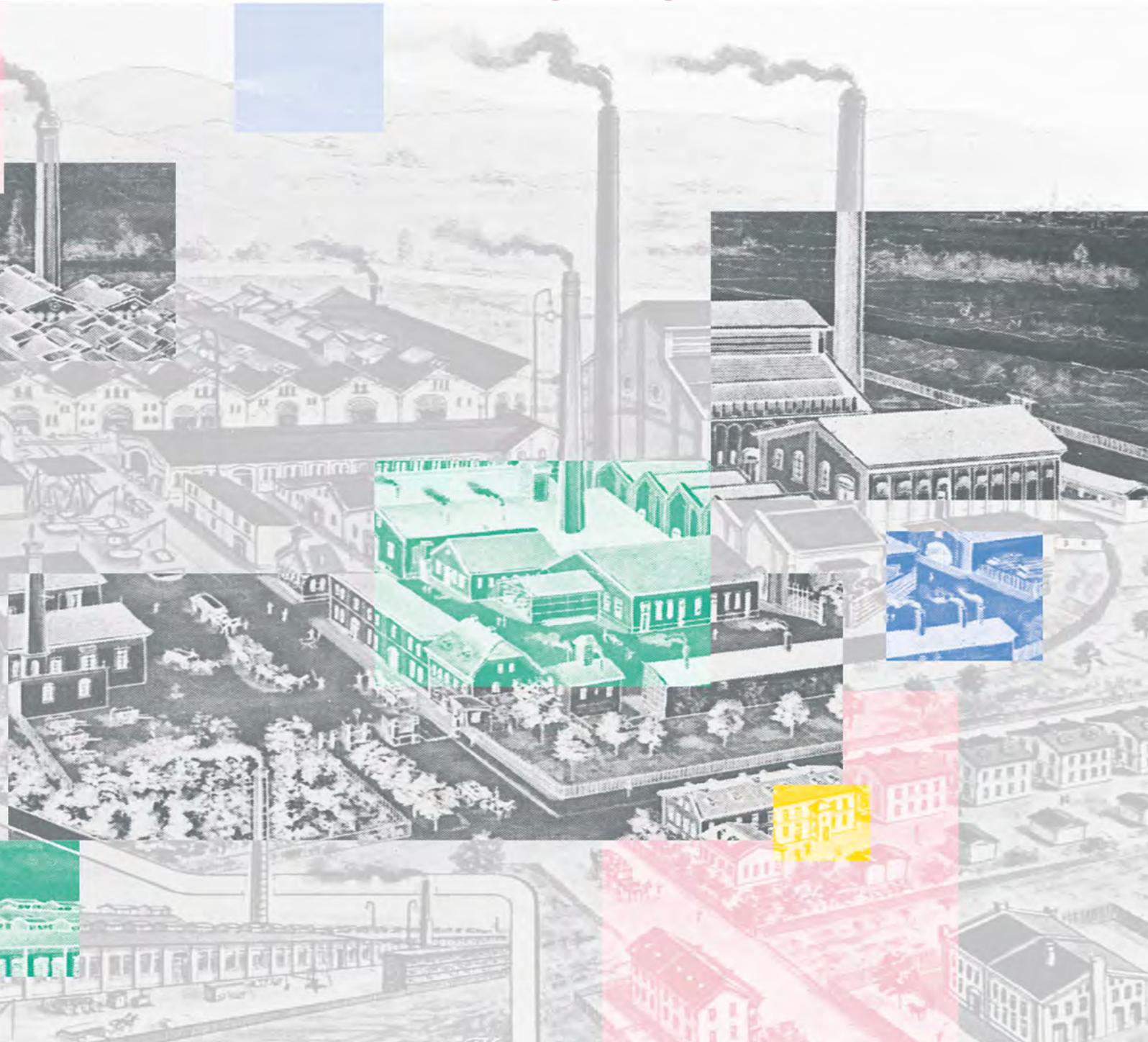




# Altlasten- **annual 2016**



# Altlasten- **annual 2016**

Wiesbaden, 2017

# **Impressum**

## **Altlasten-annual 2016**

ISBN: 978-3-89531-875-7

Bearbeitung: Redaktionsteam „annual 2016“, 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>Marie-Anne Feldmann</b> Stand der Altlastenbearbeitung in Hessen .....	7
------------------------------------------------------------------------------	---

## Brennpunkt

<b>Andrea Schütz-Lermann</b> Die Altflächendatei des Landes Hessen - Das neue FIS AG 2.0 .....	11
---------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## Aktuell

<b>Dieter Binder, Volker Zeisberger &amp; Thomas Ziegelmayr</b> Nachhaltigkeit bei der Altlastensanierung - Bewertungskonzept .....	19
<b>Jan Brodsky</b> Prüfung der Anwendbarkeit einer Analysenmethode zur Bestimmung der leichter flüchtigen MKW-Fractionen in Bodenproben .....	27
Aktuelle Informationen im Internet.....	29

## Seminar Altlasten und Schadensfälle

Seminar Altlasten und Schadensfälle 2016 .....	31
<b>Heinrich Eisenmann &amp; Anko Fischer</b> Isotopenuntersuchungen zur Abbaubewertung und Quellenidentifizierung von Schadstoffen in Altlasten - 10 Jahre Praxiserfahrung .....	33
<b>Katja Amstätter, Dieter Baun, Volker Schrenk und Jutta Sextro</b> Praxisorientiertes Verfahren zur Bewertung von Bodenkontaminationen im Hinblick auf die Umwandlung eines ehemaligen chemischen Werksgeländes in verkehrsfähige Grundstücke .....	41
<b>Karin Teichmann &amp; Nina Menke</b> Beurteilung eines Deponieabstroms mit Hilfe von ökotoxikologischen Testverfahren .....	49
<b>Uwe Hiester &amp; Michael Wolf</b> Thermische in-situ Sanierung von CKW und BTEX - Konventionelle Sanierung auf dem Prüfstand.....	57
<b>Dieter Hülpiusch, Volker Schrenk &amp; Oliver Trötschler</b> Kleiner Standort – große Herausforderung: Sanierung einer Boden- und Grundwasserverunreinigung unter besonderen Rahmenbedingungen mit Dampf-Luft-Injektion .....	67
<b>Silvia Paskert</b> Verhältnismäßigkeitsprüfung zweier langlaufender Grundwassersanierungen.....	77
<b>Thomas Portune</b> Teerölinhaltsstoffe im Grundwasser – Sanierung mittels Bio-Air Sparging in Hanau .....	87
<b>Marion Peine</b> Nachhaltigkeit bei der Altlastensanierung – Bewertungskonzept und Fallbeispiele .....	93
<b>Sylvia Widmann</b> Der Teufel steckt im Detail – Ein Neuanfang nach 30 Jahren LHKW-Sanierung mittels Pump & Treat.....	97
<b>Anke Uhl</b> Schadstoffe an der Schnittstelle Grund-/Oberflächengewässer - Toxikologie – Akkumulation – Abbau .....	105

## Infothek

Altlasten im Internet .....	113
Handbuchreihe Altlasten .....	114
Sonstige Veröffentlichungen .....	122
Autorinnen und Autoren des Altlasten-annual 2016 .....	124



## Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,



die enorme Fülle an Umweltdaten zu erfassen und aufzubereiten ist ohne den Einsatz von Fachinformationssystemen nicht mehr denkbar. Dies gilt auch für den Altlastenbereich, wo in den letzten neun Jahren zur Führung der Altflächendatei das Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle (FIS AG) eingesetzt wurde. Technische Neuerungen machten es jetzt notwendig, das FIS AG durch eine neue Datenbankanwendung zu ersetzen. Im vorigen Heft hatten wir bereits über den aktuellen Stand berichtet. Nach dreijähriger Entwicklungsarbeit konnte der umfangreiche technische Umbau dieses Jahr abgeschlossen werden und die neue Version FIS AG 2.0 im April an den Start gehen. Den Mitarbeiterinnen

und Mitarbeitern bei den hessischen Bodenschutzbehörden steht jetzt eine moderne Datenbank zur Verfügung, die den neuen technischen Anforderungen entspricht und gleichzeitig schneller und benutzerfreundlicher ist als ihre Vorgängerin. Im „Brennpunkt“ dieser Ausgabe wird das neue FIS AG 2.0 ausführlich vorgestellt.

Weitere interessante Fachbeiträge zu den neuesten Entwicklungen rund um die Altlastenbearbeitung finden Sie in der Rubrik „Aktuell“ sowie in den Vorträgen unseres alljährlichen Seminars Altlasten und Schadensfälle, das diesmal in Bad Camberg stattgefunden hat.

Ich bedanke mich ganz herzlich bei den Autorinnen und Autoren dieser Ausgabe und wünsche Ihnen, liebe Leserin, lieber Leser, eine anregende Lektüre.

A handwritten signature in black ink that reads "Thomas Schmid". The signature is written in a cursive, flowing style.

Prof. Dr. Thomas Schmid  
Präsident des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie



# Stand der Altlastenbearbeitung in Hessen

MARIE-ANNE FELDMANN

Mittlerweile ist es mehr als 30 Jahre her, seit in Hessen mit der Altlastenbearbeitung begonnen wurde. Das ist ein langer Zeitraum, in dem viele Grundlagen erarbeitet, Arbeitshilfen erstellt, Methoden entwickelt und Bearbeitungsstrategien festgelegt wurden. Dennoch ist kein Ende dieses spannenden Arbeitsfeldes in Sicht. Immer wieder gibt es neue Themen, die unsere Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen und neue Ansätze erfordern. Darum möchte ich Sie wie gewohnt

über wichtige Entwicklungen im Bereich Altlasten und über die Arbeitsschwerpunkte 2016 in den Fachgebieten Altlasten und Altflächendatei informieren. Ohne eine intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit innerhalb und außerhalb des HLNUG wäre unsere Arbeit nicht so erfolgreich. Deshalb möchte ich mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die sich in Arbeitsgruppen und Projektgruppen engagiert beteiligen.

## Arbeitshilfen

Die EU-Kommission hat am 06.05.2014 die „**Leitlinien der Europäischen Kommission zu Berichten über den Ausgangszustand gemäß Artikel 22 Absatz 2 der Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen**“ (Amtsblatt 2014/C 136/03) veröffentlicht.

Lt. UMK-Beschluss 20/2013 soll die LABO-Arbeitshilfe nach Veröffentlichung der EU-Leitlinie überprüft und auf Basis der bis dahin vorliegenden Erfahrungen im Umgang mit der Arbeitshilfe aus der Vollzugspraxis aktualisiert werden. Als Grundlage sollen die aktuellen Vollzugserfahrungen in den Ländern abgefragt und zusammengestellt werden. Die LABO veranstaltete im September 2016 einen Workshop zur Arbeitshilfe Ausgangszustandsbericht, in dem bisherige Vollzugserfahrungen ausgetauscht wurden und in dem der Entwurf einer Arbeitshilfe zur Rückführungspflicht auf Basis bisheriger Erfahrungen diskutiert wurde.

Seit Mitte 2014 wird das HLNUG von den Bodenschutzdezernaten der Regierungspräsidien in die Bearbeitung der **Ausgangszustandsberichte (AZB)** insbesondere im Hinblick auf die Beurteilung der

vorgelegten Untersuchungskonzepte eingebunden. Um den Ausgangszustand des Bodens und des Grundwassers auf dem Anlagengrundstück zu dokumentieren, müssen insbesondere auf Standorten der chemischen Industrie aufwändige Untersuchungskonzepte vorgelegt werden. Im Laufe der Monate gelang es durch Zusammenarbeit der Behörden mit den Antragstellern immer besser, eine Struktur in die Untersuchungskonzepte zu bringen und den Aufwand für die Untersuchungen auf ein durch das Gesetz vorgegebenes Mindestmaß zu beschränken.



Eine Stoffgruppe ist in den letzten Jahren in den Fokus der Altlastenbearbeitung gerückt: die Gruppe der **per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC)**. Sie kommen in der Natur nicht vor, sondern werden industriell hergestellt und in unterschiedlichen technischen Bereichen eingesetzt. Sie sind z.B. oberflächenaktiv, wasser-, fett- und schmutzabweisend sowie temperaturbeständig, so dass sie aufgrund dieser Eigenschaften hervorragend für unterschiedliche Einsatzbereiche geeignet sind. Andererseits sind die-

se Stoffe zum Teil sehr langlebig (manche persistent), biologisch kaum abbaubar, bioakkumulierbar und für Säugetiere giftig, was für die Umwelt sehr nachteilig ist. Manche ihrer Vertreter zählen zu den ubiquitär vorkommenden persistenten Kontaminanten. Einsatzbereiche sind z.B. Oberflächenbehandlungen, Galvanik, Textilindustrie und Zusatz in Feuerlöschschäumen. Insbesondere Letzteres hat zu sanierungsbedürftigen Boden- und Grundwasserbelastungen geführt.

Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“ wurde ein Projekt initiiert, um bundesweite Vorgaben für die **Erfassung von Standorten mit möglichen PFC-Verunreinigungen** zu erarbeiten. Als Ergebnis wurde eine Arbeitshilfe erarbeitet und inzwischen als Arbeitsmaterial veröffentlicht mit dem Titel: „Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen. Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur Orientierenden Untersuchung“ (Projekt-Nr. B 4.14).

Die Arbeitshilfe ist auf der Homepage des Länderfinanzierungsprogramms zu finden: [http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb\\_prod/WaBoAb/Vorhaben/LABO/B\\_4.14/index.jsp](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LABO/B_4.14/index.jsp).



Die 2015 gegründete hessische **AG „Beginn und Ende einer Grundwassersanierung“** konnte 2016 ihre Arbeiten nahezu abschließen. In der AG sind die Regierungspräsidien und das HLNUG vertreten. Eine zentrale Fragestellung der AG lautet, wie Sanierungsziele bzw. Sanierungszielwerte für Altlastensanierungen unter Berücksichtigung des jeweiligen Einzelfalls abgeleitet werden können. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Frage, unter welchen Randbedingungen langlaufende Grundwassersanierungen, bei denen das festgelegte Sanierungsziel in absehbarer Zeit nicht erreichbar ist, beendet werden können. Die Arbeitsergebnisse werden voraussichtlich 2017 in einer neuen Auflage des Handbuchs Altlasten „Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasser- und Grundwasserunreinigungen“ veröffentlicht werden.

## Schadstoffbewertung und Analytik

Seit einigen Jahren arbeitet das HLNUG im **ALAGesprächskreis „Schadstoffbewertung“** mit. Der Gesprächskreis hat den Auftrag, **länderübergreifende Prüfwerte und Bewertungshilfen** bei der Altlastenbearbeitung zu entwickeln. Ein Schwerpunkt war die analytische Bestimmung der MKW-Fraktion hinsichtlich der Bewertung nach der Norm DIN EN ISO 11504 „Beurteilung der Wirkung von mit Mineralölkohlenwasserstoffen verunreinigten Böden (ISO/DIS 11504:2015) für den Pfad Boden-Mensch“. Im Rahmen einer Robustheitsstudie sollten die relevanten Fraktionen bis C<sub>12</sub> mit der bekannten Methode DIN ISO 22155 (statische HS) bestimmt werden. Diese Studie war Gegenstand des LFP-Projektes B 3.14, das Anfang 2015 initiiert und im April 2016 abgeschlossen wurde. Das HLNUG übernahm zusammen mit dem LUWG RP die Projektbetreuung. Der Bericht zum LFP-Vorhaben B 3.14 ist auf der Homepage des Länderfinanzierungsprogramms zu finden ([http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb\\_prod/WaBoAb/Vorhaben/LABO/B\\_3.14/index.jsp](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LABO/B_3.14/index.jsp)). Mit den Ergebnissen der Studie befasst sich in diesem Heft der Artikel mit

dem Titel „Prüfung der Anwendbarkeit der fraktionierten MKW-Analytikmethode an Realproben für die leichter flüchtigen Verbindungen (LFP-Projekt B 3.14)“ in der Rubrik „Aktuell“.

In Hessen wurde eine Arbeitsgruppe aus den Reihen der RPUen und des HLNUG ins Leben gerufen, die die Aufgabe hatte, Informationen zu den Stoffgruppen kurzkettige Alkylphenole (SCAP) und NSO-Heterozyklen (NSO-HET) zusammenzustellen und übersichtlich darzustellen. In Form von Informationsblättern sollte eine Hilfe für die Kolleginnen und Kollegen, die im Rahmen der Altlastenbearbeitung mit solchen Fragestellungen konfrontiert werden, bereitgestellt werden. Die Informationsblätter wurden inzwischen fertiggestellt und auf der Homepage des HLNUG veröffentlicht.



Das HLNUG war Mitglied im **LAWA-UA „Aktualisierung der Datenblätter der Geringfügigkeitsschwellenwerte“** (Kurztitel: „Aktualisierung GFS“) des Ständigen Ausschusses „Grundwasser und Wasserversorgung“ der LAWA. Der UA überprüfte

und aktualisierte die Stofflisten und Datenblätter der LAWA-Veröffentlichung von 2004 „Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser“. Berücksichtigt wurden dabei auch Änderungen durch rechtliche Regelungen wie z.B. der RL 2008/105/EG (Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik) oder aktuelle ökotoxikologische Erkenntnisse. Angepasst wurde auch das Ableitungsschema für die ökotoxikologische Stoffbewertung, da europäische Vorgaben die nationalen Bewertungsvorgaben ersetzt haben.

In einer Kleingruppe unter Beteiligung der LABO und LAGA wurden der Bericht des LAWA UA und die Datenblätter weiter bearbeitet und um Anwendungsregeln ergänzt. Der Bericht wurde mittlerweile in den entsprechenden Gremien vorgelegt.

Darüber hinaus befasst sich der LAWA-Ausschuss Grundwasser 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 strebt an, die bereits vorliegende Geringfügigkeitsschwelle (GFS) für PFOS zu aktualisieren und GFS für weitere relevante PFC abzuleiten. Das HLNUG ist 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 ist geplant, eine Entwurfssfassung des Berichtes noch in 2017 vorzulegen.



Das Element Uran kommt in zahlreichen Mineralien vor. Das unter Umweltbedingungen vorherrschende

sechswertige Uran ist unter oxidierenden Bedingungen gut löslich; es bildet pH-Wert-abhängig stabile Komplexe mit Carbonat- oder Hydroxidionen. Je nach wasserführendem Gestein sind die in Grundwässern anzutreffenden Uran-Konzentrationen geogen bedingt sehr unterschiedlich. Auch aus Düngemitteln kann Uran ins Grundwasser gelangen. Um prüfen zu können, ob nachgewiesene Konzentrationen im Grundwasser eine Umweltrelevanz oder eine Gefährdung für das Grundwasser darstellen und Sanierungsmaßnahmen erfordern, wurde **für Uran ein vorläufiger Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS)** für das Grundwasser abgeleitet.

<http://www.hlnug.de/themen/altlasten/altlastenbearbeitung/gfs-werte.html>



Im Bereich der Analytik engagierte sich das HLNUG auch 2016 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 einmal pro Jahr statt. Seit Mai 2012 wird im DIN- Arbeitskreis NA 119-01-03-02-20 AK ein **Normverfahren zur Analytik von NSO-Heterozyklen in Wasser** erarbeitet, ebenfalls unter Mitwirkung des HLNUG. Die letzte Sitzung des AK fand im Mai 2015 statt. Anfang 2016 wurde die Entwurfssfassung der Norm E DIN 38407-44:2016-03 veröffentlicht (<https://www.beuth.de/norm-entwurf/din-38407-44/249355034>). Im Sommer 2016 wurde ein Validierungsringversuch durchgeführt. Bei erfolgreicher Durchführung des Ringversuchs ist das Erscheinen der Norm für 2017 vorgesehen.

## Sachverständige und Untersuchungsstellen

Als Vertreter der LABO wurde Herr Dr. Brodsky zum Mitglied des **Sektorkomitees Chemie und Umwelt der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS)** für den Zeitraum vom 01.09.2014 bis 31.08.2017 benannt. 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 ([http://www.dakks.](http://www.dakks.de/content/sectorkomitee-chemie-und-umwelt)

[de/content/sectorkomitee-chemie-und-umwelt](http://www.dakks.de/content/sectorkomitee-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. Es 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.**

Im Juli 2013 ist die Systembetreuung (Betreuung der

Web-Anwendung) von ReSyMeSa an das Land Hessen übergegangen. Die Aufgabe wird vom HLNUG in Kassel wahrgenommen.

## **Altflächendatei**

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

Der zentrale Bestandteil der Altflächendatei ist das Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle (FIS AG). Die Datenbank von FIS AG enthält Lagedaten und weitere Informationen zu Flächen. Bei den Flächen kann es sich um Altstandorte, Altablagerungen, Grundwasserschadensfälle oder

sonstige schädliche Bodenveränderungen handeln. Als weitere Informationen werden z. B. Daten zu Betrieben, Ablagerungen, Nutzungen, Untersuchungen usw. verarbeitet. Zurzeit sind Informationen zu mehr als 120 000 Standorten erfasst.

Technische Neuerungen machten es erforderlich, FISAG auf Basis einer neuen IT-Architektur weiterzuentwickeln. Die neue Version „FISAG 2.0“ steht den Anwenderinnen und Anwendern seit dem 18.04.2016 zur Verfügung. Dieser wichtigen Entwicklung ist das jetzige Brennpunktthema gewidmet.

# Brennpunkt:

## Die Altflächendatei des Landes Hessen Das neue FIS AG 2.0

ANDREA SCHÜTZ-LERMANN

Die Altflächendatei ist Teil des hessischen Bodeninformationssystems. Das Fachinformationssystem Alt-

flächen und Grundwasserschadensfälle (FIS AG) ist zentraler Bestandteil der Altflächendatei.

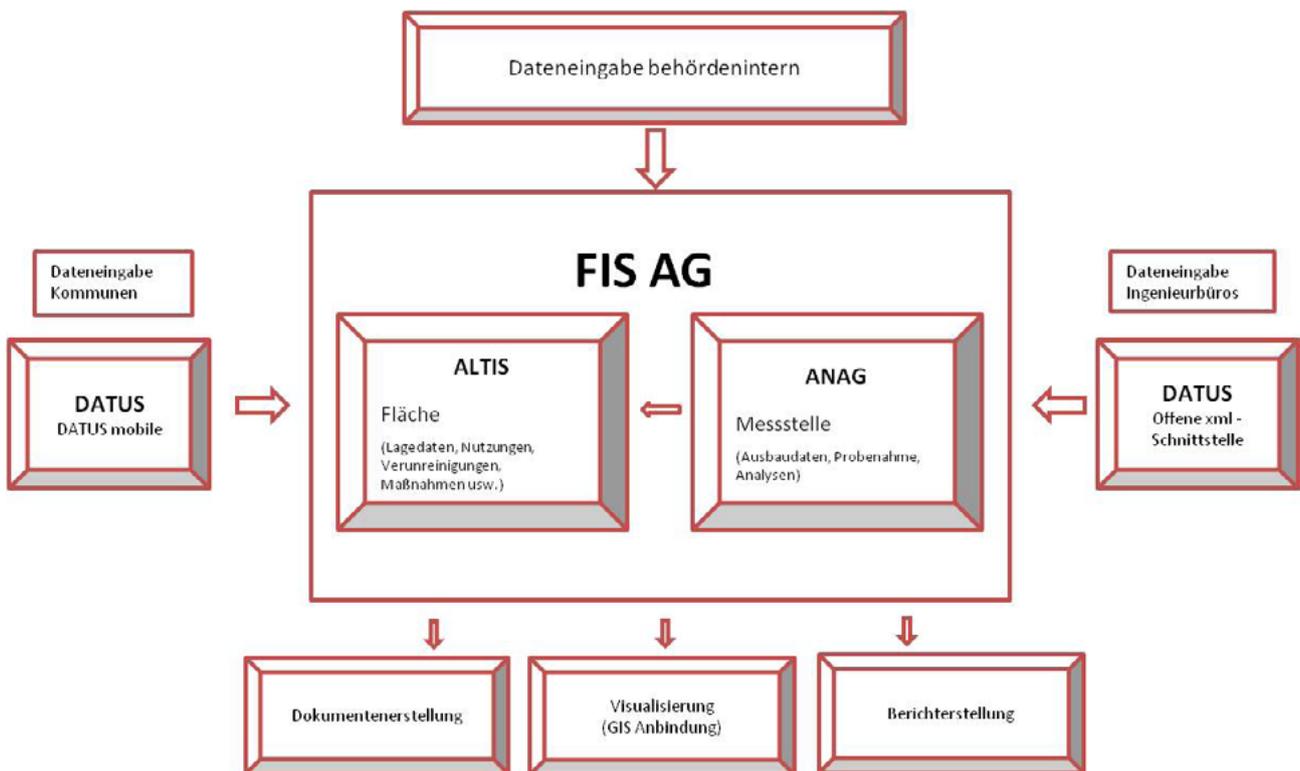


Abb. 1: Altflächendatei

## 1 Projekt UM-FIS

Im Jahr 2009 wurde unter der Gesamtleitung des IT – Referates des Umweltministeriums das Projekt UM-FIS (Umbau der Umweltfachinformationssysteme) gestartet. Ziel des Projektes war, die sechs mit der Datenbankanwendung HUMANIS betriebenen Fachinformationssysteme auf eine neue IT-Technologie weiter zu entwickeln. Bei den FISen handelt es sich um

- BAUS – Bergaufsichtsunterstützungssystem
- FISAG – Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle
- FISGW – Fachinformationssystem Grundwasserschutz/Wasserversorgung
- GENTIS – Gentechnisches Informationssystem
- WALIS – Wasserwirtschaftliches Informationssystem
- WBUCH – Elektronisches Wasserbuch

Das FIS AG wurde aufgrund seiner Komplexität zum Pilotprojekt benannt.

In der ersten Projektphase wurden Geschäftsprozessanalysen durchgeführt und die Anforderungen je FIS zu sogenannten Lastenheften zusammengetragen. Aus diesen Lastenheften wurden im Rahmen von Projektgruppensitzungen Umsetzungskonzepte entwickelt.

Zu Beginn des Jahres 2013 wurde dann mit der Entwicklung der FISe auf der Basis des Kernsystems FIS-BOX® („FIS out of the box“) begonnen.

Hervorzuheben sind bei der neuen IT-Architektur folgende Neuerungen:

Es handelt sich um eine Software, die auf der Plattform .net entwickelt wurde. Die Anwender benötigen zur Installation lediglich als Browser den Internet Explorer und das .net Framework 4.5. Der Einsatz sowohl bei den Regierungspräsidien als auch bei den nicht im Landesnetz befindlichen Landkreisen ist damit problemlos möglich. Die FISe laufen also nicht wie bisher unter WTS.

Die Anwendung und die Datenbank werden von der Hessischen Zentrale für Datenverarbeitung (HZD) betrieben. Die Benutzerverwaltung liegt in den Händen und der Verantwortung der einzelnen FISe, dort bei den Fachanwendungsbetreuern Level 2 (FAB2).

Das Datenmodell wurde nicht verändert, die Anwenderoberfläche dagegen wurde verbessert. Außerdem konnten die Laufzeiten der einzelnen Arbeitsschritte (Erfassung, Auswertung) verkürzt werden, so dass die Anwendung insgesamt den aktuellen technischen Anforderungen entspricht und gleichzeitig benutzerfreundlicher wurde.

Rechtzeitig zur Einführung der neuen FISe wurden zudem allen Anwenderinnen und Anwendern fünf E-Learning Module auf einer Plattform der HZD im Internet zur Verfügung gestellt. Die Grundlage für die Lernkapitel bildet das FIS AG. Gelehrt werden in diesen fünf Modulen insbesondere neue Handhabungen und Neuerungen bei der Anwenderoberfläche, um die Umstellung von HUMANIS auf FISBOX® zu erleichtern.

## 2 FIS AG 2.0

Am 18.04.2016 wurde den ca. 230 Anwenderinnen und Anwendern bei den Bodenschutzbehörden des Landes Hessen nach neunjähriger Laufzeit des Vorgängers FIS AG (HUMANIS) die neue Version FIS AG 2.0 erstmalig zur Verfügung gestellt.

Zurzeit befinden sich im FIS AG ca. 120.000 Datensätze. Hierbei handelt es sich um „Flächen nach BBodSchG oder GWSF“, so der Name des Leitobjektes im FIS AG („Flächen nach Bundesbodenschutzgesetz oder Grundwasserschadensfälle“). Jede Fläche ist durch eine vom System bei der Erfassung automatisch vergebenen ALTIS-Nummer identifizierbar. Eine ALTIS-Nummer ist 15-stellig

(einschließlich Trennungen 19-stellig) und setzt sich zusammen aus Kreis-, Gemeinde- und Ortsteilnummer und angehängter laufender Nummer. Sie ist eindeutig. Eine ausnahmsweise aus dem FIS AG einmal gelöschte ALTIS-Nummer wird nicht mehr neu vergeben.

Das Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle (FIS AG) besteht aus den Teilen ALTIS (Altflächeninformationssystem) und ANAG (Analysendatei Altlasten und Grundwasserschadensfälle).

Der Datenumfang eines vollständig ausgefüllten Datensatzes beträgt ca. 160 Datenfelder für den Teil

ALTIS und weitere ca. 100 Datenfelder für den Teil ANAG. Ungefähr 50% der Datenfelder sind mit Referenz- und Auswahllisten hinterlegt, die normierte Einträge enthalten. Dadurch sind die Datenbankeinträge weitgehend qualitätsgesichert und besser auszuwerten.

Im FIS AG - Teil ALTIS befinden sich die Stammdaten der Flächen (geografische Lagedaten, Adresse, Größe der Gesamtfläche, Verwaltungsdaten), zugehörige Flurstücke und Nutzungen, ggfls. Umgebungsdaten (Schutzgebiete, Gewässer usw.), Daten zu Gutachten, Untersuchungen und Maßnahmen und zu den Untergrundverhältnissen und nicht zuletzt je nach Flächenart die auf der Fläche stattgefundene Nutzung (Betriebe und Anlagen bei Altstandorten, Ablagerungen bei der Flächenart Altablagerung).

Die Betriebs- und Anlagendaten begründen bei den Altstandorten in der Regel die Erstaufnahme in die Altflächendatei durch die Kommunen. Den Gewerberegistern lassen sich Daten von potenziellen Altstandorten entnehmen (Betriebsdauer, Branchen- bzw. Wirtschaftszweig- Zugehörigkeit) und damit eine allererste Einschätzung darüber, ob von dieser Fläche eventuell Schäden für Mensch und Umwelt ausgehen. In ALTIS wird ein Altstandort nur dann

aufgenommen, wenn das Gewerbe in der Positivliste des Branchenkatalogs des HLNUG [1] enthalten ist. Allein die Eintragung eines Grundstücks als Altstandort begründet noch nicht einen Altlastenverdacht im Sinne des BBodSchG.

Im FIS AG gibt es zu jeder Fläche eine definierte Kurzaussage („Status der Gesamtfläche“), in welchem Bearbeitungsstadium sich die Fläche befindet. Diese einzelnen Stadien der Altflächenbearbeitung sind dem Stufenmodell in Abbildung 2 entnehmbar (weitere Informationen siehe [www.hlnug.de](http://www.hlnug.de) – Altlasten – Arbeitshilfen).

Der FIS AG - Teil ANAG (Analysendatei Altlasten und Grundwasserschadensfälle) dient zur Erfassung, Verwaltung und Auswertung von Messstellen und Analysendaten, die im Verlauf der Untersuchung von Altflächen bei der Einrichtung und Beprobung der Messstellen erhoben werden.

Dabei handelt es sich um Messstellen der Umweltmedien Grundwasser und Oberirdische Gewässer. Die erhobenen Daten lassen sich in drei Bereiche einteilen:

- Zu jeder Messstelle sind die Messstellenstammdaten erfasst (z.B. Lage und Ausbaudaten der Messstelle).
- Ein weiterer Teil der Daten betrifft die Probenahme (z. B. Probenahmedatum, Probennummer und Feldparameter).
- Der dritte Teil der Messstellendaten beinhaltet die Analysenergebnisse; sie werden zu den Laborprotokollaten zusammengefasst.

Da an einer Messstelle häufig in regelmäßigen Abständen die gleiche Probenahme zur Untersuchung der immer gleichen Parameter durchgeführt wird, gibt es im FIS AG die Möglichkeit, Probenahmen zu kopieren. Zur Qualitätssicherung ist der Anwender während dieses Kopiervorganges gezwungen, ausgewählte Daten wie beispielsweise Probenahmedatum und Messwerte der Parameter zu aktualisieren. Jede Messstelle ist einer Altfläche oder einem Schadens- oder Untersuchungsgebiet zugeordnet. Zu jeder Grundwasser-Messstelle können Filterstrecken, Probenahmen mit den Analysenergebnissen, Pumpversuche und Stichtagsmessungen zugeordnet werden.

Bei größeren Schadensgebieten, mehreren Gutachtern oder behördenübergreifenden Fällen können sich durch die Datenbank neue bzw. andere Gesichtspunkte ergeben, als dies bei einer Einzelbetrachtung eines Falles möglich ist.



Abb. 2: Stufenmodell der Altlastenbearbeitung

## 2.1 Auskünfte aus dem FIS AG

Besonders für die Auskunfterteilung an betroffene Bürgerinnen und Bürger, an potenzielle Käufer, beauftragte Notare, Banken, Investoren usw. besteht die Möglichkeit, für eine bestimmte Fläche ein Infoblatt ausdrucken zu lassen. Der Auskunftswillige wird damit über die Lage, den Status, zugehörige Betriebe und Anlagen, ggfs. Ablagerungen, erfasste Flurstücke und Bewertungen der zuständigen Behörde informiert. Beigefügt sind jeweils auch Erläuterungen der verwendeten Begriffe für die Art der Fläche (Altstandort, Altablagerung, sonstige schädliche Bodenveränderung oder Grundwasserschadensfall) und den Status der Gesamtfläche (z.B. Altlastenverdacht, Fläche nicht bewertet oder Sanierung abgeschlossen).

Über dieses Kurzinformationsblatt hinaus besteht in FIS AG noch die Möglichkeit, ein Dokument als Gesamtausdruck erstellen zu lassen. In diesem befinden sich alle in der Datenbank erfassten Informationen zu einer Fläche.

## 2.2 Berichte

Umfangreiche Auswertungen der FIS AG Datenbank werden über das Berichtsmodul erstellt.

Die Ergebnisse dieser Auswertungen werden z.B. zur Erfüllung von EU-Berichtspflichten oder zur aktiven Unterrichtung der Öffentlichkeit durch die vom HLNUG jährlich herausgegebene Broschüre ‚Zahlen und Fakten‘ verwendet.

Am häufigsten wird FIS AG im Rahmen von Bauleitplanungen ausgewertet.

FIS AG gibt die Berichtsergebnisse in der Regel als Exceltabelle aus. Wählbar sind aber auch andere Formate wie xml, txt oder Formatvorlagen, die als Kurzberichte oder Reporte genutzt werden.

HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE		HESSEN 
<b>ALTFLÄCHENDATEI – INFORMATIONSBLATT</b>		
* NICHT RECHTSVERBINDLICH *		
<b>ALTIS – Nummer</b>	<i>414.000.070-002.411</i>	
<b>Datenstand:</b>	<i>11.10.2016</i>	
<b>Stammdaten:</b>		
<b>Art der Fläche:</b>	<i>Altstandort</i>	
<b>Status der Gesamtfläche:</b>	<i>Anfangsverdacht</i>	
<b>Arbeitsname:</b>	<i>Musterfläche mit allem</i>	
<b>Kreis:</b>	<i>Landeshauptstadt Wiesbaden</i>	
<b>Gemeinde:</b>	<i>Wiesbaden</i>	
<b>Ortsteil:</b>	<i>BIEBRICH 10</i>	
<b>Straße, Hausnummer:</b>	<i>Musterstraße 1 a</i>	
<b>Rechtswert:</b>	<i>3445849</i>	
<b>Hochwert:</b>	<i>5544600</i>	
<b>Ost-Koordinate (UTM)</b>	<i>32445796</i>	
<b>Nord-Koordinate (UTM)</b>	<i>5542822</i>	

Abb. 3: Erste Seite eines Infoblattes

## 3 Die Altflächendatei

### 3.1 Historie

Bereits im Jahr 1981 wurde in Hessen ein digitales Altablagerungskataster aufgebaut.

1990 wurde mit der Erhebung von Altstandorten begonnen.

1994 wurde hierfür das Erfassungsprogramm AltPro entwickelt und den hessischen Kommunen zur Verfügung gestellt. Es entstand die Verdachtsflächendatei, die durch Erweiterungen besonders hinsichtlich der erfassten Daten zu ALTIS weiter entwickelt wurde.

1996 wurde das Altflächen-Fachinformationssystem ALTIS per Erlass bei den Umweltabteilungen der Regierungspräsidien eingeführt. Ein großer Teil der heute in FIS AG vorhandenen Altstandorte stammt aus dieser Zeit der Ersterfassung.

Nach ca. 6 jähriger Entwicklungszeit wurde ALTIS im Jahr 2007 durch das FIS AG, das Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle, abgelöst. Dabei wurden das Datenmodell weitgehend und die vorhandenen Daten vollständig übernommen.

2012 wurde das Erfassungsprogramm AltPro durch die neue Anwendung DATUS mobile ersetzt.

Im April 2016 wurde den Anwendern FIS AG 2.0 zur Verfügung gestellt.

### 3.2 Aufgaben und Ziele

Die Altflächendatei wird beim Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) geführt. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit den für den Vollzug zuständigen Bodenschutzbehörden bei den Regierungspräsidien, Landkreisen und kreisfreien Städten. Über die Komponente DATUS sind auch Kommunen und Ingenieurbüros mit eingebunden.

In der Altflächendatei werden Daten über Altablagerungen, Altstandorte, altlastverdächtige Flächen, Altlasten, Verdachtsflächen und schädliche Bodenveränderungen erfasst, die erforderlich sind

- für die Ermittlung und Bewertung der von diesen Flächen ausgehenden Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit,
- für die Entscheidung über das Vorliegen einer Altlast,

- für die Durchführung oder Anordnung von Maßnahmen zur Überwachung und Gefahrenabwehr,
- für die Ermittlung und Bewertung des Umfangs der Sanierungsmaßnahmen.

Die Gemeinden und die öffentlich-rechtlichen Entsorgungspflichtigen sind gemäß § 8 HAltBodSchG verpflichtet, ihre Erkenntnisse über Altflächen und schadstoffbedingte Verdachtsflächen dem HLNUG mitzuteilen. Die Übermittlung der Daten erfolgt gemäß Altflächendatei-Verordnung in elektronischer Form (§ 2 Abs. 1 AFD-VO). Während des altlasten- und bodenschutzrechtlichen Verfahrens übernimmt die zuständige Bodenschutzbehörde die Fortschreibung der Daten. Die Untersuchungspflichtigen und Sanierungsverantwortlichen sind verpflichtet, ihre Daten aus der Untersuchung und Sanierung in elektronischer Form an die verfahrensführende Behörde zu übergeben (§ 2 Abs. 3 AFD-VO).

Die hessische Altflächendatei besteht aus den Anwendungen

1. FIS AG (Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle) mit den Bestandteilen
  - a. ALTIS (Altflächen-Informationssystem Hessen)
  - b. ANAG (Analysendatei Altlasten und Grundwasserschadensfälle)
2. DATUS (Datenübertragungssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle)
3. Flexviewer (GIS Viewer – geografisches Informationssystem zur Visualisierung der Lage von Standorten und Messstellen aus FIS AG)

Das FIS AG wurde oben ausführlich beschrieben. Der Vollständigkeit halber befinden sich im Folgenden noch einige Informationen zu den anderen Bestandteilen der hessischen Altflächendatei.

### 3.3 Das Datenübertragungssystem DATUS

Das Datenübertragungssystem DATUS wird zur Erfassung von Altflächen, zur Verwaltungsunterstützung bei den Gemeinden in Hessen und zur Erfassung von Untersuchungsergebnissen bei Externen (Ingenieurbüros) eingesetzt.

Der Datenaustausch zwischen dem FIS AG und den Pflichtigen (Kommunen, Untersuchungspflichtige,

Sanierungsverantwortliche) oder deren Beauftragten (Ingenieurbüros, Sachverständige, Untersuchungsstellen) erfolgt auf elektronischem Weg.

Die technischen Anforderungen für den Datenaustausch legt das HLNUG fest. Sie werden auf der Seite [www.hlnug.de](http://www.hlnug.de) veröffentlicht. Darauf wird nach § 4 AFD VO im Staatsanzeiger hingewiesen (StAnz 31/2010 S.1868; 20. Juli 2010).

DATUS ist der Sammelbegriff für die Gruppe folgender Module:

- xml-Schemadateien
- DATUS mobile
- Codierung
- Validierung
- Im- und Export – Modul von FIS AG

Für die Datenübertragung werden zwei Alternativen angeboten:

- die offene xml-Schnittstelle
- die Anwendung DATUS mobile

Durch DATUS besteht die Möglichkeit, über die reine Erfassung von Altflächen bei den Kommunen hinaus Daten, die im Laufe von Untersuchungen entstehen (Messstellenstammdaten, Probennahmeprotokolle und Messwerte) in das FIS AG zu übertragen.

Von der Internetseite des HLNUG kann DATUS mit allen erforderlichen Dateien und Anwendungen sowie aktuellen Informationen kostenlos heruntergeladen werden ([www.hlnug.de](http://www.hlnug.de) – Atlanten – Datus).

Ablauf der Datenübertragung mit DATUS:

- Der Gesamtumfang der Datenfelder von FIS AG und damit auch von DATUS mobile ist im Internet unter [www.hlnug.de](http://www.hlnug.de) – Atlanten – Altflächendatei ‚Datenumfang FIS AG‘ einzusehen.
- Vor der Erfassung der Daten müssen in jedem Fall beim HLNUG die bereits in FIS AG vorhandenen Daten zu der jeweils zu untersuchenden Fläche angefordert werden.
- Welche Daten konkret erfasst und übermittelt werden sollen, ist mit der zuständigen Behörde zu besprechen.
- Das Ergebnis der Datenerfassung wird als verschlüsselte xml – Datei an das HLNUG gesendet ([datus-fis-ag@hlnug.hessen.de](mailto:datus-fis-ag@hlnug.hessen.de)).

Um zu vermeiden, dass sich die Datenbestände von FIS AG einerseits und DATUS mobile andererseits unabhängig voneinander weiter entwickeln, ist ein regelmäßiger Datenaustausch erforderlich. Maßgeblich bleibt der Datenbestand in FIS AG.

Weitere Informationen zu DATUS befinden sich auf [www.hlnug.de](http://www.hlnug.de) – Atlanten – Datus.

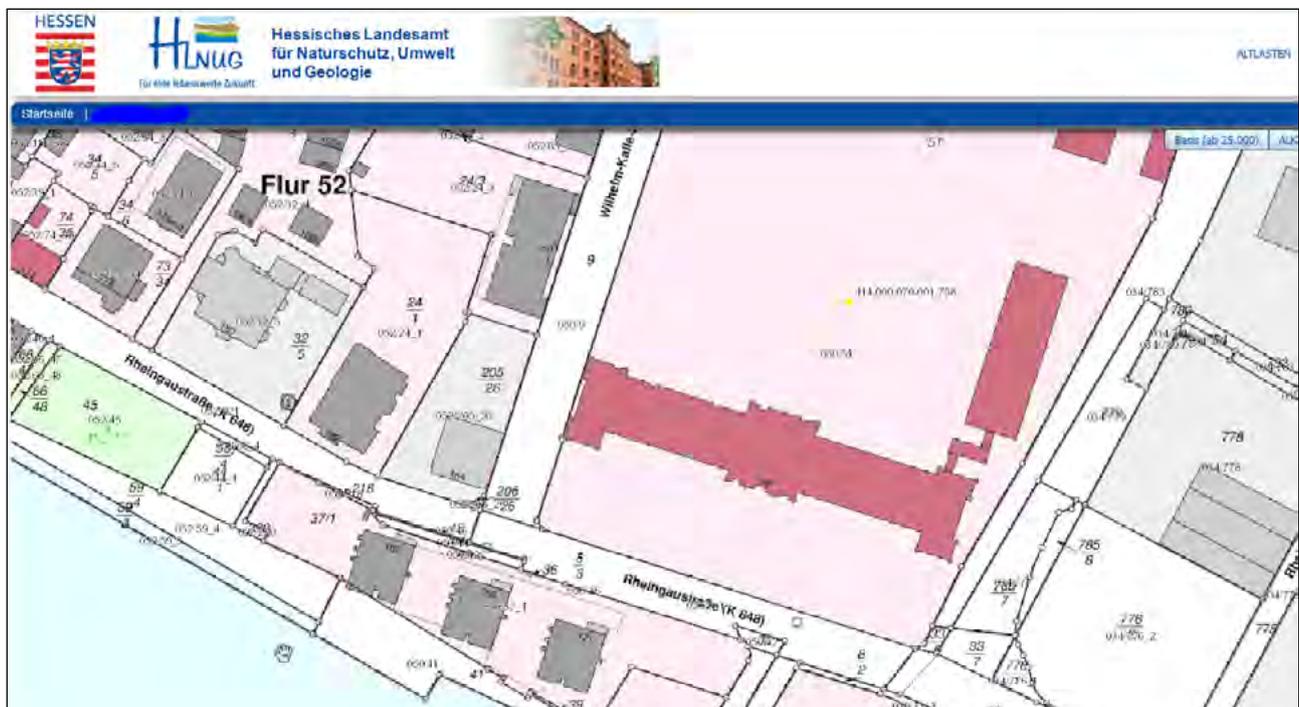


Abb. 4: Beispiel eines Kartenausschnitts

### 3.4 Flexviewer

Der Flexviewer ist der begleitende Kartendienst zu FIS AG. Der Flexviewer ist wie FIS AG ein nur behördeninternes Instrument und dient der reinen Visualisierung der Lage- und Umgebungsdaten der Altflächen und Messstellen.

Durch die GIS-Aufrufschnittstelle innerhalb von FIS AG können sich die Anwenderinnen und Anwender z.B. einen Überblick darüber verschaffen, welche weiteren ANAG-Messstellen und Altflächen in der Umgebung der zu untersuchenden Fläche liegen.

## 4 Gesetzliche Grundlagen

**Hessisches Altlasten- und Bodenschutzgesetz (HAltBodSchG)** vom 28. September 2007 (GVBl. I S. 652)

Im § 7 des Hessisches Altlasten- und Bodenschutzgesetzes (HAltBodSchG) heißt es:

„Beim Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie wird zur Erfüllung der Aufgaben nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz, diesem Gesetz und den aufgrund dieser Gesetze erlassenen Rechtsverordnungen ein Bodeninformationssystem geführt.

Das Bodeninformationssystem umfasst oder verweist auf bodenschutzrelevante Daten, die bei den Behörden des Landes, den Gemeinden, den Landkreisen und den sonstigen der Aufsicht des Landes unterstehenden Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts sowie Beliehenen vorhanden oder verfügbar sind.“

Im Absatz 2 dieses Paragraphen werden mit Stichworten die möglichen Inhalte des Bodeninformationssystem aufgelistet.

§ 8 des HAltBodSchG geht im Besonderen auf die Altflächendatei als Teil des Bodeninformationssystem ein.

- Hier ist im Abs. 1 festgelegt, dass Informationen (Daten, Tatsachen, Erkenntnisse) zu schädlichen Bodenveränderungen, Verdachtsflächen, Altlasten und altlastenverdächtigen Flächen (sowohl für Altablagerungen als auch für Altstandorte) in der Altflächendatei geführt werden sollen.
- Abs. 2 des § 8 beinhaltet, dass laufend fortgeschrieben werden soll und dass die enthaltenen Daten zeitlich unbeschränkt aufzubewahren sind.

**Verordnung über die Führung und Nutzung einer Altflächendatei als Teil des Bodeninformationssystem (Altflächendatei-Verordnung)** vom 7. Oktober 2011 (GVBl. I S. 666)

- In den Anhängen der Altflächendatei-Verordnung sind die konkreten (Mindest)Inhalte eines Datensatzes von FIS AG genannt. Diese Begriffe finden sich in FIS AG als sogenannte Objekttypen wieder.
- Mit der Verordnung zur Änderung der Altflächendatei-Verordnung vom 21.9.2016 (GVBl. I S. 184) wurde die Gültigkeit bis zum Ende des Jahres 2024 verlängert.

## 5 Literatur

- [1] HLOG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2008): Handbuchreihe Altlasten, Band 2 – Erfassung von Altflächen, Teil 4 Branchenkatalog zur Erfassung von Altstandorten (<http://www.hlnug.de/?id=6429>; Stand: 11.10.2016)



# Aktuell:

## Nachhaltigkeit bei der Altlastensanierung Bewertungskonzept

DIETER BINDER, VOLKER ZEISBERGER & THOMAS ZIEGELMAYER

### 1 Einleitung und Problemstellung

Das folgende Bewertungskonzept soll orientierend beschreiben, wie verschiedene Sanierungsverfahren hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit verglichen und priorisiert werden können, indem deren positive Effekte und negative Begleiterscheinungen betrachtet und abgewogen werden.

In der Bodenschutzgesetzgebung wird der Begriff „nachhaltig“ im Sinne eines „dauerhaften“ Schutzes der Bodenfunktionen verwendet: Zweck des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) ist es, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Hierzu sind nach § 1 BBodSchG u.a. Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren. Eine ähnliche Formulierung enthält § 1 des Hessischen Altlasten- und Bodenschutzgesetzes (HAltBodSchG). Eine Boden-/Grundwassersanierung ist damit per se nachhaltig, solange sie dauerhaft die Bodenfunktionen wiederherstellt.

Im vorliegenden Bewertungskonzept wird „nachhaltig“ in einem erweiterten Sinne verwendet. Für die in Frage kommenden Sanierungsverfahren erfolgt ei-

ne umfassende Betrachtung aller Auswirkungen auf die Umwelt, auf Betroffene und auf spätere Generationen. Daraus wird der Begriff „Nachhaltige Altlastensanierung“ abgeleitet und in Abschnitt 2 definiert.

Schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten sowie hierdurch verursachte Verunreinigungen von Gewässern sind so zu sanieren, dass dauerhaft keine Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen. Für die standort- und schadstoffspezifische Sanierung können mehrere unterschiedliche Dekontaminations- oder Sicherungsmaßnahmen in Betracht kommen. Dabei stellt sich in der Praxis oftmals die Frage, welche der möglichen Maßnahmen zu bevorzugen ist. Hierzu wird i.d.R. eine Variantenbetrachtung durchgeführt und eine Vorzugsvariante ermittelt.

Im Folgenden wird ein Bewertungskonzept<sup>1</sup> vorgestellt, das den an einer Altlastensanierung Beteiligten (Sanierungspflichtige, Bodenschutzbehörden, Planungsbüros, betroffene Öffentlichkeit) Hilfestellung bieten soll, vor Projektbeginn die in Frage kommen-

<sup>1</sup> in Anlehnung an: Dörr, Helmut; Koschitzky, Hans-Peter: Nachhaltigkeit bei der Sanierung. Bewertungskriterien und Fallbeispiele (Tagungsband ITVA-Altlastensymposium Karlsruhe 2013)

den Maßnahmen hinsichtlich deren Nachhaltigkeit einzustufen. Weiterhin ist das Konzept auch für die Prüfung von Maßnahmen im Rahmen der Optimierung laufender Sanierungsprojekte einsetzbar, z.B. bei lang andauernden hydraulischen Grundwasser-sanierungen. Unabhängig von der Auswahl der Sanierungsvariante sollten auch bei der eigentlichen Sanierungsausführung Aspekte der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden, z.B. der Einsatz energiesparender und wirtschaftlicher Aggregate oder die Minimierung von Lärm- und Staubemissionen.

Grundsätzlich besteht weder eine rechtliche noch eine fachliche Verpflichtung, die „Nachhaltigkeit bei der Altlastensanierung“ mittels des vorgestellten Bewertungskonzeptes zu prüfen; insofern ist die Prü-

fung der Nachhaltigkeit optional. Auch kann allein mit Nachhaltigkeitskriterien weder ein Sanierungserfordernis verneint noch eine laufende Sanierung beendet werden. Da das Bewertungskonzept jedoch wertvolle Hinweise für die Prüfung und Entscheidung über das Sanierungsverfahren liefert, ist es oftmals sinnvoll, dass sich Pflichtige und Behörde auf dessen Einbeziehung in die Variantenbetrachtung verständigen.

Die Prüfung der Nachhaltigkeit ist von der Prüfung der Verhältnismäßigkeit zu unterscheiden. Letztere besitzt Verfassungsrang, sodass die Verhältnismäßigkeit von Sanierungsmaßnahmen in jedem Fall zu prüfen ist.

## 2 Definition von Nachhaltigkeit bei der Altlastensanierung

Der Begriff der Nachhaltigkeit hat in den letzten Jahren eine starke Präsenz in der umweltpolitischen Diskussion erlangt, mit der Gefahr, zu einer bloßen Formel zu degenerieren, die je nach Interessenlage mit den verschiedensten Bedeutungen belegt werden kann. Im Rahmen eines technischen Vorhabens wie der Altlastensanierung ist es deshalb angezeigt, sich der Bedeutung von Nachhaltigkeit in diesem Kontext zu vergewissern.

Der Begriff „Nachhaltigkeit“ wird zwar im engeren Sinne auf langfristigen Umwelt- und Ressourcenschutz bezogen; im weiteren Sinne werden jedoch auch soziale und ökonomische Aspekte berücksichtigt. Die vorliegende Ausarbeitung lehnt sich an das sogenannte „3-Säulen-Modell“ an<sup>2</sup>. Demnach werden die drei Bereiche Umwelt/Ökologie, Wirtschaftlichkeit/Ökonomie und Soziales/Gesellschaft gleichermaßen betrachtet, wobei die Ziele einer intakten Umwelt, der wirtschaftlichen Entwicklung und der sozialen Gerechtigkeit oftmals in Konkurrenz zueinander stehen.

Speziell bei der Altlastensanierung kann folgendes Nachhaltigkeitsverständnis zu Grunde gelegt werden<sup>3</sup>:

- **Nachhaltige Altlastensanierung** bedeutet, dass bei Dekontaminations- oder Sicherungsmaßnahmen an Altstandorten oder Altablagerungen die Auswirkungen auf Umwelt und Ökologie sowie ökonomische und soziale Aspekte berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere bei der Sanierungsplanung und bei der Überprüfung und Optimierung laufender Sanierungen. Nachhaltige Altlastensanierung hat zum Ziel, die negativen Auswirkungen auf die Umwelt/Ökologie, auf Betroffene und auf spätere Generationen kosteneffizient zu minimieren.

Dabei betreffen Umweltaspekte insbesondere die Themen Luft, Boden, Gewässer; ökonomische Aspekte beinhalten u.a. direkte und indirekte Kosten; soziale Aspekte betrachten beispielsweise Gesundheitsschutz/Arbeitssicherheit und Auswirkungen auf Bewohner/Nachbarschaft.

<sup>2</sup> Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“, Abschlußbericht, Deutscher Bundestag: Drucksache 13/11200 vom 26. Juni 1998, S. 218

<sup>3</sup> in Anlehnung an: Dörr, Helmut; Koschitzky, Hans-Peter: Nachhaltigkeit bei der Sanierung. Bewertungskriterien und Fallbeispiele (Tagungsband ITVA-Altlastensymposium Karlsruhe 2013)

### 3 Bewertung von Sanierungsverfahren im Hinblick auf „Nachhaltigkeit“

Die Betrachtung der Nachhaltigkeit von Sanierungsverfahren erfolgt insbesondere im Rahmen der Sanierungsplanung. I.d.R. beauftragt der Sanierungspflichtige einen Gutachter zur Erstellung eines Sanierungsplans/Sanierungskonzeptes, zu der eine Variantenbetrachtung gehört. In dieser Betrachtung werden verschiedene Sanierungsverfahren hinsichtlich ihrer Geeignetheit sowie weiterer Kriterien (Kosten, Zuverlässigkeit, Auswirkungen auf Dritte usw.) geprüft und verglichen. In diesem Zusammenhang bietet es sich an, auch unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien die zu bevorzugende Sanierungsmaßnahme zu ermitteln. Nachhaltigkeitsaspekte können bei der Wahl zwischen mehreren geeigneten Sanierungsverfahren den Ausschlag geben. Die Nachhaltigkeitskriterien sind in der Anlage aufgeführt.

Über die Auswahl der Kriterien, die zur Ermittlung der Vorzugsvariante (im Idealfall der nachhaltigsten Maßnahme) herangezogen werden, sollte zwischen Pflichtigem, Behörde, Gutachter und Dritten idealerweise Konsens bestehen.

Ein weiterer Anwendungsfall für Nachhaltigkeitsbetrachtungen sind lang andauernde Grundwasser-sanierungen, bei denen das Erreichen des Sanierungsziels in absehbarer Zeit nicht zu erwarten ist. Bei der Prüfung von Optimierungsmöglichkeiten, einem Wechsel des Sanierungsverfahrens oder der Anpassung des Sanierungsziels sollten ebenfalls Aspekte der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden.

Im Folgenden wird eine halbquantitative, vergleichende Methode vorgestellt, die fallspezifisch eine Bewertung unterschiedlicher Sanierungsverfahren hinsichtlich deren Nachhaltigkeit ermöglicht. Die Methode ist an die Vorgehensweise des Arbeitskreises „Innovative Erkundungs-, Sanierungs- und Über-

wachungsmethoden“ des Altlastenforums Baden-Württemberg e.V. (Stand 2013) angelehnt<sup>4</sup>.

Das Bewertungsverfahren umfasst 26 Nachhaltigkeitskriterien, die den Bereichen Umwelt/Ökologie, Wirtschaftlichkeit/Ökonomie und Soziales/Gesellschaft zugeordnet sind (siehe Anlage). Damit die drei Bereiche in etwa gleichrangig bewertet werden, ist die Anzahl der Kriterien jeweils annähernd gleich, wobei jedes Kriterium gleich gewichtet ist.

In begründeten Einzelfällen kann hiervon abgewichen werden: So kann die Anzahl der Kriterien erhöht werden, falls weitere relevante Gesichtspunkte in Betracht zu ziehen sind, oder vermindert werden, falls wenig relevante Kriterien wegfallen sollen. Auch können einzelne Kriterien stärker gewichtet werden als andere. Auf diese Sonderfälle wird jedoch hier nicht weiter eingegangen.

Zunächst wird aus den betrachteten Sanierungsvarianten ein sogenanntes **Basis-Sanierungsszenario** bestimmt. Es sollte diejenige Variante gewählt werden, die bei entsprechender Fallkonstellation in der Regel typischerweise zum Einsatz kommt. Stehen im konkreten Fall mehrere „typische“ Sanierungsvarianten zur Auswahl, ist es nicht entscheidend, welche davon ausgewählt wird; in allen Fällen wird sich die Reihenfolge ergeben, in der die Sanierungsvarianten hinsichtlich der Nachhaltigkeit geordnet werden können.

Anschließend werden nacheinander alle weiteren Sanierungsvarianten (**Vergleichsvarianten**) mit dem Basis-Sanierungsszenario verglichen. Bei jedem Vergleich werden alle 26 Nachhaltigkeitskriterien bewertet. Dabei ergeben sich für jedes Kriterium jeweils drei Möglichkeiten:

---

<sup>4</sup> siehe auch: Dörr, Helmut; Koschitzky, Hans-Peter: Nachhaltigkeit bei der Sanierung. Bewertungskriterien und Fallbeispiele (Tagungsband ITVA-Altlastensymposium Karlsruhe 2013); weiterhin wurde das Bewertungskonzept des Altlastenforums Baden-Württemberg e.V. von Dr. Helmut Dörr beim HLUG-Fachgespräch „Altlastensanierungen unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit“ am 22.5.2013 vorgestellt.

1. Die Vergleichsvariante ist beim betreffenden Kriterium als besser bzw. nachhaltiger einzustufen als das Basis-Sanierungsszenario (Bewertung mit „+1“ Punkt),
2. die Vergleichsvariante ist als weniger gut bzw. weniger nachhaltig einzustufen als das Basis-Sanierungsszenario (Bewertung mit „-1“ Punkt) oder
3. die Vergleichsvariante ist etwa so gut bzw. so nachhaltig wie das Basis-Sanierungsszenario (Bewertung mit „0“ Punkten).

Die Anzahl der vergebenen Punkte (+1, -1 oder 0) wird für jede Variante addiert. Wie das hieraus resultierende Bewertungsergebnis einzuordnen ist, zeigt Tabelle 1: es gibt drei Abstufungen, jeweils relativ zum Basis-Sanierungsszenario (deutlich nachhaltiger bzw. deutlich weniger nachhaltig; nachhaltiger bzw. weniger nachhaltig; gleich nachhaltig).

Erst wenn der Unterschied zwischen Vergleichsvariante und Basis-Sanierungsszenario  $\pm 3$  oder  $\pm 4$  beträgt, ist also von einem relevanten Unterschied hinsichtlich der Nachhaltigkeit der beiden Szenarien auszugehen, bei  $\pm 5$  oder darüber hinaus von einem deutlichen Unterschied.

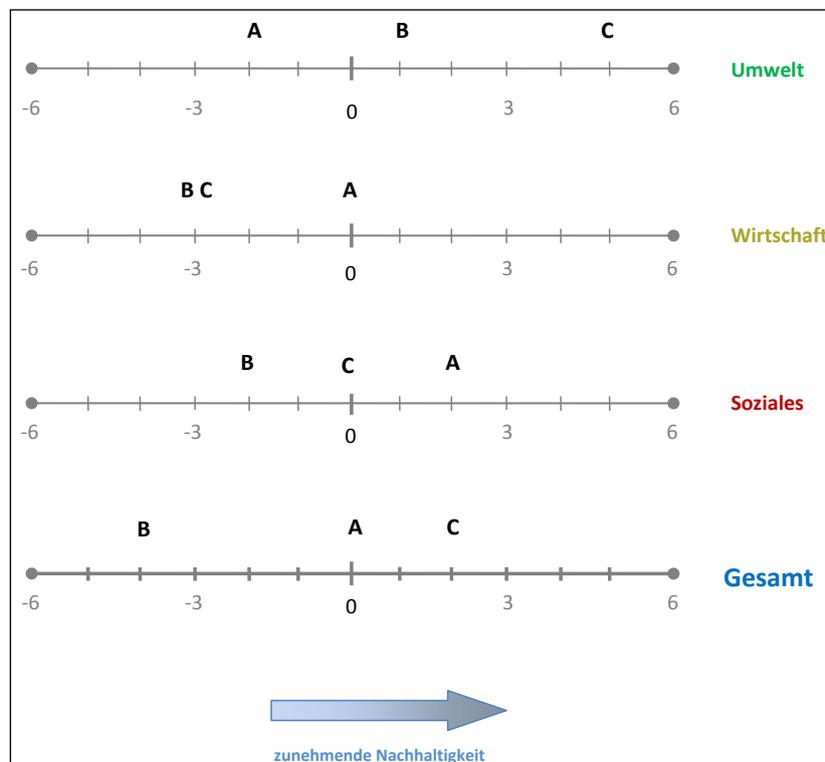
**Tab. 1:** Einstufung der rechnerischen Bewertungsergebnisse.

Rechnerisches Bewertungsergebnis	Einstufung in Ergebnisklassen
$\leq -5$	deutlich weniger nachhaltig
-4, -3	weniger nachhaltig
-2, -1, 0, +1, +2	etwa gleich nachhaltig
+3, +4	nachhaltiger
$\geq +5$	deutlich nachhaltiger

Im letzten Schritt werden alle betrachteten Varianten nebeneinander gestellt, um eine Priorisierung zu erreichen.

Zur Verdeutlichung kann das Ergebnis der Nachhaltigkeitsprüfung auch grafisch dargestellt werden, z.B. wie in Abbildung 1 dargestellt.

Das hier vorgestellte Bewertungskonzept wurde an mehreren Sanierungsprojekten erfolgreich angewendet. Nach Vorliegen weiterer Praxiserfahrungen ist vorgesehen, das Konzept ggf. weiter zu entwickeln.



**Abb. 1:** Grafische Darstellung der Bewertungsergebnisse. Das Basis-Sanierungsszenario liegt jeweils bei „0“. A, B und C sind weitere Sanierungsvarianten (Vergleichsvarianten).

## Anlage

### Liste der Bewertungskriterien einer nachhaltigen Altlastensanierung<sup>5</sup>

Kriterien „Umwelt/Ökologie“ (U)			
Kategorie		Kriterien	Erläuterung
Luft	U1	Luftschadstoffe aus Verkehr	zu bewerten sind die insgesamt gefahrenen Kilometer (Wegstrecke multipliziert mit der Anzahl der Fahrten) von und zu der Baustelle, da diese etwa proportional zu den freigesetzten Luftschadstoffen sind
	U2	Luftschadstoffe aus Sanierungstätigkeit	zu bewerten sind die Emissionen direkt durch die Sanierungstätigkeit (Ausgasen von Schadstoffen, Bau und Betrieb)
Boden	U3	Bodenfunktionen	zu bewerten ist die Veränderung der Bodenfunktionen (Lebensraum für Pflanzen, Wasserhaushalt, Boden als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbau-medium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften), z.B. Versiegelung, Verdichtung, Erosion
Gewässer	U4	Gewässerqualität	zu bewerten sind Auswirkungen auf die Grundwasserqualität (z.B. Schadstoffverminderung, Veränderung des Grundwassermilieus) durch die geplante Sanierungsmaßnahme; evtl. auch Auswirkungen auf ein Oberflächengewässer
	U5	Trinkwassergewinnung	zu bewerten ist der Einfluss der Sanierungsvariante auf eine Trinkwassergewinnung
Ökologie	U6	Flora, Fauna; Biozönosen	zu bewerten ist der Einfluss der Sanierungsvariante auf Pflanzen und Tiere am Standort sowie der direkten Umgebung
Natürliche Ressourcen und Abfall	U7	Energie- und Materialverbrauch	zu bewerten ist der Verbrauch an Energie und Material für die Sanierung (z.B. Stahl, Beton, Strom, Treibstoff)
	U8	Flächenverbrauch/-gewinn	zu bewerten ist die Ausdehnung der Fläche, die im Zuge der Sanierung verbraucht bzw. in ihrer Nutzung eingeschränkt (z.B. durch dauerhaft bestehende Sanierungsanlagen) oder auch für eine spätere Nutzung gewonnen wird (Flächenrecycling)
	U9	Wasserverbrauch	zu bewerten ist der Wasserverbrauch während der Sanierung (Trink-, Brauchwasser; nicht wiederversickertes Grundwasser)
	U10	Abfall	zu bewerten ist das Abfallaufkommen (z.B. verbrauchte Filtermaterialien, zu beseitigender Aushub)

<sup>5</sup> in Anlehnung an Dörr, Helmut (unveröffentlicht, 2014)

<b>Kriterien „Wirtschaftlichkeit/Ökonomie“ (W)</b>			
<b>Kategorie</b>	<b>Kriterien</b>		<b>Erläuterung</b>
direkte Kosten	W1	Sanierungskosten	zu bewerten sind Investitions- und Betriebskosten der Sanierungsvariante. Bei lang andauernden Sanierungsverfahren können die Kosten z.B. mittels der „Barwertmethode“ <sup>6</sup> ermittelt werden.
	W2	Haftungsrisiken	zu bewerten sind Haftungsrisiken bzgl. des Sanierungsgrundstücks (z.B. Schadstoff-Restbelastungen beim Verkauf des Grundstücks); ggfs. nur unter Mitwirkung des Sanierungspflichtigen bewertbar.
indirekte Kosten/ Nutzen	W3	Abschreibungen und Rückstellungen	zu bewerten sind Abschreibungen und Rückstellungen des Sanierungspflichtigen für den Bau, Betrieb und die Überwachung der Sanierungsvariante; ggfs. nur unter Mitwirkung des Sanierungspflichtigen bewertbar.
	W4	Kostenrisiken	zu bewerten sind Kostenrisiken für den Bau, Betrieb und die Überwachung der Sanierungsvariante, einschl. Gerichts- und Gutachterkosten.
	W5	Wirtschaftliche Auswirkungen auf die Region	zu bewerten sind Auswirkungen durch Sanierungstätigkeit und Folgenutzung.
induzierte Kosten/ Nutzen	W6	Investitionsmöglichkeit	zu bewerten ist die Wertigkeit der Nachnutzung des Geländes nach erfolgter Sanierung unter Berücksichtigung der Lage und der Bauleitplanung.
	W7	Einfluss auf andere Projekte	zu bewerten sind mögliche Synergieeffekte (z.B. Kosteneinsparung durch gemeinsame Nutzung der Infrastruktur oder Sanierungsanlagen).
	W8	Wertsteigerung	zu bewerten ist die Erhöhung des Grundstückswerts aufgrund der Durchführung der Sanierungsvariante.

<sup>6</sup> Bei der Barwertmethode werden zukünftig anfallende Sanierungskosten durch Abzinsung und anschließendes Summieren in der Gegenwart bewertet. Es wird also der Zeitwert der Kosten betrachtet.

<b>Kriterien „Soziales/Gesellschaft“ (S)</b>			
<b>Kategorie</b>	<b>Kriterien</b>		<b>Erläuterung</b>
Gesundheitsschutz und Arbeitssicherheit	S1	Gesundheitsrisiken	zu bewerten sind Unfall- und Gesundheitsrisiken bei Bau, Betrieb und Überwachung der Sanierungsvariante
Folgewirkungen	S2	Einfluss auf nachfolgende Generationen	zu bewerten ist, ob durch Dekontaminations- oder Sicherungsmaßnahmen spätere Generationen beeinträchtigt werden (z.B. langfristige Sicherungsmaßnahmen)
Bewohner/ Nachbarschaft	S3	Einfluss auf Anwohner	zu bewerten sind Auswirkungen von Lärm, Staub, Geruch, Erschütterungen
	S4	Einfluss auf das Gemeindeleben	zu bewerten sind Auswirkungen auf Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, Freizeit
	S5	Flächenwertigkeit	zu bewerten ist der ideelle Wert der Fläche für die Einwohner hinsichtlich zukünftiger städtebaulicher und allgemeiner Entwicklungsmöglichkeiten
	S6	Einfluss durch Verkehrsaufkommen	zu bewerten ist das Verkehrsaufkommen, das direkt durch die Sanierungsmaßnahme entsteht (Bau, Betrieb, Überwachung) bzw. die hierdurch bewirkte Verkehrsbehinderung
Flexibilität	S7	Anfälligkeit für technische Risiken	zu bewerten sind die technischen Risiken der gesamten Sanierungsmaßnahme (Bau, Betrieb, Überwachung), z.B. fehlende Erfahrung bei Einsatz innovativer Verfahren
	S8	Nachbesserungsmöglichkeiten	zu bewerten ist der Handlungsspielraum, z.B. bei sich ändernden Randbedingungen, bei Änderungsbedarf an einem Sicherungsbauwerk oder bei Betrieb und Überwachung einer Sanierungsanlage



## Prüfung der Anwendbarkeit einer Analyse- methode zur Bestimmung der leichter flüchtigen MKW-Fractionen in Bodenproben

JAN BRODSKY

Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) sind eine große Stoffgruppe mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften der aliphatischen und aromatischen Einzelstoffe. Nach DIN EN ISO 16703 [1] werden aliphatische MKW mit einer Kettenlänge von  $C_{10}$ – $C_{40}$  erfasst. Für diese Stoffsumme gibt es aufgrund der Heterogenität der Verbindungen keinen Prüfwert im Sinne der BBodSchV.

Für eine fundierte toxikologische Bewertung der MKW ist die Aufspaltung in Fraktionen bzw. Einzelstoffe notwendig. Im Ergebnis des UBA-Forschungsvorhabens [2] erfolgte eine Unterteilung der toxikologisch relevanten MKW in 7 Fraktionen (4 aliphatische und 3 aromatische) im Bereich von  $C_6$  bis  $C_{16}$ . Für eine weitergehende Bewertung der MKW ist die getrennte analytische Erfassung der Fraktionen notwendig.

Für eine Fraktionierung und Analyse gibt es verschiedene Methoden. Im Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) [3] wurden die verschiedenen Methoden der Bestimmung mittels GC-MS bzw. GC-FID getestet. Jeder Methode wurden verschiedene Vor- und Nachteile zugeordnet.

Die durchgeführte Prüfwertableitung für jede der 7 Fraktionen hat ergeben, dass nur der inhalative Pfad für die leichtflüchtigen Verbindungen im Altlastenbereich entscheidungsrelevant ist. Die Berechnung der Prüfwerte für den oralen Pfad und die inhalative Bodenaufnahme (Staub) ergab – im Vergleich zu der inhalativen Aufnahme – wesentlich höhere, häufig unpraktikabel hohe Prüfwerte. Deshalb sollte die Analytik nur die leichtflüchtigen MKW-Fractionen bis  $C_{12}$  umfassen. Die Fraktionen ab  $C_{12}$  werden nicht weiter betrachtet.

Im Ergebnis der Machbarkeitsstudie [3], der internationalen Normungsbestrebungen und der Diskussion

im ALA-Gesprächskreis Schadstoffbewertung wurde für die leichtflüchtigen MKW-Verbindungen die Headspace (HS)-GC-MS- Methode favorisiert. Diese Methode, die auf der DIN ISO 22155 [4] basiert und mittlerweile als DIN EN ISO 16558-1 [5] Eingang in die internationale Normung gefunden hat, ist bei Aliphaten für  $C_5$  bis  $C_{10}$  und bei Aromaten für  $C_6$  bis  $C_{10}$  anwendbar. Die Methode erscheint robust und geeignet, um auf den Anwendungsbereich bis zu einer Kettenlänge von  $C_{12}$  erweitert zu werden.

Der ALA-Gesprächskreis Schadstoffbewertung hat ein Forschungsvorhaben initiiert, in dem die Anwendbarkeit dieser Analyse-methode im Bereich bis  $C_{12}$  zunächst in einem Labor im Rahmen einer Robustheitsstudie praktisch getestet werden sollte. Das Vorhaben wurde im Länderfinanzierungsprogramm als LABO-Projekt B3.14 aufgenommen.

Mit der Durchführung des Vorhabens wurde die BAM beauftragt. Die experimentellen Arbeiten wurden Anfang 2015 aufgenommen und das Projekt mit dem Abschlussbericht im Frühjahr 2016 abgeschlossen [6].

In der zugrunde gelegten Methode [5] werden die leichtflüchtigen MKW-Verbindungen mit einem Lösemittel aus den Bodenproben extrahiert und mittels der HS-GC-MS-Technik getrennt und detektiert. Im Rahmen des Vorhabens wurde der Einfluss der experimentellen Bedingungen, wie z.B. Wahl des Lösemittels, gaschromatographische Trennsäule, Bodenart sowie Kalibrierungs- und Auswertestrategie zunächst an Hand von mit verschiedenen typischen MKW-Gemischen dotierten Standardböden untersucht. Anschließend wurde die Methode auf reale Bodenproben aus verschiedenen Altlastenfällen angewendet. Die Bestimmungsgrenzen der Methode für die einzelnen Fraktionen liegen im Bereich von 1 mg/kg und erlauben durchweg die Überwachung der Prüfwerte [2].

Mit den Ergebnissen des Vorhabens wurde die Eignung der Methode zur Bestimmung der leichter flüchtigen MKW-Fractionen bis C<sub>12</sub> belegt. Die Methode ist robust und auf Realproben anwendbar. Der ALA-Gesprächskreis Schadstoffbewertung hält die Methode auch zum jetzigen Zeitpunkt schon für geeignet, in besonderen Einzelfällen bei Betroffenheit des Wirkungspfades Boden-Mensch (inhalativ) Anwendung zu finden.

In wie weit die Bewertung der leichter flüchtigen MKW-Fractionen Zusatzinformationen über die aliphatischen und weiteren aromatischen Verbindungen gegenüber einer BTEX-Bestimmung und Bewertung erbringt, kann momentan nicht abgeschätzt werden. Daher werden Erfahrungen aus der Praxis durch Anwendung der Methode an realen Proben aus geeigneten Einzelfällen benötigt.

Zu diesem Zweck sollen die Eckpunkte der in [6] beschriebenen Vorgehensweise in einer Kurzfassung für den Vollzug bereitgestellt werden.

Die Ergebnisse des Vorhabens, insbesondere die Erweiterung des Anwendungsbereichs bis C<sub>12</sub> sollen Eingang in die internationale Normung finden, speziell in die Norm DIN EN ISO 16558-1. Hierzu wird ein spezifischer Validierungsringversuch benötigt, der von den Autoren des LFP-Projekts LFP B3.14 empfohlen wird.

Zur vertieften Betrachtung der Problemstellung und weiteren detaillierten Informationen wird die Lektüre des Abschlussberichts zum LFP-Vorhaben B3.14 empfohlen [6].

## Literatur

- [1] DIN EN ISO 16703:2011-09 – Bodenbeschaffenheit – Gaschromatographische Bestimmung des Gehalts an Kohlenwasserstoffen von C<sub>10</sub> bis C<sub>40</sub> (ISO 16703:2004); Deutsche Fassung EN ISO 16703:2011; DIN Deutsches Institut für Normung; Beuth-Verlag GmbH Berlin
- [2] Bewertung von Mineralölkohlenwasserstoffen und Erarbeitung einer Begründung für einen Prüfwert gemäß BBodSchV für den Direktpfad Boden-Mensch, K. Schneider; M. Hassauer, S. Pötz, M- Koch, T. Win, 2005; im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 203 74 274
- [3] Machbarkeitsstudie zur Durchführung von standortspezifischen Untersuchungen bezüglich der Bestimmung toxikologisch relevanter MKW-Fractionen, S. Lischka, U. Klyk-Seitz, K. Kaminiski, T. Win, I. Nehls, 2010
- [4] DIN EN ISO 22155:2016-07 – Bodenbeschaffenheit – Gaschromatographische Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter Ether – Statisches Dampfraum-Verfahren (ISO 22155:2016); Deutsche Fassung EN ISO 22155:2016; DIN Deutsches Institut für Normung; Beuth-Verlag GmbH Berlin
- [5] DIN EN ISO 16558-1:2015-12 – Bodenbeschaffenheit – Mineralölkohlenwasserstoffe für die Risikobeurteilung - Teil 1: Bestimmung aliphatischer und aromatischer Fraktionen leicht flüchtiger Mineralölkohlenwasserstoffe mittels Gaschromatographie (statisches Headspace-Verfahren) (ISO 16558-1:2015); Deutsche Fassung EN ISO 16558-1:2015; DIN Deutsches Institut für Normung; Beuth-Verlag GmbH Berlin
- [6] Prüfung der Anwendbarkeit der fraktionierten MKW-Analytikmethode an Realproben für die leichter flüchtigen Verbindungen; Robustheitsstudie zur ISO 16558-1:2015 des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“ (LFP Projekt-Nr. B3.14), U.Dorgerloh, I.Nehls, R.Becker, April 2016  
[http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb\\_prod/WaBoAb/Vorhaben/LABO/B\\_3.14/LFP-B3-14\\_Abschlussbericht\\_16-04-25.pdf](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LABO/B_3.14/LFP-B3-14_Abschlussbericht_16-04-25.pdf)

## Aktuelle Informationen im Internet

### Altlasten-Analytik

Einen aktuellen Überblick gibt folgende HLNUG-Internetseite: [www.hlnug.de](http://www.hlnug.de), weiter unter Altlasten >>Altlastenanalytik

#### Methodensammlung Boden-/Altlastenuntersuchung (FBU)

Version 1.0, Stand: 01.06.2014

[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de), in Suchmaske „Methosa“ eingeben

- Referenzverfahren (Boden, Sicker- und Grundwasser, Bodenluft):
  - im Anwendungsbereich der BBodSchV formal gültige Analysenverfahren
- Alternative Referenzverfahren:
  - gleichwertig mit Referenzverfahren
  - vom FBU für die Vollzugspraxis empfohlen

#### Fachmodul Boden und Altlasten (LABO)

Stand: 16.08.2012

[www.labo-deutschland.de](http://www.labo-deutschland.de), weiter unter Veröffentlichungen >>Altlasten

- Alle in der BBodSchV genannten Parameter
- Aktuelle Verfahren (Probenahme, Analytik)

#### Methodensammlung Abfalluntersuchung

Version 2.0, Stand: 01. Oktober 2012 (LAGA)

[www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de), weiter unter Umwelt >>Abfall >>Abfalluntersuchung

### Ableitung von vorläufigen Geringfügigkeitsschwellenwerten

[www.hlnug.de](http://www.hlnug.de), weiter unter Altlasten >>Altlastenbearbeitung >>GFS-Werte

### Per- und polyfluorierte Chemikalien

LFP-Projekt B 4.14:

Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen

„Arbeitshilfe zur flächendeckenden Erfassung, standortbezogenen historischen Erkundung und zur orientierenden Untersuchung“

[www.laenderfinanzierungsprogramm.de](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de), weiter unter Vorhaben >>LABO >>B 4.14

## Hintergrundwerte organischer Schadstoffe

Infos zu PAK, PCB, CKW und Dioxinen auf der HL-NUG-Internetseite (Stand 2016):  
[www.hlnug.de](http://www.hlnug.de), weiter unter Boden >>Auswertung

>>Hintergrundwerte >>Hintergrundwerte organischer (Schad-)Stoffe für Böden in Hessen

## Bodenviewer 2.0

Mit dem BodenViewer Hessen steht ein großer Teil der vorliegenden Daten zu Bodeneigenschaften und -funktionen als interaktive Kartenanwendung im Internet zur freien Verfügung. Eine neue Version des

BodenViewer steht zur Verfügung (Stand 2016):  
[www.hlnug.de](http://www.hlnug.de), weiter unter Boden >>Information >>InternetViewer >>BodenViewer Hessen

## Bodenwanderausstellung

Für die vielfältigen Themenbereiche zum Boden und dem Vorsorgenden Bodenschutz stellt das HLNUG eine Bodenwanderausstellung zur Verfügung, die von Institutionen, Vereinen u.a. unentgeltlich ausgeliehen werden kann.

[www.hlnug.de](http://www.hlnug.de), weiter unter Boden >>Erleben >>Infomaterial und Publikationen

## Schriften zu Böden und Bodenschutz in Hessen

[www.hlnug.de](http://www.hlnug.de), weiter unter Boden >>Erleben >>Infomaterial und Publikationen

## Seminar Altlasten und Schadensfälle 2016

Das diesjährige Altlastenseminar fand am 13. und 14. Juni in Bad Camberg im Bürgerhaus „Kurhaus Bad Camberg“ statt. Die Veranstaltung war mit rund 100 Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus staatlichen und kommunalen Behörden sowie Firmen und Ingenieurbüros sehr gut besucht.

Schwerpunkte waren Innovative Sanierungen, Natürliche Abbauprozesse (MNA), Ökotoxikologische

Bewertung, Verhältnismäßigkeit langlaufender Sanierungen und Nachhaltigkeit. Die Besichtigung einer Thermischen Sanierung im nahegelegenen Idstein bildete einen interessanten Abschluss des ersten Seminartages.

Die Kurzfassungen der Vorträge können Sie auf den folgenden Seiten nachlesen.



© Fotos: Katja Friedl, Vereinigte Fachverlage GmbH



# Isotopenuntersuchungen zur Abbaubewertung und Quellenidentifizierung von Schadstoffen in Altlasten

10 Jahre Praxiserfahrung

HEINRICH EISENMANN & ANKO FISCHER

## 1 Zusammenfassung

Isotopenuntersuchungen werden in der Altlastensanierung als Schlüsselmethoden zur Aufklärung der natürlichen Schadstoffminderung eingesetzt, weil sie a) konzentrationsunabhängig sind, b) *in situ* Prozesse erfassen, c) quantitative Aussagen ermöglichen und d) nur wenige Probenahmen erfordern (US EPA 2008). In zahlreichen Handlungsempfehlungen werden sie zum Nachweis und zur Quantifizierung von Abbauprozessen sowie zur forensischen Unterscheidung von Schadstoffquellen empfohlen (US EPA 2008, Michels et al. 2008, LABO 2009, Eisenmann und Fischer 2010 und 2012, CRC 2010, UBA 2011, ITRC 2013, BLU 2015).

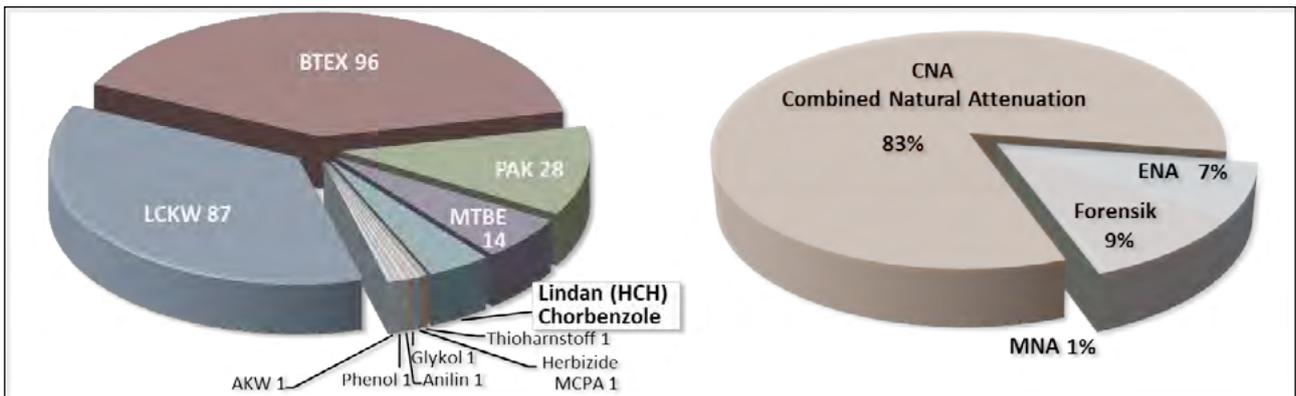
Die Isodetect GmbH hat seit 2006 an knapp zweihundert Altlasten Isotopenuntersuchungen durchgeführt. In zehn Jahren kristallisierten sich schadstoffspezifische Standardverfahren heraus (z.B. komponentenspezifische  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Analysen von LCKW/BTEX/MTBE oder BACTRAPS für BTEX und PAKs), die mit Zusatzuntersuchungen ergänzt wurden. Die Erkundungsmethoden orientierten sich immer an den historischen, hydrogeologischen und

sanierungsstrategischen Besonderheiten der jeweiligen Altlast. Ein wiederholtes  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Monitoring bzw. eine Kombination mehrerer unabhängiger Nachweisverfahren (molekularbiologische Techniken, BACTRAPS, Metabolitenanalysen, Labortests mit  $^{13}\text{C}$ -markierten Zielsubstanzen) wurde dann durchgeführt, wenn die natürliche Schadstoffminderung aufgrund eines orientierenden Monitorings als wesentlicher Bestandteil des Sanierungskonzepts berücksichtigt werden konnte. Je nach Sanierungsstadium standen die fundierte und quantitative Bewertung des natürlichen Schadstoffabbaus, die Erfolgskontrolle von *in situ* Sanierungsmaßnahmen oder die forensische Aufklärung von Schadensereignissen im Vordergrund der Untersuchungen. Im Verlauf mehrerer Forschungsprojekte wurden für die Isotopenmethoden in den letzten Jahren Bestimmungsgrenzen gesenkt, die Analysezeiträume verkürzt, erweiterte Anwendungskonzepte entwickelt (z.B.  $^2\text{H}/^1\text{H}$ - oder  $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ -Analysen) und das Substanzspektrum erweitert (z.B. Pestizide, Nitrat, PAKs, Aliphaten).

## 2 Anwendungshäufigkeit und Zielstellungen verschiedener Nachweismethoden zum Schadstoffabbau

Isodetect bietet mehrere **Nachweisverfahren für den Schadstoffabbau** in Altlasten an. In der Praxis werden 10 Methoden eingesetzt, die stichwortartig in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Für die weiteren fachlichen Details der Methoden sei auf die oben zitierten Handlungsempfehlungen verwiesen. Die *komponentenspezifische  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Analyse* von Schadstoffen wurde an den 187 untersuchten Stand-

orten fast immer durchgeführt und für alle Kontaminationen mit BTEX (n = 96), LCKW (87), MTBE (14) und Pestiziden (Chlorbenzole, Hexachlorcyclohexane; 10) als Standardmethode verwendet (Abb. 1). Für Standorte mit hoher PAK-Belastung (37) waren BACTRAPS (19) oder Metabolitenanalysen (22) die bevorzugten Nachweismethoden.

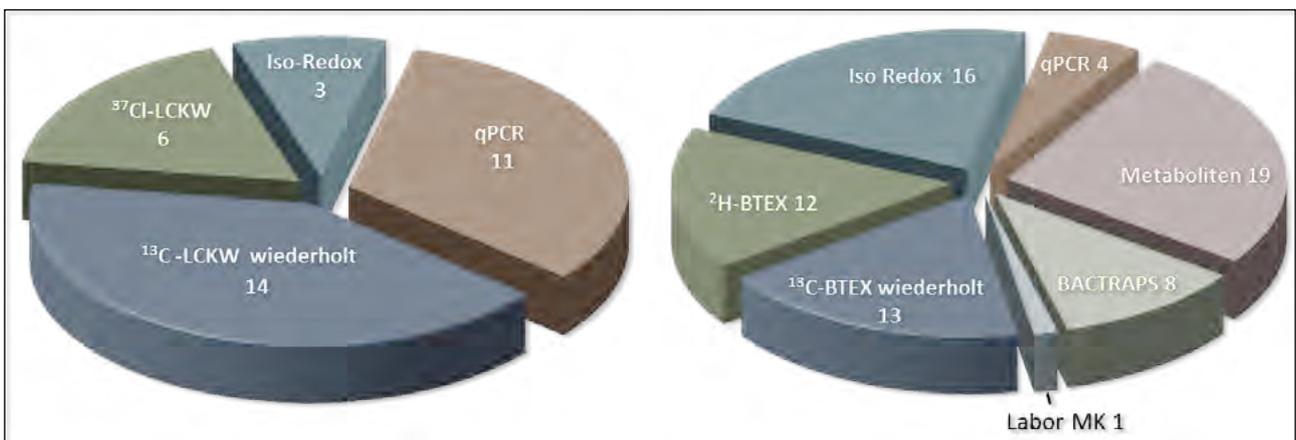


**Abb. 1:** Dominierte Schadstoffe an 187 untersuchten Standorten (seit 2006) und sanierungsstrategische Ziele der Isotopenuntersuchungen.

Das **sanierungsstrategische Hauptziel** der Isotopenuntersuchungen war in den meisten Fällen (83 %) die Kombination der natürlichen Schadstoffminderung mit aktiven Sanierungsmaßnahmen, die am Schadensherd geplant waren oder bereits durchgeführt wurden (z.B. *in situ* Stimulation der vorhandenen Abbauproduktivität, Einspundung, Pump-and-Treat; Abb. 1). Die orientierende Erkundung der Abbauprozesse diente der Auswahl sowie der räumlichen & zeitlichen Eingrenzung der aktiven Sanierungstechnologie. Nur in einem Fall (Standort Rondenberg s.u.) wurde aus den Ergebnissen ein ausschließlich überwachendes Konzept abgeleitet (*monitored natural attenuation*, MNA). Häufiger (n = 14) war die Entscheidung für eine gezielte *in situ* Stimulierung des biologischen Schadstoffabbaus (z.B. durch Zugabe von Sulfat, Eisen-Nanopartikeln, Sauerstoff, Melasse oder anderen Reagenzien; *enhanced*

*natural attenuation*, ENA), deren Erfolg durch ein begleitendes Isotopenmonitoring verifiziert wurde. Forensische Fragestellungen zur Identifizierung von Schadensverursachern standen in 9 % der Untersuchungen im Vordergrund.

Der **Untersuchungsaufwand** zum Schadstoffabbau in Altlasten richtet sich nach der Bedeutung, die diesem Prozess von den Sanierungsverantwortlichen zugeschrieben wird. Von der pauschalen Bewertung des Konzentrationsrückgangs als ausreichender Abbauprodukt bis zur aufwändigen und differenzierten Aufklärung und Modellierung von Abbauprozessen in verschiedenen Redoxzonen einer Schadstofffahne werden in der Praxis unterschiedlichste Kriterien angesetzt. Die Erkundung der natürlichen Schadstoffminderung ist allerdings oft unzureichend, obwohl die detaillierte Kenntnis der



**Abb. 2:** Ergänzend zur komponentenspezifischen <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C-Analyse eingesetzte Methoden zur Charakterisierung des Schadstoffabbaus von LCKW (links) und BTEX (rechts) an insgesamt 81 Standorten.

**Tab. 1:** Stichwortartiger Überblick über Substanzspektrum, Anwendungsprinzip und Vorteile von zehn Untersuchungsverfahren zum Schadstoffabbau in Altlasten.

#### $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Analyse von Schadstoffen

- Schadstoffe: LCKW,  $\Sigma$ LCKW, BTEX, Naphthalin, MTBE/ETBE & Schadstoffe mit weniger als  $^{12}\text{C}$ -Atomen  
Prinzip: Das schwere Kohlenstoffisotop  $^{13}\text{C}$  reichert sich proportional zum biologischen Abbau an.  
Vorteile: Abbauquantifizierung auf Basis des Isotopenanreicherungsfaktors (prozentualer Abbau, Abbauraten),  
Prognose der künftigen Ausdehnung einer Schadstofffahne,  
Erfolgskontrolle für abbaustimulierte Fahnenbereiche

#### $^2\text{H}/^1\text{H}$ -Analyse von Schadstoffen

- Schadstoffe: BTEX, Naphthalin, MTBE/ETBE, demnächst auch LCKW  
Prinzip: Das schwere Wasserstoffisotop  $^2\text{H}$  reichert sich proportional zum biologischen Abbau an.  
Vorteile: Abbauquantifizierung auf Basis des Isotopenanreicherungsfaktors (prozentualer Abbau, Abbauraten),  
Prognose der künftigen Ausdehnung einer Schadstofffahne,  
in Kombination mit  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  Unterscheidung von Abbauprozessen (aerob, anaerob) und Schadstoffquellen

#### $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ -Analyse von Schadstoffen

- Schadstoffe: LCKW  
Prinzip: Das schwere Chlorisotop  $^{37}\text{Cl}$  reichert sich proportional zum biologischen Abbau an.  
Vorteile: Abbauquantifizierung auf Basis des Isotopenanreicherungsfaktors (prozentualer Abbau, Abbauraten),  
Prognose der künftigen Ausdehnung einer Schadstofffahne,  
in Kombination mit  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  Unterscheidung von Abbauprozessen (aerob, anaerob) und Schadstoffquellen

#### Isotopenanalyse von Sulfat, Nitrat, Methan, DIC

- Substanzen: Nitrat, Sulfat, anorganischer, gelöster Kohlenstoff, Methan  
Prinzip: Änderungen der Isotopenwerte von Elektronenakzeptoren (Nitrat, Sulfat) bzw. Mineralisierungsprodukten (DIC, Methan) geben Hinweise auf Abbaubedingungen von Schadstoffen.  
Vorteile: Erkundung und Nachweis von Denitrifizierung, Sulfatreduktion, Methanogenese, Mineralisierung.

#### BACTRAPs

- Schadstoffe: BTEX, MTBE, TBA, PAK, Anilin, Aliphaten, etc.  
Prinzip: *In situ* Mikrokosmen mit adsorbiertem, isotopenmarkiertem Schadstoff.  
Die Isotopenmarkierung lässt sich in schadstoffabbauenden Mikroorganismen nachweisen.  
Vorteile: Sensitiver *in situ* Abbaunachweis über Besiedlungsprofil und Assimilation des abgebauten Schadstoffs,  
Identifikation von Zonen mit erhöhtem Schadstoffabbau durch relativen Vergleich mehrerer BACTRAPs

#### Labormikrokosmen mit $^{13}\text{C}$ -Isotopenmarkierung

- Schadstoffe: BTEX, PAK, Anilin, Aliphaten, etc.  
Prinzip: In Labormikrokosmen wird die Mineralisierung eines  $^{13}\text{C}$ -markierten Schadstoffs durch die  $^{13}\text{C}$ -Anreicherung im  $\text{CO}_2$  bzw. Methan nachgewiesen und quantifiziert.  
Vorteile: Sensitiver Nachweis des vollständigen Abbaus von Schadstoffen,  
Erfassung von Mineralisierungsraten

#### Nachweis von Abbaumetaboliten

- Substanzen: BTEX, PAK, LCKW  
Prinzip: Zwischenprodukte des Schadstoffabbaus werden nachgewiesen.  
Vorteile: Einfacher qualitativer Abbaunachweis

#### qPCR von genetischen Markern

- Schadstoffe: LCKW (*Dehalococcoides*), BTEX, bestimmte PAK  
Prinzip: Die Abundanz taxonomischer oder funktioneller Gene bestimmter Mikroorganismen (MO) korreliert mit dem biologischen Schadstoffabbau.  
Vorteile: Bestimmung des Vorhandenseins und potenziell der Aktivität von schadstoffabbauenden MO

#### Isotopen- bzw. Konzentrations-Fingerprints von Ölgemischen

- Schadstoffe: PAKs, Aliphaten  
Prinzip: Isotopenwerte bzw. Konzentrationsverhältnisse ändern sich durch biologischen Abbau.  
Vorteile: Abbauindikation und forensische Unterscheidung verschiedener Eintragsherde.

#### Fraktionierung von Enantiomeren

- Schadstoffe: Pestizide (Phenoxycarbonsäuren,  $\alpha$ -HCH), Pharmazeutika  
Prinzip: Enantiomere von Schadstoffen werden unterschiedlich schnell abgebaut.  
Vorteile: Aussagekräftiger Abbaunachweis (auch in Kombination mit Isotopenfraktionierung).

Prozesse fast immer zu einer erheblichen Reduzierung des Sanierungsaufwands führen würde (KORA 2008a-d, ITCR 2013, Elekwachi et al. 2014, Xiaoping et al. 2014, Majone et al. 2015, BLU 2015).

Sobald der *in situ* Schadstoffabbau als wesentlicher Bestandteil eines Sanierungskonzepts etabliert ist, werden in der Regel mehrere, **voneinander unabhängige Untersuchungsverfahren** verwendet (Mehrmethodenansatz, *multiple-line-of-evidence*). Dies war an 81 Standorten der Fall (Abb. 2). Häufig (27×) wurde die komponentenspezifische  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Analyse der Schadstoffe in erweitertem Umfang wiederholt, um die Nachhaltigkeit des Abbaus zu bestätigen. Die Kombination der Nachweismethoden richtete sich vor allem nach dem vorhandenen Schadstoffspektrum. Bei LCKW-Kontaminationen wurden an 11 Standorten neben der  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Analyse auch molekularbiologische Analysen (qPCR) zur Präsenz und Aktivität von *Dehalococcoides* durchgeführt, welche als einzige Bakteriengruppe zur vollständigen Dechlorierung der Schadstoffe fähig sind. In jüngerer Zeit bewährte sich auch die Ana-

lyse der Chlorisotopen ( $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$  parallel zu  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ;  $n = 6$ ). Für BTEX-/PAK-Kontaminationen steht eine breitere Methodenpalette zur Charakterisierung des Schadstoffabbaus zur Verfügung. Als unabhängiges Ergänzungsverfahren zur  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Analyse wurde die Metabolitenanalyse bevorzugt (19). Je nach Untersuchungsschwerpunkt und Standortverhältnissen wurden BACTRAPS (8× zum Abbaunachweis dominierender PAK-Komponenten), die Bestimmung der Wasserstoffisotopen ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ; 12× u.a. zur Unterscheidung aerober/anaerober Abbauprozesse) oder qPCR-Analysen zur Detektion abbauspezifischer Gene (6× zur Bestätigung des Abbaupotentials) eingesetzt. Die Isotopenanalyse potenzieller Elektronenakzeptoren (Sulfat, Nitrat) oder Mineralisierungsprodukte ( $\text{CO}_2$ , Methan) bietet die Möglichkeit zur Identifikation dominierender Redoxprozesse (Sulfat-, Nitratreduktion, Methanogenese) (an 16 Standorten). Dieser Monitoringansatz wurde vor allem dann verfolgt, wenn eine bestimmte Redoxreaktion durch Substratzugaben stimuliert werden sollte.

### 3 Zwei Fallbeispiele

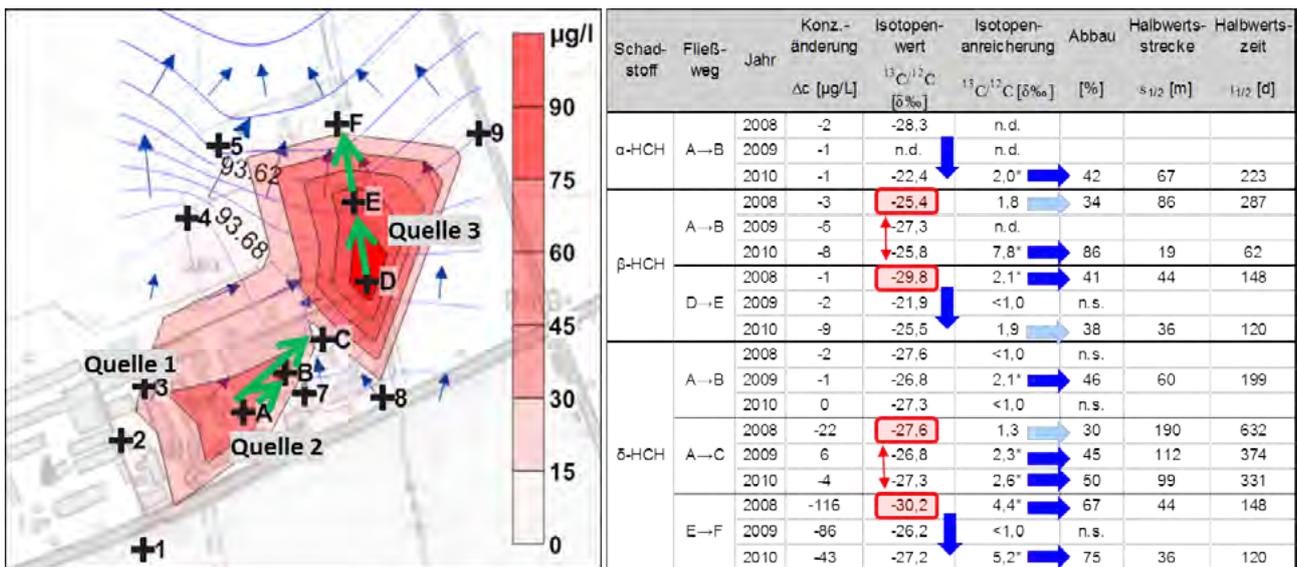
#### 3.1 Mehrjähriges $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenmonitoring eines HCH-Schadensfalles

Von 2008 bis 2010 wurden an einem Standort in Ostdeutschland jährlich die  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Werte von vier Hexachlorcyclohexan-Isomeren ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -HCH) analysiert (Bashir et al. 2015). Die historische Recherche deutete auf mehrere Schadstoffquellen hin, die durch die unsachgemäße Lagerung, Verarbeitung und Entsorgung der Pestizide verursacht wurden (Abb. 3). Die Fließrichtung und -geschwindigkeit (0,3 m/d) des kontaminierten Grundwassers war bekannt und für die Schadstofffahne wurde ein quasi-stationärer Zustand prognostiziert.

Bei jeder der drei Monitoringkampagnen wurden zum Nachweis der Biodegradation die  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Werte entlang mehrerer Fließwege verglichen. In 11 von 15 Fällen, in denen Isotopenwerte verfügbar waren, wurde eine signifikante (8× > 2‰; dunkelblaue horizontale Pfeile in der Tabelle von Abb. 3) oder zumindest indikative (4× 1‰ bis 2‰; hellblaue horizontale Pfeile in der Tabelle von Abb. 3)

Anreicherung von  $^{13}\text{C}$ -Isotopen ermittelt. Die Isotopenwerte zeigten das Vorhandensein von mindestens *zwei Kontaminationsquellen*, denn im Abstrom der Eintragsstelle A wurden in 2008 an den Messstellen D (für  $\beta$ -HCH) und E (für  $\delta$ -HCH) eindeutig negativere Isotopenwerte festgestellt (siehe rote Kästchen in der Tabelle von Abb. 3). In den Folgejahren war dieser Unterschied nicht mehr feststellbar. Im *zeitlichen Verlauf der Untersuchungen* wurden an drei Messstellen positivere Isotopenwerte (Anreicherung von  $^{13}\text{C}$ -Isotopen) gefunden ( $\alpha$ -HCH in A;  $\beta$ -HCH in D;  $\delta$ -HCH in E), die auf einen biologischen Schadstoffabbau hinweisen (vertikale blaue Pfeile in der Tabelle von Abb. 3).

Für die **Sanierungsstrategie** bedeuteten diese Ergebnisse, dass die natürlichen Abbauprozesse in den Schadstofffahnenbereichen zur nachhaltigen Minderung der HCH beitragen und in Kombination mit einer aktiven Hotspot-Sanierung als MNA- oder ENA-Maßnahme berücksichtigt werden können. Für die Erfolgskontrolle der MNA- bzw. ENA-Maßnahme sind weiterhin  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Analysen vorgesehen.

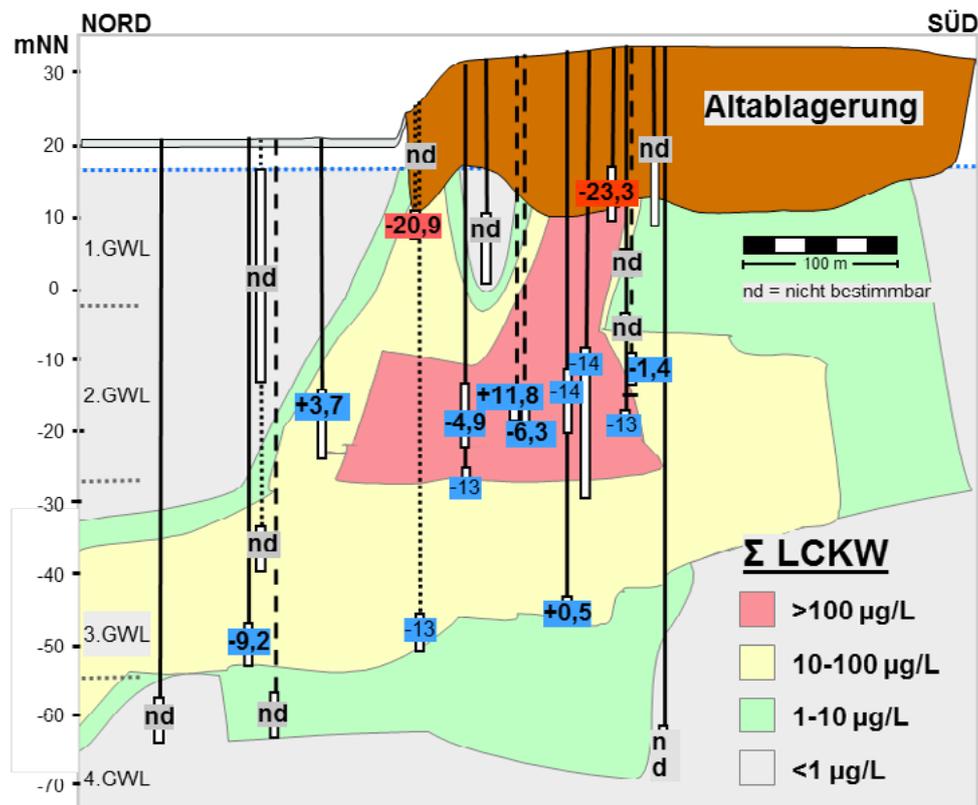


**Abb. 3:** Konzentrationsänderungen,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Werte und Abbauparameter von HCH-Isomeren entlang ausgewählter Fließstrecken (jährliches Monitoring von 2008 bis 2010). Hervorgehoben sind die Isotopenwerte, die zur Berechnung des Schadstoffabbaus entlang der Fließstrecke (horizontale blaue Pfeile) sowie zeitlich zwischen 2008 und 2010 verwendet wurden (A, D, E; vertikale blaue Pfeile). Quellisotopensignaturen, die auf einen zusätzlichen Eintrag in D (von  $\beta$ -HCH) bzw. E (von  $\delta$ -HCH) hinweisen, sind rot markiert.

### 3.2 Mehrmethodenansatz für das MNA-Konzept Rondenberg

Der Standort Rondenberg ist der einzige von 187 untersuchten Standorten, an dem anhand eines orientierenden Isotopenmonitorings und einer Verhältnismäßigkeitsprüfung ein **MNA-Konzept** ohne aktive Sanierungsmaßnahmen etabliert wurde (Mäurer et al. 2009). Es handelt sich dabei um eine Altablagerung, deren Kontaminanten (LCKW, BTEX, PAK und MKW) sich vorwiegend vertikal bis zu einer Tiefe von ca. 100 m in das Grundwasser ausgebreitet haben (Abb. 4). Die erste Detailüberwachung im Rahmen des MNA-Konzepts umfasste a) wiederholte  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Analysen der Schadstoffe (BTEX, LCKW), b) die Bestimmung der Isotopenwerte von Sulfat ( $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  und  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) sowie von Methan und gelöstem, anorganischem Kohlenstoff (DIC; jeweils  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ), c) Metabolitenuntersuchungen von BTEX und PAK und d) qPCR-Analysen von LCKW-abbauenden Mikroorganismen. Damit war dieser Standort der einzige, an dem inklusive der Wiederholung des  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Monitorings fünf Untersuchungsmethoden zum Schadstoffabbau kombiniert wurden. Weitere Monitoringkampagnen zur Erfassung der Nachhaltigkeit und Dynamik des Schadstoffabbaus sind geplant.

Am Standort (25 Messstellen) wurde anhand der **Anreicherung des schweren Kohlenstoffisotops ( $^{13}\text{C}$ )** ein intensiver und nachhaltiger Abbau von *Benzol* nachgewiesen. Für alle Bereiche der Schadstofffahne ergab sich ein biologischer Benzolabbau zwischen 83 % und 99 %. In horizontaler Ausbreitungsrichtung erfolgte eine Halbierung der Benzolbelastung zumeist auf 11 m bis 61 m Fließstrecke allein durch den biologischen Abbau. Besonders wichtig für die Standortbewertung war der Nachweis der vollständigen Dechlorierung von LCKW, da die Akkumulation von toxischem VC ausgeschlossen werden sollte. Die  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Werte der Einzelkomponenten (PCE, TCE, cDCE, VC) werden zu diesem Zweck zusammengefasst und mit der jeweiligen Konzentration gewichtet. Nur wenn dieser sog. Summenisotopenwert im Abstrom der Schadstoffquelle positiver wird, ist der Nachweis der vollständigen Dechlorierung gegeben und quantifizierbar (HOEHENER et al. 2015). Der vollständige LCKW-Abbau wurde nicht nur am Rand der Schadstofffahne, sondern auch in ihrem zentralen Bereich nachgewiesen. Im Vergleich zu den primären Isotopenwerten (z.B. -23,3 % im Leckagebereich der Altablagerung) wurde eine Zunahme der  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Werte von bis zu +15 % gefunden (Abb. 4). Die Abbauintensität lag flächendeckend zwischen 8 % und 45 %, was einer Halbwertsstrecke von zumeist 100 m bis 500 m entsprach.



**Abb. 4:**  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Summenwerte (%) von LCKW am Standort Rondenberg. Die Anreicherung (blau unterlegte Werte) gegenüber dem Leckagebereich der Deponie (rot unterlegte Werte) zeigen deutlich die  $^{13}\text{C}$ -Anreicherung und damit die vollständige Dechlorierung im Fahnenkernbereich und am Fahnenrand.

**Zusätzliche Untersuchungsverfahren** zum Verständnis der Abbauprozesse zeigten ausreichende Sulfatressourcen und in bestimmten Zonen eine hohe Sulfatreduktion (Isotopenanreicherung von  $^{34}\text{S}$  und  $^{18}\text{O}$ ). Da sulfatreduzierende Bedingungen sowohl für den BTEX- wie für den LCKW-Abbau förderlich sind, war das Abbaumilieu in weiten Teilen der Schadstofffahne als günstig einzustufen. Hohe lokale Schwankungen der  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Werte von Methan bzw. DIC wiesen auf zwei verschiedene Methan-Bildungswege hin (hydrogenotrophe und acetoklastische Methanogenese), die zum einen den LCKW-Abbau begünstigen und zum anderen mit der Fermentation organischer Verbindungen (evtl. BTEX, PAK oder DOC) verbunden sind. Der sensitive Nachweis von BTEX- und PAK-Metaboliten (80-500 µg/L) indizierte außerdem die anaerobe Biodegradation verschiedener mono- und polyaromatischer Kohlenwasserstoffe auch im Fahnenkernbereich. Schließlich konnten LCKW-abbauende Mikroorganismen (*Dehalococcoides*) in allen untersuchten Proben nachgewiesen werden. Ihre hohe Abundanz in den

tieferen Zonen der Schadstofffahne war ein Hinweis auf ein hohes Abbaupotenzial für LCKW auch außerhalb des zentralen Kontaminationsbereichs.

Die Ergebnisse des durchgeführten **Mehrmetho-**  
**denansatzes** bestätigten das MNA-Konzept für den Standort Rondenberg. Die signifikante  $^{13}\text{C}$ -Anreicherung von BTEX und LCKW entlang einer Vielzahl möglicher Grundwasserfließwege ermöglichte in hoher räumlicher Auflösung die qualitative und quantitative Erfassung des biologischen Schadstoffabbaus. Zusätzliche Isotopenuntersuchungen (an Sulfat, DIC und Methan) vertieften das Verständnis der Redoxprozesse am Standort, während ergänzende Verfahren (Metabolitenuntersuchungen, molekulargenetische Analysen) den Abbau der Schadstoffe unabhängig verifizierten. Für die Fortführung des Multi-Line-Of-Evidence-Ansatzes ist auf Basis der Ergebnisse jeweils eine gezielte Anpassung des Untersuchungsumfangs möglich. In jüngerer Zeit wurde beispielsweise ein Metabolitenmonitoring nachgeschaltet.

## 4 Zukunftsperspektiven: Mehrwehrt kombinierter Nachweismethoden zum Schadstoffabbau

Die erhobenen Daten zur Anwendungshäufigkeit, Zielsetzung und Methodenkombination von Isotopenuntersuchungen in der Altlastenerkundung erheben keinen Anspruch auf statistische Sicherheit oder Repräsentanz der Bearbeitungspraxis. Immissionspumpversuche wurden nicht berücksichtigt und qPCR-Verfahren sind sicherlich untergewichtet. Dennoch lässt sich erkennen, dass bei LCKW/BTEX/MTBE-Kontaminationen die komponentenspezifische  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Analyse der Schadstoffe die **Schlüsselmethode** zur späteren Nutzung der Abbauprozesse im Rahmen eines Sanierungskonzepts ist. Ebenso wie bei anderen Isotopenmethoden wurden hier in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte bei den Bestimmungsgrenzen (1–10  $\mu\text{g}/\text{L}$ ), der Schnelligkeit (2–8 Wochen), der Reproduzierbarkeit/Präzision, dem Substanzspektrum der Analysen und der Qualität der quantitativen Auswertung (Modell von HOEHENER et al. 2015) erzielt. Mit zunehmender Praxiserfahrung wird die komponentenspezifische  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Analyse **immer effizienter mit anderen Nachweisverfahren zum natürlichen Schadstoffabbau kombiniert**.

In der Praxis wird allerdings oft versucht, beim Nachweis des Schadstoffabbaus den (ungenügenden) Weg des geringsten Aufwands zu gehen und Abbauprozesse allein mit dem Konzentrationsrückgang der Schadstoffe oder/und mit hydrogeochemischen Parametern (oft missverständlich als MNA-Parameter bezeichnet) zu belegen. Da die Abnahme von

Schadstoffgehalten biologischen und physikalischen Prozessen (z.B. Sorption, Dispersion, Verflüchtigung) unterliegt und Elektronenakzeptoren vielfältige Reaktionen eingehen können, ermöglichen die Konzentrationen von Schadstoffen bzw. hydrogeochemischen Parametern weder einen direkten Nachweis noch eine verlässliche Quantifizierung des Schadstoffabbaus. Um validierte standortspezifische Untersuchungskonzepte zum Schadstoffabbau zu erhalten, sollten die grundlegend unterschiedlichen Qualitäten verschiedener Nachweisverfahren zwischen den geologischen/mikrobiologischen Fachexperten und den Projektentscheidern intensiv kommuniziert werden.

Die Nutzung mikrobieller Abbauprozesse ist in der Sanierungspraxis noch immer schwer zu planen, da sich die Verhältnismäßigkeit des Monitorings- bzw. Sanierungsaufwands oft nur hypothetisch bewerten lässt. Reine MNA-Konzepte sind Ausnahmefälle, dagegen wird sehr häufig eine aktive Sanierung des Schadensherds in ein zeitlich begrenztes, flächenorientiertes Monitoring der natürlichen oder stimulierten Schadstoffminderung überführt. Dieses **kombinierte Konzept** wird in jüngster Zeit immer häufiger umgesetzt. In diesem Zusammenhang werden Isotopenuntersuchungen auch in Zukunft für Sanierungspflichtige und Behörden einen erheblichen Informationsgewinn für die Entwicklung einer tragfähigen, kostengünstigen Sanierungsstrategie bedeuten.

## 5 Literatur

- LABO (2009): Berücksichtigung der natürlichen Schadstoffminderung bei der Altlastenbearbeitung. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz., Ständiger Ausschuss Altlasten, 57 pp.
- CRC-CARE (2010): A technical guide for demonstrating monitored natural attenuation of petroleum hydrocarbons in groundwater, Technical

Report no. 15, Beck, P. & Mann, B., CRC for Contamination Assessment and Remediation of the Environment, Adelaide, Australia.

- ITRC (2013): Environmental Molecular Diagnostics, New Site Characterization and Remediation Enhancement Tools. EMD-2. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council,

- Environmental Molecular Diagnostics Team.  
www.itrcweb.org.
- UBA (2011): Consideration of Natural Attenuation in remediating contaminated sites. Umweltbundesamt Deutschland. 42 Seiten.
- KORA (2008a) TV1-Leitfaden: Wabbels, D., Teutsch G., Leitfaden Natürliche Schadstoffminderungsprozesse bei mineralölkontaminierten Standorten: Raffinerien, Tanklager, Kraftstoffe/Mineralöl, MTBE.
- KORA (2008b) TV2-Leitfaden: Werner, P., Börke, P., Hüfers, N. Natürliche Schadstoffminderung bei Teerölkaltlasten.
- KORA (2008c) TV3-Leitfaden: Dahmke, A., Grandel, S. Natürliche Schadstoffminderung bei LCKW-kontaminierten Standorten.
- KORA (2008d) TV4-Leitfaden: Luckner, T., Luckner, L., Umgang mit abfallablagerungsverursachten Gewässerschäden und Gefahrensituationen unter Berücksichtigung der Wirkungen natürlicher Rückhalte- und Abbau- Prozesse.
- ELEKWACHI, C.O., ANDRESEN, J., HODGMAN, T.C. (2014): Global use of bioremediation technologies for decontamination of ecosystems. *J Biorem Biodegrad*, 5:1-9.
- XIAOPING, L., XI, C. (2014): Applications of Monitored Natural Attenuation in contaminated soil and groundwater. *Meteor Environ Res*, 5:31-35.
- MAJONE, M., VERDINI, R., AULENTA, F., ROSSETTI, S., TANDOI, V., KALOGERAKIS, N., AGATHOS, S., PUIG, S., ZANAROLI, G., FAVA, F. (2015): In situ groundwater and sediment bioremediation: barriers and perspectives at European contaminated sites. *N Biotechnol*, 32:133-146.
- HÖHENER, P., ELSNER, M., EISENMANN, H., ATTEIA, O. (2015): Improved constraints on in situ rates and on quantification of complete chloroethene degradation from stable carbon isotope mass balances in groundwater plumes. *J Contam Hydrol*, 182:173-182.
- EISENMANN, H., FISCHER, A. (2010): Isotopenuntersuchungen in der Altlastenbewertung – 47 S.; In: Franzius, V., Gerhold, F., Altenbockum, Z. (Hrsg.): *Handbuch der Altlastensanierung*, 60. Auflage 2010; ISBN 978-3-8114-9700-9; München. (Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm).
- EISENMANN, H., FISCHER, A. (2012): Isotopenverfahren in der Altlastenuntersuchung. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. *Altlasten-annual 2012*:87-96.
- MICHELS, J., STUHRMANN, M., FREY, C., KOSCHITZKY, H.P. (2008): KORA-Handlungsempfehlung mit Methodensammlung, Natürliche Schadstoffminderung bei der Sanierung von Altlasten.
- MÄURER, D., STUPP, H.D., HEINRICHS, D., HAUPT, T., EISENMANN, H. (2009): Strategien zur Behandlung des CKW/BTEX-Grundwasserschadens Deponie Rondenbarg.- altlasten spektrum Heft, 5, 225-232.
- US-EPA (2008): A guide for assessing biodegradation and source identification of organic groundwater contaminants using compound specific isotope analysis (CSIA). EPA 600/R-08/148.
- BASHIR, S., HITZFELD, K.S., GEHRE, M., RICHNOW, H.H., FISCHER, A. (2015): Evaluating degradation of hexachlorocyclohexane (HCH) isomers within a contaminated aquifer using compound-specific stable carbon isotope analysis (CSIA) , *Water Research* 71: 187-196.
- BLU (2015): Natürliche Schadstoffminderung bei Grundwasserverunreinigungen durch Altlasten und schädliche Bodenveränderungen - Monitored Natural Attenuation (MNA). Bayerisches Landesamt Umwelt, Überarbeitetes Merkblatt Nr. 3.8/3.

# Praxisorientiertes Verfahren zur Bewertung von Bodenkontaminationen im Hinblick auf die Umwandlung eines ehemaligen chemischen Werksgeländes in verkehrsfähige Grundstücke

KATJA AMSTÄTTER, DIETER BAUN, VOLKER SCHRENK UND JUTTA SEXTRO

## 1 Einleitung

Auf einem ehemaligen ca. 34 ha großen Chemiestandort mit mehr als 150jähriger Geschichte liegen produktionsbedingte Kontaminationen von Boden und Grundwasser vor. Nach der Aufgabe der chemischen Produktion wurde eine Neubewertung der

Schadstoffsituation im Hinblick auf die geplante Nutzung des Standortes erforderlich. In diesem Zusammenhang musste auch eine Bewertungsgrundlage für verschiedene standortspezifische Schadstoffe entwickelt werden.

## 2 Standortbeschreibung

Die Produktionsgeschichte auf dem Standort begann im Jahr 1842 mit einer Teerdestillation und Asphaltfabrik. Bis Ende des 19. Jahrhunderts kamen u.a. die Herstellung von Anilin, Fuchsin, Pikrinsäure und Naphthol hinzu. Bis zum Zweiten Weltkrieg erfolgte eine deutliche Vergrößerung des Werksgeländes unter Neuerrichtung und teilweisem Rückbau von Produktionsanlagen. Im Zweiten Weltkrieg wurde das Werk durch Bombenangriffe zu 70 % zerstört. Nach dem Wiederaufbau wurde die Farbstoffproduktion u.a. um Polymerprodukte erweitert und das Werksgelände zusätzlich vergrößert. Schließlich wurde im Jahre 2010 die Produktion auf dem Standort aufgegeben.

Auf dem Standort wurden unterschiedliche Teerfarben entwickelt und hergestellt, so dass in großen Mengen mit z.B. Benzol, Chlorbenzol- und Anilinverbindungen umgegangen wurde. Durch Erkundungsmaßnahmen wurden seit 1990 verschiedene lokal begrenzte Bodenverunreinigungen sowie eine Grundwasserverunreinigung mit verschiedenen Schadensherden und Schadstoffen festgestellt.

Solange die chemische Produktion in der Hand eines

einzelnen Betreibers war, wurde der Standort durch die zuständige Bodenschutzbehörde, das Regierungspräsidium Darmstadt, als gesamtes Werksgelände betrachtet, d.h. es erfolgte keine Abgrenzung und individuelle Betrachtung der einzelnen Schadensbereiche. Aufgrund der großflächigen Bebauung und Versiegelung des Geländes konnten die Bodenverunreinigungen toleriert werden, so lange sichergestellt war, dass keine Schadstoffe das Grundstück verlassen konnten. Zu diesem Zweck wurde eine hydraulische Grundwassersanierung bzw. -sicherung mit bis zu zwölf Entnahmebrunnen im Bereich der Kontaminationsschwerpunkte und der abstromigen Grundstücksgrenzen betrieben.

Im Hinblick auf eine Umnutzung des Werksgeländes wurde durch das Regierungspräsidium Darmstadt eine wirkungspfadbezogene Gefährdungsabschätzung mit ggf. anschließenden lokalen Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen gefordert. Da davon auszugehen ist, dass das ehemalige Werksgelände aufgeteilt und neu parzelliert wird, muss für die ermittelten relevanten Bodenverunreinigungen jeweils eine eigene Gefährdungsabschätzung durchgeführt werden.

### 3 Erkundung

Zum Zeitpunkt des Betriebsendes im Jahr 2010 waren die Kenntnisse über die Schadstoffverteilung in der ungesättigten Zone relativ gering. Um mögliche Schadstoffquellen zu identifizieren, wurde zunächst eine umfassende historische Erkundung des Standortes vorgenommen, bei der u.a. die detaillierte Nutzungshistorie, Produktionsprozesse und verwendete Chemikalien für die einzelnen Abschnitte und Gebäude des Werkes aufgearbeitet wurden.

Auf Grundlage der Ergebnisse der historischen Erkundung erfolgte im Jahr 2013 eine flächendeckende Untersuchung mittels rund 500 Rammkernsondierungen, bei der überwiegend die ungesättigte Bodenzone erschlossen wurde. Als Resultat dieser Erkundung wurden Bereiche mit erhöhten Gehalten an standortspezifischen Verbindungen aus der chemischen Produktion identifiziert.

Die Untersuchung der ungesättigten Bodenzone hat gezeigt, dass viele „klassische Schadstoffe“ wie z.B. Schwermetalle, leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe, PCB und Mineralölkohlenwasserstoffe

auf dem Standort eine untergeordnete Rolle spielen. Chlorbenzol, Anilin und  $\beta$ -Naphthol, die im großen Maßstab Verwendung fanden, wurden hingegen sowohl im Boden als auch über das laufende Monitoring im Grundwasser flächendeckend und mit verschiedenen Schwerpunktregionen nachgewiesen. Weitere Ausgangsstoffe zur Synthese der verschiedenen Farbstoffe, z.B. Toluidine und Chloraniline, wurden in unterschiedlich hohen Konzentrationen im Untergrund angetroffen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die angetroffenen Stoffmuster über gängige Schadstoffgruppen, wie z.B. BTEX und PAK, deutlich hinausreichen. Hohe Schadstoffkonzentrationen in der ungesättigten Bodenzone beschränken sich meist substanzspezifisch auf den jeweiligen Einsatzort in der ehemaligen Produktion. Als weiterer Schadensschwerpunkt wurde ein ehemaliger Bachlauf identifiziert, der im Zuge der Erweiterung des Werksgeländes nach dem Zweiten Weltkrieg verfüllt wurde.

### 4 Geologische und hydrogeologische Situation

Im Untersuchungsgebiet sind die natürlichen Bodenverhältnisse durch anthropogene Eingriffe gestört. Oberflächennah sind heterogene Auffüllungsschichten mit Mächtigkeiten zwischen 1,0 und lokal >4,0 m ausgebildet. In Abhängigkeit von ihrer Mächtigkeit reichen die Auffüllungsschichten lokal bis in die wassergesättigte Bodenzone. Als natürlicher Boden stehen quartäre Terrassenablagerungen und darunter der Rupelton an.

Der hydrogeologische Aufbau im Bereich des ehemaligen Werksgeländes ist in einen geringmächtigen (in der Regel <5 m) pleistozänen Porengrundwas-

serleiter über einem mächtigen oligozänen Grundwassernichtleiter (Rupelton) zu untergliedern. Der freie Porengrundwasserleiter ist in den quartären Terrassenablagerungen, im Wesentlichen bestehend aus kiesigen Mittel- und Grobsanden, ausgebildet. Die quartären Terrassenablagerungen haben sich in den Grundwassernichtleiter eingeschnitten und zur Ausbildung einer Rinnenstruktur geführt. Hieraus ergibt sich für den Grundwasserleiter im Bereich des Werksgeländes eine weitgehende Trennung vom Hauptgrundwasserkörper.

### 5 Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Wenn das Werksgelände neu parzelliert und verkauft wird, kann die Bodenschutzbehörde gemäß Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG [1]) sowohl die frühere Eigentümerin und Schadensverursacherin als auch die künftigen Grundstückseigentümer als Sa-

nierungspflichtige heranziehen. Aufgrund der vielen Eintragsbereiche und Überlagerungen der einzelnen Kontaminationsbereiche ist es jedoch nicht möglich, den Beitrag der einzelnen Parzellen zu der allgemeinen Grundwasserverunreinigung zu quantifizieren.

Aus diesem Grund wurde durch das Regierungspräsidium Darmstadt gefordert, dass die Bodenverunreinigungen vor dem Verkauf von Teilflächen eingegrenzt werden und dass für jeden Schadensschwerpunkt eine Gefährdungsbeurteilung für den Pfad Boden - Grundwasser erstellt wird.

Die Kenntnis von Bereichen mit sehr hohen, hohen oder geringen Schadstoffgehalten im Boden ist Grundlage für die weitere Bewertung und Planung von geeigneten Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen. Der anzulegende Bewertungsmaßstab muss das standortspezifische Schadstoffmuster erfassen und unter Verwendung der erhobenen Daten die Bewertung von Schadstoffgehalten in der ungesättigten Bodenzone hinsichtlich des Pfades Boden - Grundwasser ermöglichen.

Als grundsätzliches Ziel muss ein weiterer Schadstoffeintrag in das Grundwasser unterbunden werden. Die Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV [2]) sieht zur Bewertung eine Abschätzung des Stoffeintrages über das Sickerwasser im Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Bodenzone vor. In der Praxis sind die für organische

Schadstoffe vorgesehenen Säulenversuche nur für PAK erprobt und als sinnvoll eingestuft worden [4]. Im Hinblick auf die leichtflüchtigen und / oder hydrophilen Eigenschaften der organischen Leitparameter auf dem Standort beschränkten sich die Untersuchungen im Zuge der Erkundung der ungesättigten Bodenzone auf die Bestimmung von Feststoffgehalten. Diese sind folglich die Basis für die zu erstellende Gefährdungsbeurteilung.

Als Bewertungsgrundlage standen nur für eine begrenzte Anzahl der vorhandenen organischen Verbindungen, u.a. im HLUG-Handbuch [4], Werte zur Verfügung, die eine Einstufung der Schadstoffgehalte im Boden hinsichtlich des Wirkungspfad Boden - Grundwasser ermöglichen hätten. Somit war die Ableitung von neuen Beurteilungswerten für mehrere standortspezifische Parameter notwendig.

In einem nächsten Schritt war nun zu bewerten, welche mögliche Gefährdung von den Kontaminationen für das Grundwasser ausgeht bzw. ob und welche Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen notwendig und angemessen sind.

## 6 Vorgehensweise zur Ableitung standortspezifischer Beurteilungswerte

Zunächst wurden die standortrelevanten Stoffe unter den insgesamt 96 untersuchten Einzelparametern identifiziert. Über eine statistische Auswertung der Schadstoffkonzentrationen von ca. 2 000 Bodenanalysen, überwiegend aus der ungesättigten Bodenzone, und eine Identifizierung der grundwasserrelevanten Parameter wurde die Parameterauswahl festgelegt, für die eine Gefährdungsabschätzung zu erstellen war.

Für die festgelegten Parameter wurden standortspezifische Beurteilungswerte auf Grundlage der chemisch-physikalischen Stoffeigenschaften abgeleitet. Diese Beurteilungswerte sollen vergleichbar mit den im HLUG-Handbuch [4] verfügbaren Werten für Schadstoffe im Boden sein. Zu diesem Zweck ist das Verhalten von Stoffen im Boden beim Übergang von der ungesättigten in die gesättigte Bodenzone zu betrachten.

### 6.1 Sorptionsverhalten von organischen Stoffen

Anhand stoffspezifischer Verteilungskoeffizienten können Lösungs- und Sorptionsprozesse im Boden (Abb. 1) beschrieben und die resultierenden Lösungsmengen bzw. die Größenordnung der adsorbierten Schadstoffmengen berechnet werden.

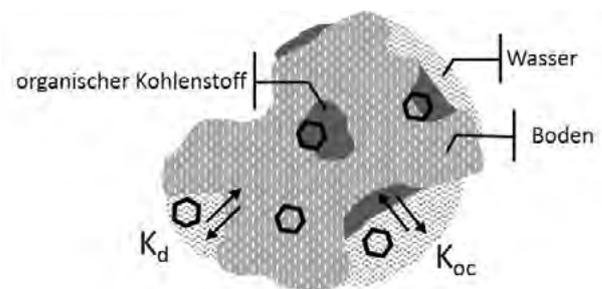


Abb. 1: Stoffübergang im Modellsystem Wasser-Boden-organischer Kohlenstoff

Als maßgebende Größe ist der Verteilungskoeffizient Boden-Wasser  $K_d$  anzusehen. Die mathematische Beschreibung dieses konzentrationsunabhängigen Sorptionsgleichgewichtes erfolgt über folgende Formel:

$$c_s = K_d \cdot c_w \quad (1)$$

$c_s$ : sorbierte Schadstoffmenge [mg Schadstoff/kg Boden]

$K_d$ : Boden/Wasser Verteilungskoeffizient

$c_w$ : Konzentration des Schadstoffes in Bodenlösung bzw. Sickerwasser [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]

Für organische Verbindungen im Boden lässt sich der Verteilungskoeffizient näherungsweise über den organisch gebundenen Kohlenstoffgehalt  $f_{oc}$  berechnen:

$$K_d = f_{oc} \cdot K_{oc} \quad (2) \quad f_{oc} = 0,01 \cdot c_{org}$$

$K_{oc}$ : organischer Kohlenstoff/Wasser Verteilungskoeffizient [ $\text{l}/\text{kg}$ ]

$f_{oc}$ : Anteil des organischen Kohlenstoffs im Boden [ $\text{kg}/\text{kg}$ ]

$c_{org}$ : organisch gebundener Kohlenstoffgehalt im Boden [Masse-%]

Durch Anwendung des Verteilungskoeffizienten Boden-Wasser ( $K_d$ ) können Beurteilungswerte für den Boden ausgehend von einem Prüfwert im Sickerwasser bzw. einem Sanierungszielwert im Grundwasser berechnet werden. Wird diese spezifische Schwellenkonzentration an sorbierter Schadstoffmenge überschritten, ist ein Phasenübergang in Höhe des Prüfwertniveaus im Sickerwasser möglich.

## 6.2 Stoffübertritt Sickerwasser - Grundwasser

Um die Modellrechnung nach den Gleichungen (1) und (2) den realen Bedingungen beim Eintritt von Sickerwasser in das Grundwasser weiter anzunähern, müssen die einhergehenden advektiven und dispersiven Verdünnungseffekte bei diesem Übergang berücksichtigt werden.

Sowohl ENGESER [5] als auch UTERMANN & FRAUENSTEIN [6] haben entsprechende Verdünnungseffekte unter dem Begriff des sogenannten „Rührkesselmodells“ zusammengefasst und in Fachkreisen vorgestellt. Danach erfolgt bei geeigneten hydrogeologischen

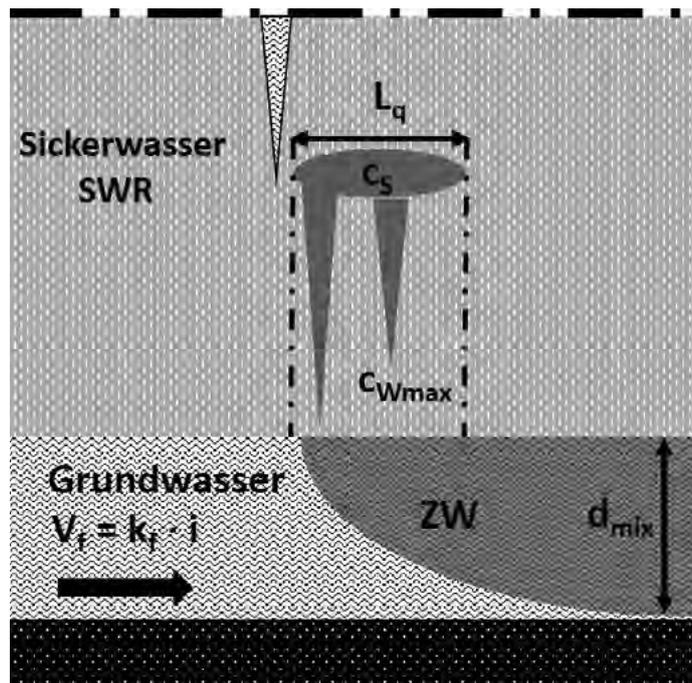


Abb. 2: Schematische Darstellung des Rührkesselmodells (nach ENGESER [5])

Randbedingungen durch Berücksichtigung der Einmischung von Sickerwasser in das Grundwasser eine gewisse Verdünnung (Abb. 2). Unter Berücksichtigung dieser Verdünnungseffekte kann die maximale Sickerwasserkonzentration  $c_{wmax}$  somit um den Einmischfaktor (EF) über dem Prüfwert oder Zielwert im Grundwasser (ZW) liegen, ohne dass eine Überschreitung des Zielwertes an der Grundwasseroberfläche eintritt.

$$c_{wmax} = ZW \cdot EF \quad (3)$$

$c_{wmax}$ : maximale Konzentration des Schadstoffes im Sickerwasser [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]

ZW: Zielwert im Grundwasser [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]

EF: Einmischfaktor

Der Einmischfaktor (EF) ergibt sich wie folgt aus dem Standortfaktor (SF):

$$EF = 1 + SF \quad (4)$$

Dieser Standortfaktor SF ist die entscheidende Größe für die Berechnung des EF. Er fasst die standortspezifischen Einflussparameter zusammen und kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$SF = (d_{mix} \cdot v_f) / (L_q \cdot SWR) \quad (5)$$

- $d_{\text{mix}}$ : Mächtigkeit der Einmischzone [m]  
 $v_f$ : Filtergeschwindigkeit [m/a]  
 $L_q$ : Länge der Quelle parallel zur Grundwasserfließrichtung [m]  
 SWR: Sickerwasserrate [m/a]

Die kombinierte Anwendung des Verteilungsgleichgewichtes Boden-Wasser und des Rührkesselmodells [Gleichungen (1) bis (5)] erlaubt eine praxisnahe Bewertung der Gefahren durch Kontaminationen im Boden bzw. Sickerwasser.

### 6.3 Ableitung der stoff- und standortspezifischen Beurteilungswerte

Bei der hier vorgestellten Methodik zur Ableitung von stoff- und standortspezifischen Beurteilungswerten finden, wie oben erläutert, die Eigenschaften

des Bodens und Grundwasserkörpers Berücksichtigung. Die in den Gleichungen (1)–(5) verwendete Datengrundlage für den Standort ist in Tab. 1 dargestellt, die stoffspezifischen Eigenschaften in Tab. 2. Die stoffspezifischen Verteilungskoeffizienten ( $K_{oc}$ -Werte) wurden in der Literatur aus experimentellen Daten mit vergleichbaren Bodenarten recherchiert. Standen keine entsprechenden Daten zur Verfügung, wurden die  $K_{oc}$ -Werte mit Hilfe des Programms „EPI Suite“ (<http://www.epa.gov/tsca-screening-tools/epi-suite-estimation-program-interface> [7]) der amerikanischen Umweltbehörde US-EPA berechnet. Waren mehrere Werte verfügbar, wurden jeweils Mittelwerte gebildet (s. Tab. 2).

Die Zielwerte im Grundwasser waren teilweise durch bestehende Sanierungszielwerte für den Standort vorgegeben bzw. wurden, in Abstimmung mit den zuständigen Behörden, auf Basis von Umweltqualitätsnormen OGWV [3] vergleichbar festgelegt. Umweltqualitätsnormen sind für Oberflächen-

**Tab. 1:** Eingangsdaten für Berechnung

	Beschreibung	Wert für Berechnung	Bemerkung
$d_{\text{mix}}$	Mächtigkeit der Einmischzone	3 m	Gemittelte Aquifermächtigkeit am Standort
$v_f$	Filtergeschwindigkeit	106,78 m/a	Gemittelt aus Pumpversuchsdaten
$L_q$	Länge der Quelle parallel zur Grundwasserfließrichtung	50 m	Abgeschätzt basierend auf Sondierungsrastrer/Analysenergebnissen
SWR	Sickerwasserrate/ Grundwasserneubildung	0,0906 m/a	Standortspezifische Niederschlagsdaten
$K_{oc}$	Verteilungskoeffizient organischer Kohlenstoff/Wasser	stoffspezifisch	Aus Literaturrecherche
$f_{oc}$	Anteil des organischen Kohlenstoffs im Boden	0,0064 kg/kg	Ermittelt aus repräsentativen Analysen
ZW	Zielwert im Grundwasser	stoffspezifisch	Mit Behörde festgesetzt

**Tab. 2:** Parameter und stoffspezifische Werte

Parameter	Mittelwert $K_{oc}$	Zielwert Grundwasser [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]	Beurteilungswert Boden [ $\text{mg}/\text{kg}$ ]
Anilin	54	10	0,3
Chlorbenzol	158	10	0,7
$\beta$ -Naphthol	919	10	4,2
Diphenylether	1979	10	9,1
2-Chloranilin	103	30	1,4
4-Chloranilin	733	0,5	0,2
2-Toluidin	79	10	0,4
3-Toluidin	44	10	0,2
4-Toluidin	132	10	0,6

gewässer gültige Konzentrationen, die aus „Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes“ nicht überschritten werden dürfen. Sie sind rechtlich verbindlich und ökotoxikologisch begründet und werden deshalb auch bei der Festlegung der Geringfügigkeitsschwellenwerte für Grundwasser vorrangig und unverändert berücksichtigt. Geringfügigkeitsschwellenwerte wiederum sind bei Überschreitung der entsprechenden Konzentration Auslöser für eine Einzelfallprüfung auf eine schädliche Grundwasser-Verunreinigung.

Die so berechneten Werte liegen meist im Bereich des niedrigsten Beurteilungswertes im HLUG-Handbuch [4] (Benzo(a)pyren: 1 mg/kg) bzw. darunter und entsprechen damit einem konservativen Bewertungsansatz. Die Stoffe mit vergleichsweise niedrigen Werten haben auch eine geringe Tendenz sich in organischem Material anzureichern. Weiterhin ist der TOC-Gehalt in den untersuchten Bodenproben vom Standort entsprechend den meist sandig kiesigen Böden niedrig. Daher ist auch das Rückhaltepotential für organische Stoffe am Standort als gering einzustufen.

## 7 Fazit

Die entwickelte Methodik wurde durch das Regierungspräsidium Darmstadt und das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie geprüft und akzeptiert. Der Ableitung von Beurteilungswerten ohne eine spezifische toxikologische Bewertung, sondern basierend auf Verteilungskoeffizienten, konnte zugestimmt werden. Die toxikologische Wirkung der Schadstoffe wird bereits in der Herleitung berücksichtigt, da die Sanierungszielwerte für das Grundwasser auf der Grundlage der Umweltqualitätsnormen (OGewV [3]) festgelegt wurden, die wiederum auf toxikologischen Studien basieren. Über die Verteilungskoeffizienten und den Einmischfaktor wird abgeschätzt, welche Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser und im Grundwasser erreicht werden.

Die Methode ermöglicht für Altstandorte eine einzelfallbezogene Ableitung von Beurteilungswerten zur Bewertung des Wirkungspfades Boden - Grundwasser für solche Schadstoffe, für die bisher keine Prüfwerte verfügbar sind. Durch die Anwendung

## 6.4 Limitierungen der Ableitungsmethode

Da standortspezifische Eingangsdaten (Tab. 1) in die Berechnung eingehen, sind die hier bestimmten Beurteilungswerte für Boden nicht direkt auf andere Standorte oder Schadensfälle übertragbar. Es sind im Einzelfall Neuberechnungen erforderlich.

Zusätzlich ist der  $K_{oc}$ -Wert abhängig von der Matrix (Boden, Auffüllung), in der die Schadstoffe gebunden sind. Für bestimmte Substanzgruppen ist der Wert auch abhängig vom pH-Wert in der Bodenlösung. Diese Rahmenbedingungen sind bei der Auswahl der Literaturwerte zu berücksichtigen.

Wie bereits erläutert, berücksichtigt der vorgestellte Ableitungsweg allein chemische Stoffeigenschaften bezüglich des Verteilungsgleichgewichtes zwischen Boden und Wasser. Das biologische Abbaupotential der einzelnen Stoffe oder deren Gemische sind gesondert zu bewerten.

des konzeptionellen Modells können standortspezifische Stoffkonzentrationen im Boden festgelegt werden, oberhalb derer eine Beeinträchtigung des Grundwassers bei Sickerwassereintrag zu erwarten ist.

Im Fall des vorgestellten Standortes wurde das Sondiergitter durch die Berechnung eines Thiesen-Polygon-Netzes in die Fläche umgelegt. Somit konnten die Analysenergebnisse bodenmeterweise über die Fläche eingestuft und ausgewertet werden. Durch Anwendung der im HLUG-Handbuch [4] verfügbaren und der abgeleiteten Beurteilungswerte für Schadstoffgehalte im Boden ließ sich die zu betrachtende Fläche auf 21 ha (rund 60 % der Gesamtfläche) eingrenzen.

Die Anwendung der Beurteilungswerte erfolgt mit dem Ziel sicherzustellen, dass ein weiterer Schadstoffeintrag in das Grundwasser weitgehend unterbunden wird. Dazu sollen mittels der vorgestellten Methodik Hotspots identifiziert werden, die aufgrund von Art, Menge und Lage der Schadstoffe zu einer

weiteren Belastung des Grundwassers beitragen können. Nach der Gefährdungsbeurteilung muss anschließend für jeden dieser Hotspots die passende Sanierungs- oder Sicherungsmethode gefunden werden.

Mit den hergeleiteten standortspezifischen Beurteilungswerten erhält die Bodenschutzbehörde ein Werkzeug für ein abgestuftes Vorgehen, da ein quantitatives Kriterium zur Verfügung steht, um bewerten zu können, welche Restbelastungen toleriert werden können. Eine komplette Aushubsanierung und Wiederverfüllung mit unbelasteten Böden wäre im vorliegenden Fall aufgrund der hohen Kosten und des hohen Ressourcenverbrauchs weder verhältnismäßig noch ökologisch sinnvoll.

Mit der Kenntnis der Lage und Ausdehnung der Bereiche, in denen auch künftig ein weiterer Eintrag

ins Grundwasser mit Konzentrationen oberhalb der festgelegten Sanierungszielwerte erfolgen kann, kann eine Gesamtstrategie für das Gelände aufgestellt werden, die folgende Maßnahmen einschließen kann:

- Sanierung oder Einkapselung der Hotspot-Bereiche
- weitgehende Versiegelung der weniger stark verunreinigten Bereiche
- ggf. Nutzungseinschränkungen oder Sicherungsmaßnahmen hinsichtlich des Pfades Boden - Mensch
- Fortführung der Grundwassersicherung

Eine Aufteilung des Werksgeländes in verkehrsfähige Einzelgrundstücke wird somit möglich.

## 8 Literatur

- [1] Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), 17.03.1998
- [2] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), 12.07.1999
- [3] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV), 20.07.2011
- [4] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2002): Handbuch Altlasten, Band 3 Teil 3; Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden - Grundwasser. Sickerwasserprognose.
- [5] Engeser, B. (2012): Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, GeoBerichte 22: Ermessensleitende Kriterien bei der Bearbeitung altlastbedingter Grundwassergefahren und -schäden.
- [6] Utermann, J. & Frauenstein, J. (2012) Weiterentwicklung der materiellen Maßstäbe für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser im Kontext der Novellierung der BBodSchV.
- [7] <http://www.epa.gov/tsca-screening-tools/epi-suitetm-estimation-program-interface>



# Beurteilung eines Deponieabstroms mit Hilfe von ökotoxikologischen Testverfahren

KARIN TEICHMANN & NINA MENKE

Gerade große Deponien stellen zuweilen die Altlastenbearbeitung hinsichtlich einer Gefahrenbeurteilung oder einer sinnvollen Auswahl einer Sanierungsmethode vor große Probleme. Gegenüber Altstandorten, bei denen Schäden eher nur durch eine oder wenige Stoffgruppen verursacht wurden, enthalten Deponiekörper meist ein größeres Stoffgemisch, das zudem heterogen verteilt ist. Über die Zeit werden kontinuierlich Schadstoffe in Abhängigkeit des jeweiligen Abdichtungszustands mit bestimmter Fracht an die Umwelt abgegeben. Häufig liegen die Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser-Unterstrom dieser Deponien oberhalb der Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS), aber in einer Größenordnung, die in der Einzelfallbewertung nicht für ein Sanierungserfordernis als ausreichend angesehen wird. In anderen Fällen (wie in dem hier im Folgenden beschriebenen) sind sinnvolle technische Sanierungsmethoden als unverhältnismäßig zu betrachten. In der Praxis werden diese Deponien häufig Jahrzehnte lang mittels chemisch-analytischer Überprüfung von Grundwasserproben überwacht. Da der Stoffaustrag aus dem Deponat nur sehr langsam erfolgt und bei sehr großen Deponien quasi unendlich Nachschub vorhanden ist, geschehen hinsichtlich der Altlastensituation auf sehr lange, nicht absehbare Zeit keine entscheidenden Veränderungen. Inwieweit diese auf lange Zeit an das Grundwasser abgegebene Schadstofffracht tolerierbar ist oder eine

Gefahr darstellt, wird bisher über den Vergleich mit den humantoxikologisch und/oder ökotoxikologisch abgeleiteten GFS beurteilt. Wünschenswert wäre es, mittels einer zusätzlichen Methode sicherer und schneller eine Entscheidung hinsichtlich der Gefahrenbeurteilung an der Hand zu haben.

Diese Lücke will die Anwendung von ökotoxikologischen Testverfahren schließen. Mittels einer Testbatterie mit mehreren Testverfahren soll die direkte Wirkung der Schadstoffe auf unterschiedliche Lebensfunktionen von ausgewählten Testorganismen im betroffenen Lebensraum überprüft werden. Es sollen dabei die Wirkungen der eluierten Schadstoffe auf die biologischen Funktionen von Organismen modellhaft untersucht werden. Mit einer Studie des Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie über „Ökotoxikologische Verfahren als Bewertungshilfe bei Altlastenverfahren“ wurde eine Methodik sowie ein Bewertungsmaßstab vorgestellt, die in der Praxis eine Unterstützung der bisher genutzten chemisch-analytischen Beurteilung darstellen kann. Auch bisher unbekanntes, weil nicht untersuchte Schadstoffe sowie Wechselwirkungen von Schadstoffgemischen können über die ökotoxikologischen Wirkungen mit erfasst werden. Im Folgenden soll ein aktuelles Beispiel für die Anwendung dieser Bewertungshilfe in der Praxis vorgestellt werden.

## Deponiestandort und hydrogeologische Situation

Die hier beispielhaft vorgestellten Untersuchungen betreffen insgesamt fünf nebeneinander liegende Deponien, die gewerbliche Abfälle eines großen Unternehmens ab 1967 bis in die 80er Jahre aufnahmen. Aufgrund von Entsorgungsengpässen in den 60er

Jahren wurde die Ablagerung der Abfälle in extra dafür ausgehobenen Gruben im Vorland eines Flusses vorgenommen. Die Aushubtiefe der Kiesgruben erreichte maximal 6 m, davon ca. 2,5 m bis 3,0 m innerhalb der grundwassergesättigten Zone. Das



ser könnten zudem Abfälle fortgespült werden. Nach Beendigung der Verfüllung umfasste der Deponiebereich eine Fläche von ca. 50.000 m<sup>2</sup> bzw. ein Volumen von ca. 250.000 m<sup>3</sup>. Die Deponieflächen erhielten eine oberflächliche Abdeckung mit

Boden in einer Stärke zwischen 0,20–0,50 m. Die sowohl im Überschwemmungs- als auch im Landschaftsschutzgebiet liegenden Flächen sind seitdem Grasland und werden im Wesentlichen von Spaziergängern genutzt.

## Bisherige Überwachung und Sanierung der Deponien

Die während der Ablagerungszeit bereits unregelmäßig ausgeführte Überprüfung des Grundwassers wurde ab 1987 viertel- bis halbjährlich über ein Messstellennetz fortgesetzt. Es zeigten sich im Verlauf des Monitorings deutliche Überschreitungen der damals gültigen GwVwV:

Tab. 1: Stoffkonzentrationen im Grundwasser 1995

Schadstoff	größter Messwert	Orientierungswert GwVwV/ Prüfwert
Zink	3.300	1.000
Arsen	80	50
Phenolindex	280	100
KW (H18)	690	200
AOX	140	100
Cyanide	21	10
PAK	0,22	0,20

Die von den Deponien nachweislich ausgehenden, als erheblich eingestuftes Verunreinigungen wurden als Gefährdung für das Grundwasser und auch insbesondere für das Oberflächengewässer angesehen und die Anlagen 1992 gemäß § 18 HAbfAG förmlich zur Altlast erklärt. Mit der gleichzeitigen Errichtung einer Wasseraufbereitungsanlage auf dem Firmengelände wurde seit 1995 mittels eines Brunnens M3 und später über einen zweiten Brunnen MA 9 das Grundwasser unter den Deponien abgepumpt und über einen Absenktrichter eine Abstomsicherung aufrecht erhalten. Über die beiden Brunnen wurden jährlich ca. 15.000 m<sup>3</sup> Grundwasser gefördert. Eine Trendentwicklung über eine Abnahme der Schadstoffe ließ sich bisher für den Abstrom nur für organische Stoffe aus den Überwachungswerten ablesen. Die Ergebnisse belegten weiterhin den Austrag von Schadstoffen aus dem Deponat über den Grundwasserspfad.

## Neue Untersuchungen des Deponieabstroms und des Oberflächengewässers

Aufgrund neuer Nutzungspläne für die Deponieflächen wurde im Jahr 2012 beschlossen, eine neue Erkundung des Deponie-Inventars und des Schadstoffpotentials zu veranlassen. Anhand der Ergebnisse sollte eine neue Gefährdungsabschätzung sowie Variantenüberlegungen zur Optimierung des derzeit betriebenen pump & treat angestellt werden.

Die Verteilung der Schadstoffkonzentrationen über die Deponieflächen stellte sich als vollkommen heterogen heraus, so dass keine „hot spots“ zu finden waren, die für einen kleinräumigen Aushub geeignet gewesen wären.

Für das Grundwasser wurde zusätzlich zu den Stan-

darduntersuchungen, wie die chemische Analyse von Wasserproben, das Untersuchungsprogramm auf die Untersuchung von Proben aus dem Vorfluter erweitert. Weiterhin wurde verabredet, nicht nur chemische Analysen, sondern in diesem Fall auch ökotoxikologische Tests auszuführen, um den Übergang des Grundwassers in das Oberflächengewässer bewerten zu können. Der Wirkungspfad von den Deponien über das Grundwasser und das hyporheische Interstitial in das Oberflächengewässer wurde bisher noch nicht betrachtet. Gerade aufgrund der Lage der Deponien in unmittelbarer Nähe zum Fluss sollte aber dieser Wirkungspfad auf das Schutzgut Ober-

**Tab. 2:** Berechnete Konzentrationen im Flusswasser aus berechneten Schwermetallfrachten der Deponien

Parameter	Frachtab-schätzung [g/Jahr]	Ablussmittelwert (2000–2007) Flusstation X [l/s]	ber. Konzentration resultierend aus Deponie [µg/l]	Konzentration an Flusstation X [µg/l]	Anteil ber. Konzentration am Gesamtgehalt im Flusswasser [%]
Zink	726	220.000	0,0001046420	37	0,00028
Blei	260	220.000	0,0000374752	3,5	0,00107
Kupfer	4.419	220.000	0,0006369340	8,8	0,00724
Nickel	2.651	220.000	0,0003821000	4,5	0,00849

flächengewässer besondere Berücksichtigung finden. Die Erkundung beinhaltete die Errichtung von vier neuen Messstellen in einer Ebene innerhalb des ca. 80 m breiten Areals zwischen den Deponien und dem Flussufer.

Die Ergebnisse der neuen Abstromuntersuchung bestätigten, dass durch die Deponien eine Aufkonzentrierung insbesondere der Schadstoffe Arsen, Nickel, Blei, BTEX, PAK, MKW und LHKW gegenüber dem Oberstrom stattfindet.

Neben der Bestimmung der Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser wurde auch eine Betrachtung der Schadstofffrachten, die über das Grundwasser in das Oberflächengewässer gelangen, vorgenommen. In der Tabelle 2 sind für ausgewählte Parameter die worst-case-Abschätzungen der ausgetragenen Schadstofffrachten aufgeführt.

Die Berechnungen zeigen, dass überschlägig nur ein sehr geringer Anteil (max. 0,00 9 %) der im Flusswasser gemessenen Konzentrationen aus den Deponiesickerwässern stammt.

Das Untersuchungsprogramm für die ökotoxikologischen Tests wurde anhand der Vorschläge des Handbuchs des HLNUG „Ökotoxikologische Verfahren

als Bewertungshilfe bei Altlastenverfahren“ aufgestellt. An zwei Stichtagen, je einmal bei effluenten und influenten Verhältnissen, wurden Wasserproben an folgenden Stellen entnommen:

- Grundwasser: 4 Abstrommessstellen (M1/15, M2/15, M3/15, M4/15),
- Grundwasser: 1–2 Oberstrommessstellen (M1/91, M2/92),
- Oberflächengewässer: 1 Stelle in Ufernähe Oberstrom (OGW 1),
- Oberflächengewässer: 1 Stelle in Ufernähe Abstrom (OGW 2),
- Oberflächengewässer: 1 Flussmitte (OGW 3).

Für die ökotoxikologischen Tests wurde eine Testbatterie aus folgenden normierten Verfahren zusammengestellt. Diese Testverfahren geben Aufschluss über die akuten oder chronischen Wirkungen von Schadstoffen auf Organismen aus verschiedenen Ebenen in der Nahrungskette (Primärproduzenten, Konsumenten, Destruenten). Die Testorganismen wurden außerdem so ausgewählt, dass sie verschiedene Entwicklungsstufen vertreten.

**Tab. 3:** Testbatterie

Testverfahren	Untersuchungszweck
<b>Fischeitest</b>	Bestimmung der akuten Toxizität, Wirkung auf Konsumenten höherer Ordnung
<b>Daphnientest</b>	Bestimmung der akut toxischen Wirkung gegenüber filtrierenden Wasserorganismen, Konsumenten niederer Ordnung
<b>Algentest</b>	Bestimmung der Hemmwirkung auf das Chlorophyll abhängige Wachstum bei Primärproduzenten
<b>Leuchtbakterientest</b>	Bestimmung der Hemmung auf den bakteriellen Stoffwechsel
<b>umu-Test</b>	Bestimmung des erbgutverändernden Potential
<b>Daphnien-Langzeittest</b>	Bestimmung der chronisch toxischen Effekte auf Wachstum und Vermehrung bei Konsumenten niederer Ordnung

Diese Tests werden bereits seit längerem in verschiedenen Sachgebieten, wie z.B. zur Beurteilung der Gewässerqualität eingesetzt. Mit diesen für Oberflächengewässer etablierten Testverfahren werden Lebensfunktionen überprüft, die bei Organismen in Grund- und Oberflächengewässern grundsätzlich gleich ablaufen. Da zudem im Grund- und Oberflächenwasser vergleichbare taxonomische Gruppen anzutreffen sind, kommt die Studie des Hessischen

Landesamt für Umwelt und Geologie über „Ökotoxikologische Verfahren als Bewertungshilfe bei Altlastenverfahren“ zu dem Schluss, dass eine Anwendung der etablierten Testverfahren auch auf Grundwasserproben sinnvoll sein kann. Im vorliegenden Fall wurden die Testverfahren daher eingesetzt, um toxische Wirkungen der vom Deponat ausgehenden Schadstoffe auf Organismen im Grundwasser und auch im Oberflächengewässer zu beurteilen.

## Ergebnisse der ökotoxikologischen Untersuchungen

Die erste Stichtagsmessung fand im Juli 2015 statt. Aufgrund großer Trockenheit lagen über längere Zeit und während der Beprobung influente Verhältnisse vor. Datenlogger, die innerhalb einiger Messstellen installiert waren sowie monatliche Wasserstandsmessungen in den anderen Messstellen gaben ausreichend genaue Angaben über die jeweilige Fließrichtung des Grundwassers.

Die Ergebnisse der ökotoxikologischen Testverfahren der ersten Beprobungskampagne sind in der folgenden Tabelle 4 aufgeführt. Sie werden jeweils in G-Werten angegeben und bezeichnen diejenige Verdünnungsstufe, in der kein toxischer Effekt der Probe auftrat. Die unverdünnte Wasserprobe entspricht dabei G 1, außer beim umu-Test und beim Leuchtbakterientest. Bei letzteren Tests führt das Einbringen der Testorganismen in die Originalprobe

bereits zu einer Verdünnung, so dass der niedrigste Wert  $G_{EU} = 1,5$  und  $G_L = 2$  beträgt.

Somit konnte in den Proben aus dem Oberflächengewässer mit keinem Testverfahren ein toxischer Effekt festgestellt werden. Im Grundwasser zeigten die unverdünnten Proben von Fischeitertest, Daphnien-Akutttest und umu-Test keine Auswirkungen. Toxische Wirkungen im Algentest waren in den Proben aus der Oberstrommessstelle M 1/91 und zwei Abstrommessstellen zu finden sowie in der Abstrommessstelle M 4/15 im Leuchtbakterientest. Drei Grundwasserproben wurden außerdem dem Langzeit-Daphnientest ausgesetzt. Der größte Effekt war in der Oberstrommessstelle M 1/91 nachweisbar mit 70,8 % Hemmung der Reproduktion.

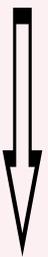
**Tab. 4:** Ergebnisse der ökotoxikologischen Testverfahren, 1. Beprobungskampagne (influyente Verhältnisse)

Messpunkt	Fischeit-test	Daphnien-test, akut	Leucht-bakterien-test	umu-Test	Algen-test	Daphnien-test, chronisch	Fließrichtung GW
	$G_{Ei}$	$G_D$	$G_L$	$G_{EU}$	$G_A$	G	
M 1/91	1	1	2	1,5	6	10	 Vorfluter
M 1/15	1	1	2	1,5	6		
M 2/15	1	1	2	1,5	1	1	
M 3/15	1	1	2	1,5	6		
M 4/15	1	1	4	1,5	1	1	
OGW 1 (Anstrom)	1	1	2	1,5	1	1	
OGW 2 (Abstrom)	1	1	2	1,5	1		
OGW 3 (Flussmitte)	1	1	2	1,5	1		

Die zweite Beprobungskampagne fand unter effluenten Verhältnissen Ende Januar 2016 statt (siehe Tabelle 5). Die Ergebnisse der Testverfahren für die akute Toxizität bestätigten im Wesentlichen das Bild aus der ersten Beprobungskampagne. Alle Tests zeigten keine Wirkungen in der niedrigsten Verdünnung, außer der Probe aus der Abstrommessstelle M 1/15 im Fischeitertest mit der Stufe  $G_{Ei}$  2. Die Ergebnisse der Tests für die chronische Toxizität

führten bei zwei Proben aus der Abstrombrunnengalerie zu Irritationen, da hier bei höheren Verdünnungsstufen eine verstärkte Hemmung der Reproduktion eintrat. Diese Ergebnisse sind zunächst nicht interpretierbar, so dass sie in der Tabelle 5 mit „???“ gekennzeichnet wurden. Durch das beauftragte Laboratorium wurden die Versuche wiederholt und die Ergebnisse stellten sich als gesichert und reproduzierbar heraus.

**Tab. 5:** Ergebnisse der ökotoxikologischen Testverfahren, 2. Beprobungskampagne (effluente Verhältnisse)

Messpunkt	Fischeitertest	Daphnientest, akut	Leuchtbakterientest	umu-Test	Algentest	Daphnientest, chronisch	Fließrichtung GW
	$G_{Ei}$	$G_D$	$G_L$	$G_{EU}$	$G_A$	$G$	
M 1/91	1	1	2	1,5	1	> 10	 Vorfluter
M 2/91	1	1	2	1,5	1	5	
M 1/15	2	1	2	1,5	1	???	
M 2/15							
M 3/15	1	1	2	1,5	1	10	
M 4/15	1	1	2	1,5	1	???	
OGW 1 (Anstrom)	1	1	2	1,5	1	1	
OGW 2 (Abstrom)	1	1	2	1,5	1	1	
OGW 3 (Flussmitte)							

## Bewertung der ökotoxikologischen Untersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse betreffen hier die Wirkungen auf zwei unterschiedliche Schutzgüter, Grundwasser und Oberflächengewässer, die aber dennoch stark miteinander verbunden sind. Gemäß dem Vorschlag des HLNUG stellt das Grundwasser in der Regel ein sensibleres Ökosystem als ein Oberflächengewässer dar. Grundwasserproben sollen deshalb nur in einem Testverfahren innerhalb der Testbatterie maximal in der ersten Verdünnungsstufe akut toxische Wirkungen zeigen. Wirkungen in höheren Verdünnungsstufen werden als Schädigung des Ökosystems gewertet.

In der Tabelle 6 sind die Ergebnisse der ökotoxikologischen Tests dem Bewertungsmaßstab gegenübergestellt.

Durch den Vergleich der Daten in der Bewertungsmatrix wird deutlich, dass die in zwei Messstellen im Deponieabstrom erhaltenen Ergebnisse des Algentests limitierend sind. Andererseits wurden sie nur innerhalb einer Beprobungskampagne gemessen und dabei gleichzeitig in der Ober- und der Unterstrommessstelle.

Für die Bewertung des Eintrages aus den Altablagerungen über den Grundwasserpfad in das Oberflächengewässer wurde gemäß dem HLNUG-Handbuch eine Beurteilung des hyporheischen Interstitials vorangestellt. Dieses spielt für den guten ökologischen Zustand des Flusses eine wesentliche Rolle. Es stellt den empfindlichsten Teil des Gewässers dar, so dass es hinsichtlich Schadstoffeinträge auch für die geringste Toleranzgrenze verantwortlich sein soll.

Tab. 6: Bewertungsmatrix

Test	Bundeswasserstraßen / große Fließgewässer	kleine und mittlere Fließgewässer	Grundwasser	Oberflächengewässer	Grundwasser-Oberstrom	Grundwasser-abstrom
	Exfiltration Baggergut	Eintrag von Schadstoffen aus Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen		Höchste gemessene Verdünnungsstufe aus 1. und 2. Beprobungskampagne		
<b>Fischarttest</b>		G <sub>Ei</sub> 2	G <sub>Ei</sub> 2	G <sub>Ei</sub> 1	G <sub>Ei</sub> 2	G <sub>Ei</sub> 2
<b>Daphnientest</b>	G <sub>D</sub> 5-8	G <sub>D</sub> 3	G <sub>D</sub> 2	G <sub>D</sub> 1	G <sub>D</sub> 1	G <sub>D</sub> 1
<b>Algentest</b>	G <sub>A</sub> 4-8	G <sub>A</sub> 3	G <sub>A</sub> 2	G <sub>A</sub> 1	G <sub>A</sub> 6	G <sub>A</sub> 6
<b>Leuchtbakterientest</b>	G <sub>L</sub> 4-8	G <sub>L</sub> 6	G <sub>L</sub> 4	G <sub>L</sub> 2	G <sub>L</sub> 4	G <sub>L</sub> 4
<b>umu-Test</b>		G <sub>EU</sub> 1,5	G <sub>EU</sub> 1,5	G <sub>L</sub> 1,5	G <sub>L</sub> 1,5	G <sub>L</sub> 1,5
<b>Daphnien-Langzeitest</b>				G 1	> G 10	G 10

Aus diesem Grund wurde in der Bewertungsmatrix für Gewässer mit einem guten Zustand und einem an der Exfiltrationsstelle intaktem hyporheischen Interstitial der Schwellenwert um eine Verdünnungsstufe verschärft, d.h. auf um 1 niedrigere G-Stufe verschoben.

Nach einer Begehung und weiteren Recherchen wurde der betroffene Fluss wie folgt charakterisiert:

- Bundeswasserstraße, Flussbreite > 10 m, staureguliert,
- Schifffahrt-Nutzung mit Ausbaggern der Fahrrinne,
- Flächige Exfiltration aus Landwirtschaft, industrielle Abwasser-Direkteinleitung,
- Strukturveränderte Uferzone durch Befestigung und Verbau.

Entsprechend dieser Kriterien ist davon auszugehen, dass an der Exfiltrationsstelle der Deponien kein intaktes hyporheisches Interstitial ausgebildet ist. Die

Bewertung setzt also für den Übergangsbereich von Grundwasser in das Oberflächengewässer keine ökologisch empfindlichere Zone voraus. Innerhalb der Bewertungsmatrix werden deshalb die Testergebnisse des Oberflächengewässers denen von Bundeswasserstraßen/großen Fließgewässern gegenübergestellt. Da die gemessenen Werte ohnehin keinerlei akute oder chronische Toxizität aufwiesen, lagen sie ebenfalls unterhalb der Toxizitätsschwellen für Bundeswasserstraßen/große Fließgewässer.

Die Ergebnisse der ökotoxikologischen Testverfahren sollen jetzt mit den Daten der chemisch-analytischen Messungen sowie den Frachtbetrachtungen unter Berücksichtigung der Fließrichtungen ausgewertet werden und abschließend in die Gefährdungsabschätzung für die beiden Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer einfließen. Diskutiert werden müssen dabei insbesondere die Ergebnisse aus dem Testverfahren zur chronischen Toxizität.

Unabhängig davon können aber bereits folgende Aussagen getroffen werden:

⇒ Ein intaktes hyporheisches Interstitial ist an der Exfiltrations-/Infiltrationsstelle des Flusses nicht zu erwarten.

⇒ Ein Einfluss auf die Ökotoxikologie des Fließgewässers bzw. ein aus den Ablagerungen resultierender toxischer Effekt auf das Fließgewässer lässt sich nicht feststellen.

⇒ Akut toxische Wirkungen treten im Grundwasser bisher einmalig im Algentest und dann nur gemeinsam sowohl im Ober- als auch Unterstrom der Deponien auf.

## Fazit

Mit den ökotoxikologischen Untersuchungen der deponiebürtigen Schadstoffe steht im konkreten Einzelfall ein zusätzliches, nützliches Instrumentarium zur Verfügung, mit dem ergänzend zu den altlastentechnischen Untersuchungen zusätzliche Informationen gewonnen werden und weitere Aspekte in die Gefährdungsbeurteilung einfließen

können. Die Ergebnisse der ökotoxikologischen Untersuchungen werden integriert in die Gesamtbetrachtung der Grundwassersituation auch im Hinblick auf den Schutz des Oberflächengewässers. Sie bieten dabei eine größere Sicherheit bei der Entscheidungsfindung über das weitere Vorgehen am Standort.

## Literatur

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 8 „Ökotoxikologische Verfahren als Bewertungshilfe bei Altlastenverfahren“, Wiesbaden 2014

CDM Smith Consult GmbH „Gefährdungsabschätzung für die Deponieflächen 005–009“, Alsbach 2014

# Thermische in-situ Sanierung von CKW und BTEX - Konventionelle Sanierung auf dem Prüfstand

UWE HIESTER & MICHAEL WOLF

## 1 Sanierungsaudit

### 1.1 Konventionelle Sanierung seit 1989

Auf einem Industriestandort wurden seit 1949/50 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 10-20 m<sup>3</sup> großen unterirdischen Tanks. Das TCE wurde in einer Rückgewinnungsanlage recycelt. Im Jahr 1983 wurden im 54 m tiefen Betriebsbrunnen 1 erhebliche TCE-Belastungen mit bis zu 370 µg/l festgestellt, woraufhin dieser Brunnen vom Versorgungsnetz abgetrennt wurde. Von der Unteren Wasserbehörde (UWB) wurde die Notwendigkeit von vertiefenden Untersuchungen gesehen und eine Gefährdung eines 800 m entfernten Trinkwasserbrunnens vermutet. Im Jahr 1988 wurden daher weitere Untersuchungen und Sanierungsmaßnahmen angeordnet.

Zunächst wurden 16 Sondierungen bis 2 m unter Geländeoberkante (m u. GOK) abgeteuft. Sehr hohe Belastungen stellte man in dem Bodenluftabsaugpegel BL 4 mit 136 mg/m<sup>3</sup> LCKW am TCE-Abscheider (Rückgewinnung) fest. Im Folgenden wurde die konventionelle Sanierung auf dem Motorenprüfstand eingeleitet:

Wegen der Belastungen mit TCE und BTEX-Aromaten wurde die Bodenluft in vier Absaugbrunnen in verschiedenen Kontaminationsschwerpunkten zwischen 2-10 m u. GOK mit Seitenkanalverdichtern abgesaugt. Am ehemaligen Betriebsbrunnen 1 erfolgte ab 1989 eine Grundwassersanierung. Dieser ist zwischen 14 und 54 m u. GOK alle 2 m verfiltert. Grundwasser und Kondenswasser aus der Bodenluft-

sanierung wurden über einen Stripturm, Bodenluft und Abluft des Stripturms über Aktivkohle gereinigt. Geringe Änderungen an den Anlagen wurden immer wieder vorgenommen, wenn es erforderlich wurde.

Im Jahr 1999 wurden unter Berufung auf die Grundwasser-Verwaltungsvorschrift (Gw-VwV) vom 19.05.1994 von der UWB verbindliche Sanierungsziele festgelegt, so z.B. für die BTEX-Aromaten (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol): 30 µg/l Wasser; 5 mg/m<sup>3</sup> Bodenluft und für die LHKW (leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe, u.a. TCE): 10 µg/l Wasser; 5 mg/m<sup>3</sup> Bodenluft. Wegen seiner wasserwirtschaftlichen Bedeutung und der Komplexität des Sanierungsfalls wurde dieser im Jahr 2005 von der UWB auf das RP-Darmstadt übertragen.

Die Grundwasserbelastung verringerte sich im Sanierungsverlauf 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. Die jährlichen Austragfrachten über die Bodenluftabsaugung (BLA) blieben jedoch weitestgehend konstant (Abb. 1+2).

### 1.2 Nacherkundung der Schadensherde

Der kontinuierliche Schadstoffaustrag über Jahrzehnte deutete auf eine unbekannte Schadstoffquelle mit einem erheblichen Nachlieferungspotential hin. Im Jahr 2011 riet das Regierungspräsidium zu eingrenzenden Untersuchungen. Im Rahmen eines Sanierungsaudits wurde die Effizienz der bisherigen Bodenluftabsaugung und Grundwasserreinigung überprüft.

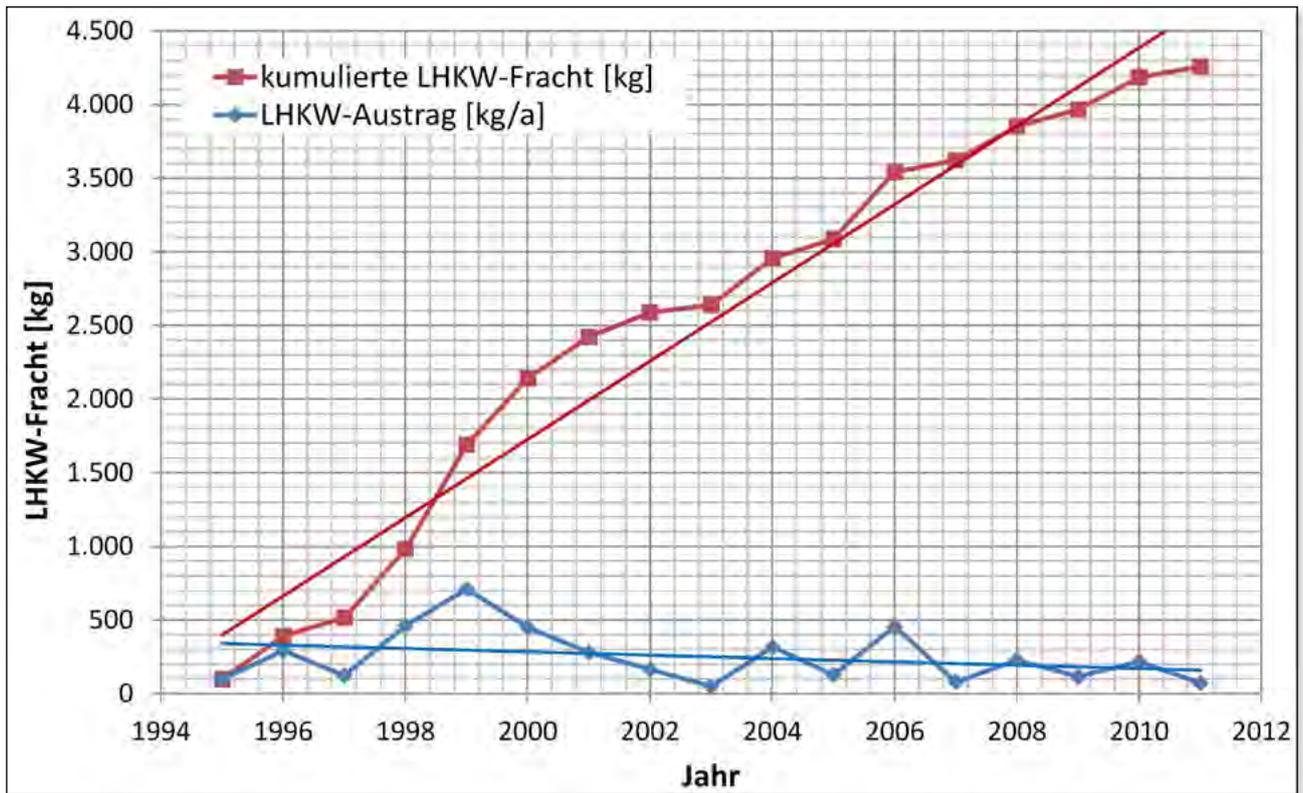


Abb. 1: LHKW-Austrag und kumulierte Fracht

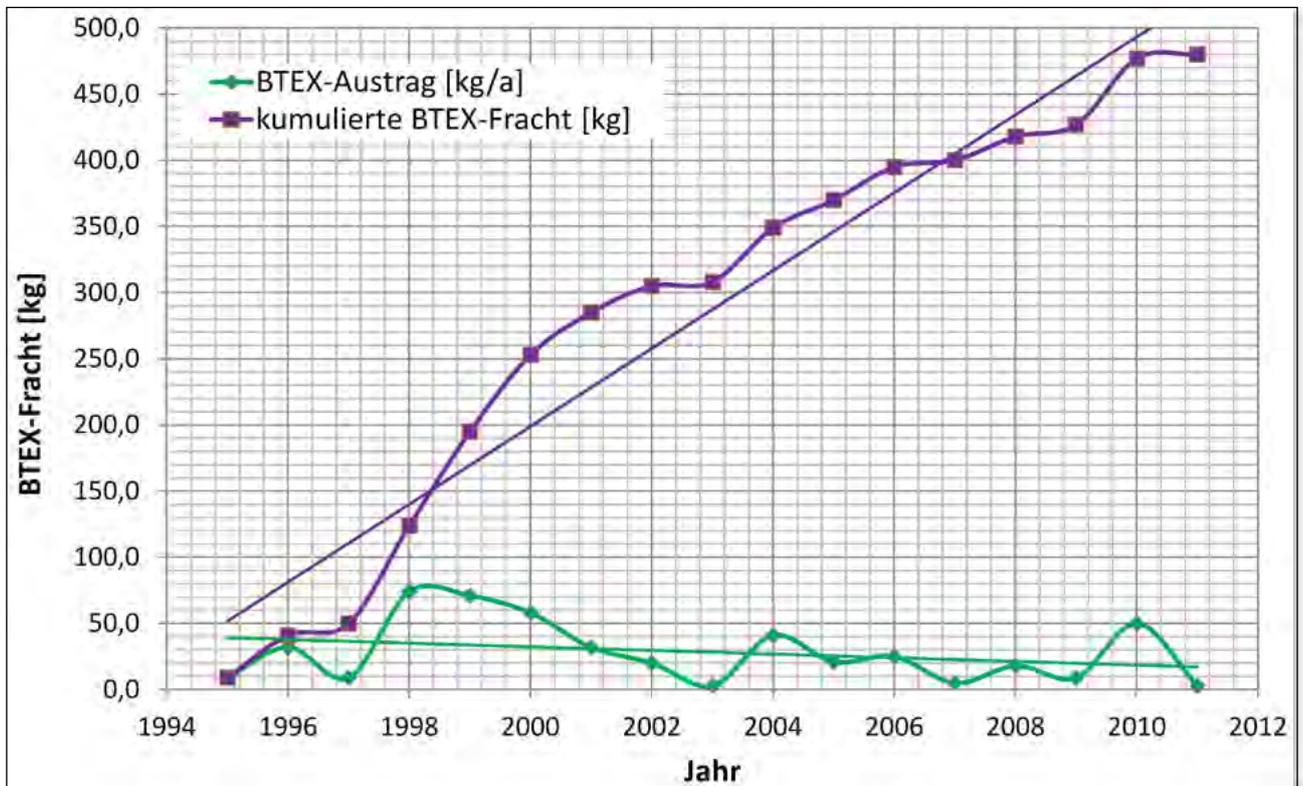
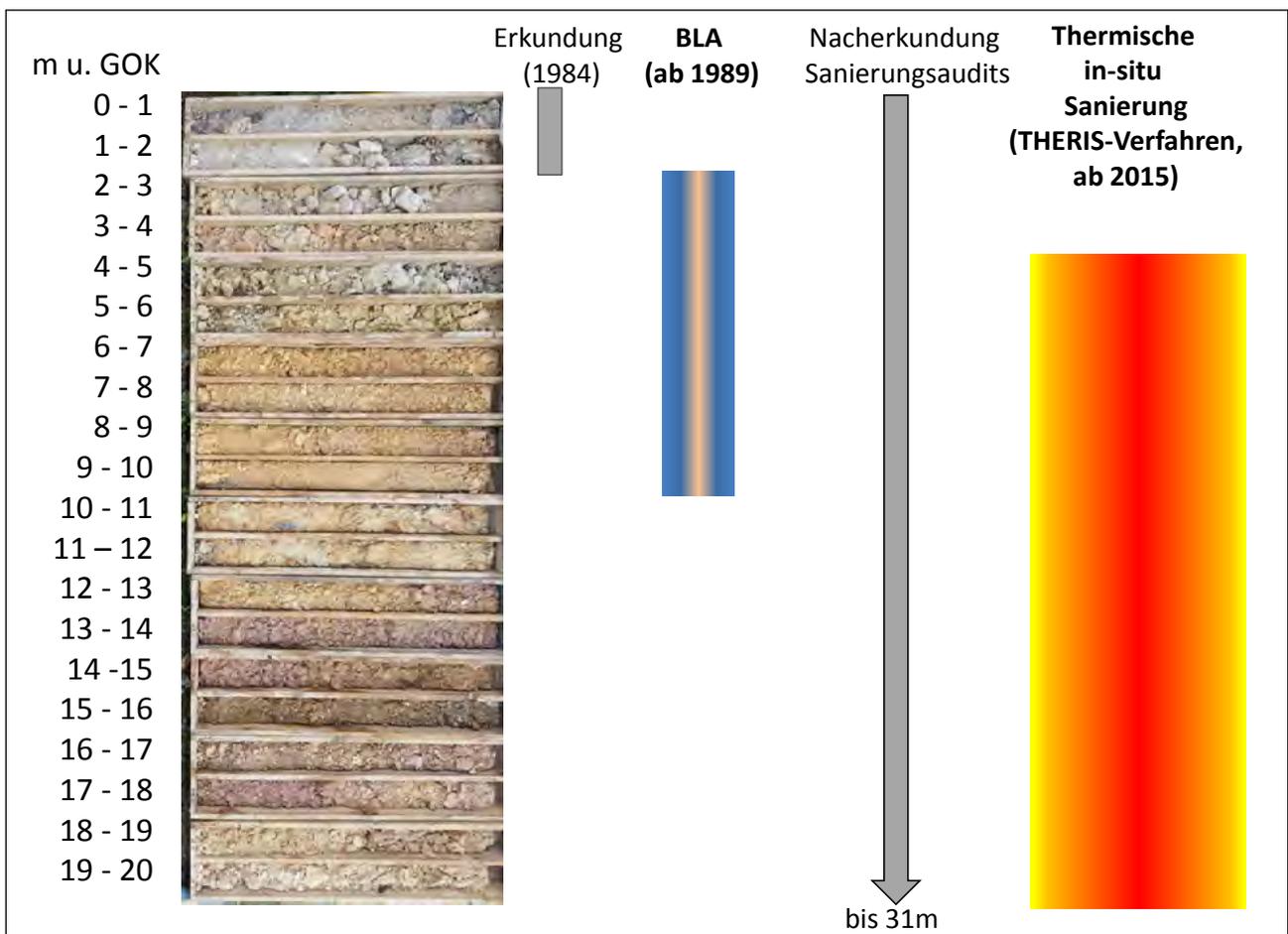
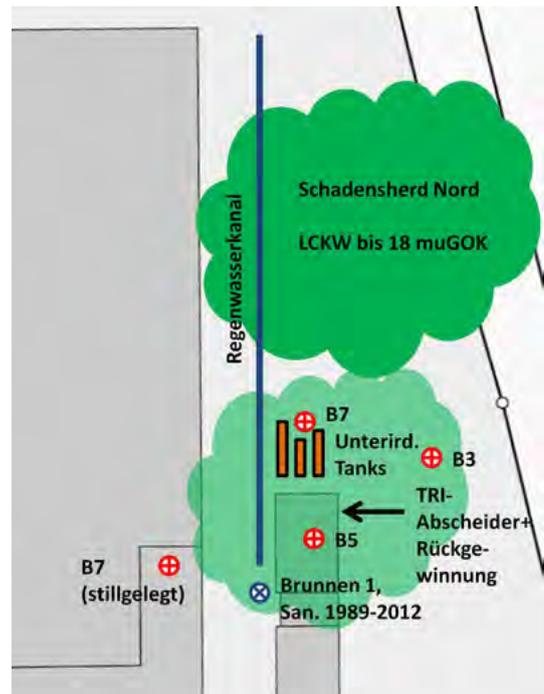


Abb. 2: BTEX-Austrag und kumulierte Fracht

**Abb. 3:** Lageplan der bisherigen Sanierungseinrichtungen und des bis dato unbekanntes Schadstoffherdes

In einem ersten Schritt wurde der bisherige Schadensherd nacherkundet. Der Bodenaufbau am Standort ist über weite Bereiche sehr ähnlich. Unter der Straßendecke befindet sich eine etwa 3 m mächtige Auffüllung, unterlagert von sandigem Ton, Schluff und Lehm. Ab etwa 13 m beginnt der Verwitterungshorizont des Schiefertons, der ab etwa 20 m in ein Klüftgestein übergeht (Abb. 4). Gespannte, wasserführende Schichten stehen ab etwa 16 m u.GOK alle 2-3 m an. Sie haben eine Mächtigkeit von etwa 0,2-1,4 m und sind durch steife Schluff- und Ton-schichten voneinander getrennt.



**Abb. 4:** Bohrkernauslage, Erkundungs- und Sanierungsbereiche

In Kombination von verschiedensten Erkundungsmethoden wie Phytoscreening, Boden-, Bodenluft- und Grundwasserbeprobungen, MIP-Sondierungen (Membrane Interface Probe) und Immissionspumpversuchen ergab sich, dass die laterale und vertikale Ausdehnung der massiven CKW- und BTEX-Verunreinigung größer war als bislang angenommen. Auch im Umfeld der bisherigen BLA-Pegel waren noch hohe Belastungen in der Bodenluft nachweisbar. Dieses deutet auf eine geringe Reichweite der Bodenluftabsaugung mit den Seitenkanalverdichtern im bindigen Boden hin.

Wasserführende Schichten in etwa 16 m unter Gelände waren lokal mit über 300.000 µg/l CKW belastet. Lokale Belastungen in den wasserführenden Schichten wurden bis in 31 m u.GOK nachgewiesen. Die Ursache dieser Verunreinigung kann nicht verifiziert werden. Das RP vermutet eine oder mehrere Havarien im Bereich eines möglicherweise undichten Regenwassersammlers als Quelle der lateralen Schadstoffausbreitung. Damit war auch klar, dass die im Jahr 1999 festgelegten Sanierungszielwerte mit den bisher eingesetzten technischen Mitteln nicht erreichbar waren. Zudem wurde ein zweiter Eintragsbereich ermittelt und in seiner Kubatur abgegrenzt.

In einzelnen Bereichen wurde oberhalb der wasserführenden Schichten eine hohe bis sehr hohe mikrobiologische Aktivität beim CKW-Abbau festgestellt. Von dieser war eine Beseitigung des Schadensherdes in absehbarer Zeit nicht zu erwarten.

## 2 Thermische in-situ Sanierung

### 2.1 THERIS®-Verfahren (feste Wärmequellen)

#### Verfahrensprinzip

Thermische Sanierungsverfahren werden bei kontaminiertem Boden und Grundwasser bei sehr unterschiedlichen Bedingungen erfolgreich eingesetzt. Die Anwendungsbereiche erstrecken sich von der Verdampfung leicht- und mittelflüchtiger Schadstoffe (z.B. CKW, BTEX) über die thermisch unterstützte

### 1.3 Neuausrichtung Sanierungskonzept

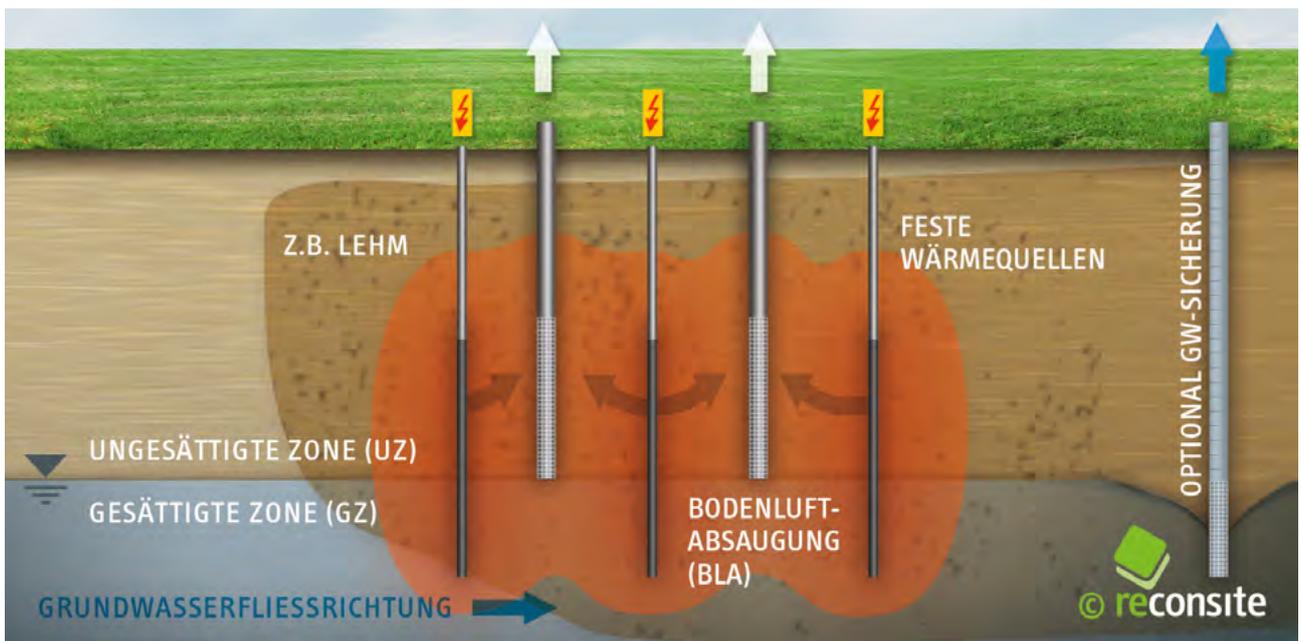
Das neu ermittelte Schadensbild verdeutlichte, dass mit der installierten Sanierungsanlage eine vollständige Erfassung des Schadens nicht möglich war. Eine Beseitigung oder dauerhafte Sicherung der hochbelasteten Schadensherde ist Voraussetzung, um die Bodenluftabsaugung und die Grundwasserreinigung dauerhaft außer Betrieb nehmen zu können.

Zur Beseitigung der hohen CKW- und BTEX-Belastung wurden unter Berücksichtigung des bisherigen Sanierungsbetriebs sowie der historischen und der neuen Erkundungsergebnisse neue Sanierungskonzepte entwickelt. Nach der Evaluierung der technischen Machbarkeit von mikrobiologischen, chemischen und physikalischen in-situ Sanierungsverfahren wurden die Varianten Bodenaustausch einschl. Großlochbohrungen, konventionelle (kalte) Bodenluftabsaugung (BLA) und thermische in-situ Sanierung (TISS) vertiefend ausgearbeitet. In der Wirtschaftlichkeitsprüfung setzte sich die TISS mit dem THERIS®-Verfahren durch. Zudem weisen TISS in Ökobilanzierungen bei Sachbilanzen und Wirkungskategorien meist geringere Werte als Bodenaustauschmaßnahmen auf [3].

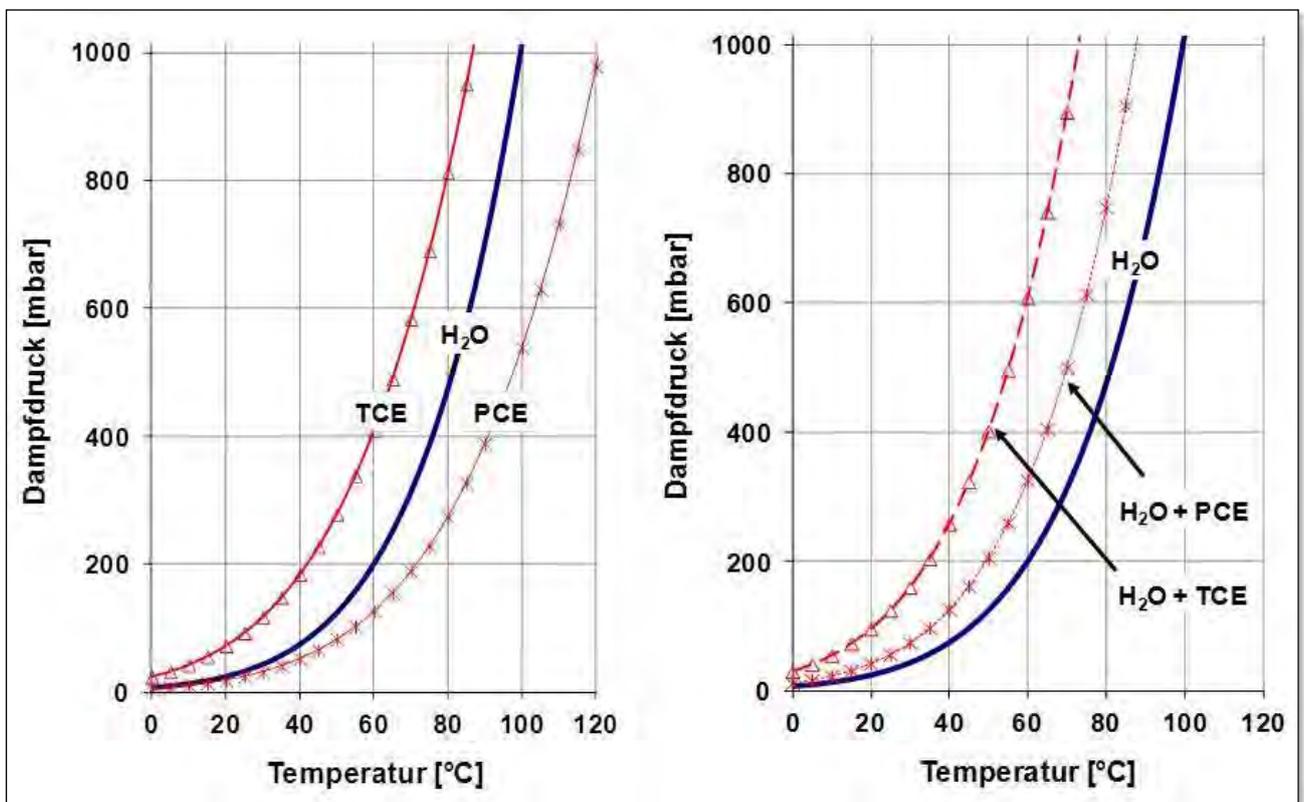
Die Entwurfsplanung wurde im April 2014, die Ausführungsplanung im August 2015 genehmigt. Das Sanierungsziel ist erreicht, wenn nach Erwärmung des Untergrundes eine weitgehende Stagnation der Schadstoffkonzentrationen festzustellen ist. Im Dezember 2015 wurde die THERIS®-Sanierung in Betrieb genommen.

Verbesserung der Ölphasenförderung (Mehrphasenextraktion u.a. MKW, Teeröl) bis hin zur Hochtemperaturanwendung (z.B. PAK, Pestizide). Die Verfahren sind sowohl in-situ als auch ex-situ, sowohl in der ungesättigten Zone als auch im Grundwasser anwendbar. Die Wahl der Heiztechnik bei in-situ Anwendungen wird maßgeblich durch die geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen dominiert [4].

Das THERIS®-Verfahren wird bei in-situ Anwendungen vornehmlich in bindigen Böden mit gerin-



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



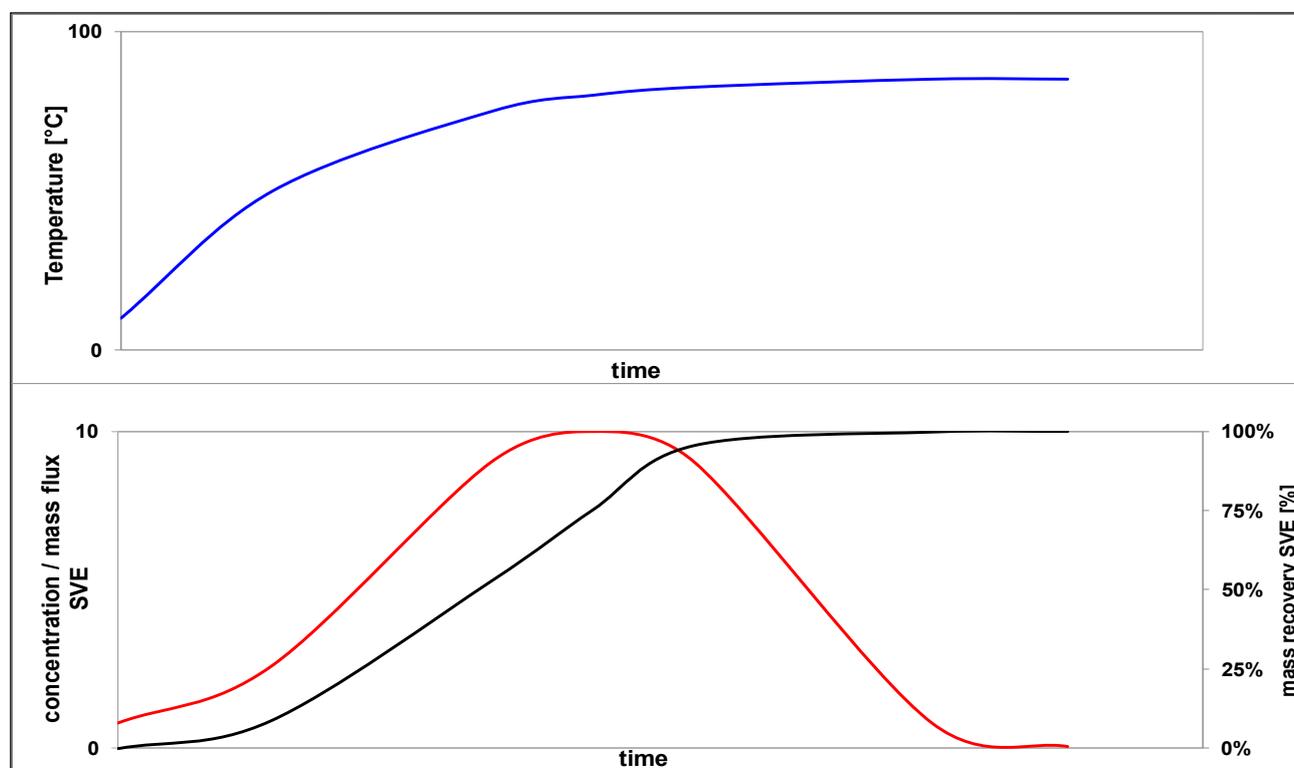
**Abb. 6:** Dampfdruckkurve von PCE, Wasser und TCE; Gemischsieden von Wasser und PCE bzw. TCE

ger Durchlässigkeit und in gering leitenden Wasserschichten eingesetzt (z.B. Schluff, Lehm, Mergel, Ton). Hierbei werden feste Wärmequellen in den Untergrund eingebaut und auf bis zu 600 °C erhitzt (Abb. 5). Über Wärmeleitung und konvektive Prozesse werden Boden und Wasser zwischen den Heizelementen erhitzt. Da der Dampfdruck exponentiell mit der Temperatur ansteigt (Abb. 6), verdampfen die leichtflüchtigen Schadstoffe etwa 10-20 mal schneller als bei einer Bodenluftabsaugung bei natürlichen Bodentemperaturen (10-15 °C).

Durch die Erwärmung im Schadensherd verdampfen zudem Wasser und Schadstoff (CKW, BTEX) zeitgleich. Dieser Prozess des Gemischsiedens wird Wasserdampfdestillation genannt. Der Siedepunkt des Wasser-Schadstoff-Gemisches liegt unterhalb der Siedepunkte seiner Einzelstoffe (Abb. 6, rechts). Zudem verringert die Bodenluftabsaugung den Absolutdruck im Boden, so dass die Schadstoffe 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 [1].

## Typischer Sanierungsverlauf

Mit steigender Temperatur erhöht sich die Konzentration der leichtflüchtigen Schadstoffe in der Bodenluft und infolgedessen der Schadstoffaustrag über die BLA. Dieser Anstieg beträgt bei CKW und BTEX, in Abhängigkeit vom Sanierungsbetrieb, bis zum 20-fachen der Ausgangsfrachten der Bodenluftabsaugung bei natürlichen Bodentemperaturen (Abb. 7) [2]. 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 [1], [6]. 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.



**Abb. 7:** Schematischer Temperaturverlauf (oben) und Entwicklung der TCE-Konzentration bzw. TCE-Fracht in der Bodenluftabsaugung sowie die sich hieraus ergebende TCE-Summenkurve

## 2.2 Thermische in-situ Sanierung von CKW und BTEX

### Sanierungskonzept

Am Standort wird ein Konzept zur thermischen in-situ Sanierung (TISS) der hoch mit CKW und BTEX belasteten Schadenszentren auf einer Gesamtfläche von etwa 3.000 m<sup>2</sup> umgesetzt. Aus der Standorterkundung sind ein oberflächennaheres und ein tiefer gelegenes Schadenszentrum zu unterscheiden. Beide Bereiche werden mit Heizelementen und zugehörigen Bodenluftabsaugbrunnen bestückt.

Ergänzend erfolgt eine hydraulische Sicherung aus mehreren Brunnen. Zur Reinigung des belasteten Wassers wird die vorhandene Stripanlage genutzt. Die Sanierungsanlage sowie sanierungsrelevante Parameter werden kontinuierlich messtechnisch überwacht und ingenieurtechnisch ausgewertet.

Aufgrund der Standortgröße ergibt sich eine höhere Wirtschaftlichkeit für die Sanierung durch eine Aufteilung in vier Teilflächen. Entsprechend werden Heiztechnik, Leitungen und Messtechnik nach Sanierung eines Teilfeldes in das nächste umgebaut. Dieses ermöglicht auch eine Reduktion der räumlichen Einschränkungen auf dem Werksgelände durch Bohrarbeiten und oberflur geführte Leitungen auf etwa ein  $\frac{3}{4}$  Jahr.

Für die Sanierung sind je Teilfläche etwa sieben Monate veranschlagt. Die Gesamtmaßnahme einschließlich Bohrarbeiten und Umbauten von einer Teilfläche zur nächsten soll in etwa drei Jahren abgeschlossen werden.

### Vorbereitende Arbeiten

Um ein zügiges Arbeiten bei den Bohrarbeiten und beim Leitungsbau für die Sanierung zu ermöglichen, wurden in einem ersten Schritt die Sanierungsbereiche für eine anderweitige Nutzung gesperrt. Hierzu mussten auf dem Werksgelände vorhandene Parkplätze und Containerstellflächen umgelegt werden. Ein bewaldeter Streifen wurde auf dem Gewerbegrundstück gerodet, um Baufreiheit für Bohrgeräte und den Leitungsbau zu schaffen. Erdverlegte Leitungen wurden für die Planung aus den verschiedenen Planunterlagen ermittelt und vor Beginn der Bohrarbeiten vor Ort eingemessen.

### Installation der Sanierungsanlage

Die Bohrarbeiten wurden in einer Kampagne für alle Teilflächen ausgeführt. Zum Einsatz kamen bis zu vier parallel arbeitende Bohrgeräte, die insgesamt über 7.000 Bohrmeter abteuften. Die Belastungen in der Luft am Bohrloch wurden mit einem mobilen PID überwacht. Insgesamt waren die organoleptischen Auffälligkeiten bei den Bohrarbeiten aufgrund der kühlen Witterung im Herbst 2015 gering.

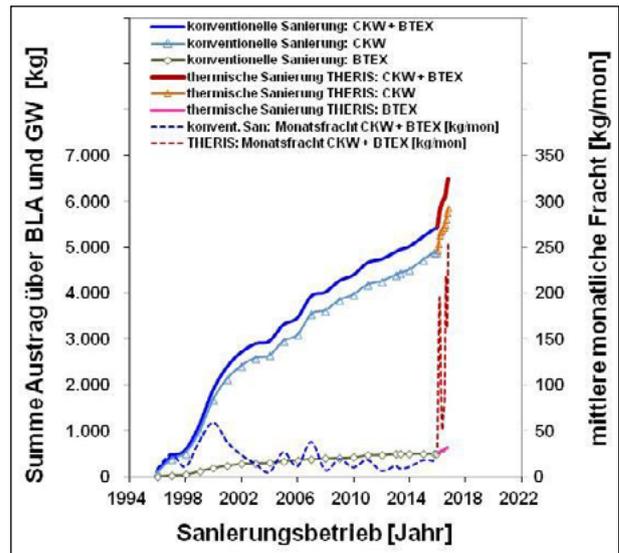
Nach Fertigstellung der Bohrungen in den ersten Teilbereichen wurde mit der Installation einer Trafostation, den zugehörigen erdverlegten Leitungen, der Heiztechnik, der Messtechnik, der Pumpen, des Leitungs- und Anlagenbaus und der Abluftreinigung begonnen. Die Bohrungen in benachbarten Teilbereichen wurden hierbei fortgesetzt, so dass die Arbeiten zwischen den einzelnen Gewerken fachgerecht koordiniert werden mussten. Zehn Wochen nach Beginn der Bohrarbeiten konnte die Sanierungsanlage in Betrieb genommen werden (Abb. 8a und 8b).

### Messtechnische Überwachung

Für einen wirtschaftlichen Sanierungsbetrieb sind die Betriebsparameter für den Heizbetrieb, die Bodenluftabsaugung und die Grundwasserreinigung aufeinander abzustimmen. Da sich die Prozesse im Sanierungsverlauf sehr schnell ändern können [5], sind sowohl der Anlagenbetrieb als auch die sanierungsrelevanten Prozesse im Boden und Grundwasser messtechnisch zu überwachen. Zur Messung von Temperaturen und Stoffströmen in der Bodenluftabsaugung und der Grundwasserförderung ist am Standort ein mobiles Umweltlabor eingerichtet. Die zu analysierenden Proben aus der Bodenluft und dem Grundwasser werden automatisiert aus verschiedenen Messstellen entnommen und vor Ort analysiert. Die Daten werden über Fernüberwachungssysteme ins reconsite-Büro Fellbach übertragen und dort ausgewertet und interpretiert. Besonders die Interpretation der gekoppelten thermodynamischen und hydraulischen Prozesse beim Mehrphasenfließverhalten und ihre Interaktion auf geotechnische und hydrogeologische Fragestellungen erfordert ein detailliertes Prozessverständnis und mehrjährige Erfahrung in der Dateninterpretation bei thermischen in-situ Sanierungen [6].

## Bisheriger Sanierungsbetrieb

In der ersten Teilfläche werden aktuell über 100 Heizelemente zeitgleich betrieben. Die Bodenluft wird über Vakuumpumpen abgesaugt und über Luftaktivkohle gereinigt. Grundwasser und Schichtwasser werden kontinuierlich gefördert und über die vorhandene Stripanlage gereinigt. In den ersten neun Monaten wurden rund 1.100 kg Schadstoff aus Boden und Grundwasser mit der thermischen in-situ Sanierung zurückgewonnen (Abb. 8b). Hiervon entfielen rund 90 % auf CKW, rund 10 % auf BTEX. Das aktuell noch vorhandene Restinventar am Standort dürfte mehrere Tonnen Schadstoff betragen.



**Abb. 8b:** Vergleich der konventionellen Bodenluftabsaugung und Grundwassersicherung mit der thermischen in-situ Sanierung (THERIS®-Verfahren): Summe CKW- und BTEX-Austrag und mittlere Schadstofffracht



**Abb. 8a:** Blick auf eine thermische in-situ Sanierung mit dem THERIS®-Verfahren (feste Wärmequellen)

### 3 Fazit

Im Rahmen eines Sanierungsaudits wurde die Effizienz einer seit mehr als 20 Jahren betriebenen Bodenluftabsaugung und Grundwasserreinigung analysiert und bewertet. Hierbei stellte sich heraus, dass die Absaugung der 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 einschließlich Nacherkundung der Schadensherde ergab sich eine Umstellung der Sanierungsstrategie hin zu einer schnellen Herdsanierung.

Hierzu wird eine thermische in-situ Sanierung mit dem THERIS®-Verfahren umgesetzt. Bedingt durch die Erwärmung des bindigen Bodens mit festen Wärmequellen verdampfen die Schadstoffe und werden gezielt über eine Bodenluftabsaugung und eine hydraulische Sicherung gefasst. Der Schadstoffaustrag in den ersten neun Monaten der thermischen in-situ Sanierung überstieg den Austrag der letzten sieben Jahre mit der früheren konventionellen, kalten Bodenluftabsaugung und Grundwassersanierung bei natürlichen Bodentemperaturen.

### 4 Literatur

- [1] R.S. BAKER, S.G. NIELSEN, G. HERON, N. PLOUG: How Effective Is Thermal Remediation of DNAP Source Zones in Reducing Groundwater Concentrations? *Groundwater Monitoring & Remediation* 36, no.1/Winter 2016/pp. 38-53
- [2] HIESTER, UWE: Technologieentwicklung zur In-situ-Sanierung der ungesättigten Bodenzone mit festen Wärmequellen. Promotionsschrift, Institut für Wasserbau, Eigenverlag (Publ.), Mitteilungsheft Institut für Wasserbau, 9.2009 (178) Universität Stuttgart, ISBN: 978-3-933761-82-8.
- [3] U. HIESTER UND V. SCHRENK: Evaluating sustainable remediation methods for brownfield redevelopment projects (BRPs). *GreenRemediation, Conference-Proceedings*, 11.2009 Copenhagen, Denmark.
- [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] U. HIESTER UND M. MÜLLER: 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] U. HIESTER UND M. MÜLLER: Thermische in-situ Sanierung (THERIS®) unter Gebäuden und Effekte auf die CKW-Belastung im Grundwasser. *Altlastensymposium 2016, GAB (Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern mbH) und altlastenforum BW (Baden-Württemberg)*. Neu-Ulm / Ulm, 22.-23.06.2016, S.110-118



# Kleiner Standort - große Herausforderung: Sanierung einer Boden- und Grundwasserverun- reinigung unter besonderen Rahmenbedingun- gen mit Dampf-Luft-Injektion

DIETER HÜLPÜSCH, VOLKER SCHRENK & OLIVER TRÖTSCHLER

## 1 Einleitung

Auf einem Grundstück in der Altstadt einer hessischen Kommune wurde in den 1950er bis in die 1970er Jahren eine chemische Fabrik betrieben. Hierbei kamen halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW), vor allem Tetrachlorethen (PCE) und Trichlorethen (TCE) als chemische Mittel für die Reinigung von Fässern zum Einsatz. Daneben wurden verunreinigte Lösemittel zur Aufbereitung destilliert.

Aufgrund des unsachgemäßen Umgangs mit den LHKW kam es zu einer massiven Kontamination des Untergrundes unterhalb der ehemaligen chemischen

Fabrik sowie zu einer Ausbildung einer Schadstoff-fahne im Grundwasser.

Weiterhin wurden bei Voruntersuchungen stellenweise Verunreinigungen des Bodens mit Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol (BTEX), Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) und polychlorierten Biphenylen (PCB) nachgewiesen.

An Schadstoffgehalten wurden im Boden LHKW bis zu 120.000 mg/kg, BTEX bis zu 11 mg/kg, MKW bis zu 5.000 mg/kg und PCB bis zu 3 mg/kg festgestellt.

## 2 Sanierungshistorie

Im Zuge von Grundstücksverhandlungen wurden auf der rund 200 m<sup>2</sup> großen Altlastenfläche, die mit einem denkmalgeschützten Gebäude bebaut und von weiteren Gebäuden eingerahmt ist, im Jahre 2002 eine Erstuntersuchung durchgeführt, die einen Altlastenverdacht auslöste.

Daraufhin wurde ein Untersuchungskonzept erarbeitet, das als nächsten Schritt eine historische Recherche und Detailuntersuchungen vorschlug. Beides wurde 2005 durchgeführt. Es folgte 2006 ein Bodenluftabsaugversuch auf der Fläche. Er hatte zum Ergebnis, dass bei einer „kalten Bodenluftabsaugung“ aufgrund der Bodenstruktur die Sanierungsdauer mehr als 15 Jahre betragen würde. Aus diesem Grund wurde nach anderen technischen Verfahren zur Sanierung gesucht.

Ferner wurden 2006 auch Raumluftmessungen auf dem Standort und in den umliegenden Häusern

durchgeführt. Da in einem Gebäude direkt über dem Schadstoffherd der Grenzwert der 2. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) für PCE überschritten ist, wurde eine Raumluftreinigung in diesem Gebäude installiert. Zudem wurde das Hessische Zentrum für klinische Umweltmedizin der Universität Gießen (HZKUM) (Professor Eickmann) kontaktiert, das im Rahmen eines Humanbiomonitorings Untersuchungen bei den unmittelbaren Bewohnern durchführte.

2007 erfolgten weitere Erkundungen der Bodenverunreinigung mittels Pumpversuchen und die Untersuchung der angrenzenden Kanaltrasse. Im Jahre 2009 wurde eine Sanierungsvariantenbetrachtung durchgeführt. Als Ergebnis seiner Variantenprüfung empfahl das Ingenieurbüro der Stadt das Verfahren der Dampf-Luft-Injektion (DLI).

Im Jahr 2010 wurde die Versuchseinrichtung zur

Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS), Universität Stuttgart damit beauftragt, zunächst eine Machbarkeitsstudie für die Anwendung des Dampf-Luft-Injektionsverfahrens durchzuführen. Aufgrund der in der Variantenbetrachtung und der Machbarkeitsstudie gewonnenen Erkenntnisse schloss die Stadt 2011 einen Ingenieurvertrag mit einem Ingenieurbüro über die Sanierungsvorbereitung und die Sanierungsphase. Nach der Erarbeitung der Entwurfs- und Genehmigungsplanung erfolgte im Februar 2012 die Sanierungsgenehmigung durch das Regierungspräsidium Darmstadt.

Es wurden die nachfolgende Zielwerte festgelegt:

#### **Boden**

- < 25 mg/m<sup>3</sup> LHKW, alternativ 10 µg/l im Eluat LHKW
- < 25 mg/m<sup>3</sup>, BTEX, alternativ 20 µg/l im Eluat BTX

#### **Grundwasser**

- < 10 µg/l LHKW, < 20 µg/l BTX und < 0,05 µg/l PCB.

### **3 Das Verfahren der Dampf-Luft-Injektion**

Die thermische In-situ-Sanierung basiert auf der Injektion eines Wasserdampf-Luft-Gemisches in die Sickerwasserzone unterhalb bzw. auf Höhe des Schadenszentrums. Eine simultane Injektion in den Grundwasser und Schichtwasserbereich (teilgesättigte Zone bzw. ungesättigte Zone) ist standortbedingt, s. Abbildung 1.

Die Schadstoffe werden infolge der sich um die Injektionsbrunnen im Idealfall radialsymmetrisch ausbreitenden Dampf- und Wärmefronten verdampft. Die mit dem Dampf injizierte Luft trägt die Kontaminanten dann gasförmig in Richtung der ungesättigten Zone aus. In Folge der Auftriebskräfte werden simultan und systemimmanent die gesättigte und ungesättigte Zone behandelt. Die gaseitige Entfernung der Schadstoffe aus der ungesättigten Bodenzone erfolgt über eine Bodenluftabsaugung (BLA), s. Abbildung 1.

Das Verfahren ist grundsätzlich für mitteldurch-

lässige Böden geeignet. In der ungesättigten Zone können mittel- bis gutdurchlässige Böden in kurzen Zeiträumen behandelt werden.

Mit Erwärmung der gesättigten Zone und der Schichtwasserzone erfolgt auch eine erhöhte Lösung der Schadstoffe im Grundwasser. Ein Betrieb einer hydraulisch wirksamen Grundwassersicherung ist am Standort aufgrund der Durchlässigkeiten und geringen Mächtigkeit nur erschwert möglich. Zur Erfassung des Kondensats, Grundwassers sowie Sicker- bzw. Schichtwässer werden spezielle Pumpen eingesetzt.

Durch die Injektion einer Dampf-Luft-Mischung beginnen die Schadstoffe bereits bei Temperaturen unterhalb der Dampftemperatur des Wassers von 100 °C, der Gemisch-Siedetemperatur zu sieden (Wasserdampfdestillation). Im Falle eines am Standort anzutreffenden TCE-PCE-Gemischs liegt die Gemisch-Siedetemperatur bei 82 °C.

### **4 Die Pilotanwendung und Behandlung der nördlichen Schadensfläche**

Vor Beginn der Dampf-Luft-Injektion wurde die pneumatische Sicherung des Standorts über einen Gastracerversuch nachgewiesen.

Zur Sanierung wurden 8 Injektionsbrunnen (I1–I8, Verfilterung 4–14 m u. GOK) sowie 12 Bodenluftabsaugbrunnen (E1–E12, Verfilterung 2–14 m u. GOK) abgeteuft. Eine oberflächennahe Drainageleitung

mit aktiver Bodenluftabsaugung dient zusätzlich der pneumatischen Sicherung.

Über die Injektionsbrunnen I1 und I2 wurde im Rahmen der Pilotanwendung ein Dampf-Luft-Gemisch mit 40–60 kW Wärmeleistung eingeblasen, die Extraktionsbrunnen E1(K), E2(K), E3(K), I4(E), E6, E7(K), E8(K), E9(K), E10, I3 und I8 (s. Lageplan,

Abbildung 2) dienen der Absaugung der Bodenluft. Zusätzlich wurden aufsteigende Dämpfe bzw. Bodenluft über die oberflächennahe Drainageschicht abgesaugt. Aus 7 Brunnen wurde das Sicker- und Grundwasser gefördert, s. Abbildung 2. Die Injekti-

onsleistung lag bei 40–60 kW über zwei Injektionsbrunnen, die Bodenluftabsaugung wurde mit 100 m<sup>3</sup>/h betrieben, die Wasserentnahme lag zwischen 30–150 L/h.

Im Verlauf der 9-monatigen Pilotanwendung wur-

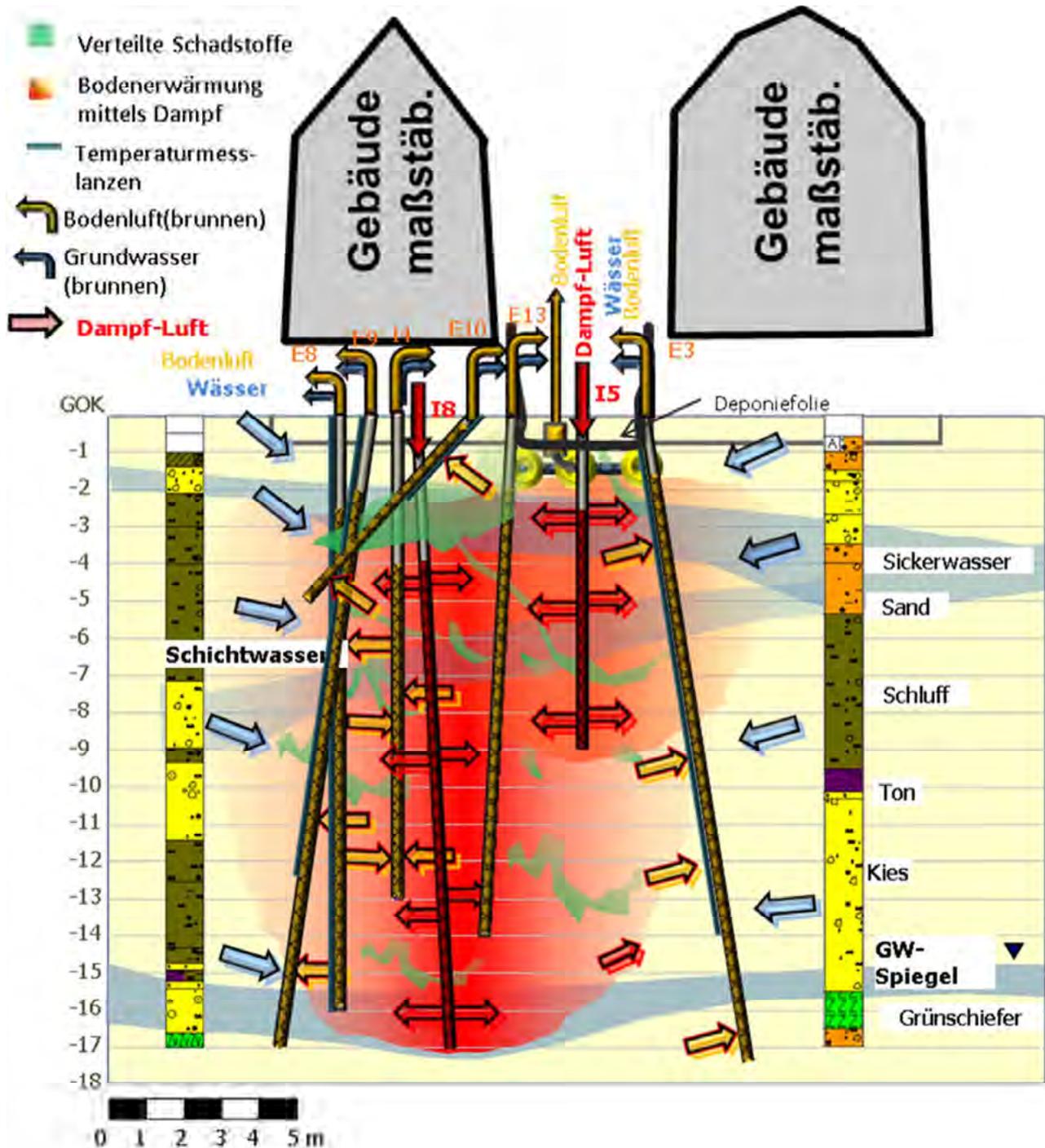


Abb. 1: Querschnitt der DLI am Standort



den ca. 490 kg LHKW vom Standort entfernt. 230 kg LHKW entstammten dabei der initialen 5-monatigen kalten Bodenluftabsaugphase (Abbildung 3). Erst nach Rückgang der Gehalte unter 1 kg/d wurde die DLI in Feld 1 betrieben. Die Austragsleistungen stiegen auf 2,5 kg/d und verdeutlichen die Steigerung des Schadstoffaustrags um einen Faktor 3 bei Einsatz der DLI.

Über die Sicker- und Grundwasserförderung wurden ca. 490 g LHKW, also 0,1 % der Schadstoffmasse entfernt. Die LHKW-Gehalte im Grundwasser nahmen um einen Faktor 100–200 auf Werte zwischen 10–400 µg/L LHKW ab.

Mit einer mittleren Temperatur von 78 °C bzw. 83 °C im Bereich der Sickerwasserzone von Feld 1 wurden die thermischen Ziele nach 80 Tagen DLI erreicht und zur Verdampfung der Schadstoffe die nachfolgenden 50 Tage konstant gehalten (Abbildung 4).

Mit einer zum damaligen Zeitpunkt geschätzten Schadstoffmenge von 2.000 kg LHKW und der geplanten Einrichtung weiterer Absaugbrunnen zur Steigerung der Austragsraten auf 3,5 kg/d, wurde eine Sanierungsdauer von insgesamt 36 Monate bestimmt.

Die thermisch unterstützte Sanierung der Abschnitte 1 und 2 wurde nach der Pilotanwendung bis zum Mai 2014 fortgeführt und der Feldabschnitt 1 und 2 nördlich dem Schadenszentrum unter dem Gebäude 13 behandelt. Es wurden 1.050 kg LHKW ausgetragen, s. Abbildung 3, oberes Diagramm. Die mittlere Temperatur in Feld 1 wurde über 82 °C gehalten, der Sanierungsbereich zwischen 3–15 m u. GOK wurde auf 70 °C erwärmt (Abbildung 4).

Entsprechend dem Austragsverhalten wurde die Gesamtsanierung der Feldabschnitte 2–4 geplant.

## 5 Optimierungen für den Dauerbetrieb

Im April 2014 wurde die DLI in den Abschnitten 1 und 2 gestoppt und über eine Ausschreibung eine neue Projektsteuerung gesucht. Mit Datum 1. Juli 2014 übernahm CDM Smith Consult GmbH aus Alsbach die Projektsteuerung.

In einer ersten Phase wurden die auf dem Standort befindliche Anlage und das Sanierungsfeld überprüft und basierend auf den Ergebnissen eine Reihe von Optimierungen geplant und umgesetzt. Von Februar bis April 2015 fanden hierzu umfangreiche Bohr- und Umbauarbeiten statt. Ziel der Bohrarbeiten war es, den Untergrund der Sanierungsfläche für das Verfahren der Bodenluftabsaugung mit Dampf-Luft-Injektion in den zu sanierenden Grundstücksabschnitten besser zu erschließen. Insgesamt wurde das Gesamterscheinungsbild der Sanierungsfläche durch die ebenerdige Schotterung mit unterirdischem Anschluss der Brunnen deutlich verbessert und zudem ein umfassender Frostschutz der Grundwasserförderung aus 17 Brunnen realisiert. Die Geräuschemissionen konnten im Rahmen des Anlagenumbaus und der unterirdischen Verlegung der Rohrleitungssysteme und des Brunnenanschlusses in Schächten von 45 dB(A) auf 42 dB(A) halbiert werden.

Die rund 6-wöchigen Bohrarbeiten wurden unter der Maßgabe der Vermeidung von Schadstoffemissionen geplant und realisiert. Die Bohrarbeiten wurden kontinuierlich vor Ort begleitet und Messungen

auf LHKW in der Innen- und Außenluft durchgeführt. Generell wurden die Absaugbrunnen von 2 m u. GOK bis zu 15 m u. GOK entsprechend dem anstehenden Schiefer bzw. der hydraulisch dichten Zersatzzone verfiltert. In den Ringraum wurde, wie bei allen 17 Extraktionsbrunnen (E1-E17) Temperaturmesslanzen (T) eingebaut. Am Standort wird an insgesamt 240 Messstellen die unterirdische Wärmeausbreitung bestimmt.

Im Zuge der Bohrarbeiten wurden – wie aus den Vorkenntnissen zu erwarten war – zum Teil deutlich erhöhte LHKW-Konzentrationen im Boden nachgewiesen. Die wesentlichen Schadstoffkomponenten bildeten TCE und PCE. Die Hauptschadstoffbelastungen reichen auf der Sanierungsfläche bis zu einer Tonschicht im Tiefenbereich von rd. 8,0 - 9,0 m, teilweise bis in eine Tiefe von 12-13 m unter die Geländeoberkante. Mit zunehmender Tiefe ist generell eine Abnahme der LHKW-Gehalte zu beobachten. Die maximale bestimmte LHKW-Konzentration bei der aktuellen Bohrkampagne betrug rund 25 g/kg Boden. Neben LHKW wurden auch Nachweise auf Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW), Polychlorierte Biphenyle (PCB) Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol (BTEX) erbracht. In den Bohrungen zur Erschließung des Sanierungsfelds in 2013 konnten LHKW-Gehalte bis 120 g/kg Boden bestimmt werden.

Eine aktualisierte Abschätzung der LHKW-Gesamt-

menge im Untergrund ergab ein LHKW-Schadstoffinventar von ca. 6.300 kg. Auf Basis dieser Schadstoffmenge ist eine Sanierungsdauer bis Ende 2017 zu erwarten.

Zur Grundwassersicherung wurden in den auf der Fläche vorhandenen Brunnen kleinskalige, druckluftbetriebene zusätzliche Pumpen eingebaut. Insgesamt sind auf der Fläche 17 Brunnen mit Pumpen für eine Grundwasserhaltung ausgestattet. Das geförderte Mischwasser aus Kondensat, Sicker-, Schicht- und Grundwasser wird in der Sanierungsanlage mit zwei Wasseraktivkohlefiltern gereinigt und das aufbereitete Wasser in die Kanalisation abgeleitet.

Die Abluftreinigungsanlage wurde als selbst-rege-

nerierende Doppelbettaktivkohlefiltereinheit ausgeführt. Zur weiteren Sicherheit werden Luftaktivkohlefässer als „Polizeifilter“ betrieben. Die als Kondensat anfallenden LHKW werden in Sicherheitsbehältern für flüssige Gefahrstoffe gesammelt und bei Bedarf über eine Fachfirma einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt.

Nach Wiederanfahren der DLI im Mai 2015 zeigte sich im weiteren Projektverlauf, dass eine Beständigkeit der Aufbereitungsanlage gegen die LHKW nicht gegeben war und es zu zahlreichen Anlagenstörungen kam. Im Frühjahr 2016 wurde die Abluftreinigung wieder auf Fassaktivkohlefilter umgestellt.

## 6 Der Sanierungsverlauf seit 2015

Die „kalte“ Bodenluftabsaugung wurde seit Beginn des Pilotversuches die gesamte Zeit – auch während der Bohr- und Umbaumaßnahmen – weiter betrieb-

ben. Der Schadstoffaustrag der Bodenluftabsaugung ohne DLI betrug dabei rund 180 kg LHKW. Die Bodenluftabsaugung erfolgt seit dem Frühjahr 2015

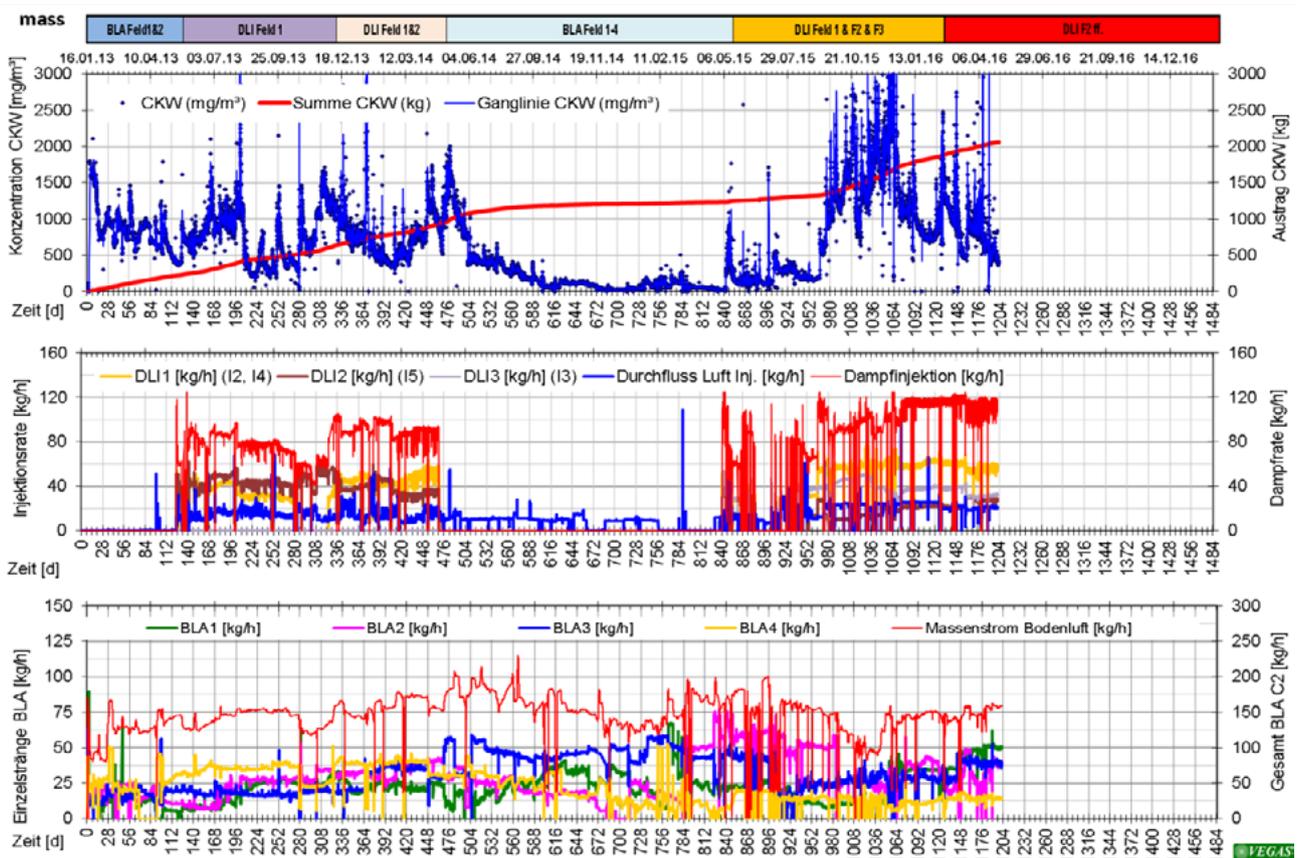


Abb. 3: Massenfrachten und Schadstoffaustrag

über vier Absaugstränge mit 23 Brunnen (Extraktionsbrunnen und nicht genutzte Injektionsbrunnen) und einer Flächendrainage. Die Absaugrate beträgt 100–130 m<sup>3</sup>/h Bodenluft (Abbildung 3, unteres Diagramm).

Ab dem 07.05.2015 erfolgte die DLI mit ca. 80 kg/h Dampf über die Injektionsbrunnen im südlichen Feld 1 und nördlichen Feld 2 (I2, I3, I5). Im September wurde der Brunnen I4 im Schadenszentrum aufgenommen und seit Februar 2016 das Feld 3 zugeschaltet (I2, I3, I4, I5 und I8). Der Luftanteil der DLI beträgt 15–25 m<sup>3</sup>/h, s. Abbildung 3, mittleres Diagramm.

Die geförderte Wassermenge der Schicht- und Sickerwasserförderung liegt etwa bei 180 l/h. Im Quartal werden durchschnittlich um die 400 m<sup>3</sup> Wasser gefördert und gereinigt.

Mit dem Wiederanfahren der DLI kam es zu einer stetigen Erwärmung des Untergrundes, die zu Schadstoffextraktionsraten von bis zu 5 kg LHKW pro Tag führte.

Die Zieltemperatur für die Sanierung liegt im Mittel bei 71 °C. Die Gemischsiedetemperatur von 82 °C ist feldabschnittsweise zwischen 3–12 m u. GOK zu erreichen. Diese Temperatur wird in größeren Tiefen und entsprechend dem Sanierungsfortschritt in den Abschnitten 2 und 3 seit dem Frühjahr 2016 in Feld 3 erreicht.

Seit Mai 2015 wurden mehr als 800 kg an LHKW aus dem Boden gewonnen. Insgesamt liegt die entfernte Schadstoffmasse bei 2.100 kg LHKW, s. Abbildung 3, oben.

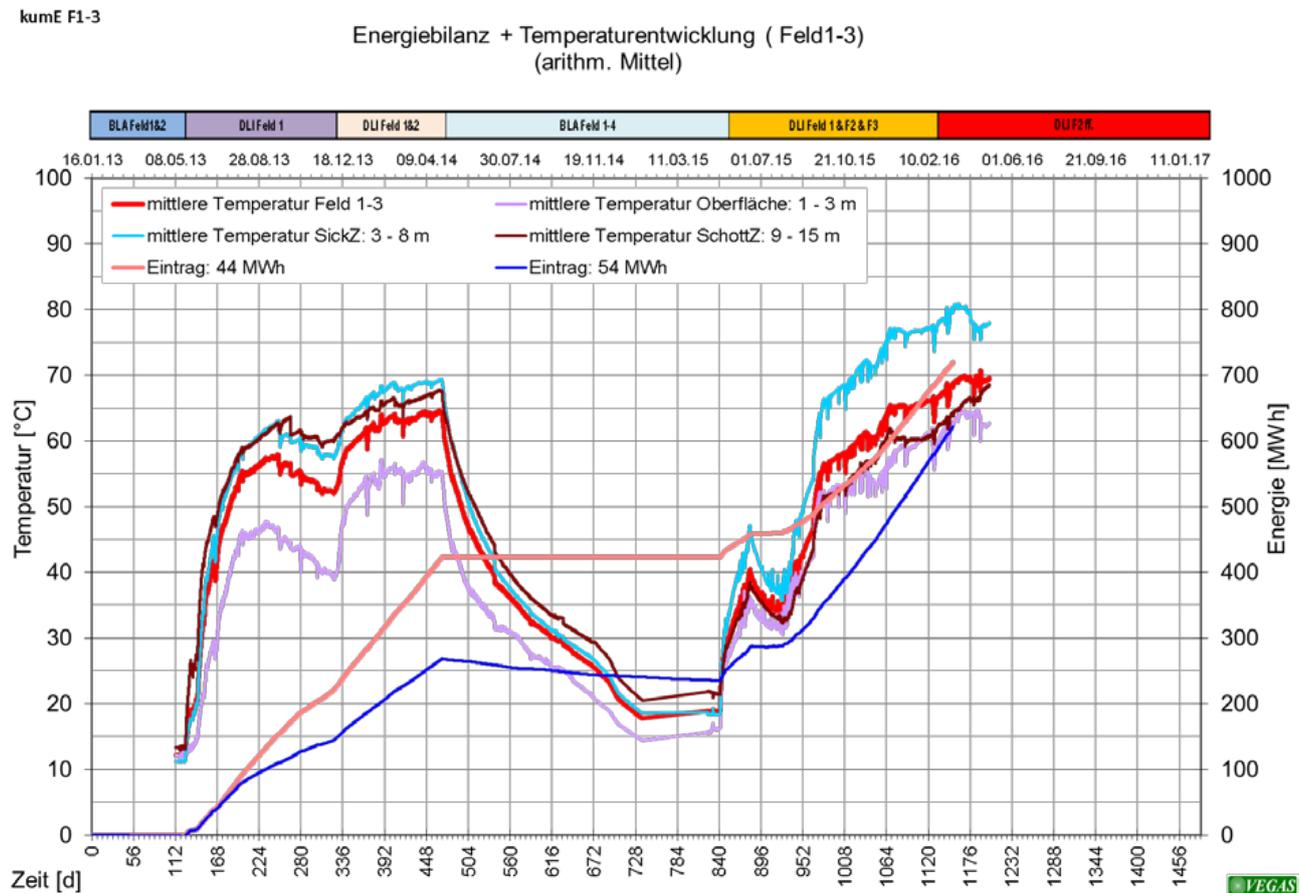


Abb. 4: Temperaturentwicklung der Feldabschnitte 1–3

## 7 Das Überwachungsprogramm

### 7.1 Raumluft

Bei dem Standort handelt es sich um eine bewohnte Altlast. Für die Gebäude wurde vom HZKUM (Professor Eickmann) von der Universität Gießen vor Sanierungsbeginn ein projektspezifischer Eingreifwert von 100 µg Summe LHKW/m<sup>3</sup> festgelegt. Bei Überschreitung dieses Wertes werden Maßnahmen veranlasst, um die Konzentrationen zeitnah zu reduzieren. Neben einem intensiven Lüften der betroffenen Räume kommen auch Raumluftreinigungsgeräte zum Einsatz, die für den Standort konzipiert wurden. Die Raumluftüberwachung erfolgt mittels Passivsammler (ORSA-Röhrchen), die alle 14 Tage gewechselt werden. Bei Überschreitung des Eingreifwertes werden aktive Raumluftmessungen veranlasst, um die Ergebnisse zeitnah verifizieren zu können. Im regelmäßigen Monitoring befinden sich vier Gebäude – je Quartal erfolgen in diesen Gebäuden etwa 60 Einzelmessungen in verschiedenen Räumen.

### 7.2 Außenluft

An verschiedenen Messpunkten in Oberursel mit Schwerpunkt um die Sanierungsfläche, werden zur Überwachung regelmäßig Außenluftmessungen auf LHKW durchgeführt.

Die Messungen erfolgen ebenfalls mit Passivsammlern, die nach sieben Tagen Expositionszeit ausgelesen werden. Die Ergebnisse dieser Messreihen werden mit einer Bewertung auf der projekteigenen Homepage veröffentlicht.

### 7.3 Grundwasser

Die Grundwasserüberwachung erfolgt an ausgewählten Messstellen auf dem Standort sowie einer außerhalb des Sanierungsstandortes liegenden Grundwassermessstelle. Ziel der Grundwasserüberwachung ist zu sehen, ob es durch die Sanierung zu signifikanten Veränderungen im Chemismus kommt. Das Grundwasser war infolge des Betriebs der chemischen Fabrik in der Vergangenheit bereits vor der Sanierung mit Konzentrationen über 100 mg/L an LHKW belastet. Infolge der Sanierung konnte bisher kein Anstieg der LHKW-Konzentrationen festgestellt werden.

### 7.4 Öffentlichkeitsarbeit

Das Projekt zeichnete sich durch ein großes Interesse in der Öffentlichkeit aus. Grund dafür sind die in der Vergangenheit geäußerten Bedenken am Sanierungsverfahren durch den Bund für Umwelt und Naturschutz (BUND) e.V., die von der Presse aufgegriffen wurden. Das Fernsehen, wie auch mehrere Zeitungen, berichteten intensiv über die Sanierung. Es erfolgt eine intensive Öffentlichkeitsarbeit über das Sanierungsprojekt durch die Stadt zusammen mit dem Ingenieurbüro. Zusätzlich zu den im Zusammenhang mit der Sanierung stehenden direkten Informationen der Anwohner und der Unterrichtung der Gremien der Stadt wird eine intensive Pressearbeit umgesetzt.

Für die Sanierung existiert eine eigene Projekthomepage, auf der regelmäßig Quartalsberichte mit allen relevanten Informationen zum Stand der Sanierung und dem Umfeldmonitoring veröffentlicht werden. Auch werden Messwerte, Gutachten und Stellungnahmen auf dieser Seite online gestellt.

## 8 Ausblick

Die Sanierung wird in überlappenden Abschnitten fortgeführt. Bis Herbst 2016 wird schwerpunktmäßig der Abschnitt 2 intensiv behandelt, wobei aufgrund der Schadstofflage der Abschnitt 3 unter dem Gebäude mit Wärme versorgt wird. Zum Jahreswechsel ist die Aufschaltung einzelner Brunnen in Feld 4 vorgesehen. Mitte kommenden Jahres soll die Sanierung auf die Feldabschnitte 3 und 4 konzentriert sein. Angesichts des LHKW-Schadstoffaustrags von aktuell 2 bis 3 kg/d werden zusätzliche Optimierungsmaßnahmen geplant und umgesetzt. Dies betrifft die Kontrolle und Regeneration von Injektions- und besonders Absaugbrunnen, um über einer Erhöhung der Absaugraten das Ziel eines Schadstoffaustrags von über 5 kg LHKW realisieren zu können. Ein deutlicher Rückgang der Schadstoffgehalte in der Bodenluft von Feld 1 und von Norden her kommend

in Feld 2 auf Werte unter 100 mg/m<sup>3</sup> sowie rückläufige LHKW-Gehalte im Schicht- und Grundwasser zeigen die bisherigen Erfolge der DLI-Sanierung. Eine Schadstoffmobilisierung konnte nicht beobachtet werden. Die unterstromigen Gehalte im Grundwasser sind rückläufig. Ein weiterer Rückgang ist angesichts des hohen Schadstoffaustrags der rund 100 m<sup>2</sup> behandelten Fläche zu erwarten.

Die Erwärmung des Untergrunds ist aufgrund teilweise bevorzugter Strömungswege im Norden von Feld 2 und im Osten von Feld 3 mit einem Bedarf von 6 Monaten je Abschnitt um 30–40 % langsamer als erwartet. Die Bodenluftabsaugrate liegt gleichfalls um 30% unter der aus den Erkenntnissen der Pilotsanierung erwarteten Mengen.

## 9 Zusammenfassung

Auf dem Standort wurde seit den 1950er Jahren bis Mitte der 70er Jahre in der Altstadt eine chemische Fabrik zur Herstellung von Korrosionsschutzmitteln betrieben. Aus dieser Zeit stammen heute noch nachweisbare Verunreinigungen des Bodens und des Grundwassers mit leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen (LHKW), überwiegend Trichlorethen und Tetrachlorethen.

Entsprechend einer Variantenuntersuchung wurde das Sanierungsverfahren der Dampf-Luft-Injektion (DLI) aufgrund der Schadenstiefe und der Bebauung der Schadensfläche sowie der Lage in der engen Altstadt ausgewählt. Dabei wird der Untergrund aufgeheizt, die Zielgröße ist 82 °C, so dass die organischen Schadstoffe siedeln bzw. verdampfen und über eine Bodenluftabsaugung extrahiert werden können.

Die Anwendbarkeit der Sanierungstechnik wurde in einer Pilotsanierung ab Januar 2013 verifiziert und seit Oktober 2013 zur Sanierung der rund 200 Qua-

dratmeter großen Altlastenfläche eingesetzt. Die Effizienz der Sanierung konnte in einer Phase der Abschaltung der DLI zwischen Mai 2014 – April 2015 zur Prüfung und Optimierung der DLI anhand geringer Schadstoffaustragsraten dokumentiert werden. Neben der vollständigen Überwachung der Prozessparameter, der Temperaturverteilung im Untergrund und des gaseitigen Schadstoffaustrags wird die Abluftreinigung kontinuierlich überwacht. Zum Schutz der Anwohner wird ein umfangreiches Raumluftmonitoring in den umliegenden Wohn- und Geschäftsgebäuden betrieben – darüber hinaus findet auch ein Außenluftmonitoring statt.

Das Schadstoffpotenzial im Untergrund wird mit bis zu sechs Tonnen abgeschätzt. Die Sanierung wird vermutlich nicht vor dem Jahr 2017 abgeschlossen sein. Bisher wurden aus dem Untergrund 2,1 Tonnen an LHKW extrahiert.



# Verhältnismäßigkeitsprüfung zweier langlaufender Grundwassersanierungen

SILVIA PASKERT

## Einführung

Seit über 15 Jahren bin ich zuständig für zwei mit Landesmitteln geförderte hydraulische Grundwassersanierungen (Pump&Treat), mit denen die HIM-ASG beauftragt ist. Die Sanierung läuft schon 20 Jahre und es wurde bereits ein erheblicher Sanierungserfolg erzielt. Die Sanierungszielwerte würden aber noch lange nicht erreicht werden. Die Mengen- und Frachtbetrachtung nach der hessischen Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen [1] ergab jeweils noch eine große gelöste Menge und eine große Fracht, also eine große schädliche Grundwasserverunreinigung.

Im Rahmen einer Abordnung von Herrn Berthold Meise zum Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz wurden die aktuell laufenden Grundwassersanierungsmaßnahmen der HIM-ASG, 34 Projekte, auf Effektivität und Effizienz betrachtet. Aus dem Projektbericht vom 30.11.2013 „Einsparmöglichkeiten bei den mit Landesmitteln geförderten Grundwassersanierungen in der gewerblichen Altlastensanierung in Hessen“ und dem Fachartikel im Altlasten-annual 2014 des HLUg, [2] u. [3], erhoffte ich mir Argumentationshilfen für die Betrachtung der Verhältnismäßigkeit meiner laufenden Sanierungsverfahren.

## 1. Teil: Was ist Verhältnismäßigkeitsprüfung? Welche Werkzeuge gibt es?

Der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit besteht aus den drei Prüfelementen: **Geeignetheit**, **Erforderlichkeit** und **Angemessenheit**. Ist die Maßnahme **geeignet**, das verfolgte Ziel zu fördern? Ist sie **erforderlich** oder gibt es ein weniger belastendes (milderes) Mittel (z.B. MNA)? **Angemessen** ist eine Sanierungsmaßnahme, wenn deren Auswirkungen nicht außer Verhältnis zum erstrebten Erfolg stehen. Dazu ist eine Zweck-Mittel-Relation zu bilden, die den angestrebten Sanierungserfolg im Verhältnis zu den verbundenen Belastungen betrachtet (Proportionalität). Für diesen Abwägungsprozess sind besonders die Kosten, aber auch weitere nachteilige Auswirkungen wie Umweltbelastungen, Beeinträchtigungen und Ressourcenverbrauch zu betrachten (Kosten-Nutzen-Vergleich) [7].

Zunächst ist das festgelegte Ziel genauer zu betrachten: Häufig sind aus „sehr alten Sanierungsbescheiden“ **Sanierungszielwerte** vorgegeben oder es wurden die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) als Sanierungszielwert festgelegt, ohne dass dies für den speziellen Einzelfall begründet wurde. So ist also das alleinige Erreichen der vorgegebenen Sanierungszielwerte als Ziel auch in Frage zu stellen.

Für die Frage der Verhältnismäßigkeit einer Sanierungsmaßnahme ist zunächst auch immer zu prüfen, ob eine **Optimierung** der Grundwassersanierung durchgeführt wurde oder noch möglich ist, z.B. durch ein anderes Sanierungsverfahren oder Änderungen bei Anlagenteilen oder der Steuerung des Sanierungsbetriebs.

Zur Einschätzung der Verhältnismäßigkeit einer Grundwassersanierungsmaßnahme wird häufig die **Mengen- und Frachtbewertung** aus der Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen [1] herangezogen. Ergibt sich eine große schädliche Grundwasserverunreinigung sind nach der Bewertungsmatrix in der Regel Sanierungsmaßnahmen erforderlich. Allerdings ist das Ergebnis der Mengen- und Frachtbewertung stark abhängig von der notwendigen Auswahl der einzugebenden Werte. Wenn man als Ergebnis eine mittlere Grundwasserverunreinigung erhält sind weitere Prüfschritte erforderlich, erst bei einer geringen Grundwasserverunreinigung werden Sanierungsmaßnahmen i.d.R. als unverhältnismäßig bewertet.

Für eine Pump&Treat-Grundwassersanierung können **spezifische Kennwerte** ermittelt werden, die den Aufwand angeben, der notwendig ist, um einen messbaren Teil der Sanierung zu erreichen, z.B. um ein Kilogramm Schadstoff aus dem Wasser zu entfernen [6]. Angegeben werden können:

- der **spezifische Wasserverbrauch in m<sup>3</sup>/kg**,
- der **spezifische Energieverbrauch in kWh/kg**,
- der **spezifische Kosteneinsatz in €/kg**.

Da es aber keine „Grenzwerte“ gibt, ab welchem spezifischen Kennwert eine Grundwassersanierung nicht mehr verhältnismäßig ist, hilft ein **Vergleich der spezifischen Kennwerte** mit Kennwerten anderer Grundwassersanierungsmaßnahmen, um das eigene Verfahren einzuordnen. Dazu kann zum Beispiel die Handlungshilfe aus Baden Württemberg

zur „Ermittlung fachtechnischer Grundlagen zur Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung von langlaufenden Pump-and-Treat-Maßnahmen“ [6] oder der Projektbericht von Berthold Meise [2] genutzt werden. In dem Projektbericht werden die 34 laufenden Grundwassersanierungen der HIM-ASG mit Ergebnissen einer bundesweiten Erhebung und untereinander bezüglich der spezifischen Kennwerte wie Wasserverbrauch, Energieverbrauch und Kosten pro kg Schadstoff, der entfernt wird, verglichen.

Ein weiterer Anhalt für die Bewertung der Verhältnismäßigkeit ist die Betrachtung, was mit der bisherigen Sanierung bereits erreicht wurde und was noch erforderlich ist, um die Sanierungszielwerte zu erreichen. Der Aufwand für den bisherigen Sanierungserfolg und den noch notwendigen bis zur Erreichung der Sanierungszielwerte ist zu erfassen und abzuschätzen. Der **Sanierungserfolg in %** für eine Grundwassersanierung wird hier definiert als Verhältnis von Ausgangskonzentration bei Sanierungsbeginn – Istkonzentration des Rohwassers zu Ausgangskonzentration – Sanierungszielwert. Der Sanierungserfolg gemessen in % stellt damit ein Maß der Zielerreichung (Effektivität) dar [3].

$$\text{Sanierungserfolg [\%]} = \frac{C_A - C_{\text{Ist}}}{C_A - C_{\text{SZW}}} \times 100$$

Außerdem kann durch Darstellung der kumulativen und jährlichen Fracht und des **Anteils der jährlichen Fracht in % an der Gesamtfracht** über den gesamten Sanierungsverlauf die bisherige und zukünftige Sanierung gewichtet werden.

## 2. Teil: Darstellung der durchgeführten Verhältnismäßigkeitsprüfung der zwei Grundwassersanierungen

### Sanierungsverfahren Werk I und II Oli Bürstadt

#### Kurzvorstellung des Sanierungsverfahrens

Von den ehemaligen Werken I und II eines metallverarbeitenden Betriebs (1952–1989) in Bürstadt sind Kohlenwasserstoffe und LCKW in den Boden und LCKW in das Grundwasser gelangt. Der obere Grundwasserleiter beginnt ca. 3 m u GOK, ist ca. 70 m mächtig und hat ein sehr geringes Gefälle. Unter Werk I befindet sich eine ca. 7 m mächtige Schlufflinse. Vor Beginn der Grundwassersanierung wurden über die Bodenluftsanierung 27 kg LHKW entfernt und über den Bodenaushub geschätzt ca. 190 kg LHKW ausgetragen.

Die Grundwassersanierung wurde seit 1994 über ein bzw. zwei Brunnen und Aufbereitung in einer Grundwasserbehandlungsanlage (Enteisenung, Nassoxidation und Strippung) durchgeführt. Über Grundwasserstandsmessungen und dem erstellten Grundwassergleichenplan wurde der Nachweis erbracht, dass durch das Pumpen kein LHKW-belastetes Grundwasser vom Grundstück abfließt. Es hat sich keine LHKW-Fahne gebildet, was durch Beprobungen von Grundwassermessstellen im Abstrom nachgewiesen wurde.

Seit Sanierungsbeginn haben mehrfach Veränderungen aus unterschiedlichen Gründen und Optimierungen stattgefunden, die jeweils einen Einfluss auf die Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahme hatten. Als einflussreiche Ereignisse sind hier die Hinzunahme eines Brunnens auf Werk II, die Beendigung des Abpumpens dieses Brunnens durch einen Großbrand, die Errichtung eines Schrägbrunnens, die Reduzierung der Zulaufgehalte durch eine benachbarte Bauwasserhaltung, die probeweise Außerbetriebnahme und die Konzentrierung der möglichen Fördermenge auf eine Grundwassermessstelle zu nennen. Der summierte Schadstoffaustrag über die gesamte Sanierungsdauer beträgt für das Werk I über die Messstellen GWM2 und GWM4 644 kg LHKW und für das Werk II über die Messstelle GWM21 95 kg LHKW. Die Anfangskonzentration bei Beginn der Sanierungsmaßnahme betrug 1.700 µg/l LHKW.

Der Sanierungsbetrieb im Februar 2015 zum Zeitpunkt der Verhältnismäßigkeitsprüfung erfolgte durch Abpumpen an der GWM 4 mit 11 m<sup>3</sup>/h und

einer Zulaufkonzentration von durchschnittlich 110 µg/l. Dies ergibt eine Frachtrate von etwa 29 g/d, was nach der Arbeitshilfe des HLUG [1] als große Fracht eingestuft wird (> 10 g/d entspricht groß).

#### Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung

Zuerst wurde die Verhältnismäßigkeitsprüfung für das Verfahren Oli Bürstadt durchgeführt, da aufgrund äußerer Umstände eine Entscheidung zum weiteren Vorgehen aktuell erforderlich geworden war. Aufgrund einer Bauwasserhaltung für eine Kanalbaumaßnahme waren die Zulaufkonzentrationen zur Sanierungsanlage so weit gefallen, dass diese probeweise außer Betrieb genommen wurde. Nach dem Wiederanstieg der Konzentrationen wurde die Sanierungsanlage wieder in Betrieb genommen, aber über den Probetrieb hinaus musste eine grundsätzliche Entscheidung zur weiteren Sanierung getroffen werden.

Zunächst erfolgte die Festlegung, was für die Verhältnismäßigkeitsbetrachtung darzustellen und zu bewerten ist. Als Ergebnis wurde Folgendes festgehalten:

- Entwicklung der Zulaufgehalte und Prognose der weiteren Entwicklung und Abschätzung, wie lange es noch dauert, bis das Sanierungsziel erreicht wird
- Mengen- und Frachtaberschätzung sowie Bewertung des Ausmaßes der Bauwasserhaltung
- Abschätzung des Schadstoffinventars in der Ton/Schlufflinse und Gegenüberstellung zur bisher ausgebrachten Schadstoffmenge
- Prognose über die Schadstoffentwicklung im Abstrom nach Abschalten der Anlage und Vorschlag für ein Monitoringprogramm
- Grafische Darstellung des Frachtaustrags, der spezifischen Kennwerte und der Kosten pro 1% Sanierungserfolg über die gesamte Laufzeit
- Wieviel Jahre werden für die nächsten jeweils 1% Sanierungserfolg benötigt?

Die Inhalte und Ergebnisse des Berichts zur Verhältnismäßigkeitsprüfung werden im Folgenden dargestellt:

## Bericht zur Bewertung der Verhältnismäßigkeit

### Darstellung des Konzentrationsverlaufs und der täglichen Schadstofffracht:

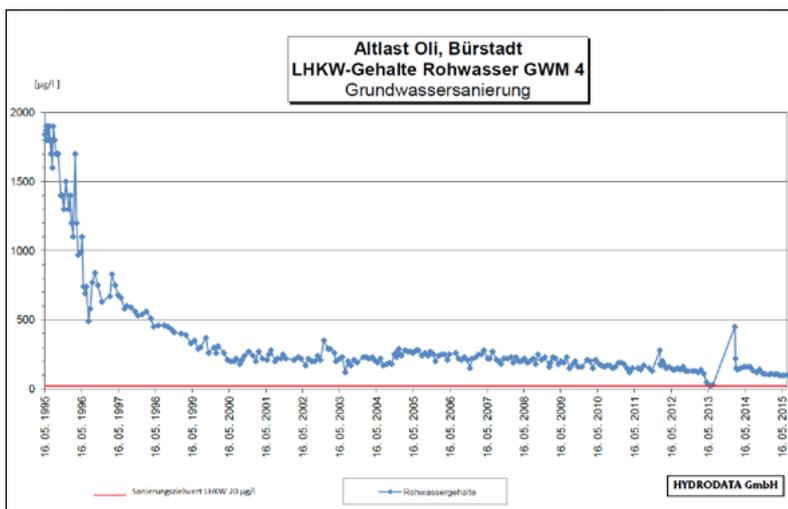


Abb. 1: Konzentrationsverlauf der LHKW-Gehalte [4] (geringfügig ergänzt)

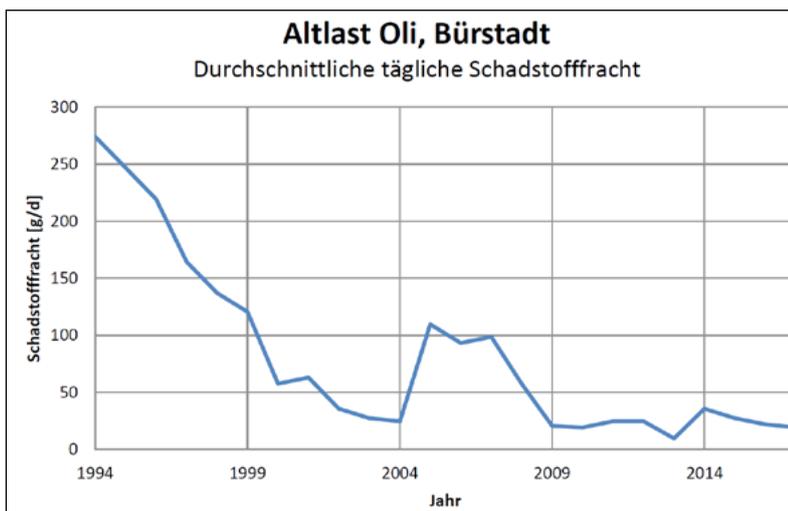


Abb.2: Verlauf der täglichen Schadstofffracht sowie Prognose 2015 bis 2017 [4]

- 1993: nur Probebetrieb
- 2000: Abschaltung GWM 2
- 2005: Anschluss Brunnen Werk II
- 2008: Wegfall Brunnen Werk II
- 2013: 6 Monate Betriebspause wegen Bauwasserhaltung
- 2014: Wiederinbetriebnahme nur GWM14 nach Anstieg der Schadstoffgehalte

Die laufende Sanierung war mit der Förderung der gesamt möglichen Wassermenge, die mit der bestehenden Wasseraufbereitungsanlage gereinigt werden kann, aus der am höchsten belasteten Messstelle GWM4 weit möglichst optimiert.

Der Einfluss der Bauwasserhaltung auf die Sanierungsmaßnahme war nicht so gravierend wie anfangs befürchtet, da der Schadstoffaustrag durch die Bauwasserhaltung mit etwa 65 kg LHKW abgeschätzt wurde gegenüber dem Gesamtschadstoffaustrag von 725 kg durch die Sanierungsmaßnahme.

Die Mengen- und Frachtbewertung wurde aktualisiert für das Werk I durchgeführt und ergab als Bewertung eine mittlere gelöste Menge und eine kleine Fracht. Es ist ein erheblicher mikrobiologischer Abbau festzustellen (50% cis-Dichlorethen). Das verbliebene Schadstoffinventar wurde mit 30 kg LHKW abgeschätzt (worst case) mit einem jährlichen Austrag von 1,5 bis 3 kg.

### Darstellung der spezifischen Kennwerte über den Sanierungsverlauf

Die aktuellen spezifischen Kennwerte liegen im Vergleich zu den Kennwerten der 34 HIM-ASG-Schadensfälle für den Wasserverbrauch im Bereich des 95%Perzentil und für den Energieverbrauch und Kosteneinsatz zwischen 75%Quantil und 95%Perzentil. Die Sanierung ist danach insgesamt noch hinreichend effizient, mit einer weiteren Abnahme der Effizienz ist aber zu rechnen.

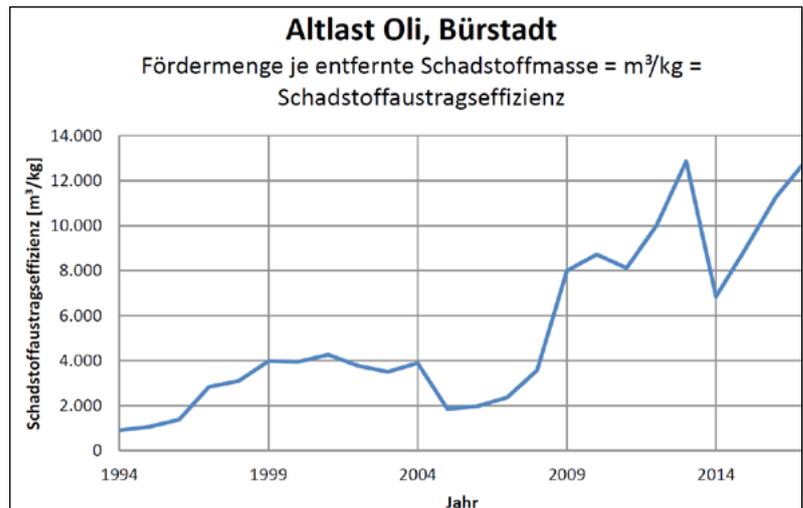


Abb. 3: spezifischer Wasserverbrauch in m³/kg [4]

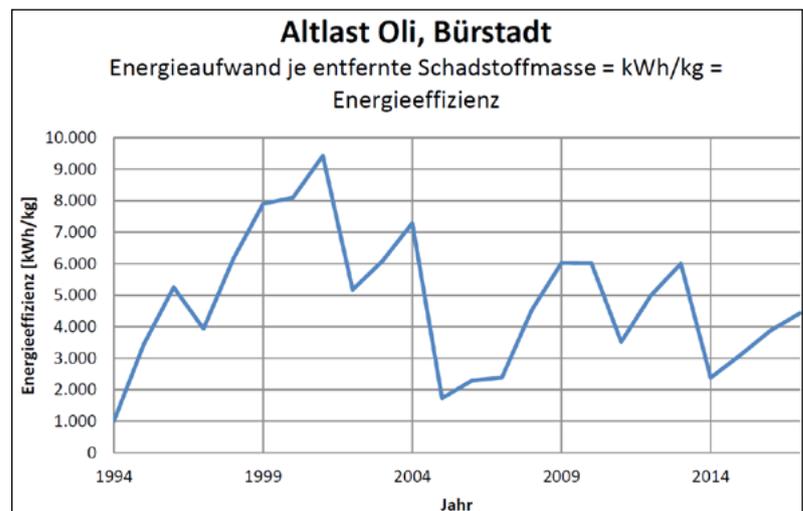


Abb. 4: spezifischer Energieverbrauch in kWh/kg [4]

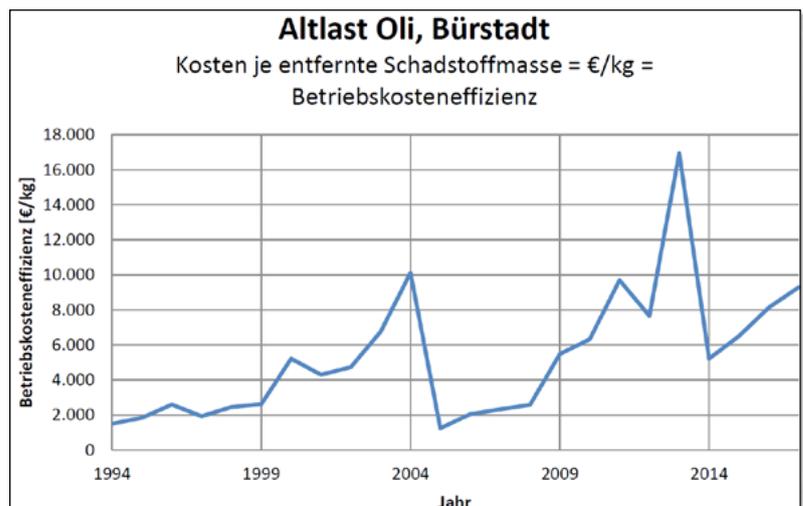


Abb. 5: spezifischer Kosteneinsatz in €/kg [4]

### Darstellung der kumulativen und jährlichen Fracht und Anteil der jährlichen Fracht an der Gesamtfracht

Für die laufende Sanierung in Oli Bürstadt lag das

Ergebnis 2014 bei 1,8 % mit der Prognose: weiter sinkend. Der Anteil der jährlichen Fracht an der Gesamtfracht kann daher als sehr klein bewertet werden.

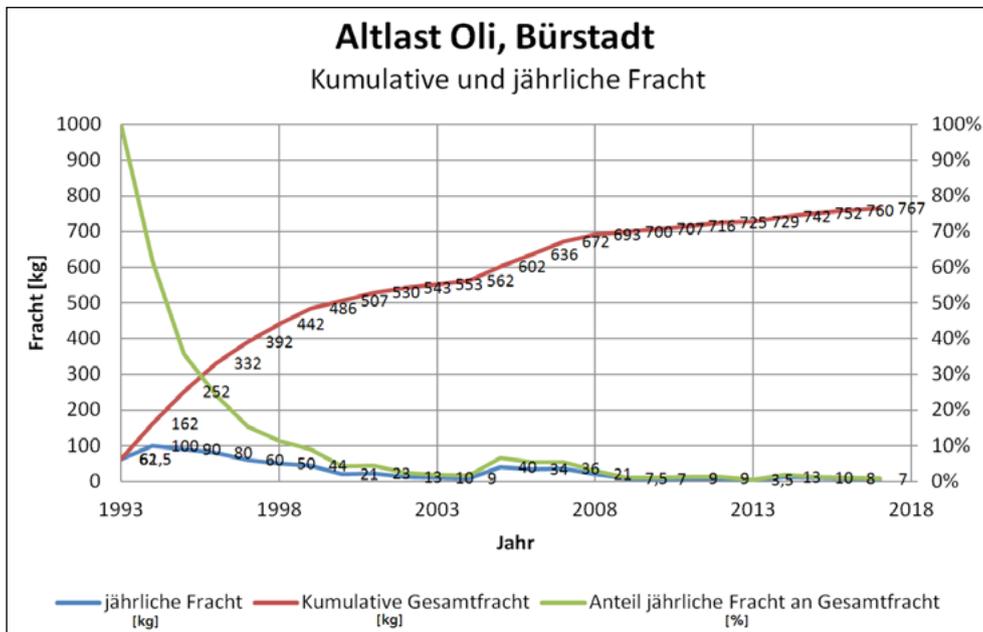


Abb. 6: Kumulative und jährliche Fracht und Anteil der jährlichen Fracht in % an der Gesamtfracht [4] (geringfügig ergänzt)

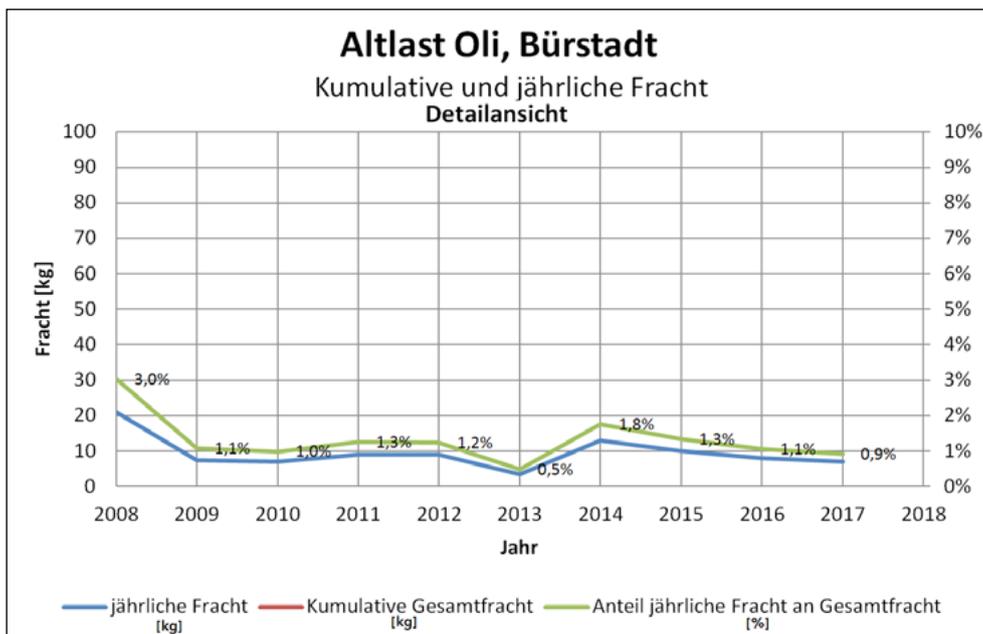


Abb. 7: Detailansicht Anteil der jährlichen Fracht in % an der Gesamtfracht [4] (geringfügig ergänzt)

### **Betrachtung des Sanierungserfolg in % und des Aufwands für die nächsten 1 % Sanierungserfolg**

Eine graphische Darstellung der Kosten für den Sanierungserfolg in % war nicht möglich, da der Aufwand für 1 % Sanierungserfolg zu Beginn der Sanierung minimal ist und in sehr kurzer Zeit (hier: wenige Monate) erreicht wird. Mit zunehmender Abreinigung werden die Zeitdauer und Kosten zur Erreichung eines weiteren % Sanierungserfolg immer größer. Durch eine tabellarische Aufstellung des Sanierungserfolg in %, der dazu gehörigen Konzentration und des Zeitpunkts, wann dies im Sanierungsbetrieb erreicht wurde, war abzulesen, dass nach drei Jahren Sanierung schon ein Sanierungserfolg von 50 % erreicht war, nach fünf Jahren waren es 80 %. Die Zeitabstände für den weiteren Sanierungserfolg verlängern sich immer mehr. Von 85 % Sanierungserfolg zu 90 % Sanierungserfolg wurden 5 Jahre benötigt, von 90 % zu 95 % waren es 8 Jahre. Anhand dieser Entwicklung wird die Erreichung eines 97 %igen Sanierungserfolgs (hier: Rohwassergehalte von ca. 60 µg/l) für die nächsten 5 bis 10 Jahre erwartet. Die Kosten für das nächste 1 % Sanierungserfolg wurden daher mit 180.000 Euro abgeschätzt.

### **Prognose der Schadstoffentwicklung im Abstrom nach Abschalten der Anlage**

Bisher hat sich keine wesentlich über das Betriebsgelände hinausgehende Schadstofffahne ausgebildet. Aufgrund des verbleibenden geringen Schadstoffpo-

tentials wird auch bei Abschalten der Anlage kein signifikanter Anstieg über 10 µg/l im Abstrom erwartet.

### **Diskussion, Bewertung und Empfehlung**

Im Bericht wird empfohlen die Anlage abzuschalten und ein Monitoringprogramm wird vorgeschlagen.

### **Verhältnismäßigkeitsprüfung durch das Regierungspräsidium Darmstadt**

Das **Ergebnis** meiner Prüfung lautete, dass ein Weiterbetrieb der Grundwassersanierung der LHKW-Kontamination vom ehem. Betriebsgelände der Fa. Oli nicht mehr verhältnismäßig ist. Der Aufwand für den angestrebten Sanierungserfolg steht außer Verhältnis zu den damit verbundenen Belastungen.

Es wurde ein technischer Prüfvermerk mit dem Ergebnis und einer Begründung der maßgeblichen Aspekte für die Entscheidung erstellt. Darin wurde auch bilanziert in welchem Verhältnis die bisherige Sanierung und die zukünftige Sanierung bis zum Erreichen des Sanierungsziels stehen. Die Umsetzung des Schlusses der Verhältnismäßigkeitsprüfung erfolgte dann durch eine Einzelweisung im Rahmen des bestehenden öffentlich-rechtlichen Auftragsverhältnisses durch den Juristen des Regierungspräsidiums Darmstadt an die HIM-ASG.

## Sanierungsverfahren Chemische Reinigung Rathausstraße in Viernheim

Hierbei handelt es sich um eine ehemalige chemische Reinigung, durch welche Tetrachlorethen ins Grundwasser gelangt ist. Es hat sich eine 1,2 km lange Fahne gebildet. Die sehr hohen Anfangskonzentrationen wurden mittels Unterdruckverdampferbrunnen deutlich reduziert. Aktuell wurde nur noch eine Pump&Treat-Maßnahme durchgeführt mit einem Sicherungsbrunnen an der Fahnen spitze und einem Sanierungsbrunnen in der Schadstofffahne und einer gemeinsamen Wasseraufbereitungsanlage. Zur Optimierung der Sanierung wurde 2004 ein Grundwassermodell erstellt und genutzt. Aktuell lagen die höchsten LHKW-Gehalte in der Schadstofffahne noch bei 300 µg/l LHKW.

Im Vorfeld wurde festgelegt, dass für die Verhältnismäßigkeitsprüfung der laufenden Sanierung die Betrachtung nur auf die letzte Pump&Treat-Maßnahme zu beziehen ist und eine getrennte Betrachtung für die Sanierung/Sicherung an der Fahnen spitze mit SBR1 und die Sanierung in der Fahne an GWM14 erfolgen sollte. Die Angabe der Kosten pro 1% Sanierungserfolg ist hier nicht möglich, da weder Anfangskonzentration noch Istkonzentration für die P&T-Maßnahme sinnvoll festgelegt werden können. Es wurde daher vorgeschlagen, den Sanierungserfolg entsprechend als Verhältnis der Anfangsfracht zur Fracht des Sanierungsziels zu definieren, die aus dem vorliegenden Grundwassermodell abgeleitet werden konnte. Wieder war die Frage zu beantwor-

ten, was passiert bei Abschalten der Anlage und welche Auswirkungen hat dies für den Abstrom.

Aufgrund der maroden Wasseraufbereitungsanlage war kurzfristig zu entscheiden, ob die Anlage ersetzt werden muss oder abgeschaltet werden kann. Eine längere Außerbetriebnahme war wegen des anzunehmenden Abströmens der Schadstoffe in Richtung eines Trinkwasserschutzgebietes ohne weitere Prüfung nicht akzeptabel. Daher war eine Verhältnismäßigkeitsprüfung zwingend erforderlich.

Es wurden alle Betrachtungen durchgeführt und bewertet. Als wichtigste Ergebnisse sind zu nennen, dass der Sanierungserfolg in % bezogen auf das Schadstoffinventar an GWM14 in der Schadstofffahne aktuell mit 85 % angegeben wurde und dass die Prognose der Schadstoffentwicklung im Abstrom für den alleinigen Betrieb von GWM14 in der Schadstofffahne nur geringe Gehalte für den Abstrom in Richtung des Wasserwerks ergab.

Mein **Ergebnis** der Verhältnismäßigkeitsprüfung lautete daher, dass ein Weiterbetrieb der Grundwassersanierung erforderlich ist, jedoch aus Gründen der Verhältnismäßigkeit nur auf den Sanierungsbrunnen GWM14 zu beschränken ist. Der Sicherungsbrunnen SBR1 an der Fahnen spitze muss nicht weiter betrieben werden. Die schadhafte Wasseraufbereitungsanlage ist durch eine neue, kleinere Wasseraufbereitungsanlage für den Pumpbetrieb nur an GWM14 zu ersetzen.

## **Zusammenfassung zum Vorgehen für eine Verhältnismäßigkeitsprüfung**

### **Wann sollte eine Verhältnismäßigkeitsprüfung erfolgen?**

- bei langlaufenden Sanierungen
- bei deutlich gesunkenen oder stagnierenden Konzentrationen oder Austragsfrachten
- bei hohen spezifischen Kennwerten im Vergleich zu anderen Sanierungen
- anlassbezogen vor Entscheidungen zu weiteren Investitionen

### **Was ist im Vorfeld der Verhältnismäßigkeitsprüfung erforderlich?**

- vertiefte Betrachtung des gesamten Sanierungsverfahrens und dem momentanen Sanierungsstand (im Einzelfall begründete Sanierungszielwerte? Optimierungen erfolgt? aktuelle spezifische Kennwerte vergleichen, % Sanierungserfolg, Anteil der jährlichen Fracht an der Gesamtfracht)
- Festlegung der erforderlichen und für den speziellen Fall sinnvollen Betrachtungen zwischen Regierungspräsidium Darmstadt und Sanierungsverantwortlichen

### **Inhalt/Gliederung des Berichts zur Verhältnismäßigkeitsprüfung**

1. Erfassung und Darstellung des Schadens und des Sanierungsverlaufs
  - Darstellung des Schadens
  - Standortbedingungen
  - bisherige Sanierungsmaßnahmen
  - Optimierungen
  - Sanierungszielwerte

2. Bewertung des bisherigen Sanierungsverlaufs und des aktuellen Sanierungsbetriebs
  - Entwicklung der Konzentrationen und Austragsfrachten
  - Mengen- und Frachtbewertung (Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 7 Arbeitshilfe HLUg)
  - Ermittlung und Darstellung der spezifischen Kennwerte: Wasserverbrauch [m<sup>3</sup>/kg], Energieverbrauch [kWh/kg] und Kosteneinsatz [€/kg] über die gesamte Betriebszeit mit Prognose und Bewertung
  - Darstellung der jährlichen und kumulativen Fracht und des Anteils der jährlichen Fracht in % an der Gesamtfracht
  - Darstellung des erreichten Sanierungserfolgs in % und Prognose für die restlichen % Sanierungserfolg bis zum Erreichen des Sanierungsziels
3. Prognose der Auswirkungen bei Beendigung der Grundwassersanierung
  - Schadstoffentwicklung bei Abschalten der Anlage
  - Bewertung des mikrobiologischen Abbaus
4. Bewertung und Empfehlung

### **Bewertung und Entscheidung über die Verhältnismäßigkeit der Sanierungsmaßnahme durch die Behörde**

## Fazit

Die vorgestellten Bewertungen können in ihrer Gesamtheit helfen, eine Entscheidung zur Verhältnismäßigkeit einer Grundwassersanierung zu treffen und zu begründen. Die Bewertung der Verhältnismäßigkeit erfordert eine vertiefte Betrachtung des gesamten Sanierungsverfahrens und ist angepasst auf den jeweiligen Sanierungsfall durchzuführen. Welche Kriterien der Verhältnismäßigkeitsprüfung schließlich ausschlaggebend sind, ist stark vom Einzelfall abhängig und liegt in der Bewertung der Be-

hörde. Ein besonderes Gewicht bei der Entscheidung hat in jedem Fall die Prognose über die Auswirkung bei Abschalten der Anlage.

Ich danke Herrn Meise für die Anregungen zur Verhältnismäßigkeitsprüfung. Herrn Bohlen von der HIM-ASG und Herrn Luckow von dem beauftragten Ingenieurbüro HYDRODATA danke ich für die konstruktive Zusammenarbeit und kompetente Umsetzung der Verhältnismäßigkeitsprüfung.

## Literatur

- [1] HLOG, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 7 „Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasser-Verunreinigungen“, Wiesbaden 2013
- [2] MEISE, B. (unveröffentlicht) „Einsparmöglichkeiten bei den mit Landesmitteln geförderten Grundwassersanierungen in der gewerblichen Altlastensanierung in Hessen“, Projektbericht, Auszug ohne Anlagen vom 30.11.2013, HMU-ELV, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden 2013
- [3] MEISE, B. „Kostenreduzierung bei Grundwassersanierungen – Auf der Suche nach Einsparmöglichkeiten“, Altlasten-annual 2014, Brennpunkt, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden 2015
- [4] HYDRODATA LUCKOW, M. (unveröffentlicht) „Sanierung einer Grundwasserkontamination durch leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe auf dem Betriebsgelände der ehem. Fa. Oli in Bürstadt, Werk I und II, hier: Prüfung der Verhältnismäßigkeit einer Weiterführung der Sanierung“, Oberursel 28.08.2015
- [5] HYDRODATA LUCKOW, M. (unveröffentlicht) „Grundwassersanierung in Viernheim/Kreis Bergstraße, hier: Prüfung der Verhältnismäßigkeit einer Weiterführung der Sanierung“, Oberursel 27.11.2015
- [6] LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Atlanten und Grundwasserschadensfälle 44, „Ermittlung fachtechnischer Grundlagen zur Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung von langlaufenden Pump-and-Treat-Maßnahmen“, Karlsruhe, Juni 2012
- [7] LfUG, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Materialien zur Altlastenbehandlung, Entscheidungshilfe Grundwassersanierung: Effizienz von Pump and Treat-Sanierungen, Dresden 2007

# Teerölinhaltsstoffe im Grundwasser - Sanierung mittels Bio-Air Sparging in Hanau

THOMAS PORTUNE

## 1 Einleitung

Neben herkömmlichen Grundwassersanierungsmaßnahmen (pump & treat, reaktive Wände etc.) werden zunehmend kostengünstigere mikrobiologische in-Situ-Verfahren zur Sanierung und/oder Sicherung von Grundwasserverunreinigungen mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) eingesetzt. Um den mikrobiellen aeroben Schadstoffabbau durch die am Standort bereits adaptierten Mikroorganismen zu fördern, wird häufig Sauerstoff als wirksamster Elektronenakzeptor appliziert.

Eine Möglichkeit, dem Grundwasser Sauerstoff zuzuführen, ist das kontrollierte Einblasen von Luft in den Aquifer über speziell verfilterte Einblaslanzen (Bio-Air Sparging). Dieses Verfahren wendet HPC an

einem teerölverarbeitenden Standort in Hanau seit ca. acht Jahren zur Sanierung des belasteten Grundwasserabstroms einer Untergrund-Verunreinigung durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), heterocyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (NSO-HET), aromatische Amine (AA), Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX) an. Durch den Betrieb an einer Galerie von 12 Einblaslanzen, die quer zur Fließrichtung installiert wurden, wird eine aerobe Abbau-Zone („Bio-Barriere“) erzeugt, innerhalb welcher die zuströmenden Schadstoffe mikrobiologisch bis unter die Nachweisgrenze abgebaut werden und somit nicht mehr in den weiteren Grundwasserabstrom gelangen.

## 2 Standortcharakteristika, Sanierungseinrichtungen

Der Aquifer im Industriegebiet von Hanau/Groß-Auheim ist als durchlässiger Porengrundwasserleiter in quartären Terrassensedimenten ausgebildet. Diese bestehen aus kiesigen, zuweilen auch schwach schluffigen oder feinsandigen Mittel- bis Grobsanden, wobei der Kiesanteil in der Regel mit der Tiefe zunimmt. Der unterhalb der quartären Schichtabfolgen in ca. 8-12 m Teufe anstehende tertiäre Ton/Schluff bildet einen flächenhaften Stauhorizont. Der Grundwasserflurabstand beträgt ca. 4-6 m. Das Grundwasser fließt in südwestliche Richtung dem Vorfluter (Main) zu.

Seit 1983 sind auf dem Standort sowie auf dem südwestlich angrenzenden Bahngelände Untergrundverunreinigungen durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) bekannt, die auf Kriegs-

einwirkungen sowie den langjährigen Gebrauch von Teeröl zur Holzimprägnation zurückgeführt werden. In zwei Eintragsbereichen haben sich Teeröl-Phasen (DNAPL, dense non-aqueous phase, liquid) auf dem tertiären Stauhorizont gebildet. In Folge entwickelte sich im Grundwasser, ausgehend von diesen Immissionsbereichen, eine insgesamt ca. 800 m lange Fahne mit Teerölinhaltsstoffen (vgl. Abb. 1).

Die Bio-Air Sparging-Maßnahme ging im April 2008 in Betrieb. Um die Grundwasserfließrichtung nicht zu beeinflussen und ein „Vorbeiströmen“ von schadstoffbelastetem Grundwasser an der Bio-Barriere zu vermeiden, werden die insgesamt 12 errichteten Einblaslanzen wechselseitig mehrmals täglich lediglich für wenige Minuten mittels eines Kompressors mit Luft beschickt.

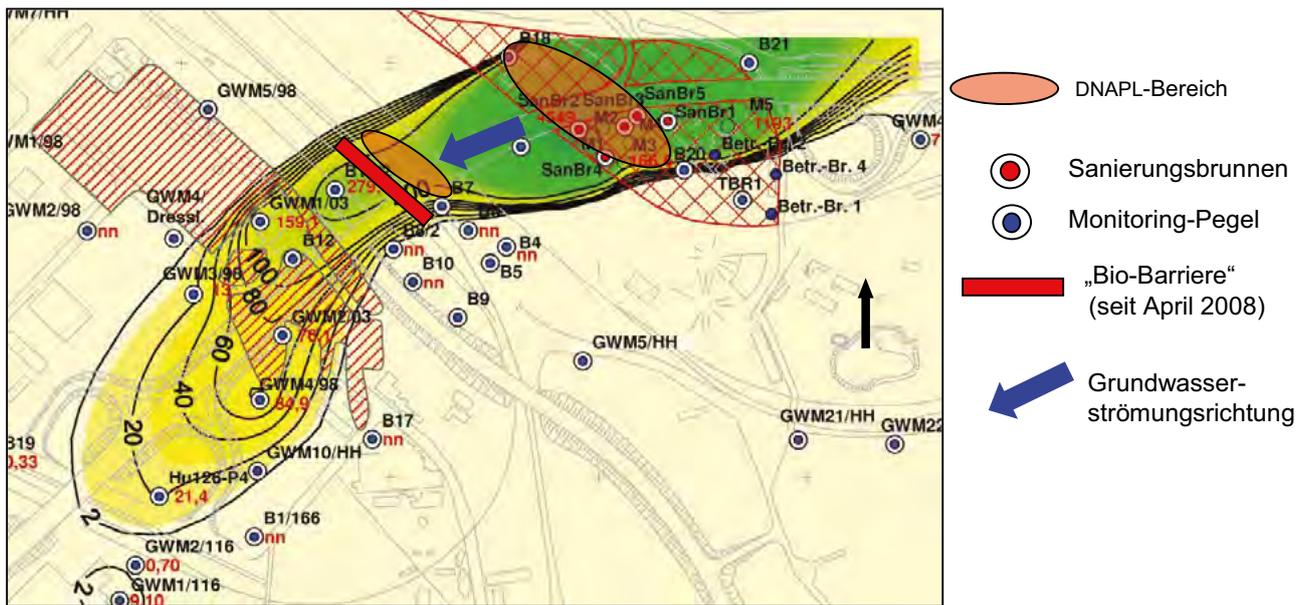


Abb. 1: Konzentrationsverteilung von PAK in der Schadstofffahne im Juli 2006 ( $\Sigma$  PAK EPA in  $\mu\text{g/l}$ ), Eintragsbereiche, „Bio-Barriere“

### 3 Schadstoffentwicklung in der PAK-Fahne

Innerhalb der bisher acht Sanierungsjahre zeigte sich bis Juni 2015 im Abstrom der „Bio-Barriere“ ein erheblicher Rückgang der PAK-Summenkonzentrationen sowie aller Begleitkontaminationen (NSO-HET,

AA, MKW, BTEX) und damit verbunden eine deutlich retrograde Entwicklung der PAK-Fahngeometrie (vgl. Abb. 2).

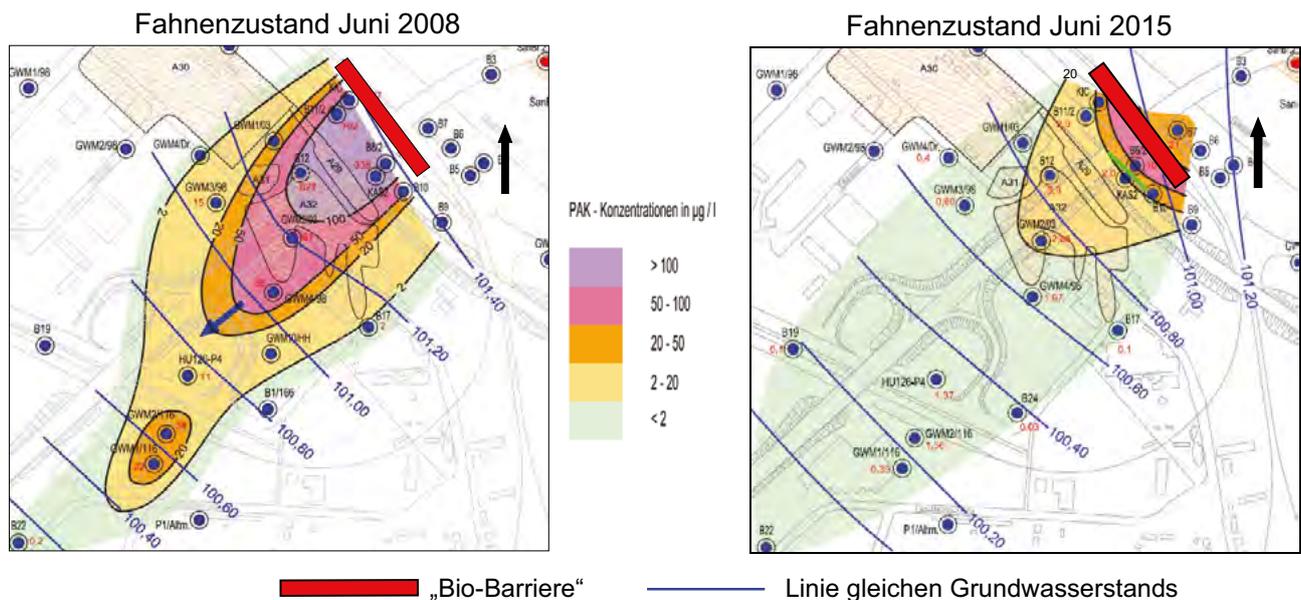


Abb. 2: Retrograde Entwicklung der Fahngeometrie ( $\Sigma$  PAK EPA in  $\mu\text{g/l}$ )

Mitte 2014 bzw. im Herbst 2015 ereigneten sich zwei Vorfälle, die die bis dahin positive Entwicklung störten. Im östlichen Teil des Bio-Air Sparging-Bereiches drang auf dem Stauer Teeröl in Phase bis zu den Einblaslanzen vor. Durch den Einblasvorgang wurden so aus der Phase Schadstoffe mobilisiert und im Grundwasser gelöst. Ein mehrwöchiger Ausfall der Sanierungseinrichtungen im Herbst 2015 verschlechterte die Situation weiter, so dass die Fahne

kurzfristig transgressive Tendenzen zeigte. Im Dezember 2015 lag somit wieder ein Stand der Fahngeometrie von ca. Dezember 2014 vor. Als Gegenmaßnahmen wurden die Einblaslanzen im östlichen Bio-Air Sparging-Bereich in höher liegende (Stauer-) Bereiche versetzt, und an den betroffenen Lanzen wird seither aktiv Teeröl ausgetragen. Aktuelle Messungen belegen, dass sich der Fahnenzustand seither wieder verbessert.

## 4 Entwicklung des Redoxmilieus

In einer Schadstofffahne bilden sich im Aquifer je nach der Verfügbarkeit der vorhandenen Elektronenakzeptoren verschiedene Redox-Zonen aus. Zur Feststellung der tiefenzonierten biochemischen Milieuverhältnisse im Aquifer wurden Redoxmilieu-Detektoren (RMD) eingesetzt. Die RMD verbleiben ca. 4 Wochen in den Messstellen und funktionieren nach dem Prinzip der Stabilitätsfeldanalyse. Es wird gezeigt, ob definierte Mineralphasen (hier für Mangan-II/Mangan IV, Eisen-II/Eisen-III, Sulfid/Sulfat) unter den gegebenen Bedingungen stabil vorliegen oder nicht. Herrschen z. B. im Aquifer eisen-III-reduzierende Verhältnisse, wird das auf dem entsprechenden Detektor befindliche Eisen-III reduziert, was durch einen Farbumschlag angezeigt wird.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich das vormalig vorhandene sulfatreduzierende Milieu, ausgehend von der „Bio-Barriere“, durch die Sauerstoff-Infiltration innerhalb kurzer Zeit deutlich zugunsten eisen-III- (und mangan-IV-) reduzierender Verhältnisse verschoben hat. Dies hat im Abstrom optimale Verhältnisse für die Aktivität von eisen-III-reduzierenden Mikroorganismen geschaffen und einen intensiven anaeroben PAK-Abbau induziert. Diese Transformation der biochemischen Milieubedingungen läuft deutlich schneller ab als der Schadstofftransport im Grundwasser und „überholt“ die Schadstofffahne.

## 5 Regeneration von Elektronenakzeptoren

Darüber hinaus konnte ein zusätzlicher Effekt beobachtet werden, der den anaeroben „Bio-Reaktor“ dynamisiert und dessen Abbauleistung noch deutlich erhöht: Eisen-III-reduzierende Mikroorganismen gewinnen ihre Energie aus der Reduktion von Eisen-III zu Eisen-II. Ist bioverfügbares Eisen-III im Aquifer nicht mehr vorhanden, kommt der Prozess zum Erliegen. Im vorliegenden Fall wird durch die Sauerstoff-Infiltration an der Bio-Barriere ständig frischer Sauerstoff an den Aquifer abgegeben und in den Abstrom transportiert. Dieser Sauerstoff wird hier jedoch nur zum Teil durch Veratmung von aeroben Mikroorganismen verbraucht, sondern oxidiert vorwiegend das durch den anaeroben Abbau in großen Mengen produzierte Eisen-II chemisch wieder

zu Eisen-III auf, d. h. verbrauchte Elektronenakzeptoren des anaeroben „Bio-Reaktors“ werden ständig wieder neu „aufgeladen“. Verbrauchtes Eisen wird somit wieder bioverfügbar und kann von den eisen-III-reduzierenden Mikroorganismen erneut genutzt werden. Dieser Effekt des „Elektronenakzeptor-Recyclings“ kann nur durch den direkten Eintrag von Sauerstoff in den Aquifer erfolgen. Durch die Applikation von anderen Elektronenakzeptoren wie z. B. Nitrat oder Sulfat ist dies nicht möglich.

Nachvollziehen lässt sich diese Dynamisierung anhand der Leitparameter Sauerstoff, Eisen-II sowie der Metabolite des aeroben und anaeroben PAK-Abbaus (Carbon-/Hydrocarbonsäuren).

Die Existenz eines durch den Sauerstoffeintrag induzierten, anaerob auf Grundlage von eisen-III-reduzierenden Mikroorganismen arbeitenden „Bio-Reaktors“ kann somit zweifelsfrei belegt werden und wird zusätzlich durch die Ergebnisse der Messungen des Redoxmilieus mittels RMD, die im Abstrom ein

überwiegend eisen-III-reduzierendes Milieu belegen, bestätigt. Diese Dynamisierung durch Sauerstoff hat den medialen Fahnenbereich bereits erfasst und lässt sich anhand von ansteigenden Eisen-II-Konzentrationen sowie hohen Gehalten an Metaboliten des anaeroben PAK-Abbaus nachvollziehen.

## 6 Zusammenfassung

Es lässt sich belegen, dass

- im proximalen Abstrom der „Bio-Barriere“ PAK (inkl. Begleitkontaminationen HET, AA, BTEX, MKW) überwiegend aerob abgebaut werden,
- im medialen und distalen Abstrom ein auf Grundlage von eisen-III-reduzierenden Mikroorganismen anaerob arbeitender, zweiter „Bio-Reaktor“ etabliert hat, der in der Lage ist, PAK inkl. Begleitkontaminationen abzubauen,
- die Abbau-Leistung dieses anaeroben „Bio-Reaktors“ zusätzlich infolge der Sauerstoff-Infiltration an der Bio-Barriere durch „Elektronenakzeptor-Recycling“ (Reoxydation von verbrauchtem Eisen-II zu wieder bioverfügbarem Eisen-III) dynamisiert wird.

Dies hat insgesamt dazu geführt, dass die Schadstoffkonzentrationen in der Fahne wesentlich schneller als erwartet signifikant reduziert werden konnten.

Da diese Vorgänge sich im Aquifer schneller ausbreiten als die Schadstoffe, ist davon auszugehen, dass

die Dynamisierung noch weiter in den Abstrom hinein voranschreiten wird und die Schadstoffe quasi „überholt“.

Mittelfristig ist damit zu rechnen, dass dieser anaerobe „Bio-Reaktor“ so lange aktiv bleibt, bis nicht mehr genügend Schadstoffe im Grundwasser vorhanden sind und damit die Eisen-II-Produktion der Mikroorganismen zurückgeht. Dann werden sich auch im medialen und distalen Abstrom aerobe Verhältnisse durchsetzen und ggf. noch vorhandene Schadstoff-Restgehalte abbauen.

Der im medialen und distalen Abstrom zusätzlich etablierte anaerobe „Bio-Reaktor“ stellt sich somit als ein aus den vorliegenden Daten logisch ableitbarer Synergieeffekt der Infiltration von Sauerstoff an der Bio-Barriere dar. Vergleichbare Standort-Verhältnisse vorausgesetzt (z. B. ausreichend bioverfügbares Eisen-III im Aquifer, niedrige mikrobiologische Ökotoxizitäten, am Standort bereits etablierte Mikroorganismen), kann davon ausgegangen werden, dass auch an anderen Standorten durch den Einsatz von Bio-Air Sparging die Sanierung einer PAK-Fahne im Grundwasser erheblich beschleunigt werden kann.

## 7 Literatur

- [1] KARG, F., HINTZEN, U., PORTUNE, T., OLK, C. (2006): Feldtesterfahrungen zur Anwendung der DNBA (Dynamisierte Natural Bio-Attenuation) und Prozessoptimierung, Tagungshandbuch Symposium in-Situ-Sanierungen, DECHEMA, Frankfurt 21.11.2006.
- [2] KARG, F., HINTZEN, U., PORTUNE, T., DOMALSKI, R. (2007): Feldtesterfahrungen zur Anwendung der DNBA (Dynamisierte Natural Bio-Attenua-

tion) zur Prozessoptimierung, Altlasten Spektrum 2007, Heft 2, 61-67.

- [3] R. SCHMITT, H.-R. LANGGUTH, W. PÜTTMANN, H. P. ROHNS, P. ECKERT UND J. SCHUBERT (1996): Biodegradation of aromatic hydrocarbons under anoxic conditions in a shallow sand and gravel aquifer of the lower Rhine Valley, Germany. Organic Geochemistry, Vol. 25 No. 12, 41-50.

- [4] KARG, F., HINTZEN, U., PORTUNE, T., DOMALSKI, R. (2007): Groundwater treatment by dynamised natural bio-attenuation (DNBA): Case study HAH, BTEX, PAH. Minutes of 3rd European Conference on Natural Attenuation and in-Situ Remediation. DECHEMA, Frankfurt 212/11/2007.
- [5] KARG, F., HINTZEN, U. (2009): Toxische Amine und heterocyclische Stickstoffverbindungen auf belasteten Standorten: Vorkommen, Umweltchemie und gesundheitliche Risiken: Altlastenforum Baden-Württemberg e. V. 01-2009 (April 2009).
- [6] KARG, F. (2009): Biotechnological investigations of natural bio-reactors and economic remediation by DNBA (Dynamised Natural Bio-Attenuation). Minutes of congress Intersol 2009 Paris-Ivry sur Seine/France, 24/03/2009.
- [7] KARG, F. (2010): Green remediation by dynamisation of natural bio-reactors for degradation of PAH, BTEX, HCH and chlorinated solvents: Case studies in France and Germany. SARCLE: Sustainable approaches in remediation of contaminated land in Europe (SARCLE-2010), Minutes of congress, Ghent/Belgium 08-10/06/2010.
- [8] PORTUNE, T., KARG, F. (2011): Dynamisierung eines aeroben und anaeroben mikrobiellen Abbaus von im Grundwasser gelösten Teerinhaltsstoffen durch Bio-Air Sparging an einem teerölverarbeitenden Standort in Hanau, Altlasten Spektrum 2011, Heft 6, 251-256.



# Nachhaltigkeit bei der Altlastensanierung - Bewertungskonzept und Fallbeispiele

MARION PEINE

## Kurzfassung

Eine „Nachhaltige Sanierung“ bezeichnet die Berücksichtigung aller Umweltauswirkungen bei der Sanierungsplanung, sowie die Umsetzung aller Möglichkeiten, um den ökologischen Fußabdruck von Projekten und die nachteiligen Auswirkungen auf Betroffene während und nach der Sanierung zu minimieren.

Es gibt nicht die eine nachhaltige Sanierungstechnologie. Nur im Vergleich unterschiedlicher Sanierungsvarianten kann eine Bewertung über nachhaltigere bzw. weniger nachhaltige Varianten erfolgen. Die Beurteilung, ob eine Sanierungstechnologie oder allgemein eine Sanierung nachhaltig ist, muss immer standort- und schadstoffbezogen und in jedem Einzelfall erfolgen.

Anhand von zwei aktuellen Sanierungsfällen im Dienstbezirk der Umweltabteilung Wiesbaden wurde das Bewertungskonzept der AG „Nachhaltigkeit bei der Altlastensanierung“ erprobt.

## Schadensfall 1 - LHKW-Schaden im Hochtaunuskreis

Auf einem Grundstück von nur 265 m<sup>2</sup> in einer südhessischen Kleinstadt wird eine thermische Bodenluftsanierung mit der Injektion von Wasserdampf (Dampf-Luft-Injektion) durchgeführt. Auf dem Gelände wurden ausweislich der Historie in der Zeit von 1953 bis 1977 Korrosionsschutzmittel hergestellt und verunreinigte Lösungsmittel durch Destillation zurückgewonnen. Im Rahmen der umwelttechnischen Untersuchungen konnten erhebliche Boden- und Grundwasserkontaminationen mit LHKW nachgewiesen werden. Im Rahmen der Sanierungsplanung wurden im Juli 2009 verschiedene Sanierungsvarianten geprüft und bewertet. Empfohlen wurde die Variante „Teilaushub bis 1 m u GOK und thermische

Bodenluftsanierung“. Damit können die Sanierungsziele

**Boden – Mensch:** Unterbindung des Eindringens von leichtflüchtigen Schadstoffen in die Raumluft der Gebäude und

**Boden – Grundwasser:** Maximal mögliche Quellensanierung zur Verminderung der LHKW-Nachlieferung in das Grundwasser erreicht werden.

Eine Nachhaltigkeitsbetrachtung der verschiedenen Sanierungsvarianten gehörte zum damaligen Zeitpunkt nicht zum Bewertungsumfang.



Abb. 1: Schadensfall 1

## Schadensfall 2 - LHKW- und BTEX-Schaden im Rheingau-Taunus-Kreis

Auf einem Betriebsgelände im Rheingau-Taunus-Kreis wurden ab 1949 Dichtungsplatten und Armaturen für die Automobilindustrie hergestellt. In der Produktion wurde das Lösungsmittel Trichlorethen (TRI) eingesetzt und in früheren Jahren auch zurückgewonnen. In einem Tanklager wurden Benzin, Toluol und das Herbizid Sutan gelagert.

Erste Hinweise auf Grundwasserkontaminationen lieferten Analysenergebnisse des betriebseigenen Brunnens. Eine Gefährdung des 800 m entfernten Trinkwasserbrunnens konnte nicht ausgeschlossen werden.

In der Zeit von 1988 bis 2010 wurde eine konventionelle Bodenluft- und Grundwassersanierung durchgeführt. Da sich ein Sanierungserfolg nicht einstellte, wurde eine weitere, bisher unbekannte Schadstoffquelle vermutet.

Mit weiteren umwelttechnischen Untersuchungen in 2014 konnte eine weitere Schadstoffquelle in größerer Tiefe im Bereich des Tanklagers nachgewiesen werden.

Im Rahmen der Sanierungsplanung wurden die folgenden Sanierungsvarianten geprüft und bewertet:

- Großvolumiges Ausbohren
- konventionelle Bodenluft- und Grundwassersanierung
- thermische in-Situ-Sanierung (THERIS)

Für den Standort wurde die Umsetzung der thermischen Sanierungsvariante empfohlen. Eine Bewertung der Nachhaltigkeit der verschiedenen Sanierungsvarianten erfolgte nicht.

Mit dem Bewertungskonzept der AG „Nachhaltigkeit bei der Altlastensanierung“ sollte die Nachhaltigkeit der verschiedenen Sanierungsverfahren geprüft werden.

Die Grundlage für die Bewertung bildet folgende Tabelle des Bewertungskonzeptes:



Abb. 2: Schadensfall 2

rechnerisches Bewertungsergebnis	Einstufung
≤ -5	deutlich weniger nachhaltig
-4, -3	weniger nachhaltig
-2, -1, 0, +1, +2	etwa gleich nachhaltig
+3, +4	nachhaltiger
+5	deutlich nachhaltiger

Im **Schadensfall 1** wurde eine konventionelle Bodenluftsanierung als Vergleichsvariante gewählt. Im Ergebnis ist die Dampf-Luft-Injektion im Vergleich **etwa gleich nachhaltig** wie die konventionelle Bodenluftsanierung.

Im **Schadensfall 2** wurde das Großbohrverfahren als Vergleichsvariante zugrunde gelegt. Im Ergebnis ist die konventionelle Bodenluftsanierung **nachhaltiger**, und das THERIS Verfahren **deutlich nachhaltiger**, als das Großbohrverfahren.

Aus der Anwendung des Bewertungskonzeptes können folgende Ergebnisse zusammengefasst werden:

- Der Faktor „Zeit“ fließt bei der Bewertung der verschiedenen Nachhaltigkeitskriterien mehrfach ein.
- Es sind gute Kenntnisse der Örtlichkeit erforderlich.
- Die Sanierungsverfahren müssen fachlich hinreichend beurteilt werden können.
- Bei der Bewertung von Sanierungskosten, Haftungsrisiken, Abschreibungen, Rückstellungen und Kostenrisiken ist die Mitarbeit des Sanierungspflichtigen erforderlich.
- Die Nachhaltigkeitsprüfung ist nur ein Baustein, der bei einer Variantenbetrachtung bewertet werden kann.
- In der Regel fällt die Entscheidung zugunsten der wirtschaftlichsten Sanierungsmethode, die nicht unbedingt die nachhaltigste Methode ist.
- Es gibt noch keine gesetzliche Grundlage, eine Nachhaltigkeitsprüfung durchzuführen.
- Es handelt sich um eine halbquantitative vergleichende Methode; d. h. es besteht durchaus die „Gefahr“ einer subjektiven Bewertung.

	Schadensfall 1	Schadensfall 2	
	DLI	BoLu	THERIS
Teilergebnis „Umwelt / Ökologie“	0	2	3
Teilergebnis „Wirtschaftlichkeit / Ökonomie“	+4	-2	+1
Teilergebnis „Soziales / Gesellschaft“	-2	+3	+3
Gesamtergebnis	+2	+3	+7

- Die Dampf-Luft-Injektion ist im Vergleich **etwa gleich nachhaltig** wie die konventionelle Bodenluftsanierung.
- Die konventionelle Bodenluftsanierung ist im Vergleich **nachhaltiger** als das Großbohrverfahren.
- Das THERIS Verfahren ist im Vergleich **deutlich nachhaltiger** als das Großbohrverfahren.

Abb. 3: Ergebnis des Variantenvergleichs



# Der Teufel steckt im Detail - Ein Neuanfang nach 30 Jahren LHKW-Sanierung mittels Pump & Treat

SYLVIA WIDMANN

## 1 Einleitung

Für die Prüfung der Verhältnismäßigkeit von langlaufenden Grundwassersanierungsmaßnahmen ist es unter anderem erforderlich, dass vorab Optimierungsmöglichkeiten der Sanierung geprüft werden und der Schadensherd bekannt ist. Das hier vorgestellte Beispiel zeigt die Probleme, die sich hierbei ergeben können, wie aufwändig die Suche nach dem

Schadensherd sein kann, weshalb erst nach 30 Jahren der Schadensherd saniert werden konnte, dass auch ein kleiner nicht erkannter Schadensbereich einen Sanierungserfolg verhindern kann und dass es für einen Neuanfang auch nach 30 Jahren nicht zu spät ist.

## 2 Standortbeschreibung

### 2.1 Vorgeschichte [5]

Auf dem Gelände eines galvanischen Betriebes wurden 1985 Verunreinigungen mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (LHKW) nachgewiesen. Auf Grundlage umfangreicher Erkundungsmaßnahmen wird seit 1986 eine hydraulische Sanierung über mehrere Förderbrunnen durchgeführt. An bekannten Schadensherden wurden Bodenluftsanierungen durchgeführt, die jedoch nur wenig ergiebig waren.

Der Hauptschadensherd liegt im Bereich einer ehemaligen Fertigungshalle, der sogenannten Schwab-Halle. Diese Halle wurde von 1956 bis 1981 als Schaltgerätefabrik genutzt. In einer Dampfentfettungsanlage wurden Tetrachlorethen und Trichlorethen eingesetzt. Zudem wurden über Kleingebinde (Fass mit Pinsel) an verschiedenen Standorten innerhalb der Halle Metallteile gereinigt. Die Halle wurde 2015 abgerissen.

### 2.2 Geologie [4]

Die Geologie im Untersuchungsgebiet ist durch sandig-kiesige Terrassensedimente von Main und Kinzig bestimmt. Im Nordosten des Firmengeländes beträgt die Mächtigkeit der quartären Sande und Kiese maximal 7,60 m. Zum Südwesten hin verringert sich die Mächtigkeit auf 3–4 m.

### 2.3 Zusammenfassung der bisher durchgeführten Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen im 1. Grundwasserleiter

Zwischen 1986 und 1991 wurden auf dem Betriebsgelände 14 Sanierungsbrunnen zur hydraulischen Sanierung der LHKW errichtet. Aufgrund zu geringer Ergiebigkeiten des Grundwasserleiters musste an

manchen Brunnen der Sanierungsbetrieb im Laufe der Jahre eingestellt oder vorübergehend unterbrochen werden. An manchen Sanierungsbrunnen konnte der Betrieb aufgrund niedriger Schadstoffgehalte und -frachten eingestellt werden.

Zur Erkundung und Überwachung des weiteren Abstroms wurden ca. 20 Grundwassermessstellen errichtet. 15 Grundwassermessstellen sowie einige der inaktiven Sanierungsbrunnen werden regelmäßig je nach Belastungsgrad in unterschiedlichen Zeitabständen auf die Feldparameter und LHKW untersucht.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Lage der Schwabhalle (roter Umriss), der o.g. Sanierungsbrunnen und Grundwassermessstellen. Außerdem ist aus den Grundwassergleichen die Grundwasserfließrichtung im 1. Grundwasserleiter ersichtlich.

Im nun näher zu betrachtenden Bereich der Schwabhalle liegen die Sanierungsbrunnen Sbr.2 und B3neu sowie die Messstellen B32 und B33. Es handelt sich um 2 getrennte Eintragsbereiche:

### Bereich B 3/B 3neu

Der Sanierungsbrunnen B 3 wurde 1988 in Betrieb genommen. Zwischen 1988 und 2004 wurden hier stark schwankende LHKW-Gehalte zwischen 5 000 µg/l und 10 000 µg/l gemessen. In 2004 wurde der Sanierungsbrunnen an gleicher Stelle durch den neuen Brunnen B 3neu mit einem größeren Durchmesser (DN 200) ersetzt. Seitdem werden Gehalte zwischen 1 000 µg/l und 5 000 µg/l gemessen. Die Messstellen B 32 und B 33 wurden ebenfalls im Jahr 2004 zur Überwachung des Abstroms von B 3neu errichtet.

In B 32 haben sich, nach einem Spitzenwert von 60 000 µg/l bei der Erstbeprobung der Messstelle, hier die Gehalte bei ca. 7 000 µg/l eingependelt.

In Messstelle B 33 sind die Gehalte von anfänglichen 1 000 µg/l auf 100 µg/l zurückgegangen.

### Bereich Sbr. 2

Der Sanierungsbrunnen Sbr.2 wurde 1987 errichtet. Nach anfänglich verhältnismäßig geringen Gehalten von 100–800 µg/l stieg die Konzentration in 1992 auf ca. 4 000 µg/l und hat seitdem diskontinuierlich auf ca. 500 µg/l abgenommen.

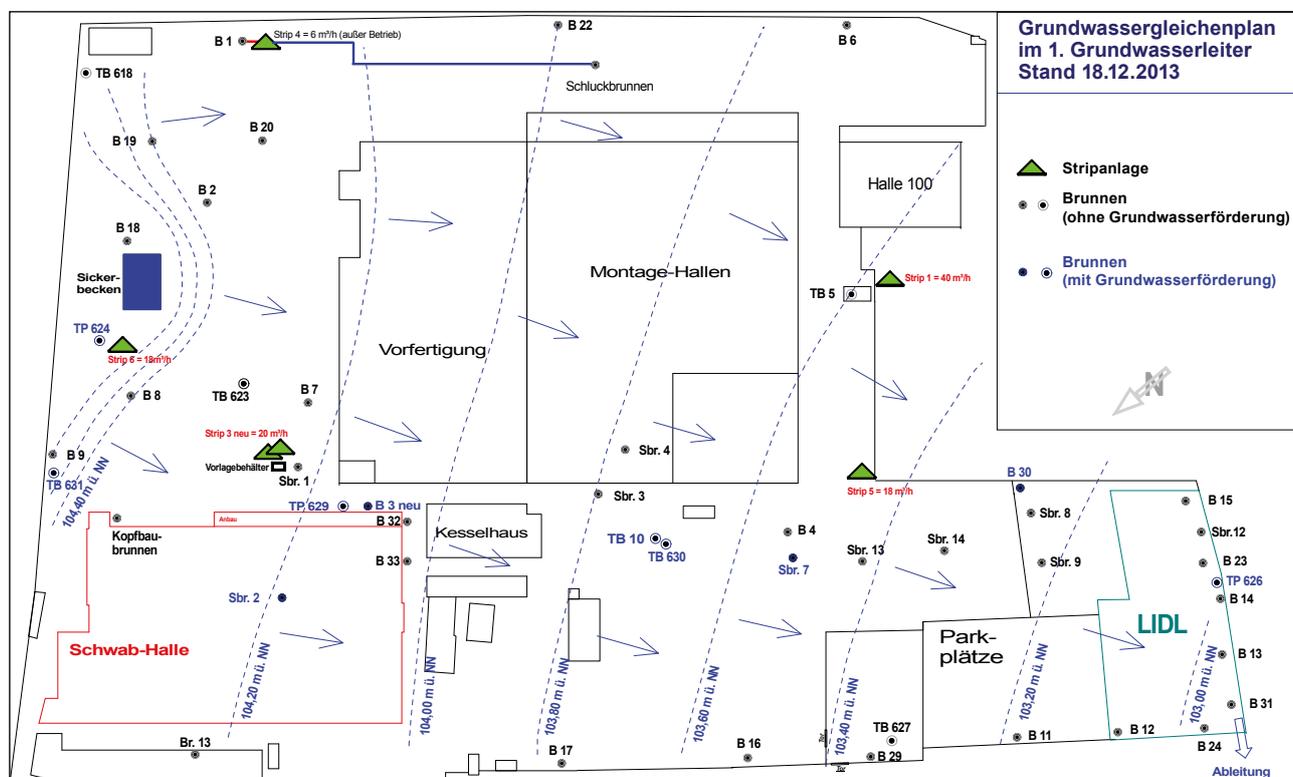


Abb. 1: Lageplan [4]

Die zum Teil stark schwankenden LHKW-Gehalte sind darauf zurückzuführen, dass auf dem Betriebsgelände bereichsweise die Aquifermächtigkeit gering ist. Mit Hilfe frequenzgesteuerter Entnahmepumpen wird gewährleistet, dass kontinuierlich so viel Grundwasser gefördert wird, wie dies die Ergiebigkeit des Aquifers im Fassungsbereich des Brunnens ermöglicht. Hieraus resultieren inkonstante Förderraten.

## **2.4 Zwischenbilanz nach 30 Jahren hydraulischer Sanierung**

Zurzeit wird noch an 4 Sanierungsbrunnen, 2 im Umfeld der Schwabhalle, 2 im Abstrom, hydraulisch saniert.

Insgesamt ist an allen Grundwassermessstellen und Sanierungsbrunnen über die Jahre eine Verringerung der LHKW-Gehalte festzustellen. Aber die unverändert hohen LHKW-Gehalte in B<sub>3neu</sub> und Messstelle B 32 bekräftigen den Verdacht, dass sich in diesem Bereich, unterhalb eines unterkellerten Anbaus der Schwabhalle, ein Schadensherd befindet, der mit dem Sanierungsbrunnen B<sub>3neu</sub> nicht saniert werden kann.

Außerdem stagnieren die LHKW-Gehalte im Sanierungsbrunnen Sbr. 2 bei ca. 500 µg/l, so dass auch in diesem Bereich eine Optimierung der Sanierung zu prüfen war.

Eine umfassende Optimierung der hydraulischen Sanierung im Schadensherd konnte bisher nicht erfolgen, da der mutmaßliche Eintragsbereich mit der teilweise unterkellerten denkmalgeschützten Halle überbaut war. Eine weitere Fortführung von Pump & Treat ohne Sanierung des Schadensherdes ist, wie der bisherige Sanierungsverlauf seit 1986 deutlich zeigt, nicht zielführend. Alternative Sanierungsmethoden konnten bisher nicht zum Einsatz kommen, da die dafür erforderlichen Erkundungsmaßnahmen aufgrund der zu niedrigen Kellerdecke ebenfalls nicht möglich waren.

Es war daher zu prüfen, ob in diesem Fall die Belange des BBodSchG über die des Denkmalschutzes (DSchG) gestellt werden können. Die Belange des BBodSchG sind im Rahmen der Ermessensentscheidung gemäß § 16 III DSchG zu berücksichtigen. Die Prüfung des Einzelfalls ergab hier, dass dem Interesse der Allgemeinheit an der Wiederherstellung der nachhaltigen Funktion des Bodens und des Grundwassers unter den gegebenen Umständen der Vorrang einzuräumen ist.

Der Denkmalschutz für die Halle wurde daraufhin aufgehoben und die Halle in 2015 zurückgebaut.

Im Anschluss daran war eine Erkundung alter Leitungen und Kanäle, die Erkundung des Bodens durch Bodenluftuntersuchungen und im Anschluss daran des Grundwassers mit Direct-Push-Sondierungen möglich. Die Ergebnisse sind im folgenden Kapitel 3 dargestellt.

## **3 Durchführung und Ergebnisse der Erkundungsmaßnahmen**

### **3.1 Boden**

Während des Rückbaus der Schwabhalle wurden Baggerschürfe zur Suche und Erkundung alter Leitungen angelegt, Kanäle per Kamerabefahrung untersucht und alte Schächte und Kanäle freigelegt und begangen. Sofern diese zugänglich waren, wurden Bodenproben entnommen und untersucht. Die Befunde waren allesamt negativ.

### **3.2 Bodenluft**

Im ehemaligen Keller des Anbaus der Schwabhalle und ausgehend vom Sanierungsbereich Sbr. 2 wurden rasterförmig im Abstand von 5 m Bodenluftuntersuchungen durchgeführt. Hierzu wurden 3 m tiefe Sondierlöcher zu 1 Zoll-Bodenluftpegeln ausgebaut. Zur Entnahme der Bodenluftproben wurde ein Seitenkanalverdichter an die Pegel angeschlossen. Die Ergebnisse sind Abbildung 2 zu entnehmen.

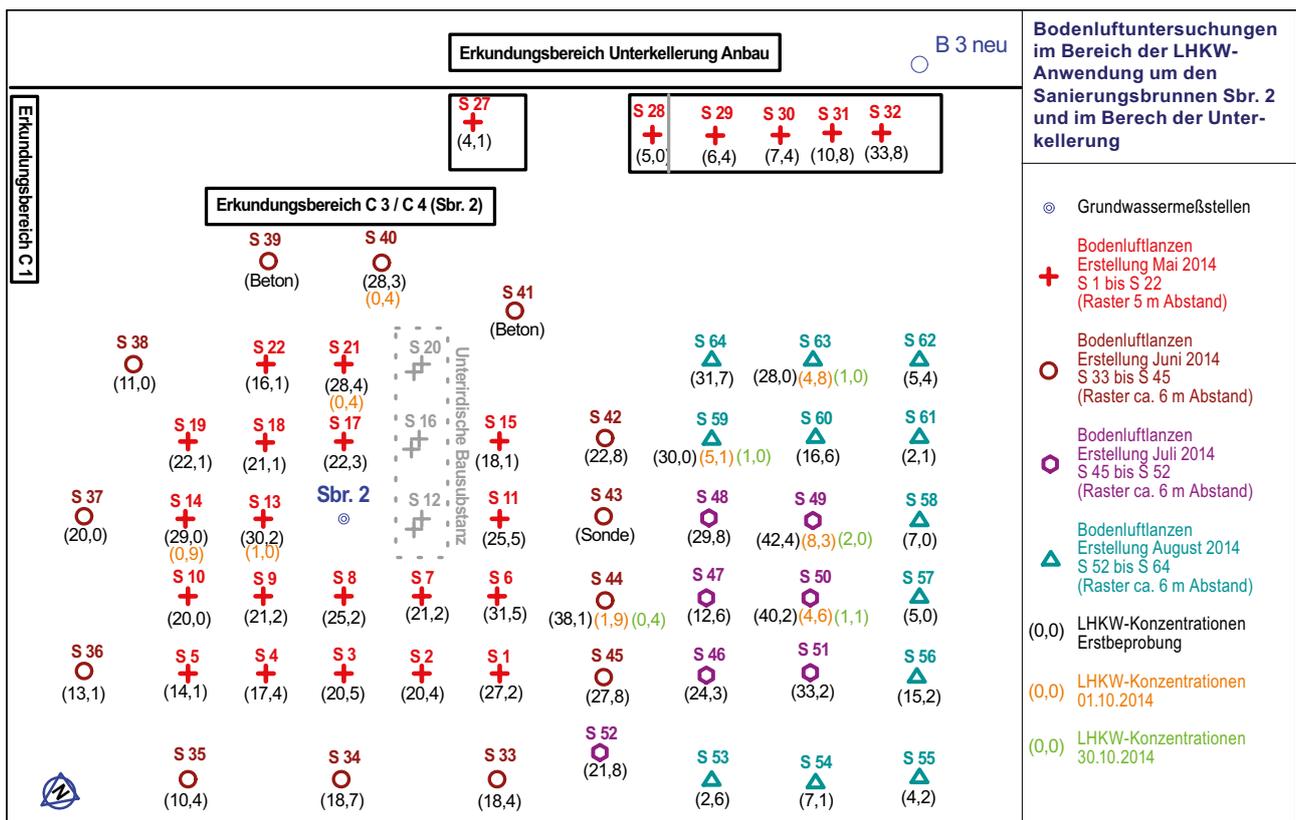


Abb. 2: Ergebnisse der Bodenluftuntersuchungen [3]

Die Analysen der Bodenluft ergaben eine flächige Belastung bis zu 40 mg/m<sup>3</sup>. Die daraufhin an ausgewählten Pegeln durchgeführte Bodenluftsanierung wurde nach 2 Monaten Betrieb aufgrund zu geringer Austragsraten wieder eingestellt. Diese Befunde bestätigen zwar den durch die Nutzung zu erwartenden diffusen flächenhaften Eintrag von LHKW, ergaben aber keinen Hinweis auf den gesuchten Schadensherd.

### 3.3 Grundwasser

Nachdem über die Erkundung der Bodenluft kein Eintragsherd lokalisiert werden konnte, wurden rasterförmig Grundwassersondierungen mittels Direct-Push-Verfahren durchgeführt.

#### 3.3.1 Bereich B3neu

Die Ergebnisse der Grundwasseranalysen aus den Grundwassersondierungen im Bereich B3neu sind in Abbildung 3 dargestellt.

Mit Hilfe der Direct-Push-Sondierungen ist es gelungen, in GWS 23 den Schadensherd zu lokalisieren und einzugrenzen. An der Basis des Grundwasserleiters wurde im Bereich der GWS 23 schwarze Phase festgestellt und ein LHKW-Gehalt von 1g/l LHKW analysiert.

Die ebenfalls in Abb. 3 dokumentierten Bodenluftanalysen, die im Nachgang zu den Grundwassersondierungen als Sanierungsuntersuchungen durchgeführt wurden, ergaben bis auf die Probe aus BL 6 vergleichsweise geringe LHKW-Gehalte bis 30 mg/m<sup>3</sup>. Hier ist bemerkenswert, dass z.B. in der mit 78.000 µg/l LHKW belasteten GWS 21 nur Bodenluftgehalte <10 mg/m<sup>3</sup> gemessen wurden.

#### 3.3.2 Bereich Sbr.2

Die Ergebnisse der Grundwasseranalysen aus den Grundwassersondierungen im Bereich Sbr. 2 sind in Abbildung 4 dargestellt.

Aus Abb. 4 ist ersichtlich, dass mit der GWS 29 ein kleinräumiger Schadensbereich erfasst werden kann-

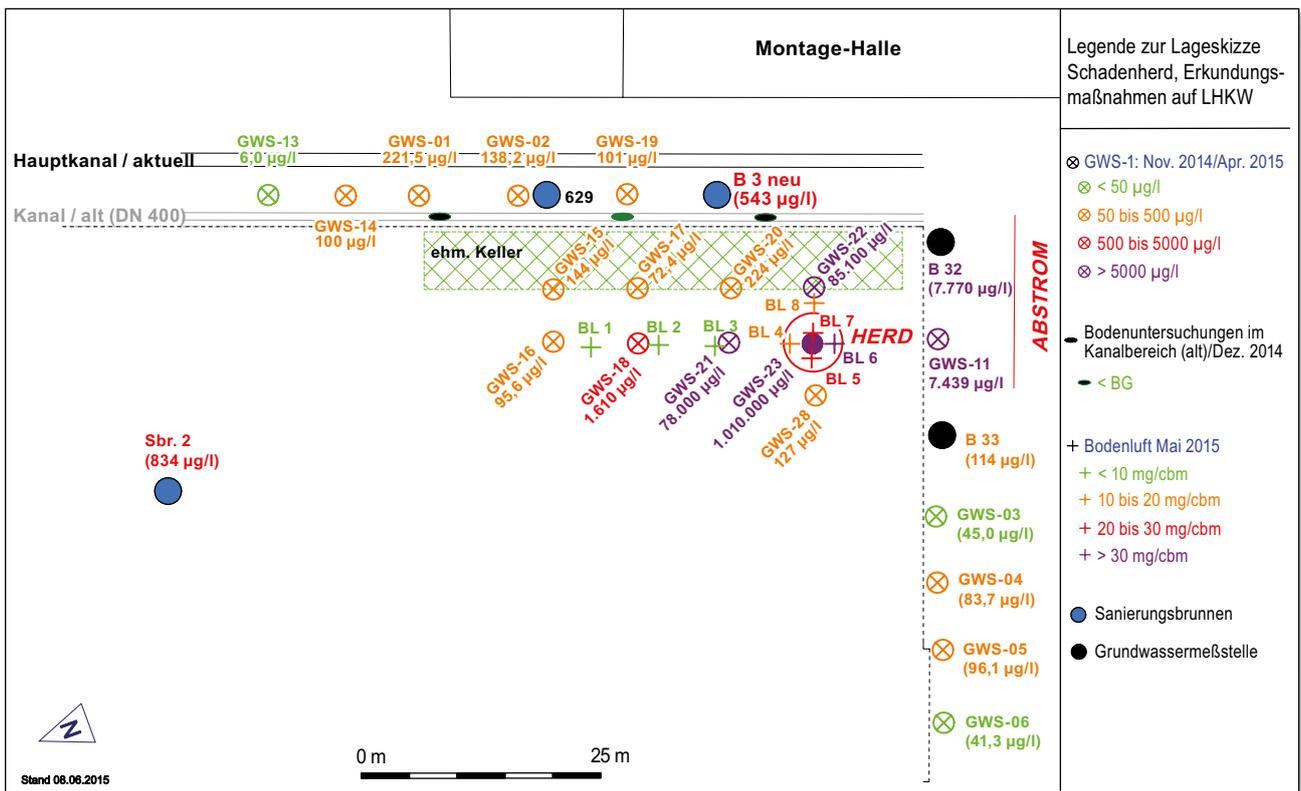


Abb. 3: Analyseergebnisse aus den Grundwassersondierungen im Bereich B 3neu [2]

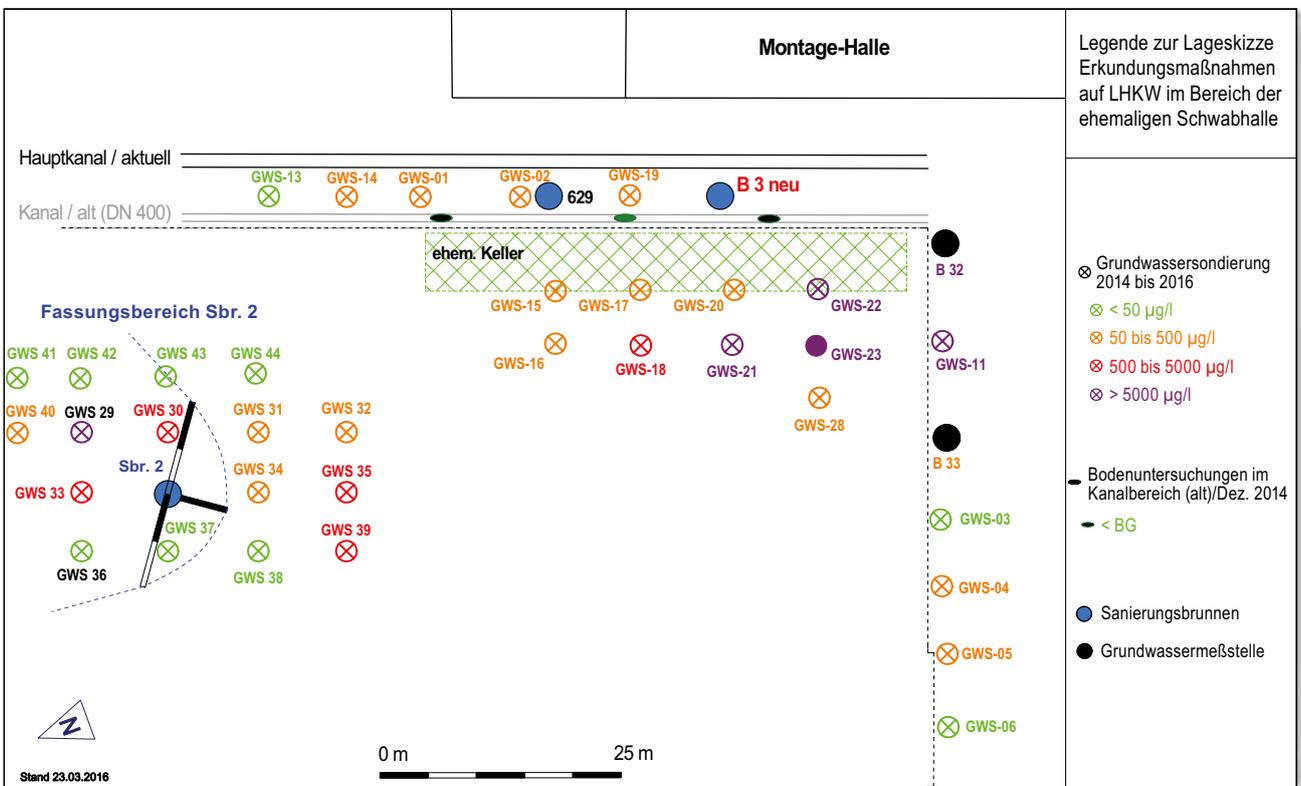


Abb. 4: Analyseergebnisse aus den Grundwassersondierungen im Bereich Sbr. 2 [1]

te. In der Probe aus GWS 29 wurden Schlieren von LHKW festgestellt und es wurden 160 mg/l LHKW analysiert. Zwar erfasst der Sanierungsbrunnen Sbr. 2 den Schadensherd bei GWS 29 und dessen Umfeld. Da jedoch die LHKW-Gehalte seit 2009 bei ca. 500 µg/l verharren, ist davon auszugehen, dass durch die

alleinige Sanierung an Sbr. 2 ein Sanierungserfolg in absehbarer Zeit nicht zu erwarten ist, da aus dem erkundeten Schadstoffreservoir in GWS 29 weiterhin Schadstoffe nachgeliefert werden. Auch dieser Schadensbereich konnte mit den Bodenluftuntersuchungen nicht erkundet werden.

## 4 geplante Optimierungsmaßnahmen

Der Schadensbereich B3<sub>neu</sub> wird um die GWS 23 durch Bodenaushub saniert, damit sowohl die vorhandene LHKW-Phase auf dem Grundwasserstauer sowie die in den Stauer eingesickerten LHKW entfernt werden können. Vor Beginn der Sanierung wird eine Abstromsicherung errichtet. Außerdem werden weitere Grundwassermessstellen zur Abstromüberwachung gebaut.

Im Sanierungsbereich Sbr. 2 wird ein zusätzlicher Sanierungsbrunnen im Bereich der hochbelasteten GWS 29 errichtet. Dies ist hier gegenüber dem im Sanierungsbereich B3<sub>neu</sub> gewählten Bodenaushub das verhältnismäßigere Mittel, weil der Grundwasser-

stauer in diesem Bereich ca. 2 m tiefer ist, der Schadensbereich kleiner ist und die Schadstoffbelastung insgesamt sowie auch im Abstrom deutlich geringer ist. In den ebenfalls hoch belasteten GWS 35 und 39 im Abstrom von Sbr. 2 liegt aufgrund der kontinuierlichen Grundwasserentnahme in Sbr. 2 und dem bereits wieder höher liegenden Grundwasserstauer eine geringe Ergiebigkeit des Grundwasserleiters vor, so dass hier weitere hydraulische Maßnahmen nicht möglich sind. Die hier gemessenen LHKW-Gehalte sind aufgrund des geringen Grundwasserzuflusses bei der Probenahme jedoch auch nur bedingt repräsentativ.

## 5 Fazit

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass ein unvollständig erkundeter Schadensherd dazu führen kann, dass eine hydraulische Sanierung an nicht optimal positionierten Sanierungsbrunnen nicht zum Erfolg führt. In diesem Beispiel gibt es hierfür unterschiedliche Gründe:

Im Sanierungsbereich B3<sub>neu</sub> war eine Erkundung aufgrund des zu niedrigen Kellers unter der denkmalgeschützten Halle nicht möglich. Bei den nun nachträglich nach 30 Jahren durchgeführten Erkundungsmaßnahmen wurden folgende Schwierigkeiten bei der Suche und Erfassung des Schadensherds offensichtlich:

1. An der Stelle des jetzt lokalisierten Schadensherdes gab es nie eine LHKW-Anwendung. Vermutlich hat sich die LHKW-Phase an der Tonoberfläche entlang dorthin ausgebreitet. Die Suche nach dem Eintragsherd ausgehend von Anwendungsbereichen auf Grundlage einer historischen Erkundung hätte hier nicht zum Erfolg geführt.

2. Wie aus Abbildung 3 ersichtlich ist, war eine Lokalisierung des Schadens über die Untersuchung der Bodenluft ebenso wenig erfolgreich, da die Konzentrationsverteilung in der Bodenluft nicht die Situation im Grundwasser widerspiegelt.
3. Letztlich blieb in diesem Fall als einziges Mittel eine rasterförmige Untersuchung des Grundwassers. Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass aufgrund der kleinräumigen Varianz der LHKW-Gehalte ein enges Raster von ca. 5 m erforderlich war, um den Schadensherd lokalisieren und eingrenzen zu können.
4. Die hydraulische Sanierung an B3<sub>neu</sub> war nicht erfolgreich, obwohl der Schadensherd im Absenktrichter des Sanierungsbrunnens liegt. Letztlich wurde durch die Lage des Brunnens neben dem Schadensherd nur ein Teilstrom des Grundwassers saniert.

Im Sanierungsbereich Sbr. 2 dagegen wurde nach der vor 30 Jahren gängigen Methode erkundet und saniert: Ausgehend vom Standort der Dampffettungsanlage wurden Bodenluft- und Grundwasseruntersuchungen durchgeführt und an dem ermittelten Schadensschwerpunkt der Sanierungsbrunnen errichtet. Die Sanierung an diesem Brunnen war zunächst auch insofern erfolgreich, dass die LHKW-Gehalte von rund 4000 µg/l auf ca. 500 µg/l reduziert werden konnten und eine Verlagerung der LHKW in den Abstrom verhindert wurde. Auch hier wurde erst durch eine rasterförmige Erkundung mit der inzwischen zur Verfügung stehenden Direct-Push-Technologie erkannt, dass dieser Sanierungsbrunnen nicht ausreicht, um den Schaden zu sanieren und es erforderlich ist, in 10 m Entfernung einen weiteren Sanierungsbrunnen in dem neu erkundeten Schadensbereich zu errichten.

Im Hinblick auf die stattfindenden Diskussionen zur Prüfung der Verhältnismäßigkeit von langlaufenden

Grundwassersanierungen ist folgendes Fazit zu ziehen:

1. Für die Prüfung der Verhältnismäßigkeit von hydraulischen Sanierungen ist zunächst zu prüfen, ob alle technischen Möglichkeiten zur Erkundung bzw. Sanierung des Schadensherdes und Optimierung der Sanierung ausgeschöpft wurden. Um dieses Ziel zu erreichen, bleibt unter Umständen nur die Möglichkeit einer rasterförmigen Neuerkundung.
2. Rasterförmige Untersuchungen sind je nach Größe der Altfläche, des Schadens und der geologischen Gegebenheiten aufwändig. Neben der Prüfung der Verhältnismäßigkeit einer laufenden Sanierung ist daher auch zu prüfen, welcher Untersuchungsaufwand für die Optimierung einer Sanierung gerechtfertigt ist. Die Diskussion um die Verhältnismäßigkeit von langlaufenden Grundwassersanierungen ist daher eng verknüpft mit der Frage der Verhältnismäßigkeit von erneuten Erkundungsmaßnahmen.

## 6 Literatur

- [1] Dr. KLAUS FRANK (23.03.2016) Bericht zu den Ergebnissen der Grundwassersondierungen im Bereich des aktiven Sanierungsbrunnen Sbr. 2
- [2] Dr. KLAUS FRANK (09.06.2015) Ergebnisse der LHKW-Bodenluftuntersuchungen im Bereich um den aktuellen LHKW-Hauptschadenherd Grundwassersondierung GWS-23/April 2015
- [3] Dr. KLAUS FRANK (06.11.2014) Bericht Stand 30.10.14, LHKW-Bodenluftsanierung im Bereich C3/C4 des ehemaligen Gebäudekomplexes der Schwabhalle
- [4] Dr. KLAUS FRANK (10.06.2014) Bericht zum Stand der Grundwassersanierung 2013
- [5] Dr. KLAUS FRANK (15.06.2006) Bericht zu orientierenden Bodenuntersuchungen im Bereich der Schwabhalle im Hinblick auf eine künftige Nutzung als Wohngebiet



# Schadstoffe an der Schnittstelle Grund-/ Oberflächengewässer

Toxikologie - Akkumulation - Abbau

ANKE UHL

## 1 Zusammenhang zwischen Oberflächen- und Grundwasser

Das Grundwasser ist sowohl einer der größten kontinentalen Lebensräume als auch Teil des globalen Wasserkreislaufs. Es vernetzt die verschiedenen ober- und unterirdischen aquatischen Lebensgemeinschaften – insbesondere Oberflächengewässer und Grundwasser. An diesen Stellen tritt eine besondere Wechselwirkung auf, mit Lebensräumen ganz eigener Prägung und hoher Artenvielfalt.

Die größte Ökosystemdienstleistung dieser Wechselzone ist der biologische Stoffumsatz, der auch einen Schadstoffabbau beinhaltet. Wissenschaftlich erwiesen ist mittlerweile, dass gesunde Grundwasserökosysteme mit sauberem Grundwasser korrelieren und

eine intakte Biozönose im Lückensystem der Bachsohle Voraussetzung für die Selbstreinigung eines Fließgewässers ist. Umgekehrt ist ein eingeschränktes Artenspektrum immer ein Hinweis auf eine beachtenswerte Schädigung des Ökosystems.

Diese wissenschaftlichen Erkenntnisse haben die Europäische Union (EU) veranlasst, eine integrale Betrachtung des Wasserkreislaufs durch die Wasser-Rahmenrichtlinie (WRRL; engl.: water frame directive – WFD) rechtsverbindlich ihren Mitgliedsstaaten vorzugeben. Für Oberflächengewässer ist diese Betrachtung weitgehend abgeschlossen.

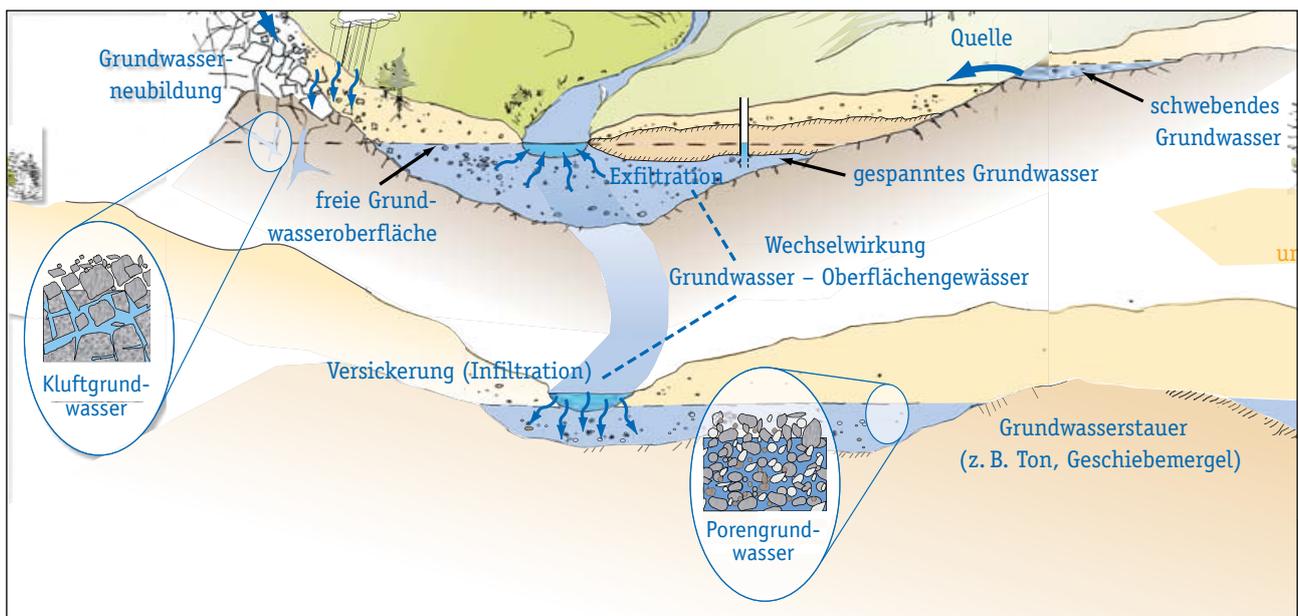


Abb. 1: Vernetzung von Grund- und Oberflächenwasser (Ausschnitt aus: Plakat der Sächsischen Landesstiftung Naturschutz, Grundwasser)

Hinsichtlich des Grundwassers jedoch nicht. Derzeit hat die EU-Kommission eine Arbeitsgruppe eingerichtet, um Grundwasserfaunatypen zu erarbeiten, weil mittlerweile wissenschaftlich anerkannt ist, wie vernetzt Grundwasserqualität und die entsprechenden Grundwasserorganismen sind. Die Arbeitsgruppe ist breit aufgestellt und berücksichtigt die entsprechenden Vernetzungen der Ökosysteme und ihrer Organismen. Sie betrachtet neben den Grundwasserökosystemen (GWE Groundwater Ecosystems) auch die Grundwasser assoziierten aquatischen Ökosysteme (GWAAE Groundwaterassociated Aquatic Ecosystems) sowie die grundwasserabhängigen terrestrischen Ökosysteme (GWDTE Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems). Analog zu den Oberflächengewässern sollen in diesen Systemen lebende, typische Tierarten beschrieben werden. Aus diesem lebensraumtypischen Arteninventar werden Referenzorganismen abgeleitet, anhand derer das Grundwasser bewertet werden wird. Nur Grundwasserkörper, die die entsprechenden Arten mit der notwendigen Häufigkeit aufweisen, werden den gesetzlich festgelegten „guten ökologischen Zustand“ erreichen.

Das Lückensystem der Bachsohle ist hydrologisch definiert als Grundwasser, das in hydraulischer Wechselwirkung mit dem Oberflächengewässer steht. Es wird beeinflusst durch die Gewässerstruktur, die chemische Gewässerbeschaffenheit, die Grundwasserbeschaffenheit sowie die Auenanbindung. Bei vielen Insekten- und Amphibienarten ist der Bach die Brutstätte, dann schlüpfen die Tiere und gehen an Land, in die Aue oder ins Grundwasser. Daher muss der gesamte Lebensraum in den Blick genommen werden, um Jungtiere – oft Larven – auffinden zu können, die dann für den gesetzlich festgelegten „guten ökologischen Zustand“ herangezogen werden. Dies erfordert die Zusammenarbeit vieler naturschutz- und umweltfachlicher Disziplinen. In Hessen sind bei den Vollzugsbehörden die Belange von mindestens sechs Fachdezernaten betroffen (Abteilung Umwelt: Oberflächengewässer, Abwasser, Grundwasser und Bodenschutz, sowie aus der Abteilung Naturschutz: Fischerei, Eingriffsregelung, möglicherweise auch der Fachbereich Schutzgebiete).

## 2 Gesetzliche Zielwerte bei chemischen Stoffen im Grund- und Oberflächenwasser

Im stofflichen Bereich zeigt sich die mangelnde fachliche Verzahnung der Anforderungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser (Tabelle 1).

Die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GfS) werden aus ökotoxikologischen und humantoxikologischen Erkenntnissen abgeleitet wie analog die flussgebietspezifischen Stoffe nach WRRL. Die Umweltqualitätszielwerte hingegen sind in der Oberflächengewässerverordnung (Oberflächen gewässerVO) festgelegt und folgen den Vorgaben unterschiedlicher EU-Richtlinien. Die vorgegebenen Werte sind Jahresdurchschnittswerte und müssen zwingend eingehalten werden, ansonsten erreicht der Oberflächengewässerkörper nicht den gesetzlich vorgeschriebenen „guten ökologischen Zustand“. In Oberflächengewässern sind derzeit reglementiert und werden in Hessen untersucht:

- 67 flussgebietspezifische Schadstoffe (Anlage 6 OberflächengewässerVO)
- 45 prioritäre Stoffe (Anlage 8 der OberflächengewässerVO)
- 21 prioritär gefährliche Stoffe (Anlage 8 der OberflächengewässerVO)
- 10 Stoffe, auf der verpflichtend zu überwachenden Beobachtungsliste (2015/495/EU-Kom)

Aus den Meereskonventionen stammt das Ziel, die Einträge von prioritär gefährlichen Stoffen innerhalb einer Generation zu beenden (sog. „phasing out“).

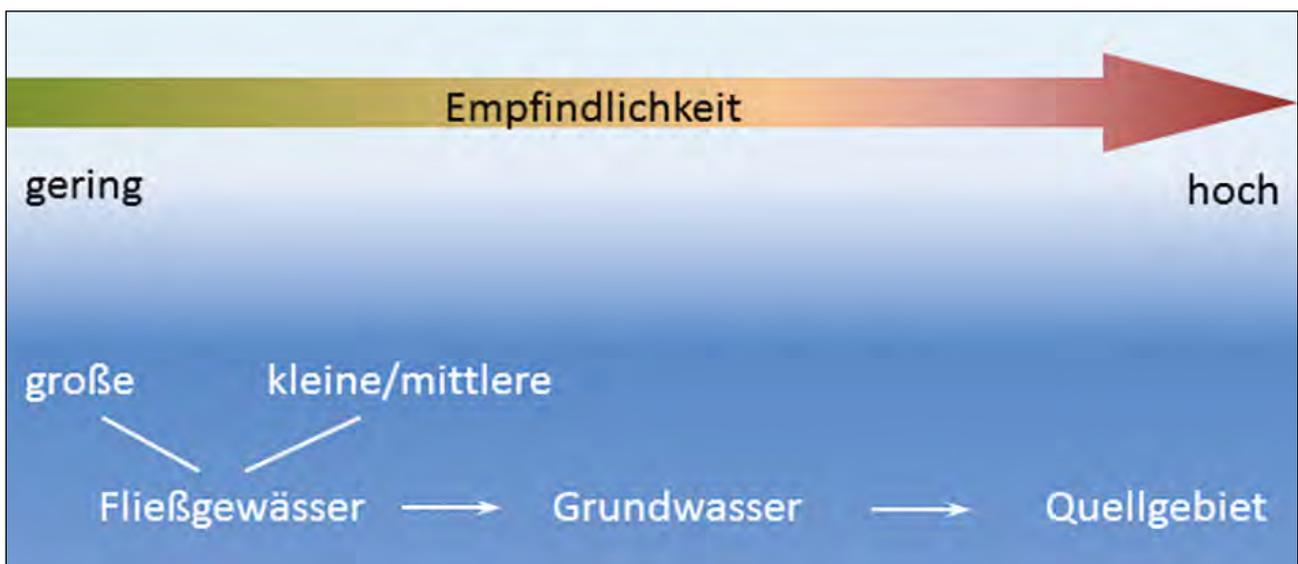
In Tabelle 1 fällt auf, dass das Grundwasser bei den Stoffen Blei, Quecksilber und Benzo(a)pyren weniger hohe Schutzwerte aufweist als das Oberflächenwasser.

**Tab. 1:** Gesetzliche Zielwerte für Grund- und Oberflächenwasser im Vergleich (eigene Zusammenstellung nach UBA, Wasserwirtschaft in Deutschland, Teil 2)

Stoffname	Geringfügigkeits-Schwellenwerte (GWS-VwV, Hessen, Okt. 2016)	Umweltqualitätsziel im Oberflächengewässer (* gilt nur für 6 Jahre)
Blei	7 µg/l	1,2 µg/l *
Nickel	14 µg/l	4 µg/l *
Quecksilber	0,2 µg/l	0,05 µg/l *
Benzol	1 µg/l	10 µg/l *
Benzo(a)pyren	0,01 µg/l	0,00017 µg/l *
Summe PAK	0,2 µg/l	n. a. *
Tetra- u. Trichlorethen	10 µg/l	je 10 µg/l *
Summe LHKW	20 µg/l	Fehlanzeige

Das Handbuch Altlasten des HLNUG Band 3 Teil 8 (Ökotoxikologische Verfahren als Bewertungshilfen bei Altlastenverfahren) stellt die Empfindlichkeit von Gewässern fachlich dar (Abbildung 2). Dies entspricht wie in Tabelle 1 zu sehen ist, jedoch nicht der aktuellen Rechtslage. Entsprechend leitet das Handbuch hinsichtlich ökotoxikologischer Werte auch

schärfere Anforderungen für das Grundwasser ab als für mittlere und kleine Fließgewässer. Dieser fachlichen Logik müsste der Gesetzgeber folgen. Da es sich beim Wasserrecht um konkurrierende Gesetzgebung handelt, könnte sowohl der Bund als auch das Land handeln, um das Grundwasser entsprechend zu schützen.



**Abb. 2:** Empfindlichkeit von Süßwasserökosystemen (aus: HLUG Handbuch Altlasten Band 3, Teil 8, S. 32)

### 3 Schädwirkungen chemischer Substanzen

Die Schadpotentiale einzelner Substanzen lassen sich grob in ihre toxische und mutagene/krebserregende Wirkung unterteilen.

- Eine toxische Komponente aller Schwermetalle ist die irreversible Bindung an das Coenzym A. Diese Schwermetallanlagerung an die funktionelle Gruppe dieses Coenzym bewirkt, dass die Atmungskette zur Energieerzeugung nicht durchlaufen werden kann. Blei und Quecksilber sind so giftig, dass sie keinerlei mutagene Wirkung zeigen.
- Viele in der Altlastensanierung vorkommenden Substanzen finden sich auf der Liste der krebserregenden Stoffe der Krebsforschungseinrichtung der WHO (International Agency for cancer research-IARC). Schon lange als krebserregend anerkannt sind: Asbest, Arsen, Cadmium, Chrom, Nickel, Benzol und Benzo(a)pyren. Tetrachlore-

then ist bislang nur der Kategorie 2A, wahrscheinlich Krebs erregend, zugeordnet. Trichlorethen ist seit 2014 neu auf dieser im Internet einsehbaren Liste kanzerogener Substanzen.

- Eine Vielzahl polyaromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) wirkt mutagen, weil die planare Struktur der Moleküle die Erbsubstanz verändern kann, indem sie sich zwischen den beiden Doppelsträngen an den ebenfalls planar aufgebauten Basen (Purin und Pyrimidinbasen) anlagert und anschließend sog. Rasterschubmutationen verursacht.
- Chlorkohlenwasserstoffe können sich entweder an fettreiche Nervenzellen anlagern und dort an den Nervenzellmembranen Störungen bewirken oder in den Zellen Epoxide oder andere Radikale bilden und dadurch ebenfalls mutagen wirken.

### 4 Akkumulation von Schadstoffen

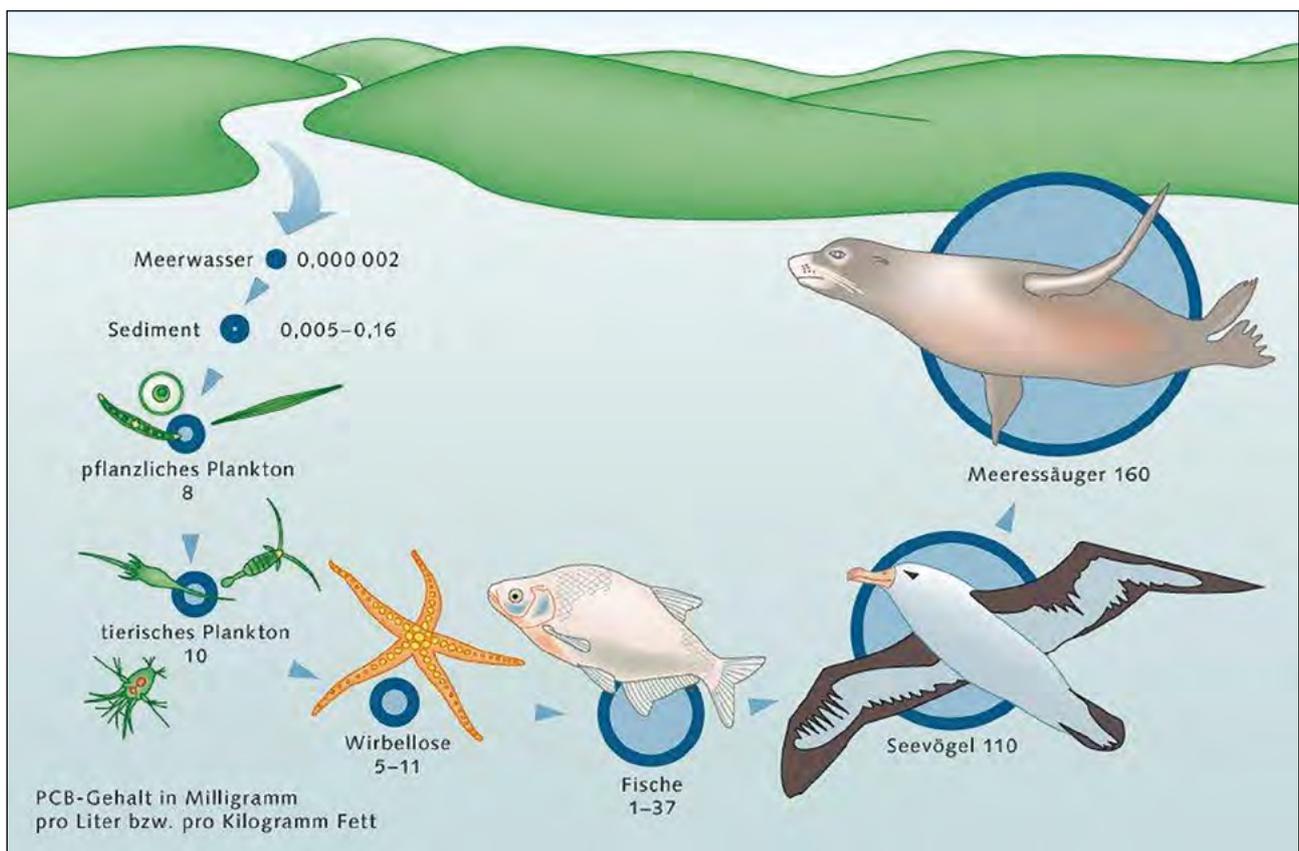


Abb. 3: Akkumulation von PCB im Meer (aus: World Ocean review, maribus gGmbH, Hamburg 2010 - nach Böhlmann 1991)

Nahezu alle Schadstoffe akkumulieren irgendwo in der Nahrungskette. Da der Mensch am Ende der Nahrungskette steht, sind diese Anreicherungsraten auch im alltäglichen Leben bedeutsam. Dies belegen Tabelle 2 für Süßwasser- und Abbildung 3 für Salzwasserorganismen.

**Tab. 2:** Akkumulation von Quecksilber im Süßwasser (aus: Vorlesungsskript, Prof. Siegfried Kreibe, Hochschule Augsburg)

Organismengruppe	Durchschnittlicher Akkumulationsfaktor
Wasserpflanzen	1000
Süßwasserfische	63.000
Wirbellose Süßwasserlebewesen	100.000

## 5 Abbau von Schadstoffen

Die sauerstoffversorgten Gewässerbereiche funktionieren hinsichtlich des Abbaus analog zum Boden, weil die gleichen Abbaumechanismen greifen. Alle von Organismen aufgenommenen Schadstoffe werden entsprechend der metabolischen Möglichkeiten entweder umgebaut, eingebaut oder ausgeschieden. Je größer die Stoffwechselaktivität ist, umso größer ist der Abbau. Bakterien und Pilze setzen ungerichtete Enzyme zum Abbau ein. Bei oraler Aufnahme durch höhere Organismen durchläuft der Schadstoff zunächst den Magen. Dieser ist bei Insekten, Muscheln und Schnecken alkalisch; bei allen Wirbeltieren sauer. So durchläuft ein Schadstoff im Bach zumeist einen alkalischen Aufschluss mit anschließender Metabolisierung. Muscheln und Schnecken besitzen im Gegensatz zu den Insekten Nieren als Entgiftungsorgane. Die Fische haben wie alle Wirbeltiere den sauren Magen und besitzen als zusätzliches Entgiftungsorgan die Leber.

### Schwermetalle:

Alle Elemente bleiben im Stoffkreislauf und bauen sich nicht ab.

Sie werden entweder aus dem Wasserkreislauf über die Nahrungskette ausgetragen oder verbleiben im Sediment. Untersuchungen zeigen, dass die Schwermetallkonzentration in den Sedimenten in den letzten Jahren abnimmt; sie lösen sich langsam in die fließende Welle zurück und landen letztlich in den Meeren.

### PAK:

Aromatische Verbindungen sind in der Regel recht persistent.

Sie können vollständig mineralisiert, unspezifisch oxidiert oder cometabolisch umgebaut werden. Dies geschieht tendenziell in allen Organismen, allerdings können bei einem metabolischen Umbau schädliche Abbauprodukte entstehen. Für einzelne Organismenarten kann dies tödlich sein. Dies ist jedoch nicht die Regel, in der Vielzahl der Fälle wirken die Entgiftungsmechanismen effektiv. Arten reagieren unterschiedlich empfindlich, je nachdem ob entsprechende Enzyme vorhanden sind, um die zentralen Benzolringe zu verändern.

### CKW:

Auch Chlorkohlenwasserstoffe sind langlebige Verbindungen. Sie können jedoch auch umgewandelt werden. Tetrachlorethen zum Beispiel wird von Säugetieren metabolisiert und als Trichloressigsäure mit dem Urin ausgeschieden.

Mittlerweile ist in Ökosystemen neben dem bekannten induzierbaren anaeroben Abbau über eine schrittweise Dechlorierung zum Ethen, auch der aerobe Abbau vom Trichlorethen zum Ethen nachgewiesen. Der aerobe Abbau hat den Vorteil, dass der erste Reaktionsschritt der langsamste und somit das Vinylchlorid kein stabiles Zwischenprodukt ist. Außerdem finden keine Begleitprozesse statt, die das Grundwasser verschlechtern und es müssen keine Hilfsstoffe zugesetzt werden. Mittlerweile wurde durch ein Forschungsprojekt anhand von Mikrokosmenversuchen aufgezeigt, dass der aerobe Abbau ab dem Trichlorethan sogar noch stimuliert werden kann. Für Tetrachlorethan ist der aerobe Abbau noch nicht nachgewiesen.

## 6 Nachweis der Schädlichkeit über Testverfahren

Alle Substanzen, die innerhalb der EU zugelassen werden, müssen zuvor untersucht werden.

Für Humanarzneimittel sind zum Beispiel hinsichtlich der aquatischen Ökotoxizität folgende Verfahren gesetzlich vorgegeben (Arzneimittelgesetz, Phase I Tier A):

- OECD 301 Leichte biologische Abbaubarkeit
- OECD 201 Algen-Wachstumshemmtest
- OECD 211 Daphnien-Reproduktions-Toxizitätstest
- OECD 210 Fisch, Early Life Stage Test (FELS)
- OECD 209 Belebtschlamm-Atmungshemmtest

Und hinsichtlich der terrestrischen Toxizität zusätzlich (Arzneimittelgesetz, Phase I Tier B):

- OECD 208 Pflanzentoxizität

- OECD 207 Akute Regenwurmtoxizität
- ISO 11267 Collembolen-Reproduktionstoxizitätstest
- OECD 216 N-Umsatz bei Bodenorganismen

Diese Testauswahl zeigt, dass neben den akuten auch chronische Wirkungen untersucht werden. Die Testzusammensetzung ergibt sich aus pragmatischen Erwägungen wie einfache Handhabung sowie Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Selbst bei den Humanarzneimitteln ist die ökotoxikologische Bewertung wichtig. Erbsubstanz und einige Enzyme sind bei allen Organismen vorhanden. Problematische Testergebnisse können dann zu weiteren Zellkultur/Chromosomen-Untersuchungen oder enzymatischen/metabolischen Untersuchungen führen.

## 7 Chemikalienvielfalt

Neben den schon seit Jahrzehnten bekannten, teilweise verbotenen Schadstoffen treten, wie wir bei der gesetzlichen Regelung der Oberflächengewässer gesehen haben, immer neue Stoffe mit schädlichen Eigenschaften auf. Diclofenac, Carbamazepin und Glyphosat sind Namen, die von Zeit zu Zeit in der Presse erwähnt werden. Für Oberflächengewässer existiert eine verpflichtende Beobachtungsliste, die alle zwei Jahre aktualisiert wird, mit derzeit 10 Substanzen, darunter Diclofenac. Diese Stoffe sollen

untersucht werden; anhand der aufgefundenen Konzentrationen soll dann entschieden werden, ob der Stoff zu den prioritären Stoffen hinzugefügt werden muss.

Für das Grundwasser erarbeitet eine EU-Experten-Gruppe derzeit eine freiwillige Beobachtungsliste, diese soll bis Ende 2017 vorliegen. Die Mitgliedsstaaten können dann freiwillig auf die empfohlenen Substanzen untersuchen.

## 8 Literatur

HOLLEMANN, A.F., WIBERG, E. & WIBERG, N. (2007): Lehrbuch der Anorganischen Chemie. – 102. Aufl.; Berlin (de Gruyter).

[http://dechema.de/events\\_media/Schmidt\\_DECHEMA\\_201112-p-3706.pdf](http://dechema.de/events_media/Schmidt_DECHEMA_201112-p-3706.pdf)

[www.tzw.de/pdf/.../schlussbericht\\_aerober-ckw-abbau\\_igf\\_16224-n.pdf](http://www.tzw.de/pdf/.../schlussbericht_aerober-ckw-abbau_igf_16224-n.pdf)

Brendelberger, Martin, Brunke, Hahn; Grundwasser-geprägte Lebensräume, Limnologie aktuell, Bd 14, Schweizerbart 2015

Wasserwirtschaft in Deutschland, Teil 2, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/wawi\\_teil\\_02\\_2014.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/wawi_teil_02_2014.pdf)

Polyzyklische aromatische Wasserstoffe, Umweltschädlich! Giftig! Vermeidbar?, (November 2012) Umweltbundesamt

Schminke, H. K., Heinzelmännchen im Grundwasser, Biologie in unserer Zeit, 27. Jahrgang 1997, Nr. 3, VCH Weinheim

<http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/chlor-kohlenwasserstoffe/13635>

Forth, W.; Henschler, D.; Rummel, W., Starke, K. (1992); Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie, 6. Auflage, Mannheim (BI Wissenschaftsverlag)

Spektrum der Wissenschaft, Heft 10, 1993

<http://www.spektrum.de/magazin/biologische-reinigung-oelkontaminierter-boeden/821129>

<http://www.spektrum.de/magazin/pak-altlasten-bewertung-der-mikrobiellen-sanierung/821131>

Vorlesungsskripte, Prof. Siegfried Kreibe, Hochschule Augsburg;

<http://www.hs-augsburg.de/~skreibe/downloads/grundl-umwelt-10-substanzbeispiele-2015.pdf>

<http://www.hs-augsburg.de/~skreibe/downloads/grundl-umwelt-5-stoffwechsels-2013.pdf>

<http://www.hs-augsburg.de/~skreibe/downloads/grundl-umwelt-6-toxikokinetik-2015.pdf>

World Ocean review, maribus gGmbH, Hamburg 2010

HLNUG, Handbuch Altlasten, Band 3, Heft 8

<https://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/ressourcen/oekosystemgewaesser100512.pdf>

[www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4\\_oberirdische\\_gewaesser/doc/nr\\_461.pdf](http://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4_oberirdische_gewaesser/doc/nr_461.pdf)

<https://www.deutsche-digitale-bihttp://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/Table4.pdf-fbliothek.de/binary/DCWVR6C2QEXPUTE-7CUTVZ6OD7SNNXBE7/full/1.pdf>

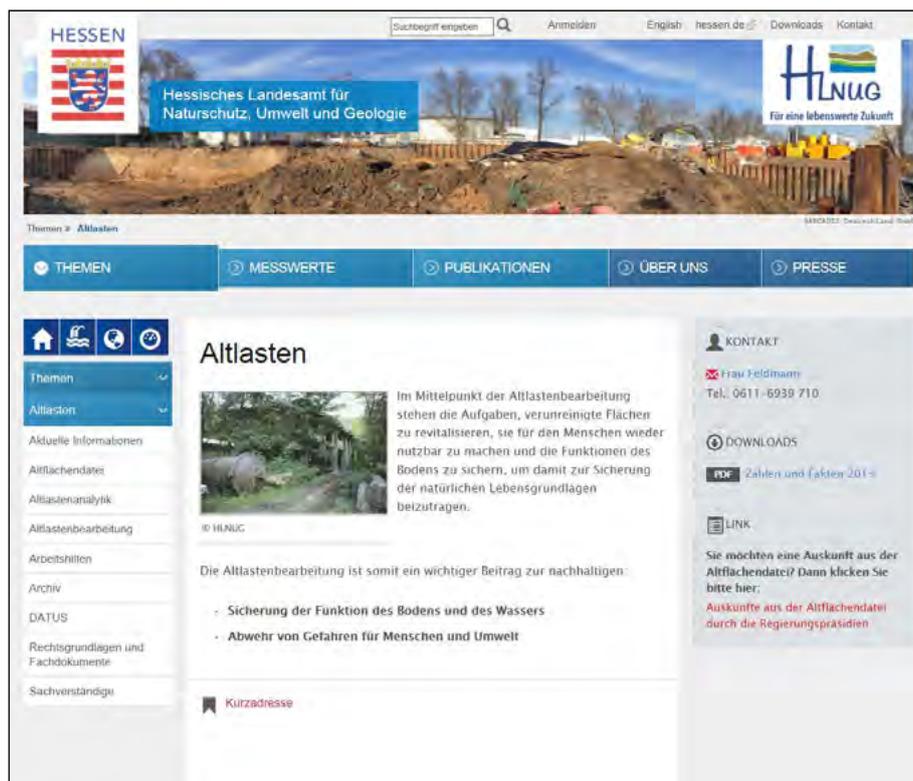
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf>

Durchführungsbeschluss (EU) 2015/495 der Kommission vom 20. März 2015

Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer vom 20. Juni 2016



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

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

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

Wesentliche Bestandteile des Handbuches sind

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

### **Teil 5** € 7,50 **Auswertung von Mineralöl-Gaschromatogrammen (2005)**

Volltext verfügbar \*

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

Als Alternative zu dem „H 18-Verfahren“ stehen gaschromatographische Verfahren für Wasser-, Boden- und Abfalluntersuchungen zur Verfügung. Diese Verfahren sind zwar aufwändiger, haben aber einen wichtigen Vorzug: Bei der Auswertung von MKW-Gaschromatogrammen sind Rückschlüsse über die Art, die Zusammensetzung und den Abbaugrad der

Mineralölprodukte in einer Probe möglich.

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

Bei konkreten MKW-Schadensfällen ist das HLNUG gerne zur Unterstützung bei der Auswertung von MKW-Gaschromatogrammen bereit. Ansprechpartner ist Hr. Zeisberger (0611 6939-748).

### **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

**Teil 7** nur im Internet\*  
**Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen** (2013)

2., aktualisierte Auflage 2013

Das Handbuch (Erstaufgabe 2008) wurde hinsichtlich der Literaturquellen aktualisiert. Weiterhin wurde der Anhang 8 „Ableitung von Grundwasser-Wieder-versickerung, Einleitung in Abwasseranlagen und oberirdische Gewässer“ überarbeitet.

Wenn durch den unsachgemäßen Umgang mit wassergefährdenden Stoffen eine Grundwasserverunreinigung eingetreten ist, gelten für die Entscheidung über eine Grundwassersanierung die Vorgaben der Verwaltungsvorschrift zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen (GWS-VwV). Ziel der vorliegenden Arbeitshilfe ist die Erläuterung und fachliche Konkretisierung der in der GWS-VwV genannten Ausführungen zu schädlichen Grundwasserverunreinigungen und Sanierungen bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Grundwasserschadensfällen.

Der Schwerpunkt der Arbeitshilfe liegt bei den Fragestellungen

- Liegt eine schädliche Grundwasserverunreinigung vor?
- Ist die Sanierung eines Grundwasserschadens erforderlich?

Weiterhin werden in der Arbeitshilfe folgende

Themen kurz behandelt:

- Sanierungsziele
- Optimierung und Beendigung von Sanierungen
- Stand der Technik
- Einleitung von Hilfsstoffen in das Grundwasser bei In-situ-Sanierungen
- Einleitung von Grundwasser in Abwasseranlagen und oberirdische Gewässer.

Bei der Prüfung, ob bei einer Altlast, einer schädlichen Bodenveränderung oder einem Grundwasser-

schaden ein Sanierungsbedarf besteht, sind vor allem die im Grundwasser gelöste Schadstoffmenge und die mit dem Grundwasser transportierte Schadstofffracht relevant. Die in der Arbeitshilfe beschriebenen Bewertungsmaßstäbe für die Schadstoffmenge und -fracht wurden anhand von 35 hessischen Schadensfällen auf Plausibilität geprüft. Die endgültige Entscheidung über den Handlungsbedarf bleibt stets eine Einzelfallentscheidung.

Die Arbeitshilfe richtet sich an die Mitarbeiter in Behörden und Ingenieurbüros, die bei der Sanierung von Grundwasserschäden beteiligt sind. Sie wurde von einer Arbeitsgruppe mit Vertretern des Umweltministeriums, der Regierungspräsidien und Unteren Wasserbehörden sowie des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (Federführung) erarbeitet.

**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 zur Überwachung natürlicher  
Abbau- und Rückhalteprozessen im  
Grundwasser (Monitored Natural At-  
tenuation 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** €12,-  
**Arbeitshilfen zur Überwachung und  
Nachsorge von altlastverdächtigen  
Flächen und Altlasten** (2005)

Volltext verfügbar \*

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

1. Langzeitüberwachung und Funktionskontrolle von Dichtwandumschließungen
2. Langzeitüberwachung von Reaktiven Wänden
3. Überwachung von biologischen in-situ-Sanierungen
4. Kriterien für die Beendigung von Grundwasser und Bodenluftüberwachungen.

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

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

#### Neuerscheinung

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

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 \*

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.

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

Folgende Themengebiete werden in den Arbeitshilfen behandelt:

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

einer Erprobungsphase ist die endgültige Bearbeitung unter Berücksichtigung der bis dahin gesammelten Erfahrungen mit der Anwendung der „Arbeitshilfen“ vorgesehen.

Parallel zu den dargestellten acht Teilthemen wurden bundesweit die fachlichen und materiellen Anforderungen 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: [post@hlnug.hessen.de](mailto:post@hlnug.hessen.de)

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

## **Autorinnen und Autoren des Altlasten-annual 2016**

### **Dr. Katja Amstätter**

CDM Smith Consult GmbH  
Neue Bergstraße 13  
64665 Alsbach

### **Dieter Baun**

CDM Smith Consult GmbH  
Neue Bergstr. 13  
64665 Alsbach

### **Dieter Binder**

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

### **Dr. Jan Brodsky**

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

### **Dr. Heinrich Eisenmann**

Isodetect GmbH  
Ingolstädter Landstr. 1  
85764 Neuherberg

### **Marie-Anne Feldmann**

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

### **Dr. Anko Fischer**

Isodetect GmbH  
Deutscher Platz 5b  
04103 Leipzig

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

reconsite GmbH  
Aublerlenstraße 13  
70736 Fellbach

### **Dieter Hülpiusch**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dezernat IV/Wi 41.1 – Grundwasser, Bodenschutz  
Lessingstraße 16–18  
65189 Wiesbaden

### **Nina Menke**

CDM Smith Consult GmbH  
Neue Bergstraße 13  
64665 Alsbach

### **Silvia Paskert**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dezernat IV/Da 41.5 – Bodenschutz –  
Wilhelminenstraße 1–3  
64283 Darmstadt

### **Marion Peine**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dezernat IV/Wi 41.1 – Grundwasser, Bodenschutz  
Lessingstraße 16–18  
65189 Wiesbaden

### **Thomas Portune**

HPC AG  
Kapellenstraße 45a  
65830 Kriftel

### **Dr.-Ing. Volker Schrenk**

CDM Smith Consult GmbH  
Neue Bergstr. 13  
64665 Alsbach

### **Andrea Schütz-Lermann**

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

### **Jutta Sextro**

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

**Karin Teichmann**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dezernat IV/Da 41.5 – Bodenschutz  
Wilhelminenstraße 1–2  
64283 Darmstadt

**Oliver Trötschler**

VEGAS  
Universität Stuttgart  
Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung  
Pfaffenwaldring 61  
70550 Stuttgart

**Anke Uhl**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dezernat IV/Da 41.2 – Oberflächengewässer  
Wilhelminenstraße 1–2  
64283 Darmstadt

**Sylvia Widmann**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dezernat IV/F 41.1 – Grundwasser, Bodenschutz Ost –  
Gutleutstraße 114  
60327 Frankfurt

**Michael Wolf**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dezernat 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

**Thomas Ziegelmayr**

Regierungspräsidium Darmstadt  
Dezernat IV/Wi 41.1 – Grundwasser, Bodenschutz  
Lessingstraße 16–18  
65189 Wiesbaden

