorliegt. Spezielle Bewertungsformulare erleichtern die Bearbeitung. Sie können per Hand oder mittels EXCEL bearbeitet werden.

An Beispielen wird gezeigt, wie Wahrscheinlichkeit und Umfang von Umweltgefährdungen durch Altflächen abgeschätzt werden können. Beeinträchtigungen von Wasser, Boden und Luft werden mit Hilfe eines Punktesystems bewertet. Aus der Summe der erreichten Punkte ist ersichtlich, ob und welche weiteren Maßnahmen erforderlich sind.

Mit dem Band Einzelfallbewertung steht ein wirkungsvolles Instrument zur Verfügung, um gewonnene Daten zu strukturieren, nachvollziehbar zu interpretieren sowie weiteren Handlungsbedarf abzuleiten.

Handbuch Altlasten, Band 6

Sanierung von Altlasten

Teil 1 € 7,50 **Arbeitshilfe zur Verfüllung bei der Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten (2007)**

Volltext verfügbar *

Sanierungen von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten („Bodensanierung“) erfolgen in Hessen häufig durch Aushub des kontaminierten Materials mit anschließender Verfüllung der Baugruben. Verfüllt werden im Sanierungsgebiet anfallende oder von außerhalb kommende Bodenmaterialien.

Dafür werden jährlich zigtausende Tonnen von Bodenmaterial verwendet. Bei der Verfüllung sollen nicht nur die Schadstoffbelastungen, sondern auch die Bodenfunktionen berücksichtigt werden. Das BBodSchG nennt in § 2 (2) natürliche Funktionen, Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturschichte sowie Nutzungsfunktionen.

Es sollten also weitgehend schadstoffarme Materialien verwendet werden, die sich für die vorgesehene Folgenutzung eignen.

* <http://www.hlnug.de/themen/altlasten> unter Arbeitshilfen und Publikationen

Das heißt, diese Arbeitshilfe soll

- die allgemeinen Vorgaben, insbesondere des Bodenschutzrechtes, bei Verfüllungen in Sanierungsbereichen fachlich und rechtlich konkretisieren,
- zuständigen Behörden eine allgemein gültige Grundlage für Beratungen und Entscheidungen liefern,
- erhebliche Unterschiede in der Sanierungspraxis vermeiden helfen und dazu beitragen, die Verfüllungsentscheidung nachvollziehbar zu gestalten.

Teil 3 nur im Internet*
Sanierungstechniken und -verfahren
 (2010)

(Dichtwände, Reaktive Wände, Biologische in-situ-Sanierungen)

Die Inhalte dieses Handbuchs sind erstmals 2005 im Band 8 Teil 2 erschienen. Sie wurden unverändert übernommen und als Band 6 Teil 3 neu herausgegeben. Diese Fassung ist nur als Download verfügbar. Der Band 8 Teil 2 ist weiterhin als Druckfassung erhältlich.

Teil 4 € 10,-
Altablagerungen in der Flächennutzung
 (1996)

Mit der vorliegenden Schrift soll gezeigt werden, wie die mit der Raumplanung und Altlastenbearbeitung befassten Stellen, aber auch die Baugenehmigungsbehörden und planenden Ingenieure rechtzeitig und gemeinsam die Probleme angehen können. Beispiele zeigen, wie durch eine differenzierte Nutzung Altablagerungen durchaus in eine Flächenbewirtschaftung integriert werden können.

Handbuch Altlasten, Band 8
Überwachung

Teil 1 € 7,50
Arbeitshilfe zu überwachten natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen im Grundwasser (Monitored Natural Attenuation MNA) (2. Aufl. 2005)

Volltext verfügbar *

Bei Grundwasserverunreinigungen, die durch aktive Sanierungsmaßnahmen schon weitgehend reduziert wurden, können unter bestimmten Voraussetzungen natürliche Abbauvorgänge im Grundwasser anstelle weiterer, möglicherweise langwieriger aktiver Sanierungsmaßnahmen genutzt werden. Die Arbeitshilfe enthält Grundsätze und Kriterien für die behördliche Beurteilung, in welchen Fällen auf eine aktive Grundwassersanierung zugunsten von natürlichen Schadstoffminderungsprozessen verzichtet werden kann.

Der Geltungsbereich der Arbeitshilfe umfasst die natürlichen Abbau- und Rückhaltevorgänge im Grundwasser. Relevante Schadstoffe sind die organischen Schadstoffgruppen MKW, BTEX, LCKW und PAK. Diese werden im Hinblick auf ihr Ausbreitungsverhalten und ihre Abbau- und Rückhalteigenschaften dargestellt. Die maßgeblichen Parameter zur Beurteilung und Überwachung der natürlichen Schadstoffminderungsprozesse werden aufgeführt.

In den Grundlagen für die Akzeptanz werden die wesentlichen Kriterien benannt, die bei der behördlichen Entscheidung über die Eignung eines Standortes für MNA zu prüfen sind. Die notwendigen Verfahrensschritte bei der Anwendung von MNA werden beschrieben und die Anforderungen an die Antragsunterlagen, die vom Sanierungspflichtigen vorzulegen sind, werden definiert.

Die Arbeitshilfe liefert damit die Grundlage für ein einheitliches Verwaltungshandeln im Umgang mit MNA in Hessen.

* <http://www.hlnug.de/themen/altlasten> unter Arbeitshilfen und Publikationen

Teil 2

€12,-

Arbeitshilfen zur Überwachung und Nachsorge von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten (2005)

Volltext verfügbar *

Das Handbuch enthält vier Arbeitshilfen, welche sich jeweils mit einem speziellen Bereich der Altlastenüberwachung befassen:

1. Langzeitüberwachung und Funktionskontrolle von Dichtwandumschließungen
2. Langzeitüberwachung von Reaktiven Wänden

3. Überwachung von biologischen in-situ-Sanierungen
4. Kriterien für die Beendigung von Grundwasser und Bodenluftüberwachungen.

In den ersten drei Arbeitshilfen, welche jeweils die Überwachung von bestimmten Sanierungsverfahren zum Thema haben, werden die Schwachstellen und Risikopotentiale der einzelnen Verfahren ausführlich dargestellt und Empfehlungen für spezifische Überwachungsprogramme gegeben.

Sonstige Veröffentlichungen

Sanierungsbilanz

Altlastensanierung in Hessen € 8,00 Übersicht über den Einsatz von Sanierungsmaßnahmen 2010–2015 (2016)

Volltext verfügbar *

Die Sanierungsbilanz gibt einen Überblick über die im Zeitraum 2010–2015 in Hessen bearbeiteten Sanierungsfälle. Die verwendeten Sanierungstechniken werden nach ihrer regionalen Verteilung sowie ihrem Einsatz auf Altablagerungen und Altstandorten und in den einzelnen Umweltmedien dargestellt.

Sanierungsbilanz

Altlastensanierung in Hessen € 7,50 Übersicht über den Einsatz von Sanierungsmaßnahmen 2002–2008 (2011)

Volltext verfügbar *

Die Sanierungsbilanz gibt einen Überblick über die im Zeitraum 2002–2008 bearbeiteten Sanierungsfälle in Hessen. Die dabei eingesetzten Sanierungstechniken werden nach ihrer regionalen Verteilung sowie ihrem Einsatz auf Altablagerungen und Altstandorten und in den verschiedenen Umweltmedien dargestellt.

Desweiteren wird die Entwicklung im Vergleich zur vorherigen Bilanz aufgezeigt.

Stand der Altlastensanierung in Hessen – Übersicht über den Einsatz von Sanierungsverfahren und -techniken (2003) € 20,-

ISBN 3-89026-806-4

Mit der vorliegenden Sanierungsbilanz steht ein aktueller Überblick über den Einsatz von Sanierungstechniken in Hessen für den Zeitraum von 1996–2001 zur Verfügung.

Es werden Branche, betroffene Medien, das Schadstoffspektrum, angewandte Verfahren und der zeitliche Verlauf der Sanierung mit der jeweiligen Verfahrensdauer erfasst und ausgewertet.

Altlasten - Zahlen und Fakten (kostenlos)

Volltext verfügbar. Ab 2017 nur im Internet *

Die Broschüre erscheint einmal pro Jahr und informiert über die aktuelle Situation der Altlastenbearbeitung in Hessen.

* <http://www.hlnug.de/themen/altlasten> unter Arbeitshilfen und Publikationen

Ihre Bestellung

Die Handbücher und sonstigen Veröffentlichungen können Sie bei der Vertriebsstelle des HLNUG bestellen:

Telefon: 0611 6939-111

Fax: 0611 6939-113

E-Mail: vertrieb@hlnug.hessen.de

Internet: www.hlnug.de/vertrieb.html

Autorinnen und Autoren des Altlasten-annual 2019

Matthias Adam

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Dezernat G3 – Boden und Altlasten
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Ursula Apel

Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Dezernat G3 – Boden und Altlasten
Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden

Dr. Jan Brodsky

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Dezernat G3 – Boden und Altlasten
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Dr. Stefan Feisthauer

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Dezernat G3 – Boden und Altlasten
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Dr. Klaus Friedrich

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Dezernat G3 – Boden und Altlasten
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Dr. Johann-Gerhard Fritsche

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Dezernat G3 – Boden und Altlasten
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Kati Kardel

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe
Referat 42 Boden, Altlasten
Halsbrücker Str. 31a
09599 Freiberg

Dr. Thilo Klein

Amt für Umwelt und Naturschutz
Stadt Wetzlar
Ernst-Leitz-Straße 30
35578 Wetzlar

Maike Lamp

Regierungspräsidium Gießen
Dezernat 41.4 Industrielles Abwasser,
wassergefährdende Stoffe,
Grundwasserschadensfälle, Altlasten und Bodenschutz
Landgraf-Philipp-Platz 1-7
35390 Gießen

Dr. Walter Lenz

HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH
Europastraße 11,
35394 Gießen

Ricarda Müller

Schnittstelle Boden
Belsgasse 13
61239 Ober-Mörlen

Dr. Ingo Müller

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe
Referat 42 Boden, Altlasten
Halsbrücker Str. 31a
09599 Freiberg

Tina Neef

ahu GmbH
Wasser·Boden·Geomatik
Kirberichshofer Weg 6
52066 Aachen

Dominik Pecoroni

Schnittstelle Boden
Belsgasse 13
61239 Ober-Mörlen

Matthias Peter

Schnittstelle Boden
Belsgasse 13
61239 Ober-Mörlen

Zrinko Rezic

HIM GmbH
Bereich Altlastensanierung (HIM-ASG)
Waldstraße 11
64584 Biebesheim

Jonas Schroth

Oberhaagstraße 5
63538 Großkrotzenburg

Greet Schrauwen

Arcadis Germany GmbH
Europaplatz 3
64293 Darmstadt

Steffen Schürer

Landesdirektion Sachsen
Altchemnitzer Straße 41,
09120 Chemnitz

Reinhard Sudhoff

Regierungspräsidium Kassel
Dezernat 31.1 Grundwasserschutz, Wasserversorgung,
Altlasten, Bodenschutz
Am Alten Stadtschloss 1
34117 Kassel

Prof. Dr. Heinrich Thiemeyer

Institut für Physische Geographie
Altenhöferallee 1
60438 Frankfurt am Main

Hans-Henning Wagner

hsw – Hydrogeologisches Büro
Steinbrecher & Wagner GmbH
Ostring 9
67304 Kerzenheim

Sylvia Widmann

Regierungspräsidium Darmstadt
Abt. Arbeitsschutz und Umwelt Frankfurt
Dezernat IV/F 41.1 – Grundwasser, Bodenschutz Ost –
Gutleutstraße 114
60327 Frankfurt am Main

Gerd M. Wiedenbeck

U/C-tec Umweltconsulting + Technologie GmbH
Hauptstraße 2
74889 Sinsheim

Volker Zeisberger

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und
Geologie
Dezernat G3 – Boden und Altlasten
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

