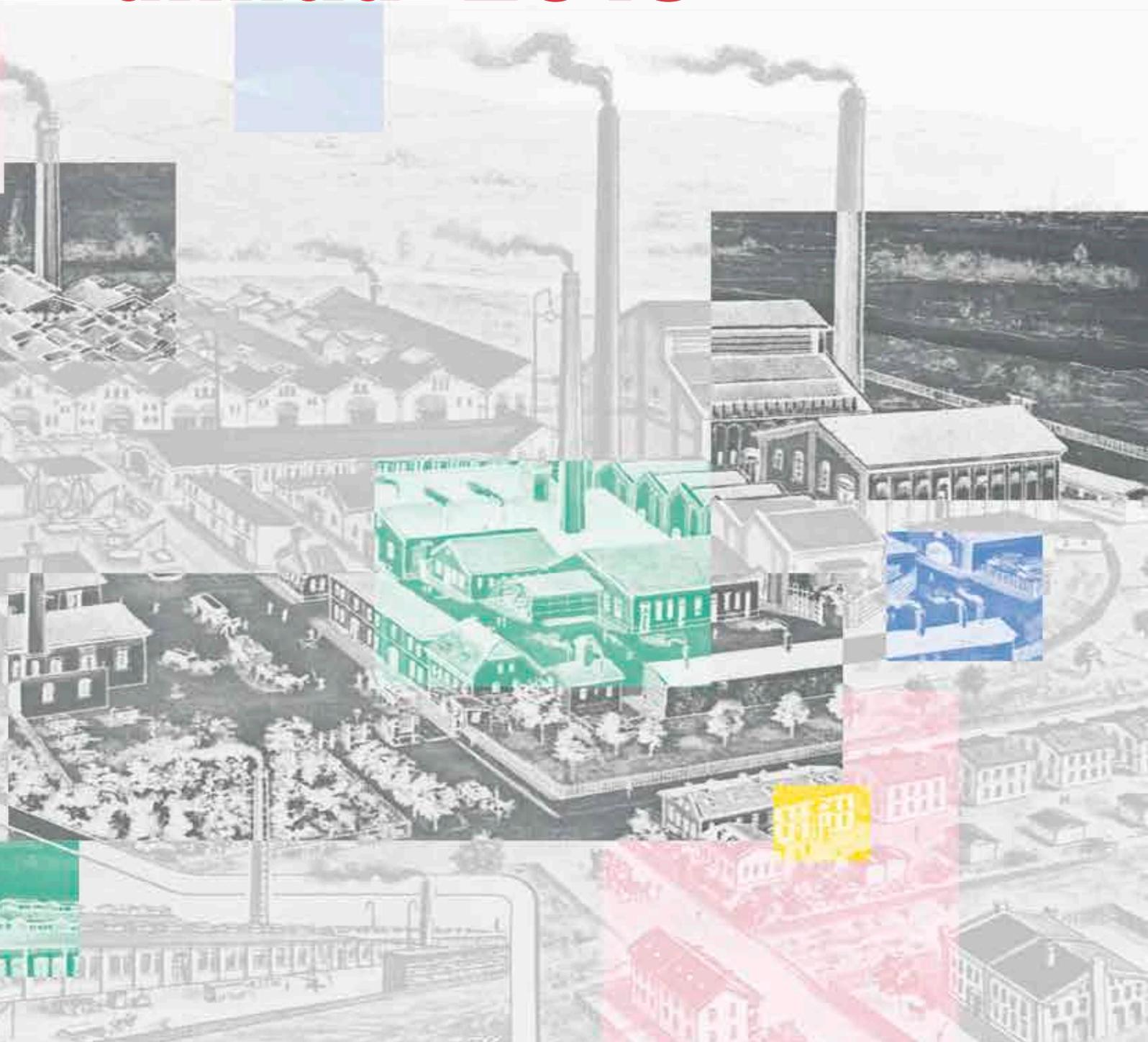




# Altlasten- **annual 2018**



# Altlasten- **annual 2018**

Wiesbaden, 2019

# **Impressum**

## **Altlasten-annual 2018**

ISBN: 978-3-89531-877-1

Bearbeitung: Redaktionsteam „annual 2018“, Dezernat Boden und Altlasten

Layout: Martina Schaffner

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](mailto:vertrieb@hlnug.hessen.de)

**[www.hlnug.de](http://www.hlnug.de)**

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

# Inhalt

<b>Volker Zeisberger</b> Stand der Altlastenbearbeitung in Hessen .....	7
<b>Andrea Bohne</b> DATUS - Das Datenübertragungssystem zur Altflächendatei .....	11
<b>Volker Zeisberger</b> PFC – Eine neue Stoffgruppe auch mit Altlastenrelevanz .....	17
Aktuelle Informationen und Veröffentlichungen.....	23
<b>Seminar Altlasten und Schadensfälle</b> Seminar Altlasten und Schadensfälle 2018 .....	25
<b>Gert Rehner &amp; Eduard J. Alesi</b> Forced vertical flow: Verteilung von Nährstoffen und Reagenzien durch Grundwasserzirkulation (IEG-GCW®).....	27
<b>Michael Wolf &amp; Dr. Uwe Hiester</b> Verfahrensumstellung nach 25 Jahren BLA und P&T – was bringt jetzt noch eine thermische Sanierung? ....	43
<b>Berthold Meise</b> Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen – Vorstellung der 3. Auflage mit dem Schwerpunkt „Verhältnismäßigkeit“ .....	53
<b>Angela Prein</b> Grundwasser-Strömungs- und Transportmodelle in der Altlastensanierung - Chancen, Risiken, Aufwand ...	65
<b>Christoph Merten</b> Brachflächenentwicklung aus Sicht eines Projektentwicklers - Chancen und Risiken einer Flächen- entwicklung .....	69
<b>Harald Mark</b> Informationsquellen zur Ermittlung von PFC-Kontaminationen durch Löschschäume .....	73
<b>Elena Haibel</b> PFC-Schadstoffe auf landwirtschaftlichen Flächen - Herausforderungen und Lösungsansätze.....	77
<b>F. T. Lange, J. Müller, B. Körner, J. Janda, M. Scheurer, K. Nödler, F. Sacher, H.J. Brauch</b> Analytische Möglichkeiten zur Erfassung von sog. Präkursoren bei PFAS-Schadenfällen .....	83
<b>Dieter Binder</b> Großflächige Bodenbelastungen durch historischen Bergbau in Biebergemünd .....	89
<b>Christian Hoselmann</b> Bohrdaten im HLNUG: von der Bohranzeige bis zum 3D-Modell.....	95
<b>Gudrun Radtke</b> Geologischer Untergrund der Stadt Frankfurt am Beispiel des Europaviertels .....	105
<b>Stephan Hüttmann</b> Aerobverfahren, Bioaugmentation, Cosubstrateinsatz – kleines ABC der biologischen LCKW-Sanierung ....	115
<b>Uwe Schlenker, Frank Tidden, Jens Gross, Frank Pietschner, Stefanie Apelt</b> Pilotierungen von Biovertikalfiltern in der Grundwassersanierung – das EcoVert-System .....	117

## Infothek

Altlasten im Internet .....	121
Handbuchreihe Altlasten .....	122
Sonstige Veröffentlichungen .....	130
Autorinnen und Autoren des Altlasten-annual 2018 .....	132



## Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,



nach einem kurzen Rückblick auf die Aktivitäten des vergangenen Jahres möchten wir zwei aktuelle Themen etwas ausführlicher darstellen.

Seit 2012 werden Daten aus dem Altlastenbereich mit dem Datenübertragungssystem DATUS in die Altflächendatei des Landes Hessen importiert. Das hierfür von Kommunen und Ingenieurbüros genutzte Modul DATUS mobile war mittlerweile in die Jahre gekommen und wurde durch das Modul DATUS online abgelöst. Mit diesem neuen Programm ist es gelungen, die Erfassung von Altflächendaten nochmals deutlich komfortabler und sicherer zu gestalten.

Der zweite Beitrag beschäftigt sich mit der erst seit einigen Jahren im Altlastenbereich beachteten Stoffgruppe der Poly- und perfluorierten Chemikalien, kurz PFC genannt. Diese Stoffe wurden auch in Hessen u. a. in Böden, Oberflächengewässern und im Grundwasser gefunden und können, wie der Beitrag zeigt, durchaus auch auf Altlastenstandorten relevant sein.

Der Umgang mit PFC-Kontaminationen war auch ein Schwerpunkt bei unserem diesjährigen Seminar Altlasten und Schadensfälle in Idstein. Die Vorträge zu diesem und weiteren interessanten Themen aus dem Altlastenbereich können Sie hier im Heft nachlesen.

Ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche 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.

Prof. Dr. Thomas Schmid

Präsident des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie



## Stand der Altlastenbearbeitung in Hessen

VOLKER ZEISBERGER

Auch wenn die „großen“ hessischen Altlasten bekannt und weitgehend saniert sind – zu nennen sind insbesondere die Rüstungsalzstandorte in Stadtallendorf und Hessisch-Lichtenau sowie die ehemalige Chemische Fabrik in Lampertheim-Neuschloß – so bleibt reichlich Arbeit übrig. Tendenziell werden die Altlastenfälle schwieriger bzw. komplexer, z. B. weil der Pfad Boden-Nutzpflanze verstärkt betrachtet wird oder neue Schadstoffgruppen zu bewerten sind (z. B. PFC, siehe „Aktuell“ S. 17ff). Weiterhin erhöht sich in vielen Fällen der organisatorische Aufwand, da mancher Pflichtige den Gang vor das Gericht einer kooperativen Zusammenarbeit mit der Bodenschutzbehörde vorzieht. Schließlich werden die Bodenschutzbehörden immer häufiger zu „Auskünften aus der Altflächendatei“ angefragt.

### Arbeitshilfen

Die hessische AG „**Beginn und Ende einer Grundwassersanierung**“ konnte 2018 ihre Arbeiten abschließen. In der AG waren die Regierungspräsidien, das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und das HLNUG vertreten. Eine zentrale Fragestellung der AG lautete, wie Sanierungsziele bzw. Sanierungszielwerte für Altlastensanierungen unter Berücksichtigung des jeweiligen Einzelfalls abgeleitet werden können. Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Frage, unter welchen Randbedingungen langlaufende Grundwassersanierungen, bei denen das festgelegte Sanierungsziel in absehbarer Zeit nicht erreichbar ist, beendet werden können. Hierzu ist seitens der Bodenschutzbehörde zu prüfen,

Hierzu passend gewinnt eine Frage an Gewicht: Können langlaufende Grundwassersanierungen beendet werden, obwohl das Sanierungsziel nicht erreicht wurde? Bei dieser Fragestellung ist selbstverständlich nicht die persönliche Arbeitsbelastung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Bodenschutzbehörden von Relevanz, sondern es gilt der verfassungsrechtliche Grundsatz der Verhältnismäßigkeit. Zu geeigneten Anlässen muss die Behörde prüfen, ob die laufende Sanierungsmaßnahme immer noch verhältnismäßig ist, oder ob eine Optimierung der Maßnahme, ein Wechsel des Sanierungsverfahrens oder die Beendigung der Maßnahme angezeigt ist, da andernfalls die Verhältnismäßigkeit nicht mehr gegeben ist. Hierzu hat eine sehr engagierte Behördenarbeitsgruppe das bewährte Handbuch Altlasten „Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen“ überarbeitet und ergänzt (siehe unten).

ob die Sanierung immer noch verhältnismäßig ist. Die wichtigsten Arbeitsergebnisse sind im Beitrag „Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen – Vorstellung der 3. Auflage mit dem Schwerpunkt „Verhältnismäßigkeit“ zusammengefasst (s. S. 53ff).

Zur Veröffentlichung der Arbeitsergebnisse wurde das Handbuch Altlasten Band 3 Teil 7 „Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen“ aktualisiert und ergänzt. Die nun vorliegende dritte Auflage des Handbuchs steht sowohl als Druckfassung als auch als PDF-Datei zur Verfügung (siehe „Infothek“ auf S. 125).

## 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 kurzketziger Alkylphenole (SCAP) und NSO-Heterocyclen (NSO-HET)“ konnte 2018 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.



Der LAWA-Ausschuss Grundwasser befasste sich in Zusammenarbeit mit dem ALA-Gesprächskreis Stoffbewertung mit der Ableitung von **GFS-Werten für per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) für den Pfad Boden-Grundwasser**.

Die eingerichtete LAWA/LABO-Kleingruppe strebte an, die bereits vorliegende Geringfügigkeitsschwelle (GFS) für PFOS zu aktualisieren und GFS für weitere relevante PFC abzuleiten. Das HLNUG war Mitglied in dieser Kleingruppe. Die Grundlage der Arbeiten ist eine umfangreiche Literaturrecherche,

auf deren Basis das vorliegende Datenmaterial bewertet wird. Nach Abstimmung der Ergebnisse mit weiteren mit dem Thema befassten Gremien wurde eine Entwurfsfassung des Berichtes erarbeitet, die 2017 den LABO- und LAWA-Gremien vorgelegt wurde. Nach Einarbeitung der eingebrachten, vorwiegend redaktionellen Änderungswünsche wurde die Entwurfsfassung im Herbst 2017 der LAGA und den Verbänden zur Stellungnahme vorgelegt. Der endgefaste Bericht wurde in einem UMK-Umlaufverfahren zur Kenntnis genommen und der Veröffentlichung des Dokuments auf der LAWA-Homepage wurde zugestimmt ([www.lawa.de/documents/03\\_anlage\\_3\\_bericht\\_gfs\\_fuer\\_pfc\\_endfassung\\_22\\_11\\_2017\\_2\\_1552302208.pdf](http://www.lawa.de/documents/03_anlage_3_bericht_gfs_fuer_pfc_endfassung_22_11_2017_2_1552302208.pdf)).



Im Bereich der Analytik engagierte sich das HLNUG auch 2018 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.



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

Als Vertreter der LABO wurde Herr Dr. Brodsky zum Mitglied des **Sektorkomitees Chemie und Umwelt der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkKS)** berufen. Die Berufung wurde 2017 um weitere drei Jahre bis zum 31.08.2020 verlängert. Diese Aufgabe wird von Herrn Dr. Brodsky nur bis Ende 2018 wahrgenommen. Seine Nachfolge ist bereits geregelt und wird von einer Kollegin aus

Nordrhein-Westfalen (LANUV) übernommen. Die DAkKS führt Akkreditierungen nach DIN EN ISO/IEC 17025 für die im gesetzlich geregelten Umweltbereich tätigen Untersuchungsstellen durch. Im Sektorkomitee werden u. a. Regeln zur Anwendung der DIN EN ISO/IEC 17025 für Untersuchungsstellen erstellt ([www.dakks.de/content/sektorkomitee-chemie-und-umwelt](http://www.dakks.de/content/sektorkomitee-chemie-und-umwelt)).

Das **Recherchesystem ReSyMeSa** ist ein wichtiges Instrument bei der Bekanntgabe von Untersuchungsstellen (Messstellen) und Sachverständigen im gesetzlich geregelten Umweltbereich. Seit dem Jahr 2012 hat das HLNUG im Auftrag des ALA die fachliche Verantwortung für den Bereich Boden und Altlasten in der Projektgruppe ReSyMeSa übernommen und ist damit Ansprechpartner für die fachlichen Belange des Systems im Bereich Boden und Altlasten bei der **Bekanntgabe von Untersuchungsstellen und Sachverständigen nach § 18 Bundes-Bodenschutzgesetz**.

## 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, Untersuchun-

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.

gen, Messstellen, Probennahmen und Analysen verarbeitet. Zurzeit sind Informationen zu ca. 107 000 Standorten in Hessen erfasst.

Die Quantität und Qualität der Datenbankinhalte hängen nicht zuletzt vom intensiven Austausch innerhalb und außerhalb des HLNUG ab. Die Städte und Gemeinden, aber auch die Sanierungspflichtigen, sind gefordert ihre Erkenntnisse zu Altstandorten und Sanierungsmaßnahmen über das Datenübertragungssystem DATUS an das HLNUG zu liefern. Dadurch kann die Qualität der Auskünfte aus der Altflächendatei und die Altlastenbearbeitung bei den zuständigen Behörden beibehalten bzw. weiter erhöht werden.



# DATUS

## Das Datenübertragungssystem zur Altflächendatei

ANDREA BOHNE

Die hessische Landesverwaltung erfasst Daten über Altablagerungen, Altstandorte, altlastverdächtige Flächen, Altlasten, Verdachtsflächen und schädliche Bodenveränderungen in der Altflächendatei [Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle [FIS AG]].

Dies ist ein zentrales behördeninternes Informationssystem und damit wichtiges Auskunftssystem für die Planungsaufgaben des Landes sowie der Kommunen und Landkreise.

Ergänzend wurde eine technische Lösung entwickelt, um Daten, die bei Externen (Kommunen oder Ingenieurbüros) erarbeitet werden, schnell und sicher in die zentrale Altflächendatei zu importieren.

Diese Anwendung heißt **DATUS** (Datenübertragungssystem).

DATUS ist seit 2012 auf Grundlage des Hessischen Altlasten- und Bodenschutzgesetzes in Verbindung mit der Altflächendateiverordnung als elektronischer Standard für die Datenübermittlung im Altlastenbereich von Stellen außerhalb der Landesbehörden zu verwenden.

Neben den Sachdaten zu den Altflächen sollen auch Analysenergebnisse aus Boden- und Grundwasseruntersuchungen, Daten zu Messstellen und Probennahmen sowie zu durchgeführten Sanierungsmaßnahmen übertragen werden.

### DATUS-Module

DATUS besteht aus mehreren Modulen:

1. DATUS online
2. Codierungstool
3. Offene (xml) Schnittstelle
4. Validierungstool
5. Import-/ Exportassistent

Für das Anwenderprogramm DATUS online wird ein personalisierter Installationslink per E-Mail versandt. Die DATUS-Module 2–4 stehen den Anwenderinnen und Anwendern im Internet auf der DATUS Downloadseite des HLNUG nach vorheriger Online-Registrierung kostenfrei zur Verfügung ([www.hlnug.de](http://www.hlnug.de) – Altlasten – DATUS). Der Import- bzw. Exportassistent bezieht sich nur auf DATUS online und FIS AG.

Zur besseren Handhabung steht ein Installationspaket bereit, das je nach Anforderung der externen Nutzer/-innen die Installationsvoraussetzungen vor Ort prüft und alle benötigten DATUS-Teile in einem Schritt installiert.

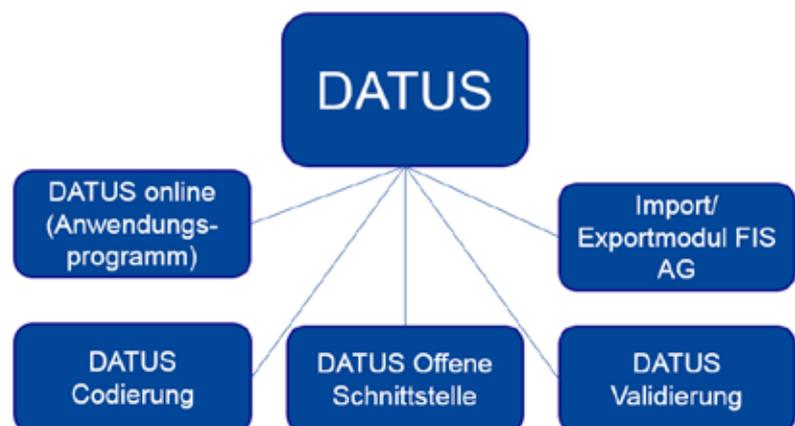


Abb. 1: Übersicht der DATUS-Module



Die Anwendung ist insbesondere für die Kommunen und die kreisfreien Städte gedacht, die ihre gesetzliche Pflicht der Altstandort erfassung erfüllen müssen. Es können darüber hinaus aber auch Daten erfasst werden, die bei weiterführenden Untersuchungen und Sanierungen anfallen. Die Nutzung bietet sich somit für Ingenieurbüros, die keine eigene Programmoberfläche verwenden, an.

Die vom HLNUG zugesandte xml-Datei wird in DATUS online importiert.

Je nach Arbeitsauftrag sind die entsprechenden Formulare neu zu füllen oder bei Bedarf vorhandene Angaben zu ändern (Validierung der Daten). Bestimmte Felder sind nicht zur Bearbeitung freigegeben, sondern können nur gelesen werden.

Für das Einlesen von Analysendaten können zur Arbeitserleichterung auch Exceltabellen importiert werden, das von DATUS online vorgegebene Format

muss dabei beibehalten werden. Die Handhabung wird detailliert im DATUS online Benutzerhandbuch beschrieben, welches von der HLNUG Homepage heruntergeladen werden kann ([www.hlnug.de](http://www.hlnug.de) – Altlasten – DATUS).

Nach Beendigung der Bearbeitung werden die Datensätze zum Versand an das HLNUG aus DATUS online exportiert

Der Datenbestand bleibt nach dem Export im Programm erhalten und kann zu Auswertungen genutzt werden. Da ein neuer Datenimport immer den kompletten Datenbestand überschreibt, darf in dieser Zeit in DATUS online nicht weiter erfasst werden.

Besonders zu beachten ist, dass der Datenbestand in FIS AG im Laufe der Zeit von dem in DATUS online abweichen kann.

## 2 Codierungstool

Nachdem die angeforderten Datensätze aus FIS AG exportiert wurden, werden sie aus Datensicherheitsgründen verschlüsselt, komprimiert und an die zuvor vereinbarte E-Mailadresse gesandt. Mit getrennter Post erhält der Nutzer/die Nutzerin zuvor die Zugangsdaten zum Codierungstool DATUSCodierung, um damit die FIS AG-Daten zu entschlüsseln und sie danach in DATUS online (siehe Punkt 1) oder in die eigene Anwendung zur Bearbeitung zu importieren.

Nach der Datenerfassung werden die Daten wieder exportiert, verschlüsselt und dem HLNUG per E-Mail übermittelt.

Die Anwendung DATUSCodierung kann von der HLNUG Downloadseite heruntergeladen werden ([www.hlnug.de](http://www.hlnug.de) – Altlasten – DATUS).



Abb. 4: Startseite des Codierungstools

### 3 Offene (xml) Schnittstelle

Die Verbindung zwischen FIS AG und Außenwelt stellt eine xml-Schnittstelle sicher. Die Schnittstelle besteht aus den beiden Schemadateien DATUS.Vxx.xsd und DATUS.Listen.Vxx.xsd. In diesen sind alle Festlegungen der Felder in FIS AG (Feldname, Feldbreite, Datentyp (Zeichen, numerisch), Pflichtfeld (ja/nein) zu z.B. Adresse, Messstellenbezeichnung,

Betriebsdaten usw.) und der Aufbau der hinterlegten Auswahllisten abgebildet.

Wer also beabsichtigt, mit einer eigenen Datenbankanwendung statt mit DATUS online (s. Punkt 1) zu arbeiten, hat die Möglichkeit, diese Schnittstelle zu bedienen, so dass die Daten später in FIS AG importiert werden können.

### 4 Validierungstool

Wenn die Altflächendaten nicht mit DATUS online, sondern mit einer anderen Anwendung oder einem xml-Editor bearbeitet wurden, ist es erforderlich, vor dem Import intensiv zu prüfen, ob alle Restriktionen von FIS AG gemäß der xsd-Vorgaben eingehalten wurden.

Diese Überprüfung (Validierung) sollen Externe vor dem Versand an die zuständige Behörde selbst

durchführen und bei Fehlermeldungen die Daten direkt vor Ort berichtigen, bis die xml-Datei unter den automatisch prüfbareren Aspekten fehlerfrei ist.

Die Anwendung dazu ist das Validierungstool DATUSValidation, dieses ist im Fall der Auswahl „offene Schnittstelle“ im Installationspaket enthalten.

Bei der Nutzung von DATUS online entfällt die Validierung, da die xsd-Vorgaben durch das Programm erfüllt werden.



Abb. 5: Startseite des Validierungstools

## 5 Import-/Exportassistent

Der Export von Daten aus FIS AG erfolgt durch das HLNUG auf Anforderung seitens der Kommunen oder Ingenieurbüros. Die benötigten Datensätze werden aus der zentralen Datenbank als xml-Datei exportiert. Die Kommunen erhalten die Daten-

sätze zu allen Altflächen, die zu ihrem räumlichen Zuständigkeitsbereich in FIS AG gespeichert sind. Ein Ingenieurbüro erhält nur die Datensätze, für deren Bearbeitung es autorisiert ist.

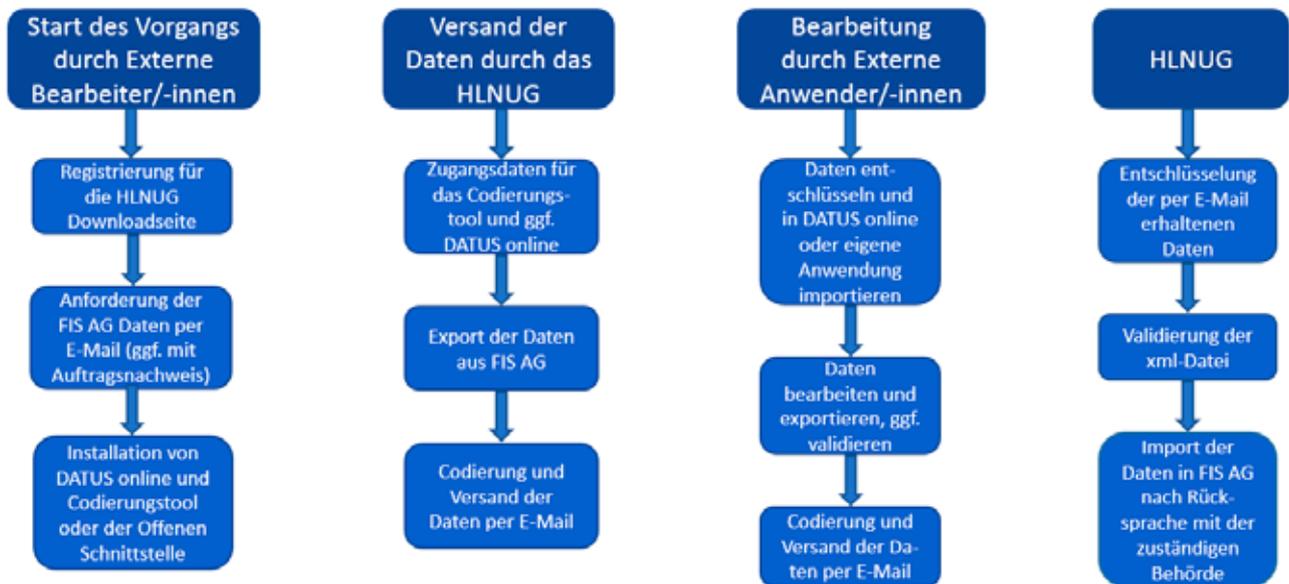


Abb. 6: Datenfluss zwischen FIS AG und DATUS

## Datenaustausch

Der Datenaustausch mit den Kommunen wird ausschließlich durch das HLNUG durchgeführt.

Auch die Daten von Untersuchungspflichtigen, Sanierungsverantwortlichen oder von ihnen beauftragten Ingenieurbüros werden vom HLNUG entgegengenommen und in FIS AG importiert. Jedoch ist vom Beginn des Vorganges an die zuständige Behörde Ansprechpartnerin der externen Nutzer, das HLNUG importiert die Daten erst nach Freigabe durch diese (siehe Abb. 6).

Die DATUS-Module, die benötigten Referenzlisten, Hintergrundinformationen, das Handbuch und Bedienungsanleitungen stehen auf der Homepage des HLNUG zum Download bereit und werden kontinuierlich aktualisiert.

Als Hilfetext besonders zu empfehlen ist das Dokument mit den Antworten auf oft gestellte Fragen (FAQ.pdf). Hier werden ständig weitere Fragen und Antworten hinzugefügt ([www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/datus/FAQ.pdf](http://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/datus/FAQ.pdf)).

In DATUS online besteht zusätzlich die Möglichkeit E-Learning Module zu bestimmten Themengebieten auszuwählen.



## PFC - Eine neue Stoffgruppe auch mit Altlastenrelevanz

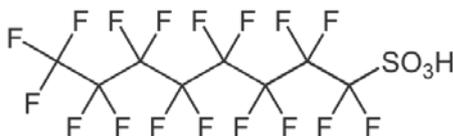
VOLKER ZEISBERGER

### Einleitung

PFC in Oberflächen- und Grundwässern gefährden die Trinkwasserversorgung. In Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern sind Ackerflächen großräumig mit PFC verunreinigt, auch in Bodenseefischen sind PFC nachweisbar: Was hat es mit den PFC auf sich? Sind sie altlastenrelevant? Inwieweit sind PFC auch in Hessen von Bedeutung?

Neben den typischen Schadstoffen wie LHKW, PAK, BTEX und MKW rückt zunehmend die Stoffgruppe der poly- und perfluorierten Chemikalien, kurz PFC, in den Fokus der Altlastenbearbeitung. Die Abkürzung PFC wird im Folgenden verwendet, auch wenn in der neueren Literatur sich der Begriff per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) durchgesetzt hat.

Ein typischer Vertreter der PFC ist die Perfluorooctansulfonsäure (PFOS):



Unter den PFC werden organische Fluorverbindungen verstanden, bei denen alle oder nahezu alle Wasserstoffatome am Kohlenstoffgerüst durch Fluoratomer ersetzt sind. Dadurch weisen diese Stoffe spezielle Stoffeigenschaften auf: PFC sind chemisch extrem stabil und nur unter sehr hohen Temperaturen zersetzbar. Sie sind biologisch entweder nicht abbaubar oder höchstens einem Teilabbau zugänglich, sie sind also persistent. Weiterhin weisen sie schmutz-, fett- und wasserabweisende Eigenschaften auf.

Aufgrund der letztgenannten Eigenschaften und der thermischen Stabilität werden PFC in gro-

ßem Umfang produziert und vielfältig eingesetzt. Hauptanwendungsbereiche sind Feuerlöschschäume (AFFF-Schäume), die Imprägnierung von Stoffen und Papieren und der Einsatz als Hilfsstoff bei der Verchromung in Galvaniken.

PFC werden in der Natur nicht gebildet, somit sind sämtliche PFC anthropogenen Ursprungs. Aufgrund der sehr hohen Persistenz und Mobilität sind PFC mittlerweile ubiquitär nachweisbar, z. B. in Eisbären und in Muttermilch. Das PFC-Problem wird uns auf Dauer begleiten, denn ein sehr hoher Anteil der produzierten PFC wird quasi für immer in der Bio-, Hydro- und Geosphäre bleiben.

Zu den PFC gibt es umfangreiche Literatur. Einen schnellen Überblick geben Länderarbeitshilfen wie z. B. [1, 2, 3]. Einen tieferen Einblick in die Problematik ermöglicht insbesondere der LFP-Leitfaden „Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur Orientierenden Untersuchung“ [4]. Das HLUG hat bereits 2010 eine Publikation zum Thema PFC veröffentlicht [6] und in den Folgejahren das Thema im Rahmen des Altlastenseminars wiederholt aufgegriffen. Beim HLNUG-Altlastenseminar 2018 wurde das Thema PFC mit drei Vorträgen intensiv beleuchtet. Die Beiträge finden Sie auf den Seiten 73 ff des vorliegenden Altlasten-annuals. Im Folgenden wird kurz auf verschiedene Aspekte hinsichtlich der PFC eingegangen, insbesondere aus hessischer Sicht.

### Stoffvielfalt

Unter den Begriff PFC fallen mehr als 1 000 Stoffe, viele davon werden industriell hergestellt oder entstehen beim biologischen Teilabbau der PFC [4]. Zu unterscheiden sind **per**fluorierte und **poly**fluorierte Stoffe. Bei **per**fluorierten Verbindungen sind sämtliche Wasserstoffatome des Kohlenstoffgerüsts durch

Fluoratome ersetzt. Diese Stoffgruppe ist analytisch gut erfassbar. Hervorzuheben ist, dass die perfluorierten Stoffe nach jetzigem Kenntnisstand keinem biologischen Abbau unterliegen.

Eine deutlich größere Stoffvielfalt liegt bei den **poly**fluorierten Verbindungen vor [12]. Hier sind nicht alle, sondern nur die meisten Wasserstoffatome am Kohlenstoffgerüst durch Fluor ersetzt. Die PFC-Produzenten bieten eine kaum überschaubare Produktvielfalt an. Daher gestaltet sich die analytische Bestimmung dieser Stoffe sehr schwierig und ist oftmals aufgrund fehlender Referenzsubstanzen nicht möglich.

Typisch ist, dass die polyfluorierten Stoffe einem biologischen Teilabbau unterliegen. Der nicht-fluorierte Molekülteil ist dabei abbaubar, während der perfluorierte Teil persistent ist. So ist das Phänomen erklärbar, dass im Ablauf von Kläranlagen scheinbar größere PFC-Konzentrationen vorliegen als im Zulauf, denn erst in der Kläranlage entstehen aus nicht-analysierbaren polyfluorierten PFC solche PFC, die routinemäßig analytisch bestimmbar werden.

Einige perfluorierte PFC wie PFOS sind mittlerweile verboten. Als Ersatzstoffe werden oftmals kürzerkettige PFC (siehe „Toxizität“) oder nunmehr polyfluorierte Verbindungen eingesetzt.

## Toxizität

PFC sind stärker humantoxisch als ökotoxisch. Bei der Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen (GFS) einzelner PFC war daher stets die Humantoxizität entscheidend für den GFS-Wert [13].

Tendenziell sind längerkettige PFC toxischer als kürzerkettige PFC, da die erstgenannten sich stärker in Lebewesen anreichern.

## Analytik

Da unter den PFC eine hohe Stoffvielfalt vorliegt, sollte die Analytik möglichst viele PFC umfassen. Die gültigen Normen DIN 38407-42 und DIN 38414-14 wurden nur für 10 perfluorierte PFC validiert. Ein-

ge Laboratorien haben den Anwendungsbereich der DIN-Normen erweitert, so dass ein üblicher Analysemumfang mittlerweile 15 bis ca. 25 PFC umfasst.

Wie bereits unter „Stoffvielfalt“ ausgeführt, können viele PFC nicht direkt analytisch bestimmt werden, weil für die Kalibrierung der Analyseverfahren keine Standards marktverfügbar sind. Um festzustellen, ob in einer Wasser-/Bodenprobe neben den routinemäßig bestimmbar PFC noch weitere PFC enthalten sind, stehen zwei Wege zur Verfügung, die allerdings noch in der Erprobungsphase sind: Die beiden Summenparameter AOF bzw. EOF sowie das sogenannte TOP-Assay.

Beim Summenparameter AOF (adsorbierbares organisch gebundenes Fluor) wird bestimmt, wie hoch der Anteil des organisch gebundenen Fluors in einer Wasserprobe ist (siehe Beitrag auf S. 83 ff [14]). Mit dem AOF werden zwar prinzipiell alle an Aktivkohle adsorbierbaren PFC erfasst, es sind jedoch keine Aussagen über die vorliegenden Einzelsubstanzen möglich. Eine Bewertung des Analyseergebnisses anhand der Geringfügigkeitsschwellen (GFS) ist daher nicht möglich, denn die GFS gelten für bestimmte Einzelstoffe (siehe „Bewertung“). Jedoch ist mittels des AOF eine Aussage möglich, ob mit der üblichen Einzelstoffanalytik alle PFC tatsächlich erfasst wurden. Hierzu wird eine Wasserprobe sowohl mittels Einzelstoffanalytik als auch mittels AOF untersucht. Sofern der AOF deutlich höher ist als die Summe der Einzelstoffe, liegen weitere (unbekannte) PFC vor. Der Summenparameter EOF (extrahierbares organisch gebundenes Fluor) wird analog zum AOF auf Bodenproben angewandt.

Beim TOP-Assay (total oxidable precursor) wird eine Wasser-/Bodenprobe auf zwei Wegen untersucht. Ein Probenanteil wird wie üblich auf PFC analysiert (Originalprobe). Ein anderer Probenanteil wird zunächst einer starken Oxidation unterworfen, bei der sich die (mittels Routineanalytik nicht-bestimmbaren) **poly**fluorierten Verbindungen in (bestimmbare) **per**fluorierte Verbindungen umwandeln, erst anschließend erfolgt die Analyse analog zur Originalprobe [14]. Nun werden beide Ergebnisse verglichen. Enthält die oxidierte Probe deutlich mehr PFC als die Originalprobe, ist dies ein starker Hinweis, dass die Originalprobe weitere unbekannt PFC enthält.

Um aussagekräftige und vergleichbare Analyseergebnisse zu erhalten, ist der Einsatz von genormten oder zumindest validierten Analyseverfahren notwendig. Das Verfahren zur Bestimmung des AOF befindet sich momentan in der Normung und steht unter der Voraussetzung eines erfolgreich durchgeführten Ringversuchs kurz vor der Fertigstellung und Veröffentlichung. Die beiden Verfahren zur Bestimmung des EOF und des TOP-Assay befinden sich noch im Entwicklungsstadium und werden momentan nur von wenigen Laboratorien angeboten. Dennoch können sie wertvolle Hinweise auf das Vorhandensein unbekannter PFC liefern.

## Nachweise in hessischen Böden, Gewässern und Lebensmitteln

Die HLUG-Veröffentlichung „Perfluorierte Chemikalien in Hessen – Untersuchungsprogramm des HLUG“ [6] aus dem Jahr 2010 gibt einen Überblick über PFC-Belastungen von Böden, Oberflächengewässern und Grundwässern. Daten mit Stand 2015 können [15] entnommen werden.

Landwirtschaftlich genutzte Böden sind in einigen Teilen Nordhessens mit PFC verunreinigt (Landkreis Kassel und Waldeck-Frankenberg). Grund ist ein sogenannter Bodenverbesserer, der mit PFC-belasteten Papierschlämmen vermischt war. Infolge der PFC-Auswaschung aus den Böden sind auch nahegelegene Bäche belastet. Die Flächen werden vom HLNUG überwacht, die PFC-Gehalte sind tendenziell leicht abnehmend [18].

In vielen hessischen Oberflächengewässern sind PFC nachweisbar. Während im Rhein Werte von ca. 20 ng/l (= 0,02 µg/l) typisch sind, wurden im südhessischen Schwarzbach Werte oberhalb 100 ng/l nachgewiesen [6]. Ursache für die Belastung sind wahrscheinlich Einleitungen aus einer industriellen und kommunalen Kläranlage [8]. Im Bereich des Schwarzbaches werden auch landwirtschaftlich genutzte Flächen durch das HLNUG beprobt, die Ergebnisse werden Anfang 2019 vorliegen.

In den hessischen Grundwässern konnten 2016 in rund 40 % der untersuchten Grundwasserproben PFC nachgewiesen werden [7, 9, 10]. Einträge erfolgten insbesondere bei Brandübungsplätzen von Flug-

häfen und bei Brandereignissen sowie in Bereichen, wo belastete Oberflächengewässer in das Grundwasser infiltrieren. Bei einigen PFC-Nachweisen in Grundwässern konnte die Ursache noch nicht gefunden werden.

Unter den Lebensmitteln ist Fisch besonders relevant als Quelle für die PFC-Belastung von Menschen, auch Rheinfische können hoch belastet sein [15, 16]. Zum Übergang von PFC aus Ackerböden in Nutzpflanzen liegen in Hessen [17, 19] und Baden-Württemberg [20] Untersuchungen vor. Tendenziell sind die PFC-Gehalte im Korn niedriger als im Sproß und in der Wurzel. Weizen und Gemüse nehmen eher PFC auf als Körnermais, Gerste und Raps (siehe S. 77 ff des vorliegenden Altlasten-annuals).

## Altstandorte

Altstandorte mit PFC-Relevanz können sein [4, 5]:

- Brandereignisse: Grundsätzlich können PFC bei großen Brandereignissen (Einsatz von AFFF-Schaumlöschmitteln) freigesetzt werden, also auch bei Bränden auf Altstandorten. Während früher perfluorierte PFC wie PFOS eingesetzt wurden, werden derzeit meist polyfluorierte Stoffe eingesetzt, z. B. Polyfluoralkylbetaine wie Capstone™.
- Brandübungsplätze der Werks-, Berufs- und Flughafenfeuerwehren: Hier sind PFC-Verunreinigungen des Bodens und Grundwassers zu erwarten.
- Galvaniken: Bei der Verchromung wurde PFOS bis zum Jahr 2015 eingesetzt. Ersatzstoff ist meist H4PFOS, eine polyfluorierte Verbindung.
- Papierherstellung: Einige fettabweisende Papiere sind mit PFC beschichtet (polyfluorierte PFC, die mit üblichen Analyseverfahren nicht bestimmt werden können). PFC können sich in Papierschlämmen anreichern [21].
- Imprägnierung von Berufskleidung: Hier werden ebenfalls polyfluorierte PFC eingesetzt, die mit üblichen Analyseverfahren nicht bestimmt werden können. Bei der Reinigung von Berufskleidung werden PFC mit dem Waschwasser freigesetzt [22].

In Hessen sind bisher nur wenige Altstandorte bekannt, an denen eine relevante PFC-Belastung vor-

liegt. In der überwiegenden Zahl der Fälle waren Großbrände die Ursache für eine PFC-Belastung des Bodens bzw. des Grundwassers. Eine untersuchte Feuerwache zeigte nur geringe PFC-Konzentrationen im Grundwasser. Bei einer Galvanik ist Chromat der Hauptschadstoff, so dass eine Sanierung bereits am Laufen war. Brandübungsplätze werden in Hessen bislang nicht systematisch untersucht, in Nordrhein-Westfalen sind jedoch einige PFC-belastete Brandübungsplätze bekannt [23].

## Bewertung

**Grundwasser:** Zur Bewertung von Grundwasser stehen für 7 PFC Geringfügigkeitsschwellen (GFS) zur Verfügung [13]. Für weitere 6 PFC hat die Trinkwasserkommission Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) abgeleitet [24]. Diese Werte haben Eingang in Arbeitshilfen der Bundesländer gefunden [1, 2]. Zur Bewertung von PFC-Stoffgemischen kommt die Bildung eines Bewertungsindex analog zur TRGS 402 in Frage [13].

**Oberflächengewässer:** Für PFOS ist in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) eine Umweltqualitätsnorm (UQN) von 0,65 ng/l genannt. Dies ist ein sehr strenger Wert, der derzeit unterhalb der Bestimmungsgrenze der gängigen Analysenverfahren liegt. Die Ableitung basiert auf dem Verzehr von Fisch, die UQN für Fisch beträgt 9,1 µg/kg PFOS. Dieser Wert wird vielerorts bereits erreicht [15, 16, 25].

**Boden:** Für die Bewertung von Böden liegen keine allgemeingültigen Werte vor. Im Einzelfall sind Werte für die Wirkungspfade Boden-Grundwasser und Boden-Nutzpflanze herzuleiten. Für den Pfad Boden-Grundwasser werden nicht die PFC-Gesamtgehalte in den Bodenproben bewertet, sondern Bodeneluate.

**Lebensmittel:** Bei Nutzpflanzen besteht kein eindeutiger Zusammenhang zwischen PFC-Gehalten in Böden und PFC-Gehalten in Nutzpflanzen. Auf hochbelasteten Ackerflächen in Baden-Württemberg wird daher ein Vorernte-Monitoring durchgeführt. Für kurzkettinge PFC in Getreide, Obst, Gemüse, Fleisch und Fisch stehen in Baden-Württemberg Beurteilungswerte zur Verfügung [20]. Bundesweit geltende Grenz- oder Richtwerte für den Boden und/

oder Lebens- und Futtermittel stehen noch nicht zur Verfügung.

## Sanierungszielwerte

Sanierungsziele können nicht pauschal festgelegt werden, sondern sie müssen im Einzelfall abgeleitet werden.

**Grundwasser:** Ausgangspunkt hierfür können die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA oder Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) der Trinkwasserkommission sein [13, 24].

**Boden:** Für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser ist eine Sickerwasserprognose sinnvoll. Für die Bewertung der PFC-Konzentration am Ort der Beurteilung können die sieben PFC-Prüfwerte der geplanten Mantelverordnung (Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung) herangezogen werden, hierzu ist der Boden einer 2:1-Elution zu unterziehen.

## Sanierung von Grundwasser

Für die Sanierung von PFC-belastetem Grundwasser ist die Reinigung mittels Aktivkohle der Stand der Technik, eine Vorbehandlung des Grundwassers durch Chemikalienzugabe oder Enteisung ist häufig sinnvoll [26]. Die beladene Aktivkohle muss einer Hochtemperaturverbrennung unterzogen werden, um die PFC thermisch zu zerstören.

## Entsorgung belasteter Böden

Die Entsorgung größerer Mengen PFC-belasteter Böden ist derzeit sehr schwierig, da nur wenige Deponien diese Böden annehmen. Eine Bodenwäsche kommt nur bei sandig-kiesigem Substrat in Frage. In einigen Fällen wurden belastete Böden umgelagert und mit einer Oberflächenabdichtung versehen, um eine Auslaugung der PFC zu verhindern.

## Literatur:

- [1] Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz, ALEX- Informationsblatt 29, Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) in der Umwelt, 2017, [mueef.rlp.de/de/themen/klima-und-ressourcenschutz/bodenschutz/rundschreiben-und-arbeitshilfen/arbeitshilfen/](http://mueef.rlp.de/de/themen/klima-und-ressourcenschutz/bodenschutz/rundschreiben-und-arbeitshilfen/arbeitshilfen/)
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden, 2017, [www.lfu.bayern.de/publikationen/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/publikationen/index.htm)
- [3] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Per- und polyfluorierte Chemikalien - Hintergrundwerte und mögliche Eintragsquellen in Böden in Nichtschadensfällen, 2016; [fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de)
- [4] Länderfinanzierungsprogramm Wasser, Boden und Abfall: Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen, Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur Orientierenden Untersuchung (Projektstufe 1), Projekt-Nr.: B 4.14, 2015, [www.laenderfinanzierungsprogramm.de](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de)
- [5] Länderfinanzierungsprogramm Wasser, Boden und Abfall: Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen, Durchführung und Ergebnisse zu exemplarischen flächendeckenden und systematischen Erfassungen und standortbezogenen Erhebungen (Projektstufe 2), Projekt-Nr.: B 4.15, 2017, [www.laenderfinanzierungsprogramm.de](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de)
- [6] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Perfluorierte Chemikalien (PFC) in Hessen, Untersuchungsprogramm des HLUG, 2010, [www.hlnug.de/themen/boden.html](http://www.hlnug.de/themen/boden.html)
- [7] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Jahresbericht 2016, Artikel von H. Rückert: Grundwasserbeschaffenheit – Ausgewählte organische Spurenstoffe 2016, [www.hlnug.de/ueber-uns/jahresberichte/jahresbericht-2016.html](http://www.hlnug.de/ueber-uns/jahresberichte/jahresbericht-2016.html)
- [8] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Projektbericht des HLNUG für die Arbeitsgruppe beim RP Darmstadt „Kläranlageneinleitungen in oberirdische Gewässer und dadurch bedingte Spurenstoffeinträge in das Grundwasser im Hessischen Ried“, 2016, [www.hlnug.de/themen/wasser/grundwasser/berichte/projektbericht-spurenstoffe.html](http://www.hlnug.de/themen/wasser/grundwasser/berichte/projektbericht-spurenstoffe.html)
- [9] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2017
- [10] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: Fachinformationssystem Grundwasser- und Trinkwasserschutz Hessen (Gruschu), [gruschu.hessen.de](http://gruschu.hessen.de)
- [11] Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (BAI-UDBW): Bearbeitung von Verdachtsbereichen mit per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) auf von der Bundeswehr genutzten Liegenschaften, 2015
- [12] T. HELD, M. REINHARD: Analytierte PFAS – die Spitze des Eisbergs?
- [13] Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser – Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC), 2017, [www.lawa.de/Publikationen-Veroeffentlichungen-nach-Sachgebieten-Grundwasser.html](http://www.lawa.de/Publikationen-Veroeffentlichungen-nach-Sachgebieten-Grundwasser.html)
- [14] F.T. LANGE et al.: Analytische Möglichkeiten zur Erfassung von sog. Präkursoren bei PFAS-Schadensfällen, altlasten annual 2018, [www.hlnug.de/themen/altlasten/arbeitshilfen/altlasten-annual.html](http://www.hlnug.de/themen/altlasten/arbeitshilfen/altlasten-annual.html)
- [15] T. STAHL: Umwelt- und Gewässerbelastungen durch Fluorchemikalien - Gefahr für unser Grundwasser? Vortrag auf dem 2. Wiesbadener Grundwassertag, 22. September 2015, [www.hlnug.de/themen/wasser/hydrogeologie-wasserschutzgebiete/downloads/fortbildungs-und-vortragsveranstaltungen/2-wiesbadener-grundwassertag.html](http://www.hlnug.de/themen/wasser/hydrogeologie-wasserschutzgebiete/downloads/fortbildungs-und-vortragsveranstaltungen/2-wiesbadener-grundwassertag.html)
- [16] T. STAHL, S. FALK, H. BRUNN: PFC – Anthropogen, ubiquitär und persistent, GIT Labor-Fachzeitschrift, 57. Jahrgang, April 2013, 222-225

- [17] T. STAHL et al.: Long-Term Lysimeter Experiment to Investigate the Leaching of Perfluoroalkyl Substances (PFASs) and the Carry-over from Soil to Plants - Results of a Pilot Study, dx.doi.org/10.1021/jf305003h, J. Agric. Food Chem. 2013, 61, 1784–1793
- [18] B. KLEIN: Auswaschung und Verlagerung von Perfluorierten Chemikalien (PFC) aus landwirtschaftlich genutzten Böden, Masterarbeit an der Fachhochschule Bingen, 2014
- [19] H. B. MARBACH: Das Stoffverhalten von perfluorierten Chemikalien (PFC) in den Wirkungspfaden Boden-Grundwasser und Boden-Pflanze unter besonderer Berücksichtigung von Perfluoroktansulfonat (PFOS)
- [20] Regierungspräsidium Karlsruhe: Internetauftritt der Stabsstelle PFC, [rp.baden-wuerttemberg.de/rpk/Abt5/Ref541/PFC](http://rp.baden-wuerttemberg.de/rpk/Abt5/Ref541/PFC)
- [21] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: PFC - Einträge in Böden durch Kompost und Klärschlamm, 2017, [fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de)
- [22] SABINE ANTON-KATZENBACH: Einzug der Ökologie, 2010, aufgerufen am 11.10.2018, [www.rw-textilservice.de/einzug-der-oekologie/150/8657/230069#](http://www.rw-textilservice.de/einzug-der-oekologie/150/8657/230069#)
- [23] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: PFC in Boden und Grundwasser, Ergebnisbericht des Workshops am 25.09.2017, [www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/altlast/20171214\\_Ergebnisbericht\\_PFC\\_in\\_Boden\\_und\\_Grundwasser.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/altlast/20171214_Ergebnisbericht_PFC_in_Boden_und_Grundwasser.pdf)
- [24] Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser – Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission, Bundesgesundheitsbl 2017 · 60: 350–352, DOI 10.1007/s00103-016-2508-3
- [25] Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Karlsruhe, Perfluorierte Tenside in Fischen aus dem Bodensee, 2009, [www.ua-bw.de/upload-doc/cvuaka/PFTinBodenseefischen\\_2009.pdf](http://www.ua-bw.de/upload-doc/cvuaka/PFTinBodenseefischen_2009.pdf)
- [26] H.-G. EDEL et al.: PFC-Grundwassersanierungen – Stand der Technik und Kostenvergleich, in: Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement (HdA), 83. Aktualisierung, 3. Aufl., 2018

## Aktuelle Informationen und Veröffentlichungen

### Handbuchreihe Altlasten, Band 3, Teil 7

Die Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen wird durch eine 3. Auflage aktualisiert und ergänzt. Schwerpunkt bisheriger Auflagen war die Beantwortung der Frage, „ob“ eine schädliche Grundwasserveränderung vorliegt. Die Arbeitshilfe wird jetzt um die Beantwortung der Frage, „wie“ eine schädliche Grundwasserveränderung zu beseitigen ist, ergänzt. Dabei spielt der „Grundsatz der Verhältnismäßigkeit“ eine wichtige Rolle. Dieser Grundsatz gilt für alle Eingriffe im öffentlichen Recht, so auch im Bodenschutz- und Wasserrecht. Bei der Sanierung von Grundwasserverunreinigungen ist die Verhältnismäßigkeit zu Beginn (Sanierungsziel), während (Betrieb) und am Ende der Maßnahme (Einstellung ohne Erreichung des Sanierungsziels) zu prüfen. Die Arbeitshilfe entwickelt entsprechende Maßstäbe.

[www.hlnug.de/?id=6448](http://www.hlnug.de/?id=6448)

### Probenahme von Feststoffen

Für die Normenreihe DIN 19698 „Untersuchungen von Feststoffen – Probenahme von festen und stichfesten Materialien“ ist ein weiterer Teil erschienen.

Teil 5: Anleitung für die Beprobung von Hot-Spots in Grundmengen

Die Veröffentlichung des Teils 6 (In-situ-Beprobung von Linienbauwerken) ist in Kürze zu erwarten. Weitere Teile der Reihe sind in Arbeit.

### Altlasten-Analytik

Einen aktuellen Überblick gibt die HLNUG-Internetseite:

[www.hlnug.de/?id=468](http://www.hlnug.de/?id=468)

### Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle FIS AG

Die Altflächendatei wird für das Land Hessen zentral beim HLNUG geführt.

Das dazugehörige Fachinformationssystem FIS AG ist seit April 2016 als FISBOX® -Anwendung mit guter Akzeptanz im Einsatz.

Für das Datenübertragungssystem DATUS wurde den externen Nutzern am 11.09.2018 eine neue Anwendung ‚DATUS online‘ zur Verfügung gestellt. Die Zugangsdaten können beim HLNUG per E-Mail an [DATUS-FIS-AG@hlnug.hessen.de](mailto:DATUS-FIS-AG@hlnug.hessen.de) angefordert werden. Weitere Informationen zur Altflächendatei und zu DATUS befinden sich auf den Seiten 11 ff dieses Altlastenannuals sowie auf den HLNUG Internetseiten [www.hlnug.de/?id=470](http://www.hlnug.de/?id=470) und [www.hlnug.de/?id=6503](http://www.hlnug.de/?id=6503)

### Bodendiversität und Bodenzustand in hessischen Bach- und Flussauen

Am HLNUG wird ein mehrjähriges Auen-Projekt durchgeführt, welches neben einer stärkeren bodenkundlichen Differenzierung der Auenbereiche für die Bodenflächendaten 1:50.000 (BFD50) eine systematische Erfassung, Dokumentation und Bewertung des Bodenzustandes in hessischen Auen zum Ziel hat. Um diese Ziele zu erreichen, werden Kartierungen durchgeführt und Bodenproben entnommen. Die Bodenproben werden auf bodenkundliche Standardparameter und Nährstoffe sowie anorganische und teilweise organische Spurenstoffe untersucht.

### Kompensation des Schutzguts Boden in der Bauleitplanung nach BauGB

Bei der Ausweisung von Neubaugebieten oder der Planung von Verkehrswegen ist deren Wirkung auf die Umwelt einschließlich des Bodens zu ermitteln und zu bewerten. Hierbei sind die gesetzlichen Vorgaben des Baugesetzbuches zu berücksichtigen.

Besondere Bedeutung hat die Vorsorge, d. h. die Vermeidung von Beeinträchtigungen. Sind Beeinträchtigungen nicht zu vermeiden, so ist ein Ausgleich zu schaffen. Mit diesem Ausgleich soll der Verlust an ökologischen Leistungen im Naturhaushalt wieder ersetzt werden.

Es ist deshalb von großer Bedeutung, die Art der Eingriffe und ihre Wirkung auf das Schutzgut Boden sachgerecht und mit einer einheitlichen Methode zu bewerten. Um diese Aufgabe qualifiziert umsetzen zu können, wurde vom HLNUG, in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Bergbau und Geologie in Rheinland-Pfalz, eine Methodik mit ausführlicher Arbeitshilfe erstellt. Sie ermöglicht, die gesetzlichen Vorgaben der Kompensation von Eingriffen auch für das Schutzgut Boden im Planungsablauf zu berücksichtigen und zu erfüllen ([www.hlnug.de/?id=6614](http://www.hlnug.de/?id=6614)).

### **Arbeitshilfe zur Ermittlung der Nitrataustragsgefährdung in Wasserschutzgebieten**

Wenn der Nitratgehalt im Rohwasser eines Wasserschutzgebietes einen gewissen Wert überschreitet, ordnet die zuständige Behörde in der Regel Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratreinträge an. Wenn landwirtschaftliche Flächen oder Sonderkulturlächen im Wasserschutzgebiet liegen, wird der Wasserversorger aufgefordert, ein Gutachten zur Nitrataustragsgefährdung durchführen zu lassen, mit dessen Hilfe die Nitratreinträge aus der Landwirtschaft durch sinnvolle Bewirtschaftungsmaßnahmen verringert werden können. Die Arbeitshilfe unterstützt auf Grundlage von Auswertungen der Bodenflächendaten 1:5 000, landwirtschaftliche Nutzfläche (BFD5L) bei der Erstellung des Gutachtens ([www.hlnug.de/?id=6614](http://www.hlnug.de/?id=6614)).

### **Bodenerosionsatlas Hessen 2018**

Bei ackerbaulicher Bodennutzung lässt sich Boden-erosion nicht vollständig vermeiden. Durch gezielte Maßnahmen kann sie aber auf ein vertretbares Maß begrenzt werden. Hierfür sind Kenntnisse über die Erosionsgefährdung der jeweiligen Flächen notwendig. Zu diesem Zweck hat das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie schon 2013 einen Erosionsatlas herausgegeben, der nun in der 2. Auflage mit einer deutlich höheren Auflösung von 5 Meter unter [www.hlnug.de/?id=8569](http://www.hlnug.de/?id=8569) abrufbar ist. Die Erstellung des Hessischen Erosionsatlases erfolgte wie schon 2013 im Rahmen einer Kooperation mit dem Forschungszentrum Jülich (IBG-3: Agrosphäre, Dr. Björn Tetzlaff).

### **Schriften zu Böden und Bodenschutz in Hessen**

Neu erschienen sind die Publikationen:

**Flyer zum Boden des Jahres 2018:** Felshumusböden der hessischen Mittelgebirge – eine Variante des Bodens des Jahres 2018

**Reihe Klimawandel in Hessen:** Die hessischen Böden im Klimawandel ([www.hlnug.de/?id=10062](http://www.hlnug.de/?id=10062))

**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 ([www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/BBH14\\_2019.pdf](http://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/BBH14_2019.pdf))

**Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 15:** Arbeitshilfe zur Ermittlung der Nitrataustragsgefährdung in Wasserschutzgebieten auf Grundlage von Auswertungen der Bodenflächendaten 1:5 000, landwirtschaftliche Nutzfläche (BFD5L) (nur online)  
Zu finden sind diese unter: [www.hlnug.de/?id=8779](http://www.hlnug.de/?id=8779) und [www.hlnug.de/?id=10062](http://www.hlnug.de/?id=10062)

## Seminar Altlasten und Schadensfälle 2018

Fachleute aus staatlichen und kommunalen Behörden sowie aus Firmen und Ingenieurbüros trafen sich am 5. und 6. Juni in Idstein zum Informations- und Erfahrungsaustausch rund um die Sachgebiete Altlasten und Bodenschutz.

Einen Programmschwerpunkt bildete die Erfassung und Analyse von Polyfluorierten Chemikalien – kurz PFC. Weitere Themen waren Bodenbelastungen durch historischen Bergbau, die Verhältnismäßigkeit langlaufender Grundwassersanierungen sowie die Entwicklung von Brachflächen. Als regelmäßige Programmpunkte wurden innovative Sanierungstechniken sowie ein interessanter Sanierungsfall aus Hessen vorgestellt. Neben diesen altlastenspezifischen Vorträgen standen in diesem Jahr auch Grundlagenbeiträge zu den Themen Grundwassermodellierung und Bohrdatenbank auf dem Programm.



Eine Führung durch die historische Altstadt von Idstein bildete den Abschluss des ersten Seminartages.

Auf den nachfolgenden Seiten finden Sie die Kurzfassungen der Vorträge.



© Fotos: Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen



# Forced vertical flow: Verteilung von Nährstoffen und Reagenzien durch Grundwasserzirkulation (IEG-GCW®)

GERT REHNER & EDUARD J. ALESI

## 1 Einleitung

Das Sanierungen in heterogenen Grundwasserleitern sich in der Regel sehr lange hinziehen und meist mit unbefriedigenden Ergebnissen enden, ist seit Jahren bekannt. Eines der „Arbeitspferde“ bei der Grundwassersanierung stellt das sogenannte „Pump + Treat“-Verfahren dar. Damit ist die Entnahme von Wasser aus Vertikalbrunnen gemeint, das gereinigt und anschließend entweder in den Vorfluter, die Kanalisation oder an geeigneter Stelle im Gelände wiederversickert wird. Doch das „Arbeitspferd“ schwächelt: Sanierungen dieser Art sind sehr teuer und können Jahrzehnte dauern, die behördlichen Sanierungsziele lassen sich nur in besonders günstig gelagerten Einzelfällen erreichen, nämlich dann, wenn eine gute Durchlässigkeit und geringe Heterogenität des Untergrunds vorherrschen. In allen anderen Fällen stößt die Verfahrensweise rasch an ihre ökonomischen und ökologischen Grenzen [1]. Ähnlich verhält es sich mit „Direct-Push“-Technologien. Auch hier ist die angestrebte gleichmäßige Verteilung von in-

jizierten Reagenzien, insbesondere von Mikro- und Nanopartikeln, im Grundwasserleiter nur in den seltensten Fällen erreichbar. Der scheinbare Kostenvorteil des Verfahrens schwindet spätestens nach den Wiederholungsinjektionen, die notwendig sind, um eine wenigstens den Mindestanforderungen genügende Verteilung zu erreichen. Warum das so ist, hat sedimentologische bzw. hydrogeologisch-physikalische Gründe. Diese Gesichtspunkte sollen nachfolgend erläutert werden. Es werden die Mechanismen aufgezeigt und vorgeschlagen, in heterogenen Grundwasserleitern anstelle der bislang häufig unzureichend wirkenden Techniken Grundwasserzirkulationsbrunnen einzusetzen, die starke vertikale Gradienten erzeugen und somit weit mehr geeignet sind, Makro- und Mikroinhomogenitäten im Untergrund mit Druckgradienten zu beaufschlagen und so zu durchströmen. Einige Fallbeispiele illustrieren das Verfahren.

## 2 Entstehung von Inhomogenitäten im Untergrund

Der Untergrund der allermeisten Siedlungsgebiete besteht aus glazialen bzw. postglazialen fluviatilen Sedimenten, wobei das ganze Korngrößenpektrum vertreten ist. Problematisch für Sanierungsvorhaben sind Schichtungen, die aus einer Wechsellagerung von besser durchlässigen Sanden mit Tonen, Schluffen oder schluffigen Feinsanden bestehen. Die auftretende Variation der Sedimente resultiert aus mäandrierenden Verlagerungen des Fließgewässers. Hinsichtlich der transportierten Korngrößenfraktionen findet zudem ein jahreszeitlicher Wechsel durch die unterschiedlichen Wasserführungen statt (Extreme: Überschwemmungen, Austrocknungen). Als Resultat bilden sich mehr oder weniger horizontal

ausgerichtete Schichtpakete, die sowohl im Mikro- (mm – cm) als auch im Makrobereich (dm – m) Heterogenitäten aufweisen. Im Mikrobereich sind diese allerdings meist nur messtechnisch feststellbar. Untersuchungen zeigen, dass die horizontale hydraulische Durchlässigkeit in Lockersedimenten nahezu immer deutlich größer ist als diejenige in vertikale Richtung [2]

Diese Eigenheit des sedimentologischen Geschehens führt dazu, dass sich die Hauptmasse des Grundwassers daher überwiegend in horizontal verlaufenden Porenkanälen („Stromröhren“, x-y-Richtungen) bewegt. Im Falle einer Grundwasserverunreinigung

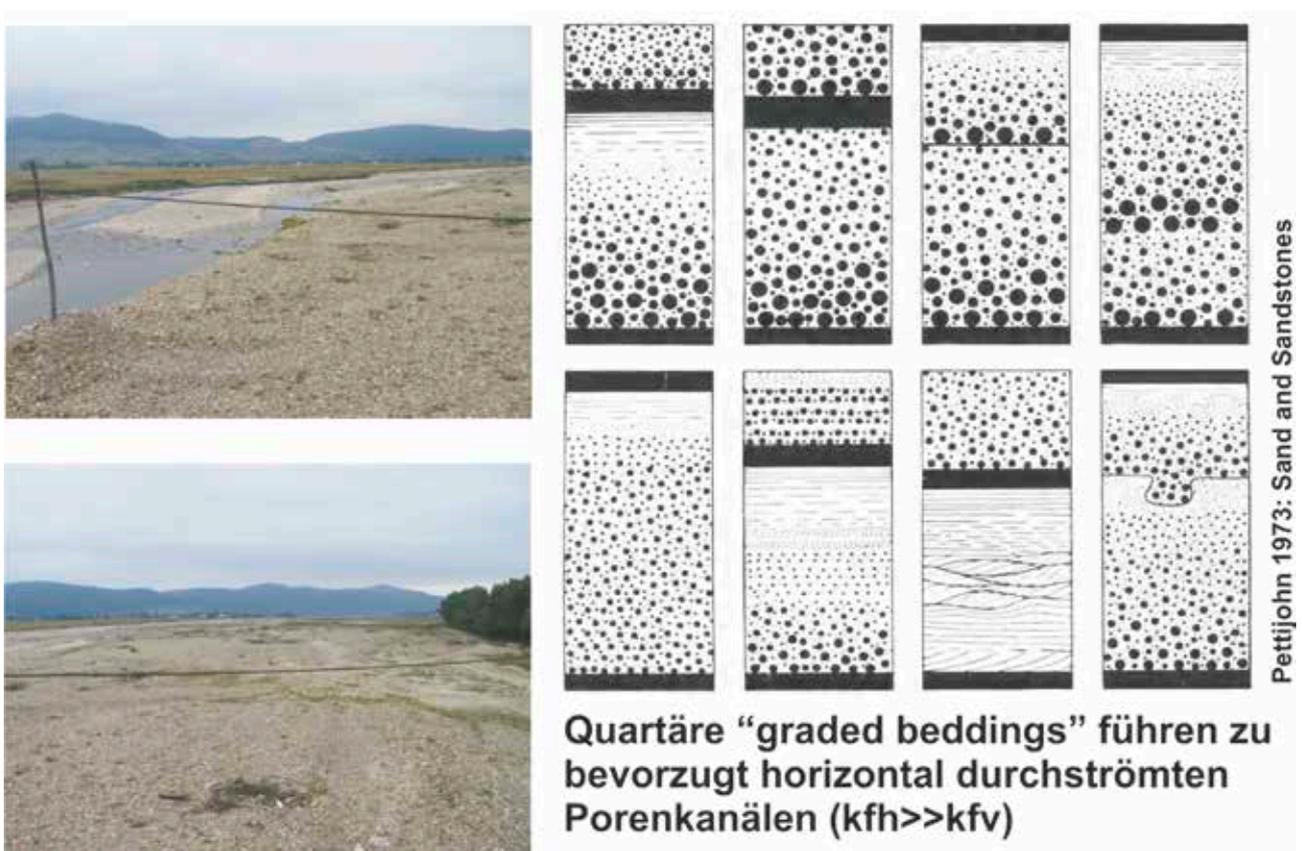


Abb. 1: Fluviale Sedimente: Entstehung von „graded beddings“ durch Mäandrieren und wechselnde Wasserführung von Flüssen

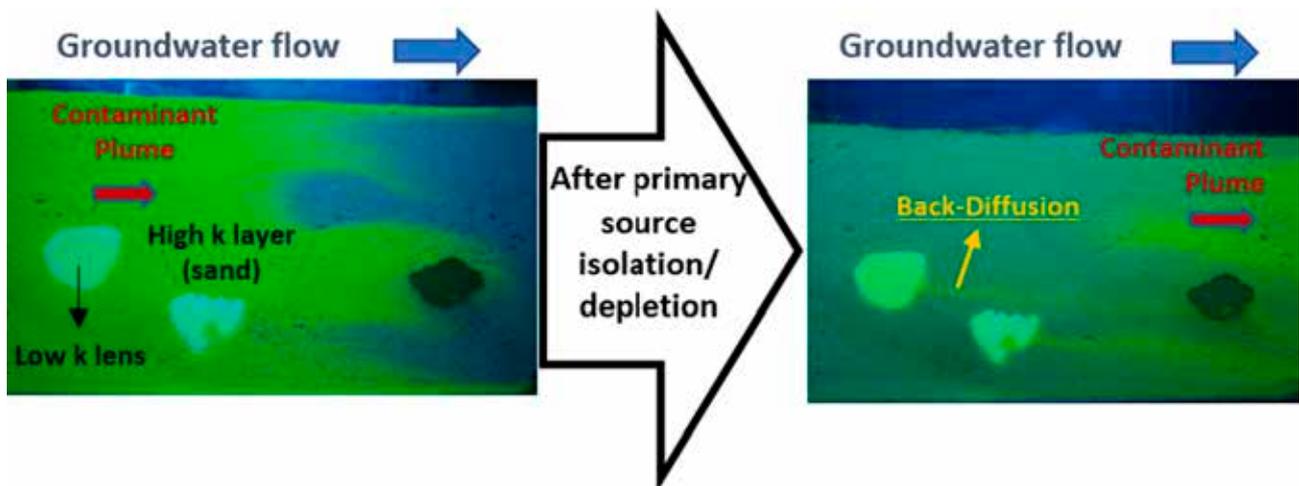


Abb. 2: Matrix-Diffusion nach dem Durchgang einer Schadstofffront in einem makroskaligen Laborexperiment [4]

bewirken dabei die longitudinale (x-Richtung) und die transversale (y-Richtung) Dispersion eine Ausweitung der abströmenden Fahne. Weil die transversale Dispersion in z-Richtung nur sehr kleine Werte annimmt, findet ein advektiver vertikaler Transport nur sehr untergeordnet statt, es wirken hier fast ausschließlich diffusive Prozesse [3]. Wenn allerdings Schadstoffkomponenten wie z. B. leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) mit höherer Dichte als Wasser in größeren Mengen in den Untergrund eindringen, dann kann es zu einer direkten gravitativen Tiefenmigration kommen.

Weil mit abnehmender Korngröße die innere Oberfläche von Sedimenten steigt und somit mehr Adsorptionsplätze zur Verfügung stehen, binden sich Schadstoffe auf dem Transport durch den Grundwasserleiter diffusiv bevorzugt an feinerkörnige Sedimentpartien ober- und unterhalb der horizontal verlaufenden Porenkanäle. In der Regel finden sich dort auch höhere Anteile von organischem Material, dadurch wird die Retardation noch verstärkt. Nach dem Durchgang einer Schadstofffront durch den Aquifer, d. h. wenn der Nachschub aus dem Grundwasser oberstrom versiegt, werden die horizontalen Porenkanäle wieder von wenig belastetem Wasser durchflossen. Dann findet über eine längere Zeit ein diffusiv dominierter Nachtransport aus den angren-

zenden engen Porenräumen oder „Dead-End-Pores“ statt („Rebound-Effekt“ oder „Matrixdiffusion“). Makro-Heterogenitäten wie Feinsand- oder Schlufflin sen wirken auf dieselbe Weise.

Neben den vorstehend beschriebenen Reboundeffekten tritt bei der Sanierung heterogener Aquifere noch eine weitere Schwierigkeit auf. Die natürliche Besiedelung des Aquifer-Korngerüsts mit Biofilmen verstärkt sich durch den biologischen Abbau von Schadstoffen oder zugegebenen Nährsubstanzen. Der Transport dieser Organika durch ein poröses Medium führt zu einem ständigen Schließen und Öffnen von Porenkanälen durch lokales Biofilmwachstum und anschließendem Zerfall durch Nährstoffmangel wegen mangelnder Durchströmung in zyklischen/periodischen Zeitabläufen. Um eine Mindestwegsamkeit in solchen „in situ-Bioreaktoren“ beständig aufrecht zu erhalten, bedarf es dazu entsprechender hydraulischer Mindestgradienten [5]. Durch übliche Pumpverfahren lassen sich diese nicht in der erforderlichen dreidimensionalen Ausprägung erzeugen.

Und damit wäre die Problemstelle für jegliche Sanierungsmaßnahme definiert: Mit welchen Verfahren lassen sich Schadstoffe aus solchen Feinstrukturen effektiv mobilisieren bzw. dort Nährstoffe für einen biologischen Abbau deponieren?

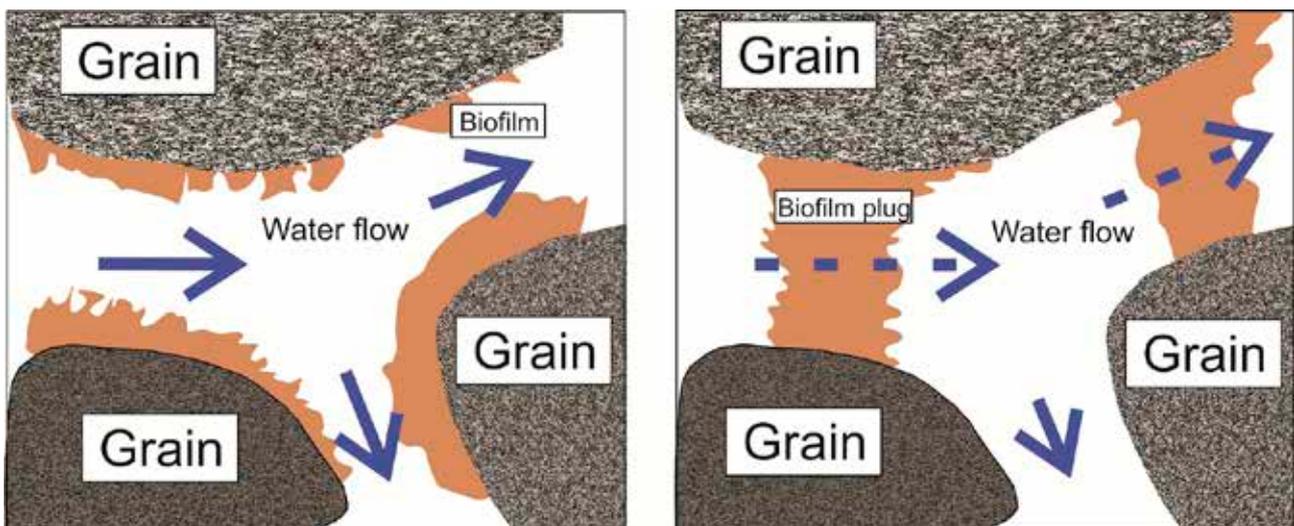


Abb. 3: Verschiedene Möglichkeiten der Biofilmbildung, rechts: „Pore Clogging“, verändert nach [6]

### 3 Nachteile von marktgängigen Verfahren zur Sanierung heterogener Grundwasserleiter

Diskutierte Alternativen zum klassischen Pump and Treat sind z.B. die Anordnung von Entnahme- und Schluckbrunnenfeldern zur Intensivierung der Durchspülung eines Kontaminationsbereichs. Warum auch hier in heterogenen Grundwasserleitern nur geringe Erfolge erzielbar sind, zeigt die genauere Betrachtung des Strömungsfeldes.

Selbst wenn hydraulische Gradienten von 0,5 im Zustrom zu einem Entnahmehrunden auftreten (Absenkungsbetrag 5 m, Entfernung zur nächsten Infiltrationsstelle 10 m), so entspricht dies nur einer Abweichung der Strömungslinien von etwa 27° von der Horizontalen. Auch ein Gradient von 1,0 führte nur zu einer um 45° geneigten Strömungsrichtung. Eine zeitsparende vertikale Durchspülung von schadstoffbelasteten Feinstrukturen auf kürzestem Wege ist so nicht erreichbar, abgesehen davon, dass hochkontaminierte Bereiche im Umfeld der Entnahmestellen

trocken fallen und so nicht mehr der Brunnenhydraulik unterliegen.

Sehr häufig werden auch Direct-Push-Technologien zur Einbringung von Reagenzien eingesetzt. Die Injektionschemikalien breiten sich jedoch vorzugsweise horizontal entlang besser durchlässiger Trennfugen oder völlig irregulär aus, gezielt in vertikaler Richtung wirksame Imprägnationen sind kaum erzielbar.

Werden Nährstoffe/Gase mit hohem Druck und mehr oder minder punktuell zugegeben, können sich lokal temporäre Biobarrieren ausbilden, die die hydraulische Zugänglichkeit zu den kritischen Zonen selektiv stark einschränken. Weil konzeptionell eine anschließende Verteilung der Reagenzien nur passiv durch die langsamen Prozesse Diffusion und natürliche Advektion erfolgen soll, ist auch dieses Verfah-

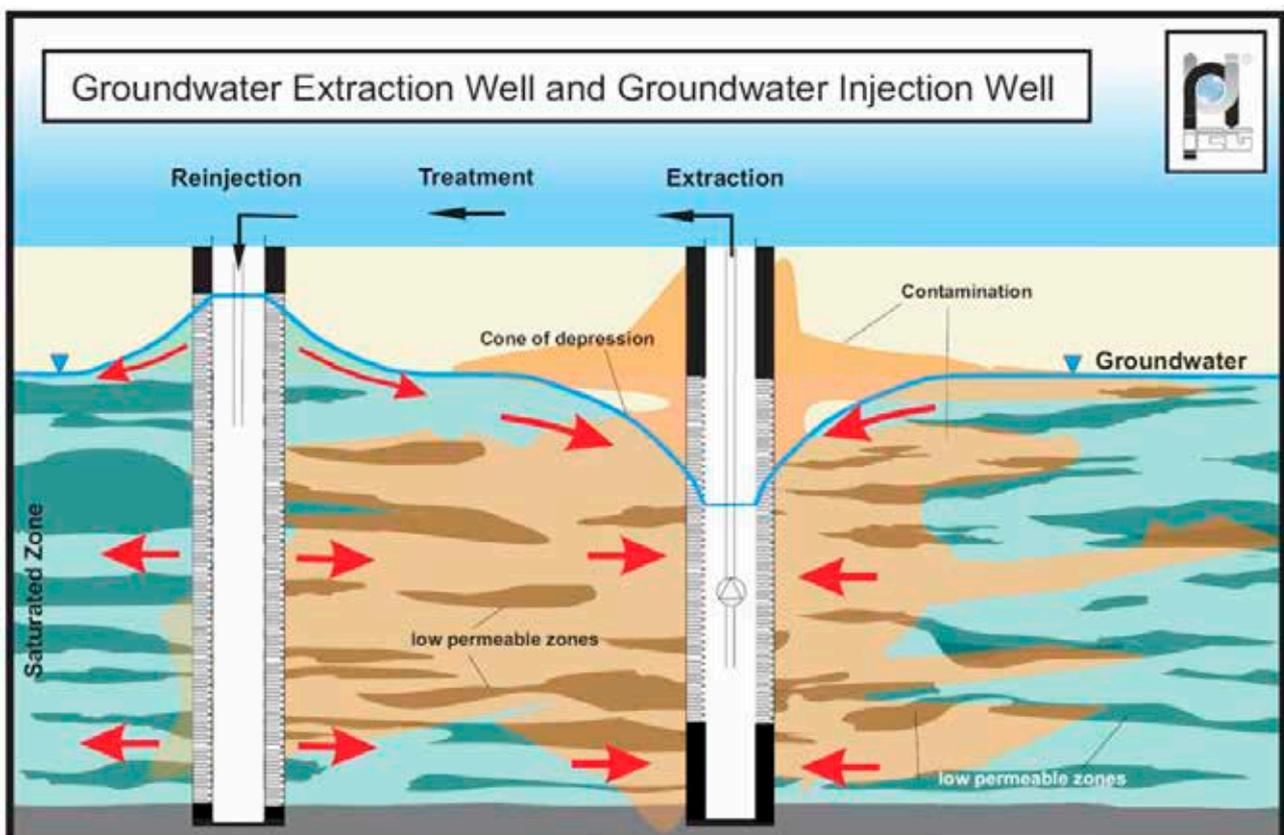


Abb. 4: Strömungsverhältnisse im Umfeld eines Entnahme- und Infiltrationsbrunnens

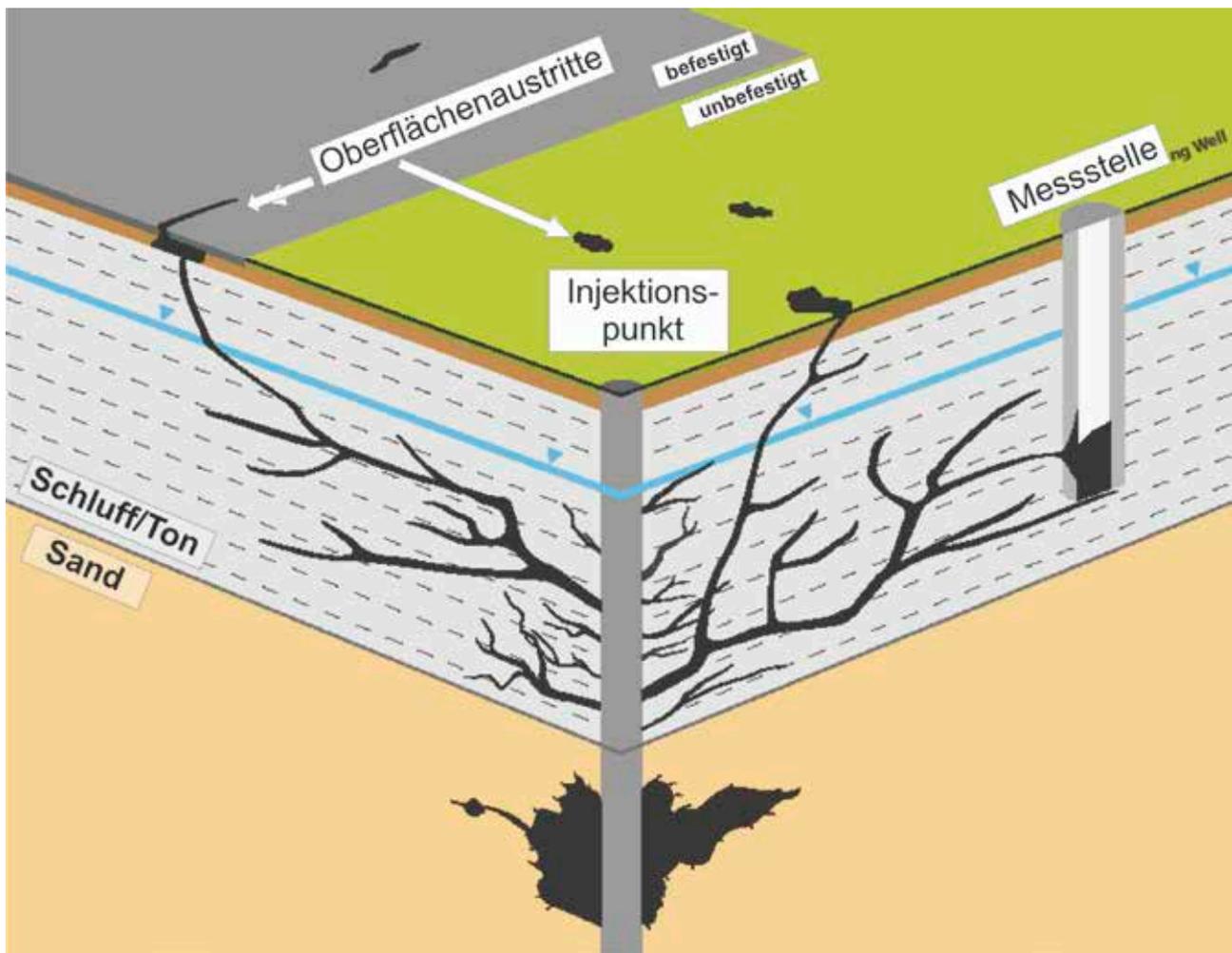


Abb. 5: In der Praxis beobachtbare Fehlausbreitung von injizierten Reagenzien/Partikeln, verändert nach [7]

ren für heterogene Aquifere nur sehr eingeschränkt zielführend. Mittels Liner-Bohrungen im Umfeld

von Injektionsstellen kann die mangelnde räumliche Ausbreitung nachgewiesen werden [8].

#### 4 Verfahrensalternative: Einsatz von Grundwasserzirkulationsbrunnen (IEG-GCW®)

Um überwiegend senkrecht verlaufende Porenkanäle mit den darin befindlichen Schadstoffen effektiv zu durchströmen, ist die Erzeugung künstlicher vertikaler Zirkulationen erforderlich. Sie lassen sich am einfachsten mittels IEG-GCW®-Systemen erzeugen. Deren Prinzip besteht darin, aus einem mit zwei oder mehreren hydraulisch voneinander getrennten Filterstrecken versehenen Brunnen Grundwasser zu entnehmen und in eine darüber oder darunter

liegende andere Filterstrecke wieder zu infiltrieren. Entnahme- und Infiltrationsbrunnen werden in eine vertikale Achse verschoben. Dabei lassen sich in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit und Anisotropie des Aquifers hydraulische Gradienten bis  $> 1,0$  erzeugen, sie bewirken im Umfeld des Brunnens eine dreidimensionale Zwangszirkulation, mit der sich Reagenzien weit besser als mit anderen Systemen verteilen lassen. Es entsteht eine reaktive Zo-

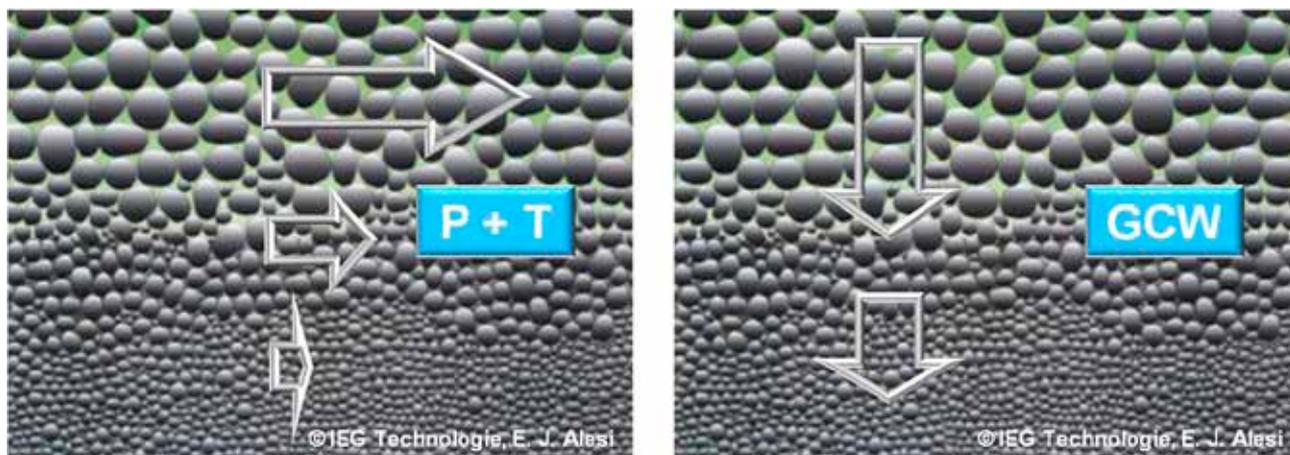


Abb. 6: Strömungsregime bei klassischen Abpumpbrunnen im Vergleich zur Grundwasserzirkulation

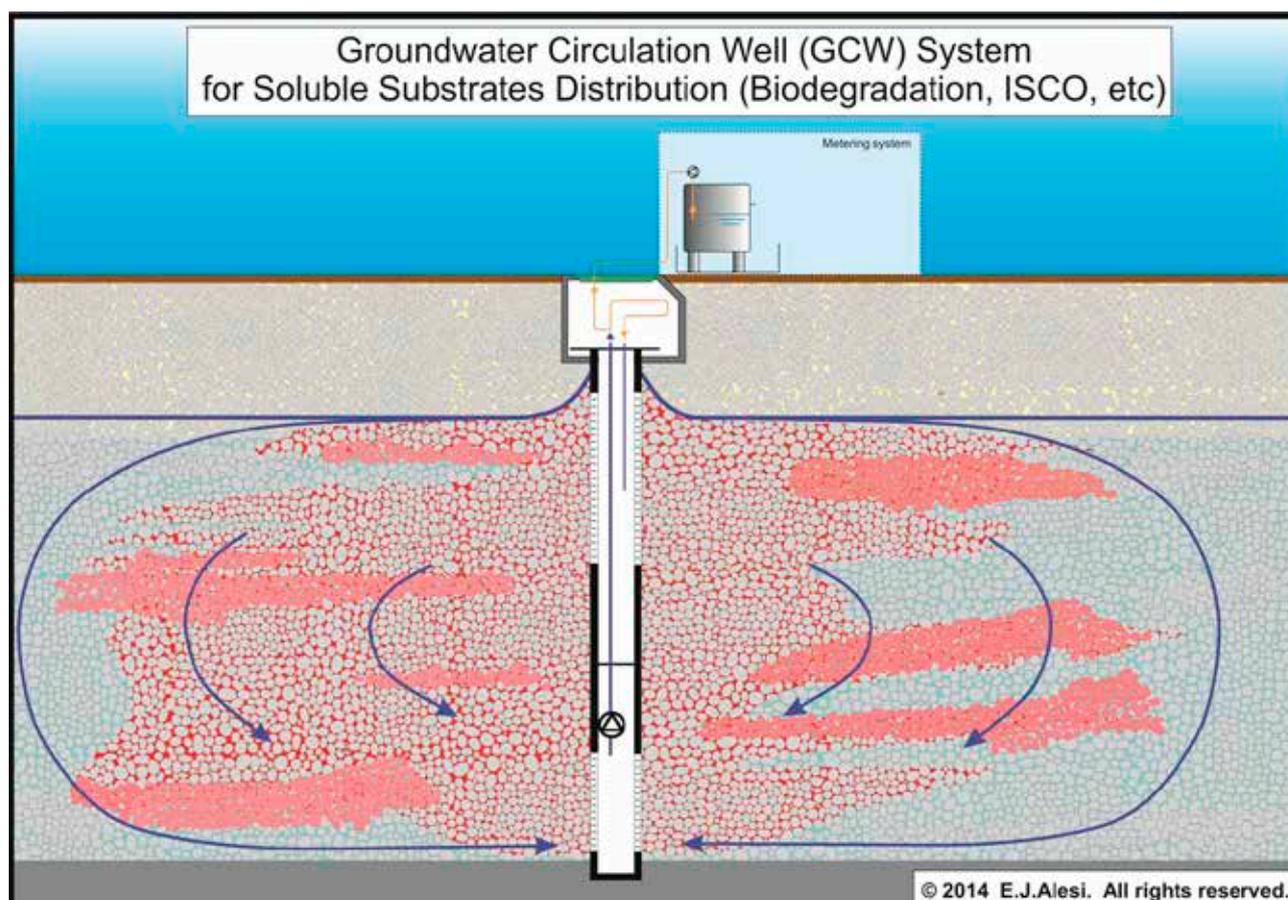


Abb. 7: Prinzip eines IEG-GCW®

ne, in der Schadstoffe chemisch umgewandelt und/oder biologisch abgebaut werden können. Die ausgeprägten vertikalen Strömungskomponenten verstärken das Konzentrationsgefälle zwischen besser und schlechter durchlässigen Bodenbereichen [9]. Infolge der stabilen Zirkulation rotiert das dem Brunnen zuströmende Wasser mehrfach innerhalb des ROI („Radius of Influence“), bevor es diesen wieder in Richtung Grundwasserabstrom verlässt. Die Anzahl der Rotationen eines Wasserteilchens ist abhängig vom Grundwassergefälle, der hydraulischen Durchlässigkeit, Brunnengeometrie und Durchflussrate. Hohe Durchflussraten sind anzustreben, sie verkürzen die Sanierungsdauer. Weil das in einer vertikalen Achse wirksame Potential hier ungleich höher ist als das horizontal gerichtete, finden keine Verdrängungen in laterale Richtungen statt.

Die Hydraulik eines solchen Systems wird durch die Einzugsbreiten an der Brunnenbasis und der Grundwasser Oberfläche, dem zentralen Zirkulationsbereich und dem Abstromtor beschrieben, letzteres bildet sich umgekehrt symmetrisch zum Zustromtor aus. Diese Größen lassen sich aus den Parametern des Grundwasserleiters, der gewählten Brunnengeometrie und der Betriebsweise berechnen [10].

In Abhängigkeit von den Untergrundverhältnissen und der Schadstoffverteilung sind Brunnen mit mehreren Filterstrecken ausrüstbar, im Umfeld können durch die Installation von Satellitenbrunnen die Strömungsverhältnisse entsprechend modifiziert werden (Intensivierung in bestimmte Richtungen oder Interaktionen zwischen einzelnen GCW). Je nach Bedarf lassen sich sowohl aerobe als auch anaerobe

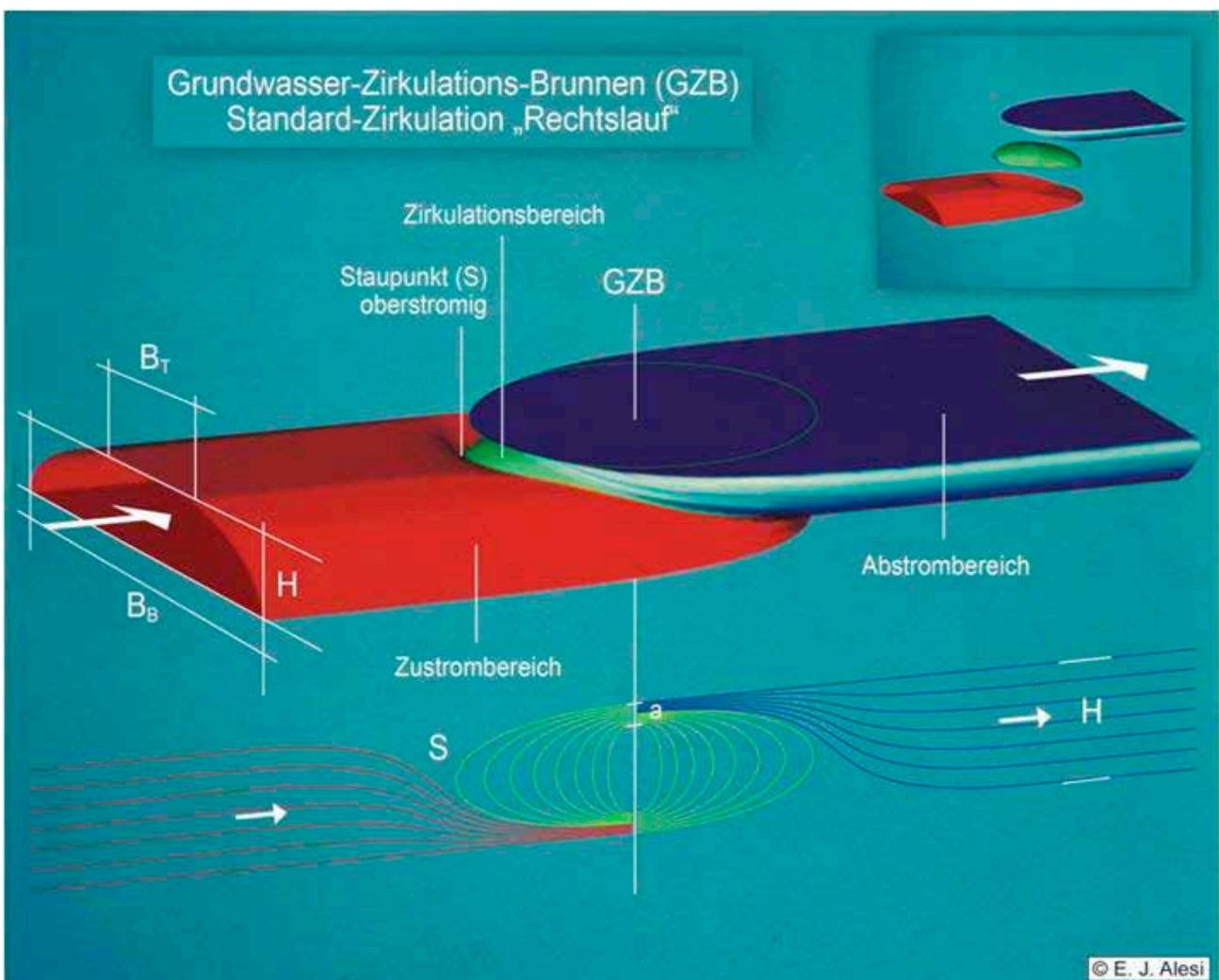


Abb. 8: Hydraulische Bezugsgrößen eines Grundwasserzirkulationsbrunnens

robe Milieuzustände zur Förderung des mikrobiellen Schadstoffabbaus im Untergrund einstellen. Der fluiderfüllte Porenraum wirkt hier so zum „Festbettreaktor“ umgestaltet. Auch eine Reihenschaltung von Brunnen längs zur Grundwasserströmung zur Etablierung eines Treatment-Trains (z. B. anaerob-aerob für LHKW) kann zielführend sein. Handelt es um eine lateral sehr ausgedehnte Schadstofffahne, so empfiehlt sich die Installation einer Behandlungsbarriere mit mehreren Brunnen quer zur Abstromrichtung, bei der sich die Zirkulationsbereiche gegenseitig überschneiden. Eine Teilstromentnahme aus der Rotation kann die Vorteile des Systems mit einer konventionellen Pumpmaßnahme kombinieren.

Es sind prinzipiell keine Abflussleitungen in Vorfluter oder Kanäle notwendig, daher entfallen Einleitgebühren. Die Investitionskosten in Zirkulationssysteme zur Nährstoffverteilung sind häufig niedriger als bei der Anordnung von klassischen Entnahme- und Infiltrationsbrunnen mit den notwendigen Rohrleitungsgräben. Geringe Betriebskosten bei einer gleichzeitigen Reduzierung des Sanierungszeitraumes ermöglichen letztlich eine wesentliche Kostenersparnis im Vergleich zu herkömmlichen Sanierungsverfahren. Erfahrungen mit Grundwasserzirkulationsbrunnen liegen seit nunmehr 30 Jahren vor, es wurden bislang über 200 Projekte realisiert, wobei sich der Schwerpunkt immer mehr in Richtung mikrobiologische in situ-Behandlungen verschiebt [11].

## 5 Fallbeispiele

### 5.1 Standort in Südosteuropa

Auf einem Industriestandort in Südosteuropa wurden seit etwa 1950 verschiedene Chemikalien produziert und weiterverarbeitet, vor allem chlorierte Lösemittel. Sie gelangten durch verschiedene Umstände in den Untergrund (unsachgemäße Lagerung, Leckagen in Leitungen und Tanks etc.) und wurden 1998 erstmals im Grundwasser entdeckt. Im nahen Umfeld des Geländes wird Trinkwasser aus einer Tiefe von etwa 150 m gewonnen.

Es handelt sich um einen heterogen aufgebauten Untergrund mit mehreren Grundwasserstockwerken. Der Flurabstand beträgt ca. 12 m, Der erste stauende Horizont befindet sich etwa in 17 m Tiefe. Aquifer 2 und 3 weisen keine vollständige hydraulische

Trennung auf. Darunter schließen sich die weiteren Grundwasserleiter an. Aquifer 4 scheint in weiten Teilen noch nahezu unbelastet zu sein, über ihn und den zur Trinkwassergewinnung dienenden 5. Aquifer liegen zur Zeit nur begrenzte Informationen vor.

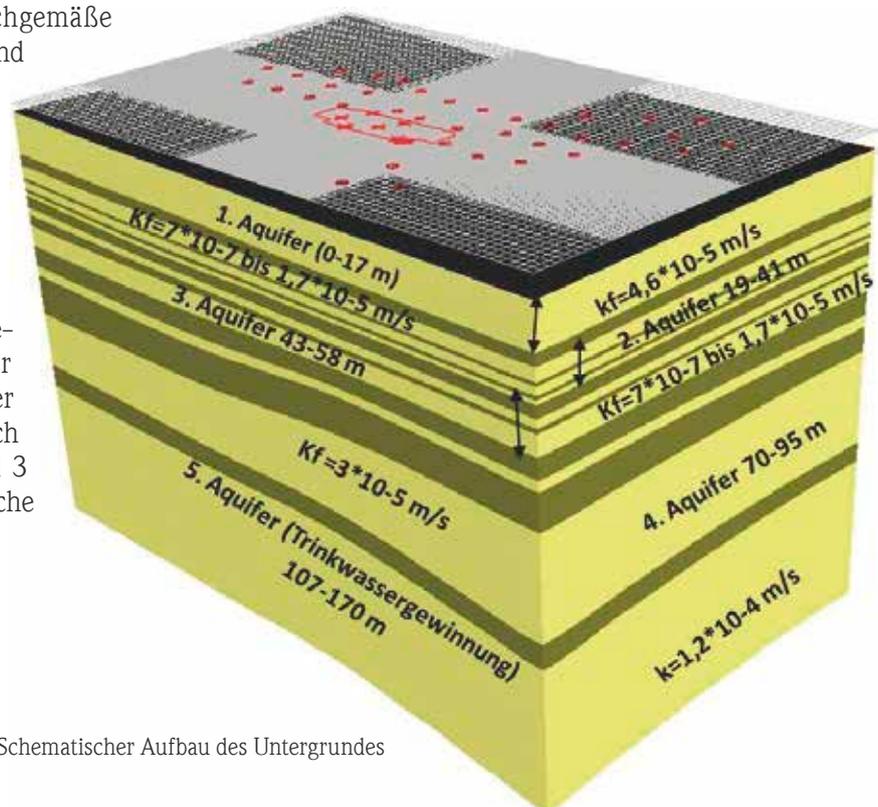


Abb. 9: Schematischer Aufbau des Untergrundes

Die Belastung im 1. Grundwasserleiter besteht hauptsächlich aus Trichlorethen (TCE, ca. 80%), daneben haben sich bereits cis-1,2-Dichlorethen (cDCE) und Vinylchlorid (VC) gebildet (ca. 20%). Im 2. und 3. Grundwasserleiter erhöht sich der Anteil von cDCE etwas, VC tritt deutlich in den Hintergrund. Hier sind an einzelnen Stellen auch Konzentrationen oberhalb der Löslichkeitsgrenzen von bis zu 1 500 mg/l beobachtbar, ein Hinweis auf das Vorliegen von LHKW in Phase. Im Rahmen der Erkundungsuntersuchungen konnte die Anwesenheit von reduktiv dehalogenierenden Bakterienkonsortien nachgewiesen werden, genauso wie das Auftreten erhöhter Gehalte an Ethen und Ethan als Indizien für biologische Abbauprozesse. Die Kernzone der Verunreinigung umfasst ca. 50 000 m<sup>2</sup>, das kontaminierte Grundwasservolumen wird auf etwa 1 Mio m<sup>3</sup> geschätzt, anhand verschiedener Berechnungen kann das Schadstoffinventar bis zu 450 t LHKW betragen.

Aus dem 1. Aquifer wurde über mehrere Brunnen

seit 2003 Grundwasser entnommen und abgereinigt, bei einer Gesamtpumprate von etwa 7 m<sup>3</sup>/h ließen sich pro Jahr etwa 2 000 kg LHKW aus dem Untergrund entfernen. Allerdings erschwerten hohe Eisen- und Mangangehalte sowie die geringe Durchlässigkeit den Anlagenbetrieb erheblich. Modellrechnungen über die Tiefenmigration der Schadstoffe prognostizieren, dass diese in 40 bis 50 Jahren den 5. Aquifer erreichen und so die Trinkwasserversorgung der umliegenden Region massiv gefährden werden. Weil eine Grundwasserentnahme aus dem 2. und 3. Aquifer zu einer verstärkten vertikalen Kontaminationsverschleppung geführt hätte und die Abpumpdauer über das installierte Brunnenfeld mindestens 100 Jahre betragen hätte, fiel die Entscheidung zugunsten des Testeinsatzes eines IEG-GCW® in den oberen beiden Grundwasserleitern. Er sollte zur Anregung reduktiver Abbauprozesse (RD) dienen.

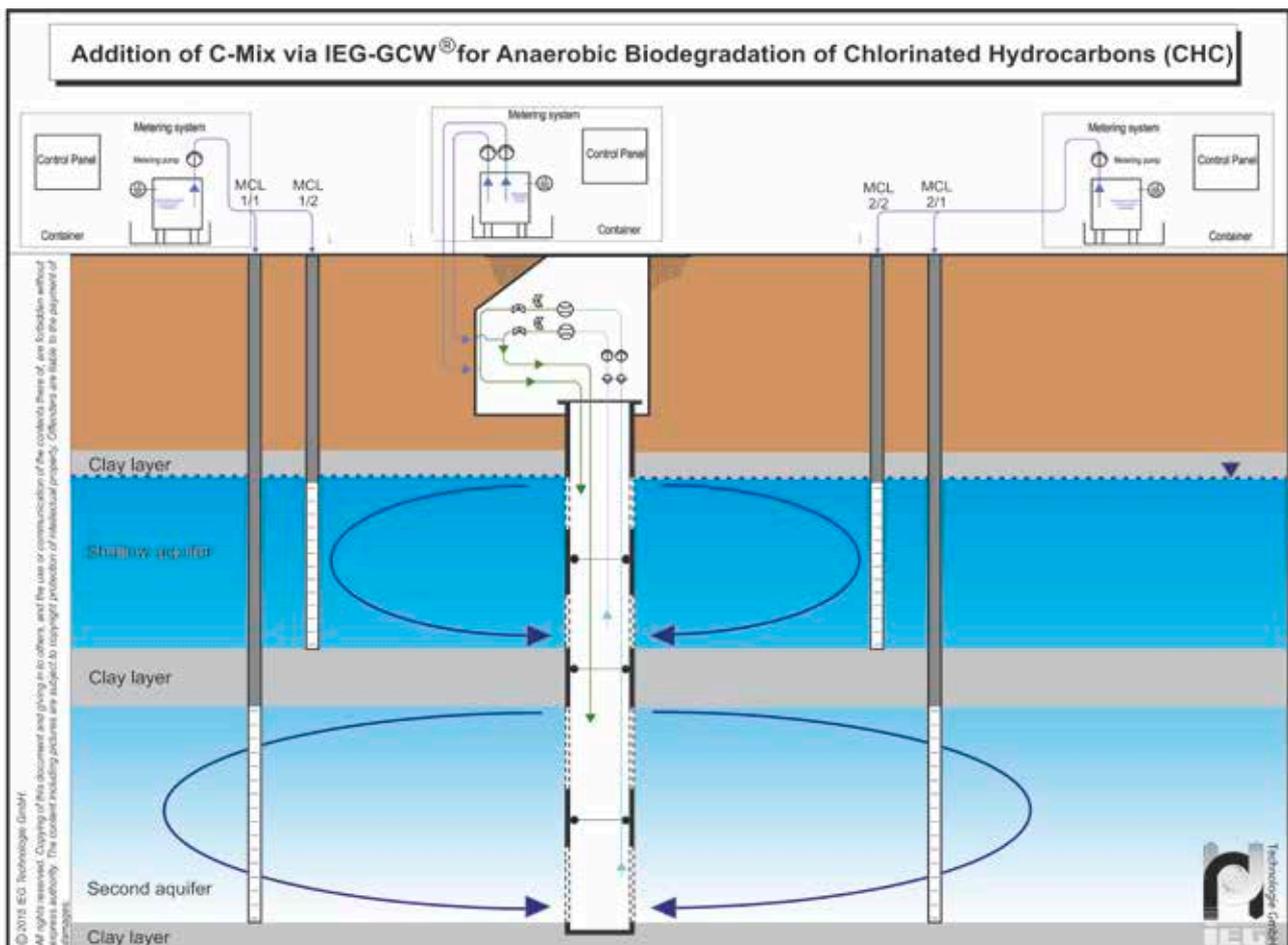
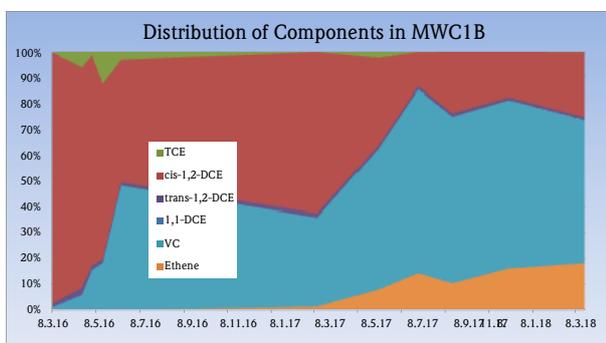
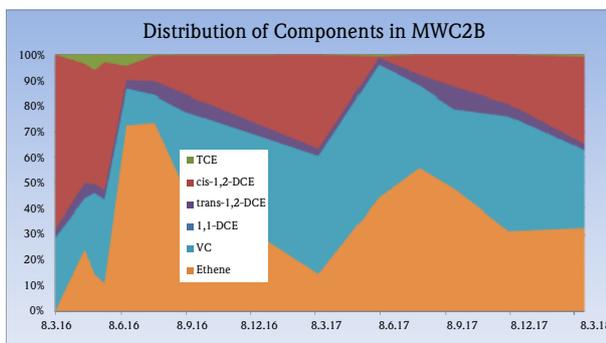
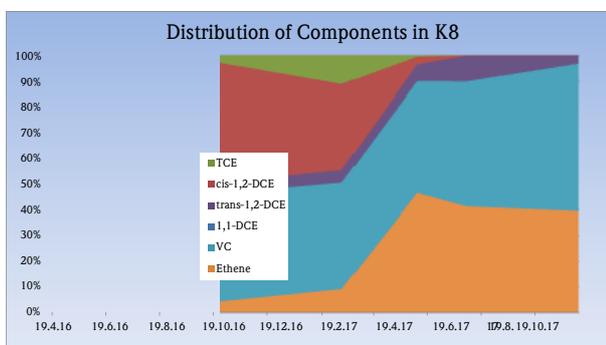


Abb. 10: Prinzipschema des eingesetzten Brunnens zur simultanen, jedoch hydraulisch getrennten Behandlung von 2 Grundwasserleitern

Zur Lösung dieser Aufgabe wurde ein 4-fach verfiltrierter Brunnen konzipiert (Edelstahlkonstruktion, Bohrtiefe 38 m, Bohr-Ø 1 040 mm). Er erlaubt verschiedene Zirkulationsszenarien; ergänzt wurde der Brunnen durch zusätzlich angeordnete Satellitenbrunnen zur Nährstoffzugabe.

Durch die speziell gestaltete Brunnenkonfiguration ist es ohne Aufwand möglich, sowohl eine Standard-Zirkulation (Infiltration: obere Filterstrecke) als auch einen inversen Betrieb (Infiltration: untere Filterstrecke) zu etablieren.



**Abb. 11:** Entwicklung der einzelnen LHKW-Komponenten in ausgewählten Messstellen (auf 100 % normierte Darstellung); Distanz zum Zentralbrunnen: K8 ca. 10 m, MWC2B ca. 25 m, MWC1B ca. 40 m

Die Ergebnisse sprechen für sich: In zahlreichen Monitoringstellen war eine Verschiebung zu geringer chlorierten Komponenten und deutliche Ethenentwicklung beobachtbar. Am prägnantesten war sie bei Beprobungshorizonten, in denen Gehalte von maximal mehreren 100 mg/l vorlagen. Bei noch höheren Belastungen konnte eine nur zögerliche Entwicklung des mikrobiellen Abbaus festgestellt werden. Begleitende molekularbiologische Untersuchungen wiesen die einschlägigen Konsortien reduktiv dehalogenierender Bakterien nach. In Messstellen mit hohen DOC-Konzentrationen ließ sich eine Temperaturerhöhung messen. Der vertikale Fluss durch Zonen geringer Durchlässigkeit war anhand von Multi-Cluster-Wells nachweisbar [12].

In der 2. Jahreshälfte 2018 werden weitere 4 IEG-GCW® im Umfeld des Pilotbrunnens installiert, zusätzlich kommt eine Reihe von Spezialbrunnen zur Entfernung der Schwerphase zum Einsatz.

## 5.2 Standort in Oberitalien

Der Grundwasserleiter unter dem Industriestandort in Norditalien weist Belastungen mit LHKW von bis zu 100 mg/l, hohe Eisengehalte und stark variierende Durchlässigkeiten zwischen  $1 \cdot 10^{-4}$  bis  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s auf. Zur Vorbereitung eines Piloteinsatzes wurden umfangreiche chemische/mikrobiologische Laborversuche durchgeführt. Danach erfolgte die Installation eines IEG-GCW® -Systems mit 3 Filterstrecken bis zu einer Tiefe von 26 m.

Dieses erlaubt die Steuerung zweier Kreisläufe mit unterschiedlichen Wassermengen und Reichweiten. Eine kleinere Zirkulation ermöglicht die Durchströmung der feinerkörnigen Zwischenlage (ca. 0,35–0,5 m<sup>3</sup>/h, Tiefenlage ca. 14–22 m), eine größere überlagernde umfasst auch die besser durchlässigen Aquiferbereiche (ca. 2,0–2,5 m<sup>3</sup>/h). Die sanierungsrelevante radiale Reichweite der Zirkulation beträgt mindestens 40 m. Ziel der Maßnahme war es, die residualen Schadstoffsenken hydraulisch zu erschließen und sie einer verstärkten RD zugänglich zu machen, da eine vorangegangene 9-jährige Abpumpmaßnahme nicht zu einer nachhaltigen Verringerung der Belastung führte.

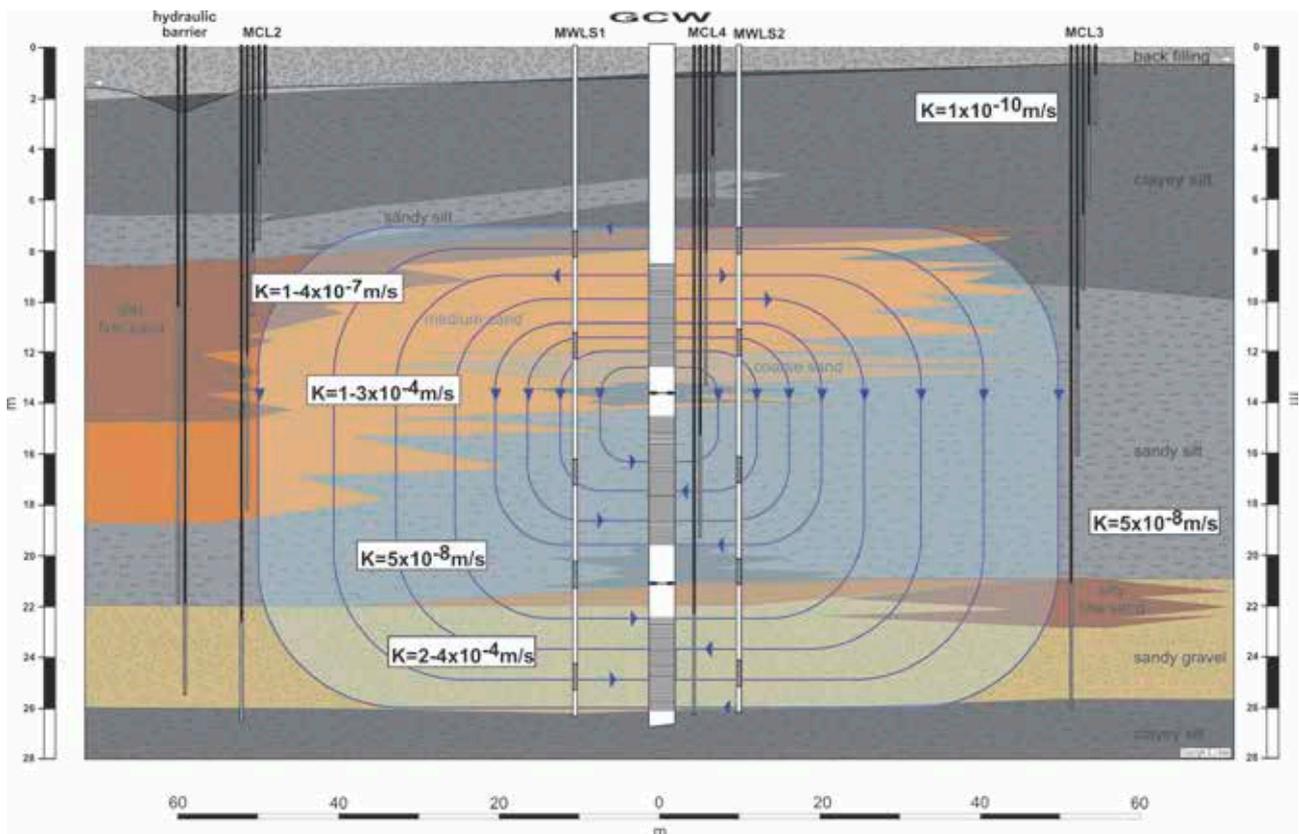


Abb. 12: Geologischer Aufbau des Standorts und Positionierung des IEG-GCW® mit Strömungsregime [13]

Die oberirdische Behandlungslinie besteht aus 3 Elementen:

1. vorgeschalteter Sandfilter; er dient zur Entfernung von Ausfällungen und Schwebstoffen
2. PHB (Poly-Hydroxy-Butyrat)-Reaktor; als Stützsubstrat dient Sand. Er gibt flüchtige Fettsäuren und Wasserstoff in das durchströmende Wasser ab
3. nachgelagerter ZVI (nullwertiges Eisen)-Reaktor, dem PHB beigemischt ist

In den beiden Reaktoren werden die LHKW vor Reinfiltration des zirkulierenden Wassers zu etwa 50% eliminiert. PHB ist ein sich biologisch langsam abbauendes Polymer, das im anaeroben Milieu flüchtige Fettsäuren (Buttersäure) und molekularen Wasserstoff freisetzt. Zur Erzielung der RD besitzt es im Gegensatz zu anderen Elektronendonatoren einen genau definierten Abbaupfad. Wird ZVI mit PHB gemischt, so erhöht sich durch die Herabsetzung des pH dessen Reaktionsfähigkeit und stabilisiert seine

Langzeitwirkung. Das durch die oberirdische Behandlungseinheit strömende Wasser transportiert die dort entstehenden Abbauprodukte des PHB (bis 500 mg/l) und reduzierte Eisenverbindungen in den Porenraum der Sedimente und induziert dort eine nachhaltige RD.

Die begleitende Laboranalytik des zirkulierenden Prozesswassers und von Proben aus den umliegenden tiefendifferenzierten Multilevelmessstellen (MLSW 1 und MLSW 2) und den Messstellenbündeln (Multicluster-Wells) wies eine erhebliche Mobilisierung von Schadstoffen aus den gering durchlässigen Aquiferbereichen nach, gleichzeitig entstanden niederchlorierte Abbauprodukte und schließlich chlorfreies Ethen. Die daraus gewinnbare LHKW-Fracht (ca. 250 g/d) war um etwa den Faktor 50 höher als aus den besser durchlässigen umgebenden Schichten. Sehr ausgeprägt war ein Anstieg der Abbauprodukte cDCE und VC in den geringer wasserleitenden schluffigen Feinsanden.

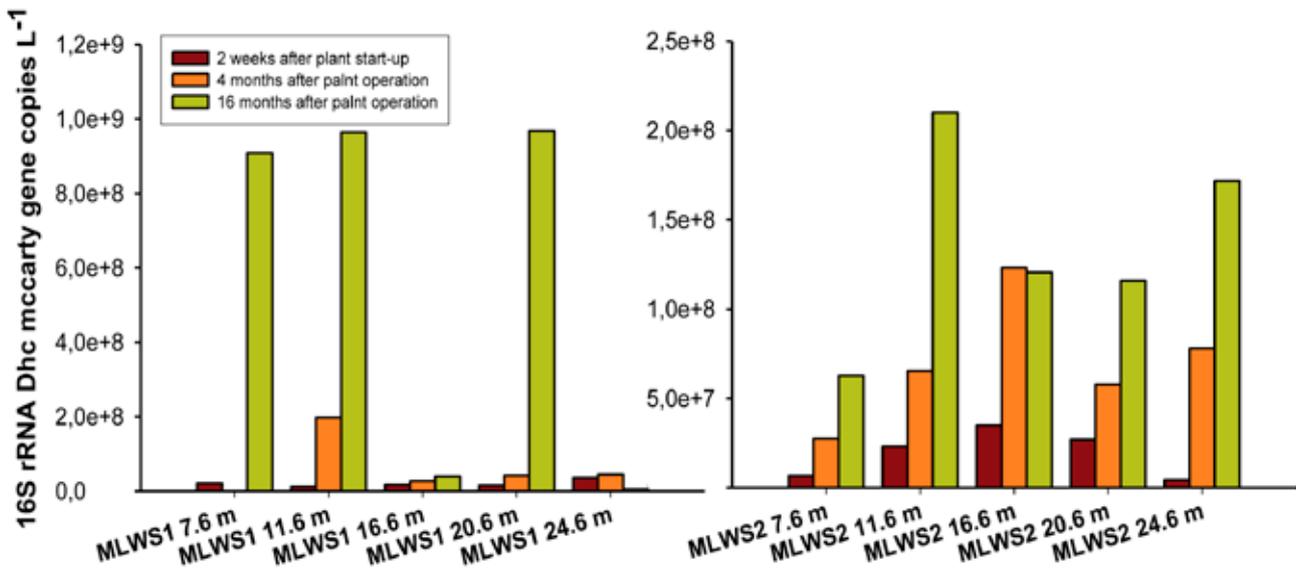


Abb. 13: Zeitliche Entwicklung der Genkopienanzahlen von Dehalococcoides (Dhc) in zwei tiefendifferenziert ausgebauten Messstellen

In den beiden benachbarten Multilevel-Messstellen zeigte sich in beinahe allen Messhorizonten eine deutliche Zunahme der Genkopien von Dhc, ein Nachweis dafür, dass bei der Schadstoffreduzierung im Untergrund biologische Prozesse eine dominante Rolle spielen. Mittlerweile wurden alle behördlichen Genehmigungen für eine umfängliche Gesamtsanierung des Areals mittels IEG-GCW® erteilt.

### 5.3 Standort in Barcelona/Spain

Im Rahmen des EU-geförderten ZIM-Forschungsprojekts **MicroBiome** wurden ein IEG-GCW®, 4 Multi-Injektions-Brunnen (MIW) und 2 Multilevel-Beprobungsbrunnen (MLSW) auf einem kontaminierten Standort im Industriegebiet Zona Franca in Barcelona installiert. Der Aquifer weist eine Mächtigkeit von 8 m auf und besteht aus unregelmäßig geschichteten Sanden unterschiedlicher Korngrößen mit schluffigen Einschaltungen. Die hydraulischen Durchlässigkeiten schwanken zwischen  $1,5 \cdot 10^{-4}$  und  $8 \cdot 10^{-5}$  m/s, als Maximalbelastung ließen sich bis 170 mg/l LHKW analysieren (Tetrachlorethen PCE, TCE, cDCE und VC). Ziel des 18-monatigen Versuchs war, ein mikrobiologisches Verfahren zur Anregung einer RD umzusetzen. Dabei sollten im Rahmen einer Grundwasserzirkulation sowohl

wechselnde Strömungsregime als auch zielführende Nährstoffformulierungen getestet werden.

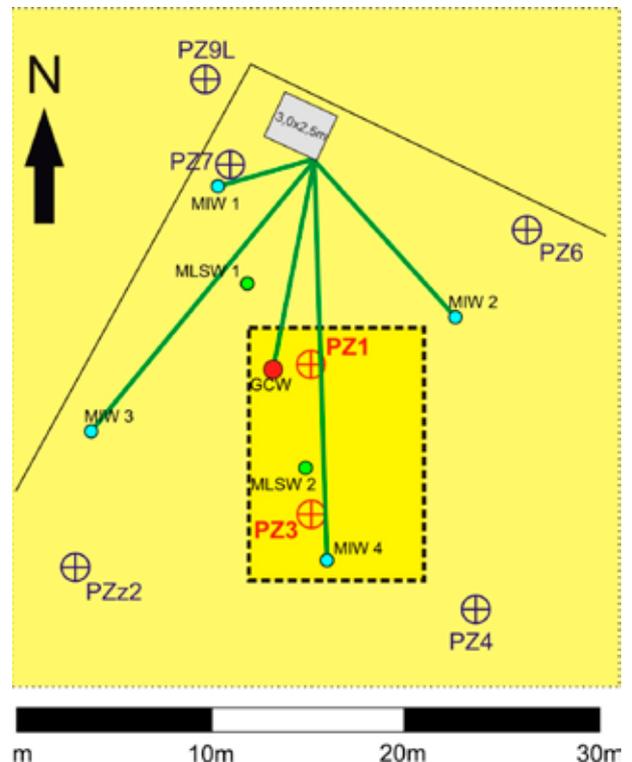


Abb. 14: Anordnung des IEG-GCW® mit umgebenden Infiltrationsbrunnen und Messstellen

Die MIW am Standort weisen jeweils 3 Infiltrationshorizonte in verschiedenen Tiefen auf und erlauben die kontinuierliche/zyklische Zugabe von Reagenzien in den Einflussbereich der Grundwasserzirkulation. Bei Nährstoffinfiltrationen in einen zentralen Zirkulationsbrunnen ließ sich in früheren Fällen häufig ein stark reaktiver Transport beobachten, d. h. die Stoffe unterlagen nach dem Abfluss aus dem Brunnen bereits nach kurzer Entfernung einer erhöhten chemisch-physikalischen Transformation bzw. einer biologischen Verstoffwechslung und erreichten so oftmals gar nicht alle relevanten Bereiche innerhalb des Einflussbereichs. Die Unterstützung der Verteilung durch MIW sollte im Rahmen dieses Projekts daher genauer untersucht werden.

MLSW werden schon seit über 20 Jahren eingesetzt und dienen zur tiefendifferenzierten Beobachtung von Konzentrationsverteilungen bzw. chemisch-physikalischen Parametern sowohl bei der Erkundung von Schadensfällen als auch beim Sanierungsmonitoring. Der oberste Beprobungshorizont befindet sich am Standort in der ungesättigten Zone, es können so neben LHKW auch Bodengase wie  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  oder  $\text{O}_2$  detektiert werden. Durch eine spezielle Gestaltung des Messstellenausbaus ließen sich auch BACTRAPs (Aufwuchskörper für Biofilme, [14]) platzieren.

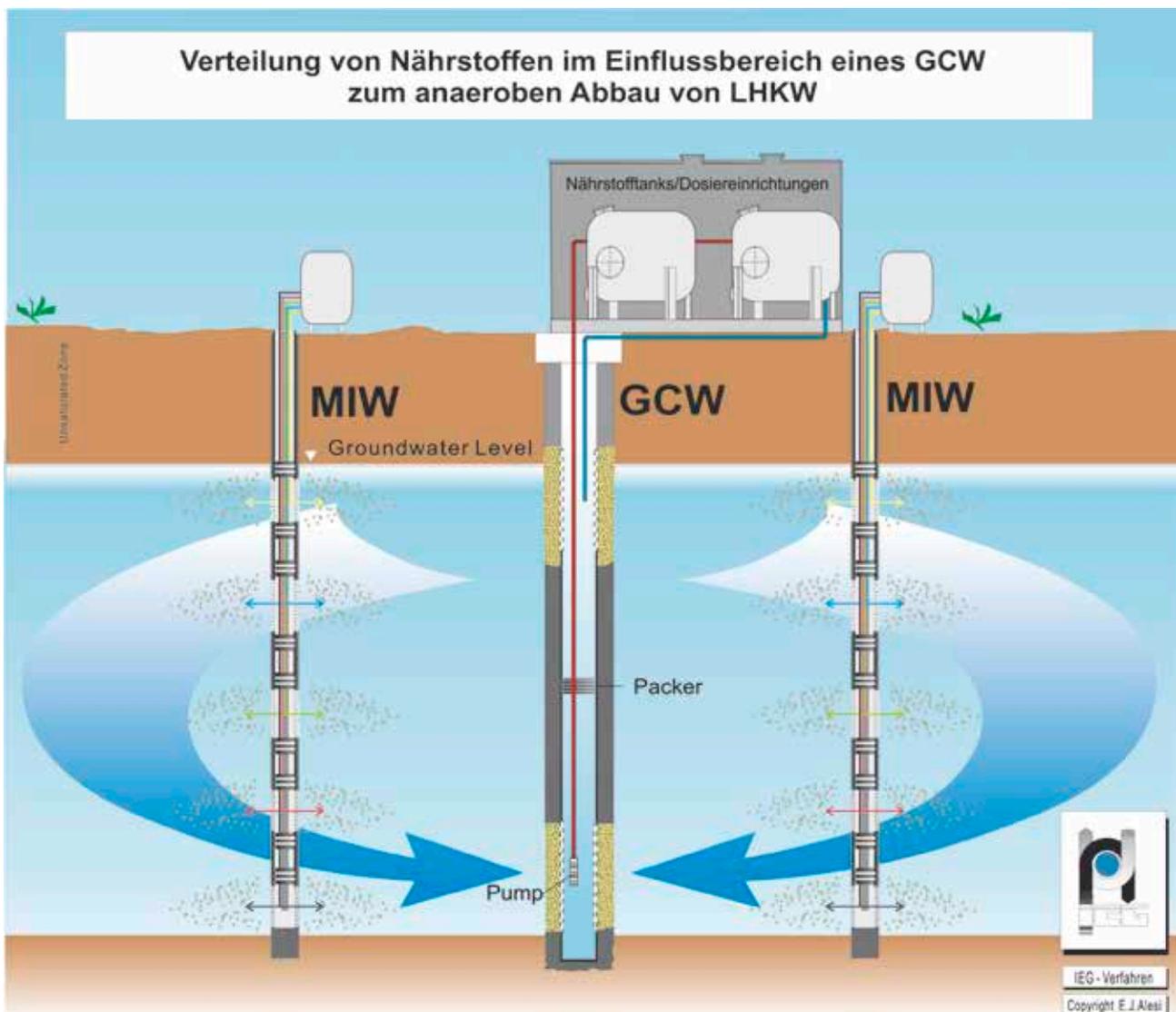


Abb. 15: Prinzipskizze der Verfahrenskombination eines IEG-GCW® mit MIW zur Verteilung von Reagenzien

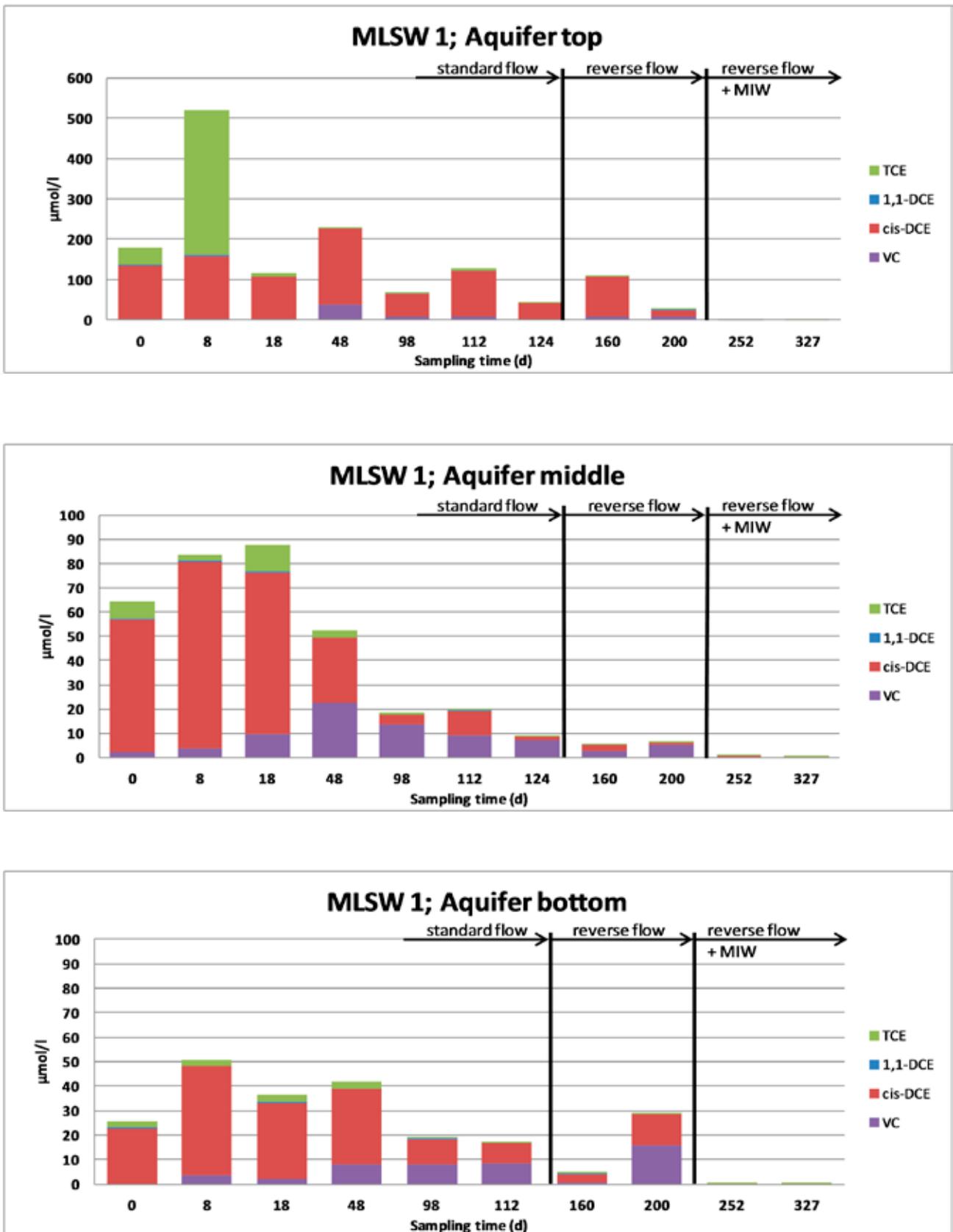


Abb. 16: Entwicklung der LHKW-Belastung in verschiedenen Aquifertiefen [15]

Dem Feldeinsatz voraus gingen Mikrokosmos-Versuche, bei denen sowohl Bodenmaterial als auch Grundwasser mit verschiedenen Nährstoffformulierungen (IEG-C-Mix) beaufschlagt wurden. Mittels NGS („Next Generation Sequencing“) ließen sich differenzierte Populationen von dehalorespirierenden Bakterien nachweisen und die für den Standort am besten geeignete Nährstoffzusammensetzung bestimmen.

Nach etwa 120 d Betrieb der Grundwasserzirkulation im Standardmodus war eine starke Abnahme des TCE und ein Anstieg von Metaboliten zu beobachten. Um den Abbau in den oberen Aquiferbereichen ebenfalls zu forcieren, wurde auf inverse Zirkulation

umgeschaltet. Dadurch gelangte mit Mikroorganismen angereichertes oberflächennahes Wasser in tiefere Aquiferzonen, im Gegenzug strömten verstärkt Schadstoffe von unten in flachere Bereiche, wo sich zuvor im Standardbetrieb abbauende Kolonien angereichert hatten. Durch begleitende Isotopenuntersuchungen in ausgewählten Messstellen ließen sich die postulierten Abbauprozesse eindeutig verifizieren. In Kombination mit der Zugabe von IEG-C-Mix führte die Anwendung der Verfahrenskombination innerhalb von nur 10 Monaten zu einem erheblichen Rückgang der Belastungen im gesamten Aquiferbereich, wodurch der Nachweis erbracht werden konnte, dass eine intelligente „Umrührtechnik“ zu einer deutlichen Verkürzung von Sanierungszeiten führt.

## Literatur:

- [1] MARGAT, J., VAN DER GUN, J. (2013): Groundwater around the World – A Geographic Synopsis. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton
- [2] ENGELHARD, W. v. (1960): Der Porenraum der Sedimente. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [3] CIRPCA, O. A., FRIND, E. O., HELMIG, R. (1999): Numerical simulation of biodegradation controlled by transverse mixing. *Journal of Contaminant Hydrology* 40, 159–182
- [4] TATTI, F., PETRANGELI PAPINI, M., SAPPÀ, G., RABONI, M., ARJMAND, F., VIOTTI, P. (2018): Contaminant back-diffusion from low-permeability layers as affected by groundwater velocity: A laboratory investigation by box model and image analysis. *Science of the Total Environment* 622–623, 164–171
- [5] ZHANG, T., KLAPPER, I. (2014): Critical occlusion via biofilm induced calcite precipitation in porous media. *New Journal of Physics* 16, 1–22
- [6] ROSENBRAND, E. (2010): Modelling biofilm distribution and its effect on two-phase flow in porous media. Diss. Universität Stuttgart
- [7] FAN, D., GILBERT, E. J., FOX, T. (2017): Current state of in situ subsurface remediation by activated carbon-based amendments. *Journal of Environmental Management* 204(Pt 2), 793–803
- [8] KEIJZER, TH., HILLER, D., SCHUREN, CH. (2006): Limiting factors for the application of chemical oxidation by  $MnO_4^-$ -injection. Konferenzbeitrag, ECOR-3, 11.–13. Sept., Göttingen
- [9] KNEER, A., GONZALES, A. A., VELUVALI, P. L., ALTSCHUH, P., ALESI, E., NESTLER, B. (2018): Groundwater remediation – numerical models and experiments. *Forschung aktuell 2018*, 59–63, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Karlsruhe
- [10] STAMM, J. (1997): Numerische Berechnung dreidimensionaler Strömungsvorgänge um Grundwasser-Zirkulations-Brunnen zur In situ Grundwassersanierung. *Fortschritt Berichte VDI, Reihe 15: Umwelttechnik*, Nr. 169
- [11] REHNER, G., ALESI, E. J. (2016): Grundwasser-Zirkulations-Brunnen (IEG-GCW®): Verteilung von Reagenzien im Untergrund. *altlasten spekturm* 03/2016, 92–98
- [12] HILLER, D., PIEPENBRINK, M., ALESI, E. (2018): Groundwater Circulation (GCW) System for Accelerated Biodegradation of CAHs under Anaerobic Conditions. Konferenzbeitrag, Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, April 8–12, Palm Springs, CA
- [13] PIERRO, L., MATTURRO, B., ROSSETTI, S., SAGLIASCHI, M., SUCATO, S., ALESI, E. J., BARTSCH, E., ARJMAND, F., PETRANGELI PAPINI, M. (2017): Polyhydroxy-

alkanoate as a slow-release carbon source for in-situ bioremediation of contaminated aquifers: From laboratory investigation to pilot-scale testing in the field. *New Biotechnology* 37, Part A, 60–68

- [14] EISENMANN, H., FISCHER, A. (2018): Zehn Nachweismethoden zum Schadstoffabbau in Atlanten – Erfahrungen aus 12 Jahren Praxiserfahrung. Konferenzbeitrag, Fortbildungsverband Baden-Württemberg, 12. April, Ludwigsburg

- [15] BADIA-FABREGAT, M., JUBANY, I., TRAVESA, F., CENTRICH, P., CENTRICH, R., ALESI, E. J., ESSLINGER, M., ALESI, M., REHNER, G., LAXMIPATHY, P., GONZALEZ, A. A., KNEER, A., NESTLER, B. (2018): Groundwater circulation well technology (IEG-GCW®) for enhanced natural attenuation of TCE and PCE. Konferenzbeitrag, 7<sup>th</sup> European Bioremediation Conference & 11<sup>th</sup> ISEB Conference, June 25–28, Chania, Greece

# Verfahrensumstellung nach 25 Jahren BLA und P&T - was bringt jetzt noch eine thermische Sanierung?

MICHAEL WOLF & UWE HIESTER

## 1 Strom bewegt

Mit der Entdeckung des elektrischen Stroms war es möglich, Energie theoretisch über beliebige irdische Entfernungen zu transportieren. Der Impuls des Elektronenflusses wird mit annähernd Lichtgeschwindigkeit weitergegeben. Elektrischer Strom kann zudem in fast jede beliebige andere Energieform umgewandelt werden, so auch in Bewegung und Energie.

Bei einer konventionellen Bodenluft-Sanierung kommen Seitenkanalverdichter zum Einsatz. Hier wird also elektrische in kinetische Energie umgewandelt. Es entsteht im Untergrund ein Unterdruck. Flüchtige

Schadstoffmoleküle, zunächst noch an die Bodenmatrix gebunden, wandern zu den Bodenluftpegeln.

Doch was passiert, wenn zusätzlich Strom in thermische Energie verwandelt wird und diese mit Heizlanzen in die Bodenmatrix konduktiv eingebracht wird? Die Moleküle wandern nicht mehr – sie rennen!

Hier ein Rückblick auf eine 25-jährige Wanderschaft (konventionelle Sanierung) und ein anschließendes 2¼-jähriges Rennen (thermische in-situ Sanierung (TISS)).

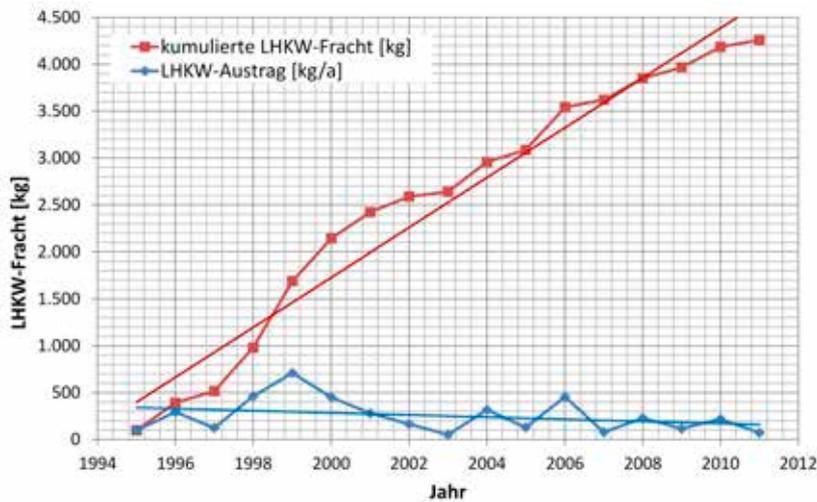
## 2 Rückblick

Auf einem Industriestandort wurden seit 1950 Dichtungsplatten und Armaturen für die Automobilindustrie hergestellt. Auf dem rd. 30 000 m<sup>2</sup> Betriebsgelände befindet sich heute ein Motorenprüfstand. In der Produktion kam es zur Anwendung von Trichlorethen (TCE) als Lösemittel und zur Lagerung von Benzin, Toluol u. a. in vier unterirdischen Tanks. Das TCE wurde in einer Rückgewinnungsanlage recycled. Im Jahr 1983 wurden in einem 54 m tiefen Betriebsbrunnen Belastungen mit TCE bis zu 370 µg/l festgestellt. Die Untere Wasserbehörde (UWB) sah die Notwendigkeit vertiefender Untersuchungen, auch wegen der potentiellen Gefährdung eines 800 m entfernten Trinkwasserbrunnens. Daher wurden weitere Untersuchungen und Sanierungsmaßnahmen angeordnet.

Zunächst wurden 16 Sondierungen bis 2 m u.GOK abgeteuft und bis zu 136 mg/m<sup>3</sup> LCKW festgestellt. Im Folgenden wurde die konventionelle Sanierung auf dem Motorenprüfstand eingeleitet:

Wegen der Belastungen mit TCE und BTEX-Aromaten wurde die Bodenluft in vier Absaugbrunnen zwischen 2-10 m unter Gelände mit Seitenkanalverdichtern abgesaugt. Am ehem. Betriebsbrunnen 1 erfolgte ab 1989 eine Grundwassersanierung. Von der Unteren Wasserbehörde wurden verbindliche Sanierungsziele für Bodenluft und Grundwasser festgelegt. Im Jahr 2005 wurde der Sanierungsfall von der Unteren Wasserbehörde auf das Regierungspräsidium Darmstadt übertragen.

Die Grundwasserbelastung verringerte sich im Sanierungsverlauf der pump-and-treat Sanierung (P&T) von anfänglich bis zu 1 800 µg/l (1990) auf unter 6 µg/l (2011). Von 1995 bis Ende 2011 wurden über 4 259 kg CKW, 480 kg BTEX und 2 678 kg Kohlenwasserstoffe aus dem Untergrund beseitigt (Abb. 1). Die jährlichen Austragfrachten über die Bodenluftabsaugung (BLA) blieben jedoch weitestgehend konstant.



**Abb. 1:** Konventionelle Bodenluftabsaugung und Pump and Treat: LHKW-Austrag und kumulierte Fracht

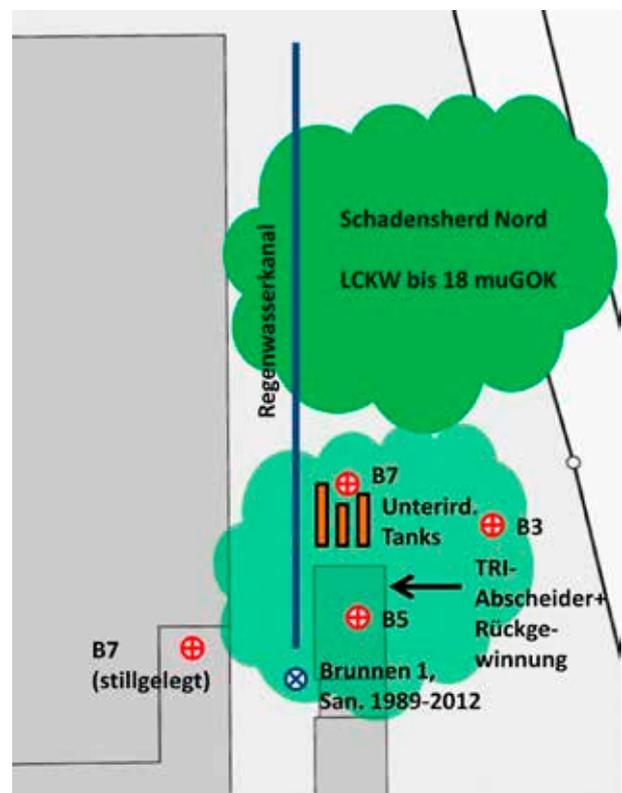
Da in jedem Sanierungsjahr nahezu die gleichen Schadstofffrachten ausgetragen wurden, vermutete das RP-Darmstadt eine unbekannte Schadstoffquelle mit einem erheblichen Nachlieferungspotential. Es war abzusehen, dass die von der Unteren Wasserbehörde festgelegten Sanierungsziele mit den zum Einsatz kommenden technischen Mitteln nicht erreicht werden konnten. Im Jahr 2011 riet das Regierungspräsidium dem Unternehmen zu weiteren eingrenzenden Untersuchungen: Eine zielgerichtete Quellsanierung könnte in Zukunft die hohen laufenden Kosten ersparen.

Im Rahmen einer erweiterten Standorterkundung wurden u.a. nördlich des Tanklagers auch in größerer Tiefe (bis 18 m unter Gelände) erhebliche Schadstoffgehalte ermittelt (Abb. 2). Als Quelle der lateralen Schadstoffausbreitung wurden Havarien im Bereich eines möglicherweise undichten Regenwassersammlers vermutet.

Nun musste die konventionelle Sanierung auf den Prüfstand. Im Rahmen eines Sanierungsaudits schieben ein großvolumiges Ausbohren oder das Fortführen der kalten Bodenluftabsaugung aus. Im Konsens entschied man sich für das THERIS®-Verfahren als wirtschaftlichste Variante zur Sanierung eines fast 3000 m<sup>2</sup> umfassenden Schadensherdes. Im Dezember 2015 wurde mit der THERIS®-Sanierung begonnen.

Im Juni 2016, beim Altlastenseminar des HLNUG, wurden die ersten Ergebnisse dieser Sanierung vor-

gestellt [6]. Die Anlagen zur Sanierung konnten im Anschluss an das Seminar vom Auditorium in Augenschein genommen werden. Jetzt, 2 Jahre später, ist die Sanierung nahezu abgeschlossen. Nachfolgend werden Sanierungsverfahren und Sanierungsverlauf erläutert.



**Abb. 2:** Lageplan der bisherigen Sanierungseinrichtungen und des bis dato unbekanntes Schadstoffherdes

### 3 Thermische in-situ Sanierung mit dem THERIS®-Verfahren (feste Wärmequellen)

Thermische in-situ Sanierungen (TISS) zeichnen sich durch eine erhebliche Steigerung des Schadstoffaustrags aus, verglichen mit konventionellen Sanierungen (BLA, P&T) [4]. Bei leichtflüchtigen Stoffen wie CKW und BTEX erfolgt der Austrag vornehmlich über eine Bodenluftabsaugung, bei Ölphasen maßgeblich über eine hydraulische Förderung. Dieser Anstieg beträgt bei CKW und BTEX, in Abhängigkeit vom Sanierungsbetrieb, bis zum 20-fachen der Ausgangsfrachten der Bodenluftabsaugung bei natürlichen Bodentemperaturen (Abb. 3) [2]. Charakteristisch für thermische in-situ Sanierungen sind drei Betriebsphasen. In der Aufheizphase steigen die Temperaturen im Boden und Grundwasser an. Dies bedingt einen Anstieg der Schadstofffracht (Abb. 3, Phase (1)). Das Maß der Erwärmung ist abhängig vom Sanierungsbereich (Boden, Grundwasser) und den zu sanierenden Schadstoffen. Ist die Sanierungstemperatur erreicht, erfolgt die eigentliche Sanierungsphase. Die Schadstofffracht steigt weiter an und erreicht ihr Maximum. Insbesondere in dieser Phase ist ein zuverlässiger Anlagenbetrieb sehr wichtig. Das Maximum der Schadstofffracht bedeutet den Wendepunkt in der Austragssummenkurve (Abb. 3, Phase (2)). Die Schadstofffracht ist bei weiterhin hohen Temperaturen stetig rückläufig. Der Schadensherd ist beseitigt. Bei vielen Sanierungen wird zu diesem Zeitpunkt der Heizbetrieb eingestellt.

Optional kann weiterhin eine Schadstoffförderung erfolgen (Abb. 3, Phase (3)). Hiermit werden Restbelastungen oder randlich gelegene Belastungen gefördert. Die Schadstofffracht in dieser Phase ist insgesamt gering. Sie nutzt aber die in Boden und Grundwasser vorhandene Restwärme angemessen aus. Durch den eingestellten Heizbetrieb kühlen Boden und Grundwasser ab.

Dieser schnelle Schadstoffaustrag ist bedingt durch den exponentiell mit der Temperatur ansteigenden Dampfdruck und das Gemischsieden von Wasser und Schadstoffphase (auch als Wasserdampfdestillation bekannt). Der Siedepunkt des Wasser-Schadstoff-Gemisches liegt dabei stets unterhalb der Siedepunkte seiner Einzelstoffe (Abb. 4, rechts). Schadstoffphase mit einem Siedepunkt von bis zu etwa 220 °C wird so bei Temperaturen < 100 °C vollständig verdampft (Abb. 4, z. B. PCE) [3], [4]. Zudem verringert die Bodenluftabsaugung den Absolutdruck im Boden, so dass TCE und Toluol bereits bei Temperaturen unter 80 °C vollständig in der Gasphase vorliegen. Eine Sanierung der leichtflüchtigen CKW und BTEX erfolgt somit unterhalb des Siedepunktes von Wasser und trocknet den Boden zwischen den Wärmequellen nicht vollständig aus [2]. Durch diese Prozesse verdampfen leichtflüchtige Schadstoffe wie CKW und BTEX etwa 10–20 mal schneller als bei einer kon-

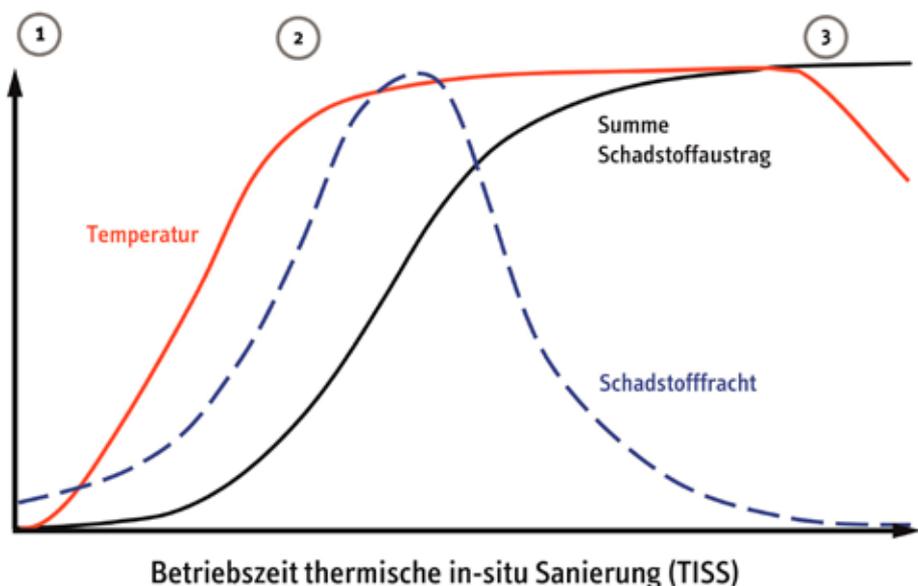


Abb. 3: Schematischer Sanierungsverlauf mit (1) Aufheizphase, (2) Sanierungsphase und (3) optionaler Nachreinigungsphase

ventionellen Bodenluftabsaugung bei natürlichen Bodentemperaturen (10–15°C).

Durch die Entfernung der CKW und BTEX im Schadensherd wird eine Nachlieferung der Schadstoffe ins Grundwasser dauerhaft unterbunden. Eine nachhaltige Verbesserung der Grundwasserqualität konnte an anderen Standorten schon kurz nach Beendigung von thermischen in-situ Sanierungen gemessen werden [3], [5]. Hierbei war beispielsweise bei CKW-Belastungen eine Reduktion der Grundwasserbelastung auf einige 100ter µg/l CKW zum Ende einer thermischen in-situ Sanierung ausreichend, um nach dem Abkühlen auf natürliche Temperaturen Belastungen unter 10 µg/l zu erreichen [3].

Die Wahl des Heizverfahrens wird maßgeblich von der Hydrogeologie bestimmt. Bei gut durchlässigen Sanden und Kluftgesteinen haben sich Dampfinjektionen mit gleichzeitiger Injektion von Luft bewährt (TUBA®-Verfahren) [4].

Zur Sanierung bindiger Böden und geringleitender Wasserschichten (z. B. Schluff, Lehm, Mergel, Ton) hat sich das THERIS®-Verfahren als wirtschaftliches Verfahren etabliert [4]. Hierbei werden feste Wärmequellen in den Schadensherd eingebaut und auf bis

zu 600 °C erhitzt (Abb. 5). Über Wärmeleitung und konvektive Prozesse werden Boden und Wasser zwischen den Heizelementen erhitzt. Die verdampften Schadstoffe werden über eine Bodenluftabsaugung sicher erfasst und die Abluft gereinigt.

Am Standort wurde eine thermische in-situ Sanierung (TISS) der hoch mit CKW und BTEX belasteten, gering durchlässigen Schadenszentren auf einer Gesamtfläche von etwa 3 000 m<sup>2</sup> umgesetzt. Aus der Standorterkundung sind ein oberflächennäheres und ein tiefer gelegenes Schadenszentrum zu unterscheiden. In beiden Bereichen wurden insgesamt mehrere hundert Heizelemente und über 150 Bodenluftabsaugbrunnen installiert, die zu Sammelsträngen zusammengefasst wurden (THERIS®-Verfahren). Die Bodenluft wurde mit Vakuumpumpen abgesaugt und mit Luftaktivkohle gereinigt.

Ergänzend erfolgte eine hydraulische Abstomsicherung aus mehreren Brunnen. Zur Reinigung des belasteten Wassers wurde die vorhandene Stripanlage genutzt. Die Sanierungsanlage und sanierungsrelevante Parameter wurden kontinuierlich messtechnisch überwacht und ingenieurtechnisch ausgewertet.

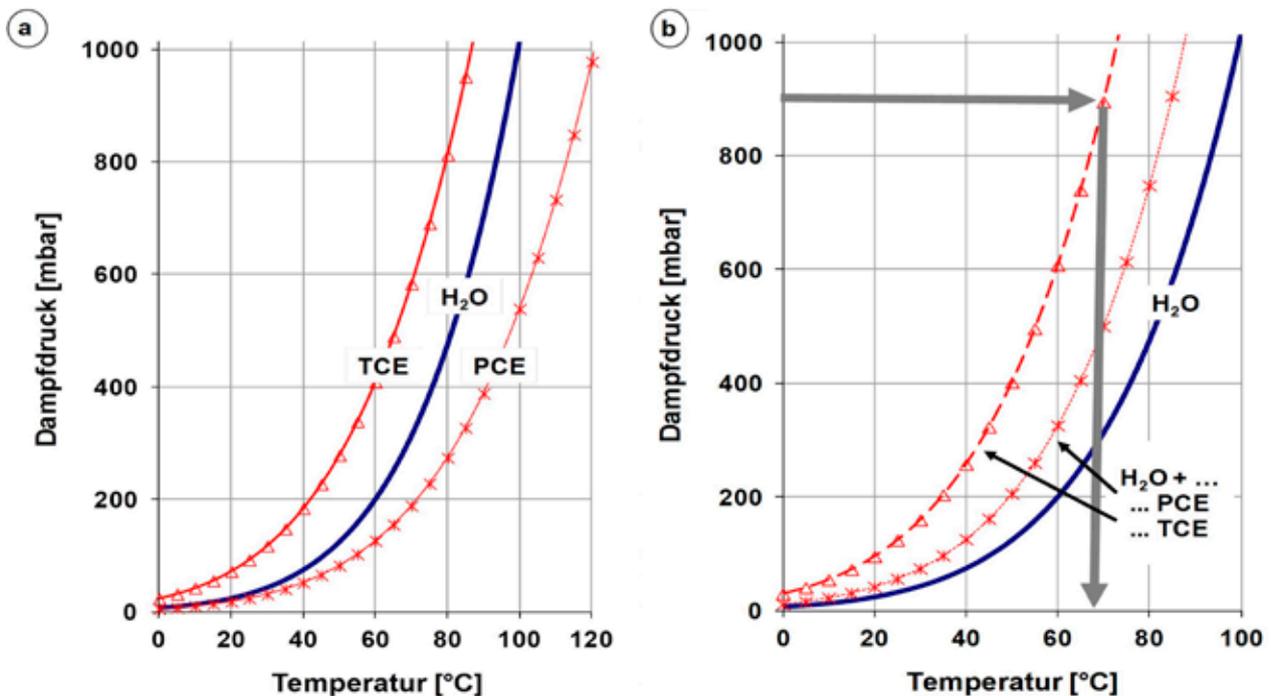
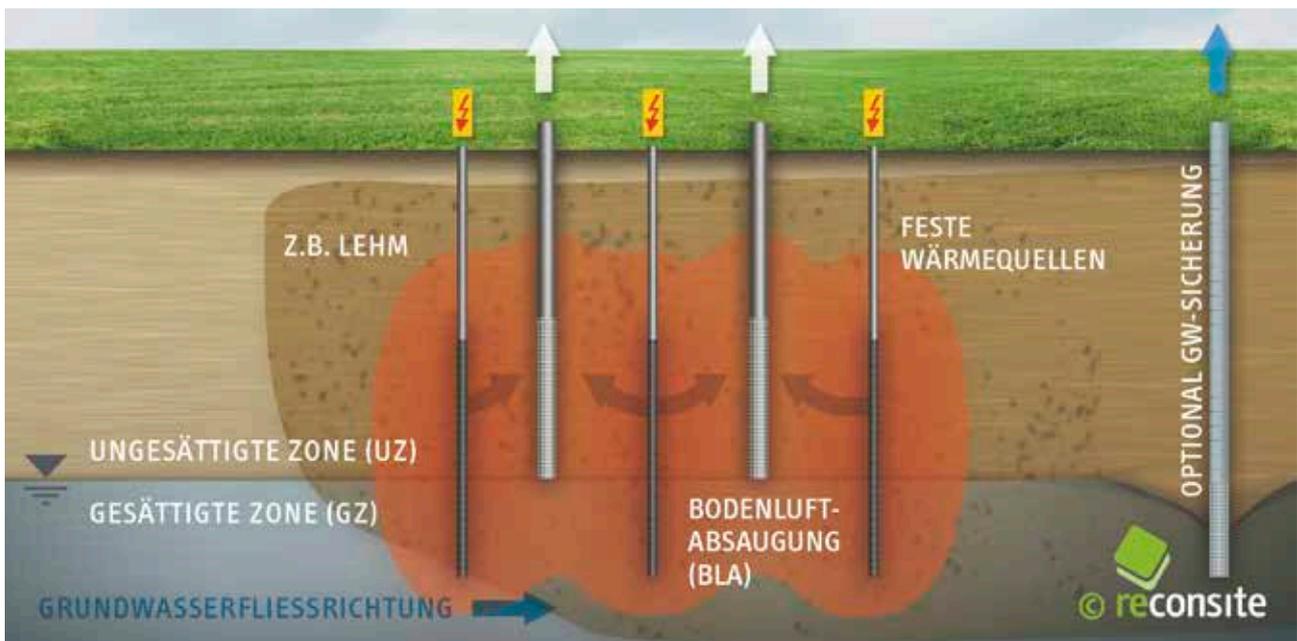


Abb. 4: links: Dampfdruckkurve von PCE (Tetrachlorethen), Wasser und TCE (Trichlorethen); rechts: Gemischsieden von PCE bzw. TCE mit Wasser



**Abb. 5:** Schematische Darstellung des THERIS®-Verfahrens (thermische in situ Sanierung mit festen Wärmequellen zur konduktiven Erwärmung von geringdurchlässigen Böden)

## 4 Erfahrungen mit der thermischen in-situ Sanierung

In der Planungsphase war aus Kostengründen eine Unterteilung der Gesamtfläche in vier Teilflächen vorgesehen [6]. Im Betrieb stellte sich heraus, dass sich in Bereichen neben noch belasteten Arealen keine schnelle Abreinigung erzielen ließ. Über die Bodenluftabsaugung im beheizten Bereich wurde zu viel Schadstoff aus noch unbeheizten Arealen des Schadensherdes herangezogen. Daher wurde die Bearbeitung der Teilflächen auf einen partiellen Umbau der Sanierungstechnik umgestellt (Abb. 6b). Hierzu wurde der Sanierungsfortschritt randlich gelegener Bereiche anhand von separaten Absaugversuchen vor Ort mit einem mobilen Gaschromatographen bestimmt.

Nach Freigabe durch die Behörde wurde zunächst bei mäßigen Bodenluftbelastungen der Heizbetrieb und danach bei geringen Bodenluftbelastungen der Absaugbetrieb eingestellt. Nach Freigabe zur Deinstallation der Sanierungstechnik in einem Teilbereich wurde diese in noch belastete Bereiche im Schadensherd wieder eingebaut. Dieses Vorge-

hen ermöglichte es, den gesamten Schadensherd in rund 2 ¼ Jahren zu beseitigen. Charakteristisch für die einzelnen Betriebsphasen waren die jeweiligen Austragsspitzen, wie bereits in Abb. 3 schematisch erläutert (Abb. 6a). Im gesamten Sanierungsverlauf variierten die Austragsfrachten zwischen < 10 kg/Woche bis > 120 kg/Woche. Ebenso ist ersichtlich, dass sich die Zusammensetzung der Austräge (TCE vs Toluol) im Abhängigkeit vom Sanierungsbereich deutlich veränderte (Abb. 6a). Die Geschwindigkeit der Änderungen in wenigen Wochen verdeutlicht die Notwendigkeit eines routinierten Sanierungsmanagements, basierend auf einem soliden Prozessverständnis und automatisierter Prozessüberwachung mit Fernzugriff.

Insgesamt wurden rund 5 100 kg Schadstoff aus Boden und Grundwasser mit dem THERIS®-Verfahren zurückgewonnen (Abb. 6a). Hiervon entfielen rund 77 % auf CKW und rund 23 % auf BTEX (hiervon 88 % Toluol).

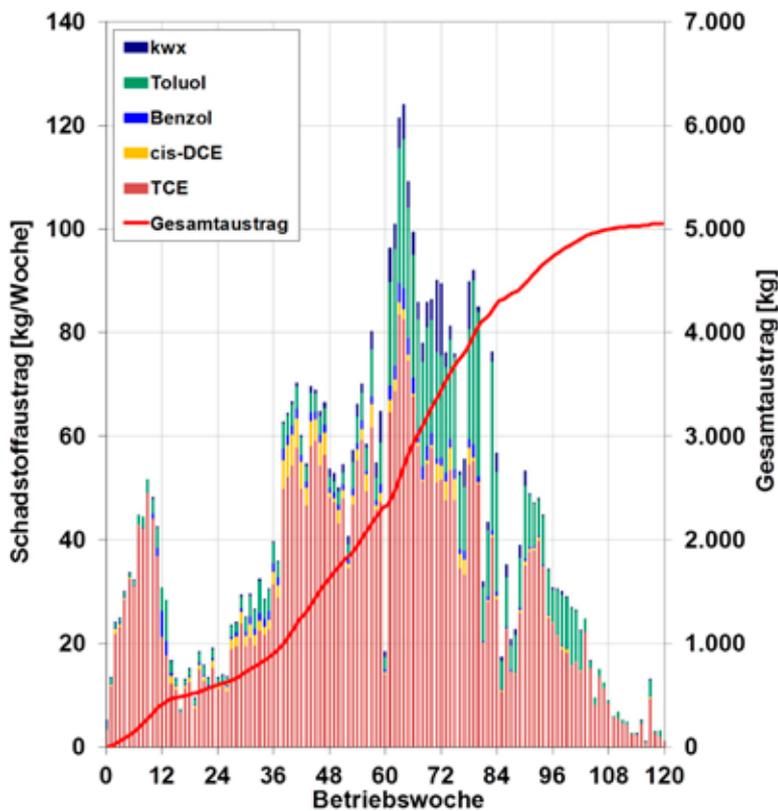


Abb. 6: (a) Wochenausstrag nach Schadstoff und Austragssummenkurve (rote Linie) beim THERIS®-Verfahren in gering durchlässigem Boden (b) Blick auf die thermische in-situ Sanierung

## 5 Verfahrensvergleich und Sanierungserfolg

Mit den auslaufenden Sanierungsarbeiten am Standort darf der Versuch einer ganzheitlichen Bewertung gewagt werden. In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurden am Standort durch den Einsatz chlorierter und aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Produktion über 10 Tonnen CKW und BTEX in die Umwelt freigesetzt. Die nächste Generation nahm sich dieser Altlast an und sanierte diese seit den 1990er Jahren. Hierbei wurden mit der konventionellen Bodenluftabsaugung und einer hydraulischen Grundwassersanierung in >20 Jahren über 5 Tonnen Schadstoff gefördert. Trotz dieses Erfolges war mit diesen Verfahren ein Sanierungsende nicht prognostizierbar. Die Altlast wäre auf die nächsten ein bis zwei Generationen übertragen worden (Abb. 7, Austrags-Projektionen).

Durch die Umstellung auf eine thermische in-situ Sanierung (TISS) mit dem THERIS®-Verfahren wur-

den in rund 2 ¼ Jahren nochmals über 5 Tonnen Schadstoffe aus dem Untergrund entfernt. Durch die thermische Sanierung wurde die durchschnittliche Monatsfracht an CKW und BTEX (bei der konventionellen Sanierung rund 20 kg/Monat) um rund das 10-fache gesteigert. Hieraus resultiert eine Verkürzung der Sanierungszeit um mehrere Jahrzehnte verglichen mit der konventionellen Sanierung. Der effiziente Einsatz von thermischer Energie entlastet daher die nachfolgenden Generationen von dieser Altlast.

Zur Verifizierung des Sanierungserfolgs wurden im Frühjahr 2018 Absaugtests durchgeführt. Hierzu wurden Bodenluftabsaugpegel ausgewählt, die vor rund 15 Monaten außer Betrieb genommen wurden. Exemplarisch sind in Abb. 8 die Ergebnisse der Absaugversuche an einer Zweier-Gruppe BLA-Pegel zusammengestellt, die sich im Einflussbereich der

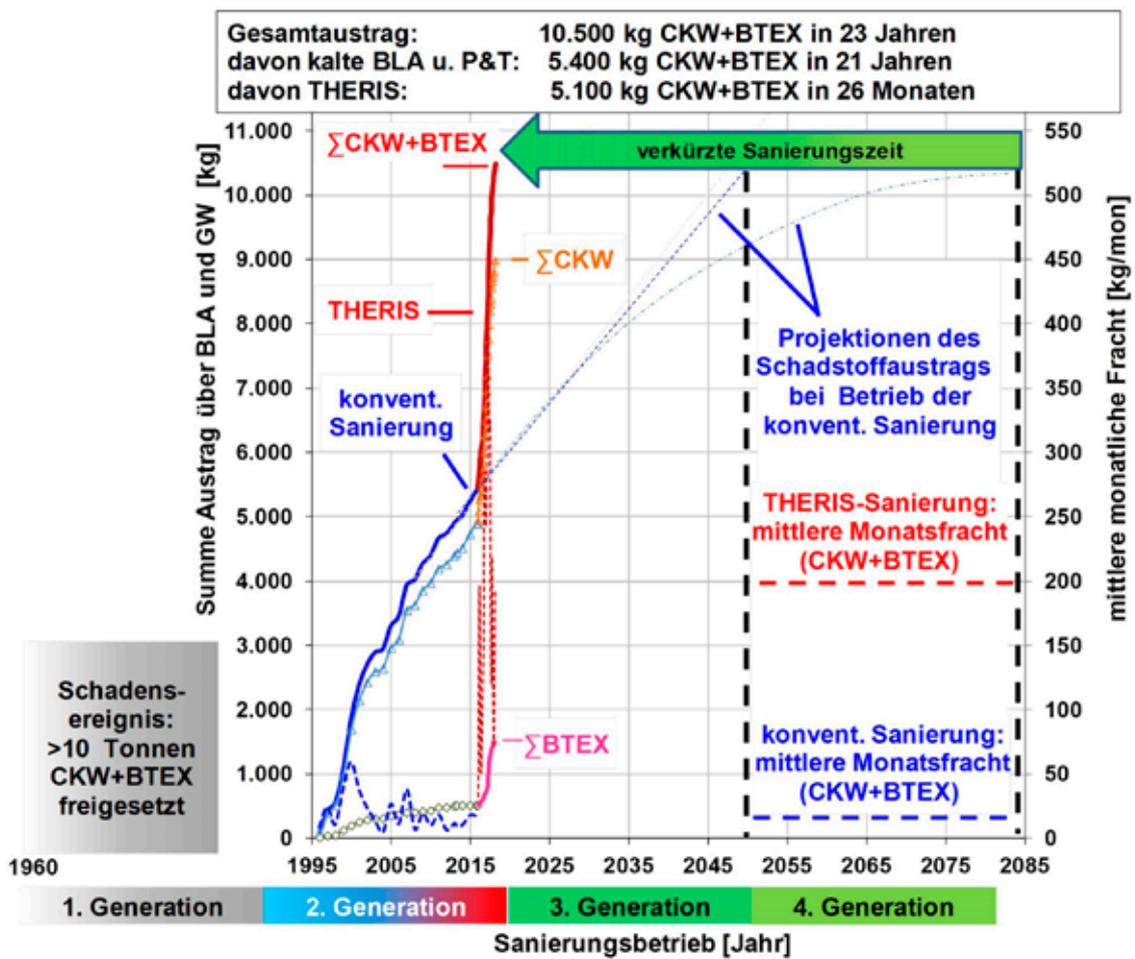


Abb. 7: Schadstoffaustrag mit der konventionellen und der thermischen Sanierung (THERIS®-Verfahren) sowie Prognosen zum weiteren Schadstoffaustrag mit der konventionellen Sanierung (linearer Schadstoffaustrag = best case)

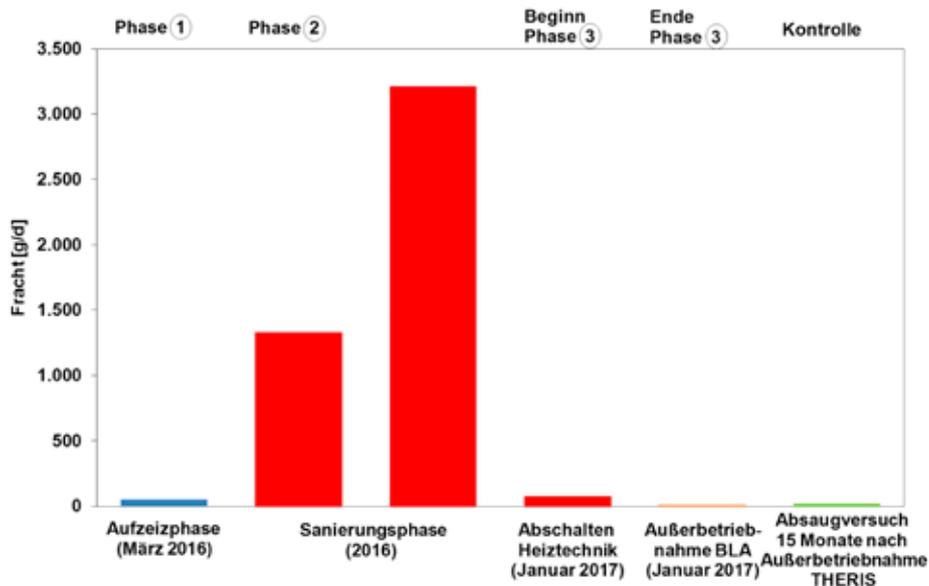


Abb. 8: Beispiel zur Veränderung der Austragsfracht (Summe CKW+BTEX). Hierzu wurden zwei BLA-Pegel gleichzeitig in verschiedenen Sanierungsphasen abgesaugt (Sanierungsphasen vgl. Abb. 3).

zuvor betriebenen konventionellen Bodenluftabsaugung befanden. Zum Beginn der thermischen Sanierung (Aufheizphase) lag der Schadstoffaustrag dieser Pegel bei < 100 g/d. Die Verfügbarkeit von Schadstoffen in der Bodenluft war durch Diffusion und Sorption an der bindigen Bodenmatrix limitiert. Mit der Erwärmung wurden diese Limitierungen überwunden.

## 6 Fazit

Im Rahmen eines Sanierungsaudits wurde nach über 20 Jahren Grundwasserreinigung und Bodenluftabsaugung die Effizienz der Sanierung analysiert und bewertet. Hierbei ergab sich, dass die BLA mit Seitenkanalverdichtern im bindigen Boden nur eine geringe Reichweite erzielte und die Ausbreitung der CKW und BTEX in den 1980er Jahren nach heutigen Maßstäben unzureichend erkundet waren.

Basierend auf den Ergebnissen des Sanierungsaudits ergab sich eine Umstellung der Sanierungsstrategie hin zu einer schnellen Herdsanierung. Im Verfahrensvergleich mit einer konventionellen Bodenluftsanierung oder Großbohrungen zeigte das THERIS®-Verfahren wirtschaftliche Vorteile und wurde als deutlich nachhaltiger bewertet [7].

Der Austrag aus diesen Pegeln stieg bei der TISS zeitweise auf über 3000 g/d an. Nach stetig rückläufigem Austrag auf geringem Niveau wurden nacheinander Heizelemente und Bodenluftabsaugung außer Betrieb genommen. In dem jetzt erfolgten Absaugversuch wurden die geringen Bodenluftbelastungen wie zum Zeitpunkt der Außerbetriebnahme bestätigt.

Bedingt durch die Erwärmung des bindigen Bodens mit festen Wärmequellen verdampften die Schadstoffe schnell und wurden gezielt über eine Bodenluftabsaugung und eine hydraulische Sicherung gefasst. Während der Sanierungszeit von 2 ¼ Jahren wurde knapp die gleiche Masse an Schadstoff ausgebracht wie in den über 20 Jahren der früheren konventionellen, kalten Absaugung bei natürlichen Bodentemperaturen. Mit einem spezifischen Energieverbrauch von < 1000 kWh/kg ist die THERIS®-Sanierung an diesem Standort als effizient zu bewerten [1]. Die Einschätzungen beim Sanierungsaudit hinsichtlich einer nachhaltigen Herdsanierung mit dem THERIS®-Verfahren [7] haben sich bestätigt.

## Literatur

- [1] ALTENBOCKUM, M. et al. (2000): ITVA Richtlinie Bodenluftabsaugversuch, Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V. Berlin.
- [2] HIESTER, U.: Technologieentwicklung zur In-situ-Sanierung der ungesättigten Bodenzone mit festen Wärmequellen. Promotionschrift, Institut für Wasserbau, Eigenverlag (Publ.), Mitteilungsheft Institut für Wasserbau, 9.2009 (178) Universität Stuttgart, ISBN: 978-3-933761-82-8.
- [3] HIESTER, U. & BIEBER, L.: Dominierende Prozesse bei der thermischen In-situ-Sanierung (TISS) kontaminierter Geringleiter. Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (2017) 22: 185-19, ISSN 1430-483X print.
- [4] HIESTER, MÜLLER, KOSCHITZKY, TRÖTSCHLER, ROLAND, HOLZER: Leitfaden: Thermische in situ Sanierungsverfahren (TISS) zur Entfernung von Schadensherden aus Boden und Grundwasser. Gefördert v. Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmbf) u. v. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ). August 2012.
- [5] HIESTER, U. & MÜLLER, M.: Complex boundary conditions for in-situ thermal treatments (ISTT) conducted during land recycling and remediation beneath buildings. AquaConSoil 2015 Copenhagen. Proceedings of the 13th International UFZ-Deltares Conference on Sustainable Use and Management of Soil, Sediment and Water Resources, 09.-12. June 2015.

- [6] HIESTER, U. & WOLF, M. (2016): Thermische in-situ Sanierung von CKW und BTEX - Konventionelle Sanierung auf dem Prüfstand. Altlasten-annual 2016, S. 57–65, Wiesbaden, ISBN: 978-3-89531-875-7.
- [7] PEINE, M. (2016): Nachhaltigkeit bei der Altlastensanierung – Bewertungskonzept und Fallbeispiele. Altlasten-annual 2016, S. 93–95, Wiesbaden, ISBN: 978-3-89531-875-7.



# Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasser- verunreinigungen - Vorstellung der 3. Auflage mit dem Schwerpunkt „Verhältnismäßigkeit“

BERTHOLD MEISE

## 1 Veranlassung und Zielsetzung

Wenn durch den unsachgemäßen Umgang mit wassergefährdenden Stoffen eine Grundwasserverunreinigung eingetreten ist, gelten in Hessen für die Entscheidung über eine Grundwassersanierung die Vorgaben der Verwaltungsvorschrift zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen (GWS-VwV) [1].

Zur Erläuterung und fachlichen Konkretisierung wurde im Jahr 2008 von einer Arbeitsgruppe die Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen, Handbuch Altlasten Band 3 Teil 7 erarbeitet [2]. Dabei beschäftigte sich die Arbeitshilfe insbesondere mit der Frage, ob eine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt und ob diese klein, mittel oder groß ist. Insofern lag der Schwerpunkt in der fachlichen Konkretisierung der Nummer 4 „Schädliche Grundwasserverunreinigung“ der GWS-VwV.

Mit der 2. Auflage aus dem Jahr 2013 wurden die Bezüge zum Wasserrecht (WHG, HWG, GWS-VwV) aktualisiert [3–5]. Darüber hinaus wurde der Anhang 8 „Ableitung von Grundwasser – Wiederver-sickerung, Einleitung in Abwasseranlagen und oberirdische Gewässer“ neu gefasst.

Im April 2015 beauftragte das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz eine zweite Arbeitsgruppe aus Vertreterinnen und Vertretern der Vollzugsbehörden, des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie sowie des Ministeriums. Die Arbeitsgruppe sollte Lösungen erarbeiten, wie Grundwasser saniert wird und wie die Verhältnismäßigkeit von langlaufenden Pump & Treat-Maßnahmen geprüft werden kann. Die vorliegende 3. Auflage geht diesen Fragen nach und konkretisiert insofern die Nummer 5 „Sanierung“ der GWS-VwV [6].

## 2 Aufbau und Gliederung

Die Arbeitshilfe führt im Kapitel 3 die zwei Bewertungskriterien „Menge und Fracht im Grundwasser“ ein. Menge und Fracht können dann durch Eingabe spezifischer Falldaten und Kenngrößen, die das Gefährdungspotenzial beschreiben, in „klein“, „mittel“ und „groß“ klassifiziert werden. Hierzu steht ein EXCEL-Auswertetool bereit. Im Ergebnis kann auf diesem Weg beurteilt werden, ob eine Grundwasserverunreinigung „gering“, „mittel“ oder „groß“ ist [3]. Entsprechender Handlungsbedarf wird formuliert und Bagatellfälle werden ausgeschieden. Diese Vorgehensweise findet heute, 10 Jahre nach der ersten

Veröffentlichung, flächendeckend Anwendung in Hessen.

In Kapitel 4 geht die Arbeitshilfe der Frage nach, wie saniert werden muss. Dabei spielen die Festlegung des Sanierungsziels und die Verhältnismäßigkeit einer Sanierungsmaßnahme eine entscheidende Rolle.

Bei einer langlaufenden Grundwassersanierung stellt sich die Frage, ob die Maßnahme beendet werden kann, obwohl das Sanierungsziel nicht erreicht wurde. Für langlaufende Pump & Treat-Maßnahmen

wird in Kapitel 4 ein Algorithmus definiert, der erkennen lässt, ob eine erneute Prüfung der Verhältnismäßigkeit angezeigt ist. Der Prüfungsablauf des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes wird in vier Schritten beschrieben. In den ersten beiden Schritten sind relevante Daten zusammenzustellen, die zur Prüfung benötigt werden. Hierzu steht das EXCEL-Aus-

wertetool „Sanierungsverlauf“ zum download bereit. Im dritten Schritt erfolgt die eigentliche Verhältnismäßigkeitsprüfung, die Aufgabe der Bodenschutzbehörde ist. Die Behörde trifft die abschließende Entscheidung. Im letzten Schritt werden mögliche Konsequenzen aus der Prüfung aufgezeigt. Anhand eines Fallbeispiels wird das Verfahren erläutert.

### 3 Zielgruppe

Die Arbeitshilfe soll in erster Linie für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der hessischen Vollzugsbehörden, aber auch für die Sanierungspflichtigen und

die mit der Bearbeitung von Schadensfällen befassten Sachverständigen eine nützliche Hilfe sein.

## 4 Sanierung von schädlichen Grundwasserverunreinigungen

Im Bodenschutzrecht umfasst die Sanierung Maßnahmen zur Dekontamination und zur Sicherung. Dekontamination bedeutet, dass die Schadstoffe mit dem Ziel der Gefahrenbeseitigung dauerhaft entfernt werden [7]. Damit fallen unter den Begriff Dekontamination auch Maßnahmen, die nur eine Teil-Dekontamination zum Ziel haben. Sicherungsmaßnahmen sollen eine Ausbreitung der Schadstoffe verhindern; eine Schadstoffbeseitigung erfolgt nicht bzw. nur in geringem Umfang.

Im Wasserrecht wird in der GWS-VwV der Begriff Sanierung analog verwendet. Die Herausnahme oder das Umwandeln der Schadstoffe wird dort mit „Beseitigung“ beschrieben. Ist die vollständige Beseitigung nicht möglich, besteht die Möglichkeit, das Sanierungsziel anzupassen (teilweise Beseitigung). Ist das Sanierungsziel in einem überschaubaren Zeitraum mit einem verhältnismäßigen Aufwand nicht erreichbar, können Sicherungsmaßnahmen zugelassen werden.

den Anforderungen an die Sanierung von Grundwasserverunreinigungen nach § 4 Abs. 4 Satz 3 des BBodSchG sind in Hessen in der GWS-VwV [1] festgelegt.

Die Sanierung des Schutzgutes „Grundwasser“ umfasst demnach *„alle unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes erforderlichen Maßnahmen zur Beseitigung der schädlichen Grundwasserverunreinigung, insbesondere durch Herausnehmen oder Umwandeln der Schadstoffe, und schließt die Beseitigung ihrer Ursache ein“* ([1] Nr. 5 Abs. 1).

Wenn eine vollständige Gefahrenabwehr aus Gründen der Verhältnismäßigkeit nicht in Frage kommt, kann die Behörde ein abweichendes Sanierungsziel festlegen, so dass auch weniger wirkungsvolle bzw. weniger weitgehende Sanierungsmaßnahmen zum Einsatz kommen können. Zusammenfassend ergibt sich aus der GWS-VwV folgende Rangfolge im Hinblick auf Grundwassersanierungsmaßnahmen:

### 4.1 Vorgaben der GWS-VwV

Neben Altlasten oder schädlichen Bodenveränderungen sind nach § 4 Abs. 3 BBodSchG auch die hiervon ausgehenden Gewässerverunreinigungen zu sanieren. Das „Wie“ der Gewässersanierung regelt das Wasserrecht. Die vom Wasserrecht zu bestimmen-

#### 1. Vollständige Beseitigung der schädlichen Grundwasserverunreinigung

Die Sanierungsmaßnahmen sollen bewirken, dass im gesamten betroffenen Grundwasser in absehbarer Zeit niedrige Konzentrationen (unterhalb der Gefahrenschwelle) eintreten.

## 2. Sanierungszielanpassung

Ist die vollständige Beseitigung aufgrund der örtlichen Verhältnisse durch verhältnismäßige Maßnahmen nicht möglich, ergeben sich prinzipiell drei Möglichkeiten für die Anpassung des Sanierungsziels (vgl. Kapitel 4.2.2):

- 2.1 die Erhöhung des Sanierungszielwertes
- 2.2 die räumliche Beschränkung des Sanierungsziels auf Teilbereiche der Schadstofffahne, in der Regel im nahen Abstrom der Quelle und/oder
- 2.3 die Unterteilung der Schadstofffahne in Bereiche mit unterschiedlichen Sanierungszielen.

## 3. Sicherung der Grundwasserverunreinigung

Maßnahmen zur Sicherung einer Grundwasserverunreinigung sind zum Beispiel hydraulische Maßnahmen (Pump&Treat), reaktive Wände und Dichtwände, die eine weitere Ausbreitung der Schadstofffahne verhindern sollen. Zur Kontrolle der Sicherungsmaßnahmen sind Maßnahmenziele festzulegen.

## 4.2 Sanierungsziel und Verhältnismäßigkeit

### 4.2.1 Allgemeines

Damit der Umfang der Sanierungsmaßnahme deutlich wird, hat die Behörde bei ihrer Ermessensentscheidung, ob und wie zu sanieren ist, dem Pflichtigen das Sanierungsziel zur vollständigen Beseitigung der schädlichen Grundwasserverunreinigung zu nennen. Für den Fall, dass hierfür keine verhältnismäßigen Maßnahmen zur Verfügung stehen, wird die Behörde das Sanierungsziel unter Berücksichtigung des Gefährdungspotenzials soweit anpassen, bis eine verhältnismäßige Maßnahme zur Verfügung steht. Daraus wird deutlich, dass „Sanierungsziel“ und „Verhältnismäßigkeit“ eng miteinander verknüpft sind, und eine iterative Vorgehensweise bei der Entscheidung über das Sanierungsverfahren notwendig sein kann.

### 4.2.2 Sanierungsziel

Eine Gefahrenabwehr ist in jedem Fall sichergestellt, wenn überall im Grundwasser die in der GWS-VwV angeführten Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) eingehalten werden. Somit sind die GFS-Werte als übergeordnetes Sanierungsziel anzusehen. Wenn eine vollständige Gefahrenabwehr aus Gründen der Verhältnismäßigkeit (vgl. Kapitel 4.2.3) nicht in Frage kommt, kann die Behörde ein abweichendes, d. h. weniger strenges Sanierungsziel festlegen (GWS-VwV Nr. 5 Abs. 2). Dabei wird die Behörde das Sanierungsziel soweit anpassen, bis eine Maßnahme verhältnismäßig wird. Die Anpassung des Sanierungszieles richtet sich insbesondere nach dem Gefährdungspotenzial.

### 4.2.3 Verhältnismäßigkeitsprüfung

Der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit ist ein aus dem Verfassungsrecht abgeleiteter Maßstab, der besagt, dass ein Eingriff erforderlich, geeignet und angemessen sein muss. Er gilt für alle Eingriffe im öffentlichen Recht, so auch im Bodenschutz- und Wasserrecht. Bei der Sanierung von Grundwasserverunreinigungen ist die Verhältnismäßigkeit zu Beginn (Sanierungsziel), während (Betrieb) und am Ende der Maßnahme (bei Einstellung ohne Erreichung des Sanierungsziels) zu prüfen.

Verweise auf die Verhältnismäßigkeit finden sich im Bundes-Bodenschutzgesetz insbesondere in § 4 Abs. 3 S. 3 (Stufung der Maßnahme gestaffelt nach Verhältnismäßigkeit) und in § 4 Abs. 5 S. 1 (Verhältnismäßigkeitsprinzip). Die amtliche Begründung zum Bodenschutzrecht zu § 4 Abs. 3 führt aus, dass die Abstufung der einzelnen Sanierungsmaßnahmen (Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahmen sowie Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen, vgl. § 2 Abs. 7 und 8 BBodSchG) sicherstellt, dass die Kosten der Sanierung in einem vernünftigen Verhältnis zum Nutzen stehen [8].

Da weitere ermessenlenkende Regelungen fehlen, haben die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaften Wasser (LAWA) und Bodenschutz (LABO) sowie die Verwaltungen einiger Bundesländer Entscheidungshilfen erstellt [9–12].

In Hessen werden die Anforderungen zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen nach Wasserrecht in der gleichnamigen Verwaltungsvorschrift (GWS-VwV) konkretisiert [1]. Die Sanierung wird durch Nr. 5 der GWS-VwV ausdrücklich dahingehend eingeschränkt, dass die erforderlichen Maßnahmen verhältnismäßig sein müssen. Zu welchem genauen Maß an (finanzieller) Anstrengung die Verantwortlichen verpflichtet sind, um den Schaden zu beheben bzw. um weitere Gefahren abzuwehren, ist bisher weder gesetzlich noch richterrechtlich vollständig bestimmt worden.

#### **4.2.4 Behördliche Entscheidung über Art und Umfang der notwendigen Maßnahme**

Bei der Ermessensentscheidung der Behörde über Art und Umfang einer Grundwassersanierung, festgelegt durch das Sanierungsziel, ist der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu beachten. Die Sanierung großer schädlicher Grundwasserverunreinigungen ist i. d. R. verhältnismäßig. Bei mittleren schädlichen Grundwasserverunreinigungen ist eine Sanierung i. d. R. dann verhältnismäßig, wenn eine „ungünstige Tendenz“ vorliegt, beispielsweise wenn eine Ausbreitung der Schadstoffe in tiefere Grundwasserleiter zu befürchten ist. Eine Ausnahme von der Regel ist unter anderem gegeben, wenn der angestrebte Umweltnutzen (sauberes Grundwasser) in deutlichem Missverhältnis zum Aufwand (Kosten) für den Verantwortlichen steht. Ausgangspunkt für die Festlegung, „wie“ zu sanieren ist (Bestimmung von Art und Umfang der Sanierungsmaßnahme), kann folgender Aspekt sein:

#### **Kosten bei Pump&Treat-Maßnahmen**

Von 1990 bis Ende 2016 wurden vom Land Hessen bei 38 Grundwassersanierungsmaßnahmen (Pump&Treat) Mittel in Höhe von rund 83,4 Mio. € investiert (das Projektmanagement wurde der HIM-ASG übertragen). Bei diesen Maßnahmen wird regelmäßig von der Behörde geprüft, ob der Umweltnutzen den erwarteten finanziellen Aufwand rechtfertigt. Die ermittelten Preise geben eine Orientierung zum Verhältnis von Kosten und Wirksamkeit.

Für die Abreinigung eines Kilogramms Schadstoff liegt der Median bei rund 3 500 €/kg, bezogen auf die Gesamtlaufzeit. Das 0,75-Quantil liegt bei rund 6 500 €/kg.

In der überwiegenden Zahl der ausgewerteten Fälle traten LHKW auf, so dass diese Schadstoffgruppe gesondert betrachtet wurde. Für die Abreinigung eines Kilogramms LHKW liegt der Median bei rund 4 400 €/kg, bezogen auf die Gesamtlaufzeit. Das 0,75-Quantil liegt bei rund 7 000 €/kg.

Im Rahmen der Sanierungsuntersuchung können die vorgenannten Preise Gutachtern eine gewisse Orientierung bei der Auswahl und Darstellung der in Betracht kommenden Sanierungsmaßnahmen geben, zum Beispiel bei der Kostenschätzung sowie bei der Ermittlung des Verhältnisses von Kosten und Wirksamkeit nach Anhang 3 Nr. 1 der BBodSchV [13].

### **4.3 Anpassung, Optimierung und Beendigung von Grundwassersanierungen**

#### **4.3.1 Grenzen der Kostenbetrachtung in Hessen zur Bewertung der Angemessenheit von Sanierungsmaßnahmen**

Aufgrund der begrenzten Datengrundlage von nur 38 Fällen ist eine Differenzierung der Kosten nach weiteren relevanten Kriterien nicht sinnvoll möglich gewesen. Die in der Arbeitshilfe angegebenen Kosten zur Abreinigung eines Kilogramms Schadstoff können nur orientierend zur Bewertung der Verhältnismäßigkeit einer Sanierung verwendet werden. Eine pauschale Anwendung der genannten Preise zur Ermittlung eines angemessenen Verhältnisses von Kosten und Wirksamkeit ist somit nicht möglich.

Damit von behördlicher Seite geprüft werden kann, ob die Kostenentwicklung tatsächlich als Indiz für die Unverhältnismäßigkeit einer Maßnahme heranzuziehen ist, sind eine umfassende und nachvollziehbare Kostenoffenlegung sowie Abschätzung zukünftiger Kosten durch den Sanierungspflichtigen notwendig.

### 4.3.2 Algorithmus „Eintritt in die erneute Prüfung der Verhältnismäßigkeit“

Eine Grundwassersanierung kann i. d. R. beendet werden, wenn der Sanierungszielwert dauerhaft unterschritten wird. Jedoch zeigen langjährige Erfahrungen aus ca. 500 hessischen Grundwassersanierungen, dass oftmals die ursprünglich festgelegten Sanierungszielwerte in absehbarer Zeit nicht erreicht werden.

Für jede Grundwassersanierung stellt sich daher im fortschreitenden Betriebsverlauf die Frage, ob die Maßnahme noch verhältnismäßig ist. Die Arbeitshilfe schlägt für langlaufende Pump&Treat-Maßnahmen einen Algorithmus vor, der erkennen lässt, ob eine erneute Prüfung der Verhältnismäßigkeit angezeigt ist.

Unterschreitet die Austragsmenge<sub>kumulativ, Zunahme%</sub> den Wert von 3 %, so ist die erneute Prüfung der Verhältnismäßigkeit geboten. Dieser Wert wurde aus den Erfahrungen der mit Landesmitteln finanzierten Sanierungsfälle empirisch abgeleitet. Eine Unterschreitung des 3 %-Kriteriums ist ein Indikator für die nachlassende Effizienz einer Sanierung.

Die Austragsmenge<sub>kumulativ, Zunahme%</sub> wird wie folgt ermittelt: Zunächst wird für alle Betriebsjahre die jeweilige Austragsmenge ermittelt. Im nächsten Schritt wird für alle Betriebsjahre die jeweilige kumulative Austragsmenge (Austragsmenge<sub>kumulativ</sub>) bestimmt, also die Summe der jährlichen Austragsmengen seit Sanierungsbeginn. Im dritten Schritt wird berechnet, um wieviel Prozent die kumulative Austragsmenge im Vergleich zum Vorjahr zugenommen hat (Austragsmenge<sub>kumulativ, Zunahme%</sub>).

$$\text{Austragsmenge}_{\text{kumulativ, Zunahme\%}} = \frac{\text{Austragsmenge}_{\text{kumulativ, jeweiliges Jahr}} - \text{Austragsmenge}_{\text{kumulativ, Vorjahr}}}{\text{Austragsmenge}_{\text{kumulativ, Vorjahr}}} * 100 \%$$

Berechnungsbeispiel

Betriebsjahr	2001	...	2014	2015	2016	2017
kumulative Austragsmenge (Austragsmenge <sub>kumulativ</sub> )	45 kg	...	690 kg	715 kg	735 kg	752 kg
Zunahme der Austragsmenge <sub>kumulativ</sub> im Vergleich zum Vorjahr (Austragsmenge <sub>kumulativ, Zunahme%</sub> )	...	...	...	3,6 %	2,8 %	2,3 %

### 4.3.3 Prüfbericht Verhältnismäßigkeit bei laufenden Pump&Treat-Maßnahmen

Die Arbeitshilfe beschreibt einen Prüfungsablauf, der sowohl die Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung als auch die eigentliche Verhältnismäßigkeitsprüfung umfasst. Andere Abläufe sind denkbar. Zu prüfen sind die drei Schritte der Verhältnismäßigkeitsprüfung, also die Geeignetheit, Erforderlichkeit und Angemessenheit.

Der Prüfablauf umfasst vier Punkte. Unter Punkt A und B werden relevante Daten zusammengestellt, die zur Prüfung benötigt werden. Unter Punkt C erfolgt die eigentliche Verhältnismäßigkeitsprüfung, die Aufgabe der Bodenschutzbehörde ist. Sie trifft die abschließende Entscheidung. Unter D werden mögliche Konsequenzen aus der Prüfung aufgezeigt. In Kapitel 5 wird die Anwendung des Prüfberichts anhand eines Fallbeispiels erläutert.

### 4.3.4 Optimierung von Grundwassersanierungen

Wenn sich abzeichnet, dass eine laufende Grundwassersanierung in bisheriger Weise nicht sinnvoll weitergeführt werden kann, stellt sich die Frage ihrer Optimierung. In der Literatur gibt es Darstellungen zur Sanierungsoptimierung von Pump&Treat-Maßnahmen bei LHKW-Schadensfällen, vgl. [14]. Die Arbeitshilfe gibt Hinweise über Möglichkeiten zur Optimierung.

Berechnung für Betriebsjahr 2017:  
(752-735) / 735 \* 100 % = 2,3 %

## 5 Fallbeispiel

Die Arbeitshilfe zeigt anhand eines Fallbeispiels die Anwendung des Prüfungsablaufes des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes.

### 5.2 Kurze Fallbeschreibung

Beim Fallbeispiel handelt es sich um einen metallverarbeitenden Betrieb, der 1989 geschlossen wurde. Boden- und Grundwasserverunreinigungen wurden hauptsächlich durch leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) verursacht.

Zunächst wurde 1992 eine Bodensanierung durch Baggeraushub und Großlochbohrungen durchgeführt. Hierdurch wurden ca. 190 kg LHKW ausgetragen. Mittels Bodenluftabsaugung wurde ein weiterer Austrag in Höhe von 10 kg erreicht, so dass insgesamt ca. 200 kg LHKW aus dem Boden entfernt wurden.

Zur Grundwassersanierung wird eine Pump&Treat-Maßnahme durchgeführt, der Sanierungszielwert beträgt 25 µg/l. Die Sanierung des Grundwassers startete 1993, die Betriebszeit beträgt rund 23 Jahre, seitdem sind für die Grundwassersanierung Kosten in Höhe von 3 Mio. € angefallen. In dieser Zeit sind knapp 2 000 000 m<sup>3</sup> Grundwasser gefördert, aufbereitet und 703 kg LHKW entnommen worden. Zusätzlich wurden weitere 35 kg LHKW durch eine benachbarte Bauwasserhaltung ausgetragen. Rechnet man die über die Boden- und Bodenluftsanierung ausgebrachten Schadstoffmengen von 200 kg hinzu, ergibt sich insgesamt ein LHKW-Gesamtaustrag für Boden und Grundwasser von rund 938 kg.

Die in den Sanierungsbrunnen ermittelten LHKW-Konzentrationen sind von 2000 auf 85 µg/l gesunken (Stand 2016). Dies entspricht einem Sanierungserfolg von 97 %. Die jährliche Austragsmenge beträgt ca. 4,3 kg/a mit fallender Tendenz (Stand 2016). Dies entspricht einer großen Fracht im Sinne des Kapitels 3 des Handbuches. Die Abgrenzung zwischen einer großen zu einer mittleren Fracht beträgt 3,65 kg/a für den Parameter LHKW. Über die Gesamtlaufzeit errechnet sich für die Kosten pro kg Schadstoff ein Wert von ca. 5 200 €/kg, ein durchaus üblicher Wert.

Bei der Pump&Treat-Maßnahme wurden Optimierungsmaßnahmen durchgeführt. Wasserschutzgebiete sind nicht betroffen. Aufgrund der Sanierungsmaßnahmen liegt die Schadstofffahne weitgehend innerhalb des ehemaligen Werksgeländes (Stand 2016). Eine wesentliche Vergrößerung der Fahne ist auch bei Einstellung der Pump&Treat-Maßnahme nicht zu erwarten.

#### EXCEL-Auswertetool „Sanierungsverlauf“

Das Auswertetool steht als download zur Verfügung. Nach Eingabe der Daten werden die Berechnungsergebnisse in blauen Feldern angezeigt und automatisch 9 Diagramme erzeugt, die für die Verhältnismäßigkeitsprüfung benötigt werden. Folgende Daten werden benötigt:

- Projektname, Schadstoffbezeichnung,
- Sanierungsziel- und Geringfügigkeitsschwellenwert, Datum des Sanierungsbeginns,
- Mittlere Schadstoffkonzentration im Zulauf der Sanierungsanlage
- jährliche Wasserfördermenge (abgereinigte Wassermenge)
- Gesamtkosten im jeweiligen Betriebsjahr (netto)

Berechnet und grafisch dargestellt werden:

- Sanierungserfolg
- Austragsmenge<sub>jährlich</sub>
- Austragsmenge<sub>kumulativ</sub>
- Austragsmenge<sub>kumulativ, Zunahme%</sub>
- Gesamtkosten pro kg Schadstoff

### 5.2 Prüfungsablauf des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes

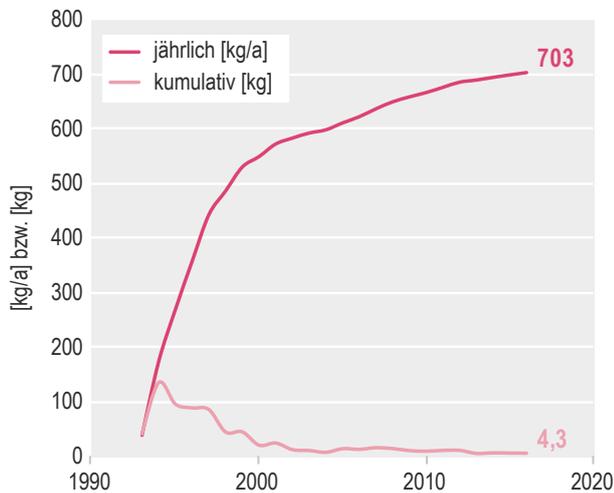
#### A Bestandsaufnahme

Im ersten Schritt (Punkt A der Verhältnismäßigkeitsprüfung) ist eine Bestandsaufnahme der Grundwassersanierung textlich auszuarbeiten. Hierzu wird folgende Gliederung empfohlen:

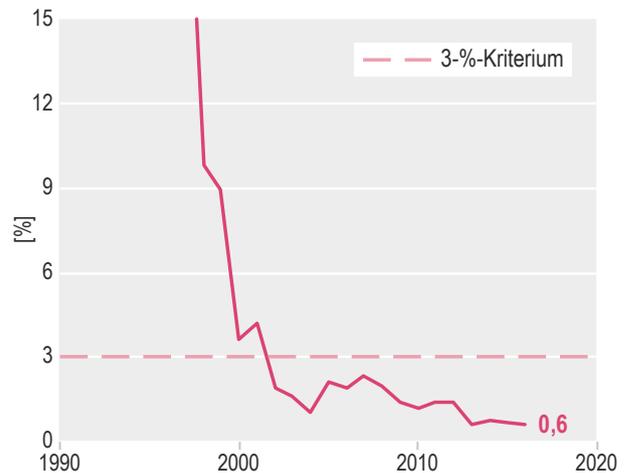
- A1** Einleitung (Diagramme 1 + 2)
- A2** Sanierung von Boden und Grundwasser
- A3** Gefährdungspotenzial
- A4** Optimierungsmöglichkeiten
- A5** Schutzgutbetrachtung, Gefahrenlage

Einleitend sind Anlass, Autor, Aktenzeichen und das 3 %-Kriterium darzulegen (A1). Das 3 %-Kriterium und die hierzu benötigten Daten können den Diagrammen 1 und 2 entnommen werden (im letzten

Betriebsjahr wurden 4,3 kg Schadstoffe entnommen; bei einer kumulativen Austragsmenge von 703 kg entspricht dies einem Anstieg von 0,6 % der kumulativen Austragsmenge im Vergleich zum Vorjahr.



**Diagramm 1:** Jährliche Austragsmenge [kg/a] und kumulative Austragsmenge [kg]



**Diagramm 2:** Zunahme der kumulativen Austragsmenge [%] im Vergleich zum Vorjahr

Die Maßnahmen zur Boden-, Bodenluft- und Grundwassersanierung sind ausführlich zu beschreiben und die angefallenen Kosten sind dokumentiert darzulegen (A2). Das Gefährdungspotenzial ist anhand der horizontalen und vertikalen Ausdehnung der Kontamination im Boden, in der Bodenluft und im Grundwasser darzulegen (A3). Weiterhin sind die Optimierungsmaßnahmen während des bisherigen Betriebes aufzuzeigen (A4). Dann folgen Angaben zur Betroffenheit von Schutzgütern und zur Beschreibung der aktuellen Gefahrenlage (A5).

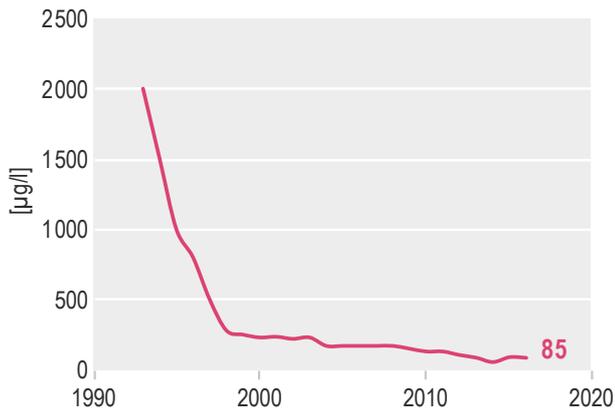
## B Auswertung des Sanierungsverlaufs

In Punkt B des Prüfberichtes ist der Sanierungsverlauf auf der Grundlage der mit dem Excel-Auswertetool erzeugten Diagramme zu beschreiben. Empfohlen

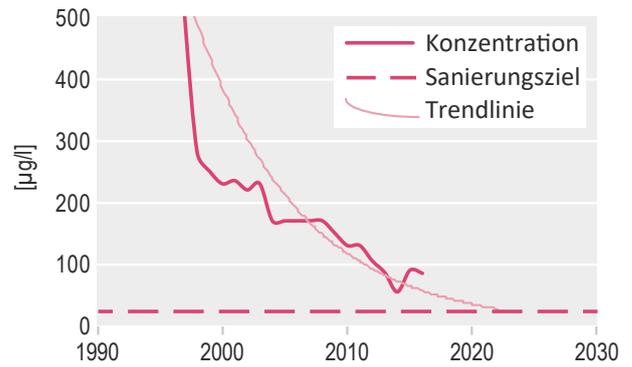
wird folgende Gliederung:

- B1** Konzentration, Tendenz (Diagramme 3 + 4)
- B2** Sanierungserfolg (Diagramm 5)
- B3** Jährliche Austragsmenge (Diagramme 6 + 7)
- B4** Kumulative Austragsmenge (Diagramme 1 + 2)
- B5** Kosten (Diagramm 9)
- B6** Restzeitprognose (Diagramme 7–9)

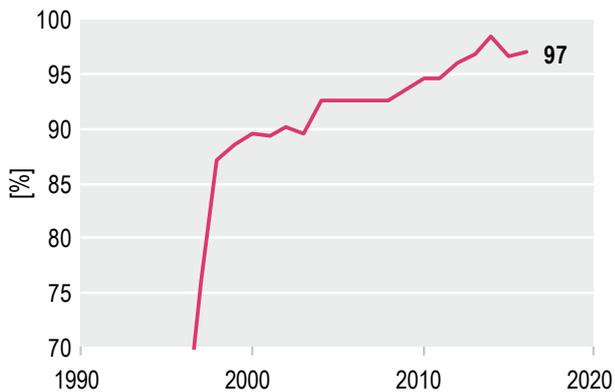
Zur Auswertung der Diagramme werden Auswertekriterien benannt und Beobachtungen und Interpretationen aufgezeigt. Diese sind in Anhang 8 der Arbeitshilfe ausführlich beschrieben. Die textlichen Ausführungen (Beobachtung, Interpretationen) werden für Punkt C des Prüfberichtes C „Prüfung der Verhältnismäßigkeit“ benötigt.



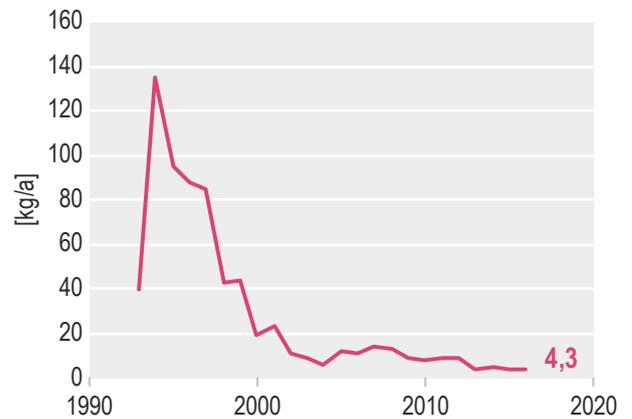
**Diagramm 3:** Konzentration im Sanierungsverlauf



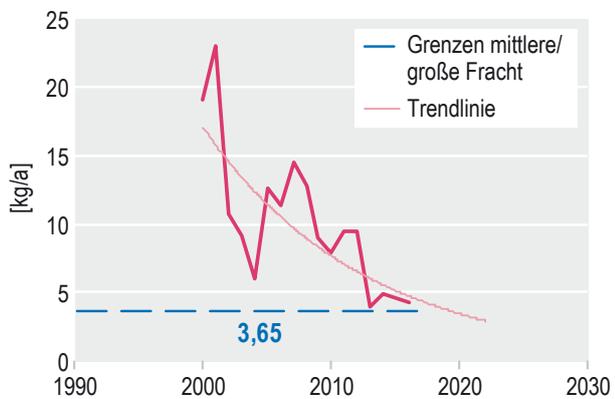
**Diagramm 4:** Konzentration im Sanierungsverlauf, Trendlinie und Sanierungszielwert



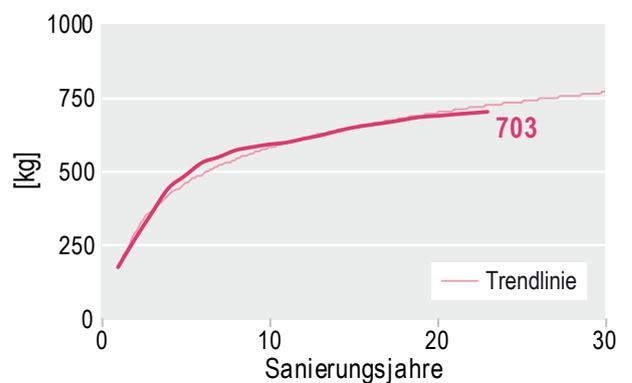
**Diagramm 5:** Sanierungserfolg [%] im Sanierungsverlauf



**Diagramm 6:** Jährliche Austragsmenge [kg/a] im Sanierungsverlauf



**Diagramm 7:** Prognose der jährlichen Austragsmenge [kg/a]



**Diagramm 8:** Kumulative Austragsmenge [kg] im Sanierungsverlauf inkl. Prognose

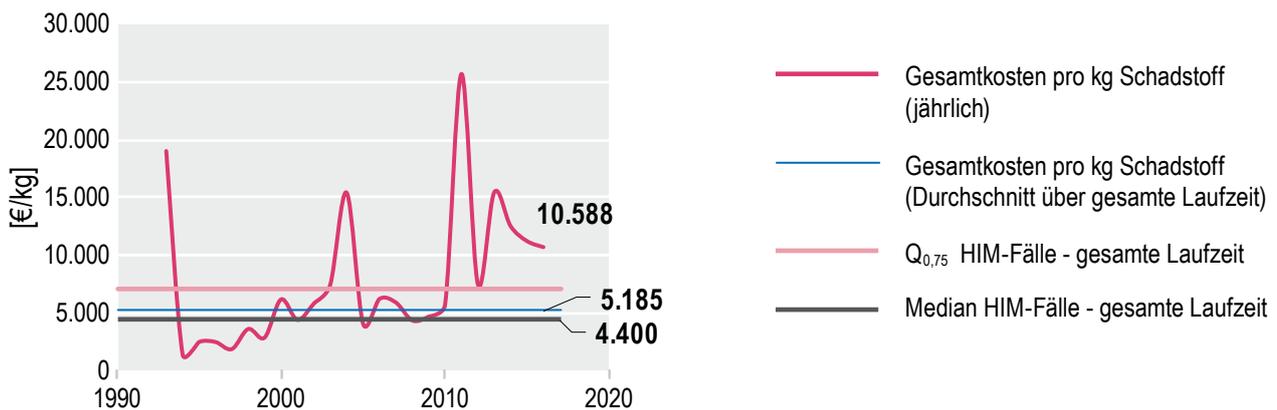


Diagramm 9: Gesamtkosten pro kg Schadstoff im Sanierungsverlauf [€/kg]

### C Prüfung der Verhältnismäßigkeit

Unter Punkt C erfolgt die eigentliche Verhältnismäßigkeitsprüfung, die Aufgabe der Bodenschutzbehörde ist. Diese trifft die abschließende Entscheidung. Grundlage der Entscheidung sind die in den Punkten A und B dargelegte Fallbeschreibung und die Auswertung der Diagramme. Die Verhältnismäßigkeitsprüfung umfasst drei Schritte:

#### Geeignetheit

Bei der Pump & Treat-Maßnahme im Fallbeispiel werden noch immer relevante Mengen LHKW ausgetragen (4,3 kg/a bzw. 12 g/d). Auch bei einem Weiterbetrieb ist davon auszugehen, dass weitere relevante Mengen ausgetragen werden können. Die Maßnahme ist daher nach wie vor geeignet, da sie erwarten lässt, dass damit das Sanierungsziel erreicht oder die Zielerreichung zumindest gefördert wird.

#### Erforderlichkeit

Bei der im Fallbeispiel beschriebenen Pump&Treat-Maßnahme ist ein Wechsel auf ein anderes Sanierungsverfahren nicht erforderlich. Einerseits ist die Infrastruktur der Pump & Treat-Maßnahme vorhanden. Andererseits wurde im Zuge der unter A4 beschriebenen Optimierungsmaßnahmen ermittelt, dass alternative Sanierungsverfahren nicht erfolgsversprechender sind. Damit steht auch keine andere, ebenso wirksame, aber den Sanierungspflichtigen weniger belastende (mildere) Maßnahme zur Verfügung. Die Pump & Treat-Maßnahme ist daher noch immer erforderlich.

### Angemessenheit

Hierzu erfolgt eine Abwägung hinsichtlich Aufwand und Erfolg auf der Grundlage der unter A und B durchgeführten Erhebungen. Unter Zuhilfenahme der Diagrammauswertungen erfolgt eine Pro-Contra-Diskussion:

#### Pro-Contra-Diskussion:

Hinweise, dass ein Weiterbetrieb der beschriebenen Sanierungsmaßnahme **unverhältnismäßig** ist, sind:

- A1 Die prozentuale Zunahme der kumulativen Ausstragsmenge liegt seit vielen Jahren unter dem 3%-Kriterium (Diagramm 2).
- A3 Die Schadstofffahne ist abgegrenzt, beschränkt sich auf den oberen Grundwasserleiter und ist tendenziell rückläufig.
- A4 Im Verlauf der Sanierung wurden verschiedene Optimierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung durchgeführt. Weitere Optimierungsmaßnahmen erscheinen nicht sinnvoll.
- A5 Schutzgutbetrachtung: Weder Wasserschutzgebiete noch Oberflächengewässer sind betroffen. Eine Nutzung des Grundwassers ist außerhalb des ehemaligen Werksgeländes nicht gefährdet. Die biotische Umwelt benachbarter Ökosysteme ist nicht gefährdet. Eine Verunreinigung von Grundwasserleitern im Abstrom ist nicht zu besorgen.  
Prognose Betriebseinstellung: Für den Fall, dass

die Wasseraufbereitung abgeschaltet werden würde, ist kein signifikanter Wiederanstieg außerhalb des ehemaligen Betriebsgeländes zu erwarten.

- B1 In den letzten vier Betriebsjahren ist die Abnahme der LHKW-Konzentrationen gering. Die Kurve nähert sich asymptotisch einem Wert von 80 µg/l an (Diagramm 4). Mit 85 µg/l ist die Konzentration um den Faktor 3,5 höher als der Sanierungszielwert von 25 µg/l; im Vergleich zu anderen Fällen ist dieser Faktor als moderat anzusehen.
- B2 Im Jahr 2016 beträgt der Sanierungserfolg bereits 97 % (Diagramm 5).
- B3 Die jährliche Austragsmenge im letzten Betriebsjahr liegt bei 4,3 kg/a (Diagramm 6) und wird in „absehbarer Zeit“ den Wert von 3,65 kg/a bzw. 10 g/d voraussichtlich unterschreiten, so dass gemäß Kapitel 3.2.2 eine mittlere Fracht vorliegen würde.
- B4 Der Verlauf der kumulativen Austragsmenge nähert sich asymptotisch dem Wertebereich von 730 bis 750 kg an. Ein Großteil der Schadstoffe (703 kg) wurde bereits ausgetragen (Diagramm 8). Die Prognose der kumulativen Austragsmenge ergibt, dass auch bei einem langjährigen Weiterbetrieb der Sanierung kein weiterer maßgeblicher Austrag mehr erzielt werden kann.
- B6 Die Schadstoffquelle ist weitgehend saniert, mittels Boden-, Bodenluft- und Grundwasser-sanierung wurden 938 kg LHKW entfernt. Das restliche Schadstoffinventar im Boden wurde mit ca. 30 Kilogramm LHKW abgeschätzt. Ein Schadstoffinventar dieser Größenordnung bei vergleichbarer Schutzgutbetroffenheit würde in einem „Neufall“ keinen Sanierungsbedarf auslösen.

Restzeitprognose und Sanierungserfolg: Um den Sanierungserfolg von 97 % auf 100 % zu steigern, wäre die bisherige Betriebslaufzeit von 23 Jahren um mindestens 10 Jahre zu verlängern.

Restzeitprognose und Kosten: Bisher wurden für die Sanierung rund 3,2 Mio. € verausgabt. Die Steigerung des Sanierungserfolges von 97 % auf 100 % würde einen monetären Mehraufwand von 17 % bis 35 % erfordern.

Hinweise, dass die die beschriebene Sanierungsmaßnahme noch immer **verhältnismäßig** ist, sind:

- B5 Die Kosten pro kg Schadstoff (Gesamtlaufzeit) liegen zwischen dem 0,75-Quantil und dem Median der ausgewerteten hessischen LHKW-Fälle, also im Rahmen des Üblichen (Diagramm 9).  
Die Kosten pro kg Schadstoff waren in den letzten fünf Betriebsjahren etwa gleichbleibend.

## Kapitel D Ergebnisdarstellung

Die Angemessenheit verlangt, dass der ermittelte Aufwand einer Maßnahme in einem vertretbaren Verhältnis zum bezweckten Erfolg steht. Beim Fallbeispiel überwiegen die Hinweise, dass der Aufwand für einen Weiterbetrieb der Wasseraufbereitungsanlage in keinem vertretbaren Verhältnis zum bezweckten Sanierungserfolg steht.

Es wird vorgeschlagen, den Betrieb der Wasseraufbereitung einzustellen und die Anlage für weitere 12 Monate betriebsbereit zu halten, damit bei einem Anstieg der Schadstoffkonzentrationen die Grundwasser-sanierung wiederaufgenommen werden kann.

Weiterhin wird vorgeschlagen, das bisherige jährliche Monitoringprogramm für 3 weitere Jahre fortzuführen. Dabei sollte das monatliche Programm durch ein vierteljährliches Programm ersetzt werden und nach Vorlage der Überwachungsergebnisse des ersten Jahres sollte entschieden werden, ob die Wasseraufbereitungsanlage weiterhin betriebsbereit gehalten werden muss.

## Literatur

- [1] Verwaltungsvorschrift zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen (GWS-VwV) vom 28. September 2016, StAnz. 42/2016 S. 1072
- [2] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Handbuch Altlasten Band 3 Teil 7, Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen, Wiesbaden 1. Auflage 2008, Hardcopy
- [3] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Handbuch Altlasten Band 3 Teil 7, Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen, Wiesbaden 2. überarbeitete Auflage 2013, PDF download
- [4] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 31. Juli 2009, BGBl. I S. 2585, zuletzt geändert durch Gesetz vom 18. Juli 2017, BGBl. I Nr. 52 S. 2771
- [5] Hessisches Wassergesetz (HWG) vom 14. Dezember 2010, GVBl. I S. 548, zuletzt geändert durch Gesetz vom 28. September 2015, GVBl. S. 338
- [6] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Handbuch Altlasten Band 3 Teil 7, Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen, Wiesbaden 3. überarbeitete Auflage 2018, Hardcopy und PDF download (im Druck – Stand 01.05.2018)
- [7] Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) vom 17. März 1998, BGBl. I S. 502, zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 27.9.2017, BGBl. I S. 3465
- [8] Deutscher Bundestag: Drucksache 13/6701 vom 14.01.1997, Amtliche Begründung zum BBodSchG, [dip21.bundestag.de/dip21/btd/13/067/1306701.asc](http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/13/067/1306701.asc)
- [9] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen, 2006
- [10] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Altlasten und Grundwasserschadensfälle 44, Ermittlung fachtechnischer Grundlagen zur Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung von langlaufenden Pump-and-Treat-Maßnahmen, Karlsruhe, Stand September 2015
- [11] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Sachsen, Grundwasser und Altlasten (SMUL), Entscheidungshilfe Grundwassersanierung: Effizienz von Pump and Treat-Sanierungen, Dresden 2007
- [12] Hansestadt Hamburg: Gefährdungsbeurteilung und Sanierung von Grundwasserschäden, 2012 [www.hamburg.de/contentblob/3343384/eb-889c6842d89289c30ab1231b98e598/data/gefaehrungsbeurteilung-grundwasser-broschue-re.pdf](http://www.hamburg.de/contentblob/3343384/eb-889c6842d89289c30ab1231b98e598/data/gefaehrungsbeurteilung-grundwasser-broschue-re.pdf)
- [13] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999, BGBl. I S. 1554, geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 27.9.2017, BGBl. I S. 3465
- [14] STUPP, H. D., BAKENHUS, A., STAUFFER, R., LORENZ, D.: Sanierungsoptimierung von CKW-Grundwasserschäden – Möglichkeiten zur Reduzierung der Sanierungskosten, altlasten spektrum 6/2005



# Grundwasser-Strömungs- und Transportmodelle in der Altlastensanierung

## Chancen, Risiken, Aufwand

ANGELA PREIN

Um Modelle als Chance zu begreifen, muss das mit der Verwendung von Modellen als Entscheidungshilfe einhergehende Risiko und der zu betreibende Aufwand abgeschätzt werden. Allgemein lässt sich sagen, dass die Entwicklung eines hydrogeologischen Modells, das letztlich zum numerischen Grundwasserströmungs- und Transportmodell führt, eine intensive und kritische Auseinandersetzung mit den hydrogeologischen Gegebenheiten bedingt. Der damit verbundene Erkenntnisgewinn erlaubt die Entwicklung von Sanierungsvarianten und die Auswahl von effektiven Sanierungsverfahren für die jeweilige Fragestellung.

Voraussetzung für den Erfolg der Anwendung numerischer Modelle ist die klare Formulierung der Aufgabenstellung. Hier erfolgt bereits eine Weichenstellung hinsichtlich der notwendigen Daten. Die Entwicklung einer Modellvorstellung der hydrogeologischen Verhältnisse und die Auswertung der vorhandenen Grundwasser- und Stoffdaten sind der wesentliche Arbeitsschritt auf dem Weg zur Erstellung des numerischen Modells.

Kann auf dieser Basis ein Grundwasserströmungsmodell erfolgreich kalibriert werden, ist die Weiterentwicklung zu einem Stofftransportmodell möglich und es können verschiedene Sanierungsoptionen untersucht und z. B. ein begleitendes Monitoring entworfen werden.

Es empfiehlt sich dabei ein stufenweises Vorgehen mit kritischer Auseinandersetzung der erreichten Arbeitsstände. Werden alle Fachkompetenzen beteiligt und fachübergreifenden Diskussionen Zeit eingeräumt, ist die Chance gut, eine umsetzbare Sanierungsvariante zu finden. Aber auch, wenn sich eine Nichtumsetzbarkeit eines Sanierungskonzeptes herausstellt, ist dies ein Ergebnis, welches dem Sanierer materiellen, zeitlichen und monetären Aufwand erspart hat.

Das Risiko, welches sich mit einer Modellanwendung verbindet, liegt in der nicht ausreichenden Auseinandersetzung mit der Fragestellung, die zu bearbeiten ist. Daraus folgend kann ein Modell falsch konzipiert oder ungeeignet für die gewählte Anwendung sein. Werden ungeprüfte Eingangsdaten verwendet oder die Modellkalibrierung unsachgemäß durchgeführt, kann dies fehlerhafte Aussagen zur Folge haben. Dieses Risiko kann verringert werden, indem eine Kontrolle und Überprüfung der Modelle durch Personen oder Institutionen erfolgt, die die Modelle nicht entwickelt haben. Dazu ist eine klare Dokumentation der Modelle und ihrer Anwendung notwendig.

Modelle, seien es die hydrogeologischen Modelle, die numerischen Grundwasserströmungsmodelle oder die darauf aufbauenden Transportmodelle erfordern Zeit, kompetente Mitarbeiter und die Bereitschaft zur Verständigung und kritischen Auseinandersetzung über Fachgrenzen hinweg. Wird hier ein angemessener Aufwand betrieben, ist eine erfolgreiche Variantenfindung und in der Folge eine erfolgreiche Umsetzung sowie Anpassung von Sanierungsmaßnahmen möglich.

### Formulierung der Aufgabenstellung und Abgrenzung des Untersuchungsraums

Da ein Modell ein vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit darstellt, werden nur für den formulierten Zweck relevante Eigenschaften abgebildet. Der Formulierung der Aufgabenstellung kommt damit eine große Bedeutung zu. Ein Modell kann entwickelt werden für

- die Planung und Betrieb einer Wassergewinnungsanlage,

- den Schutz einer Wassergewinnungsanlage,
- die Bewirtschaftung einer Grundwasserressource,
- die Planung von Sanierungsmaßnahmen,
- die Planung von Monitoringsystemen,
- die Bewertung von Gefährdungspotenzialen und Entwicklung von Abwehrmaßnahmen, wie Abwehrbrunnen zum Schutz des Rohwassers,
- die Einhaltung vorgegebener Wasserstände oder anderer Zielstellungen unter wasserwirtschaftlichen oder naturschutzfachlichen Gesichtspunkten.

Daraus ergibt sich eine unterschiedliche notwendige Wiedergabetreue. So sind Prinzipmodelle einfach gehalten und dienen Übersichtszwecken. Planungsmodelle werden genutzt, um die Hydrodynamik des Grundwassers im Aussagegebiet zu beschreiben und die Reaktion des geohydraulischen Systems auf veränderte Randbedingungen zu prognostizieren. Bewirtschaftungsmodelle sind komplex, begleiten Grundwasserbewirtschaftungsprozesse und werden oftmals kontinuierlich weitergeschrieben.

Zur Abgrenzung des Untersuchungsraumes muss sich der auf seine spezielle Aufgabenstellung, z. B. der Beseitigung einer Grundwasserverunreinigung, fokussierte Bearbeiter von seinem Standpunkt, dem späteren Aussagegebiet, lösen und den Blick auf das übergeordnete Untersuchungsgebiet, z. B. den hydrogeologischen Teilraum lenken. Aus dieser Übersicht ist ein sinnvoller Bilanzraum resp. Modellgebiet abzugrenzen, dessen Ränder sich einerseits an möglichst natürlichen hydrogeologischen Grenzen orientieren und andererseits ausreichend weit vom Aussagegebiet entfernt liegen.

## Darstellung der Datengrundlage

Die Datengrundlage ist nachvollziehbar darzustellen und muss neben Plan- und Gangliniendarstellungen auch tabellarisch die verwendeten Ausgangsdaten zeigen.

Die Darstellung von Schnittpuren mit Bohrungen und die Schichteninterpretation als hydrogeologische Schnitte mit Eintragung der Filterstrecken von Grundwassermessstellen sind für die Zuordnung der Grundwasserstands- und Stoffdaten zu verschiedenen Grundwasserleitern von großer Bedeutung.

## Entwicklung und Prüfung des Hydrogeologischen Modells

Ein Grundwasserströmungsmodell und seine Ergebnisse können nicht besser sein als das hydrogeologische Modell. Deshalb ist ein kritischer Umgang mit der Datenlage angezeigt. Es besteht oftmals ein Interpretationsspielraum, innerhalb dessen sich für die Abbildung im Modell entschieden werden muss. Werden diese Entscheidungen dargestellt und begründet, sind spätere Veränderungen aufgrund von neuen Erkenntnissen nachvollziehbar.

Eine Prüfung des hydrogeologischen Modells sollte anhand der folgenden Datenblöcke erfolgen:

- hydrogeologisches a priori Wissen
- Schichtgeometrien/-verbreitung
- Geohydraulische Parameter
- Messwerte und Versuchsdaten
- Hydraulische Randbedingungen
- Quellen und Senken

## Bilanzraum und Grundwasserbilanz

Zur Beschreibung des Bilanzraumes sind möglichst klare, gut definierbare Grenzen zu wählen. Alle Bilanzglieder wie Grundwasserneubildung, Zu- und Abströme usw. sind zu quantifizieren. Sind variable Entnahmen im Gebiet vorhanden, sollten die gewählten Zahlen begründet werden.

Eine wesentliche Aussage zum Modellgebiet ist der Gesamtumsatz an Grundwasser. Er ist im Zuge der Entwicklung des hydrogeologischen Modells zu quantifizieren. Er besteht aus den Komponenten

Grundwasserzuflüsse	Grundwasserneubildung aus Niederschlag infiltrierende Oberflächengewässer oberstromiger Zufluss künstliche Grundwasseranreicherung
Grundwasserabflüsse	Grundwasserabstrom exfiltrierende Oberflächengewässer Grundwasserentnahme

Vorratsänderung für ein Modellgebiet innerhalb einer Betrachtungszeit-spanne

Prüfung der Eignung des bestehenden Modells und Analyse der notwendigen Anpassungen/Erweiterungen. Die Umsetzung der Anpassungen und Erweiterungen ist nachvollziehbar zu dokumentieren und das Modell unter Berücksichtigung der neuen Anforderungen erneut zu kalibrieren.

## Modellkalibrierung

Voraussetzung für ein Transportmodell ist ein kalibriertes Grundwasserströmungsmodell. Die bekannten Konzentrationsdaten des Grundwassers können zur weiteren Verbesserung des Strömungsmodells herangezogen werden.

Wichtiger Bestandteil der Kalibrierung ist die Modellbilanz. Der Vergleich der berechneten mit den gemessenen Grundwasserständen, der Strömungsrichtung und dem Gradienten der Grundwasser Oberfläche erfolgt in Plänen. Bei instationären Modellen sind zusätzlich gemessene und berechnete Grundwasserganglinien an wichtigen Lokationen zu ergänzen.

Anhand der Datenlage ist zu differenzieren, wo Abweichungen relevant für das Aussagegebiet sind und wo Abweichungen toleriert werden können.

## Prognosen / Varianten

Ein kalibriertes Grundwasserströmungsmodell, welches in der Lage ist, gemessene Stoffkonzentrationsverteilungen nachzuvollziehen, kann für die Untersuchung verschiedener Sanierungsvarianten eingesetzt werden. Wichtig ist auch hier die Dokumentation sowohl der gewählten für eine Variante spezifischen Parameter als auch der offen gebliebenen Fragen und Unsicherheiten. Sie sind bei der Einschätzung der Eignung einer Sanierungsvariante von Bedeutung.

## Anforderungen an die Anwendung oder Fortschreibung bestehender Modelle für neue Fragestellungen

Bestehende Modelle können für neue Fragestellungen verwendet werden, wenn die sich daraus ergebenden möglicherweise zusätzlichen Anforderungen an das Modell formuliert werden. Es bedarf einer

## Empfehlungen für den Fall der Überlagerung von Modellgebieten

Prinzipiell ist es positiv zu bewerten, wenn für Untersuchungsgebiete verschiedene Modelle existieren. Die Vorstellung von den geologischen Verhältnissen basiert auf einem bestimmten Kenntnisstand zu den hydrogeologischen und klimatischen Kennwerten und dem Wissen um die Entstehung der hydrogeologisch relevanten Strukturen. Dabei bleibt Spielraum für Interpretationen, vor allem im kleinskaligen Bereich. Stimmen die Grundzüge wie Wasserbilanz und die Abbildung regionaler Strukturen überein, so ordnen sich Modelle trotz im Einzelfall abweichender Umsetzung in diesen Interpretationsspielraum ein.

Um Modelle sich überlagernder Modellgebiete bewerten zu können, ist die transparente Darstellung und Begründung der gewählten modelltechnischen Umsetzung von besonderer Bedeutung.

Bei der Überlagerung von Modellgebieten verschiedener Antragsteller sollten die folgenden Aspekte abgeglichen werden:

- Lage und Art der Einzugsgebietsgrenzen,
- Lage und Art geologischer Störungen,
- Lage und Wechselwirkung von Vorflutern,
- Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung und Größenordnung der Grundwasserneubildung,
- Wasserbilanz für das Modellgebiet mit Quantifizierung der wesentlichen Bilanzglieder wie Randzu- und -abstrom, Grundwasserneubildung, Wechselwirkung mit Vorflutern, Entnahmen,
- für die Kalibrierung gewählte Stichtage/Zeitabschnitte des Grundwasserstandes oder Grundwasserstandsganglinien,
- für die Bewertung der Kalibrierung angewendete Kriterien.

## Literatur

- Hydrogeologische Modelle – Ein Leitfaden für Auftraggeber, Ingenieurbüros und Fachbehörden. – Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 10, 1999, ISBN 3-932537-08-4 HLUg-
- Hydrogeologische Modelle – Ein Leitfaden mit Fallbeispielen. – Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 24, 2002, ISBN 3-932537-25-4
- Hydrogeologische Modelle – Bedeutung des hydrogeologischen a priori-Wissens. – Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 70, 2002, ISBN 978-3-510-49212-1
- DVGW-Regelwerk, Technische Regel - Arbeitsblatt DVGW W 107 (A): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten
- LANUV-Arbeitsblatt 12 (Hinweise zur Erstellung und Beurteilung von Grundwassermodellen im Atlantenbereich)
- Technische Regel - Arbeitsblatt DVGW W 107 (A): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten

# Brachflächenentwicklung aus Sicht eines Projektentwicklers - Chancen und Risiken einer Flächenentwicklung

CHRISTOPH MERTEN

**INVESTOR**  
**Deutz AG**

---

-  Köln, Mühlheim
-  Wohnen, Büro, Einzelhandel, Schule, Hotel
-  > 200.000 m<sup>2</sup> BGF
-  ca. 950 Mio. €
-  40 Monate
-  Entwicklungsberatung

**Anforderungen**  
Im Rahmen unserer Beratung hat JLL ein Konzept für die Sanierung der Grundstücke entwickelt und im Auftrag der Deutz AG die Baugenehmigung eingeholt.

Die städtebauliche Umsetzung des Deutzer Areals ist ein Beispiel für die erfolgreiche interdisziplinäre Zusammenarbeit der einzelnen JLL-Dienstleistungen. Von der Analyse und Erstellung eines geeigneten Nutzungskonzeptes über die Baubewilligung bis hin zur Einkehrmarktung des Projekts wurde alles durch eine zentrale Anlaufstelle organisiert und strukturiert, die unserem Kunden einen maximalen Ausgangswert und eine Minimierung des Verlustrisikos garantierte.



## Status



- Die Wiedernutzung innerstädtischer Brachflächen bzw. Flächenrecyclingprojekte kommen u.a. aufgrund der Nachfragesituation nach Wohnraum immer mehr zur Umsetzung und werden routinierter.
- Vorhandenes bzw. günstiges Kapital, Mangel an Flächenverfügbarkeiten v. a. in Ballungsräumen sind Ursachen für den Boom nach Investitionen in Bestandsobjekte bzw. Standorte.
- Die Revitalisierung einer Brachfläche birgt vielfältige wirtschaftliche, technische und rechtliche Risiken, so dass intelligente und nachhaltige Lösungen gesucht werden müssen.
- Es ergeben sich jedoch auch Chancen und Potentiale, die v. a. anhand einer richtigen Analyse und Bewertung genutzt werden können.
- Um eine erfolgreiche Entwicklung umzusetzen sind neben den städtebaulichen Aspekten auch die richtige Projektstruktur und die Herausarbeitung von Qualitäten / Brand von entscheidendem Einfluss.

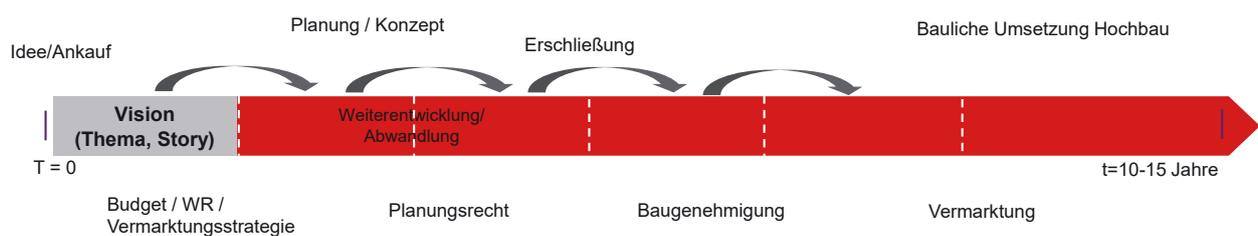
© 2018 Jones Lang LaSalle IP, Inc. All rights reserved.

3

## Zeitschiene



Durchschnittliche Projektdauer / Meilensteine



- i.d.R. oft (zu) lange Dauer → Unübersichtlichkeit, Risiken, Unsicherheiten

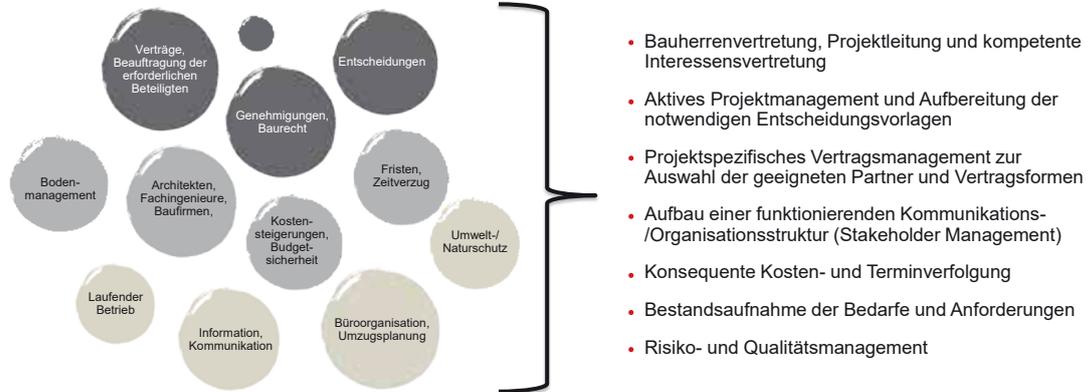
© 2018 Jones Lang LaSalle IP, Inc. All rights reserved.

4

## Projektmanagement



Allgemeine Herausforderungen für den Bauherren vs. Aufgaben und Maßnahmen des Projektmanagements





# Informationsquellen zur Ermittlung von PFC-Kontaminationen durch Löschschäume

HARALD MARK

## 1 Einleitung

Durch den Einsatz PFC-haltiger Löschschäume sind in Deutschland bereits an verschiedenen Standorten Boden- und Grundwasserbelastungen festgestellt worden. Allerdings sind bei weitem noch nicht alle Schäden bekannt und erfasst. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass insbesondere bei Großbränden ein erhöhtes Risiko von PFC-Verunreinigungen im Grundwasser gegeben ist. Damit die Bodenschutz-

behörden gezielt die in ihrem Zuständigkeitsbereich möglicherweise vorhandenen PFC-Belastungen durch Löschschäume erfassen und untersuchen können, benötigen sie Basisdaten, wie:

- Ort des Einsatzes von Löschschäumen (Brände, Löschübungsplätze etc.),
- Zeitpunkt des Einsatzes von Löschschäumen,
- Menge der eingesetzten Schaummittel.

## 2 Einsatz von Schaummitteln

Für verschiedene Brandstoffe, wie zum Beispiel brennbare Flüssigkeiten, müssen spezielle Löschmittel zum Einsatz kommen. Flüssigkeitsbrände können durch ihre gegenüber den festen Brandstoffen schnellere Brandausbreitung und die Bildung großer Mengen toxischer Brandgase extrem gefährlich sein. In solchen Fällen kommen Löschschäume zum Einsatz. Die Vorteile von Löschschäumen sind:

- Schaum nutzt und verbessert die Löscheigenschaften von Wasser.
- Schaummittel erlauben, das Löschwasser mit einem Vielfachen seines Volumens an Luft zu vermischen und damit die wirksame Oberfläche erheblich zu vergrößern. Dadurch kann mit einem Bruchteil des Wassers effizient gelöscht werden.
- Löschschaumkonzentrate sind einfach zu handhaben, da sie flüssig sind.
- Löschschaum verbessert die Benetzungswirkung von Wasser so, dass sogar Oberflächen, die sonst Wasser abweisend wären (z. B. rußige Oberflächen) benetzt werden können.
- Mit Löschschaum können Brände von Flüssigkeiten und flüssig werdenden Stoffen wirksam gelöscht und rückzündungssicher abgedeckt werden.

- Löschschaum kann zur dampfdichten Abdeckung von Leckagen brennbarer Flüssigkeiten vorbeugend eingesetzt werden, was die Emission umweltgefährdender oder hochentzündlicher Dämpfe verhindert bzw. deutlich reduziert.

Es gibt verschiedene Schaumlöschmittel, von denen insbesondere die wasserfilmbildenden Schaummittel (AFFF oder A3F) von Bedeutung sind, weil sie PFC enthalten können. Erste Erfahrungsberichte in Deutschland über den Einsatz von A3F-Schaummitteln lassen sich auf das Jahr 1964 datieren (MARK, SCHROERS & HÄDICKE 2012). Zunächst wurden diese Löschschäume bei Lösch- und Übungseinsätzen auf Flughäfen verwendet. PFC-haltige Löschmittel wurden dann aber erst ab Mitte der 1970er Jahre „auf breiter Front“ eingesetzt, so dass als untere Abschneidegrenze für entsprechende Recherchen das Jahr 1975 festzusetzen ist.

Eine obere Abschneidegrenze ist dagegen schwieriger festzulegen. Die Umweltrelevanz PFC-haltiger Löschschäume ist den Feuerwehren seit ca. 2000 bekannt, gesetzliche Regelungen sahen einen Einsatz

PFOS-haltiger Löschmittel bis Mitte 2008 vor, wurden sie vor 2006 angeschafft, konnten sie bis Mitte 2011 verwendet werden. Für Feuerlöschschäume, die andere PFC als PFOS enthalten, bestehen zurzeit

keine gesetzlichen Beschränkungen, so dass davon auszugehen ist, dass auch heute noch PFC-haltige Löschmittel zum Einsatz kommen.

### 3 Einsatzorte PFC-haltiger Schaumlöschmittel

Neben den Herstellungsbetrieben von Schaumlöschmitteln sowie den Betrieben, in denen Löschschäume bevorratet werden, kommen vor allem folgende Einsatzorte für PFC-haltige Schaumlöschmittel in Frage:

1. Brandbekämpfung,
2. Übungsplätze,
3. Feuerwachen.

#### 3.1 Brandbekämpfung

Um den Rechercheaufwand möglichst zu begrenzen, erscheint es sinnvoll, schwerpunktmäßig solche Brandereignisse zu berücksichtigen, zu deren Bekämpfung PFC-haltige Löschmittel eingesetzt worden sind. Dabei sind Brandklassen und Brandgrößen zu unterscheiden.

Wie bereits erwähnt, kamen und kommen Löschschäume bei bestimmten Brandarten zum Einsatz, bei denen eine Verbesserung der Löscheigenschaften von Wasser erforderlich war bzw. ist. Beispiele für den Einsatz von PFC-haltigen Löschmitteln sind Brände von Produktions-, Umschlag- und Lagerstätten mit großen Volumina an brennbaren flüssigen Stoffen, Lagern mit besonderem Gefahrenpotential (Hochregallagerung von Kunststoffprodukten; Recycling-Anlagen), Flugzeugen, Bahnkesselwagen und Straßentankfahrzeugen.

Gemäß der Europäischen Norm EN2, die eine Klassifizierung der Brände in fünf Gruppen vorsieht, gehören die aufgeführten Beispiele in die Brandklasse A (Brände fester Stoffe hauptsächlich organischer Natur) und Brandklasse B (Brände von flüssigen und flüssig werdenden Stoffen). Eine ausschließliche Betrachtung dieser Brandklassen ist jedoch nicht zu empfehlen, denn bei Bränden sind im Regelfall verschiedene Materialien betroffen, so dass auch bei anderen als den hier aufgeführten Beispielen Lös-

schäume grundsätzlich zum Einsatz gekommen sein können. Dennoch können hier die Recherche-schwerpunkte gesetzt werden.

Eine weitere Differenzierung von Bränden erfolgt nach DIN 14010 nach ihrer Größe:

- **Kleinbrand a:** Einsatz von einem Kleinlöschgerät
- **Kleinbrand b:** Einsatz von nicht mehr als einem C-Rohr

Beispiele für Kleinbrände sind brennende Mülltonnen und kleinere PKW-Brände

- **Mittelbrand:** Einsatz von mehr als drei C-Rohren, keine Sonderrohre  
Beispiele für Mittelbrände sind Wohnungsbrände, größere Kfz-Brände, Gebäudebrände, Schienenfahrzeugbrände, kleinere Waldbrände

- **Großbrand:** Einsatz von mehr als 3 C-Rohren oder/und Sonderrohre wie B-Rohre, Monitore oder Schaumstrahlrohr  
Beispiele für Großbrände sind Tankzugbrände, Tanklagerbrände, Brände von Großobjekten, Industriebetrieben und landwirtschaftlichen Anwesen, aber besonders auch größere Waldbrände und Brände auf Müllkippen.

Tendenziell dürften größere Mengen an Löschschäumen bei Mittel- und Großbränden eingesetzt worden sein. Da die Zahl von Mittelbränden pro Jahr bereits recht hoch ist, wäre der Rechercheaufwand auf kommunaler Ebene nicht unerheblich. Daher empfiehlt sich bei der Recherche eine schwerpunktmäßige Berücksichtigung von Großbränden.

Quellen zur Erfassung des Kontaminationsrisikos Brandbekämpfung sollten Angaben zum Ort, Zeitpunkt, zur Brandklasse und Brandgröße enthalten. Die im Regelfall umfassendste und geeignete Quelle sind die Brand- und Einsatzberichte der Feuerwehr, aus denen die notwendigen Daten für

die Einschätzung der PFC-Relevanz eines Brandes hervorgehen. Die Berichte enthalten in den meisten Fällen Angaben zum Ort, zum Zeitpunkt, zur Brandgröße und -klasse. Teilweise sind auch die eingesetzten Löschmittel dokumentiert. Für die Brand- und Einsatzberichte der Feuerwehren gibt es allerdings kein einheitliches Muster, so dass Aufbau und Inhalt dieser Dokumente durchaus variieren können. Leider sind diese Einsatzberichte für Recherchezwecke aus verschiedenen Gründen nicht durchgängig verfügbar. So werden diese nicht überall über einen längeren Zeitraum aufbewahrt, oder sie werden aus Gründen des Datenschutzes nicht zur Verfügung gestellt (LANUV NRW 2017).

Daher müssen auch andere Quellen in Betracht gezogen werden. In zahlreichen Kommunen werden Jahresberichte der Feuerwehr veröffentlicht. Übersichten über die Anzahl der Klein-, Mittel- und Großbrände im zurückliegenden Jahr ermöglichen die Festlegung einer „Zielgröße“ für eine anschließende detailliertere Recherche. Die Jahresberichte der Feuerwehr verschiedener Kommunen enthalten auch ausführlichere Darstellungen über „besondere Einsätze“ mit entsprechenden Zeit- und Ortsangaben. Hin und wieder finden sich auch Angaben zu den eingesetzten Löschmitteln. Einige Feuerwehren

veröffentlichen auch ausführliche Pressespiegel, die zumindest eine Erfassung der wichtigsten Brandereignisse ermöglichen.

## 3.2 Übungsplätze

Löschübungen werden zum Teil auf speziellen Übungsplätzen abgehalten. Hier ist durch die intensive Nutzung der Standorte von einem besonders hohen Boden- und Grundwasserbelastungspotential auszugehen. Erst bei neueren Anlagen ist mit entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen für den Boden- und Grundwasserschutz zu rechnen.

Als eine bedeutende Kontaminationsquelle haben sich die Löschübungsbereiche der Feuerwehren auf zivilen und militärisch genutzten Flugplätzen erwiesen. Hier sind vor allem die Löschübungsbecken von Bedeutung, die zur Simulation von Flüssigkeitsbränden dienen (Abb. 1). Undichtigkeiten der Becken sowie Übertreten der Schaummassen haben schon vielerorts zu relevanten PFC-Kontaminationen geführt.

Löschübungsbecken sowie auch häufig verwendete Wrackteile auf Flughafengeländen lassen sich im Regelfall durch Luftbildauswertung problemlos erfassen.



**Abb. 1:** Feuerlöschübungsbecken auf einem militärischen Flugplatz in Norddeutschland © MSP 2017

### 3.3 Feuerwachen

Systematische Untersuchungen der Stadt Düsseldorf haben ergeben: Von fünf untersuchten Feuerwachen sind alle mit PFC belastet (LANUV NRW). Aufgrund des relativ kurzen Recherchezeitraums sind diejenigen Feuerwachen, die nach 1975 geschlossen wurden, durch Befragungen in den zuständigen Referaten der Kommunen zuverlässig und ohne größeren Aufwand zu erheben. In der Topographischen Karte

1:25 000 (TK25) sind Feuerwachen durch Signaturen oder Beschriftungen nicht kenntlich gemacht. Lediglich in der Deutschen Grundkarte 1:5 000 (DGK5) sind entsprechende Eintragungen zu finden.

Für die weitere standortbezogene Recherche insbesondere nach Lagerflächen, Waschplätzen und meist angeschlossenen Übungsbereichen empfiehlt sich die Auswertung von Bauakten sowie von Luftbildern.

## 4 Fazit

PFC-Kontaminationen durch Löschschäume sind vermutlich noch in vielen Kommunen ein „schlummerndes“ Umweltproblem. 2017 waren in NRW 93 PFC-Fälle bekannt. In 71 % der Fälle wurden Löschmitteleinsätze als Grund angegeben bzw. vermutet. Systematische Erhebungen wurden in NRW allerdings nur in einzelnen Kommunen durchgeführt, etwa in Düsseldorf, wo allein 25 PFC-Fälle erfasst sind (LANUV NRW).

Eine systematische Erhebung potenziell mit PFC kontaminierter Flächen erfolgte bislang lediglich von der Bundeswehr für ihre Liegenschaften.

Grundsätzlich lassen sich die Rahmenbedingungen für die Erfassung von PFC-Kontaminationen aufgrund von Löschmitteln durch folgende Sachverhalte spezifizieren:

**Tab. 1:** Rahmenbedingungen für die Erfassung von PFC-Kontaminationen durch Löschmittel

Kontaminationsrisiko	Recherchezeitraum	Spezifizierungen	Quellen
Brandbekämpfung	1975 bis heute	Brandklasse: A und B Brandgröße: Großbrand	Brand- und Einsatzberichte der Feuerwehr Jahresberichte der Feuerwehr Pressespiegel der Feuerwehr
Übungsplätze	1975 bis heute (auf Flughäfen 1970 bis heute)	Auf Flughäfen vor allem die Löschübungsbecken und sonstige Übungsbereiche (Wrackteile etc.)	Luftbilder Interviews
Feuerwehr	1975 bis heute	Auch die oft angrenzenden Übungsbe- reiche	DGK 5 Stadtübersichtskarten Ordnungsämter

## Literatur

LANUV NRW (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) 2017: PFC in Boden und Grundwasser - Ergebnisbericht des Workshops am 25.09.2017. 18 S.  
[https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/altlast/20171214\\_Ergebnisbericht\\_PFC\\_in\\_Boden\\_und\\_Grundwasser.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/altlast/20171214_Ergebnisbericht_PFC_in_Boden_und_Grundwasser.pdf)

MARK, H., SCHROERS, S. & HÄDICKE, A. 2012: Informationsquellen zur Ermittlung von PFT-B

# PFC-Schadstoffe auf landwirtschaftlichen Flächen Herausforderungen und Lösungsansätze

ELENA HAIBEL

## 1 Einleitung

Mehr als die Hälfte der deutschen Fläche wird landwirtschaftlich genutzt [1]. In Hessen sind es knapp 42 %. Die Anteile der landwirtschaftlichen Flächen sinken langsam zugunsten der Siedlungs- und Verkehrsflächen [2]. Umso bedeutender ist es, flächenhafte Einträge von Schadstoffen in den Boden zu verhindern bzw. zu vermeiden.

2006 wurde bekannt, dass mit per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) verunreinigtes, als Bodenverbesserer deklariertes Abfallmaterial in eini-

gen Bundesländern auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht wurde. Der Umgang mit PFC in den Umweltmedien ist ein neues Aufgabengebiet. Im nachsorgenden Boden- und Grundwasserschutz sind klassische Sanierungsmaßnahmen, wie Bodenaushub, Sickerwasseraufbereitung oder Grundwasser-sanierung, bei PFC-Belastungen häufig sehr komplex und kostenintensiv. Als Alternative zu Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen kommen Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen nach § 2 Abs. 8 BBodSchG und § 5 Abs. 5 BBodSchV in Betracht.

## 2 Historie

In den Jahren 2003–2006 wurde auf landwirtschaftlichen Flächen in Nordhessen mit PFC verunreinigtes, als Bodenverbesserer deklariertes Abfallmaterial aufgebracht. Unmittelbar nach Bekanntwerden der Verunreinigungen in 2006 wurden orientierende Untersuchungen durchgeführt. Das darauffolgende umfangreiche Monitoringprogramm für Boden, Oberflächen- und Grundwasser wurde aufbauend auf den Erkenntnissen der orientierenden Untersuchung aufgelegt und kontinuierlich dem Wissensstand folgend angepasst. In einigen Gebieten bewegen sich die Konzentrationen im Untersuchungszeitraum auf

einem insgesamt gleichbleibenden Niveau, auf anderen Flächen sind leicht abnehmende Gehalte an PFC bestimmbar.

Neben Hessen war vor allem Nordrhein-Westfalen von flächenhaften Belastungen mit Beaufschlagung durch PFC-kontaminierte Materialien auf landwirtschaftliche Flächen betroffen. 2013 wurden auch in Baden-Württemberg belastete Flächen bekannt, die mit PFC-verunreinigtem Kompostgemisch beaufschlagt wurden [3].

## 3 Per- und polyfluorierte Chemikalien

Die Stoffgruppe der PFC kommt nicht natürlich vor, sondern ist anthropogenen Ursprungs und umfasst mehr als 3 000 Einzelverbindungen. Einer der bekanntesten Vertreter dieser Stoffgruppe ist Perfluor-

octansulfonsäure (PFOS). PFOS ist ein langlebiger organischer Schadstoff und zählt zu den sog. PBT-Stoffen (persistent, bioakkumulierend und toxisch). Er kann sich in Böden, Sedimenten sowie entlang

der Nahrungskette in Pflanzen und Tieren bis zum Menschen anreichern [4]. Neben PFOS zählt Perfluorooctansäure (PFOA) ebenfalls zu den Leitkomponenten und steht damit ebenfalls im Fokus zahlreicher Untersuchungen und Studien. In Abb. 1 sind die Strukturformeln sowohl von PFOS als auch von PFOA gezeigt.

PFC-Verbindungen kamen bzw. kommen aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften – wasser-, fett- und schmutzabweisend sowie chemisch und thermisch stabil – in vielen Bereichen zur Anwendung: Feuerlöschschäume, Wachse/Schmiermittel, Baustoffe (Wetterschutzfarben und -lacke), Textilindustrie (Outdoor- und Arbeitskleidung), Galvanik, Papier- und Fotoindustrie usw. [4].

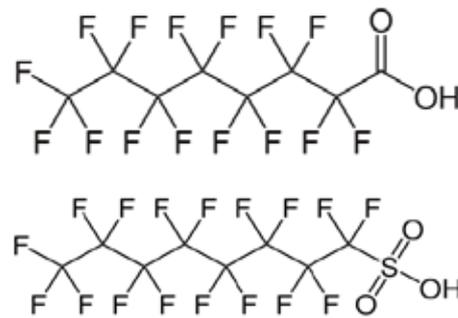
Die Stoffgruppe kann hinsichtlich ihres Verhaltens in kurzkettige (Kettenlängen von bis zu 7 C-Atomen) und langkettige (Kettenlängen ab 8 C-Atomen) PFC unterteilt werden. Aufgrund der Bedenklichkeit für die Umwelt und Gesundheit wird seit einigen Jahren insbesondere von der Nutzung langkettiger perfluorierter Verbindungen abgesehen.

## 4 Rechtsgrundlagen

Von der Europäischen Union und vom Bund existieren derzeit nur in ausgewählten Bereichen (z. B. Verordnung (EG) Nr. 850/2004 (sog. „POP-Verordnung“), zuletzt geändert am 30. März 2016, Düngemittelverordnung vom 26. Mai 2017, Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016) nur für PFOS Verbote oder festgelegte Höchstgehalte. Im Januar 2017 wurden vom Umweltbundesamt Empfehlungen für sieben Substanzen für Trinkwasserleitwerte und für weitere sechs Substanzen Gesundheitliche Orientierungswerte veröffentlicht [6]. Für Lebensmittel existieren bislang keine Höchstgehalte. Jedoch gibt

## 5 Gewonnene Erkenntnisse

Die möglichen Eintragungspfade von PFC in die Umwelt können so vielseitig sein wie deren Anwendungsmöglichkeiten. Hohe kleinräumige PFC-Gehalte konnten beispielsweise nach Feuerlöscheinätzen



**Abb. 1:** Strukturformel von Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und Perfluorooctansäure(PFOA)

Ferner besteht der Verdacht, dass Vorläuferverbindungen (sog. Precursor) mit der Zeit zu den bekannten PFC-Verbindungen umgewandelt werden und damit als Schadstoff(nach)lieferant dienen können. Sofern bei Schadensfällen Precursor vorliegen, kann dadurch das Schadstoffpotential unterschätzt werden [5].

es Empfehlungen zu Richtwerten für eine duldbare tägliche Aufnahme: der von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority, EFSA) vorgeschlagene TDI (Tolerable Daily Intake) liegt momentan für PFOS bei 0,15 µg/kg KG/Tag und für PFOA bei 1,5 µg/kg KG/Tag [7]. Grenzwert oder Richtwerte für die Beurteilung von Böden fehlen derzeit gänzlich. In dem Entwurf der Mantelverordnung (Stand Mai 2017) sieht die E-BBodSchV für einige PFC-Einzelverbindungen Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser am Ort der Probenahme vor.

oder auf Feuerlöschübungsplätzen nachgewiesen werden. In Kläranlagen können PFC aus verschiedenen Quellen (Abwasser aus Industrie oder Haushalt) gelangen und sich je nach Eigenschaft im

Klärschlamm anreichern oder über das behandelte Abwasser in Oberflächengewässer eingeleitet werden. Ein weiterer wesentlicher Eintragspfad ist eine (illegale) Aufbringung von PFC-kontaminiertem Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen, wie 2006 bekannt wurde. Zudem besteht die Möglichkeit, dass flüchtige Vorläufersubstanzen (Telomeralkohole oder Perfluorsulfonamide) in die Atmosphäre eingetragen, durch physikalische und chemische Prozesse zu persistenten PFC umgewandelt und damit indirekt über den Luftpfad in der Umwelt verteilt werden [5]. Abbildung 2 zeigt eine schematische Übersicht über die möglichen Eintrags- und Verteilungswege von PFC in der Umwelt.

Aufgrund der guten wasserlöslichen Eigenschaft vieler PFC-Verbindungen wurde zunächst angenommen, dass eine Auswaschung der Stoffgruppe aus den Böden in die Gewässer innerhalb weniger Jahre

erfolgen würde. Durch die langjährigen Untersuchungen sowohl in Hessen als auch in anderen betroffenen Bundesländern konnten erste Erkenntnisse zum Verhalten der bekannten PFC-Verbindungen im Pfad Boden-Grundwasser erlangt werden. Die Untersuchungen zeigen, dass die Auswaschung von PFC von der Kettenlänge abhängig ist. Kurzkettige PFC zeigen eine hohe Mobilität, wohingegen langkettige PFC kaum auf dem Wasserpfad verlagert werden, sondern vielmehr im Boden verbleiben. Damit hat sich die anfängliche Vermutung, dass PFC aus den belasteten Flächen innerhalb von wenigen Jahren ausgewaschen werden, nicht bewahrheitet [9].

Zum Wirkungspfad Boden-Pflanze geben zahlreiche Studien unter Laborbedingungen erste Hinweise zum Stoffverhalten von PFC [10, 11]. Die systematischen Versuche zeigen, dass erhöhte PFC-Gehalte im Boden oder Gießwasser einen höheren Transfer in

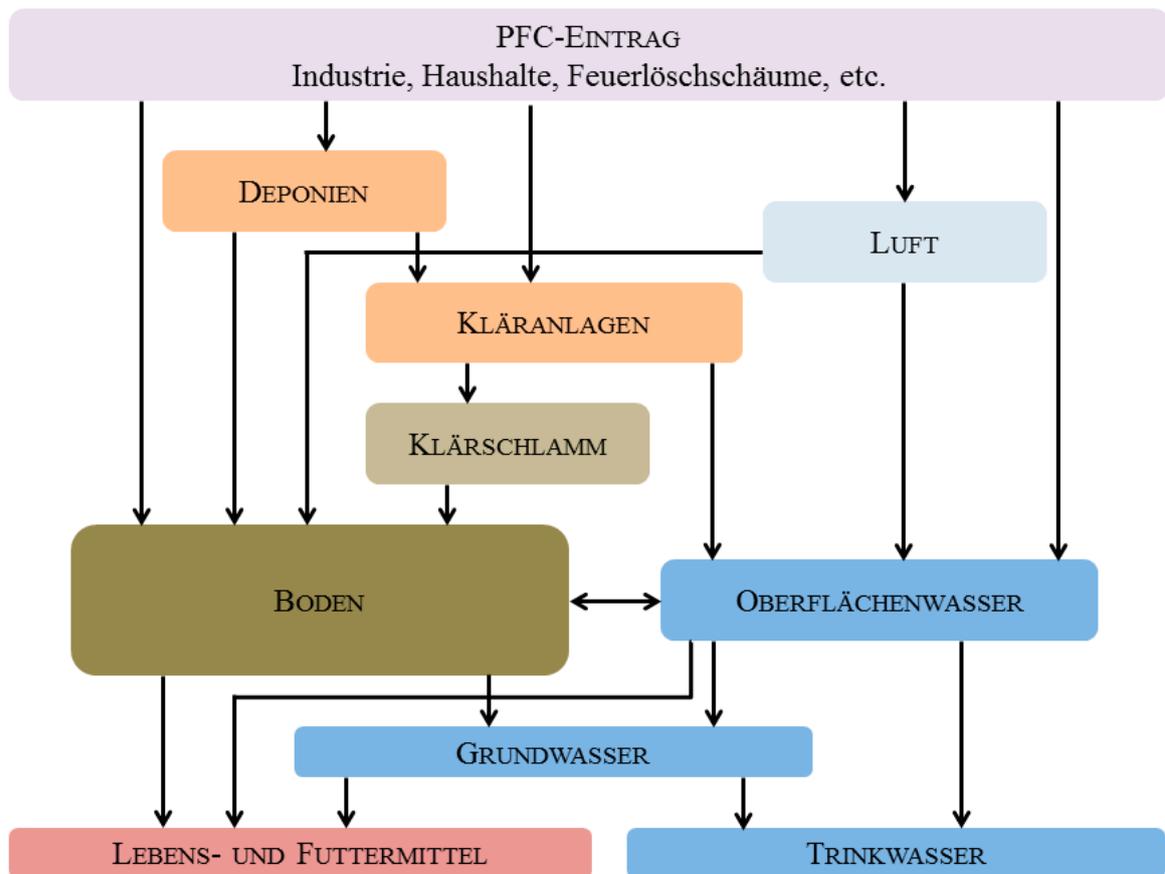


Abb. 2: Schematische Darstellung der möglichen PFC-Einträge und Verteilung in der Umwelt [8]

die Nutzpflanze zur Folge haben. Um Erkenntnisse über die Aufnahmefähigkeit von PFC durch Pflanzen unter Geländebedingungen zu gewinnen, wurden 2014/2015 in Nordhessen Pflanzenuntersuchungen auf ausgewählten Flächen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass vorhandene PFC-Bodenbelastungen in Wurzel, Spross und Korn in meist abnehm-

barer Konzentration nachgewiesen werden konnten [12]. Dieses Ergebnis stimmt mit anderen Freilandversuchen überein [13, 14]. Ein eindeutiger Trend, inwieweit eine Abhängigkeit der PFC-Konzentration im Boden und den Gehalten in der Pflanze besteht, ist aus den bisherigen Untersuchungen nicht ersichtlich.

## 6 Herausforderungen im Umgang mit PFC auf landwirtschaftlichen Flächen

Die Bearbeitung von PFC-Kontaminationen im Boden und/oder Grundwasser ist ein neues Aufgabenfeld beim Boden- und Grundwasserschutz. Grenzwerte oder Richtwerte zur Beurteilung von Böden fehlen derzeit. Das Umweltbundesamt sieht Forschungs- und Handlungsbedarf im Bereich Boden vor allem beim Transfer Boden-Pflanze und damit verbunden eine Ableitung von Prüf- und/oder Maßnahmewerten. Diese Ableitung ist ohne gesetzlich festgelegte Höchstgehalte für Lebensmittel erschwert [15]. Die Klärung der Pflanzenaufnahme von PFC ist im Hinblick auf den Bodenschutz wichtig, da davon insbesondere die weitere landwirtschaftliche Nutzung von PFC-belasteten Flächen abhängt.

Durch bisherige Untersuchungen der betroffenen Bundesländer zeigen sich erste Tendenzen zum Wirkungspfad Boden-Pflanze. Viele Parameter, die eine PFC-Aufnahme der angebauten Pflanzen im Feld beeinflussen können, sind derzeit jedoch nicht ausreichend wissenschaftlich erforscht. Dadurch sind belastbare Aussagen über den Wirkungspfad Boden-Pflanze erschwert. Insbesondere für den systemischen Pfad können z. B. folgende Einflussfaktoren von Bedeutung sein:

- Art der Verbindung (lang- bzw. kurzkettige PFC, Perfluorsulfonsäure bzw. -carbonsäure)
- pH-Wert des Bodens
- Bodenart
- Pflanzenart
- Bewässerungsmenge, -häufigkeit.

Ein Wiedereintrag von PFC durch das Verbleiben von kontaminierten Ernterückständen (Spross und Wurzel) auf den Flächen ist ebenfalls denkbar, aber noch nicht ausreichend untersucht.

Des Weiteren liegen nur für wenige bestimmte Verbindungen festgelegte Analyseverfahren vor. In Deutschland sind zwei DIN-Normen zur Analyse der PFC im Boden (DIN 38414-14) und Wasser (DIN 38407-42) verfügbar. Diese umfassen zehn perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren. Daher kann derzeit nur ein geringer Teil der PFC-Substanzen analytisch repräsentativ erfasst werden. Durch die vorhandene Vielzahl der Einzelverbindungen, ist eine Bewertung einer Kontamination über Einzelstoffanalytik daher nicht leistbar. Vor diesem Hintergrund wurden eine Reihe Verfahren entwickelt, die die PFC als Summenparameter (z. B. AOF, EOF, TOP usw.) erfassen. Doch bisher sind die Verfahren nicht genormt und befinden sich zum Teil noch in der Erprobung [5].

Mangels einer aussagekräftigen Quantifizierung der tatsächlich vorhandenen Schadstoffe im Boden besteht die Gefahr, dass das Schadstoffpotential unterschätzt wird. Verdeutlicht wird das anhand einer Bodenprobe, die im Eluat eine höhere PFC-Konzentration ausweist als die Feststoffanalyse der ursprünglichen Bodenprobe.

Eine weitere Herausforderung stellt die Sanierung von großflächigen PFC-Belastungen dar, insbesondere unter den Fragestellungen:

- Wann ist eine PFC-Sanierung verhältnismäßig?
- Wie soll kontaminiertes Material entsorgt werden?
- Welche verfahrenstechnischen Sanierungsmethoden für Boden- und Grundwasser sind geeignet?
- Welche Sanierungszielwerte sollen festgelegt werden?

## 7 Lösungsansätze zum Umgang mit PFC und anderen Schadstoffen bei großflächigen Kontaminationen

Flächenhafte Einträge von Schadstoffen können vielfältige Ursachen haben und unterschiedliche Flächen betreffen. Anhaltspunkte für mögliche Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen ergeben sich neben Flächen, die mit schadstoffkontaminierten Klärschlämmen beaufschlagt wurden, auch bei Böden in Überschwemmungsgebieten, Rieselfeldern, Immissionsgebieten (Nähe zu emittierenden Betrieben, Bergbaubetrieben) usw.

Bei schädlichen Bodenveränderungen und der Feststellung einer Gefahrensituation sind in einem angemessenen Zeitrahmen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu ergreifen, wobei entweder Sanierungs-, Sicherungs- oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen in Frage kommen. Im Grundsatz beinhaltet § 4 Abs. 3 BBodSchG die Verpflichtung, dass die Gefahrenabwehr in erster Linie mit Hilfe von Sanierungsmaßnahmen zu bewerkstelligen ist. Erst wenn Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen nicht möglich oder unzumutbar sind, können stattdessen Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen ergriffen werden.

Bei flächenhaften schädlichen Bodenveränderungen, unabhängig vom vorhandenen Schadstoff, stellt sich die Frage der Verhältnismäßigkeit von klassischen Sanierungsmaßnahmen, wie sie bei hochkontaminierten Altlasten Anwendung finden. Da in der Regel bei flächenhaftem Schadstoffaufkommen kein Schadstoffherd bzw. keine einzelne Ursache vorhanden ist (insb. bei Überschwemmungsgebieten oder Immissionsgebieten). Zudem stellt die Vielzahl an Grundstücken und eine vielfältige Nutzung (Landwirtschaft, Wohngebiete, Kinderspielflächen) eine besondere Herausforderung dar.

## 8 Ausblick

Auf Wunsch der Bund/Länderarbeitsgemeinschaften für Wasser (LAWA) und Boden (LABO) hat der Bund die Federführung in einer neu eingerichteten PFC-Bund-Länder Fachgruppe übernommen. Die Fachgruppe soll u. a. Vorgaben für die Bewertung und

In solchen Fällen können vor allem Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen in Abhängigkeit der Nutzung in Betracht kommen (§ 5 Abs. 5 BBodSchV). Zu Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen zählen z. B.

- Bewirtschaftungsauflagen
  - pH-Wert-Regulierung durch Kalkung,
  - Vorgaben zum schmutzarmen Ernteverfahren
- Anpassung der Nutzung
  - Einschränkung des Anbaus mäßig bis stark anreicherender Nahrungs- und Futtermittel
  - Vermarktung der Lebens- oder Futtermittel nach Nachweis der Unbedenklichkeit
  - Anbau von Nichtnahrung- und Nichtfuttermittel (nachwachsende Rohstoffe, Zierpflanzen, etc.)
- Nutzungsuntersagung
- Betretungsverbot.

Bei Anordnungen von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen für land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen ist nach § 5 Abs. 5 BBodSchV Einvernehmen mit der zuständigen landwirtschaftlichen Fachbehörde herzustellen. Dient darüber hinaus die betroffene Fläche zum Lebens- oder Futtermittelanbau empfiehlt sich zudem eine frühzeitige Einbeziehung der zuständigen Stelle für Lebens- und Futtermittelüberwachung.

Zur Umsetzung notwendiger Maßnahmen der Gefahrenabwehr stehen verschiedene Verwaltungsinstrumente zur Verfügung. Dazu gehören ordnungsrechtliche, aber auch freiwillige und vertragliche Instrumente.

Sanierung von Boden- und Gewässerverunreinigungen durch PFC-Verbindungen sowie für die Entsorgung PFC-haltiger Materialien erarbeiten. Weitere Aktivitäten des UBA und geplante Projekte siehe [15].

## Literatur

- [1] Umweltbundesamt: [www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#textpart-1](http://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#textpart-1)  
Zugegriffen: 04. Mai 2018.
- [2] Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: [umwelt.hessen.de/landwirtschaft/landwirtschaft-und-laendliche-raeume/landwirtschaft-hessen](http://umwelt.hessen.de/landwirtschaft/landwirtschaft-und-laendliche-raeume/landwirtschaft-hessen)  
Zugegriffen: 04. Mai 2018.
- [3] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: [um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/schutz-natuerlicher-lebensgrundlagen/boden-und-altlasten/altlasten/pfc/](http://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/schutz-natuerlicher-lebensgrundlagen/boden-und-altlasten/altlasten/pfc/)  
Zugegriffen: 04. Mai 2018.
- [4] Umweltbundesamt: [www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/chemikalien-reach/stoffgruppen/per-polyfluorierte-chemikalien-pfc#textpart-1](http://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/chemikalien-reach/stoffgruppen/per-polyfluorierte-chemikalien-pfc#textpart-1)  
Zugegriffen: 04. Mai 2018.
- [5] HELD T., REINHARD M. (2016): Analytierte PFAS – die Spitze des Eisbergs?, Altlastenspektrum Nr. 5.
- [6] BIEGEL-ENGLER A., VIERKE L., APEL P., FETTER E., STAUDE C. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz (2017): Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser, Nr. 3.
- [7] The EFSA Journal (2008): Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts, 653, 1-131.
- [8] GELLRICH V. (2014): Sorption und Verbreitung per- und polyfluorierter Chemikalien (PFAS) in Wasser und Boden, Dissertationsschrift, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- [9] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2008): Perfluorierte Chemikalien (PFC) in Hessen – Untersuchungsprogramm des HLUG.
- [10] KRIPPNER, J. (2012): Aufnahme und Verteilung von perfluorierten Chemikalien (PFC) in Mais (*Zea mays*) in Abhängigkeit von pH-Wert und Kettenlänge; Masterarbeit; Justus-Liebig-Universität Gießen.
- [11] STAHL, T. (2011): Übergang von PFT von Böden in Pflanzen, Fachtagsbeitrag: [www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/per\\_polyfluorierte\\_chemikalien/fachtagungen/doc/07\\_boden\\_pflanzen.pdf](http://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/per_polyfluorierte_chemikalien/fachtagungen/doc/07_boden_pflanzen.pdf)  
Zugegriffen: 04. Mai 2018.
- [12] MARBACH, H. B. (2016): Das Stoffverhalten von perfluorierten Chemikalien (PFC) in den Wirkungspfaden Boden-Grundwasser und Boden-Pflanze unter besonderer Berücksichtigung von Perfluoroktansulfonat (PFOS), Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main.
- [13] MÜLLER, J. (2012): PFC-Transfer in Pflanzen – Beitrag zum EU-Projekt PERFOOD; Forschungsarbeiten/Research Activities 2011, Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie, Aachen.
- [14] WEINFURTER, K. (2008): Untersuchungen zum Übergang aus PFT-belasteten Böden in Pflanzen- Ergebnisse der ergänzenden Untersuchungen 2008, Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME), Schmallingenberg.
- [15] Umweltministerkonferenz (2017): Bericht zu perfluorierten Verbindungen; Reduzierung/Vermeidung, Regulierung und Grenzwerte, einheitliche Analyse- und Messverfahren für fluororganische Verbindungen. [www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/umlauft2017\\_19.pdf](http://www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/umlauft2017_19.pdf)  
Zugegriffen: 27. Feb. 2018.

# Analytische Möglichkeiten zur Erfassung von sog. Präkursoren bei PFAS-Schadenfällen

F. T. LANGE, J. MÜLLER, B. KÖRNER, J. JANDA, M. SCHEURER, K. NÖDLER, F. SACHER, J. BRAUCH

## Einleitung

Mit der Einzelsubstanzanalytik auf poly- und perfluorierte Alkylverbindungen (PFAS; im deutschen Sprachraum oft auch als PFC bezeichnet) kann nur ein gewisser Teil der in belasteten Umweltkompartimenten vorhandenen PFAS bestimmt werden, während sich wahrscheinlich ein Großteil aufgrund des Fehlens von analytischen Standards und Methoden der Analyse entzieht. Es wurde vermutet, dass vor allem in Bodenproben von belasteten Flächen, z. B. Altlasten, aufgrund des Einsatzes von Fluortensiden in Feuerlöschschäumen oder in anderen Feststoffen, wie z. B. Papierschlämmen, PFAS vorliegen, die nicht oder nicht vollständig mit den verfügbaren Analysemethoden erfassbar sind, und daher bislang quasi nur „die Spitze des Eisbergs“ erkannt wird. Auch im Grundwasser, insbesondere nahe der Kontaminationsquelle, können PFAS vorliegen, die mit den gängigen Methoden der Einzelsubstanzanalytik, z. B. nach DIN 38407-42 und DIN 38414-14, derzeit nicht analysierbar sind.

Am TZW wurde daher schon vor einiger Zeit der Parameter AOF (adsorbierbares organisch gebundenes Fluor) für die summarische Bestimmung von Organofluor in Wasserproben entwickelt. In wei-

terführenden Arbeiten wurde ein Verfahren mit der Bezeichnung EOF (extrahierbares organisch gebundenes Fluor) für Bodenproben erarbeitet. AOF und EOF sind unabhängig von der Verfügbarkeit von Analysenstandards von Zielverbindungen. Beide Analyseverfahren basieren auf der Verbrennungsanalyse des adsorbierten bzw. extrahierten organisch gebundenen Fluors. Im Vortrag wird schwerpunktmäßig auf das Prinzip und die Anwendung der EOF-Analytik eingegangen. Basierend auf einer ausführlichen Literaturrecherche wurden verschiedene Verfahrensvarianten zur Bestimmung des EOF geprüft und ein Konventionsverfahren festgelegt. Im Anschluss wurden Bodenproben von PFAS-belasteten Flächen aus den Bereichen Baden-Baden/Rastatt und Mannheim untersucht, die vermutlich im Zeitraum 2006–2008 mit Papierschlamm belastetem Kompost verunreinigt worden waren. Durch Vergleich mit dem Organofluor aus identifizierten Einzelverbindungen sollte ermittelt werden, (i) wie groß der unbekannte und als EOF gemessene Organofluoranteil in diesen Proben ist und (ii) ob ein Zusammenhang dieses summarischen Parameters mit dem Organofluorgehalt der mittels HPLC-MS/MS-Analytik gemessenen PFAS existiert.

## Analysenmethoden

Ähnlich wie bei der Bestimmung der adsorbierbaren organisch gebundenen Halogene (AOX) werden die in einer Wasserprobe (100 mL) vorhandenen Organofluorverbindungen im Säulenverfahren nach Ansäuern der Wasserprobe mit einer salpetersauren Nitratlösung an einer fluorarmen Aktivkohle adsorbiert. Mit angereichertes, anorganisches Fluorid wird

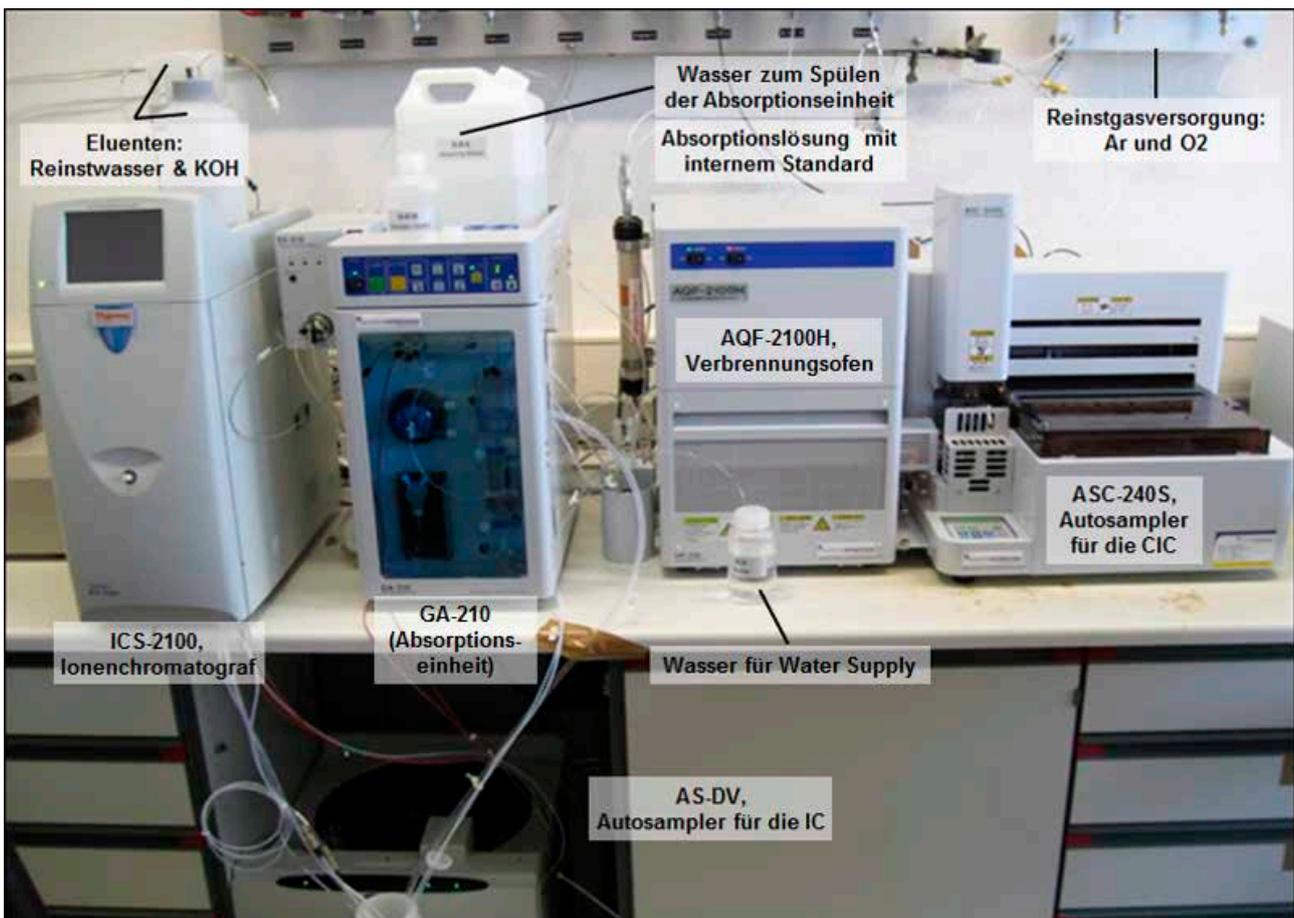
mittels einer Nitratwaschlösung ausgewaschen. Die beladene Aktivkohle wird anschließend durch Verbrennungsanalyse gekoppelt mit der Ionenchromatografie (Combustion Ion Chromatography, CIC) als Fluorid bestimmt. Die Bestimmungsgrenze des Verfahrens liegt bei 1 µg/L.

Die EOF-Bestimmung ist angelehnt an eine Arbeit von Yeung et al. (Environ. Int. 2013, 389–397) und basiert auf der zweifachen Extraktion (Ultraschall und Vortexmischen) des Bodens mit Methanol, gefolgt von einem Clean-up-Schritt (schwacher Anionenaustauscher) zur Entfernung des anorganischen Fluorids aus dem Extrakt. Der verbleibende Organofluorgehalt wird als EOF definiert und mittels CIC als Fluorid bestimmt. Diese Methode weist eine Bestimmungsgrenze von 50 µg/kg TS auf. Abbildung 1 zeigt das für die AOF- und EOF-Bestimmung verwendete CIC-System.

Neben der Analyse von Bodenproben wurde auch der sog. Total Oxidizable Precursor (TOP) Assay auf ausgewählte Bodenprobenextrakte angewendet. Dabei wird der methanolische Extrakt in eine wässrige Probe überführt, die mit Peroxodisulfat im al-

kalischen Milieu oxidiert wird. Dabei entstehen aus unbekanntem PFAS-Vorläuferverbindungen Perfluoralkancarbonsäuren (PFCA), die mittels HPLC-MS/MS-Einzelstoffanalytik bestimmt werden können.

Die vergleichenden Untersuchungen auf PFAS (Perfluoralkylcarboxylate und -sulfonate sowie einige polyfluorierten Carboxylate und Sulfonate) wurden nach DIN 38407-42 (Wasserproben) sowie in Anlehnung an DIN 38414-14 durchgeführt. Zusätzlich wurden mehrere Vertreter der Polyfluoralkyldiphosphate (diPAP) sowie der Sulfonamidoethanol-basierte Phosphatdiester (diSAmPAP), die als Mittel zur Oberflächenveredelung und -beschichtung von Papieren, Kartons und Pappen für den Lebensmittelkontakt eingesetzt wurden, aus Bodenproben mittels einer separaten HPLC-MS/MS-Methode bestimmt.



**Abb. 1:** CIC-System für die AOF- und EOF-Bestimmung.

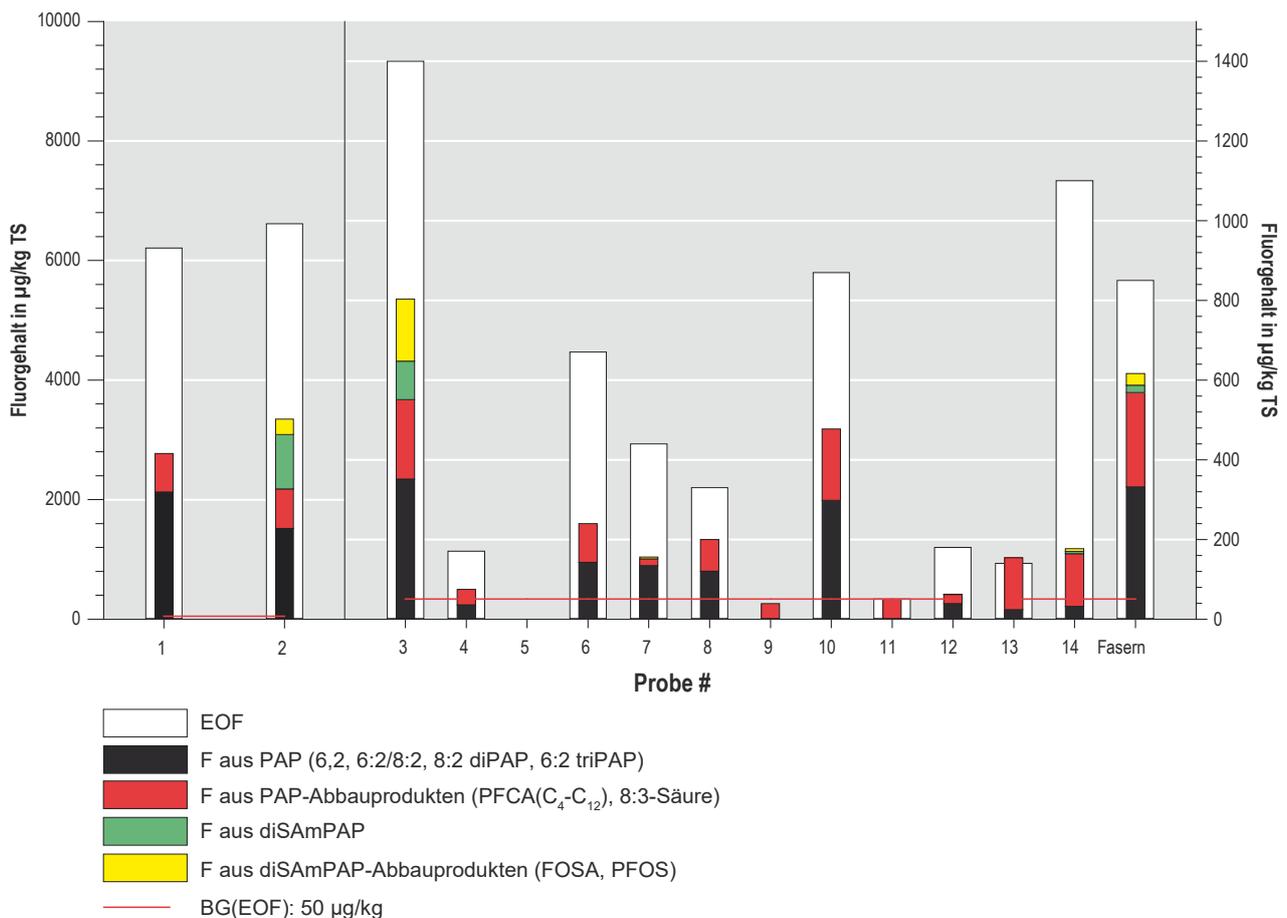
## Ergebnisse

Bei den bisherigen AOF-Analysen von PFAS belasteten Grundwässern wurde hauptsächlich in der unmittelbaren Nähe des Schadensherds, z. B. einem Feuerwehrlöschübungsplatz, ein größerer Prozentsatz in der Größenordnung von 50 % des über die Einzelstoffanalytik nicht erklärbaren und als AOF gemessenen Organofluors gefunden.

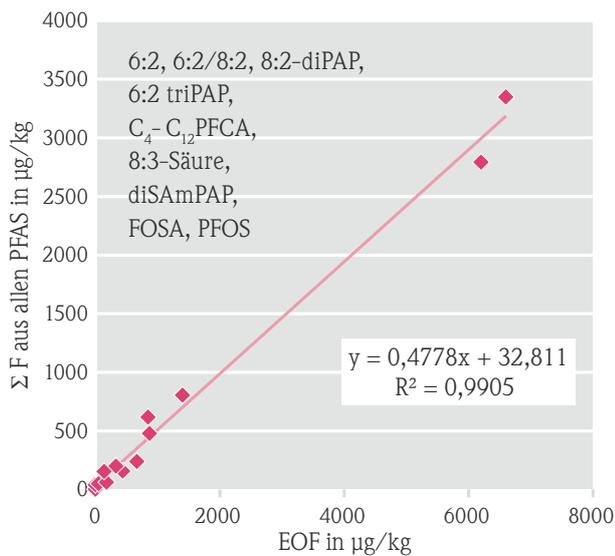
In den untersuchten Bodenproben wurden, bezogen auf die Trockensubstanz (TS), EOF-Gehalte bis in den zweistelligen mg/kg-Bereich gemessen. Der höchste Wert von 66 mg/kg TS wurde in einer Probe eines Löschübungsplatzes gefunden. Aber auch bei den mit Papierschlamm vermischtem Kompost beaufschlagten Flächen aus dem Raum Rastatt/Baden-Baden und Mannheim lagen EOF-Gehalte bis zu mehreren mg/kg TS vor.

Der Vergleich der Einzelsubstanzanalytik auf PFAS einschließlich der Phosphatdiester und diSAmPAP zeigte, dass in allen Fällen, in denen ein positives Messergebnis für das EOF resultierte, die Summe des Organofluors aus bekannten Einzelverbindungen zum Teil erheblich vom EOF abweicht (Abb. 2).

Der nicht erklärbare EOF-Anteil lag im Mittel der untersuchten Proben bei etwa 50 %. Dies impliziert die Anwesenheit weiterer, nicht bekannter Organofluorverbindungen. Dabei könnte es sich um sog. Präkursoren, also derzeit mit der Einzelsubstanzanalytik nicht erkannte fluorierte Verbindungen handeln, die im Boden vorhanden sind und zu messbaren perfluorierten Endprodukten abgebaut werden können. Die inzwischen in einigen belasteten Flächen aus dem Raum Baden-Baden/Rastatt nachgewiesenen



**Abb. 2:** Vergleich von EOF und dem aus den Konzentrationen der bekannten Einzelsubstanzen berechneten Organofluor in einer Auswahl von Böden und einer Faserprobe.



**Abb. 3:** Korrelation der Summe des Organofluors aus allen analysierten PFAS mit dem EOF.

Vertreter der diPAP und des diSAmPAP zeigen, dass hier zumindest diese Stoffklasse einen bedeutenden Anteil am EOF haben kann, da es noch eine Reihe weiterer Homologe gibt, für die jedoch nur für sehr wenige analytische Standards zur Verfügung stehen. Dass diese Stoffklasse – wenn auch nicht vollständig – mit der erarbeiteten Methode erfasst wird, ergaben Wiederfindungsversuche für eine Auswahl fluorierter Referenzverbindungen. Hiernach wird das organisch gebundene Fluor der untersuchten diPAP und triPAP sowie der Sulfonamidoethanol-basierten Phosphatester (diSAmPAP), die als aktive Wirkstoffe in Produkten zur Papierimprägnierung enthalten

## Fazit und Ausblick

Da zwischen dem EOF und der Summe des Organofluors aus bekannten Einzelverbindungen häufig noch eine große Erklärungslücke vorhanden ist, besteht dringender Forschungsbedarf zur weiteren Aufklärung dieses unbekanntes Anteils. Es läuft daher derzeit ein Anschlussvorhaben im Förderprogramm BWPLUS unter Beteiligung mehrerer spezialisierter Arbeitsgruppen. Darin soll die PAP/SAmPAP-Analytik auch auf Pflanzenmaterial übertragen werden.

waren, zu etwa 30 % bis 90 % analytisch erfasst. Diese Fluor-Wiederfindungen wurden bei der Ermittlung des nicht erklärbaren EOF-Anteils noch nicht eingerechnet. Berücksichtigte man die Fluor-Wiederfindungen der nachgewiesenen diPAP und des diSAmPAP, ergäbe sich ein noch etwas größerer Anteil an nicht erklärbarem EOF.

Anhand der auf EOF und PFAS untersuchten Proben aus dem Raum Baden-Baden/Rastatt und dem Raum Mannheim wurde eine gute Korrelation zwischen dem EOF und der Summe des Organofluors aus bekannten PFAS gefunden (Abb. 3). Dieser Befund legt nahe, dass die untersuchte Stoffklasse der PAP eine wichtige Rolle spielt, jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit weitere Homologe sowie ggf. weitere Stoffklassen von fluorhaltigen Papierchemikalien vorhanden sind.

Im Rahmen von Tiefenprofiluntersuchungen im Raum Baden-Baden/Rastatt wurde eine tiefenabhängige Organofluorbilanz erstellt, bei der die Ergebnisse der EOF- und der TOP-Analytik sowie der Einzelsubstanzbestimmungen gegenübergestellt wurden. Dabei zeigte es sich, dass ein großer Anteil von unbekanntes Vorläuferverbindungen im Bereich des Pflughorizonts vorliegt. Mit zunehmender Tiefe nehmen die mit EOF-Bestimmung, TOP Assay und Einzelsubstanzanalytik bestimmten Fluorgehalte stark ab und gleichen sich einander an. Daraus kann gefolgert werden, dass in tieferen Schichten hauptsächlich bekannte und analysierbare PFAS als Abbauprodukte von unbekanntes Präkursoren im Boden vorhanden sind.

Daneben werden weitere Einzelsubstanzen (u. a. Abbauprodukte von Fluortelomerverbindungen) und Stoffklassen (Perfluorpolyether, Fluortelomeracrylate) sowie deren Verlagerungsverhalten vom Boden in die Pflanze adressiert. In diesem Zusammenhang soll auch versucht werden, die Bestimmungsgrenze des EOF (50 µg/kg TS) weiter zu erniedrigen und die EOF-Methodik auf Pflanzenmaterial anzuwenden.

## **Danksagung**

Die Arbeiten wurden vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS) im Rahmen der „EOF“-Projekte Nr. L7515008 und L7517011 gefördert. Die PAP/

SAmPAP-Analytik erfolgte im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt (LUBW) und die Tiefenprofiluntersuchungen im Auftrag des Regierungspräsidiums Karlsruhe.



# Großflächige Bodenbelastungen durch historischen Bergbau in Biebergemünd

DIETER BINDER

## 1 Situation

Im Rahmen des vom HLNUG durchgeführten hessenweiten Projekts zur Untersuchung von Auenböden wurden entlang des Baches Bieber in Biebergemünd (Main-Kinzig-Kreis) erhöhte Arsen- und Schwermetallgehalte im Boden festgestellt, die teilweise deutlich über den Prüf- bzw. Maßnahmenwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) liegen. Als Ursache der Schadstoffbelastungen wurde die historische Bergbautätigkeit in der Umgebung des oberstromig gelegenen Orts-

teils Bieber sowie einem Seitental der Bieber, dem Schwarzbachtal vermutet. Der Schadstofftransport zu den belasteten Auenböden erfolgte vermutlich über Bachsedimente, die bei Überschwemmungen in den Auen wieder abgelagert wurden. Nach ersten behördlichen Abstimmungen wurden seitens des Kreisverwaltung wegen der Betroffenheit von Grünlandflächen vorsorglich 42 betroffene Bewirtschafter von Grünlandflächen in der Bachaue informiert und Handlungsempfehlungen ausgesprochen.

## 2 Orientierende Untersuchungen

Aufgrund der Erkenntnisse des HLNUG wurden seitens des RP Darmstadt, Abt. Arbeitsschutz und Umwelt Frankfurt im vergangenen Jahr orientierende Bodenuntersuchungen in Biebergemünd mit Landesmitteln beauftragt.

In einem ersten Schritt wurden vorrangig Flächen mit sensibler Nutzung im Auenbereich der Bieber sowie in der Umgebung des ehemaligen Bergbaugebiets im Ortsteil Bieber untersucht und zunächst hinsichtlich der Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze bewertet. Zudem wurden stich-

probenweise weitere landwirtschaftlich genutzte Flächen (vorwiegend Grünlandnutzung) im Auenbereich untersucht. In Abstimmung mit der Gemeindeverwaltung wurden bevorzugt gemeindeeigene Flächen ausgesucht. Insgesamt waren 24 Standorte Gegenstand der Untersuchungen. Dabei handelte es sich um 8 Kinderspielflächen – sowohl öffentliche Spielplätze als auch unbefestigte Freiflächen in Kitas und Kindergärten, 6 Park- und Freizeitflächen – meist Sportplätze, 6 Grünlandflächen sowie 4 Brachflächen (s. Abb. 1).



Abb. 1: Untersuchungsgebiet mit 24 untersuchten Flächen

### 3 Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse bestätigen sehr deutlich die bereits vom HLNUG festgestellten hohen Schadstoffbelastungen des Oberbodens, insbesondere durch Arsen und Blei mit teilweise vielfacher Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung.

Zum Beispiel wiesen alle 6 untersuchten Grünlandflächen in der Bieberaue Überschreitungen des dafür vorgesehenen Maßnahmenwerts von Arsen (50 mg/kg) auf. Die gemessenen Werte lagen hier zwischen 142 und 1 080 mg/kg in den bodenschutzrechtlich relevanten Prüftiefen von 0–0,1 m sowie zwischen 0,1–0,3 m (s. Abb. 2). Dagegen erreichten die Konzentrationen der weiteren Schwermetalle lediglich in einer Mischprobe den vorgegebenen Maßnahmenwert; in diesem Fall für Blei in Höhe von 1 200 mg/kg.

Auch einige Kinderspielflächen wiesen teilweise deutliche Überschreitungen des Prüfwerts für Arsen in Höhe von 25 mg/kg auf. Bei einem Spielplatz im Ortsteil Bieber lagen die Bodenproben aus den Rasenflächen bis zu 33-fach über dem Prüfwert für Arsen. Bei den untersuchten Kinderspielflächen beschränkten sich die Schadstoffbelastungen generell auf die Rasenflächen außerhalb der eigentlichen Sandspielflächen, in denen keine relevanten Schadstoffgehalte gefunden wurden (s. Abb. 3).

Als dritte Nutzungskategorie wurden die Park- und Freizeitflächen, in der Regel Sportplätze, untersucht. Auch hier wurden teilweise Schadstoffbelastungen in den Rasenflächen außerhalb der eigentlichen Spielfeldern festgestellt. Hierbei zeigten sich Arsengehalte bis zum 2,5-fachen des Prüfwerts.

Regierungspräsidium Darmstadt



Grünlandflächen (0-0,1m und 0,1-0,3m) - Arsen und Blei

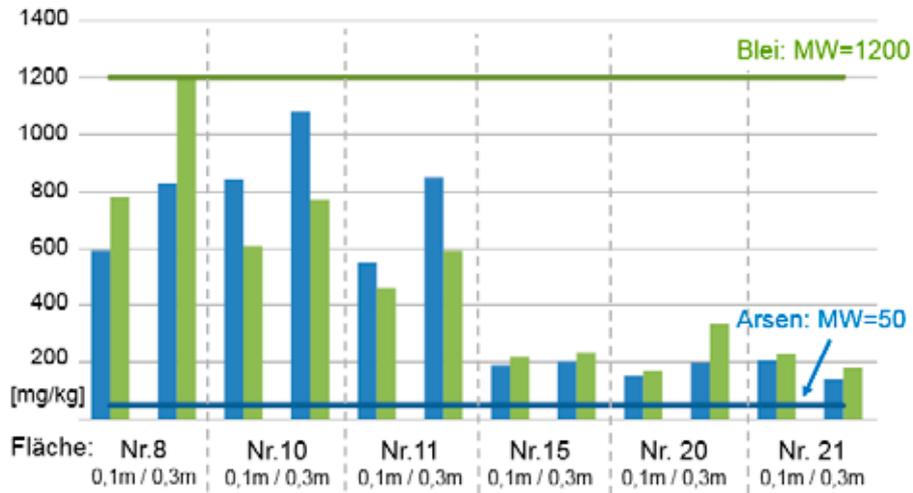


Abb. 2: Arsen- und Bleigehalte auf 6 Grünlandflächen (0–0,1 m und 0,1–0,3 m Prüftiefe; MW - Maßnahmewert)

Regierungspräsidium Darmstadt



Kinderspielflächen Nr. 22 und 23 – Arsen und Blei



Fläche Nr. 22  
Kindertagesstätte  
OT Bieber



Fläche Nr. 23  
Spielplatz OT Bieber



Abb. 3: Kinderspielplatz und Kita im Ortsteil Bieber

## 4 Resultierende Maßnahmen

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse war ein dringender Handlungsbedarf gegeben. Zunächst wurden die Gemeindeverwaltung sowie der Bewirtschafter der Grünlandflächen über die auffälligen Ergebnisse informiert. Daraufhin wurde die vorläufige Sperrung des hoch belasteten Kinderspielplatzes im Ortsteil Bieber veranlasst. Zwar löst die Überschreitung eines Prüfwerts nicht unmittelbar eine Sanierungs-, Sicherungs- oder eine sonstige Schutz- und Beschränkungsmaßnahme aus, jedoch sah die Bodenschutzbehörde bei der in mehreren Proben festgestellten 20- bis 33-fachen Überschreitung des Prüfwerts die vorsorgliche Sperrung als geboten an. Im Anschluss wurden weitere Behörden, deren Belange berührt sind, beteiligt und im Rahmen einer Behördenbesprechung informiert. Dies betraf insbesondere das zuständige Gesundheitsamt, die Wasser- und Landwirtschaftsbehörden beim Kreis und dem Regierungspräsidium sowie das HLNUG.

Da kein Verursacher greifbar war (historischer Bergbau) und aufgrund der flächenhaften Verteilung der Schadstoffe einzelne Zustandsstörer nicht bzw. noch

nicht herangezogen werden konnten, waren die rechtlichen Voraussetzungen zur Übertragung an die HIM-ASG als Träger der hessischen Altlastensanierung gemäß § 12, Abs. 1 HAltBodSchG gegeben. Auch greift im vorliegenden Fall die übliche Vorgehensweise bei schädlichen Bodenveränderungen oder Altlasten, bei denen kein Verursacher greifbar ist, nämlich die Heranziehung der Grundstückeigentümer als Zustandsstörer zu kurz, da für jedes betroffene Grundstück zunächst konkrete Anhaltspunkte für einen hinreichenden Verdacht nach § 9, Abs. 2 BBodSchG vorliegen müssten.

Unter den Beteiligten bestand Einigkeit darüber, dass schnellstens die Bevölkerung informiert werden sollte. Hierzu wurde kurzfristig zu einer Bürgerinformationsveranstaltung eingeladen sowie eine Pressemitteilung verbreitet. Dabei wurden vorsorglich auch Handlungsempfehlungen zur Vermeidung einer Schadstoffaufnahme, z. B. durch gärtnerische Tätigkeiten bzw. Verzehr angebaute Lebensmittel, ausgesprochen.

## 5 Weitere Vorgehensweise

Über die vorgenannten Sofortmaßnahmen hinaus wurden auch die weiteren erforderlichen Erkundungs- und Untersuchungsmaßnahmen festgelegt. Diese umfassen folgende Schritte, die teilweise parallel eingeleitet werden:

- Ausschluss einer möglichen Gefährdung über das Trinkwasser bzw. Mineralwasser
- Erfassung und Untersuchung weiterer sensibel genutzter Flächen, wie z. B. weitere Kinderspielflächen, öffentliches Schwimmbad, Haus- und Nutzgärten
- Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit der Schadstoffe (Bewertung der Gefahr durch orale Aufnahme)
- Ermittlung einer möglichen Gefährdung über Futtermittel i. d. R. der Grünlandbewirtschaftung
- Historische Recherche
- Erarbeitung der geologischen und hydrogeologischen Standortgegebenheiten

- Untersuchungen zur Schadstoffverfügbarkeit für das Grundwasser und Oberflächengewässer
- Ermittlung der Ausdehnung der Belastungsgebiete

Inzwischen wurden an einzelnen auffälligen Flächen Detailuntersuchungen zur Verifizierung und eindeutigen Bewertung der Untersuchungsergebnisse vorgenommen. Darüber hinaus wurden weitere sensibel genutzte Flächen erfasst, und einzelne wegen des dringenden Handlungsbedarfs bereits untersucht. Im Fall des öffentlichen Schwimmbads, wo in 3 von 4 flächenintegrierten Bodenmischproben Prüfwertüberschreitungen bei Arsen bis max. dem 2-fachen Wert messbar waren, wurden zur eindeutigen Gefährdungsabschätzung Untersuchungen zur Resorptionsverfügbarkeit (Anteil des für den Menschen verfügbaren Arsens bei oraler Aufnahme) veranlasst.

## 6 Ausblick

Im vorliegenden Fall ist offensichtlich, dass behördlicherseits nicht wie bei einer gewöhnlichen punktuellen Altlast vorgegangen werden kann. Dies ist vor allem der Ausdehnung der betroffenen Fläche geschuldet, die ein komplettes ehemaliges Bergbaugebiet sowie das Auengebiet eines ca. 12 km langen, relativ dicht besiedelten Mittelgebirgstales umfasst. Damit einher geht eine hohe Zahl an Grundstücken mit einer entsprechenden Vielzahl an Eigentumsverhältnissen sowie eine vielfältige Betroffenheit der örtlichen Bevölkerung.

Den Beteiligten war schnell klar, dass umgehend eine Information der Öffentlichkeit, insbesondere der ortsansässigen Betroffenen erfolgen musste, auch wenn viele Fragen noch nicht beantwortet werden können. Es ist zu erwarten, dass einige Jahre nötig sein werden, um Schritt für Schritt weitere Erkenntnisse zu erlangen und das mögliche Gefährdungspotenzial zu ermitteln. Dies zeigen ein Beispiel aus Hessen sowie weitere vergleichbare Fälle aus dem übrigen Bundesgebiet, wo viele Erfahrungen bereits gesammelt wurden, die im vorliegenden Verfahren hilfreich sein können.



# Bohrdaten im HLNUG: von der Bohranzeige bis zum 3D-Modell

CHRISTIAN HOSELMANN

## 1 Einleitung

Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) ist als Staatlicher Geologischer Dienst die Stelle des Landes Hessen, wo sämtliche maschinengetriebenen Bohrungen angezeigt und deren Bohrergebnisse archiviert und in einer Datenbank den Kunden des HLNUG zur Verfügung gestellt werden. Die gesetzliche Grundlage beruht auf dem **Lagerstättengesetz** in dem es u. a. heißt, dass:

- eine Anzeige- und Mitteilungspflicht (§ 3),
- eine Auskunftspflicht mit Zutritt der beauftragten Personen zu Bohrungen (§ 5),
- eine Berichts- bzw. Kartenvorlagepflicht (§ 6) sowie
- eine Pflicht zur Aufbewahrung von Belegmaterial (Bohrproben) besteht.

## 2 Die Bohranzeige

Die Angaben zur Bohrung nach Lagerstättengesetz wurden bisher per Post, Fax oder über ein Downloadformular per E-Mail dem HLNUG angezeigt. Das Formular (Abb. 1) beinhaltet alle notwendigen und anzuzeigenden Inhalte. Im HLNUG werden sämtliche Bohranzeigen gesichtet und an die betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Dezernate Geologische Grundlagen, Rohstoffgeologie und Hydrogeologie zur Abzeichnung weitergeleitet, um zu klären, ob es notwendig ist, die Bohrung geologisch aufzunehmen. Ist dies der Fall, werden z.B. die Spülproben zur Bearbeitung ins Haus geholt bzw. bei Kernbohrungen werden diese vor Ort begutachtet.

Die Bohranzeige über die mit mechanischer Kraft angetriebenen Bohrungen sollte folgende Angaben enthalten:

1. Bezeichnung der Bohrung,
2. Bezeichnung des Bohrpunktes durch Rechts- und Hochwerte nach Gauß-Krüger oder einen amtlichen Lageplan (z. B. Topographische Karte 1:25 000 oder Flurstückkarte),
3. Zweck der Bohrung,
4. Art der Voruntersuchung, auf Grund derer die Bohrung unternommen wird und
5. Art des Bohrverfahrens.

Diese Anzeige muss spätestens 14 Tage vor Bohrbeginn dem HLNUG vorliegen. Weiterhin muss bei Bohrungen bei jedem Wechsel der Bodenschichten, mindestens aber für jeden Meter, wenigstens eine Bodenprobe entnommen werden.

Auf diese Art wurden in den letzten Jahren zwischen 500 und 1 000 Anzeigen pro Jahr bearbeitet. Eine Bohranzeige kann nur eine, aber auch z. B. bei größeren Bauprojekten wie ICE-Trassen, Autobahnbau oder Stromleitungstrassen, mehrere hundert Bohrungen umfassen.

Das Verfahren zur Bohranzeige wird 2018 in ein digitales Anzeigesystem überführt. Sämtliche Angaben können über eine Webanwendung eingegeben werden, die unter [www.bohranzeige.de](http://www.bohranzeige.de) aufrufbar ist (Abb. 2). Über ein komfortables Werkzeug kann dann der Bohransatz graphisch ermittelt und abgespeichert



The screenshot shows the 'Adressen' (Addresses) input form. At the top, there is a navigation bar with 'STARTSEITE', 'KONTAKT', 'HILFE', and 'HLNUG ADMIN'. Below it, a progress bar indicates the current step is '3. Bestimme Firma'. The form fields are as follows:

- Und Sie?** Radio buttons for 'die Bohrfirma?' (selected), 'die Auftraggeber?', and 'die Restierende Firma?'
- Firmenname\***: Text input with 'Terrasond Gesellschaft für Baugrunduntersuchungen mbH & Co. KG' and a clear button.
- Strasse\***: Text input with 'Grenzlich-Str.' and 'Hausnr.\*' with '12-16'.
- PLZ\***: Text input with '99012', 'Ort\*' with 'Günzburg', and 'Land\*' with 'Deutschland'.
- Postfach**: Text input.
- Telefon**: Text input with '(03621) 966-0'.
- E-Mail\***: Text input with 'info@terrasond.de' and 'Internet' with 'http://www.terrasond.de'.
- Telefon vor Ort**: Text input with 'Telefon vor Ort' and 'Ansprechpartner' with 'Ansprechpartner vor Ort'.
- Kontakt bearbeiten**: Radio buttons for 'Nein' and 'Ja'.

A 'WEITER >>' button is located at the bottom right.

Abb. 2: Eingabemaske aus der Anwendung zur Bohranzeige Online des Landes Hessen

The screenshot shows the 'Bohrungen' (Drillings) section. At the top, there is a navigation bar with 'STARTSEITE', 'KONTAKT', 'HILFE', and 'HLNUG ADMIN'. Below it, a progress bar indicates the current step is '4. Ort der Bohrung'. The main content area is split into a map and a form:

- Map**: A satellite map showing a location in Günzburg. A red box highlights a specific area on the map.
- Form**:
  - Bitte suchen Sie Ihren Standort mit dem Suchfeld**: Text input with 'Ort, Straße Hausnummer' and 'Gegenstand'.
  - Bitte legen Sie Ihren Bohransatz fest**: Text input with instructions: 'Bewegen Sie die Maus über das Fadenkreuz in der Karte. Sobald der Cursor zum Handsymbol wird, können Sie das Fadenkreuz verschieben. Halten Sie dazu die linke Maustaste gedrückt. Die Koordinaten werden automatisch übernommen.'
  - UTM 32N Ost\***: Text input with '496800'.
  - UTM 32N Nord\***: Text input with '5548074'.
  - DK3 Rechtswert\***: Text input with '3497030'.
  - VK3 Hochwert\***: Text input with '5548006'.

Abb. 3: Graphische Festlegung des Bohransatzpunktes mit komfortablen Werkzeugen der Webanwendung Bohranzeige Online

werden (Abb. 3). Selbstverständlich ist zur Lagerermittlung auch die direkte Koordinateneingabe nach UTM 32N oder Gauß-Krüger-Koordinaten möglich. Weiterhin können digital vorliegende Lagepläne, Listen etc. in verschiedenen Formaten hochgeladen werden. Alle Anzeigenden bekommen zum Abschluss der Eingabe per E-Mail eine Bestätigung sowie eine Zusammenfassung der gemachten Angaben.

Für die Kunden und für das HLNUG soll bei den Bohranzeigen (i. d. R. durch die Bohrfirma) eine Vereinheitlichung erreicht werden, damit die Daten besser maschinenlesbar sind und schneller weiterverarbeitet werden können.

### 3 Die Bohrdatenbank

Sämtliche Daten und Ergebnisse von Bohrungen wie Schichtenverzeichnisse, Lagepläne, geophysikalische Messungen und Laborergebnisse werden im Archiv des HLNUG im Blattschnitt der TK25 analog abgelegt. Die ältesten Schichtenverzeichnisse stammen aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts (Abb. 4). Somit liegen derzeit rund 130 000 Schichtenverzeichnisse im Archiv vor. 2003 wurde dann mit dem Aufbau einer Bohrdatenbank begonnen, um die Daten nach vorgegebenen Kriterien zu homogenisieren und aggregieren. Diese digitalisierten Schichtenver-

zeichnisse können dann systematisch recherchiert werden und z. B. nach Gesteinseigenschaften parametrisiert und ausgewertet werden. Bisher liegen ca. 80 000 Schichtenverzeichnisse digital vor, die auch den Kunden in Form von PDFs zur Verfügung gestellt werden können (Abb. 5). Dies geschieht derzeit auf schriftliche Anfrage des Kunden beim HLNUG. In der Bohrdatenbank von Hessen werden selbstverständlich keine personenbezogenen Daten gespeichert oder im Rahmen der Bereitstellung weitergegeben.

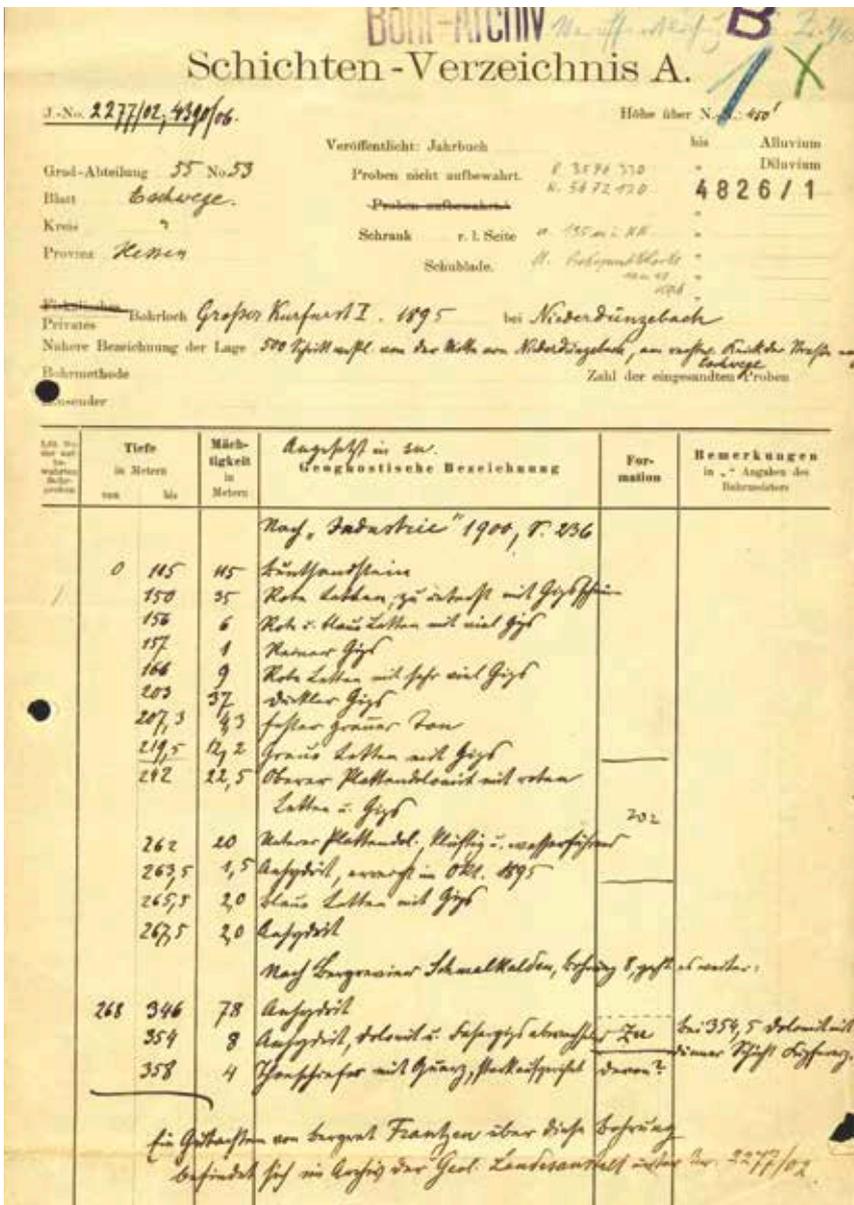


Abb. 4: Beispiel für ein Schichtenverzeichnis einer Bohrung von Blatt 4826 Eschwege aus dem Jahr 1895

Künftig sollen diese Daten aber im **Geologie Viewer** zur selbstständigen Recherche zur Verfügung gestellt werden. Diese Fachanwendung ist unter [geologie.hessen.de](http://geologie.hessen.de) abrufbar. Momentan können ausgewählte Stammdaten von Bohrungen räumlich recherchiert werden (Abb. 6). Das sind: TK25-Nummer – Archivnummer – Name der Bohrung – Rechtswert (GK) – Hochwert (GK) – durchteufte geologische Formation als Kürzel – Endteufe der Bohrung. Diese Punktinformationen können in Zusammenhang mit der Geologischen Übersichtskarte von Hessen im Maßstab 1:300 000 (GÜK 300) oder den geologischen Strukturräumen jeweils mit einer dynamischen Legende dargestellt werden.

In einem nächsten Schritt sollen dann auch die Schichtdaten sämtlicher freigegebener Bohrungen auch im Internet über den Geologie Viewer angezeigt werden.

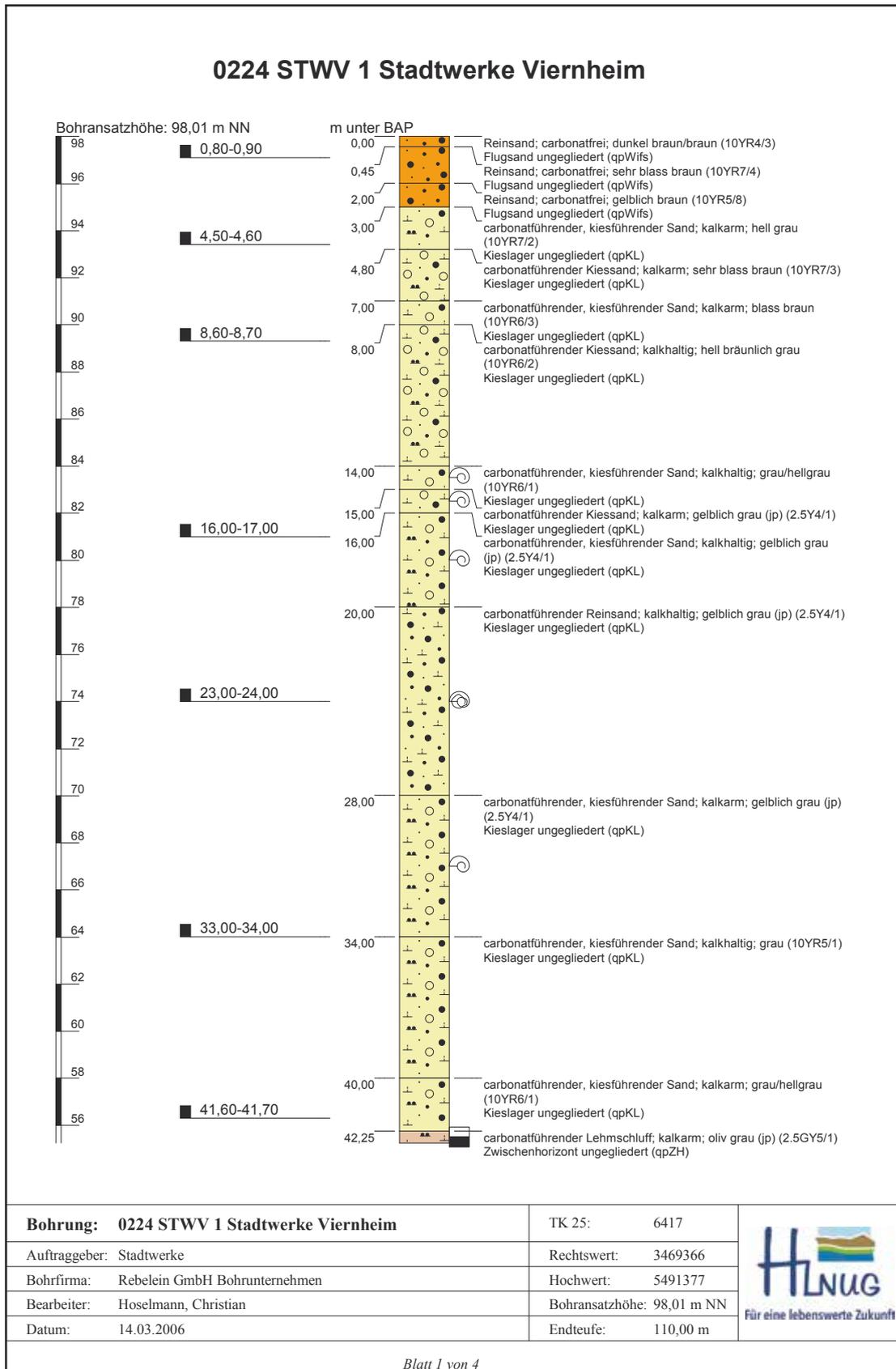
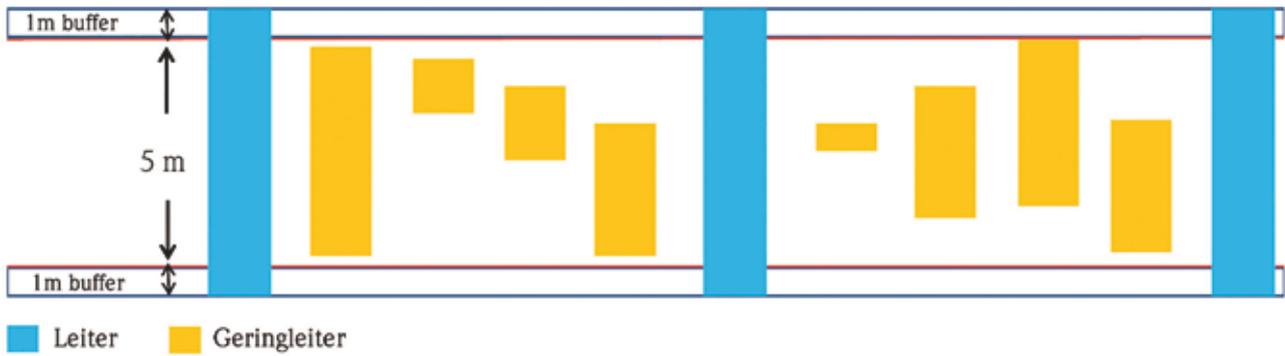


Abb. 5: Bohrsäule eines Schichtenverzeichnisses aus der Bohrdatenbank Hessen auf Blatt 6417 Mannheim Nordost





**Abb. 7:** Konzept zur räumlichen Korrelation von Grundwassergeringleitern mit Grundwasserleitern in 5 m Tiefenscheiben. Ein Bereich bindigen Materials (= Geringleiter) wird dann von nicht-bindigem Material (Leiter) begrenzt, wenn dieser konsistent über die gesamte betrachtete Tiefenscheibe auftritt. Ein zusätzlicher Puffer von 1 m oberhalb und 1 m unterhalb der betrachteten Tiefenscheibe dient zur Erhöhung der Belastbarkeit der Aussage (HOSELMANN & LEHNÉ 2014).

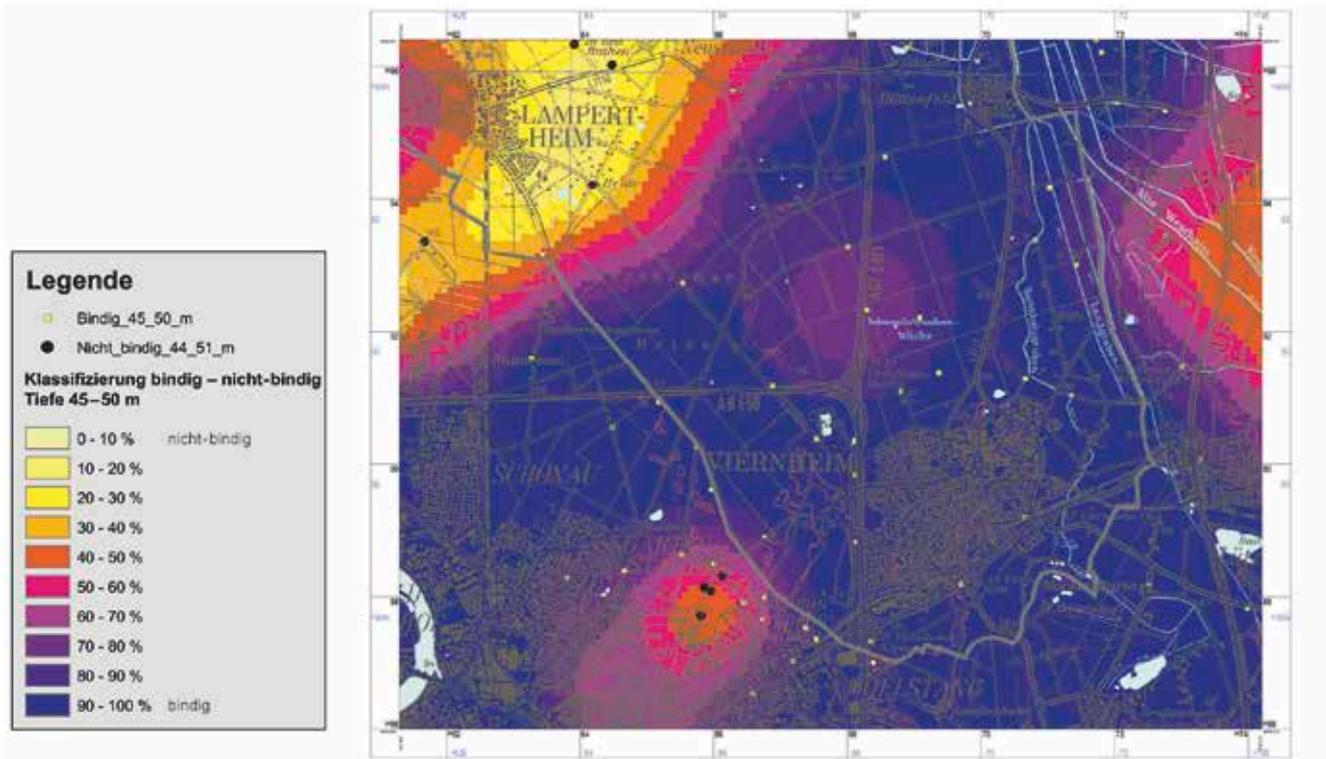
Tests haben gezeigt, dass die in den Schichtenverzeichnissen abgelegten Informationen zu Lithologie und Stratigraphie zur Ableitung des flächenhaften Auftretens von Grundwassergeringleitern innerhalb des quartären Körpers zu nutzen, aufgrund großer Inkonsistenzen nur unzureichend möglich ist. Eine flächenhafte Korrelation von punktuellen Informationen zum Auftreten von Grundwassergeringleitern ist nur lokal, nicht regional, möglich. Um dennoch qualitative Aussagen zum räumlichen Auftreten von Grundwassergeringleitern treffen zu können, wurden die verfügbaren Informationen (1.) generalisiert und (2.) von bisherigen stratigraphischen Interpretationen entkoppelt. So wurden zu sämtlichen 9 568 Bohrungen alle in der Datenbank abgelegten Schichten (75 043) zu bindigen (9 546) und nicht-bindigen (6 241) Paketen zusammengeführt und im 3D-Raum visualisiert.

Zur lateralen, Stratigraphie-unabhängigen Korrelation von bindigen und nicht-bindigen Bereichen wurde der Betrachtungsraum in Tiefenscheiben unterteilt, die je 5 m umfassen. Das Konzept, auf dem die laterale Korrelation basiert, ist in Abb. 7 dargestellt. Demnach werden bindige Bereiche beliebiger Mächtigkeit (entsprechend des Tiefenintervalls maximal 5 m) dann von nicht-bindigen Bereichen begrenzt, wenn eine Bohrung im gesamten Bereich der betrachteten Tiefenscheibe nur nicht-bindiges Material enthält. Zusätzlich wurden Top und Basis dieser nicht-bindigen Bereiche um einen Puffer von je 1 m erweitert, so dass ein nicht-bindiges Schichtpaket mindestens 7 m Mächtigkeit haben muss, um einen bindigen Bereich zu begrenzen. Insgesamt

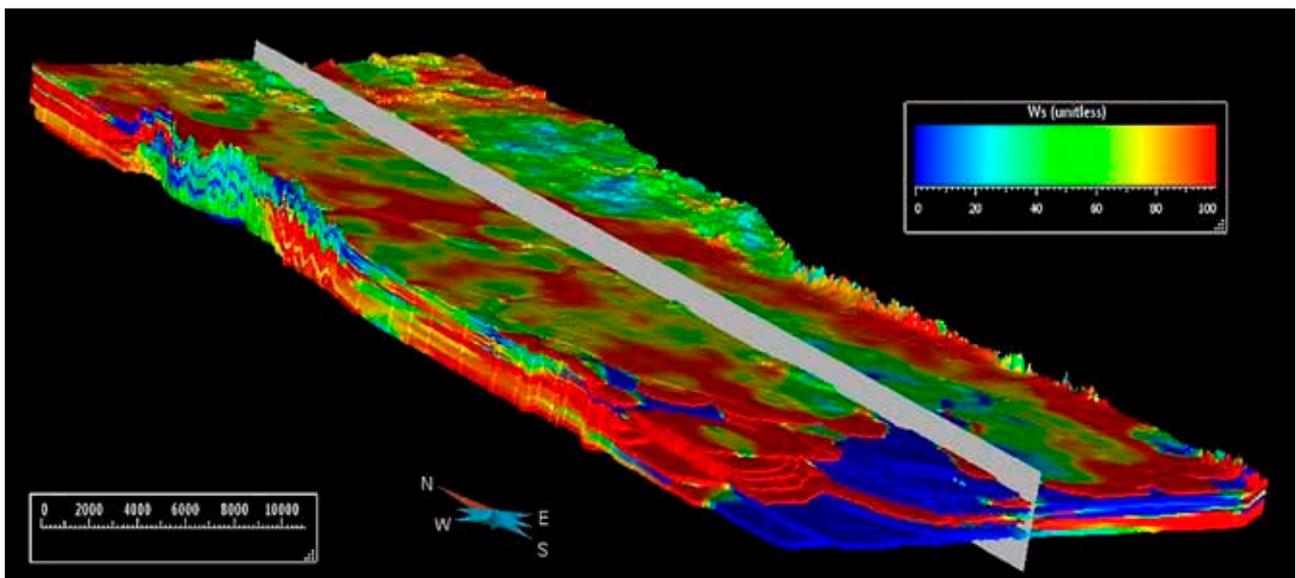
sind für das Projektgebiet derzeit 17 Tiefenscheiben mit einer horizontalen Auflösung von 100 x 100 m verfügbar. Aufgrund der vertikalen Auflösung der Eingangsdaten beschreibt die tiefste Scheibe den Bereich tiefer 110 m. Die Daten sind sowohl für den internen Gebrauch auf der Plattform ArcGIS (ESRI) als Vektordaten verfügbar und sollen auch über den Geologie Viewer im Internet zur Verfügung gestellt werden.

Um auch qualitative Aussagen zum flächenhaften Auftreten von Geringleitern treffen zu können, wurden auf Basis der verfügbaren Informationen GIS-basiert Wahrscheinlichkeiten mit Hilfe von geostatistischen Methoden berechnet. Im Ergebnis stehen für jede definierte Tiefenscheibe Rasterdaten zur Verfügung, die eine statistische Aussage zur Wahrscheinlichkeit des Auftretens von bindigen Bereichen mit einer Mindestmächtigkeit von 1 m (= hydraulisch aktiv) geben. Der Vergleich berechneter Wahrscheinlichkeiten mit der auf Basis von Expertenwissen interpretierten Genese/Geologie des Projektgebietes zeigt eine gute Übereinstimmung. Ein Beispiel für eine Detailkarte wird für den Raum Viernheim in Abb. 8 vorgestellt. Weiterführende Informationen zur Methodik finden sich bei HOSELMANN & LEHNÉ (2014) und LEHNÉ et al. (2013).

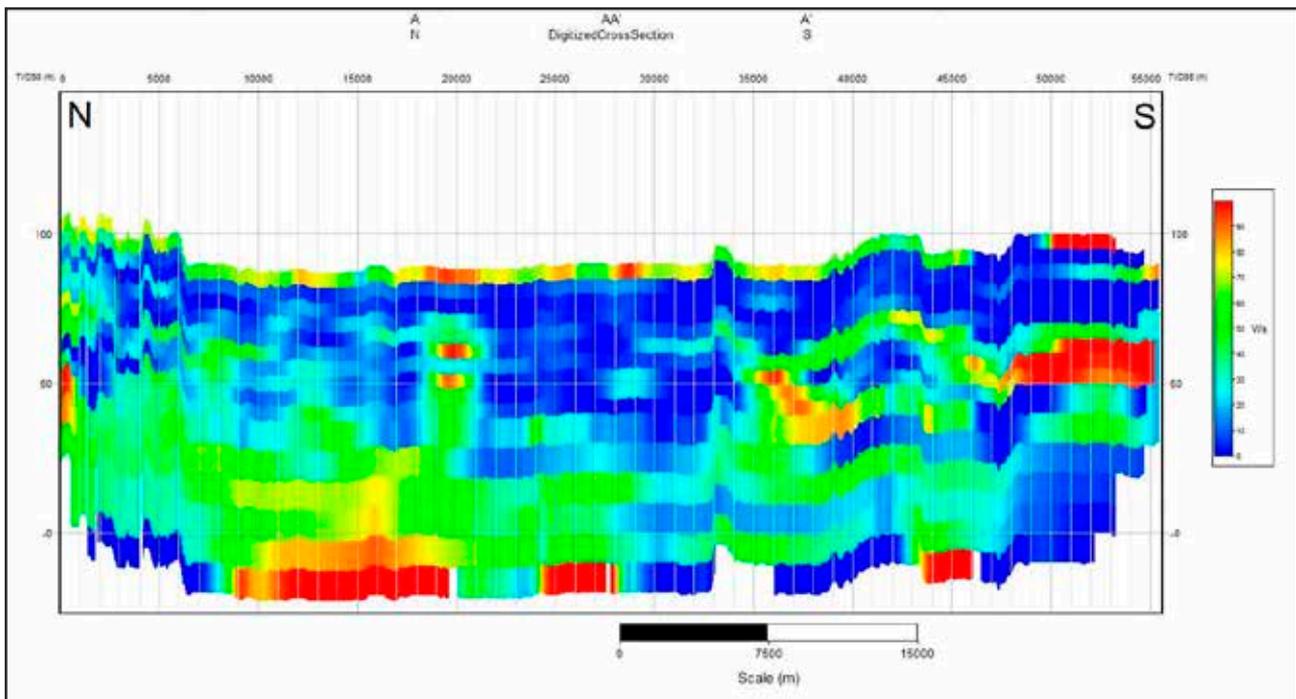
Sämtliche berechneten Tiefenscheiben wurden mit Hilfe der 3D-Modellierungssoftware gOcad in ein stratigraphisches Gitter (SGrid) überführt, in das beliebige Schnitte gelegt werden können. Die Größe der einzelnen Voxel (x, y, z) beträgt 100 x 100 x 1 m (Abb. 9).



**Abb. 8:** Beispiel einer Wahrscheinlichkeitskarte für den Raum Viernheim. In der Karte wird für den Tiefenbereich von 45 bis 50 m unter Geländeoberkante die Wahrscheinlichkeit abgebildet, mit der ein hydraulisch stauender Horizont von mindestens einem Meter Mächtigkeit auftritt. Im Raum Viernheim ist das in diesem Tiefenbereich die Ludwigshafen-Formation bzw. nach HGK (1999) der Obere Zwischenhorizont. Die Karte zeigt auch, dass der Horizont im Raum Lampertheim in diesem Tiefenbereich nicht mehr als Trennhorizont auftritt (HOSELMANN & LEHNÉ 2014).



**Abb. 9:** SGrid des nördlichen Oberrheingrabens der obersten 110 m mit berechneten Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten bindiger Sedimente. Im Modell ist der Verlauf eines Nord-Süd-Schnitts eingetragen (vgl. Abb. 10).



**Abb. 10:** Nord-Süd-Schnitt (Lage vgl. Abb. 9) durch das SGrid der obersten 110 m des Wahrscheinlichkeitsmodells im nördlichen Oberrheingraben. In dieser Abbildung – siehe Legende – sind blaue Farben niedrige und gelbe und rote Farben hohe Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten bindiger Sedimente.

## 5 Ausblick

Im Laufe des Jahres 2018 soll die Bohranzeige Online bei möglichst viel Bohrfirmen und Ingenieurbüros etabliert werden. Ferner soll die Bohrdatenbank weiter ausgebaut und analog vorliegende Altdaten digitalisiert werden. Dazu werden bis Mitte 2019 die nächsten 10000 Schichtenverzeichnisse extern digitalisiert. Auch die Qualitätssicherung der digitalisierten Daten muss kontinuierlich weitergeführt werden.

Das Wahrscheinlichkeitsmodell des nördlichen Oberrheingrabens soll mit zusätzlichen Daten aus verschiedenen Projekten optimiert und z. B. mit Kf-

Werten parametrisiert werden. Weitere 3D-Modelle wie z. B. für das Gebiet der Untermainebene sind in Bearbeitung und sollen auch über den Geologie Vierer den Kunden des HLNUG zur Verfügung gestellt werden.

## Dank

Herrn Dr. Rouwen Lehné (HLNUG) wird für die Bereitstellung der Abbildungen 9 und 10 gedankt.

## Literatur

- HGK (1999): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum. Fortschreibung 1983–1999. – Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz: 155 S.; Stuttgart, Wiesbaden, Mainz.
- HOSELMANN, C. & LEHNÉ, R. (2014): Die quartärgeologische Entwicklung und ein geologisches 3D-Modell des nördlichen Oberrheingrabens. – Geologisches Jahrbuch Hessen, 138: 57–73.
- LEHNÉ, R.J., HOSELMANN, C., HEGGEMANN, H., BUDDE, H. & HOPPE, A. (2013): Geological 3D modeling in the densely populated metropolitan area Frankfurt/Rhine-Main. – Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 164 (4): 591–603.

# Geologischer Untergrund der Stadt Frankfurt am Beispiel des Europaviertels

GUDRUN RADTKE

## 1 Einleitung

Im Frankfurter Westen entsteht seit vielen Jahren auf dem Gelände des ehemaligen Hauptgüterbahnhofs im Stadtteil Gallus ein neuer Stadtteil, das Europaviertel. Das ca. 90 Hektar große Gelände (mit Randgebieten 145 Hektar), liegt zwischen Kuhwaldsiedlung und Rebstock Gelände (NW), Messegelände (N), Güterplatz (SE) und Hellerhofsiedlung (S). Es ist das vorläufig letzte große innerstädtische Entwicklungsgebiet in Frankfurt (Abb. 1).

Bevor eine Bebauung stattfinden kann, sind einige Dinge zu beachten:

Nach Regionalplanung und Flächennutzungsplanung sind im Bebauungsplan einzelne Projekte ausgewiesen. Zur weiteren Planung vergibt der Bauherr

den Auftrag zur Baugrunderkundung und meist auch Gründungsberatung einem Ingenieurbüro, das in einem Gutachten die diversen Anforderungen zum geplanten Projekt erstellt und prüft. Für das Europaviertel mit seiner kontaminierten Vorbelastung sollte eine historische Recherche, so z. B. aus der Altflächendatei des HLNUG ([www.hlnug.de/themen/altlasten/altflaechendatei.html](http://www.hlnug.de/themen/altlasten/altflaechendatei.html)), erfolgen. Viele Altlasten sind im Europaviertel bekannt; einige treten aber erst bei näherer Untersuchung zu Tage. Grundlage für alle diese Untersuchungen ist die Geologische Karte 5817 Frankfurt a.M. West mit ihren Erläuterungen (KÜMMERLE & SEIDENSCHWANN 2009, RADTKE 2009, RADTKE & KÜMMERLE 2010) (Abb. 2, 3).

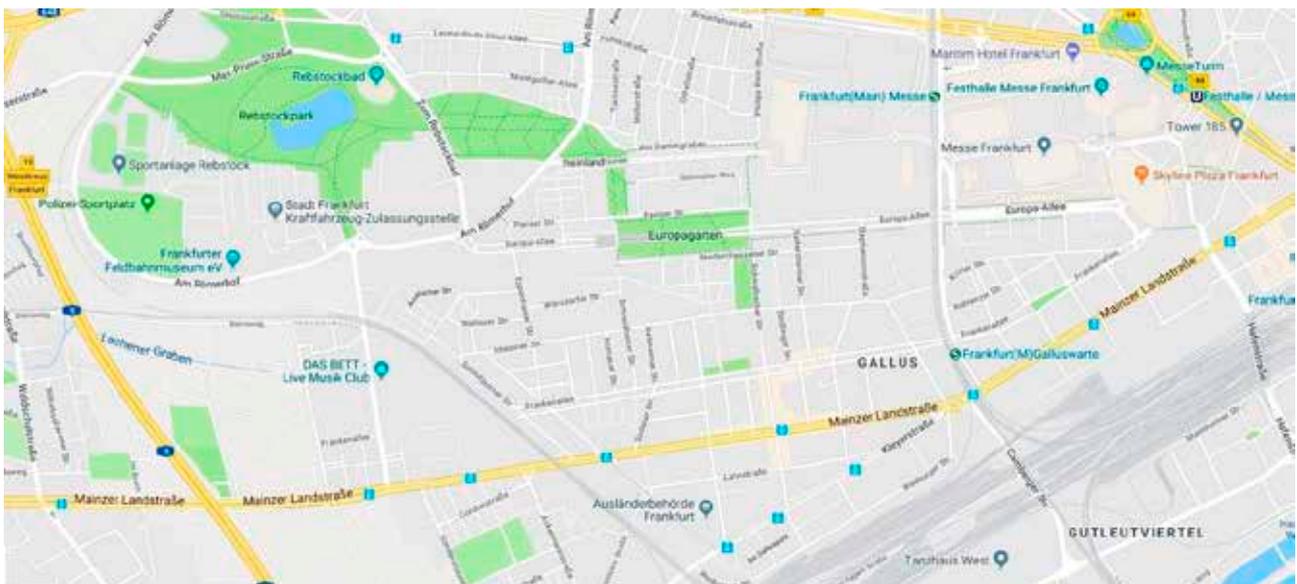
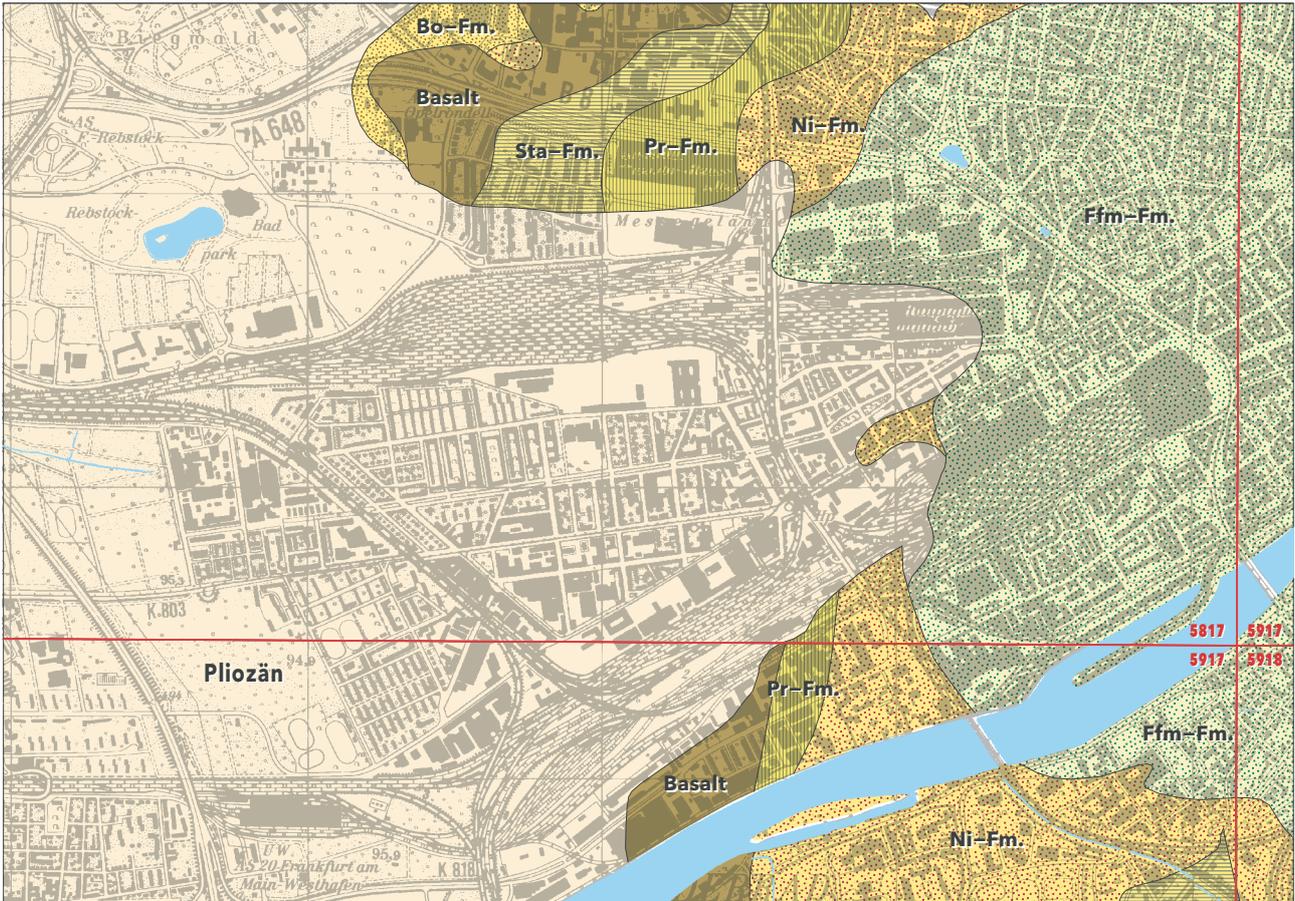
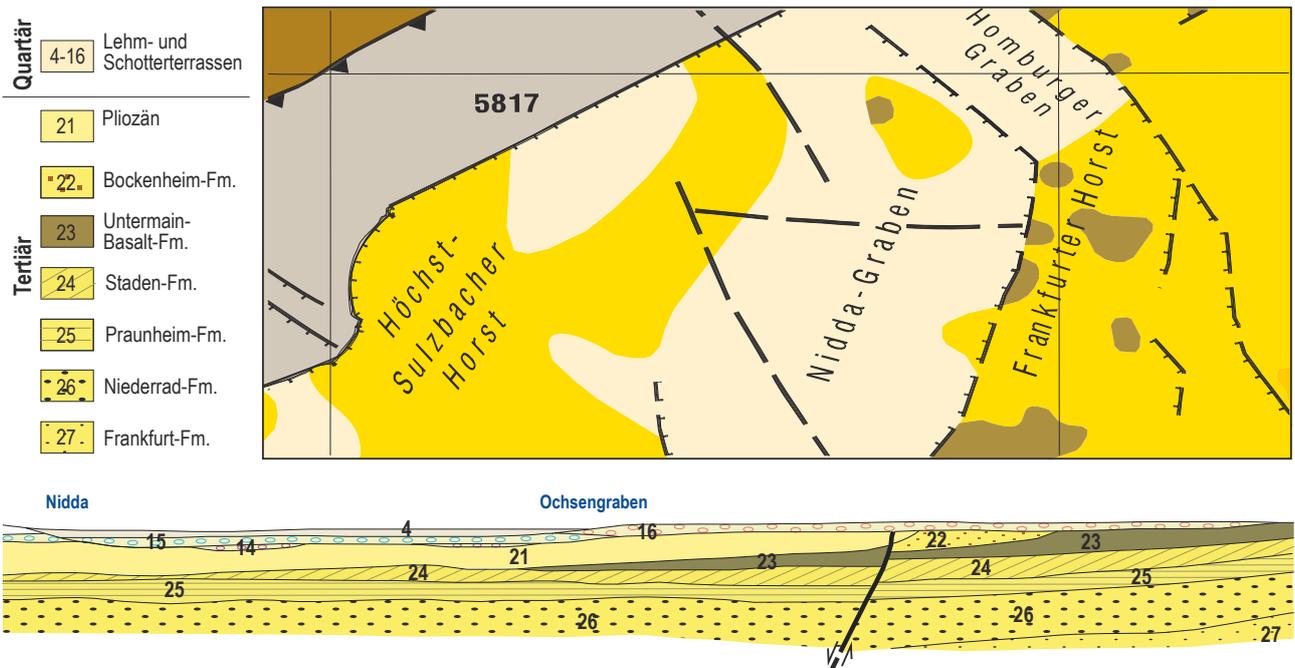


Abb. 1: Überblick über das Europaviertel im Westen der Stadt Frankfurt a.M. (Quelle: Google maps)



**Abb. 2:** Ausschnitt aus der abgedeckten Geologischen Stadtkarte Frankfurt a.M. und Umgebung aus dem Bereich des heutigen Europaviertels (RADTKE 2014)



**Abb. 3:** Ausschnitt aus der Geologischen Übersichtskarte mit Profilschnitt durch den Niddagraben und W Stadtgebiete Frankfurts (Quelle: Erl. 5817 mit GK Frankfurt a.M. West)

## 2 Grundlagen

Das HLNUG als Fachbehörde bekam in der Vergangenheit vom RP Darmstadt, Abteilung Arbeitsschutz und Umwelt, mehrere Anfragen zur Bewertung von Grundwasserbelastung bestimmter Liegenschaften. Die gesetzliche Grundlage ist der Vollzug des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) und des Hessischen Altlasten- und Bodenschutzgesetzes (HALt-BodSchG). Unter anderem geht es um Erkundung und Sanierung von Boden- und Grundwasserunreinigung mit LHKW (leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe) ehemaliger Betriebsgelände, so z. B. von Messer-Griesheim. Dazu werden mehrere tiefe Kernbohrungen innerhalb des zu untersuchenden Geländes abgeteuft, die auch als Grundwasser messstelle (GMW) ausgebaut werden. Die Bohrkernauswertung, in graphische Profile übersetzt, werden nach ihrer Lage im Gelände in ingenieurgeologische Profilschnitte umgesetzt. Im Einzelnen werden detaillierte Schichtenverzeichnisse angelegt: Darin sollten folgende Informationen enthalten sein: GK (Geologische Karten) Blattnummer und Blattnamen, Objekt bzw. Projektbezeichnung, Ort, Name der Bohrung, Rechts-/Hochwert (GK), Höhe über NN, Art und Zweck der Bohrung, Bohrverfahren, Endteufe, Datum, Auftraggeber, Bearbeiter, Bohrfirma (Bohrmeister). All diese Angaben zu einer Bohrung werden als Stammdaten in der Bohrdatenbank Hessen ([geologie.hessen.de](http://geologie.hessen.de)) vorgehalten.

Erst in einem weiteren Schritt sind einzelne Informationen pro Schicht festzuhalten: Schichtbeschreibung von/bis (in Meter), Benennung der Bodenart und Beimengungen (Korngrößen), Beschaffenheit des Bohrguts (Konsistenz), Farbe, Karbonatgehalt, geologische Benennung und, wenn möglich, stratigraphische Zuordnung mit meist wissenschaftlichen ergänzenden Bemerkungen. Weiterhin werden Anmerkungen zu Sonderproben, Wasserführung, Bohrwerkzeugen und Kernverlusten aufgeführt. Wichtig sind Entnahme und Eintragungen von Proben (Art, Anzahl und Teufe). Die einzelnen Bodenarten wer-

den nach Europäischer Norm (EN) ISO 14688-1 (bzw. DIN 4022) benannt. Die geologische Ansprache der Gesteine erfolgt nach der Kartieranleitung (Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Geologie 2002).

Für die Hydrogeologie sind Angaben zum angebohrten Wasserspiegel (mit Datum) sowie Ruhewasserspiegel und eine Zeichnung des Ausbauplans notwendig (ebenfalls in der Bohrdatenbank Hessen). Eine gute Dokumentation beinhaltet meist eine Fotodokumentation der Bohrkerne (mit Meterangabe, Maßstab und Farbtafel).

Auf dieser umfangreichen Grundlage werden die Gutachten der Ingenieurbüros erstellt.

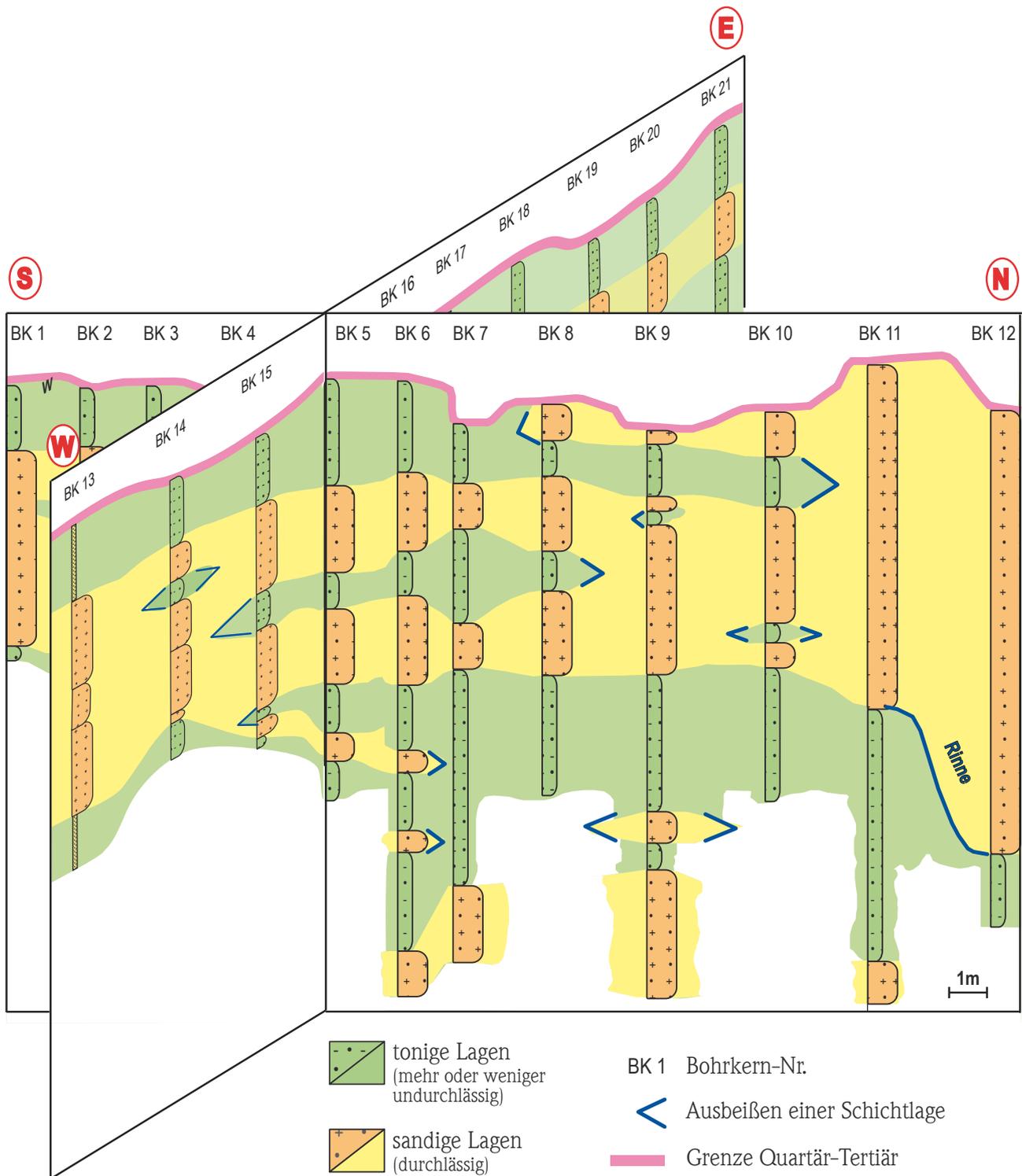
Oft sind dem Regierungspräsidium Darmstadt (RP) diverse Grundwasserschadensfälle aus dem Europa- viertel bekannt.

Die geplante Sanierung eines zu bebauenden Geländes sieht meist eine Einkapselung der vorhandenen Verunreinigungen (meist LHKW) vor und es erfolgt dann ein Einbau von Spundwänden/Dichtwänden und Einbindung in den tieferen - meist tertiären - Untergrund.

Zu diesen Sanierungsplänen sind in der Vergangenheit Fragen vom RP wie folgt an die Hydrogeologie und Geologie gestellt worden:

*„Sind die im Baufeld vorhandenen Schichten ausreichend dicht und wird durch den geplanten Verbau gewährleistet, dass durch die Wasserhaltungsmaßnahme keine Schadstoffverschleppungen erfolgen?“*

Daraufhin erfolgen die HLNUG-Stellungnahmen zur Geologischen Situation (Dez. G1, Dr. Gudrun Radtke) und u. a. darauf aufbauend zur Hydrogeologischen Situation (Dez. W4, Dr. Sven Rumohr) (Abb. 4).



**Abb. 4:** Ansicht einer zusammengesetzten 3D Profildarstellung, bestehend aus zwei Profilschnitten (S–N + W–E), durch das Pliozän aus dem Projekt Mainzer Landstraße in Frankfurt (aus RUMOHR & RADTKE Gutachtenbank HLNUG, verändert).

### 3 Geologie

Die Geologie des Rhein-Main-Gebietes ist durch den Oberrheingraben und seine tertiären Sedimente im größtenteils linksrheinischen Mainzer Becken (linke Schulter des Oberrheingrabens) und dem Hanauer Becken (rechte Schulter des Oberrheingrabens) (MARTINI & RADTKE 2011) mit seinen umliegenden Gebirgen (Taunus, Spessart, Odenwald) geprägt (Abb. 3).

Die stratigraphisch ältesten anstehenden Sedimente des Hanauer Beckens (STD 2016), unterteilt in älteres oligozänes Mergeltertiär und jüngeres Kalktertiär, sind die vollmarinen Küstenablagerungen der Alzey-Formation (Meeressand, Unteroligozän) mit der zeitgleich abgelagerten Bodenheimer-Formation (Rupelton)

in tonig-mergeliger Ausbildung. Nach Verflachung des Beckens herrschten in der Cyrenenmergel-Gruppe (Cyrenenmergel i. e. S., Süßwasserschichten, Glimmersand) und den Unteren Cerithienschichten brackisch-limnische Bedingungen vor. Nach oben folgt das Kalktertiär (Oberoligozän–Untermiozän) mit den Ablagerungen der Hochheim-, Oppenheim- und Oberrad-Formation (Cerithienschichten) sowie der Rüssingen- (Inflata-Schichten), Wiesbaden- (Untere Hydrobienschichten) und Frankfurt-Formation (Obere Hydrobienschichten) mit brackisch-marinen bis brackisch-limnischen Sedimenten (RADTKE & MARTINI 2008). Kennzeichnend für den Frankfurter Raum sind die Niederrad- (Landschneckenmergel)

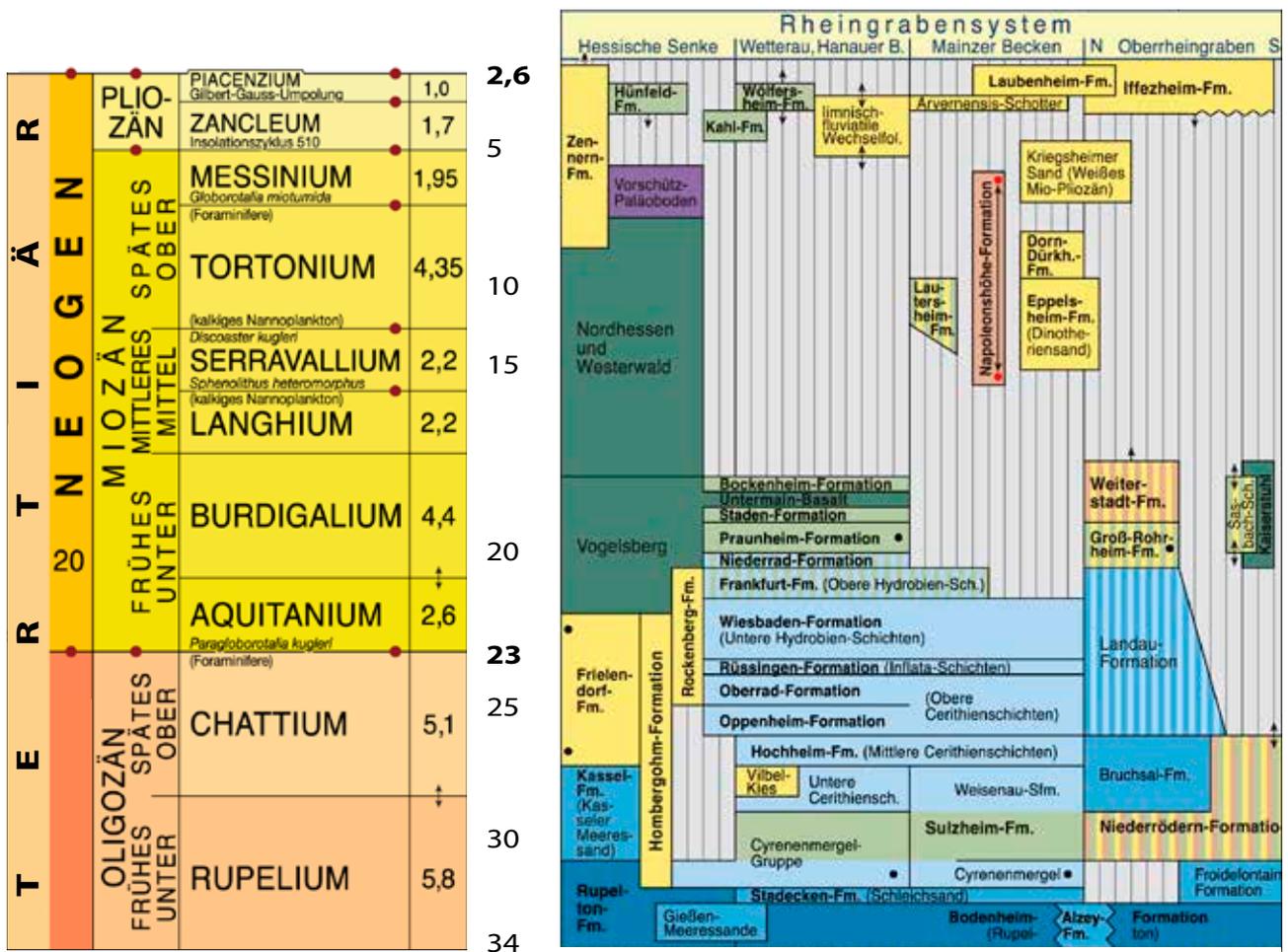


Abb. 5: Ausschnitt aus der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland (2016), Tertiär: Rheingrabensystem mit den stratigraphischen Formationen u. a. im Hanauer Becken  
Legende: Ablagerungen in blau: marin, hellblau: brackisch, hellgrün: lakustrin, gelb: terrestrisch-kontinental.

und Praunheim-Formation (Prososthenienschichten), die letzten Ausläufer der karbonatischen Folge mit seinen Algenriffkalken (vgl. RADTKE 2009, WENZEL 2016). Das sich zurückziehende Restmeer hinterlässt zunehmend brackisch-limnische Sedimente. Nur noch sehr wenige, kurzzeitige marine Vorstöße wurden festgestellt (s. a. KÜMMERLE & RADTKE 2012). Nachfolgend sind lediglich kalkfreie limnisch-fluviatile Sedimente der Staden- (Congerienschichten) und Bockenheim-Formation (Bockenheimer Schichten), durch Basaltströme (Untermain-Basalt) aus dem südlichen Vogelsberg kommend, abgelagert worden. Küstennah sind kalkfreie Ablagerungen (Kalkfreie Randfazies) zu beobachten, die aufgrund ihrer Fossilfreiheit keine genaue stratigraphische Einordnung zulassen. Die Benennung der tertiären stratigraphischen Einheiten ist – hier im Rheingrabensystem – nach der neu angepassten Nomenklatur der Stratigraphische Tabelle Deutschlands (Deutsche Stratigraphische Kommission 2016) erfolgt (Abb. 5).

Diskordant über diesen letzten marin-brackischen miozänen Einheiten folgt das Pliozän mit einer Zeitlücke von etwa 10 Ma (15–5,3 Ma) (Abb. 5). In dieser Zeit sind die bis dahin abgelagerten Miozän-Sedimente erosiv und tektonisch beansprucht worden, so dass das Pliozän auf unterschiedlich stratigraphischen Miozän-Einheiten übergreift. Eine verstärkte Absenkung des Oberrheingrabens sowie des sich nördlich anschließenden Niddagrabens und Heraushebung der umliegenden Gebirge hat zu mächtigen limnisch-fluviatilen pliozänen Ablagerungen geführt.

In einem solch fluviatilen Ablagerungsraum schneidet sich das Flusssystem immer wieder in den Untergrund und in die zuvor abgelagerten Sedimente ein; dadurch entstehen z. T. tiefe – tektonisch vorgezeichnete – Rinnenbildungen (Abb. 4).

Infolge lithologischer Ähnlichkeiten sind die pliozänen Sedimente z. T. nur schwer von den Schichten der nächstälteren miozänen Bockenheim-, Staden-Formation und Kalkfreier Randfazies (Oberoligozäne/Miozän) zu trennen und leicht zu verwechseln. Der großräumige Untergrund des Rhein-Main-Gebietes bilden Rotliegend-Gesteine (Perm, ca. 280 Ma).

### 3.1 Pliozän

Diskordant auf allen älteren Ablagerungen liegt das Pliozän, im Hanauer Becken als „limnisch-fluviatile Wechselfolge“ benannt, deren Name schon die Ablagerungsbedingungen widerspiegelt. Nach einer langen terrestrischen Phase mit einer Zeitlücke von mindestens 10 Ma zu den liegenden jüngsten miozänen Ablagerungen haben sich limnische und fluviatile Bedingungen eingestellt (Abb. 8). Zunächst sind großklastische Kiese, die sogenannten Arvernensis-Schotter, mit Milchquarz-Geröllen von 2–3 cm Durchmesser zur Ablagerung gekommen (Abb. 6). Des Weiteren haben sich (primär kalkfreie) Tone, Schluffe, Sande und Kiese, oft sehr gut sortiert oder auch mit Holz und Braunkohlen durchsetzt, abgesetzt, die sich oft selbst wieder angeschnitten und



**Abb. 6:** ca. 30 cm einer Bohrung mit Sand, kiesig (links), Holz, (stückig) und Kies in schluffiger Matrix mit weißen und hellgrauen Milchquarzkies-Geröllen (Arvernensis-Schotter) (Quelle: DB Tower, BK 4, bei ca. 34 m)



**Abb. 7:** Ausschnitt aus einer Kernbohrung, die typische pliozäne braungraue Feinsande (8–9 m) und grüne, dunkelbraune, hellgraue Tone mit rötlicher Marmorierung zeigt (Quelle: Mainzer Landstr. 395, BK 2, 8–14 m)

aufgearbeitet haben (Abb. 7). Aus diesem Grund kann man nicht mit einheitlichen, lateral durchgehenden Schichtenfolgen rechnen.

Im Bereich des Gleisbetts des Hauptbahnhofs und des ehemaligen Güterbahnhofs (jetzt östliches Europaviertel) hat sich das Pliozän lokal tief nach Osten in das Miozän eingeschnitten und dabei die Bockenheimer-Formation bis zur Frankfurt-Formation – in Richtung Innenstadt – ausgeräumt (s. KÜMMERLE & SEIDENSCHWANN 2009: Beilage: Abgedeckte Karte; vgl. Abb. 2). Nach Westen, zum Oberrheingraben hin wird das Pliozän zunehmend mächtiger (Abb. 3).

Für das Pliozän kann keine einheitliche Abfolge beschrieben werden. Aufgrund der verschiedenen Sanierungsfälle und Gutachten (RUMOHR & RADTKE,

Gutachtenbank HLNUG) sind im Süden des Europaviertels und in Richtung Mainzer Landstraße folgende lithologische Unterteilung anhand der Auswertungen von Bohrungen vorgenommen worden (von jung nach alt):

#### **Tertiär, Pliozän**

(limnisch-fluviatile Wechselfolge, Abb. 8)

vorwiegend **Ton** (in den Profilen grün)

vorwiegend **Sand** (in den Profilen gelb)

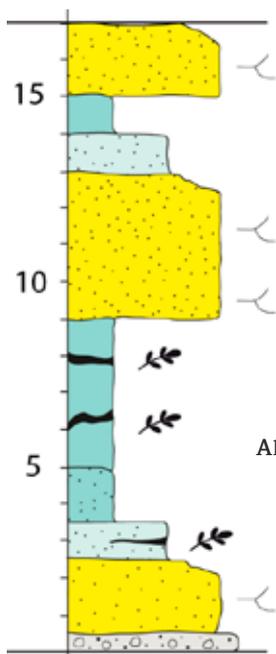
vorwiegend **Ton**

Ton, auch Schluff, teils organisch, Holzreste, Braunkohle

unregelmäßig Feinsand-Linsen eingeschaltet

vorwiegend **Sand**, basal **Kies**

auch Schluff mit Holz/Braunkohle



**Abb. 8:** Standardprofil des Pliozäns mit Ton (dunkelgrün), Schluff (hellgrün), Sand (gelb) und Kies mit Einlagerungen von Holz bzw. Braunkohlen. An der Basis die grobklastischen Arvernensis-Schotter (grau).

**basal:**

Kies, sandig, schluffig „**Arvernensis-Schotter**“ mit gut gerundeten Milchquarz-Geröllen von 2–4 cm Ø

Im Bereich der Europaallee sind die oberen tonigen Abfolgen größtenteils durch mächtige Sandfolgen ersetzt (vgl. Abb. 4: BK 8–12).

Folgende Formationen im Liegenden des Pliozäns sind dem Miozän zuzuordnen:

**Tertiär, Miozän** (Untermiozän)

- **Praunheim-Formation** (Prosostheniensch.)

Braunkohle = Ginnheimer Flöz

Ton, schwach schluffig, kalkig (feste Konsistenz)

- **Niederrad-Formation** (Landschneckenmergel) mit Algenriffen (meist grusig ausgebildet)
- **Frankfurt-Formation** (Obere Hydrobiensch.) (nur in wenige Bohrungen)

Zwischen Quartär und Tertiär, als auch zwischen Pliozän und Miozän, sind zeitliche Lücken vorhanden, d. h. die bis dahin abgelagerten Schichten waren der Erosion ausgesetzt.

Die pliozänen Sedimente werden als fluviatile Bildungen angesprochen. Je nach Strömungsgeschwindigkeit wurden grob- bzw. feinklastische Sedimente transportiert und abgelagert. Dabei haben sich die damaligen Flussrinnen erosiv in die älteren Schichtenfolgen eingeschnitten (Rinnenbildung). Die großen pliozänen Rinnensysteme sind natürliche klassische Grundwasserleiter und zur Abdichtung des Untergrundes nicht geeignet.

Mehrere kleinere tektonische Störungen können nachgewiesen werden, deren Verlauf rheinisch (NNE–SSW) vermutet wird. Erkennbar ist vor allem, anhand tiefer Bohrungen, die Grenze Pliozän/Miozän und ältere Formationsgrenzen, die im Miozän aufgeschlossen sind.

Im Europaviertel sind im Pliozän mehrere Rinnenbildungen festgestellt worden, deren Verlauf größtenteils NW–SE Richtungen folgen. Ihr genauer Verlauf kann oft aufgrund der geringen Datenlage nicht näher bestimmt werden.

## 4 3D Modell

Das HLNUG entwickelt zusammen mit der TU Darmstadt (Arbeitsgruppe Geoinformation) im Rahmen der Neugestaltung des Europaviertels in Frankfurt und den damit verbundenen detaillierten und dicht abgebohrten Untersuchungen des oberflächennahen Untergrundes ein geologisches 3D-Modell, das die Lagerungsverhältnisse von Lithologie und Stratigraphie hochaufgelöst abbilden soll.

Für eine erste Modellierung (Software SKUA) stehen auf der Fläche von ca. 7,5 km<sup>2</sup> mehrere 100 Bohrungen zur Verfügung. Auf dieser Basis sind mehrere Zielhorizonte besonders im Tertiär modelliert bzw. parametrisiert um nachgelagerte Fragestellungen (Grundwasserverunreinigung/Schadstoffausbreitung) zukünftig besser beantworten zu können (LEHNÉ et al. 2013, BUDE et al. 2017, SPEH et al. 2017).

## Dank

Den Frauen Andrea Schnabel und Kornelia Stock (beide HLNUG, G3) sowie Nadine Fechner, Nadine Senkpiel (HLNUG, Z2) und Frau Martina Schaffner (HLNUG, G4) gilt mein Dank für die technische

Unterstützung zu diesem Beitrag. Herrn Tobias Suedes (TU Darmstadt) danke ich für Abbildungen aus seiner in Vorbereitung befindlichen MSc-Arbeit zu 3D-Modellen im Europaviertel, Frau Tatjana Laupenmühlen und Nico Neuwirth (z.Z. HLNUG) für die Hilfe bei der Erstellung von Abbildungsprofilen.

## Literatur

- Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Geologie (2002): Geologische Kartieranleitung. – Geol. Jb., **G 9**: 135 S., 16 Abb., 6 Tab., 4 Anl.; Hannover.
- BUDE, H., HOSELMANN, C., LEHNÉ, R., RADTKE, G., HEGGEMANN, H. & HOPPE, A. (2017): Results of a 3D facies-modelling attempt in the Lower Main Plains (Frankfurt, Germany). – Abstract. GeoBremen 2017.
- DIN EN ISO 14688-1 (2018): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung (Beuth-Verlag).
- LEHNÉ, R.J., HOSELMANN, C., HEGGEMANN, H., BUDE, H. & HOPPE, A. (2013): Geological 3D modelling in the densely populated metropolitan area Frankfurt/Rhine-Main. – Z. Dt. Ges. Geowiss., **164**: 591–603, 9 figs., 2 tabs.; Stuttgart.
- KÜMMERLE, E. & RADTKE, G. (2012): Die Fossilien des Tertiärmeeres im Hanauer Becken. – Jber. Wett. Ges. ges. Naturkunde, **162**. Jg.: 59–77, 21 Abb., 1 Tab.; Hanau.
- KÜMMERLE, E. & SEIDENSCHWANN, G. (2009): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Bl. 5818 Frankfurt a.M. West. – 3. Aufl., 308 S., 43 Abb., 33 Tab., 3 Beibl.; Wiesbaden.
- MARTINI, E. & RADTKE, G. mit einem Beitr. von SCHILLER, W. (2011): Hanauer Becken. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IX – Tertiär, Teil 1: Oberrheingraben und benachbarte Tertiärgelände. – Schriftenr. dt. Ges. Geowiss. (SDGG), **75**: 225–302, 2 Abb., 5 Tabs.; Hannover.
- RADTKE, G. (2009): Standardprofil der tertiären Abfolge – In: KÜMMERLE, E. & SEIDENSCHWANN, G. (2009): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Bl. 5817 Frankfurt a.M. West, 3. Aufl.: Beibl. 2; Wiesbaden.
- RADTKE, G. (2014): Geologische Stadtkarte Frankfurt a.M. und Umgebung. – GeoFrankfurt 2014 – Dynamik des Systems Erde / Earth Systems Dynamics, 21.–24. Sep. 2014, J.W.Goethe-Univ., Frankfurt a.M. (Info-Tafel).
- RADTKE, G. & KÜMMERLE, E. (2010): Geologische Karte Stadt Frankfurt a.M. – Jahresbericht 2009 des HLU: 115–121, 7 Abb.; Wiesbaden.
- RADTKE, G. & MARTINI, E. (2008): Neudefinition von stratigraphischen Einheiten im Tertiär des Mainzer und Hanauer Beckens (Deutschland, Miozän): Frankfurt-Formation [= Obere Hydrobien-Schichten]. – Geol. Jb. Hessen, **135**: 47–59, 3 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- SPEH, P., SUEDES, T., LEHNÉ, R. & RADTKE, G. (2017): Creation of a geological high-resolution 3D-model for the city of Frankfurt/Main. – Poster. GeoBremen 2017.
- Stratigraphische Tabelle Deutschland (2016). – 2. Aufl., Deutsche Stratigraphische Kommission (DSK) (Hrsg).
- WENZEL, M. (2016): Die Algenbioherme des Mainzer Beckens im Dyckerhoff-Steinbruch, Wiesbaden (Wiesbaden-Formation, Untermiozän). – Unveröff. Masterarbeit (MSc) J.-W.-von Goethe-Universität, Frankfurt a.M. 46 S., 11 Abb., 6 Taf., Frankfurt a.M.



## **Aerobverfahren, Bioaugmentation, Cosubstrat-einsatz - kleines ABC der biologischen LCKW-Sanierung**

STEPHAN HÜTTMANN

Biologische In-Situ-Sanierungsverfahren für LCKW-Grundwasserkontaminationen haben in den vergangenen Jahren eine intensive verfahrenstechnische Entwicklung genommen und werden zunehmend am Markt als attraktive Alternative zu traditionellen Verfahren, wie z. B. Aushubverfahren und hydraulischen Sicherungsverfahren, nachgefragt. Entscheidend für die Wirksamkeit von biologischen In-situ-Sanierungsverfahren zur Elimination von LCKW ist neben der geobiologisch/geochemischen Beherrschung des jeweiligen Abbauprozesses vor allem eine effiziente Verteilung der benötigten Wirkstoffe und das Biozösenmanagement im Kontaminationsbereich. Eine technische Herausforderung für In-situ-Sanierungsverfahren stellen dabei insbesondere geologisch komplex strukturierte Grundwasserleiter dar, in denen eine Wechsellagerung von hydraulisch leicht bzw. schwer zugänglichen Bereichen vorliegt.

Die biologische In-situ-Behandlung von LCKW-Grundwasserschäden ist – abhängig von der LCKW-Zusammensetzung – entweder auf aerobem oder auch auf anaerobem Weg möglich. Die im Einzelfall jeweils besser geeignete Verfahrensvariante ist unter anderem vom Geochemismus am Standort, von der LCKW-Zusammensetzung und von der jeweiligen Leistungsfähigkeit der standorteigenen Mikroorganismen abhängig.

Die Aerobbehandlung von LCKW-Grundwasserkontaminationen wurde bereits in vielen cDCE-/VC-kontaminierten Grundwasserleitern technisch erfolgreich realisiert, um Schadstofffahnen möglichst kostengünstig durch den Aufbau aerober Bioreaktionszonen in-situ abzuschneiden. Dazu ist im Bereich der Fahnenbehandlung eine dauerhaft hohe Sauerstoffkonzentration im Grundwasserleiter aufrecht zu erhalten, bis die Nachlieferung von LCKW aus dem Zustrom unterbleibt.

Im Rahmen einer Pilotanwendung in Baden-Württemberg wurde in Kooperation des TZW und der Sensatec GmbH bereits auch eine TCE-Schadensquelle erfolgreich behandelt, in dem das TZW erstmals erfolgreich den aeroben TCE-Abbau an einem Standort nachweisen konnte. Bei der Übertragung in den technischen Großmaßstab kam ein neuartiges Aerationssystem zur stabilen Sauerstoffversorgung eines Kluftgrundwasserleiters zum Einsatz.

Die anaerobe biologische Sanierung des LCKW-Abbaus wird meist reduktive Dechlorierung genannt. Die reduktive Dechlorierung umfasst alle Reduktionsschritte ausgehend vom PCE über das TCE, cDCE und VC bis hin zum chlorfreien Produkt. Es ist bis heute lediglich eine Mikroorganismenart bekannt, die in der Lage ist, den vollständigen Dechlorierungsprozess bis zum Ethen zu katalysieren. Dabei handelt es sich um die Art „Dehalococcoides mccartyi“. Für eine erfolgreiche und vollständige Dechlorierungsreaktion ist die Präsenz dieser Mikroorganismenart in ausreichend hoher Zellzahl zwingend erforderlich. Wenn diese Mikroorganismen am Standort fehlen, kann das mikrobielle Abbaupotenzial aber durch die Zugabe standortfremder „Dehalococcoides-Kulturen“ mittels Bioaugmentation auf den betreffenden Standort übertragen werden. Inzwischen gibt es auch in Deutschland zahlreiche Anwendungsbeispiele für gelungene Bioaugmentationen von Dehalococcoides-Einsätzen, auf die im Vortrag eingegangen wird.

Eine wichtige Voraussetzung für die Etablierung der reduktiven Dechlorierung in einem Grundwasserleiter ist grundsätzlich der Aufbau eines stark reduzierenden Milieus im Bereich der Sulfatreduktion bis hin zur Methanogenese. Dazu wird in der Regel ein geeignetes organisches Cosubstrat in den Grundwasserleiter eingeleitet. Generell ist bei der Auswahl eines geeigneten Cosubstrates neben dem mikrobiellen Nutzungsprofil auch die geologische Beschaf-

fenheit des Grundwasserleiters zu beachten. Bei geringen GW-Fließgeschwindigkeiten kann es sinnvoll sein, ein langzeitwirksames Cosubstrat einzusetzen. Sofern Residualphase vorliegt, kann ein biologischer Lösungsvermittler mit dem Cosubstrat kombiniert verwendet werden, um eine Einlösung residueller Phasenpools und damit deren Bioverfügbarkeit zu verbessern.

Neben der Auswahl des geeigneten Cosubstrates ist auch dessen hydraulische Verteilungsstrategie von zentraler Bedeutung für eine erfolgreiche Sanierung. Je nach Anforderung des Standortes bieten horizontal oder zumindest schräg verfilterte, linienförmig im Schadstoffhorizont verlaufende Filterelemente in Verbindung mit einer aktiv geführten Zirkulation eine erfolgsversprechende Strategie.

Grundsätzlich führt eine Grundwasserzirkulation infolge der durch die Zwangsströmung induzierten Bewegung zu einer verstärkten mikrobiellen Aktivität, weil

- der Stoffaustausch befördert wird („Nahrung“ wird zugeführt, Metaboliten werden abgeführt; dadurch verstärkte Besiedlung bis zum Wachstumsmaximum der MO möglich)

- in der Zirkulationszelle nur in einem begrenzten Anteil unbehandeltes Wasser von außen Zutritt; ergo durchläuft das Behandlungswasser je nach Zirkulationsumsatz mehrfach die Zelle (das Maß ist das ausgetauschte Porenvolumen  $V/V_0$ )
- je nach Anordnung der Sanierungsfilter für Infiltration und Exfiltration lässt sich gezielt horizontspezifisch arbeiten;
- Dichtebedingtes Absinken von Cosubstratlösung im passiven System lässt sich durch aktive hydraulische Prozessführung vermeiden

Gegenüber passiven Verfahren lässt sich in der Zirkulation klar definieren, wie hoch die Umsatzrate des zirkulierenden Wassers ist und welche Volumina dabei bewegt werden. Aus der Bestimmung der Schadstoffkonzentration in diesen Volumina lässt sich das Verhältnis von entnommenem zu abgereinigtem Schadstoff bilanzieren.

Im Vortrag wird anhand verschiedener Projektbeispiele aus der Praxis auf die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Realisierung biologischer LCKW-Sanierungstechnologien eingegangen. Im Ergebnis wird ein Kriterienkatalog dargestellt, der die für die Planung und Auslegung von biologischen Sanierungsvorhaben wichtigsten Aspekte umfasst.

## Pilotierungen von Biovertikalfiltern in der Grundwassersanierung - das EcoVert-System

UWE SCHLENKER, FRANK TIDDEN, JENS GROSS, FRANK PIETSCHNER & STEFANIE APELT

Die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte zeigen, dass Grundwassersanierungen teilweise eine sehr lange Laufzeit besitzen. Das liegt einerseits an (früher oft vernachlässigten) Quellensanierungen, so dass ein stetiger Schadstoffabfluss aus den hot-spot-Bereichen mit dem Grundwasser erfolgt. Andererseits ist bei großen Abstrombereichen mit möglicherweise vielen Einzeleintragsquellen (die zum Teil durch Überbauungen eine Quellensanierung nicht zulassen) eine Abstomsicherung als Gefahrenabwehrmaßnahme die einzige Möglichkeit, weitere Schutzgüter (wie zum Beispiel Trink- oder Brauchwassereinzugsgebiete) vor einer negativen Beeinflussung durch Schadstoffe zu bewahren. Diese Situation tritt insbesondere bei großen Industrieansiedlungen mit einer jahrzehntelangen Produktionsgeschichte häufig in Erscheinung.

In der Vergangenheit wurden zur Bewältigung dieser Aufgabe konventionelle Pump&Treat-Verfahren mit den üblichen Desorptionsanlagen, Aktivkohlestufen oder anderen gängigen Technologien eingesetzt. Schon bald war klar, dass die Betriebskosten dieser Anlagen bei einer Laufzeit von mehr als 20 Jahren gigantische Ausmaße annehmen können. Innovative Verfahren wie Funnel&Gate-Lösungen, Grundwasserzirkulationsbrunnen oder in-situ-Verfahren sollten das Problem lösen helfen. Wenn die Standortfaktoren oder der Grundwasserchemismus es zuließen und eine gute Planungsvorbereitung existierte, waren das auch Erfolgsgeschichten.

Doch wiesen insbesondere die in situ-Verfahren deutliche Unzulänglichkeiten auf. So stellt sich der Grundwasserleiter oft als Black Box dar, d. h. trotz großen Monitoringaufwands verhielten sich die Verteilung der eingebrachten Stoffe, wie z. B. Fenton's Reagenz oder Melasse oder die Fließwege der Grundwasserströmungen als auch die Reaktivi-

tät von Bodenpartikeln und viele andere Parameter nicht immer modellgemäß.

Also bestand vor den on-site-Sanierungsanlagen die Aufgabe der Prozess- und Kostenoptimierung. Umfangreiche Arbeiten durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) Leipzig und viele andere Forschungs- und Industriepartner versuchten, günstige Lösungen insbesondere bei der Sanierung von Boden- und Grundwasserkontaminationen von Ökologischen Großprojekten zu erarbeiten. Neben den naturwissenschaftlich-technischen Fragestellungen waren auch Themen wie Finanzierungsmodelle oder Risikobewertungen zu bearbeiten. Hier soll nur ein Beispiel die Wichtigkeit dieser Optimierungsversuche verdeutlichen: Die Einsparung nur einer einzigen Pumpe im System von etwa 2 kW Leistung spart nach 20 Jahren Betrieb einer Sanierungsanlage den Energieverbrauch von 350 MWh ein (wobei die bisherigen Erfahrungen die Einsparung von mehreren Pumpen und anderer elektrischer Verbraucher wie z. B. Radialverdichter aufzeigen konnte).

Biovertikalfilter erweisen sich immer mehr als eine kostengünstige Alternative bei langlaufenden Grundwassersanierungen bzw. Abstomsicherungen. Durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig konnte am Standort der Alten Raffinerie Leuna, einem großen Industriebetrieb der Mineralölverarbeitung in Mitteldeutschland, die prinzipielle Tauglichkeit des Verfahrens nachgewiesen werden (siehe Gebrauchsmuster 2012 103 622.3 des UFZ Leipzig). Durch die BAUER Resources GmbH erfolgte dann die Maßstabsvergrößerung von einer Technikumsanlage mit einem Durchsatz **von wenigen l/h zu einer Pilotanlage mit 6 m<sup>3</sup>/h und daraus dann der Bau einer Anlage mit etwa 25 m<sup>3</sup>/h** Reinigungsleistung für MTBE und

BTEX. Diese Anlage läuft nun seit mehr als 3 Jahren im Dauerbetrieb und löste eine konventionelle Grundwasserreinigungsanlage auf Desorption-/Adsorptionsbasis ab.

Somit konnte in kürzester Zeit durch die Projektpartner Landesanstalt für Altlastenfreistellung Sachsen-Anhalts, der MDSE Bitterfeld-Wolfen, der G.U.T. Merseburg sowie der BAUER Resources GmbH gemeinsam mit dem UFZ Leipzig der Sprung von der wissenschaftlichen Forschung zu industriellen Anlage zur Grundwasserreinigung gegangen werden.

Die Aufgaben in der Grundwassersanierung betreffen aber nicht nur die Reinigung von MTBE und BTEX im Abstrom von Raffinerien und Tanklager, sondern es existieren ähnliche Großprojekte auch im Bereich der chemischen Industrie, der Kohleveredlung oder der Energieerzeugung. Um zu prüfen, ob die Biovertikalfiltertechnologie auch im Falle anderer Grundwasserkontaminationen oder Standortbedingungen einsetzbar ist, entwarfen und bauten die Spezialisten der BAUER Resources GmbH Bereich Bauer Umwelt eine containergestützte, vollautomatische Biovertikalfilteranlage vom Typ EcoVert®, in der man die Prozesse einer möglichen großtechnischen Sanierungsanlage simulieren kann.

Das EcoVert®-Verfahren ist eine technologische Weiterentwicklung des in Leuna eingesetzten Biovertikalfilterverfahrens und ergänzt das ursprünglich zweistufig ausgelegte Verfahren um eine dritte, universell gestaltbare Verfahrensstufe. Diese zusätzliche Verfahrensstufe kann beispielsweise zur kontrollier-

ten Abscheidung von Störstoffen (Eisen, Mangan, Härte) aus dem Grundwasser eingesetzt werden, aber auch bei Bedarf zur physikalisch-chemischen Entfernung von Schwermetallen oder anaeroben Vorbehandlung des Grundwassers verwendet werden.

In einem 40-ft-Container war eine komplette dreistufige Reinigungsanlage untergebracht, die innerhalb von wenigen Stunden nach dem Antransport auf dem Sanierungsstandort einsetzbar war. Bauseits waren nur Strom-, Rohwasseranschluss und die Ableitung des gereinigten Wassers notwendig. Im Allgemeinen liegen diese Medien ja schon am Standort einer dort befindlichen Langläufer-Grundwasserreinigungsanlage vor, so dass man versuchsbezogen nur einen Bypass legen muss. Das vereinfacht vielfach auch den notwendigen Genehmigungsaufwand. Mit 40–200 l/h besitzt die Anlage zwar einen verhältnismäßig geringen Durchsatz, kann aber kostengünstig unter realen Bedingungen (z. B. auch unter Berücksichtigung solcher Grundwasserinhaltsstoffe wie Ammonium, Schwermetalle, Sulfide oder andere Schwefelverbindungen, Eisen und Mangan, Calcium, Magnesium) Daten zum Abbau der originären Schadstoffe wie z. B. (Alkyl-)Phenolen, MKW, PAK, später auch für Nitroaromaten und andere Schadstoffgruppen liefern.

Unser Versuchsprogramm vor Ort beginnt immer mit einem prinzipiellen Eignungstest am Standort. Hier wird die Frage geklärt, ob Abbaureaktionen der Hauptschadstoffe stattfinden oder Hemmungen



Abb. 1: Pilotcontainer EcoVert®



Abb. 2: Blick in den Pilotcontainer EcoVert®-3

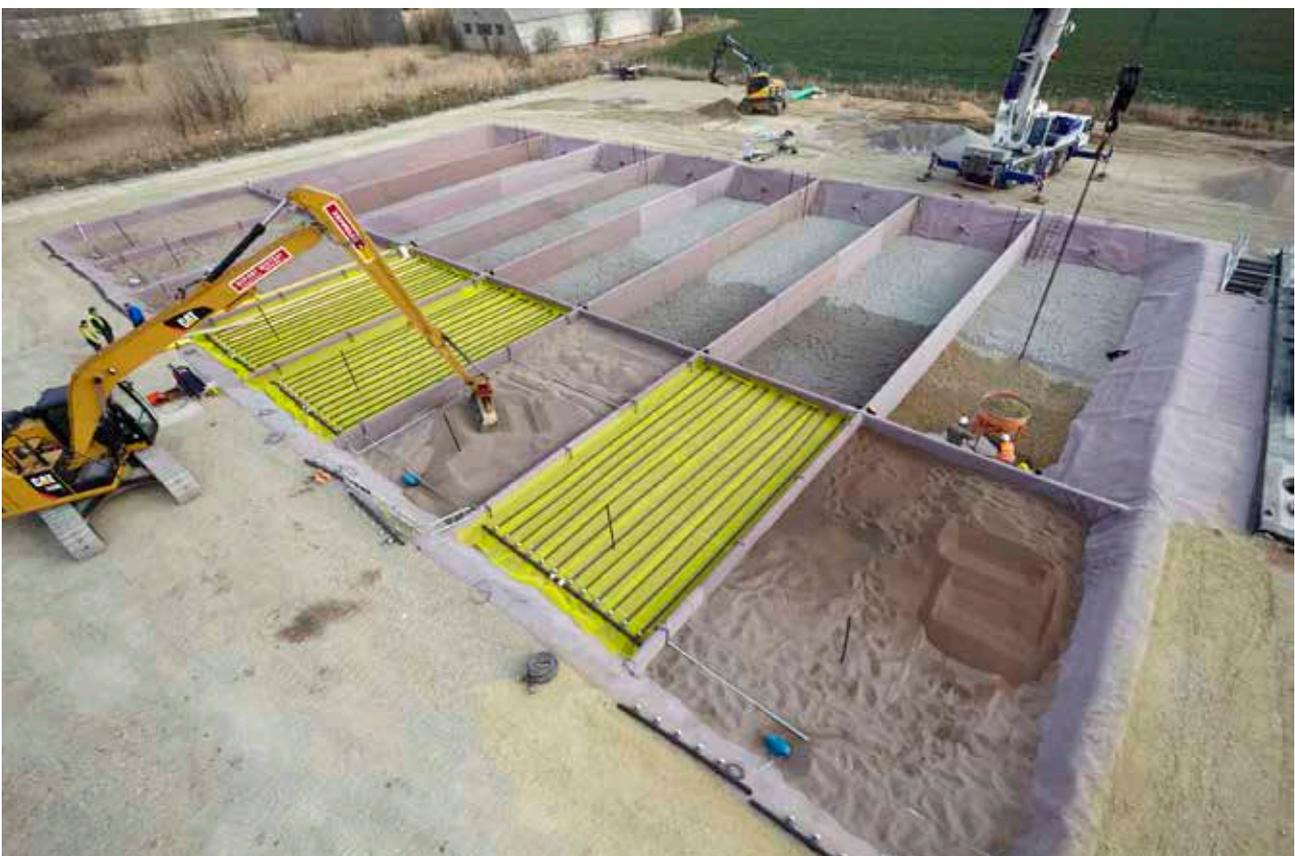
der biologischen Aktivität z. B. durch andere Schadstoffe im Betrieb der EcoVert®-Anlage auftreten. Danach erfolgen Optimierungsversuchsreihen z. B. zur Durchsatzleistung der Pilotanlage (Einfluss auf die Flächengröße der zu projektierenden Großanlage), Prüfung der Filtermaterialien in den einzelnen Reinigungsstufen (Material, Korngröße, Oberflächenstruktur und -aktivität), Auslegung und Betriebsführung der Beschickersysteme (Optimierung des Sauerstoffeintrages oder des Sauerstoffverbrauchs). Durch gezielte Simulation von aeroben und anaeroben Zuständen in den Filtern können auch Schadstoffe behandelt werden, die eben nur unter den jeweils genannten Bedingungen abgebaut werden.

Integrierte Messsonden zur Bestimmung von Sauerstoffgehalt, Redox-Potential, Leitfähigkeit und Temperatur gehören zur Standardausstattung ebenso wie Durchflussmesser, die ihre Signale an eine zentrale Steuerung liefern und so einen vollautomatischen Betrieb mit Fernwirkung zulassen. Ein abgestimmtes Analysenprogramm zur Kontrolle der Abbauleis-

tung in Roh- und behandeltem Wasser (auch nach einzelnen Reinigungsstufen) komplettiert das Versuchsprogramm.

Je nach Abbaugrad der Schadstoffe in den biologischen Reinigungsstufen reichen diese aus oder können durch zusätzliche Komponenten ergänzt werden. Das können z. B. Dosiereinrichtungen für Nährstoffe zur Intensivierung des biologischen Abbaus sein oder nachgeschaltete Reinigungsstufen für biologisch nicht oder schwer abbaubare Nebenschadstoffe sein.

Da es sich um ein biologisches System handelt, sind die Reaktionszeiten auf Änderungen im System natürlich etwas länger als bei chemisch-physikalischen Anlagen (z. B. Start der biologischen Abbauvorgänge nach entsprechender Vermehrung der notwendigen Mikroorganismen). Deshalb haben wir bisher sehr gute Ergebnisse mit einer Gesamtversuchsdauer von 9–12 Monaten erzielt. Darin enthalten ist der Eignungstest als auch die Optimierungs- und Hochlastversuchsphase.



**Abb. 3:** Herstellung der großtechnischen Grundwasserreinigungsanlage Leuna I

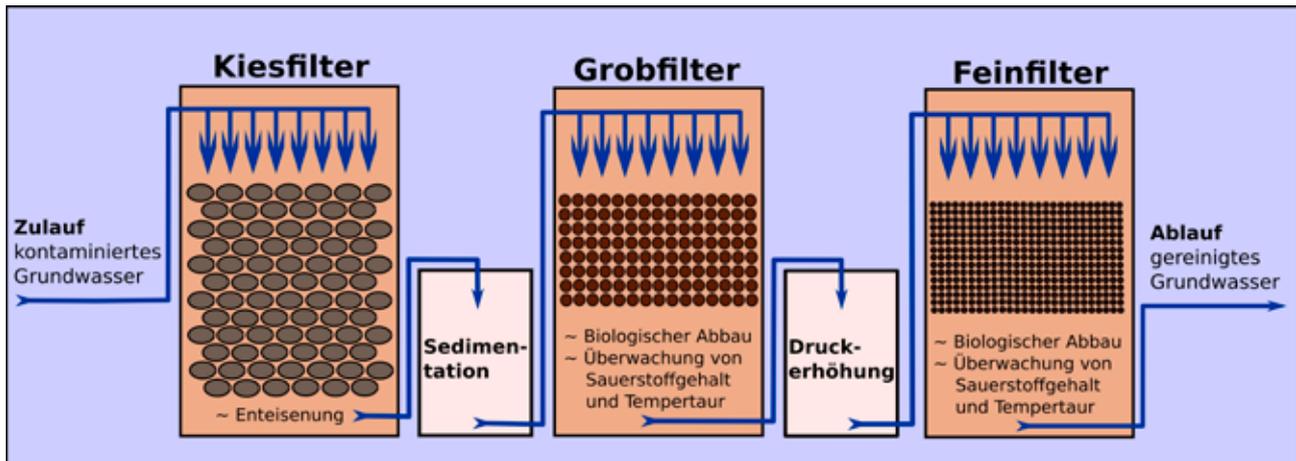


Abb. 4: Verfahrensprinzip EcoVert®-3

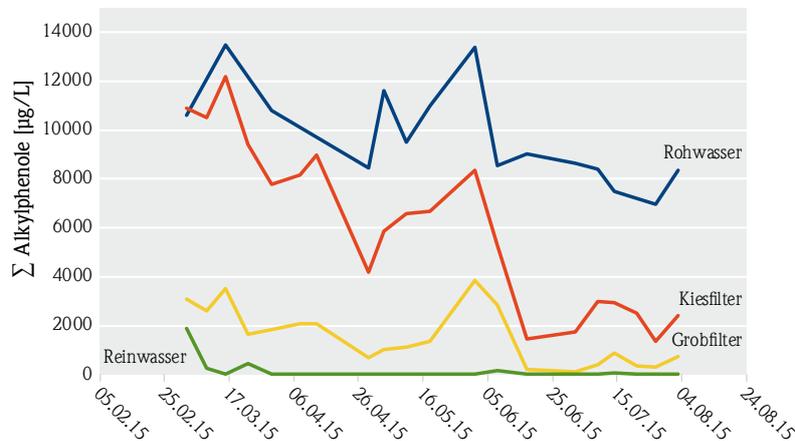
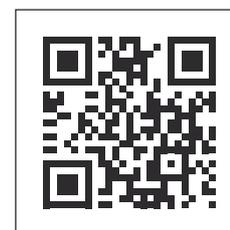
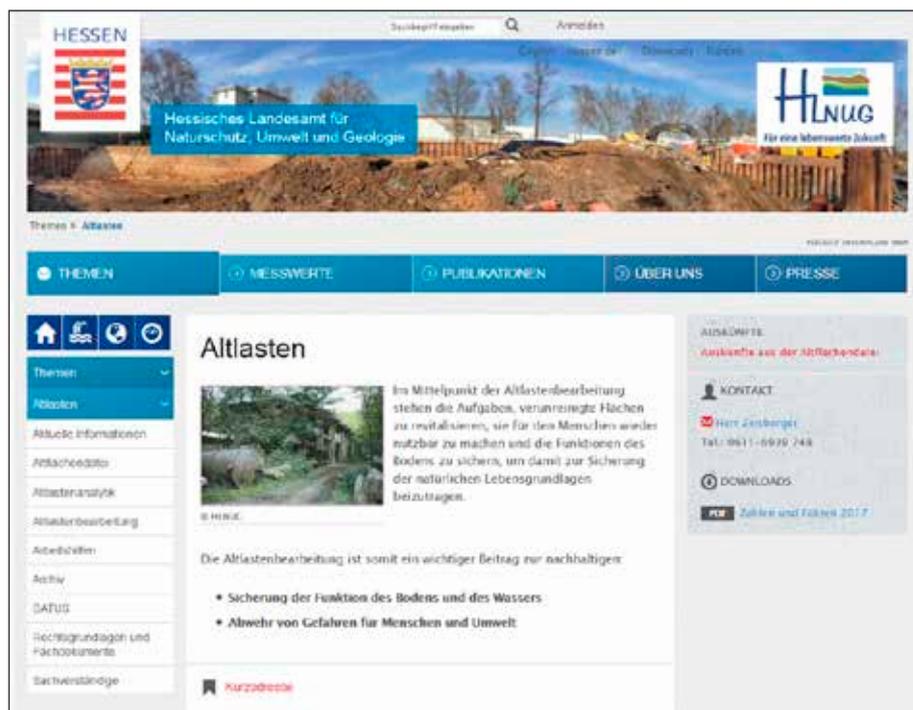


Abb. 5: Beispiel eines Versuchsverlaufs mit einer EcoVert®-Anlage

Die Ergebnisse der Versuchsreihen können dann durch up-scaling direkt in die Planung und Projektierung der industriellen Anlagen überführt werden. Obwohl die wirtschaftlichen Vorteile der Biovertikalfiltrertechnologie schon in den ersten Großanlagen unbestritten sind, gibt es immer noch technische und wirtschaftliche Optimierungsmöglichkeiten.

Tools zur Auslegung des Betriebsregimes, Steuerungsroutinen und Testung von Betriebszuständen (z. B. Sommer- und Winterbetrieb, Wiederinbetriebnahme im Falle von Havarien etc.) unterstützen die Planung der perspektivischen Großanlagen, auf Wunsch auch im Vergleich zu konventionellen Grundwasserreinigungssystemen.

## 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:

- Aktuelle Informationen
- Altflächendatei
- Altlastenanalytik
- Altlastenbearbeitung
- Arbeitshilfen
- Archiv
- DATUS
- Rechtsgrundlagen und Fachdokumente
- Sachverständige

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 Atlanten

#### Handbuch Atlanten, Band 1 Atlantenbearbeitung 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 Atlantenbearbeitung zu erarbeiten und zu veröffentlichen.

Die verschiedenen Bände des Handbuchs Atlanten informieren Fach- und Vollzugsbehörden, öffentliche Gebietskörperschaften, Sachverständige und Untersuchungsstellen sowie die interessierte Öffentlichkeit über die technischen und rechtlichen Aspekte der Atlantenbearbeitung; insbesondere angesprochen sind auch Betroffene und Verursacher von Atlanten. Das Handbuch Atlanten 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 Atlantenbearbeitung und informiert über rechtliche, finanz- und datenverarbeitungstechnische Grundlagen. Das Handbuch war erstmals im Jahr 1999 erschienen und liegt nun als überarbeitete Neuauflage vor.

#### Handbuch Atlanten, Band 2 Erfassung von Altflächen

**Teil 2** € 7,50

##### Erfassung von Altstandorten

(2., überarbeitete Auflage 2014)

Volltext verfügbar \*

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 Altstandortenerfassung minimiert werden.

**Teil 4** € 7,50

##### Branchenkatalog zur Erfassung von Altstandorten (2008)

Volltext verfügbar \*

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

## **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 Luftbildauswertungen 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**

#### **Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen**

€ 20,-

(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 vorzustellen. 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**

#### **Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden Grundwasser - Sickerwasserprognose -**

€ 15,-

(2. überarbeitete Aufl. 2002)

Volltext verfügbar \*

Mit dem Instrument der Sickerwasserprognose soll die von verunreinigtem Boden ausgehende Gefährdung des Grundwassers abgeschätzt 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 Handbuchs 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 Geologie (HLNUG) in Zusammenarbeit mit einem Arbeitskreis aus Fachleuten der Umweltverwaltung

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

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 vollhalogenierten 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

**Neuerscheinung**

**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 bei der 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

## Handbuch Altlasten, Band 4 Rüstungsaltsstandorte

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

Im Handbuch Rüstungsaltsstandorte 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 Rüstungsaltsstandorten (1996)

Im Handbuch Rüstungsaltsstandorte Teil 2 sind Materialien über ehemalige Anlagen und Produktionsverfahren auf Rüstungsaltsstandorten 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 Bewertungs-

formulare 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 Kulturgeschichte sowie Nutzungsfunktionen.

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

Das heißt, diese Arbeitshilfe soll

- die allgemeinen Vorgaben, insbesondere des Bodenschutzrechtes, bei Verfüllungen in Sanierungsbereichen fachlich und rechtlich konkretisieren,

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

- 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 7**  
**Analysenverfahren**

**Teil 1** € 5,-  
**Bestimmung von Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Feststoffen aus dem Altlastenbereich**  
 (1998)

Volltext verfügbar \*

Das hier beschriebene Verfahren mündet sowohl in die Bestimmung der PAK mittels GC-MS als auch

mittels HPLC-UV/FLD. Im GC-Teil berücksichtigt es bereits die Entwicklungen einer künftigen ISONorm (Norm-Entwurf ISO/DIS 18287, Ausgabe: 2003-10: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) - Gaschromatographisches Verfahren mit Nachweis durch Massenspektrometrie (GC-MS)), die sich allerdings nur mit GC-MS befasst. Der entscheidendere Schritt ist die Extraktion, die auf eine bewährte Vorgehensweise aus dem Bereich der landwirtschaftlichen Untersuchungen zurückgeht. Dieses Verfahren bildet auch einen wichtigen Baustein für die künftige ISO-Norm.

**Teil 3** € 5,-  
**Bestimmung von Mineralöl-Kohlenwasserstoffen (MKW) mittels Kapillargaschromatographie in Feststoffen aus dem Altlastenbereich** (2001)

Volltext verfügbar \*

Die Extraktion der MKW mit 1,1,2-Trichlortrifluoethan wurde durch Aceton, Petrol Ether, Kochsalz und Wasser abgelöst, die Detektion erfolgt mit GC-FID. Hier handelt es sich um denselben Extrakt, wie er in Band 7 Teil 1 für die PAK beschrieben ist. Somit können aus einem einzigen, jedoch geteilten Extrakt gleich zwei eng zueinander gehörige Zielgruppen analysiert werden. Die Randbedingungen der Identifizierung und Quantifizierung sind deckungsgleich mit dem Konzept der für Böden im ISO TC 190 (ISO/DIS 16703: 2002) bereits seit vielen Jahren festgelegten Konzeption (C10 bis C40). Beide Verfahren, die FGAA-Methode und das des ISO/DIS, werden derzeit überarbeitet. So hat sich herausgestellt, daß der bei FGAA formulierte Umlösungsschritt durch zweimaliges Waschen mit Wasser ersetzt werden kann.

Beim Einengen des Extraktes besteht die Gefahr, daß bei hohen PAK-Konzentrationen diese im Petrolether ausfallen und vor der Extraktreinigung - ohne die Elutropie des Extraktes zu verändern - nicht wieder in Lösung gebracht werden können. Dagegen hat sich inzwischen beim ISO/DIS das Verhältnis von Extraktionsmittel zur Einwaage als zu gering herausgestellt.

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

**Teil 4** € 5,-  
**Bestimmung von BTEX/LHKW in Feststoffen aus dem Altlasten bereich** (2000)

Volltext verfügbar \*

Das Verfahren beruht auf der sofortigen Konservierung des Bodenmaterials im Feld, indem der Boden – am besten durch einen geeigneten Kernstecher – in eine vorgelegte Masse eines geeigneten Lösungsmittels gegeben wird. Die Einwaage wird dann im Labor durch Rückwiegen ermittelt. Von diesem Extrakt wird ein kleines Volumen abgenommen und in Wasser gegeben. Die analytische Bestimmung der BTEX/LHKW kann dann mit allen Verfahren der Wasseranalytik durchgeführt werden. Aus diesem Verfahren wird demnächst eine ISONorm hervorgehen:

ISO/CD 22155:2002, die allerdings nur die statische Dampfdruckanalyse des Wassers zum Gegenstand hat. Das FGAA-Verfahren wird in einem staatlichen Labor in hohem Maße auch für Klärschlämme eingesetzt und hat sich bestens bewährt. Allerdings muß dann dem erhöhten Wasseranteil des Schlammes bei der Berechnung des Endergebnisses Rechnung getragen werden.

**Teil 5** nur im Internet \*  
**Bestimmung von ausgewählten sprengstofftypischen Verbindungen in Feststoffen aus dem Altlasten bereich mit Gaschromatographie** (2006)

Zur analytischen Untersuchung von Feststoffproben auf sprengstofftypische Verbindungen an Rüstungsaltstandorten gibt es keine genormten oder standardisierten Analyseverfahren. Auch wird es in absehbarer Zeit weder bei DIN noch bei ISO (TC 190; Bodenbeschaffenheit) Normierungsarbeiten für die analytische Bestimmung von sprengstofftypischen Verbindungen in Böden geben.

Da aber an zwei großen ehemaligen Rüstungsaltstandorten in Hessen schon langjährig flächenhafte Erkundungen stattfinden, war es erforderlich, eine einheitliche Vorgehensweise vorzugeben.

Das jetzt hier allgemein beschriebene Verfahren wurde 1999 zusammen mit einer ganzen Reihe von vertraglich festgelegten Qualitätsanforderungen im Rahmen von Ausschreibungen in verschiedenen Laboratorien etabliert und seither in der Routine angewandt und weiter verbessert.

**Teil 6** nur im Internet \*  
**Arbeitshilfe - Angabe der Messunsicherheit bei Feststoffuntersuchungen aus dem Altlastbereich** (2003)

In der BBodSchV wird die Angabe der Messunsicherheit gemäß der Normen DIN 1319 Teil 3 und DIN 1319 Teil 4 verlangt. Diese beiden Normen sind jedoch schwer verständlich und daher für den Laboralltag nicht geeignet. Ebenso ist nach DIN EN ISO/IEC 17025 : 2000-04 für Prüf- und Kalibrierlaboratorien erforderlich, die Messunsicherheit ihrer Analyseverfahren im Prüfbericht anzugeben. Für die Laboratorien, die die Messunsicherheit angeben müssen, wurde eine Arbeitshilfe zum Thema „Unsicherheit von Messergebnissen“ erstellt. Diese enthält sowohl theoretische Grundlagen: Kapitel 3 und 4, als auch praktische Anwendungen: Anlagen. Sie wendet sich auch an Behörden, die bei der Bewertung von Analyseergebnissen zukünftig die Messunsicherheit berücksichtigen müssen (Kapitel 7). Die Arbeitshilfe behandelt neben einfachen Grundlagen nur die Bestimmung und Bewertung der Messunsicherheit bei der analytischen Untersuchung von Feststoffen, speziell von Altlastenproben. Die Unsicherheitsproblematik der Probennahme ist nicht Gegenstand dieser Abhandlung. Die Arbeitshilfe ist möglichst einfach gehalten und ohne größeren experimentellen bzw. mathematischen Aufwand durchführbar. Anwendern, die sich nicht für die theoretischen Grundlagen interessieren, wird empfohlen, nur die Kapitel 6 und 7 sowie die Anlagen 2 bis 4 zu lesen. Zusätzlich sind Vorschläge zur Vereinheitlichung der Angabe der Messunsicherheit sowie der Darstellung im Bericht gemacht worden.

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

## 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.

## Teil 2 Arbeitshilfen zur Überwachung und Nachsorge von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten (2005)

€12,-

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.

Die vierte Arbeitshilfe beschäftigt sich mit verfahrensübergreifenden Kriterien, die bei einer Entscheidung über die Fortsetzung oder Beendigung von Überwachungsmaßnahmen herangezogen werden können.

Die Arbeitshilfen wurden anlässlich von mehreren Fachgesprächen, die das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie im Jahr 2004 veranstaltet hat, erarbeitet und sind jetzt in einem Band zusammengefasst erschienen.

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

## 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** € 20,-  
(2003)

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.

### Arbeitshilfen zur Qualitätssicherung in der Altlastenbehandlung

(2001) Ringordner € 20,-

Um einen bundesweit einheitlichen Qualitätsstandard in der Altlastenbearbeitung festlegen zu können, fehlte es bisher an gemeinsamen Anforderungen durch die Bundesländer. Mit den im Mai 2001 veröffentlichten „Arbeitshilfen zur Qualitätssicherung in der Altlastenbehandlung“ steht den Altlastenbehörden sowie den beteiligten Sachverständigen und Untersuchungsstellen gleichermaßen ein länderübergreifendes Regelwerk zur Verfügung, welches Vorgaben für die technische Erkundung und Bewertung von Altlasten und altlastverdächtigen Flächen enthält.

Diese „Arbeitshilfen“ sind das Ergebnis einer Bundesländer-Arbeitsgruppe, deren Aufgabe es war, Anforderungen zur Qualitätssicherung für alle Untersuchungsschritte von der Probennahme über die Analytik bis zur Ergebnisbewertung zu formulieren. Diese recht umfangreiche Aufgabenstellung wurde von der Arbeitsgruppe in acht einzelne Teilthemen aufgeteilt, welche jeweils von einzelnen Bundesländern oder dem Umweltbundesamt erarbeitet wurden. Dementsprechend setzen sich die „Arbeitshilfen“ aus diesen Beiträgen zusammen.

Folgende Themengebiete werden in den Arbeitshilfen behandelt:

- Untersuchungsstrategie
- Probennahme
- Probenbehandlung
- Vor-Ort-Analytik
- Chemische analytische Untersuchungen – Laborverfahren
- Biologische Verfahren in der Laboranalytik

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

- Interpretation der Untersuchungsergebnisse
- Strömungs- und Transportmodelle

Da es sich bei den „Arbeitshilfen“ vorerst noch um einen, allerdings bundesweit abgestimmten Entwurf handelt, bleibt die Veröffentlichung den einzelnen Bundesländern überlassen. In Hessen wird das Werk vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie als Ringordner herausgegeben. Parallel zu den dargestellten acht Teilthemen wurden bundesweit die fachlichen und materiellen Anforder-

ungen an Sachverständige und Untersuchungsstellen erarbeitet, welche Eingang in die beiden folgenden Merkblätter fanden:

- Merkblatt über die Anforderungen an Sachverständige nach § 18 BBodSchG,
- Merkblatt für die Notifizierung von Untersuchungsstellen im Bereich Boden und Altlasten.

Diese beiden Merkblätter sind ebenfalls in der hessischen Ausgabe der „Arbeitshilfen“ zur weiteren Information enthalten.

## **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](mailto:vertrieb@hlnug.hessen.de)

Internet: [www.hlnug.de/vertrieb.html](http://www.hlnug.de/vertrieb.html)

## Autorinnen und Autoren des Atlanten-annual 2018

### **Dr. Eduard J. Alesi**

IEG Technologie GmbH  
Hohlbachweg 2  
73344 Gruibingen

### **Stefanie Apelt**

BAUER Resources GmbH Bereich Bauer Umwelt  
Vertrieb Verfahrenstechnik  
Standort Kassel  
Ederweg 11  
34317 Habichtswald

### **Dieter Binder**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dez. IV/F 41.1 – Grundwasser, Bodenschutz Ost  
Gutleutstr. 114  
60327 Frankfurt am Main

### **Andrea Bohne**

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

### **Dr. Heinz-Jürgen Brauch**

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Abteilung Analytik  
Karlsruher Straße 84  
76139 Karlsruhe

### **Jens Gross**

BAUER Resources GmbH Bereich Bauer Umwelt  
Vertrieb Verfahrenstechnik  
Standort Kassel  
Ederweg 11  
34317 Habichtswald

### **Elena Haibel**

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
Referat III 8 – Vorsorgender Bodenschutz,  
Bodenschutzrecht, Altlasten  
Mainzer Straße 80  
65189 Wiesbaden

### **Dr.-Ing. Uwe Hiester**

reconsite GmbH  
Auberlenstraße 13  
70736 Fellbach

### **Dr. Christian Hoselmann**

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und  
Geologie  
Dezernat G1 – Geologischer Landesdienst  
Rheingaustraße 186  
65203 Wiesbaden

### **Dr. Stephan Hüttmann**

Sensatec GmbH  
Friedrichsorter Straße 32  
24159 Kiel

### **J. Janda**

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Abteilung Analytik  
Karlsruher Straße 84  
76139 Karlsruhe

### **Birgit Körner**

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Abteilung Analytik  
Karlsruher Straße 84  
76139 Karlsruhe

### **Dr. Frank Thomas Lange**

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Abteilung Analytik  
Karlsruher Straße 84  
76139 Karlsruhe

### **Dr. Harald Mark**

MSP – Dr. Mark, Dr. Schewe & Partner GmbH  
Hasenwinkeler Str. 139  
44879 Bochum

### **Berthold Meise**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dezernat IV/Da 41.5 – Bodenschutz  
Luisenplatz 2  
64283 Darmstadt

**Christoph Merten**

Jones Lang LaSalle SE  
Project & Development Services Frankfurt  
Wilhelm-Leuschner-Straße 78  
60329 Frankfurt am Main

**J. Müller**

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Abteilung Analytik  
Karlsruher Straße 84  
76139 Karlsruhe

**Dr. Karsten Nödler**

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Abteilung Analytik  
Karlsruher Straße 84  
76139 Karlsruhe

**Frank Pietschner**

BAUER Resources GmbH Bereich Bauer Umwelt  
Vertrieb Verfahrenstechnik  
Standort Kassel  
Ederweg 11  
34317 Habichtswald

**Dr. Angela Prein**

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und  
Geologie  
Dezernat W4 – Hydrogeologie, Grundwasser  
Rheingaustraße 186  
65203 Wiesbaden

**Dr. Gudrun Radtke**

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und  
Geologie  
Dezernat G1 – Geologischer Landesdienst  
Rheingaustraße 186  
65203 Wiesbaden

**Gert Rehner**

GfS mbH  
Hohlbachweg 2  
73344 Gruibingen

**Dr. Frank Sacher**

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Abteilung Analytik  
Karlsruher Straße 84  
76139 Karlsruhe

**Dr. Marco Scheurer**

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Abteilung Analytik  
Karlsruher Straße 84  
76139 Karlsruhe

**Dr. Uwe Schlenker**

BAUER Resources GmbH Bereich Bauer Umwelt  
Vertrieb Verfahrenstechnik  
Standort Kassel  
Ederweg 11  
34317 Habichtswald

**Dr. Frank Tidden**

BAUER Resources GmbH Bereich Bauer Umwelt  
Vertrieb Verfahrenstechnik  
Standort Kassel  
Ederweg 11  
34317 Habichtswald

**Michael Wolf**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dez. IV/Wi 41.1 – Grundwasser, Bodenschutz  
Lessingstraße 16-18  
65189 Wiesbaden

**Volker Zeisberger**

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

