



## **Hinweise zur Sanierungsentscheidung für Oberflächensicherungen bei Altlasten im Hinblick auf den Grundwasserpfad**

Erkenntnisse und Empfehlungen aus einer Recherche  
durchgeführter Sicherungsmaßnahmen

[LANUV-Arbeitsblatt 7](#)



**Hinweise zur Sanierungsentscheidung für Oberflächensicherungen  
bei Altlasten im Hinblick auf den Grundwasserpfad**

Erkenntnisse und Empfehlungen aus einer  
Recherche durchgeführter Sicherungsmaßnahmen

**LANUV-Arbeitsblatt 7**

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Recklinghausen 2009

## IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361-305-0 Telefax 02361-3053215 E-Mail: <a href="mailto:poststelle@lanuv.nrw.de">poststelle@lanuv.nrw.de</a>
Autoren	Dr. Ingrid Obernosterer (Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. Düllmann GmbH, Aachen)
Redaktion	Michael Odenaß, Stefan Schroers (LANUV NRW)
Titelfoto	Bau einer Oberflächenabdichtung (Foto: Büro Düllmann)
ISSN	1864-8916 LANUV-Arbeitsblätter

---

Informations-  
dienste: Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter  
• [www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de)  
Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im  
• WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179

Bereitschafts-  
dienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV NRW  
(24-Std.-Dienst): Telefon (02 01) 71 44 88

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet.  
Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

## Vorwort

Bei der Sanierung von Altlasten haben bautechnische Sicherungsverfahren eine große Bedeutung. In Nordrhein-Westfalen wurden bisher bei ca. 30 % der durchgeführten Sanierungen Oberflächensicherungen ausgeführt. Diese Sanierungen zielten in den meisten Fällen insbesondere darauf ab, den Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser zu verhindern bzw. zu vermindern.

Über die Wirkungen durchgeführter Oberflächensicherungsmaßnahmen im Hinblick auf den Schutz des Grundwassers ist in den meisten Fällen wenig bekannt. Aus den im Rahmen der Nachsorge erhobenen einzelfallspezifischen Daten des Grundwassermonitorings konnten bislang wenige übergreifende Aussagen über die Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen abgeleitet werden.

Um fallübergreifende Aussagen über die Wirksamkeit von Oberflächensicherungsmaßnahmen bei Altlasten im Hinblick auf den Grundwasserpfad zu erhalten und Empfehlungen für künftige Entscheidungen über derartige Maßnahmen ableiten zu können, wurde im Auftrag des LANUV NRW eine Prüfung und Auswertung der Randbedingungen und langjährigen Überwachungsdaten von Einzelfällen durchgeführt.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Vorgehensweise bei der Recherche der Fallbeispiele, deren Ergebnisse und enthält Empfehlungen zur Optimierung der Standorterkundung, zur fachlichen Bewertung hinsichtlich des Grundwasserpfad, zur Sanierungsentscheidung und zu den Anforderungen an eine sachgerechte Überwachung. Diese Ergebnisse bieten eine Hilfestellung für die Beurteilung der Effizienz (Aufwand und Wirksamkeit) von geplanten Oberflächensicherungen im Einzelfall.



Dr. Heinrich Bottermann  
Präsident des  
Landesamtes für Natur,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Ziele, Methodik und Grundlagen des Untersuchungsvorhabens</b> .....	<b>8</b>
2.1	Ziele .....	8
2.2	Methodischer Ansatz .....	9
2.3	Kategorien von Oberflächensicherungen .....	9
2.4	Rechtliche Regelungen für die Errichtung von Oberflächensicherungen bei Altlasten .....	10
<b>3</b>	<b>Recherche von Fallbeispielen</b> .....	<b>12</b>
3.1	Vorgehensweise und Anforderungen an die Projektauswahl .....	12
3.2	Typisierung und Auswahl von Fallbeispielen.....	13
3.3	Kriterien für die Recherche / Rechercheraster .....	14
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b> .....	<b>19</b>
4.1	Anforderungen an Standortuntersuchungen.....	19
4.1.1	Schadenserkundung .....	19
4.1.1.1	Schadstoffspektrum .....	20
4.1.1.2	Quellarchitektur und Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasserspiegel .....	20
4.1.1.3	Sickerwasserprognose.....	22
4.1.1.4	Erkundung des Grundwasserschadens .....	23
4.1.1.5	Allgemeiner Grundwasserchemismus im Hinblick auf Natural Attenuation .....	24
4.1.2	Weitere Prüfkriterien für Oberflächensicherungen.....	25
4.2	Fachliche Bewertung hinsichtlich des Grundwasserpfad.....	26
4.2.1	Art der Oberflächensicherung .....	26
4.2.2	Kombination oder Oberflächensicherung mit anderen Verfahren.....	28
4.2.3	Wirksamkeit .....	30
4.2.4	Wirkungsdauer.....	39
4.2.5	Nutzen/Kosten-Untersuchung.....	40
4.3	Sanierungsentscheidung .....	41
4.3.1	Sanierungsziele .....	41
4.3.1.1	Wertunabhängige Sanierungsziele .....	44
4.3.1.2	Zielwerte.....	45
4.3.1.3	Sanierungszielfestlegung in den Fallbeispielen .....	46
4.3.1.4	Sanierungszielerreichung in den Fallbeispielen.....	48
4.3.2	Empfehlungen zur Festlegung der Sanierungsziele und -maßnahmen...50	
4.3.3	Anforderungen an die Datenlage zur Sanierungsentscheidung .....	51
4.4	Anforderungen an die Überwachung des Grundwassers und Erfahrungen aus den Fallbeispielen.....	52
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>59</b>

## Anlagenverzeichnis

- Anlage 1** Tabellarische Zusammenfassung der Randbedingungen der Fallbeispiele
- Anlage 2** Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten für das Aufbringen von Entwässerungs- und Rekultivierungsschichten



# 1 Einleitung

Statistische Erhebungen in Nordrhein-Westfalen zeigen seit Jahren, dass bautechnischen Sicherungsverfahren bei der Sanierung von Altlasten hohe Bedeutung zukommt. Dabei spielen insbesondere die unterschiedlichen Methoden der Oberflächensicherung (Abdichtung, Abdeckung oder Versiegelung durch Überbauung) eine wesentliche Rolle. In Nordrhein-Westfalen wurden bisher ca. 30 % der sanierten Altlasten oberflächengesichert. Vertikale Dichtungselemente oder gar nachträgliche Basisabdichtungen kamen und kommen deutlich seltener zur Ausführung.

Das Ziel einer Oberflächensicherung besteht in der Regel darin, die Infiltration von Niederschlagswasser in den Boden, d. h. die Bildung von Sickerwasser, zu unterbinden, um die Verlagerung von Schadstoffen aus der ungesättigten Bodenzone in die Tiefe - meist in das Grundwasser - zu verhindern.

Der Wirkungsgrad einer Oberflächensicherung hängt von den Randbedingungen im Einzelfall ab. Entscheidenden Einfluss nehmen die Art der Schadstoffe (ausschließlich mit dem Sickerwasser verlagerbare Stoffe, auch in freier Phase bewegliche Stoffe), die Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasser (ausschließlich in der ungesättigten Zone, sowohl in der ungesättigten als auch in der gesättigten Zone) sowie die Untergrundbeschaffenheit (gut oder gering durchlässig, Locker- oder Festgestein).

Über die generelle Effizienz und Langzeitwirksamkeit von Oberflächensicherungen ist trotz der Vielzahl der durchgeführten Maßnahmen bislang nur wenig bekannt. Zwar werden im Rahmen der Nachsorge in vielen Einzelfällen regelmäßige Kontrollen der Versiegelungen und vor allem Grundwassermonitorings durchgeführt, jedoch fehlen bislang systematische und vergleichende Auswertungen dieser Daten im Hinblick auf die grundsätzliche Wirkkraft bzw. -dauer und damit den Grad der Eignung dieser Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers.

Im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) wurde daher eine Studie konzipiert, in der vorliegende Praxiserfahrungen mit der Durchführung von Oberflächensicherungen vordringlich unter den vorgenannten Aspekten ausgewertet werden sollten. Die Ergebnisse dieser Studie sind Gegenstand des vorliegenden Berichtes.



## **2 Ziele, Methodik und Grundlagen des Untersuchungsvorhabens**

### **2.1 Ziele**

Die breite Anwendung von Oberflächensicherungen zur Sanierung von Altlasten beruht auf einer Reihe von Vorteilen, die dieses Verfahren in vielen Fällen gegenüber anderen Maßnahmen bietet:

- breit gefächerte schadstoff-, boden-, material- und standortspezifische Eignung
- ausgereifte Techniken
- meist einfache Handhabung
- zeitnah umsetzbar
- in der Regel genehmigungsfähig
- oft wirtschaftlichste Sanierungsvariante

Ob jedoch eine Oberflächensicherung unter den gegebenen Randbedingungen auch die sinnvollste Sanierungsvariante ist, bleibt einer detaillierten Prüfung in jedem Einzelfall überlassen.

Wichtigster Aspekt bei der vergleichenden Bewertung alternativer Sanierungsvarianten ist der Nutzen eines Verfahrens, der bei der Kosten-Nutzen-Analyse der Wirtschaftlichkeit gegenüberzustellen ist. Der Nutzen einer Maßnahme definiert sich nach mehreren Kriterien, denen unterschiedliche Indikatoren zugeordnet werden können (LUA NRW, 2000).

Maßgebliches Kriterium ist die Wirksamkeit, die insbesondere durch die Erreichbarkeit der Sanierungsziele und die Langzeitstabilität der Maßnahme bestimmt wird. Gerade darüber herrscht oft jedoch noch große Unsicherheit, so dass Fehleinschätzungen möglich sind.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel des Projektes, aus den konkreten Erfahrungen in Einzelfällen unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen möglichst standortübergreifende Aussagen zur Effizienz und Langzeit-Wirksamkeit von Oberflächensicherungen abzuleiten.

Kenntnisse darüber sind insbesondere deshalb von Interesse, weil eine Vielzahl von Altlasten bislang noch nicht saniert ist, die dafür zur Verfügung stehenden Mittel jedoch immer knapper werden. Daraus leitet sich ab, bevorzugt die Altlastsanierungen zu realisieren, die eine hohe Effizienz, d.h. ein günstiges Kosten/Nutzen-Verhältnis erwarten lassen.

Mit der vorliegenden Ausarbeitung soll den zuständigen Behörden und gleichermaßen den Sanierungspflichtigen wie den beteiligten Planern ein Instrumentarium zur Verfügung gestellt werden, das eine vertiefte Bewertung der Einsatzmöglichkeiten und des Nutzens einer Oberflächensicherung im Einzelfall zulässt und gleichzeitig die Anforderungen an die Sanierungsuntersuchung sowie die Planung, Ausführung und Nachsorge einer solchen Maßnahme konkretisiert.

## 2.2 Methodischer Ansatz

Grundlage für die Erarbeitung der Arbeitshilfe ist eine Recherche bereits durchgeführter Einzelfälle. Zu diesem Zweck wurde im ersten Schritt eine Voranfrage nach Datensätzen geeigneter Projekte bei allen Kreisordnungsbehörden durch das LANUV NRW durchgeführt.

Die nach der Vorauswahl als prinzipiell verwendbar erscheinenden Fälle wurden im zweiten Schritt durch Mitarbeiter der Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden einer genaueren Betrachtung unterzogen. Die Ergebnisse dieser Erhebungen führten schließlich zu einer Auswahl an Projekten, die vertieft recherchiert wurden. Dabei wurden alle verfügbaren Daten zur Untergrund- und Schadenserkundung, Gefährdungsabschätzung, Sanierungsplanung und -durchführung sowie zur Überwachung und Nachsorge erhoben und nach einer standardisierten Form zusammengestellt. Im Anschluss wurden diese Daten zunächst auf den Einzelfall bezogen ausgewertet und schließlich einer standortübergreifenden Bewertung unterzogen, die wiederum Basis für die Herleitung der Empfehlungen ist.

Die Details der Datenrecherche und Auswertung werden in Kapitel 3 näher erläutert.

## 2.3 Kategorien von Oberflächensicherungen

Unter dem Begriff Oberflächensicherung werden technische Maßnahmen an der Oberfläche einer Altlast verstanden, mit denen die Ausbreitung von Schadstoffen und deren Einwirkung auf Schutzgüter verhindert oder verringert werden sollen. In erster Linie soll eine Sickerwasserminimierung erreicht werden.

Bei einer Oberflächensicherung mit dem Ziel der Sickerwasserminimierung wird im Allgemeinen zwischen einer Oberflächenabdichtung, einer Oberflächenabdeckung und einer Versiegelung durch Überbauung wie folgt unterschieden:

- Die Begriffe **Oberflächenabdichtung / Oberflächenabdichtungssystem** stammen aus abfallrechtlichen Regelungen (TA Siedlungsabfall, TA Abfall, Abfallablagerungsverordnung, Deponieverordnung). Darunter sind mehrschichtige Systeme, bestehend aus einer Ausgleichs-, Dichtungs-, Entwässerungs- und Rekultivierungsschicht zu verstehen, bei dem die verschiedenen und voneinander eindeutig getrennten Schichten jeweils spezifische Funktionen übernehmen. Für die Errichtung werden Materialien mit definierten Kennwerten verwendet. Die Dichtungselemente weisen hohe Dichtigkeiten und Langzeitstabilitäten auf. Die Umsetzung der planerischen Leistung wird in der Regel durch laufende Qualitätssicherungskontrollen beim Herstellungs- und Einbauprozess nachgewiesen. Es wird zwischen einfachen Oberflächenabdichtungen und Kombinationsabdichtungen unterschieden. Die redundanten Systeme weisen in der Regel zwei von einander unabhängig wirkende Dichtungsschichten mit unterschiedlichen Eigenschaften auf. Bei Ausfällen einer Dichtungsschicht übernimmt die andere die alleinige Dichtungsfunktion. Die Ausgestaltung eines Oberflächenabdichtungssystems bei Altlasten erfolgt in Abhängigkeit der Randbedingungen des Einzelfalls. Dabei ist eine Orientierung an den o. g. abfallrechtlichen Anforderungen möglich.

- Im Gegensatz dazu wird unter einer **Oberflächenabdeckung** meist das Aufbringen nur einer Dichtungsschicht in Verbindung mit einer Rekultivierungsschicht und ohne Flächendrainage verstanden. Die Dichtungsschicht unterliegt keinen definierten oder nur geringen Dichtigkeitsanforderungen. Qualitätskontrollen während des Einbaus entfallen oder erfolgen nur sporadisch. Im Regelfall bietet eine Oberflächenabdeckung weniger Schutz gegenüber Niederschlagswassereintritt.
- Eine Oberflächensicherung durch **Überbauung** kann sehr unterschiedlich gestaltet werden. Zum einen kann die Abdichtungswirkung durch die Errichtung von Gebäuden über der Altlast erreicht werden, zum anderen sind Pflasterungen oder Asphaltierungen möglich. Häufig setzt sich eine Oberflächenversiegelung durch Überbauung aus verschiedenen Elementen auf unterschiedlichen Teilflächen zusammen, die sich aus dem (Nach-)Nutzungskonzept für den Standort ergeben.

## 2.4 Rechtliche Regelungen für die Errichtung von Oberflächensicherungen bei Altlasten

Für Altlasten, d. h. Altstandorte und Altablagerungen, ergeben sich die Notwendigkeiten und Umfänge durchzuführender Sicherungsmaßnahmen aus dem am 01. März 1999 in Kraft getretenen Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG). In § 4 Abs. 3 BBodSchG ist allgemein geregelt, dass *"...der Verursacher einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast sowie dessen Gesamtrechtsnachfolger, der Grundstückseigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück verpflichtet sind, den Boden und Altlasten sowie durch schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten verursachte Verunreinigungen von Gewässern so zu sanieren, dass dauerhaft keine Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen. Hierzu kommen bei Belastungen durch Schadstoffe neben Dekontaminations- auch Sicherungsmaßnahmen in Betracht, die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern."* Konkrete Vorgaben für die Ausgestaltung einer Oberflächensicherung, wie sie aus dem Abfallrecht bekannt sind, existieren für Altlasten nicht. Die Deponieverordnung (DepV<sup>1</sup>) oder die Technischen Anleitungen (TA Siedlungsabfall, TA Abfall) können herangezogen werden, sind jedoch für Altlastensanierungen nicht bindend. Insbesondere für die Oberflächensicherung von Altablagerungen ist deren Berücksichtigung oder zumindest eine Anlehnung daran jedoch erforderlich und üblich.

Der wesentliche Unterschied in den Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme bei Deponien und Altablagerungen ist, dass für Deponien das Vorsorgeprinzip gilt, für Altlasten dagegen das Gefahrenabwehrprinzip. Das Vorsorgeprinzip fordert, dass nach menschlichem Ermessen keine Emissionen auftreten dürfen, die zu einer nachteiligen Beeinträchtigung der Umwelt führen könnten. Nach dem Gefahrenabwehrprinzip ist eine Oberflächensicherung

---

<sup>1</sup> Die Bundesregierung erarbeitet derzeit eine Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts. Deren Inhalt ist es, das aus Deponieverordnung, Abfallablagerungsverordnung und Deponieverwertungsverordnung sowie drei Verwaltungsvorschriften bestehende zersplitterte Deponierecht zu kodifizieren. Zugleich soll die europäische Richtlinie 2006/21/EG über die Bewirtschaftung von Abfällen aus der mineralgewinnenden Industrie für nicht dem Bergrecht unterfallende Betriebe umgesetzt werden.

schon dann ausreichend, wenn bestehende Emissionen so reduziert werden, dass die Sanierungsziele hinsichtlich der Gefahrenabwehr eingehalten werden.

An dieser Stelle ist es erforderlich, die Begriffe Altablagerung und Altdeponie gegeneinander abzugrenzen:

- **Altablagerungen** sind nach § 2 Abs. 5 Nr. 1 BBodSchG stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert worden sind.
- **Altdeponien** sind Deponien, die sich zu einem in der neuen Deponieverordnung definierten Stichtag in der Ablagerungs-, Stilllegungs- oder Nachsorgephase befinden und unterliegen daher dem Abfallrecht.

Die Vorgehensweise der Stilllegung einer Deponie wurde mit In-Kraft-Treten der DepV vom 24.07.2002 rechtlich konkretisiert und richtet sich nach dem Abfallrecht (vgl. LUA, 2006). In der Vergangenheit wurde oft die Erfüllung der von der zuständigen Behörde geforderten Voraussetzungen im Rahmen einer Ortsbegehung geprüft. Als Beleg für die ordnungsgemäße Stilllegung dienten dann Begehungsprotokolle oder Schriftverkehr. Die Vorgehensweise war uneinheitlich und undeutlich, was dazu führte, dass heute bei einer Reihe von Anlagen nicht eindeutig geklärt ist, ob diese als Altablagerungen oder Altdeponien einzustufen sind.

Für die Oberflächenabdichtung dieser Anlagen hat der Aspekt der rechtlichen Zuordnung allerdings kaum Bedeutung, da auch für Altdeponien gegenüber den derzeit geltenden Anforderungen an Oberflächenabdichtungen nach AbfAbIV und DepV alternative Systeme zugelassen werden können und in der Praxis in der Regel auch zugelassen wurden. Die Art und Qualität der Dichtung orientierte sich dabei meist an der konkreten Emissionssituation der Deponie, dem generellen Gefahrenpotenzial sowie den bautechnischen und ökologischen Randbedingungen (z. B. Steilheit der Böschungen, schon vorhandener Bewuchs).

## **3 Recherche von Fallbeispielen**

### **3.1 Vorgehensweise und Anforderungen an die Projektauswahl**

Die Recherche der Fallbeispiele erfolgte in insgesamt drei Stufen.

In einem ersten Arbeitsschritt wurde zunächst eine Voranfrage bei allen Kreisordnungsbehörden in NRW durch das LANUV NRW durchgeführt, um eine Übersicht über Art, Anzahl und Verfügbarkeit von Projektdaten zu erhalten. Sanierungsprojekte wurden dann als geeignet eingestuft, wenn

- die Schadstoffverteilung im Untergrund hinreichend bekannt ist,
- eine bautechnische Sicherung durch Oberflächenversiegelung vorgenommen worden ist,
- die bautechnische Ausführung vor mehreren Jahren erfolgte
- seither ein ausreichendes Grundwassermonitoring durchgeführt wurde und
- belastbare Monitoring-Daten aus der Zeit vor der Sanierung vorliegen

Bereits bei dieser Erhebung wurde deutlich, dass die Anzahl der geeigneten Projekte als gering einzustufen war, was in der Regel auf das Fehlen aussagekräftiger Monitoring-Daten zurückzuführen war.

Die nach der Vorauswahl als prinzipiell verwendbar erscheinenden Fälle wurden im zweiten Schritt durch Mitarbeiter der Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH in Zusammenarbeit mit dem AG und den zuständigen Behörden einer genaueren Betrachtung unterzogen. Dabei wurde insbesondere geprüft, ob die Projekte den folgenden Anforderungen entsprachen:

- Altablagerungen ohne Basis- und Flankenabdichtung oder Altstandort
- Dokumentation eines Grundwasserschadens
- aussagekräftiges Grundwassermonitoring über einen längeren Zeitraum vor und nach der Sanierung
- hinreichende Dokumentation der Erkundung, Sanierung und Überwachung
- Verfügbarkeit der Daten

In einem nächsten Schritt wurde die Lage der Schadensquelle in Bezug auf den Grundwasserschwankungsbereich untersucht. Insbesondere war hierbei zu differenzieren, ob sich die Schadensquelle in der ungesättigten oder gesättigten Bodenzone befindet. Weiterhin wurde hinterfragt, in wieweit die Altlast in der ungesättigten Bodenzone den Grundwasserschaden hervorgerufen hat oder ob der Grundwasserschaden durch Altlasten in der gesättigten Bodenzone bzw. durch direktes ein- oder mehrmaliges Einleiten von Schadstoffen in den Grundwasserleiter entstanden ist (insbesondere bei Altstandorten).

Die Ergebnisse dieser Erhebungen führten schließlich zu einer Auswahl an Projekten, die vertieft recherchiert wurden. Bei dieser Recherche wurden alle verfügbaren Daten zur Untergrund- und Schadenserkundung, Gefährdungsabschätzung, Sanierungsplanung und -durchführung sowie zur Überwachung und Nachsorge erhoben und nach einer standardisierten Form zusammengestellt.

### **3.2 Typisierung und Auswahl von Fallbeispielen**

Die Fallgestaltungen, bei denen Oberflächensicherungen zum Einsatz kamen bzw. kommen können, sind sehr vielschichtig.

Zum einen sind Altstandorte und Altablagerungen zu unterscheiden. Bei den Altablagerungen können wiederum Altablagerungen i.S.d. BBodSchG und Altdeponien nach Abfallrecht unterschieden werden. Unter letzteren werden in diesem Zusammenhang die Anlagen verstanden, auf denen schon vor In-Kraft-Treten der TA Siedlungsabfall die Ablagerungsphase beendet worden ist, die aber formal nicht stillgelegt worden sind. Fachlich unterscheiden sich diese Anlagen nicht von Altablagerungen nach BBodSchG, für die Oberflächenabdichtung gelten aber abfallrechtliche Regelungen.

Die Art der aufgetragenen Oberflächenabdichtung, -abdeckung oder -versiegelung ist ein weiteres Unterscheidungskriterium.

Ferner ist nach der Einbindung des Schadensherdes in die Schichtenfolge (Möglichkeit von Schichtwasserzutritten) und die Lage zum Grundwasser (ausschließlich in der ungesättigten Bodenzone / auch in der gesättigten Bodenzone) zu differenzieren. Dabei ist auch zu berücksichtigen, ob anderweitige Wasserzutritte, z. B. durch undichte Kanäle oder Leitungen, möglich sind.

Auch das Schadstoffspektrum (nur durch Lösung verlagerbare Schadstoffe und / oder mobile Schadstoffphasen) und die Untergrundbeschaffenheit (Locker- oder Festgesteinsbereich) spielen für den Sanierungserfolg eine maßgebliche Rolle.

Um für die späteren, standortübergreifenden Auswertungen eine möglichst fundierte Datenbasis bereit stellen zu können, wurde bei der Auswahl der Fallbeispiele Wert darauf gelegt, dass ein breit gefächertes Spektrum an Randbedingungen abgedeckt wird. Die Einzelfälle lassen sich im Wesentlichen nach folgenden Kriterien unterscheiden:

- Art der Altlast (Altstandort, Altablagerung)
- Schadstoffverteilung (nur ungesättigte / ungesättigte und gesättigte Bodenzone)
- Art des Grundwasserleiters (Lockergestein, Festgestein)
- Art der Schadstoffe
- Art der Oberflächensicherung

Insgesamt wurden die Daten von 14 Fallbeispielen erhoben. Dabei handelt es sich um 10 Altablagerungen und 4 Altstandorte. Eines dieser Projekte ist sowohl als Altablagerung als auch als Altstandort einzustufen.

Im Anschluss wurden die Daten zunächst auf den Einzelfall bezogen ausgewertet und schließlich einer standortübergreifenden Bewertung unterzogen. Die zusammenfassende Auswertung wird in Kapitel 5 vorgenommen.

### **3.3 Kriterien für die Recherche / Rechercheraster**

Die nach den Kriterien der Projektauswahl wesentlichen Charakteristika der 14 Fallbeispiele sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst. Eine umfassende Zusammenstellung der Randbedingungen findet sich in Anlage 1.

Die Auswertung umfasst ausschließlich Projekte aus Nordrhein-Westfalen (Abb. 3.1). Die Standorte liegen überwiegend innerhalb oder am Rand der Niederrheinischen Bucht bzw. des Münsterländer Kreidebeckens, so dass die Grundwasserschäden meist gut durchlässige Porengrundwasserleiter betreffen. Nur in zwei Fällen sind unmittelbar Kluffgrundwasserleiter betroffen.

Unter den verfügbaren Beispielprojekten waren Altablagerungen deutlich stärker vertreten als Altstandorte. Insgesamt wurden 10 Altablagerungen und 4 Standorte recherchiert (Abb. 3.2). Die Altablagerungen lassen sich wiederum unterscheiden in ehemalige Hausmülldeponien, Gewerbeabfalldeponien und flächige Ablagerungen zur Geländeprofilierung. Bei zwei dieser Fallbeispiele handelt es sich um Altdeponien, die formal noch nicht stillgelegt sind.

**Tab. 3.1:** Wesentliche Charakteristika der Fallbeispiele  
(ausführlichere Informationen s. Anlage 1)

Nr.	Art	Lage zum GW	Aquifer	Schadstoffe	Art der Oberflächensicherung
1	Altablagerung	ungesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter	heterogen, keine Differenzierung möglich	KDB 2,5 mm verschweißt
2	Altablagerung	ungesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter	heterogen, keine Differenzierung möglich	0,5 - 1,0m bindiger Boden ohne Verdichtungsanforderungen
3	Altablagerung	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter	heterogen, keine Differenzierung möglich	Kombinationsabdichtung: 0,5 m mineral. Dichtung KDB, 2,5 mm
4	Altablagerung	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter	heterogen, keine Differenzierung möglich	0,6 m mineral. Dichtung
5	Altablagerung	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter über schwach durchlässigem Kluftgrundwasserleiter	heterogen, keine Differenzierung möglich	KDB, 2,5 mm nicht verschweißt
6	Altablagerung	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter über schwach durchlässigem Kluftgrundwasserleiter	Zink, Cadmium, Chlorid, Sulfat, Nitrat	0,5 m mineral. Dichtung
7	Altablagerung	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter über schwach durchlässigem Kluftgrundwasserleiter	Sulfide, Arsen, Zink	KDB, 2,5 mm
8	Altablagerung	ungesättigte Bodenzone	schwach bis gut durchlässiger Kluftgrundwasserleiter (Karst)	Sulfat+Chlorid, Calcium+Magnesium, TOC, Kohlenwasserstoffe, AOX, PAK	0,25 m mineral. Dichtung Bentonitmatte
9	Altablagerung	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter	Arsen, Blei, Cadmium, Zink	Gebäude asphaltierte Verkehrswege PEHD-Folie
10	Altablagerung + Altstandort	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter	Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, PAK	Versiegelung durch Überbauung
11	Altstandort	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter über schwach durchlässigem Kluftgrundwasserleiter	PAK, BTEX	KDB, 2,5 mm
12	Altstandort	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter über schwach durchlässigem Kluftgrundwasserleiter	BTEX, PAK, Cyanide, Phenole, MKW	KDB, 2,5 mm
13	Altstandort	ungesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter	PAK, Cyanide	KDB, 2,5 mm
14	Altstandort	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	gut durchlässiger Porengrundwasserleiter über schwach durchlässigem Kluftgrundwasserleiter	LCKW, BTEX, KW	KDB, 2,5 mm



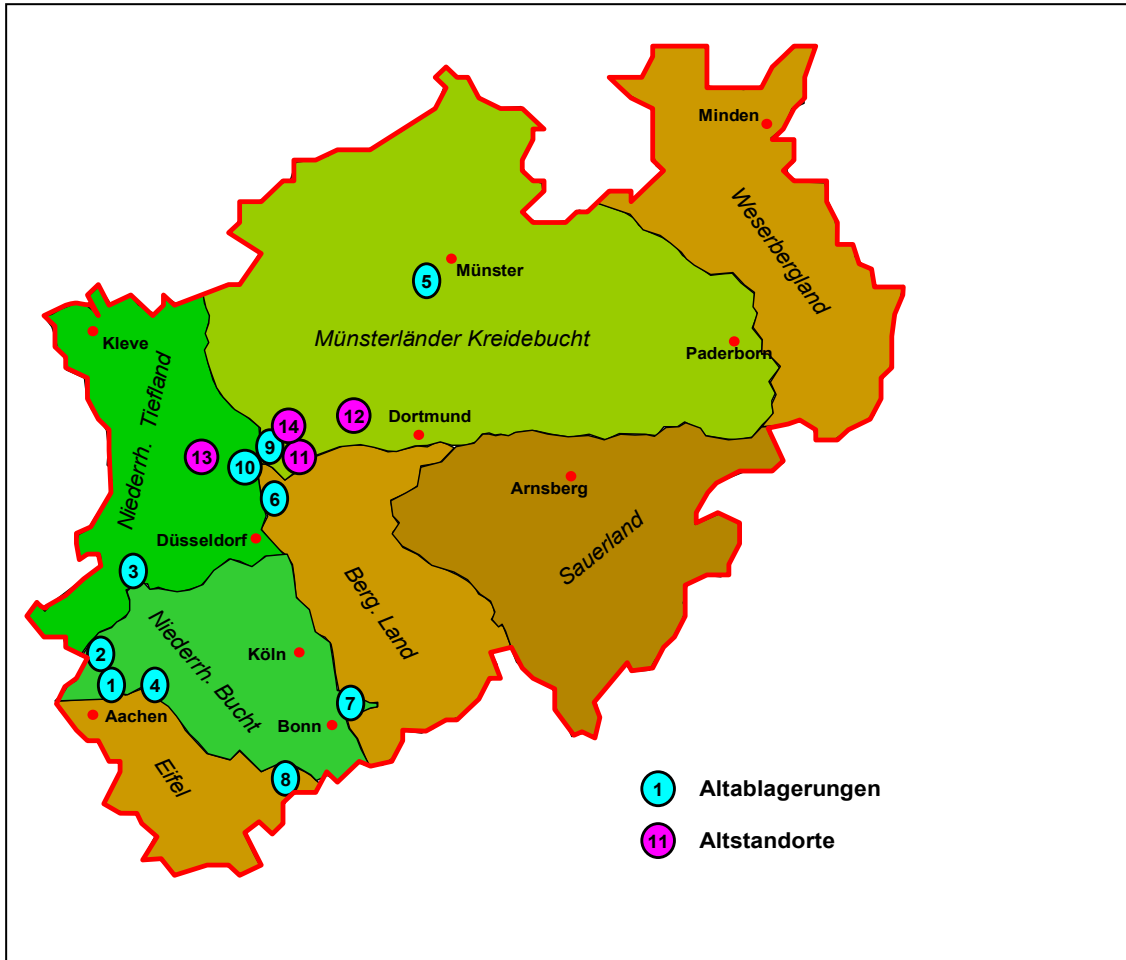


Abb. 3.1: Lage der Fallbeispiele

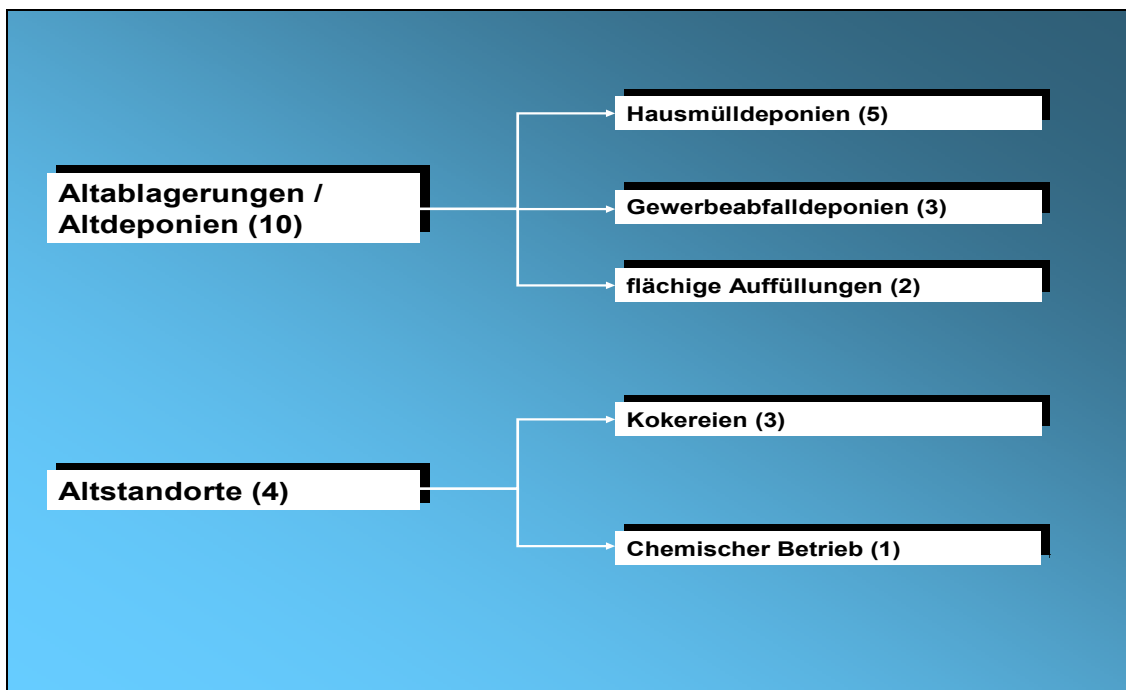


Abb. 3.2: Altlasttypen der Fallbeispiele

Unter den Altstandorten werden drei Kokereien und ein chemischer Betrieb betrachtet. Ein Fallbeispiel ist sowohl als Altablagerung als auch als Altstandort einzustufen. Aufgrund des Umfangs der Ablagerungen wird das Beispiel im Folgenden bei den Altablagerungen mit behandelt.

**Tab.3.2:** Schadstoffspektrum der Fallbeispiele

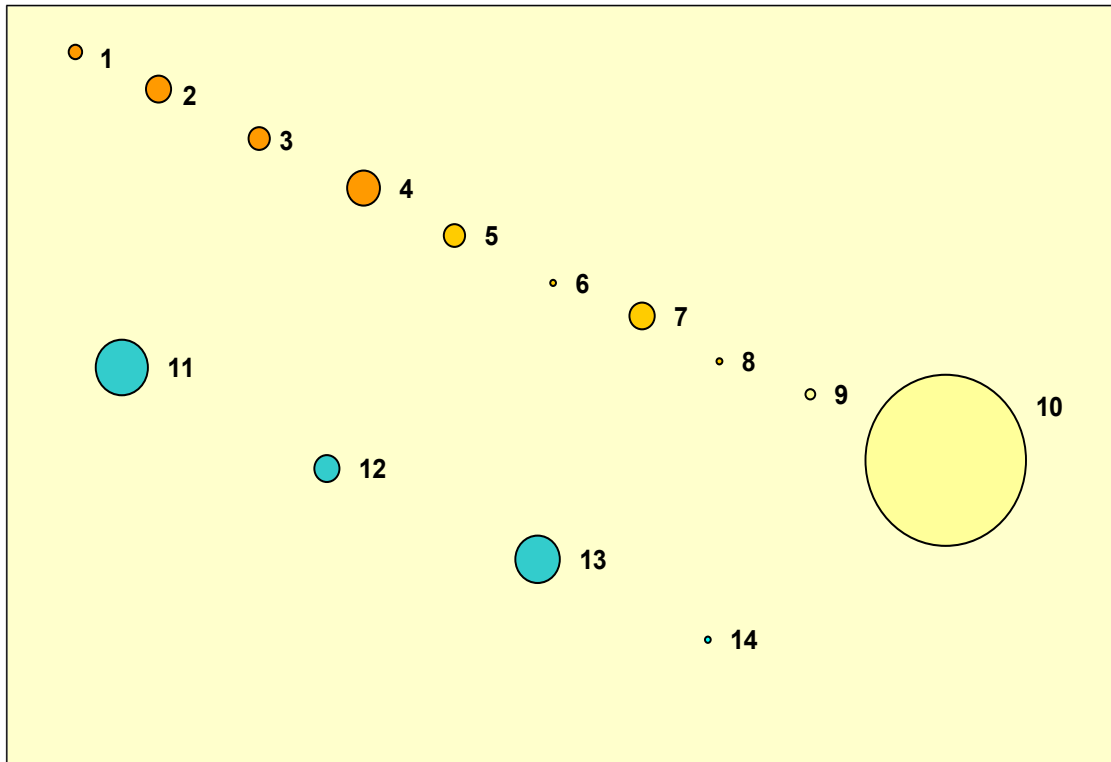
Altlast	Typ	Fall	Leitparameter
Altablagerung / Altdeponie	ehemalige Siedlungsabfalldeponie	1	Salze CSB Ammonium
		2	
		3	
		4	
		5	
	Gewerbeabfalldeponie	6	Schwermetalle (Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Zink) Salze (Chlorid, Sulfat, Nitrat)
		7	Schwermetalle (Arsen, Zink) Sulfide
		8	Salze (Sulfat, Chlorid, Natrium) hoher pH-Wert
	flächige Aufschüttungen	9	Schwermetalle (Arsen, Blei, Cadmium, Zink)
		10	Schwermetalle (Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Quecksilber) MKW PAK BTEX
Altstandort	Kokereien	11	PAK BTEX
		12	PAK BTEX Phenole Cyanide
		13	PAK BTEX Cyanide
	Chemischer Betrieb	14	LHKW BTEX MKW

Das Schadstoffspektrum der Fallbeispiele ist sehr heterogen (Tab. 3.2). Es lässt sich für die ehemaligen Siedlungsabfalldeponien nicht differenziert beschreiben.

Leitparameter sind hier in der Regel verschiedene Salze, Ammonium und der chemische Sauerstoffbedarf (CSB). Die Gewerbeabfalldeponien zeichnen sich durch Schwermetalle und/oder Salze aus. Die flächigen Aufschüttungen sind ebenfalls durch Schwermetalle, aber auch MKW und PAK gekennzeichnet. Bei den Kokereien treten in unterschiedlichem Umfang die gaswerksspezifischen Parameter PAK, BTEX, Cyanide und Phenole auf. In dem

chemischen Betrieb wurden verschiedene Lösemittel umgeschlagen, so dass heute Belastungen mit LHKW, BTEX und MKW vorliegen.

Auch in der flächenhaften Ausdehnung unterscheiden sich die Projektbeispiele erheblich. Die Unterschiede sind in Abbildung 3.3 veranschaulicht. Das flächenmäßig kleinste Projekt ist knapp 0,5 ha groß, das größte ca. 200 ha. Im Durchschnitt beträgt die Flächengröße ca. 20 ha.



**Abb. 3.3:** Veranschaulichung der Flächengrößen der Fallbeispiele

## **4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen**

Aufgrund der Vielzahl der Randbedingungen und Einflussgrößen ist es kaum möglich, typische Altlastenfälle zu definieren. Auch die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass die für die vorliegenden Untersuchungen herangezogenen Fallbeispiele insgesamt betrachtet sehr heterogen sind. Die Fallsammlung liefert daher kein repräsentatives Abbild der Sanierungspraxis mittels Oberflächensicherungen. Dennoch lassen sich aus der Analyse dieser Fälle Schlüsse ziehen, die auch für andere Fallgestaltungen von Bedeutung sind. Diese zusammenfassenden Schlüsse und Empfehlungen sind Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen. Sie erfolgen gesondert nach den für die Altlastenbearbeitung typischen Arbeitsschritten. Es folgen Schlussfolgerungen und Empfehlungen auf Grundlage der Fallauswertungen zur Schadenserkundung, zur Abdichtung, zur Formulierung von Sanierungszielen, bezüglich Anforderungen an die Datenlage zur Sanierungsentscheidung und zur Überwachung des Grundwassers.

Die Bearbeitungsschritte für die Feststellung, Untersuchung, Bewertung und schließlich Sanierung einer Altlast sind in ihren grundlegenden Zügen im BBodSchG sowie der BBodSchV festgelegt. Sie werden für Nordrhein-Westfalen durch das LBodSchG und zahlreiche Merkblätter, Arbeitshilfen und Ähnliches konkretisiert. Insbesondere sei auf die Vollzugshilfe Boden-Grundwasser (LUA NRW, 2003), die Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung (LUA NRW, 2000) und die Anforderungen an die Überwachung, Nachsorge und Eigenkontrolle (LUA NRW, 2006) verwiesen.

Die Bearbeitung aller für die Entscheidung über eine Oberflächensicherung und deren Planung relevanten Aspekte hätte den Rahmen einer Auswertung gesprengt. Daher wird im Folgenden eine Auswahl wesentlicher Punkte getroffen, für die sich aus der Auswertung der Fallbeispiele standortübergreifende Hinweise ableiten lassen.

### **4.1 Anforderungen an Standortuntersuchungen**

#### **4.1.1 Schadenserkundung**

Grundlage für die Feststellung, ob überhaupt ein Schaden vorliegt, und - sofern dies zutrifft - für die dann meist erforderliche Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung ist die Gefährdungsabschätzung. Sie ist definiert als Gesamtheit der Untersuchungen und Beurteilungen, die notwendig sind, um die Gefahrenlage bei einer einzelnen altlast-verdächtigen Fläche abschließend zu klären. Das schließt ein, dass im Falle eines eingetretenen Grundwasserschadens dieser auch in seinen Ausmaßen erkundet und beschrieben wird.

Der Gefährdungsabschätzung kommt damit eine große Bedeutung zu. Insbesondere im Hinblick auf die später durchzuführende Bewertung des Nutzens einzelner Sanierungstechniken ist es unerlässlich, den Schaden - im Boden wie im Grundwasser - möglichst genau zu erkunden. Dies betrifft im Hinblick auf die Sicherung von Altlasten mit Grundwasserschäden insbesondere das Schadstoffinventar, die Lage des Schadensherdes zum Grundwasserspiegel sowie die hydrogeologischen Verhältnisse.

#### **4.1.1.1 Schadstoffspektrum**

Das Schadstoffinventar lässt sich oftmals aus der Historie des Standortes heraus relativ genau eingrenzen. Allerdings können spezielle Stoffgruppen, die häufig nur als Zusatzstoffe in bestimmten Produktionsprozessen zum Einsatz kamen, leicht übergangen werden.

Bestimmte Stoffgruppen sind erst in den letzten Jahren in den Focus der Öffentlichkeit gerückt, so dass sie in den einschlägigen Stoffkatalogen des Bundes und der Länder keine Erwähnung finden (z. B. Nonylphenol, PFT). Aufgrund ihrer Eigenschaften können sie ein anderes Ausbreitungsverhalten als die Leitparameter am Standort haben.

Die negativen Auswirkungen einer unzureichenden Erfassung des Schadstoffspektrums werden u. a. bei der Analyse des Fallbeispiels 6 deutlich. Dabei handelt es sich um eine ehemalige Fällschlammdeponie, die auf der Basis einer wasserrechtlichen Erlaubnis zwischen 1970 und 1975 entstand. Bei späteren Untersuchungen wurde deutlich, dass einer der Hauptbelastungsparameter Cadmium war. Die Umweltrelevanz dieses Stoffes wurde sowohl bei der Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis als auch bei den Abfallkontrollen während des Einbaus verkannt, weshalb er keine Beachtung fand. Erst im Rahmen der späteren Gewässerüberwachung durch das damalige StUA wurde deutlich, dass ein Cadmium-Schaden vorlag.

Aus derartigen Erfahrungen ist zu folgern, dass der Analysenumfang und die Analysemethoden für einen einzelnen Standort sorgfältig und ggf. unter Hinzuziehung von Sonderfachleuten festzulegen sind. Die alleinige Orientierung an Stoffkatalogen ist u. U. nicht ausreichend. Da bestimmte Stoffe schon in kleinen Konzentrationen umweltrelevant sind, können sie nicht mit Screening-Untersuchungen erfasst werden.

#### **4.1.1.2 Quellarchitektur und Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasserspiegel**

Unter der Quellarchitektur ist neben der Geometrie der Quelle auch die Art des Vorliegens der Schadstoffe (Phasenpools, residual verteilte Phase) zu verstehen. Das Ausmaß eines Grundwasserschadens hängt entscheidend von der Architektur der Schadstoffquelle und ihrer Lage zum Grundwasserspiegel ab. Für die im Rahmen der Fallrecherche betrachteten Projekte wurde die Architektur der Schadstoffquelle überwiegend nicht oder nur ungenau beschrieben. Je nach Typ der Fallbeispiele kann sie jedoch aus der Beschreibung der Standortverhältnisse einerseits und dem Stoffinventar andererseits weitgehend oder näherungsweise hergeleitet werden.

Relativ klare Verhältnisse sind bei nahezu allen Altablagerungen gegeben, bei denen die Schadstoffquelle an Auffüllungen oder Deponate gebunden sind und bei denen keine flüssigen Schadstoffe, die sich in Phase ausbreiten, verkippt worden sind (Fallbeispiele 1 bis 8). Sofern es sich um Altdeponien handelt, die ganz überwiegend in ehemaligen Gruben angelegt worden sind, lässt sich das Ausmaß der Ablagerung häufig durch die Auswertung alter Grubenrisse herleiten.

Flächenhafte Aufschüttungen, wie sie auf allen Zechengeländen bzw. im Bereich der Schwerindustrie vorkommen, setzen auf der ehemaligen Geländeoberfläche auf, die ebenfalls oft aus alten Kartenunterlagen zu entnehmen ist (Fallbeispiele 9 bis 13).

Deutlich schwieriger ist die Beschreibung der Quellgeometrien auf Altstandorten, insbesondere dann, wenn mit flüssigen Schadstoffen umgegangen worden ist und ein heterogener Untergrundaufbau vorliegt. Diese Situation ist z. B. klassisch für viele Kokereistandorte des Ruhrgebietes. Der Untergrund besteht in der Regel aus mehreren Meter mächtigen heterogenen Aufschüttungen über verschiedenartigen fluviatilen und /oder äolischen Sedimenten (Flugsande, Auenlehme, Lößlehme, Terrassenablagerungen, Moränen). Darunter stehen meist kretazische Mergelsteine an, deren Verwitterungszone meist nicht flächendeckend vorhanden ist und die daher mit den quartären Sedimenten in der Regel in hydraulischem Kontakt stehen (Fallbeispiele 11 bis 14).

Trotz dieser hydrogeologischen Verhältnisse fällt bei der Recherche auf, dass das zweite Grundwasserstockwerk in der Regel nicht betrachtet wird. Das gilt sowohl für die Untersuchung der Schadstoffquelle, d. h. Feststoffuntersuchungen im Boden, als auch für die Beschreibung des Grundwasserschadens.

Eng verknüpft mit der Erfassung der Quellgeometrie ist die Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasserspiegel, die für die Bewertung der Effektivität einer Oberflächensicherung von grundlegender Bedeutung ist. Für die Prognose der Wirkung einer Oberflächensicherung ist es unerlässlich zu wissen, welcher Teil der Schadstoffquelle dauerhaften oder zeitweisen Grundwasserkontakt hat. Die Beantwortung dieser Frage setzt möglichst genaue Kenntnisse der hydrogeologischen Situation, insbesondere der Grundwasserspiegelschwankungen voraus.

Die Erfahrung an verschiedenen Standorten zeigt, dass sich die Schadstoffsituation innerhalb der dauerhaft wassergesättigten Zone im Gegensatz zur dauerhaft ungesättigten Zone ändern kann. Mineralölkohlenwasserstoffe oder Teeröle unterliegen in der wassergesättigten Bodenzone Chromatographieeffekten. Leichter lösliche Fraktionen werden bevorzugt mit dem Grundwasserstrom abgeführt, schwer lösliche Fraktionen reichern sich an. Die Stoffe sind trotz z.T. sehr hoher Feststoffgehalte nicht mehr frei beweglich und können den Porenraum innerhalb eines Grundwasserleiters verschließen. Dies hat einerseits Auswirkungen auf die hydraulischen Verhältnisse und kann andererseits zu unerwartet geringen Grundwasserbelastungen führen.

Demgegenüber steht die Bildung von Sekundärquellen im Grundwasserleiter. So zeigt z. B. das Fallbeispiel 9 trotz des im Grundwasserschwankungsbereich erfolgten Bodenaustausches und der ohnehin nur geringen Einstauhöhe von bis zu 0,2 m bislang keine signifikante Abnahme der Grundwasserbelastungen. Die Bodenbelastung ist hier an flächenhaft aufgebraachte Schlacken gebunden. Derartige Beobachtungen wurden auch an anderer Stelle innerhalb des Stadtgebietes Duisburg gemacht. Hier liegt die Vermutung nahe, dass aus den Schlacken Schwermetalle ausgetragen werden, die in den natürlichen Schichten bei Änderung der Milieubedingungen wieder ausfallen und zeitverzögert über lange Zeiträume in Lösung gehen können.

Die Sanierungsentscheidung insbesondere für eine Oberflächensicherung setzt zwingend eine vollständige Erkundung der Schadstoffquelle in allen potenziell betroffenen Bodenschichten bzw. Grundwasserstockwerken voraus. Das Erkundungsprogramm ist auf die Art der Schadstoffe und deren chemisch-physikalische Eigenschaften abzustimmen.

Insbesondere zu Beginn der Untersuchungen ist es oft hilfreich, qualitativ hochwertige Aufschlüsse, z. B. in Form von Schürfen oder Liner-Bohrungen, durchzuführen, um ein möglichst exaktes Bild des Untergrundaufbaus und der daraus resultierenden Ausbreitungsmöglichkeiten der Schadstoffe zu erhalten.

Können die Schadstoffe nicht organoleptisch erkannt werden, sind ausreichend engständige Probennahmen und Analysen erforderlich, um die Quellgeometrie erfassen zu können. Unter Umständen bieten sich Grundwassersondierungen mittels Direct-Push-Methode oder BAT-Sonde an (vgl. LUA NRW, 2003).

Aus den Ergebnissen ist ein Bild der Quellgeometrie zu entwerfen, das mit ausreichender Sicherheit eine Bewertung der Architektur der Schadstoffquelle zulässt. Dieses Untergrundmodell ist eine der wesentlichen Grundlagen für die Sanierungsentscheidung über eine Oberflächensicherung.

#### **4.1.1.3 Sickerwasserprognose**

Für die Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser auf altlastenverdächtigen Flächen und Verdachtsflächen sieht die BBodSchV die Durchführung einer Sickerwasserprognose vor. Zu diesem Zweck ist die Stärke der Schadstoffquelle im Boden (Quellstärke) mit dafür geeigneten Methoden zu ermitteln. Hinweise dazu gibt die Vollzugshilfe Boden-Grundwasser (LUA NRW, 2003).

Für Nordrhein-Westfalen wurde der umfassendere Begriff der Eintragsprognose eingeführt. Die Eintragsprognose stellt über die Sickerwasserprognose im Sinne des § 2 BBodSchV hinaus die übergreifende Betrachtung aller möglichen Eintragspfade in das Grundwasser dar. Sie schließt Stoffeinträge in das Grundwasser ein, die nicht mit dem Sickerwasser erfolgen. Darunter sind z. B. Stoffeinträge durch das gravitative Einsinken von Schadstoffphasen oder durch direkten Kontakt mit dem Grundwasser zu verstehen.

Im Rahmen der Sickerwasser- bzw. Eintragsprognose sind alle Stoffeinträge in das Grundwasser nach Konzentrationen und Frachten über die unterschiedlichen Pfade zu bestimmen. Dies gilt sowohl für den Zeitpunkt der Untersuchung als auch für die überschaubare Zukunft.

Derartige Betrachtungen lagen bei keinem der ausgewerteten Fallbeispiele vor, da die Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung einheitlich bereits vor In-Kraft-Treten des BBodSchG und der BBodSchV erfolgten. Frachtenbetrachtungen erfolgten daher weder für das Sickerwasser noch für das Grundwasser. Die Ermittlung der Quellstärke als Basis für Frachtenbetrachtungen des Sickerwassers ist jedoch bei dafür geeigneten Altstandorten eine Grundlage für die Prognose der Wirksamkeit einer Oberflächensicherung.

Für Fallgestaltungen, bei denen die Schadstoffquelle sowohl in der ungesättigten wie auch in der gesättigten Bodenzone liegen, sollten die Frachten - falls sinnvoll möglich - gesondert für das Sickerwasser und das Kontaktgrundwasser abgeschätzt werden. Dies kann bei Altstandorten und homogenen Altablagerungen in der Regel über Materialuntersuchungen erfolgen. Bei heterogenen Altablagerungen erfolgen die Sickerwasserprognose und damit die Frachtenbetrachtung meist über Rückrechnungen aus dem Grundwasser. Dabei werden beide Frachanteile erfasst. Hier sind weitergehende Überlegungen z. B. zum Mengenverhältnis des Deponats in der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone und zur bereits erfolgten Auslaugung der Deponate z. B. auf Basis von Wasser-/Feststoffverhältnissen sinnvoll.

Die im UFO-Plan Vorhaben "Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes "Sickerwasserprognose" in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden" (UBA, 2008) erarbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen für die Ableitung von Materialwerten für die Verwertung von mineralischen Ersatzbaustoffen enthalten auch Vorschläge für die Anwendung im Altlastenbereich. Im Abschlussbericht wird vorgeschlagen, für Materialuntersuchungen zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser im Rahmen der Sickerwasserprognose nach BBodSchV den Säulenkurztest nach DIN 19528 durchzuführen (DIN 19528: Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen). Die DIN 19528 legt ein Perkolationsverfahren zur Bestimmung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen aus Böden, Bodenmaterialien, Sedimenten, mineralischen Abfällen und mineralischen Sekundärrohstoffen mit einer Korngröße bis 32 mm fest. Neben dem Säulenkurztest wird auch die Möglichkeit diskutiert, die grundwasserbezogene Beurteilung anorganischer Stoffe mit einem Schüttelamat beim Wasser-Feststoffverhältnis 2 vorzunehmen. Die Ergebnisse der bezüglich der Untersuchungsmethodik laufenden länderübergreifenden Abstimmungen zur Ersatzbaustoffverordnung werden in die Überlegungen zur Novellierung der BBodSchV einfließen.

#### **4.1.1.4 Erkundung des Grundwasserschadens**

Zur vollständigen Beschreibung der vorliegenden Schadenssituation und den daraus resultierenden Gefahren gehört regelmäßig auch die Erkundung des schon eingetretenen Grundwasserschadens. Auch dazu gibt die Vollzugshilfe Boden-Grundwasser (LUA NRW, 2003) Hinweise. Zur Beurteilung eines Grundwasserschadens dienen die Geringfügigkeitsschwellen (GFS) (LAWA, 2004). Diese zeigen die Schwelle an, oberhalb derer ein Grundwasserschaden vorliegt.

So wie von kontaminiertem Boden Gefahren auf das Grundwasser ausgehen, können von einem Grundwasserschaden selbst Gefahren für bislang nicht oder nur gering verunreinigtes Grundwasser ausgehen. Dies ist vor allem bei großen Schadensfällen und sich ändernden hydraulischen Bedingungen (z. B. durch das Hinzukommen oder Wegfallen von Grundwasserentnahmen) der Fall.

Kenntnisse über die Dimension des Grundwasserschadens und die Prognose der weiteren Entwicklung sind eine wichtige Voraussetzung für die Verhältnismäßigkeitsüberlegungen. Nur so kann abgeschätzt werden, ob z. B. eine Oberflächensicherung eine signifikante



Schadstoffreduzierung im Grundwasserabstrom und damit ein Erreichen des Sanierungsziels bewirken kann.

Die Erkundung des Grundwasserschadens soll auch mögliche Belastungen einschließen, die nicht auf den betrachteten Standort selbst zurückzuführen sind (z. B. Hintergrundbelastung). Dabei sollten möglichst auch deren Ursachen erfasst werden um abschätzen zu können, welchen Nutzen eine Oberflächensicherung am betrachteten Standort für das Grundwasser hat.

Beim Fallbeispiel 2 resultiert die Grundwasserbelastung offensichtlich ganz überwiegend aus einer im Anstrom gelegenen ehemaligen Kokerei. Die Deponie scheint kaum Einfluss zu nehmen, obwohl die schon in den 1980er Jahren errichteten Oberflächenabdeckungen heutigen Maßstäben für die Oberflächensicherung von Siedlungsabfalldeponien bei weitem nicht genügen. Im vorliegenden Fall sind sie allerdings als ausreichend zu erachten, da sich die Grundwasserqualität im Abstrom der Deponie kaum ändert. Die ehemalige Kokerei wurde und wird derzeit ebenfalls saniert.

#### **4.1.1.5 Allgemeiner Grundwasserchemismus im Hinblick auf Natural Attenuation**

Neben aktiven Sanierungsmaßnahmen für das Grundwasser wird verstärkt die Nutzung natürlicherweise im Untergrund ablaufender Abbau- und Rückhalteprozesse diskutiert. Diese können die Ausbreitung von Schadstoffen in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone verlangsamen und unter günstigen Bedingungen zu einem Schrumpfen von Schadstofffahnen führen. Sie werden unter dem von der US-EPA definierten Begriff "Natural Attenuation" (NA) zusammengefasst.

Als Voraussetzung für die behördliche Akzeptanz von NA gilt die Ermittlung und Langzeitüberwachung der im Grundwasser ablaufenden Prozesse, weshalb der Begriff "Monitored Natural Attenuation" geprägt wurde. Soll NA in der Altlastenbearbeitung berücksichtigt werden, ist eine Erkundung, Bewertung, Prognose und Überwachung der schadstoffmindernden Prozesse durchzuführen. Zunächst sind grundlegende NA-spezifische Erkundungen und Bewertungen vorzunehmen, auf deren Basis eine Prognose der Auswirkungen der Schadstoffminderungsprozesse durchzuführen ist. Bei der Entscheidung für ein MNA-Konzept hat anschließend eine darauf ausgerichtete Überwachung (MNA) zu erfolgen. Dazu wurde im LABO-Positionspapier das MNA-Konzept mit verschiedenen Regelungsbestandteilen eingeführt (LABO, 2005).

Konkrete branchenspezifische Hinweise zu Untersuchungsstrategien und -parametern sind den Branchenleitfäden aus dem BMBF-Förderschwerpunkt KORA zu entnehmen ([www.natural-attenuation.de](http://www.natural-attenuation.de)).

Für die recherchierten Fallbeispiele wurden NA-spezifische Parameterumfänge noch nicht analysiert. Die Gründe dafür sind unterschiedlich. Verschiedene Projekte wurden zu Zeiten untersucht und saniert, in denen NA noch nicht als Instrumentarium der Altlastensanierung diskutiert wurde (Fallbeispiele 1, 2, 6, 7, 14). Einige Altablagerungen wurden unter Abfall-

recht stillgelegt, wobei die Sanierung der Belastungen des Grundwassers nicht Gegenstand der Betrachtungen war (Fallbeispiele 3, 4, 8). Bei zwei der recherchierten drei Zechen- bzw. Kokereistandorte umfasst das Sanierungskonzept von vorne herein aktive Sanierungsmaßnahmen.

Schon zu Beginn der Sanierungsüberlegungen auch im Zusammenhang mit Oberflächensicherungen sollten auch die Möglichkeit und die Sinnhaftigkeit eines MNA-Konzeptes geprüft werden. Sofern solche Maßnahmen nicht von vorne herein ausgeschlossen werden, bietet es sich an, das Untersuchungskonzept in der Phase der Detailuntersuchung bzw. Sanierungsuntersuchung mit darauf abzustellen.

#### **4.1.2 Weitere Prüfkriterien für Oberflächensicherungen**

Eine Oberflächensicherung ist eine einfache, an vielen Standorten ausführbare Sanierungsvariante. Die wichtigsten Voraussetzungen für die Herstellbarkeit und die langfristige Funktion sind:

- eine ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes und
- eine im Hinblick auf die Standfestigkeit der Versiegelung und die Ableitung von Oberflächenwasser geeignete Oberflächengestaltung der Altlast.

Sofern nicht schon im Rahmen der vorhergehenden Untersuchungsschritte erfolgt, sind spätestens im Rahmen der Sanierungsuntersuchung die Tragfähigkeit der abzudichtenden Fläche zu ermitteln und eine ingenieurtechnische Vermessung des Areals vorzunehmen. Letztere muss auch das Außengelände soweit einbeziehen, wie es zur Planung der Entwässerungseinrichtungen erforderlich ist. Im Einzelfall kann zusätzlich die Feststellung der Versickerungsfähigkeit der anstehenden Böden außerhalb der Abdichtungsfläche erforderlich sein.

Kann aus der Gefährdungsabschätzung nicht eindeutig abgeleitet werden, inwieweit aus der zu sanierenden Altlastenfläche Gasausritte stattfinden können, ist auch diesem Aspekt im Rahmen der ergänzenden Standortuntersuchungen z. B. durch die Errichtung von Bodenluftmessstellen und ggf. der Durchführung von Absaugversuchen nachzugehen.

Dem Aspekt möglicher Ausgasung aus einer Altlast kommt insbesondere bei einer geplanten Überbauung eine große Bedeutung zu. Hier sind nicht nur Gasbildungen der Feststoffe, sondern auch Ausgasungen aus dem Grundwasser zu berücksichtigen. Es ist zu hinterfragen, ob sich Gase in gesundheitsschädigenden, geruchlich störenden oder gar explosionsfähigen Konzentrationen anreichern können.

## **4.2 Fachliche Bewertung hinsichtlich des Grundwasserpfades**

### **4.2.1 Art der Oberflächensicherung**

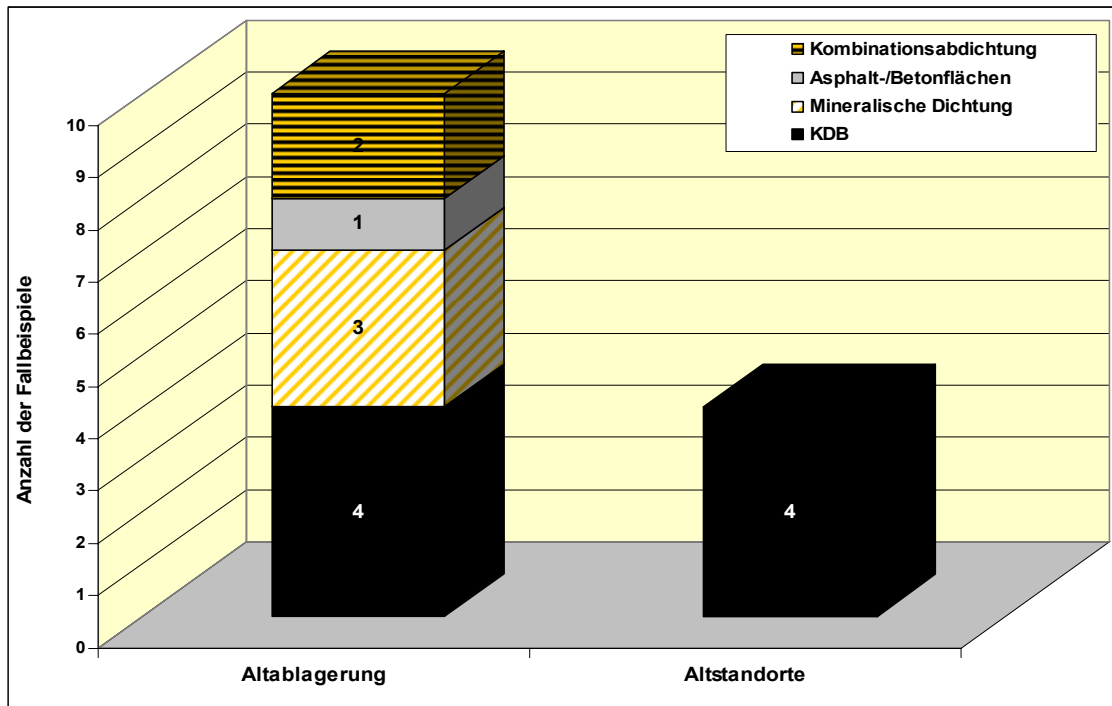
Bei der Auswahl der Art der Oberflächensicherung sind insbesondere folgende Kriterien maßgeblich:

- Dichtigkeitsanforderungen an das System (absolut gas- und/oder konvektionsdicht, zulässige Restdurchlässigkeiten)
- klimatische Verhältnisse am Standort
- Platzverhältnisse sowohl in der Vertikalen (zulässige Aufbauhöhe) wie auch in der Horizontalen (Fixpunkte für den Fuß von Außenböschungen)
- geplante Folgenutzung
- Transportentfernung zu Erdbaustoffen
- Eigenleistungen des Pflichtigen

Sofern keine Versiegelung durch Überbauung erfolgen soll, werden in der Regel die im Deponiebau gebräuchlichen Verfahren herangezogen. In erster Einteilung werden mineralische, kunststofftechnische und geosynthetische Systeme unterschieden.

Sofern eine Bebauung vorgesehen ist, bestimmt diese die durch Gebäude versiegelten Flächenanteile und die außerhalb der Gebäude flächenhaft noch zu versiegelnden Restareale. Für die flächenhafte Versiegelung von Verkehrs- oder Lagerflächen bestehen zwei prinzipiell unterschiedliche Alternativen. Einerseits kann die Verkehrs- oder Lagerfläche in Form einer Asphalt-, Beton- oder Pflasterfläche unmittelbar die Abdeck- oder Abdichtungsfunktion übernehmen. Andererseits kann ein Verkehrsflächenoberbau oberhalb eines Dichtungselementes wie z. B. einer Kunststoffdichtungsbahn aufgebracht werden. Die erste Variante kam bzw. kommt bei der Sanierung des der Fallbeispiele 9 und 10 zum Einsatz. Die letztere Variante wurde teilweise bei der Versiegelung der Altablagerungen in Fallbeispiel 7 eingesetzt.

Die insgesamt bei den Fallbeispielen eingesetzten Abdichtungskomponenten sind statistisch in Abbildung 4.1 ausgewertet. Es fällt auf, dass die Altstandorte ganz überwiegend mit Kunststoffdichtungsbahnen gesichert wurden. Allerdings werden hier Kokereistandorte im Vergleich zu den übrigen Standorttypen überrepräsentiert. Die Errichtung von Landschaftsbauwerken und deren Abdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen hat sich im Rahmen der Aufstellung von Abschlussbetriebsplänen für zahlreiche Zechengelände als Standardverfahren etabliert.



**Abb. 4.1:** Statistische Auswertung der bei den Fallbeispielen eingesetzten Abdichtungs-komponenten

Auch bei den Altablagerungen ist die Verlegung von Kunststoffdichtungsbahnen das am häufigsten angewendete Verfahren, was vor allem auf die einfache Handhabung, die absolute Dichtigkeit sowie den geringen Platzbedarf zurückzuführen ist. Reine mineralische Dichtungen kamen nur bei den älteren Siedlungs- und Gewerbeabfalldeponien zum Einsatz. Kombinationsabdichtungen wurden bei den in jüngerer Zeit abgeschlossenen Projekten realisiert.

Die geplante Folgenutzung bestimmt:

- die Mächtigkeit der erforderlichen Tragschichten im Falle einer gewerblichen und/oder verkehrstechnischen Nutzung
- die Mächtigkeit der erforderlichen Rekultivierungsschicht im Falle einer Begrünung
- die Art der Ableitung von Oberflächenwasser (an der Oberfläche maximal tolerierbaren bzw. minimal einzuhaltenden Gefälleverhältnisse)

Die Ausbildung der Deckschichten und der Tragschichten einer Verkehrs- oder Lagerfläche richtet sich nach der angestrebten Verkehrsklasse. Vorgaben finden sich in den RStO 01 - Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (FGSV-Nr. 499).

Für Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten für das Aufbringen von Entwässerungs- und Rekultivierungsschichten wird auf die Anlage 2 verwiesen.

## 4.2.2 Kombination oder Oberflächensicherung mit anderen Verfahren

Eine Oberflächensicherung kann als alleinige Maßnahme ausreichend sein. Sofern aber die Altlast bis in die gesättigte Bodenzone hineinreicht, seitliche Wasserzutritte möglich sind oder eine Gasmigration in den benachbarten Untergrund möglich ist, ist im Allgemeinen eine Kombination mit anderen Maßnahmen erforderlich.

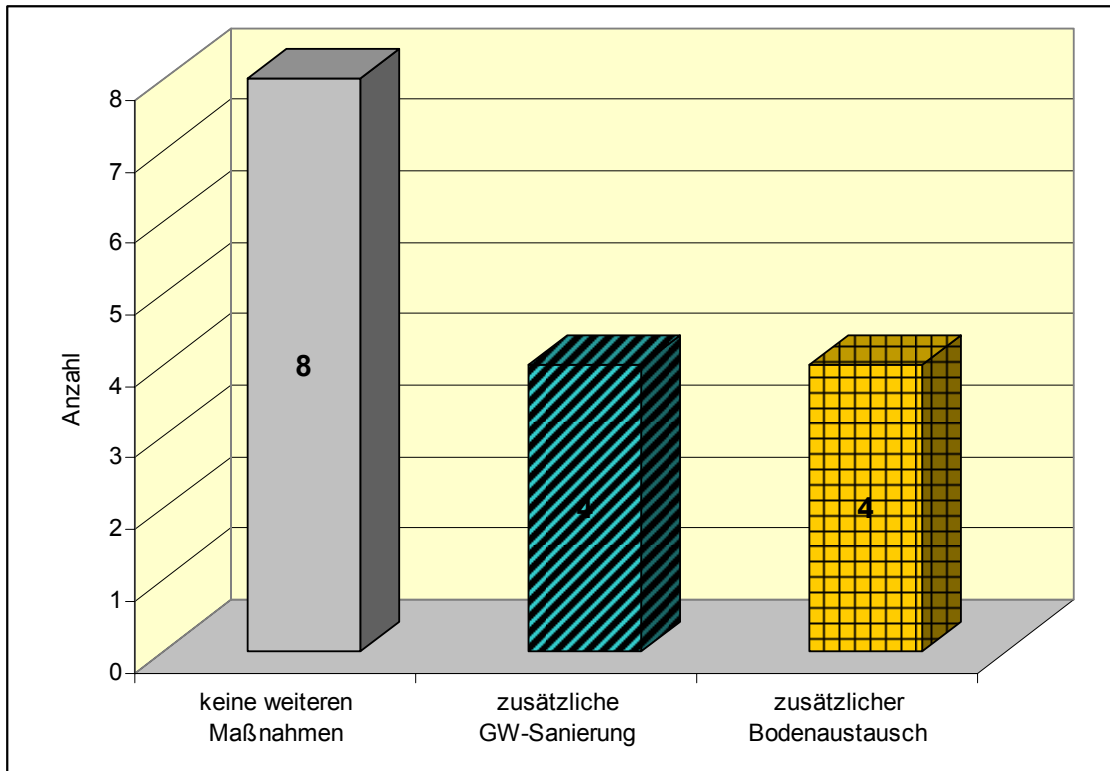
Von den untersuchten 14 Fallbeispielen wurden in sechs Fällen zusätzliche Maßnahmen zur Entgasung getroffen. Bei allen ehemaligen Siedlungsabfalldeponien sind unterhalb der Oberflächenabdeckungen bzw. -abdichtungen Gassammelschichten eingebaut. Der Deponekörper wird entweder passiv über Biofilter oder aktiv über Gasbrunnen entgast. Passive Entgasungen werden an den älteren Standorten durchgeführt (Fallbeispiele 1 und 2), aktive Entgasungen bei den jüngeren bzw. größeren Ablagerungen (Fallbeispiele 3 und 4). Im Fallbeispiel 4 wird die aktive Entgasung aufgrund der nachlassenden Gasproduktion nur noch intermittierend betrieben.

Im Fallbeispiel 5 kommt eine wenig verbreitete Variante der Entgasung zu Einsatz. Die Kunststoffdichtungsbahn ist hier nur überlappend verlegt und nicht verschweißt. Deponiegas kann durch die Fugen in die Rekultivierungsschicht entweichen, die zur Mineralisierung des Gases in den oberen 0,3 m flächendeckend mit Kompost versetzt ist. Eine Überprüfung, ob sich das Gas tatsächlich flächenhaft in der Rekultivierungsschicht ausbreitet oder bevorzugte Wegsamkeiten nutzt, z. B. über FID-Messungen, erfolgt nicht. Die Gefahr seitlicher Gasmigrationen ist an diesem Standort sehr gering, da der Grundwasserspiegel und damit der Sickerwasserspiegel in der Deponie knapp unter der Geländeoberfläche ansteht.

Im Fallbeispiel 14 (ehemaliger chemischer Kleinbetrieb) sind unterhalb der Oberflächensicherung Gasdränagen zur gezielten Fassung und Ableitung der leichtflüchtigen Schadstoffe BTEX und LHKW verlegt.

An vier Standorten erfolgten bzw. erfolgen begleitende Maßnahmen zur Grundwassersanierung (Abb. 4.2). Dabei handelt es sich um zwei ehemalige Kokereistandorte (Fallbeispiele 11 und 13), eine Altablagerung (Fallbeispiel 7) sowie den ehemaligen chemischen Kleinbetrieb (Fallbeispiel 14). Für die Altablagerung erfolgte die Grundwassersanierung nur während der Bauphase für die Oberflächensicherungen, um das unkontrollierte Abdriften von durch die Bautätigkeit verstärkt mobilisierten Schadstoffen zu vermeiden. Für den ehemaligen chemischen Kleinbetrieb ist ein etwa 50-facher Austausch des betroffenen Grundwassers in den quartären Terrassenablagerungen über einen Zeitraum von ca. 2,5 Jahren vorgesehen.

Typisch für alle Kokereistandorte (Fallbeispiele 11, 12, 13) war zudem ein partieller Bodenaustausch und der Einbau des Materials unterhalb der Oberflächensicherung im Kernbereich der Belastungen. Auch für den Bau eines Lebensmittelmarktes (Fallbeispiel 9) erfolgte zunächst ein partieller Bodenaustausch der belasteten Aufschüttung im Grundwasserschwankungsbereich.

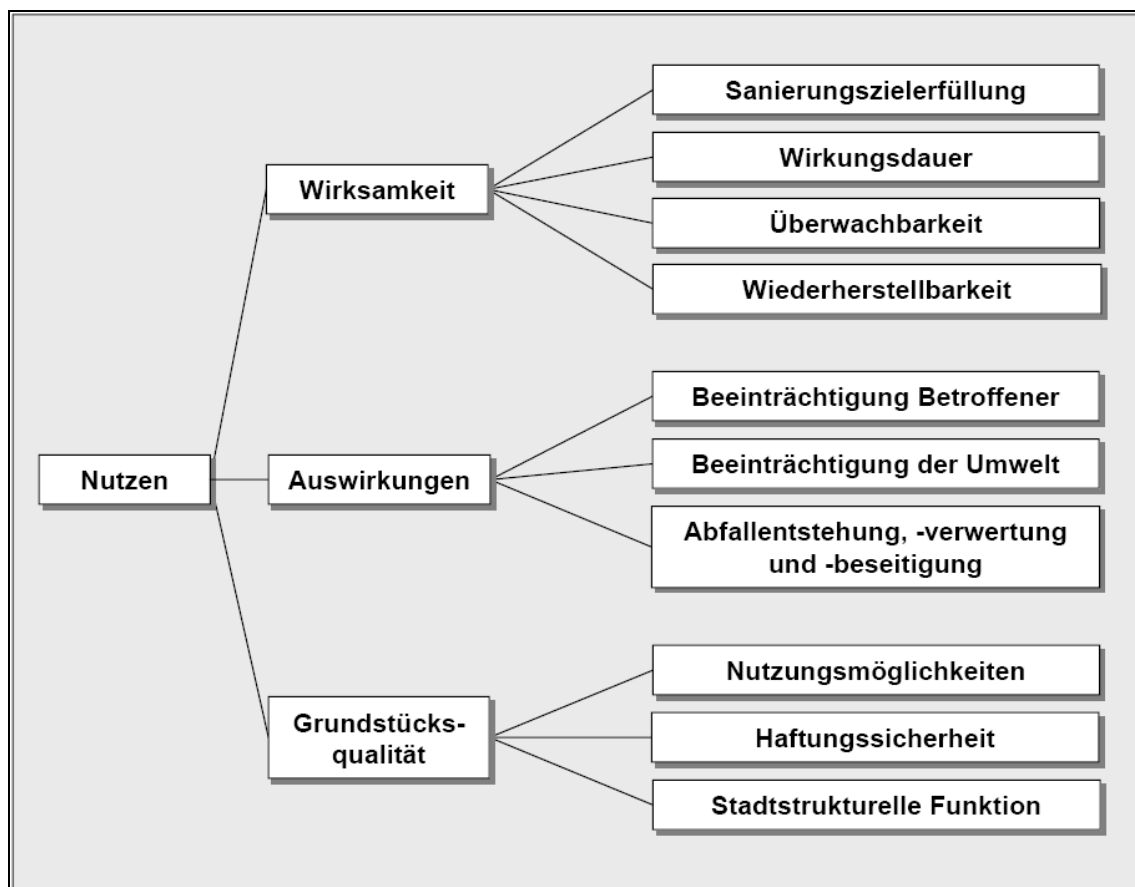


**Abb. 4.2:** Statistische Auswertung der bei den Fallbeispielen zusätzlich durchgeführten Sanierungsmaßnahmen

### 4.2.3 Wirksamkeit

Die für eine Sanierung in Betracht kommenden Sanierungsszenarien sind unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Ausprägung fachlich, d. h. ohne Berücksichtigung von Kosten, zu bewerten. Das Ergebnis der fachlichen Bewertung ist die Beschreibung des Nutzens der Sanierungsszenarien und der Grad ihrer fachlichen Eignung.

Die Kriterien für die fachliche Bewertung sind mit der zuständigen Behörde in Abhängigkeit vom Einzelfall abzustimmen. Ein für viele Fälle geeigneter Vorschlag findet sich in MALBO Bd. 11 (LUA NRW, 2000).



**Abb. 4.3:** Bewertungsrelevante Kriterien und Indikatoren für die Ermittlung des Nutzens eines Sanierungsszenariums (LUA NRW, 2000)

Maßgebliches Kriterium ist die Wirksamkeit, die insbesondere durch die Sanierungszielerfüllung und die Langzeitwirksamkeit der Maßnahme bestimmt wird.

Die Ziele einer Sanierung können vielfältig sein. Im Hinblick auf den Grundwasserschutz ist das übergeordnete Ziel jedoch immer die Verhinderung, Reduzierung oder Fixierung eines Grundwasserschadens (s. a. Abschn. 4.3.1). Inwieweit diese Ziele mit Hilfe einer Oberflächensicherung erreicht werden konnten, war ein wesentlicher Aspekt der durchgeführten Fallrecherche.

Wie bei einer Grundwassersanierungsmaßnahme mittels Pump+Treat-Verfahren ist auch bei einer Sanierung durch Oberflächensicherung zu erwarten, dass die Abnahme der Grundwasserbelastungen in zwei Phasen verläuft:

1. Transport der Schadstoffe aus dem advektiv zugänglichen Porenraum des Aquifers
2. diffusionsbestimmter Stoffübergang aus nicht oder sehr gering durchströmten Bereichen und anschließender Transport im Aquifer

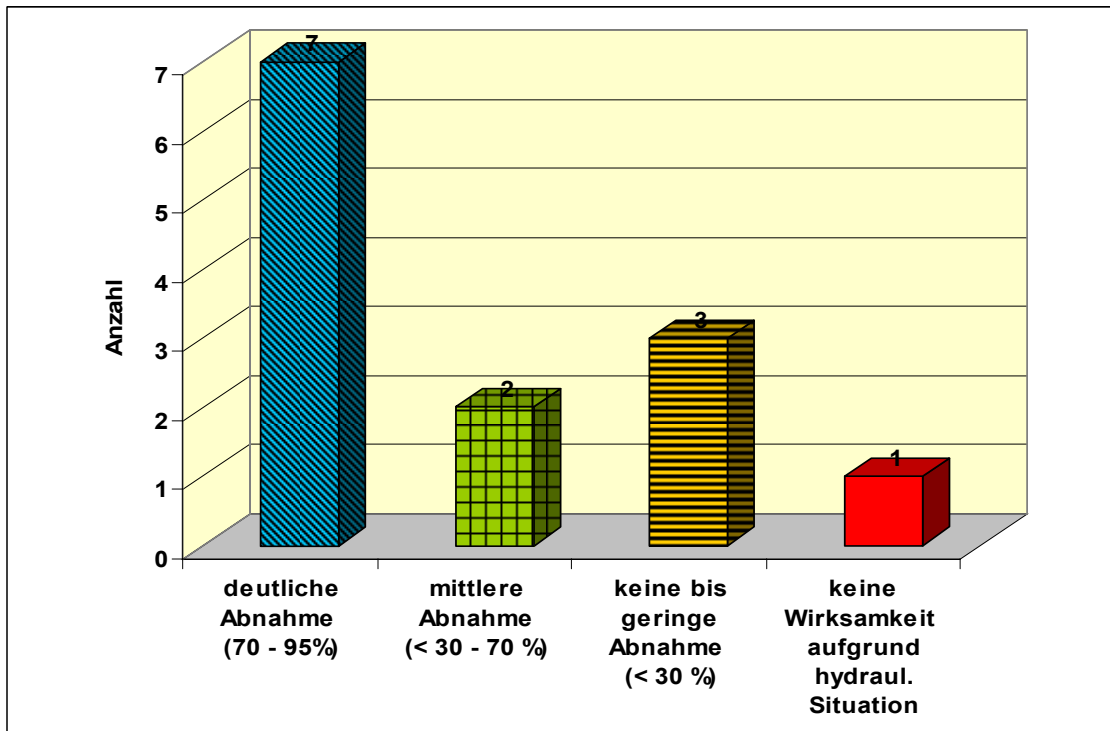
Während im Bereich der relativ schnellen, advektiven Grundwasserströmung vorliegende Schadstoffe relativ schnell transportiert werden, kann der Feinporenraum mit sehr langsamen bzw. stagnierenden Grundwasserbewegungen dort vorliegende Schadstoffe nur sehr langsam durch Diffusion abgeben. Haben Schadstoffe in Phase (Phasenkörper und residuale Phase) das Porenwasser verdrängt, gilt dies ebenfalls, so dass sich extrem lange Zeiträume für das Wirksamwerden einer Sanierung ergeben. Weiter verzögernd wirkt die Retardation der Schadstoffe an der Bodenmatrix selbst sowie an organischen Partikeln und sorptionsfähigen Ausfällungen wie z. B. Eisenhydroxiden mit anschließenden lang andauernden Desorptionsprozessen.

Die geringste Verzögerung in der Schadstoffabgabe liefern weitgehend homogene Lockergesteinsaquifere mit guter Durchlässigkeit. Bereits geringmächtige Einschaltungen kleiner Durchlässigkeit und höherer Sorptionskapazität bewirken eine Verlangsamung des Abtransports der Schadstoffe aus dem System. Dieser Effekt verstärkt sich bei Vorliegen von Phasen.

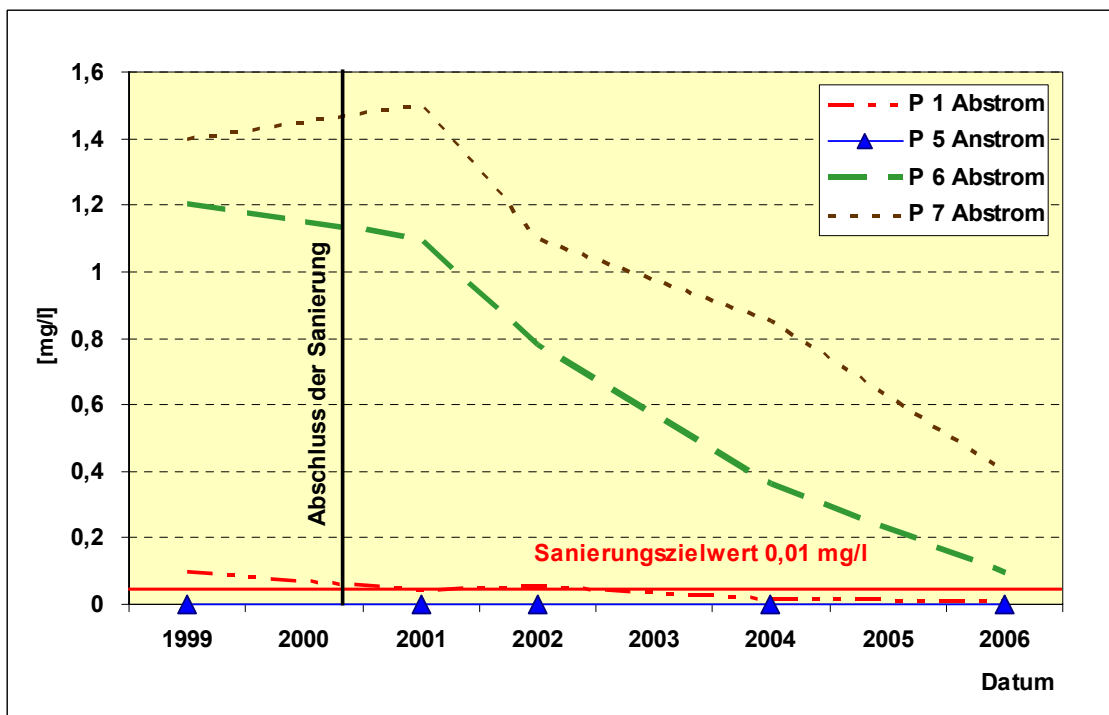
Für das Fallbeispiel 4 lagen nur wenige Monitoringdaten vor, so dass eine detailliertere Auswertung nicht zielführend erschien. Die Sanierungserfolge der übrigen 13 Fallbeispiele sind in den nachfolgenden Abbildungen 4.4 bis 4.8 graphisch dargestellt.

Bei insgesamt sieben Fällen konnte eine deutliche Konzentrationsabnahme der Leitparameter in den maßgeblichen Monitoring-Messstellen festgestellt werden (Abb. 4.4). Beispielhaft ist in Abbildung 4.5 für das Fallbeispiel 6 (ehemalige Industrieschlammdeponie) die Konzentrationsentwicklung von Cadmium in Bezug zum Sanierungszeitpunkt dargestellt. Bei zwei Fallbeispielen deutet sich zwar ein abnehmender Trend an, dieser ist jedoch (noch) nicht deutlich ausgeprägt. Dabei handelt es sich um die Fallbeispiele 9 und 10. Während im ersten Fall nicht erkannte Schadstoffanreicherungen in der gesättigten Bodenzone vermutet werden (entweder durch lokal bis in den Grundwasserleiter reichende belastete Auffüllungen oder durch die Ausbildung von Sekundärquellen), ist die Sanierung im zweiten Fall (s. Abb. 4.6) noch nicht abgeschlossen.

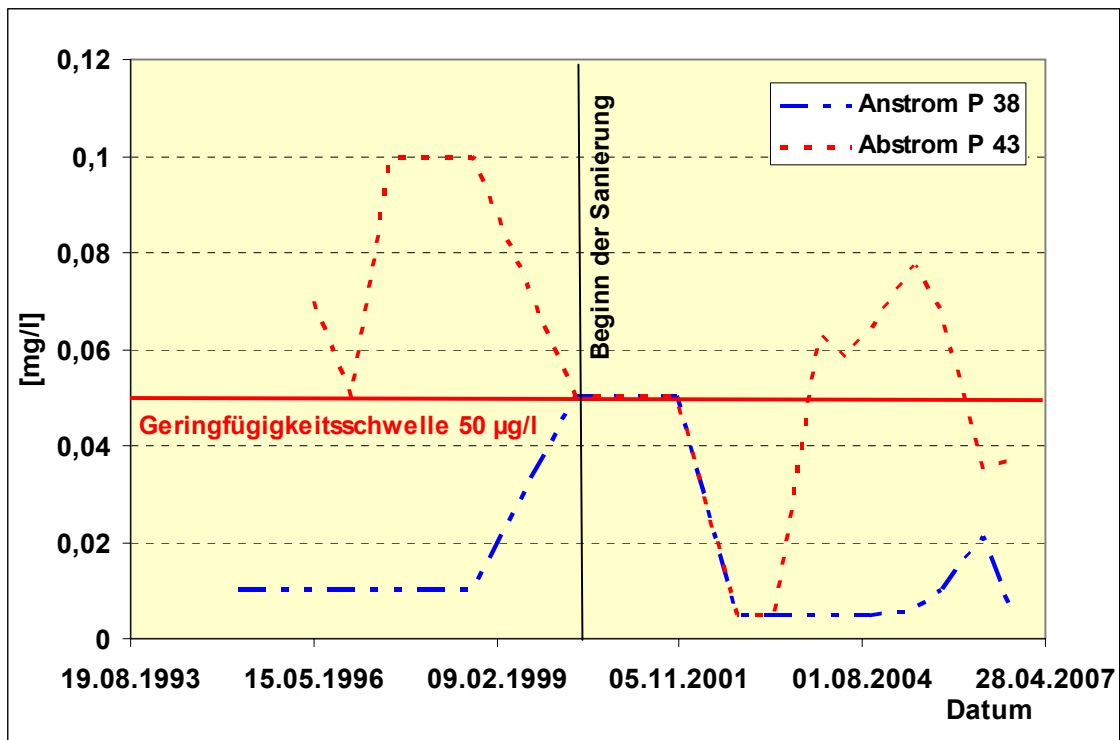




**Abb. 4.4:** Sanierungserfolge der Fallbeispiele bezogen auf die Konzentrationsentwicklung der Leitparameter in maßgeblichen Monitoring-Messstellen



**Abb. 4.5:** Konzentrationsentwicklung von Cadmium im Fallbeispiel 6 (ehemalige Industrieschlammdeponie)



**Abb. 4.6:** Konzentrationsentwicklung von Cyanid im Fallbeispiel 10 (flächenhafte Aufschüttung und ehemalige Kokerei)

Unter den Altablagerungen wurde bei drei ehemaligen Hausmülldeponien (Fallbeispiele 1, 2 und 5) bislang keine signifikante Abnahme der Belastungen festgestellt (Abb. 4.7).

Im Fallbeispiel 1 ist zu vermuten, dass der Grundwasserkörper unterhalb der Deponie bislang noch nicht ausgetauscht ist (Abb. 4.8). Die durch das Fallbeispiel 2 hervorgerufene Grundwasserbeeinträchtigung wird von einem im Anstrom gelegenen Schaden auf einem ehemaligen Zechengelände so stark überlagert, dass der Einfluss der Deponie nicht mehr erkennbar ist. Im Fallbeispiel 5 ist die Altdeponie zu großen Teilen vom Grundwasser eingestaut. Der Grund- und Sickerwasserkörper gehen in einander über, Sickerwasser wird nicht gefördert. Innerhalb des Deponiebereiches ist ein Hochpunkt der Wasseroberfläche ausgebildet. Merkliche Besserungen der Grundwasserbelastungen sind erst nach vollständiger Auslaugung des Deponiekörpers in der wassergesättigten Zone, d. h. nicht kurzfristig zu erwarten.

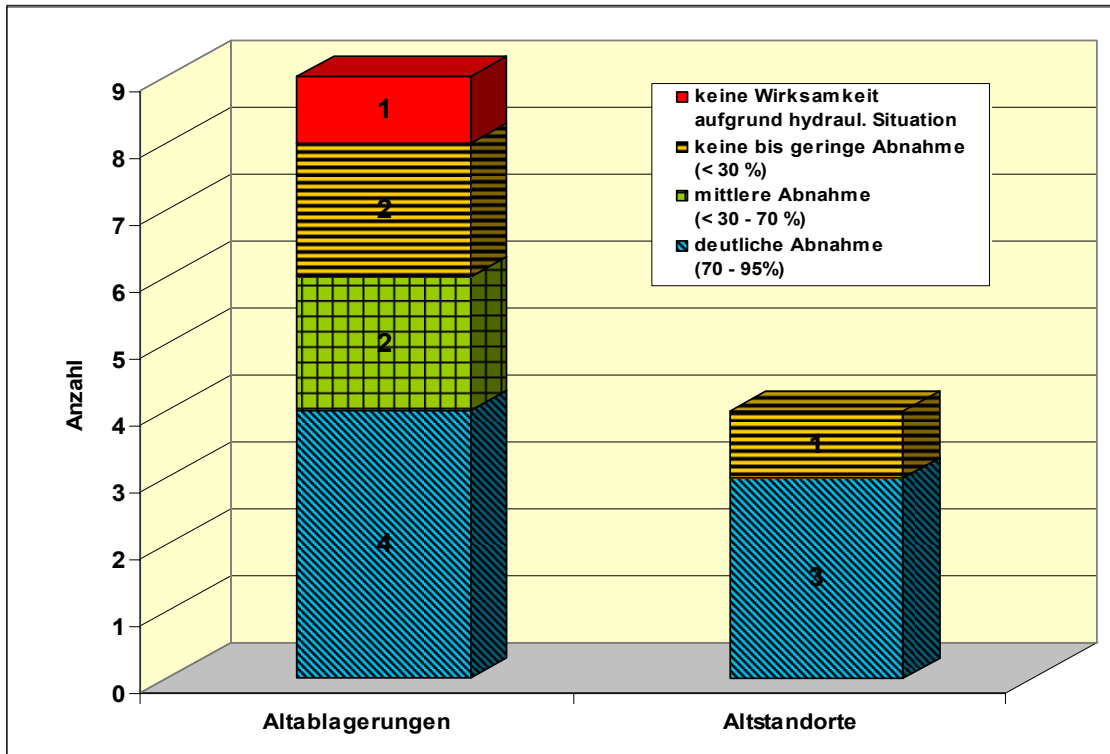


Abb. 4.7: Sanierungserfolge der Fallbeispiele bezogen auf die Konzentrationsentwicklung der Leitparameter in maßgeblichen Monitoring-Messstellen

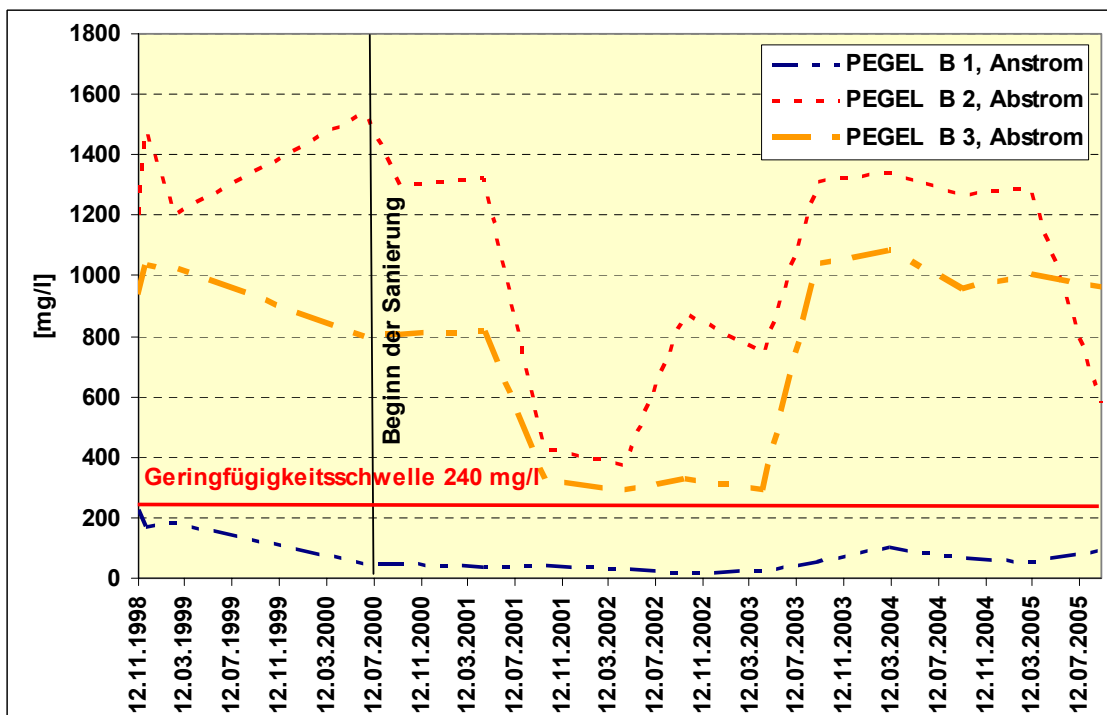


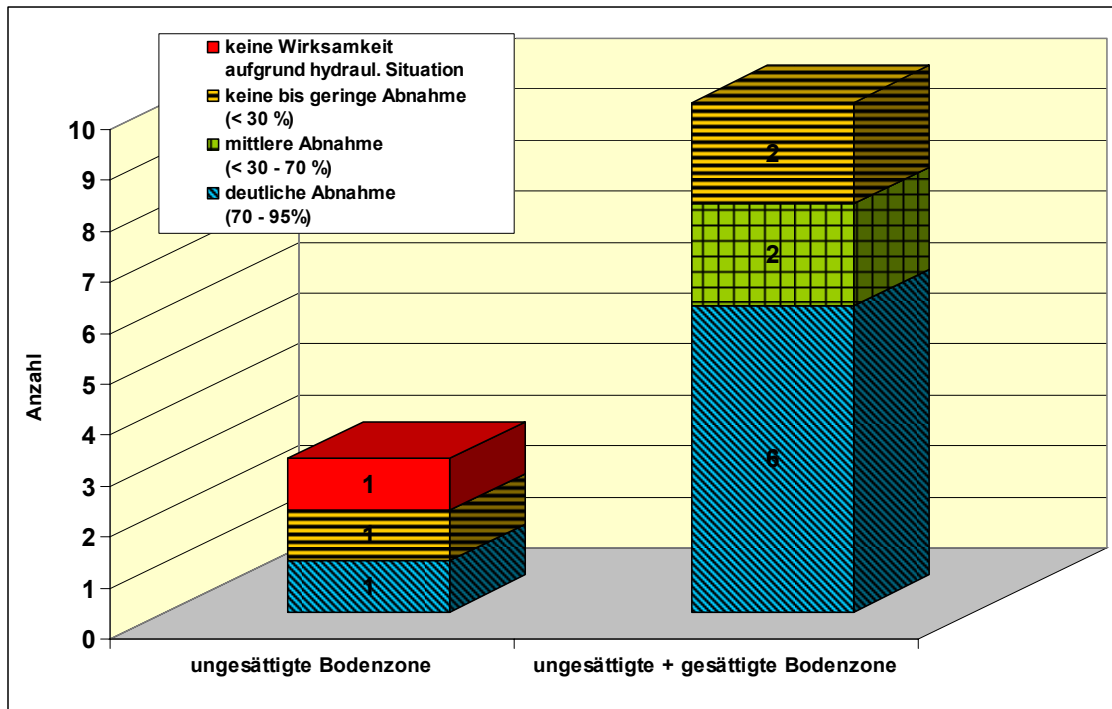
Abb. 4.8: Konzentrationsentwicklung von Sulfat im Fallbeispiel 1 (ehemalige Siedlungsabfalldeponie)

Bei drei der auswertefähigen vier Altstandorte traten deutliche Verbesserungen der Grundwasserbelastungen ein. Diese sind aber in keinem der Beispiele alleinig auf die Errichtung einer Oberflächensicherung zurückzuführen.

Im Fallbeispiel 11 (ehemalige Kokerei) trat schon seit Beginn der Sanierung eine Besserung der Situation ein. In dieser Phase fanden zunächst aber nur Bodenumlagerungen vom Außenbereich in den Kernbereich der Belastungen statt. Auch beim Fallbeispiel 13 (ehemalige Kokerei) wurde in erheblichem Umfang Boden umgelagert. Zudem erfolgt eine Grundwassersanierung. Im Fallbeispiel 14 (ehemaliger chemischer Kleinbetrieb) befindet sich der Hauptschadensbereich im Boden innerhalb quartärer Kiese, die von mehreren Metern Lößlehm abgedeckt sind. Hier wurde sowohl eine Phasenabschöpfung wie auch eine Grundwassersanierung durchgeführt, die erheblich größeren Einfluss auf die Entwicklung der Grundwasserqualität gehabt haben dürften, als die Oberflächensicherung. Der (noch) fehlende Erfolg im Fallbeispiel 12 (ehemalige Kokerei) ist vermutlich auf die Lage von Schadstoffnestern in der gesättigten Bodenzone zurückzuführen.

Aus den vorliegenden Daten der betrachteten Fälle lassen sich nur wenige Schlüsse auf die Eignung einer Oberflächensicherung in Abhängigkeit der Art der Altlast ziehen. Prinzipiell sind Oberflächensicherungen sowohl für Altablagerungen als auch für Altstandorte gleichermaßen geeignet. Entscheidendes Kriterium ist die Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasserspiegel, die aber oft eng mit der Art der Altlast und dem Schadstoffspektrum verknüpft ist. Viele Altablagerungen oder Altdeponien mit heterogenem Schadstoffspektrum liegen oberhalb des Grundwasserspiegels oder reichen nur knapp in die wassergesättigte Bodenzone. Bodenbelastungen, die aus dem versickern organischer Phasen (z. B. LHKW, Mineralölkohlenwasserstoffe oder Teeröle) herrühren, reichen oft tief bis in die gesättigte Bodenzone.

Nur bei drei der auswertbaren Fallbeispiele liegen die Quellbereiche vollständig oberhalb des Grundwasserspiegels (Abb. 4.9). Dabei handelt es sich um zwei ehemalige Hausmülldeponien (Fallbeispiele 1 und 2) und eine ehemalige Gewerbeabfalldeponie (Fallbeispiel 8).



**Abb. 4.9:** Sanierungserfolge der Fallbeispiele bezogen auf die Konzentrationsentwicklung der Leitparameter in maßgeblichen Monitoring-Messstellen und die Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasserspiegel

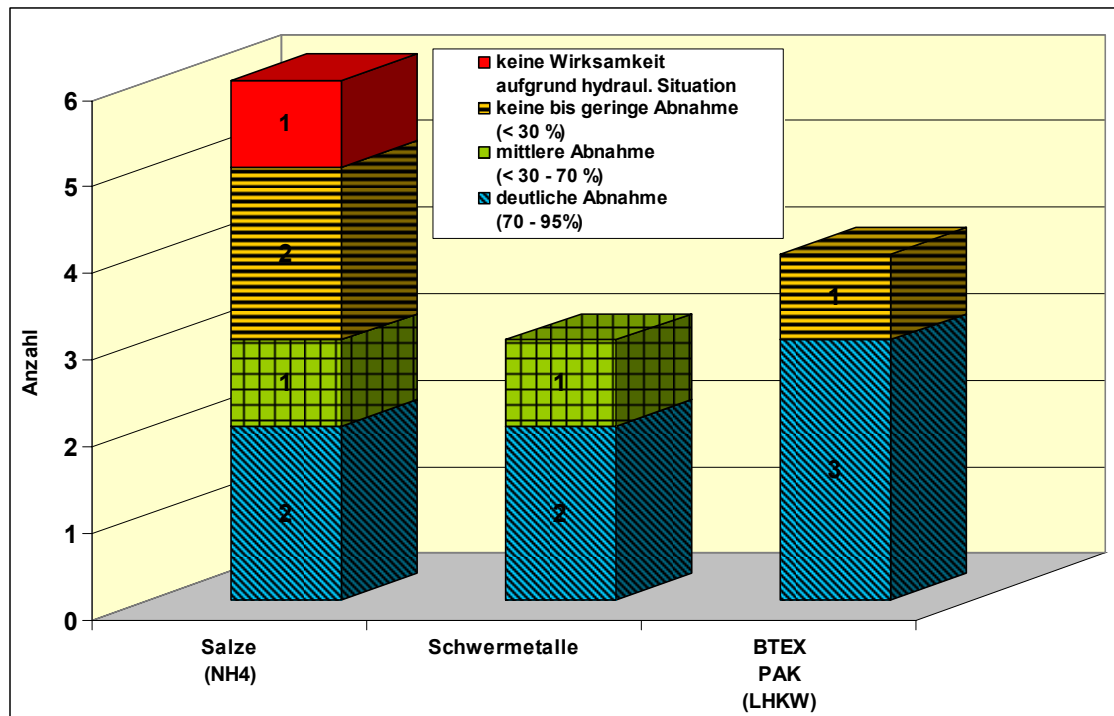
Bei allen anderen 10 Fällen sind sowohl die gesättigte wie auch die ungesättigte Bodenzone betroffen. Trotzdem ist in sechs Fällen eine deutliche Besserung der Situation und in zwei Fällen zumindest ein abnehmender Trend erkennbar. Nur in zwei Fällen zeigt sich keine Besserung. Bei den erfolgreichen Fällen taucht die Schadensquelle entweder nur geringfügig in das Grundwasser ein (Deponiekörper der Fallbeispiele 3, 6 und 7) oder es wurden zusätzliche Maßnahmen ergriffen (Altstandorte 11, 13 und 14). Der Misserfolg der Fälle, in denen die Quelle oberhalb des Grundwasserspiegels liegt, ist auf die bislang zu geringe Zeitspanne nach Aufbringen der Oberflächensicherung (Fallbeispiel 1) bzw. die Überlagerung mit Einflüssen aus dem Deponieumfeld (Fallbeispiel 2) zurückzuführen.

Unter alleiniger Berücksichtigung des Schadstoffspektrums wäre zu erwarten gewesen, dass Grundwasserbelastungen mit Schwermetallen oder Salzen nach erfolgter Sanierung schneller abnehmen als Belastungen mit organischen Substanzen, die sich nicht nur gelöst, sondern auch als eigenständige Phasen ausbreiten können. Erfahrungsgemäß lassen sich letztere aus dem Korngerüst deutlich schwerer entfernen, da sie in Phasen in Abhängigkeit ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften (v. a. dynamische Viskosität, Oberflächenspannung) und den Aquifereigenschaften (v. a. Kapillarkräfte) im Boden fixiert werden und von dort permanent in Lösung gehen können.

Das erwartete Bild wird durch die Auswertung der Fallbeispiele nur teilweise bestätigt (Abb. 4.10). In der Stoffgruppe der BTEX, PAK und LHKW (ehemalige Kokereien der Fallbeispiele 11 bis 13, ehemaliger chemischer Kleinbetrieb Fallbeispiel 14) wurden in drei von vier Fällen deutliche Erfolge erzielt. Diese sind aber wie schon an anderer Stelle erwähnt nicht alleinig

auf das Aufbringen einer Oberflächensicherung, sondern in starkem Umfang auf begleitende Maßnahmen wie Bodenaustausch und zusätzliche Grundwassersanierungsmaßnahmen zurückzuführen.

Die Salzfrachten in drei anderen Projekten ging dagegen bisher nicht merklich zurück, was jedoch nicht auf die Schadstoffart, sondern andere Randbedingungen der Einzelfälle (verstrichene Zeit nach der Sanierung, Umfeldkontaminationen oder Einstau wesentlicher Quellbereiche) zurückzuführen ist.



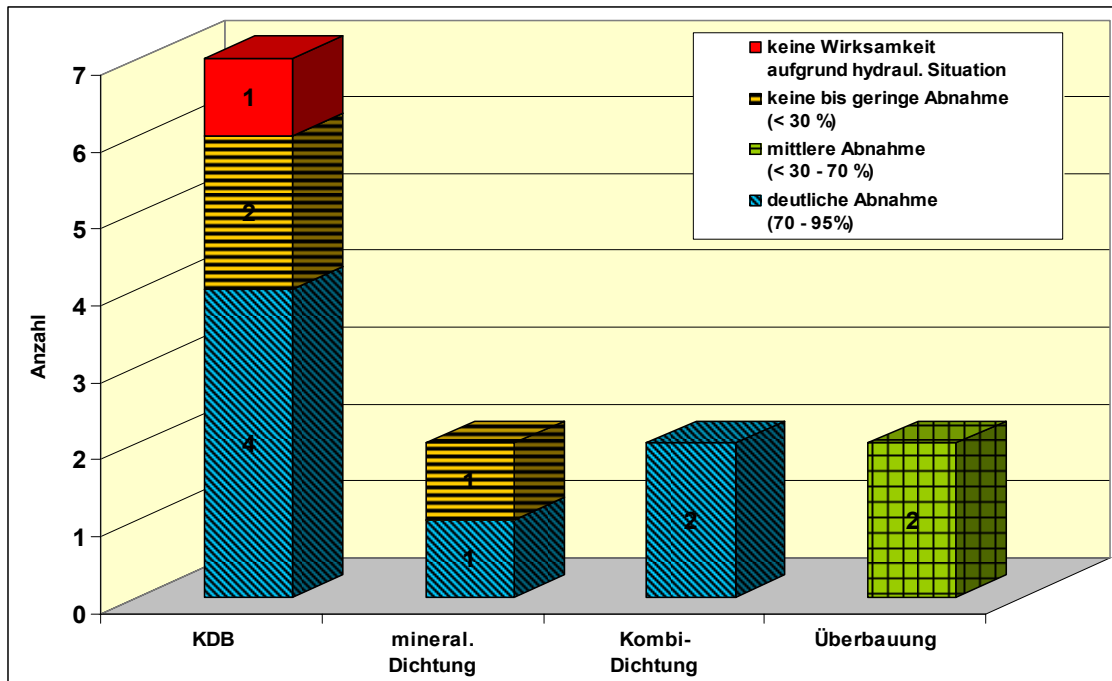
**Abb. 4.10:** Sanierungserfolge der Fallbeispiele bezogen auf die Konzentrationsentwicklung der Leitparameter in maßgeblichen Monitoring-Messstellen und die Art der Schadstoffe

Das Fallbeispiel 9 wirft Fragen auf. Die Schadstoffquelle ist an eine flächige Aufschüttung mit schwermetallhaltigen Schlacken gebunden, die weitgehend oberhalb des Grundwasserschwankungsbereiches liegt. In einer tiefer liegenden Bodenzone wurde ein Bodenaustausch durchgeführt. Während der Baumaßnahme traten verstärkt Schadstoffmobilisierungen auf. Bislang ist keine deutliche Abnahme der Schadstoffkonzentrationen zu erkennen, obwohl der Grundwasserleiter von hoch durchlässigen Sedimenten der Rheinterrassen gebildet wird. In Analogie zum Fallbeispiel 6, wo schwach durchlässige Schwermetallschlämme bis zu 1 m vom Grundwasser eingestaut werden, der Grundwasserleiter aus weniger gut durchlässigen Flugsanden besteht und periodisch eine Umkehr der Grundwasserfließrichtung erfolgt, aber dennoch eine merkliche Besserung der Situation kurz nach Aufbringen der Oberflächensicherungen erfolgt ist, wäre auch beim Fallbeispiel 9 bereits eine deutlichere Besserung zu erwarten gewesen.

Beide Flächen sind etwa mit ca. 1 ha Ausdehnung relativ klein, die Fläche im Fallbeispiel 9 ist engständig untersucht. Es ist unwahrscheinlich, dass in größerem Umfang Tieferenerstre-

ckungen der Aufschüttung bis in die gesättigte Bodenzone unerkannt geblieben sind. Wahrscheinlicher ist, dass durch Lösungs- und Fällungsprozesse Schwermetalle aus den Schlacken ausgetragen, im Grundwasserleiter fixiert worden sind und jetzt zeitverzögert wieder freigesetzt werden. Dabei dürfte die Alkalität von Schlacken selbst und (zeitweise) saure pH-Werte im Niederschlag eine Rolle gespielt haben.

Nicht zuletzt ist zu erwarten, dass auch die Art der Oberflächensicherung auf den Erfolg einer Sanierung Einfluss nimmt. Die Auswertung in Abbildung 4.11 zeigt jedoch, dass dieser Aspekt gegenüber anderen Randbedingungen nur untergeordnete Bedeutung hat. Insgesamt hat sich bei vier Fallbeispielen bisher kein Erfolg eingestellt. Die Gründe liegen wie schon erläutert bei zwei Fällen in der Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasser, in einem in Umfeldbelastungen und bei einem anderen in einer zu kurzen Zeitspanne nach Aufbringen der Versiegelung. Ein signifikanter Einfluss der Art der Versiegelung ist in keinem der ausgewerteten Fallbeispiele erkennbar.



**Abb. 4.11:** Sanierungserfolge der Fallbeispiele bezogen auf die Konzentrationsentwicklung der Leitparameter in maßgeblichen Monitoring-Messstellen und die Art der Oberflächensicherung

Als Quintessenz aus der Auswertung der Einzelfälle kann folgende **Empfehlung** gegeben werden:

Im Zusammenhang mit der Entscheidung über die Auswahl einer Oberflächensicherung sollte für geeignete Fälle (z. B. homogen belastete Altstandorte oder Altablagerungen) eine Eintragsprognose und falls erforderlich ein Grundwassermodell aufgestellt werden, mit deren Hilfe die Wirkungen einer Oberflächensicherung abgeschätzt werden können. Für die Eintragsprognose kann die LABO-Arbeitshilfe "Sickerwasserprognose bei der Detailuntersu-

chung" mit dem zugehörigen Berechnungsmodell (Excel-Sheet, analytische Lösung der 1D-Transportgleichung mit MS-Excel) verwendet werden (LABO, 2008). Die LABO-Arbeitshilfe wurde bereits in der vorherigen Fassung im Mai 2007 von der UMK zur Anwendung in den Ländern empfohlen. Anhand der Ergebnisse können die prognostizierten Schadstoffkonzentrationen und Frachten, die sich nach Erstellung einer Oberflächensicherung ergeben, mit denen verglichen werden, die aktuell vorliegen. Dann kann auf einer breiteren Datengrundlage zuverlässiger über die Verhältnismäßigkeit von Sanierungsmaßnahmen entschieden werden.

#### **4.2.4 Wirkungsdauer**

Ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Wirksamkeit ist neben der Sanierungszielerfüllung die Dauer der Wirksamkeit. Dieser Aspekt wird seit den Anfängen der Deponietechnik diskutiert, die in etwa mit der Zeit des Beginns systematischer Altlastensanierungen zusammenfällt. Mit der Anlage von Siedlungsabfalldeponien mit unvorbehandeltem Restmüll wurde erst in den 1950er Jahren begonnen. Qualifizierte Abdeck- oder Abdichtungssysteme kamen erst in den 1980er Jahren zum Einsatz. Langzeiterfahrungen mit der Beständigkeit der gebräuchlichsten Materialien liegen daher nicht oder nicht übertragbar vor.

Die Angaben zur Langzeitbeständigkeit von Abdichtungskomponenten beruhen daher auf labortechnischen Untersuchungen mit verschiedenen Zeitraffereffekten und/oder theoretischen Überlegungen und Analogieschlüssen.

Die Arbeitsgruppe "Infiltration von Wasser in den Deponiekörper, Oberflächenabdichtung und -abdeckungen" des Abfalltechnikausschusses der LAGA hat sich in seinen Arbeitspapieren zum Themenkreis "Oberflächenabdichtungen und -abdeckungen (Stand 4/2000)" übereinstimmend dahingehend geäußert, dass die Abdichtungssysteme und sonstigen technischen Einrichtungen einer Deponie wie jedes andere von Menschenhand errichtete Bauwerk nicht dauerhaft Bestand haben können.

Die Forderung nach einer langfristig wirksamen Sanierung kann also mit einer Oberflächensicherung nicht vollständig erfüllt werden. Reduziert man diese Forderung auf überschaubare Zeiträume, wie sie auch im Rahmen einer Sickerwasserprognose zu bewerten sind, dann erfüllt auch eine Oberflächensicherung den Anspruch auf langfristige Wirksamkeit. Wie bei jedem technischen Bauwerk ist auch bei einer Oberflächensicherung ein dauerhafter Nachsorgeaufwand zu kalkulieren.

Aus den untersuchten Fallbeispielen, bei denen das Aufbringen der Oberflächensicherung maximal 26 Jahre, im Mittel nur 9 Jahre zurückreicht, können aufgrund der vorliegenden Datenlage keine gesicherten Erkenntnisse hinsichtlich der Langzeitwirksamkeit gewonnen werden. Allerdings liegen in keinem Fall eindeutige Anhaltspunkte dafür vor, dass die Oberflächensicherung Schaden genommen hätte. Zur Beurteilung der Langzeitwirksamkeit bieten sich Aufgrabungen und Freilegungen der Dichtungssysteme an repräsentativen Stellen mit optischer Prüfung an.



#### **4.2.5 Nutzen/Kosten-Untersuchung**

Bei der Durchführung von Nutzen/Kosten-Untersuchungen in Bezug auf Oberflächenversiegelungen ist zu unterscheiden zwischen dem Vergleich einer Versiegelung mit anderen Sanierungsverfahren und dem Vergleich verschiedener Versiegelungsvarianten untereinander.

Die allgemein für eine Nutzen/Kosten-Untersuchung zur Verfügung stehenden Verfahren sind im MALBO Bd. 11 (LUA NRW, 2000) benannt und erläutert.

Die Kostenvergleichsrechnung ist das einfachste Verfahren. Sie setzt voraus, dass die zu bewertenden Sanierungsszenarien alle den gleichen Nutzen erzielen, was zwar bei unterschiedlichen Versiegelungsvarianten der Fall sein kann, in der Regel bei einem Vergleich mit anderen Sanierungsvarianten aber nicht vorkommt. Haben die Sanierungsszenarien einen unterschiedlichen Nutzen, ist die Kostenvergleichsrechnung als eigenständiges Bewertungsverfahren nicht geeignet.

Die Kosten-Wirksamkeitsanalyse stellt die Kosten der Systeme ihrer jeweiligen Wirksamkeit, die sich aus Wichtung und Aggregation von Einzelaspekten zu einer Endgröße ergeben, gegenüber. Als Entscheidungskriterium dient z.B. der Quotient aus Kosten und Wirksamkeit oder andere Rechenregeln.

Die Kosten-Nutzen-Analyse ist das komplexeste Instrument. Unter z. T. hohem Aufwand wird versucht, alle Vergleichsgrößen (also auch kardinale Größen wie z.B. im Falle der Oberflächensicherung die Böschungsstandsicherheit) in monetäre Werte umzusetzen. Die in Frage kommenden Alternativen werden anhand ihres Nettogegenwartswertes, d.h. der Differenz aus durch Diskontierung auf ein Referenzjahr bezogenen Kosten und Nutzen, bewertet. Voraussetzung für die Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse ist, dass alle zu beachtenden Wirksamkeits-Kriterien in monetäre Größen übergeführt werden können, was oft sinnvoll nicht möglich ist.

In der Regel ist daher die Kosten-Wirksamkeits-Analyse das best geeignete Mittel für eine Nutzen/Kosten-Untersuchung.

Hinweise für eine Kosten-Nutzen-Analyse unterschiedlicher Varianten an Oberflächensicherungen, die oftmals im Hinblick auf die Amortisationszeit für den Pflichtigen von Interesse sein können, liefern SCHMID & SCHULZ (2003).

## 4.3 Sanierungsentscheidung

Die Entscheidung darüber, ob und welche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden, ist in erster Linie abhängig von den behördlicherseits festgelegten Sanierungszielen. Im Folgenden werden daher zunächst die generellen Möglichkeiten der Sanierungszielfestlegung vorgestellt und im Anschluss das Vorgehen in der Praxis anhand der Erfahrungen aus den Fallbeispielen erläutert.

### 4.3.1 Sanierungsziele

Wird bei der Bewertung der Detailuntersuchung festgestellt, dass Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich sind, ist i. d. R. eine Sanierungsuntersuchung durchzuführen. Dafür sind vorläufige Sanierungsziele vorzugeben. Sanierungsziele sind grundsätzlich einzelfallbezogen abzuleiten. Bei der Auswahl von Sanierungszielen und Sanierungsmaßnahmen sind generell folgende Aspekte zu beachten:

- Gefahrenabwehr für den Einzelnen und oder die Allgemeinheit nach § 4 Abs. 3 Satz 1 BBodSchG
- Sicherung der ökologischen Funktionen des Grundwassers nach § 1 a WHG
- Bewirtschaftung zum Wohl des Einzelnen und der Allgemeinheit nach § 1 a WHG
- Keine Gefährdung anderer Schutzgüter (z. B. Oberflächengewässer nach § 1 a WHG)

Im Rahmen der Sanierungsuntersuchung sind die in Frage kommenden Maßnahmen zu vergleichen und zu bewerten. Im Ergebnis der Sanierungsuntersuchung sind dann verhältnismäßige Sanierungsziele und Sanierungsmaßnahmen festzulegen. Im Zusammenhang mit der Verhältnismäßigkeit ist die Geeignetheit, Erforderlichkeit und Angemessenheit der Maßnahmen zu beurteilen. Bei der Ausübung des Ermessens der zuständigen Behörde sollen die in den von LABO und LAWA veröffentlichten Grundsätzen des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen (LAWA/LABO, 2006) genannten Kriterien berücksichtigt werden:

- **Charakterisierung des Grundwasserleiters**
  - ⇒ Grundwasserleitertyp
    - Poren- / Kluft- / Karstgrundwasserleiter
    - Hauptgrundwasserleiter / Schichtgrundwasserleiter
    - Druckverhältnisse
  - ⇒ Verbreitung und Mächtigkeit
  - ⇒ Hydraulische Verbindungen mit anderen Grundwasserleitern im Bereich der Grundwasserverunreinigung
  - ⇒ Hydraulische Anbindung an ein Oberflächengewässer
  - ⇒ Milieuverhältnisse im nicht kontaminierten und im kontaminierten Bereich (Milieuparameter wie Redoxpotenzial (Eh) / pH - Wert, Temperatur, Sauerstoff-, Eisen-, Mangan-, Sulfatgehalt)
  - ⇒ Retentions-/ Retardationsvermögen der gesättigten Bodenzone (Feinkorn-, Tonmineral-, organische Anteile)

- ⇒ Hydraulische Durchlässigkeit
- ⇒ Hydraulischer Gradient
- ⇒ Abstandsgeschwindigkeit
  
- **Wasserwirtschaftliche Bedeutung des Grundwasserleiters**
  - ⇒ Bewirtschaftungsfähigkeit (öffentliche und nicht öffentliche Trink- und Brauchwassernutzung)
  
- **Chemische Hintergrundbeschaffenheit des Grundwassers**
  - ⇒ Geogene Hintergrundkonzentration
  - ⇒ Anthropogene Hintergrundbelastung
  
- **Ausdehnung der Grundwasserverunreinigung** (Status und Prognose)
  - ⇒ Verhältnis zwischen kontaminiertem und nicht kontaminiertem Grundwasservolumen des Grundwasserleiters
  - ⇒ Ausdehnung der Grundwasserverunreinigung in tiefere Grundwasserstockwerke
  - ⇒ Verhältnis der vertikalen Ausbreitung der Grundwasserverunreinigung zur Mächtigkeit des Grundwasserleiters
  - ⇒ Verhältnis der Fahnenlänge zum Abstand Fahnen spitze–Rezeptor
  - ⇒ Prognostische Entwicklung der Schadstofffahne
  
- **Schadstoffeinträge aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser**
  - ⇒ Vorhandensein von (punktuellen, linearen oder diffusen) Schadstoffquellen in der ungesättigten Bodenzone
  - ⇒ Inventar und Menge der mobilisierbaren Schadstoffe (Schadstoffnachlieferungspotenzial)
  - ⇒ Eigenschaften der ungesättigten Bodenzone (Mächtigkeit -insbesondere bindiger Deckschichten -, Aufbau, Durchlässigkeit, Sorptionsfähigkeit etc.
  - ⇒ Oberflächenbeschaffenheit (Abdeckung, Schutzbarrieren, Bewuchs etc.
  - ⇒ Grundwasserneubildung über der betreffenden Fläche
  - ⇒ Überflutungsgefahr des Gebietes
  
- **Schadstoffeinträge aus der gesättigten Bodenzone in das Grundwasser**
  - ⇒ Vorhandensein von Schadstoffquellen in der gesättigten Bodenzone
  - ⇒ Inventar und Menge der löslichen Schadstoffe
  - ⇒ Zustrom verunreinigten Grundwassers, das als eigenständiger Quellterm wirkt
  
- **Schadstoffbild einschließlich der stoffspezifischen Charakterisierung**
  - ⇒ Art und Anzahl der vorhandenen Schadstoffe
  - ⇒ Humantoxische und ökotoxische Toxizität der Schadstoffe, für die keine Geringfügigkeitsschwelle / kein Prüfwert vorliegt
  - ⇒ Bioakkumulationspotenzial der Schadstoffe
  - ⇒ Vorhandensein von Lösungsvermittlern
  - ⇒ Ausbreitungsverhalten der Schadstoffe
    - Phasenbildung (LNAPL oder DNAPL)
    - Fahnenbildung

- ⇒ Stoffeigenschaften, die Mobilität eines Schadstoffs in der gesättigten Bodenzone bestimmen
    - Wasserlöslichkeit
    - Sorptionsneigung (Oktanol-Kohlenstoff-Verteilungskoeffizient)
  - ⇒ Stoffeigenschaften, die Mobilität eines Schadstoffs beim Übergang aus der gesättigten in die ungesättigte Bodenzone (Ausgasung) bestimmen
    - Dampfdruck
    - Luft-Wasser-Verteilungskoeffizient (Henry-Konstante)
  - ⇒ Biotische / abiotische Abbaubarkeit der Schadstoffe
  - ⇒ Bildung toxischer Metaboliten
- **Durch die Grundwasserverunreinigung betroffene Schutzgüter**
    - ⇒ Menschliche Gesundheit
      - Ausgasungseffekte: Im Zusammenhang mit der Nutzung von Flächen im Wirkungsbereich der GW-Verunreinigung (Wohnbebauung / Produktionsstandorte)
      - Beeinträchtigung der Qualität von Badeseen
    - ⇒ Wasserwirtschaftliche Schutz- und Vorranggebiete
      - festgesetzte oder im Entwurf geplante Trinkwasserschutzgebiete, -vorranggebiete oder -schongebiete
      - festgesetzte oder im Entwurf geplante Heilquellenschutzgebiete
    - ⇒ Grundwasser im Abstrom (insbes. wenn noch nicht verunreinigt und unabhängig von seiner Nutzung)
    - ⇒ Oberirdische Gewässer im Abstrom
    - ⇒ Biotische Umwelt in benachbarten Ökosystemen
  - **Durch die Grundwasserverunreinigung gefährdete Nutzungen im Schadensbereich und seiner Umgebung**
    - ⇒ Trinkwasserversorgung, Heilquellennutzung
    - ⇒ Brauchwasserversorgung
    - ⇒ Notwasserversorgung nach dem Wassersicherstellungsgesetz
    - ⇒ Genehmigungsfreie (ggf. anzeigepflichtige) Grundwassernutzungen
    - ⇒ Empfindliche industriell-gewerbliche Nutzungen (Ausgasungseffekte, z.B. im Zusammenhang mit der Flächennutzung (z.B. Pharmawerk))

Wenn die in den von LABO und LAWA veröffentlichten Grundsätzen des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen (LAWA/LABO, 2006) definierten Kriterien "auf Dauer", "geringe Schadstofffracht" und "lokal begrenzt" eingehalten werden, ist dies bei der Prüfung der Verhältnismäßigkeit von Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen.

Es ist grundsätzlich zweckmäßig, zuerst die Verhältnismäßigkeit der Beseitigung der Schadstoffquelle zu überprüfen, da in Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Betrachtung die Ableitung der Sanierungsziele für die Schadstofffahne erfolgt. So ist standortspezifisch u. a. in Abhängigkeit von den Aufwendungen für die (gesamte oder teilweise) Dekontamination der Schadstoffquelle, der bestehenden Grundwassernutzung und den betroffenen Rezeptoren die Frage nach den Sanierungszielen für das Grundwasser in der Schadstofffahne zu beantworten.

Sanierungsziele können in Form wertunabhängiger Ziele oder als Zielwerte definiert werden. Die Sanierung der ungesättigten und gesättigten Zone steht im engen Zusammenhang. Deshalb dürfen Ziele und Zielwerte für beide Bereiche nicht voneinander unabhängig festgelegt werden (LAWA/LABO, 2006). Bei den Überlegungen zur Formulierung von Sanierungszielwerten für das Grundwasser können die Geringfügigkeitsschwellenwerte orientierend herangezogen werden (s. a. Abschn. 4.3.1.2). Im Rahmen der Prüfung der Verhältnismäßigkeit und der technischen Machbarkeit ist es dann möglich, von diesen Werten abzuweichen.

#### 4.3.1.1 Wertunabhängige Sanierungsziele

Eine vollständige Dekontamination des Bodens und Grundwassers im Sinne der vollständigen Wiederherstellung des Ausgangszustandes ist in aller Regel in endlichen Zeiträumen nicht möglich. Das liegt daran, dass eine Grundwasserkontamination nicht nur die Beschaffenheit des Grundwassers bezüglich des jeweiligen Schadstoffes ändert, sondern auch die gesamten Aquifereigenschaften.

Eine residuale Phase bleibt am Korngerüst haften, somit findet langfristig weiterhin eine Lösung und Freisetzung von Schadstoffen statt. Lösungsprozesse aus Schadstoffpools erfordern diffusionsbedingt noch längere Zeiträume.

Bei nahezu allen organischen Schadstoffen findet ein mikrobiologischer Abbau statt, der den Verbrauch von Sauerstoff oder anderer Elektronenakzeptoren und das Entstehen bestimmter Stoffe zur Folge hat, die den Grundwasserchemismus ändern. Der Verbrauch an Sauerstoff z. B. bewirkt eine Abnahme des Redoxpotenzials und damit die Auflösung von Eisen-Oxid-Hydroxiden, die im Grundwasserleiter meist fein verteilt als Kornüberzüge vorliegen und Schadstoffe sorbieren. Durch ihre Überführung in lösliche  $\text{Fe}^{2+}$ -Verbindungen werden die zuvor adsorbierten Schadstoffe freigesetzt. Bei Erreichen oxidativer Zonen im Grundwasserleiter fallen  $\text{Fe}^{2+}$ -Verbindungen wieder als  $\text{Fe}^{3+}$  aus und erhöhen so das Adsorptionspotenzial des Bodens.

Die Ausführungen zeigen, dass i. d. R. der Ausgangszustand nicht wieder hergestellt wird, sondern häufig nur Gefahren vermindert und bestimmte Nutzungen ermöglicht werden können.

Inwieweit sich eine Grundwasserkontamination mit verhältnismäßigen Mitteln reduzieren lässt, ist oft nicht zuverlässig prognostizierbar. In diesen Fällen werden oft nur qualitative Sanierungsziele festgelegt. Diese können z. B. wie folgt formuliert werden:

- Der Grundwasserschaden ist durch geeignete technische Maßnahmen zu beseitigen oder soweit zu verringern ist, dass eine deutliche Konzentrationsminderung mit hinreichender Wahrscheinlichkeit in überschaubaren Zeiträumen erfolgt.
- Die Qualität des Grundwassers darf sich im Vergleich zum Ist-Zustand nicht nachteilig verschlechtern, d.h. eine weitere Ausbreitung der Schadstoffe in allen Aquiferbereichen ist wirksam und messbar zu unterbinden (Verschlechterungsverbot).

- Langfristig ist in Anlehnung an die WRRL eine regressive, d.h. rückläufige Entwicklung der Schadstoffgehalte zu erreichen (Trendumkehr).
- Ein weiterer Schadstoffeintrag in das Grundwasser muss durch die Unterbrechung des Wirkungspfades Boden (ungesättigt Zone) ⇒ Grundwasser wirksam unterbunden werden.
- Der Abstrom von kontaminiertem Grundwasser ist in allen Aquiferbereichen auf ein Minimum zu verringern. Ggf. können Leitwerte - im Gegensatz zu starren Zielwerten - z. B. für die Reduzierung der Schadstofffracht oder Schadstoffkonzentration festgesetzt werden.
- Für verbleibende Restkontaminationen ist sicherzustellen, dass für das Grundwasser und sonstige im Abstrom liegende Schutzgüter dauerhaft keine Gefahren ausgehen.
- Innerhalb bestimmter Zonen des/der Grundwasserleiter(s) soll Brauchwasserqualität erreicht werden. Diese ist im Einzelfall näher zu bestimmen.
- Belastetes Grundwasser darf an keiner Stelle als Schichten- oder Hangwasser oder ähnliches offen zu Tage treten.
- Belastetes Grundwasser darf nicht unmittelbar in Fließgewässer übertreten.

#### 4.3.1.2 Zielwerte

Sanierungszielwerte sind sowohl qualitativ (Festlegung einer Parameterauswahl) als auch quantitativ (Wertfestlegung) zu beschreiben. Sie können ausgedrückt werden als:

- maximal zulässige Konzentrationswerte in ausgewählten oder allen Grundwassermessstellen
- maximal zulässige Schadstofffrachten, die in bestimmten Messstellen oder für einen bestimmten Querschnitt der Schadstofffahne zu ermitteln sind,
- flächenhafte Reduzierungen von Schadstofffahnen

Die weitaus häufigsten Sanierungszielwerte sind maximal zulässige Schadstoffkonzentrationen, die in der Regel auf (nahezu) alle im Abstrom der Altlast bestehenden Grundwassermessstellen angewendet werden. Für die Festlegung werden in der Praxis häufig Werte folgender Kategorien herangezogen:

- gesetzliche Grundlagen und Anforderungen nach BBodSchG/BBodSchV (Prüfwerte)
- Empfehlungen der Länder (beispielsweise LAWA-Prüf- und Maßnahmenwerte, Geringfügigkeitsschwellen)
- in Abhängigkeit vom jeweiligen Schadensfall und der anordnenden Behörde empirisch festgelegte bzw. im Einzelfall abgeleitete Sanierungszielwerte ("Praxiswerte")

Es ist nicht sachgerecht, für die Beurteilung von Grundwasserschäden die Prüfwerte der BBodSchV heranzuziehen, denn es handelt sich um Sickerwasserprüfwerte zur Beurteilung des Sickerwassers beim Übergang in das Grundwasser.

Die Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA sind human- und ökotoxikologisch begründet, d. h. sie sind definiert als Konzentration, bei denen keine relevanten human-/ökotoxischen Wirkungen auftreten können. Die Geringfügigkeitsschwelle bildet die Grenze zwischen einer

geringfügigen Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer schädlichen Verunreinigung, d. h. einem Grundwasserschaden (LAWA, 2004). Die Geringfügigkeitsschwellenwerte sind jedoch nicht zwangsläufig bindend als Maßnahmenwerte oder Sanierungszielwerte im Einzelfall zu verstehen.

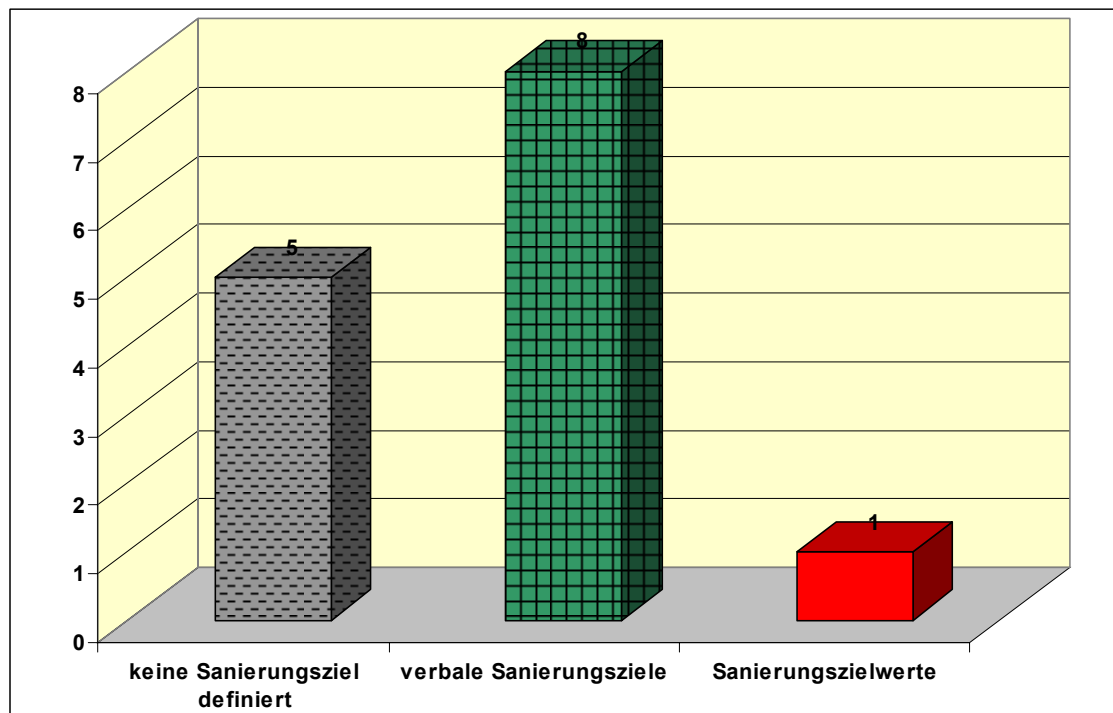
Als Sanierungszielwerte werden in der Regel Konzentrationen oder Frachten für Schadstoffe vorgegeben, die an definierten Messpunkten erreicht werden müssen. Allgemeingültige Richtlinien und Grenzwerte für Sanierungen bezogen auf das Grundwasser existieren nicht.

Für unterschiedlich belastete Zonen einer Belastungsfahne kann es sinnvoll sein, unterschiedliche Ziele festzulegen.

#### 4.3.1.3 Sanierungszielfestlegung in den Fallbeispielen

Die Sanierungsziele wurden in den betrachteten Fallbeispielen auf unterschiedliche Weise festgelegt.

In 6 der betrachteten 14 Fälle erfolgte keine Definition von Sanierungszielen (Abb. 4.12). Dies trifft zu einen bei den Altablagerungen zu, bei denen eine Oberflächensicherung unter Abfallrecht aufgebracht worden ist (Fallbeispiele 2, 3, 4 und 8). Im Fallbeispiel 10 ist für den Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser kein Sanierungsziel definiert, da gemäß Gefährdungsabschätzung kein unmittelbarer Sanierungsbedarf besteht. Zur Verbesserung der weitflächig beeinträchtigten Grundwassersituation entschied sich die Behörde dennoch für Sanierungsmaßnahmen.



**Abb. 4.12:** Festlegung der Sanierungsziele für die Fallbeispiele

Die wesentlichen für die Fallbeispiele 7, 9 und 11 bis 15 formulierten wertunabhängigen Sanierungsziele lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Unterbindung des Schadstoffübertritts aus der dauerhaft ungesättigten in die dauerhaft gesättigte Bodenzone
- Verhinderung/Minimierung einer weiteren Schadstoffausbreitung/-verlagerung in unbelastete Bereiche der wassergesättigten Zone
- Vermeidung der Ausbreitung der Grundwasserverunreinigungen
- Beseitigung des Grundwasserschadens
- Vermeidung von belasteten Grundwasserübertritten in das Oberflächenwasser

Erwartungsgemäß bestand das Hauptziel der durchgeführten Oberflächensicherungen in der Regel in der Unterbindung der Sickerwasserbildung und damit in einer Unterbindung von Schadstoffeinträgen aus der dauerhaft ungesättigten in die dauerhaft gesättigte Bodenzone. In den meisten Fällen war auch die Reduzierung oder wenigstens Unterbindung einer weiteren Ausbreitung der Grundwasserverunreinigungen Ziel der Maßnahmen. Die Beseitigung des Grundwasserschadens und die Vermeidung des Übertritts kontaminierten Grundwassers in ein Oberflächengewässer war nur an einem Standort gefordert, hier allerdings in Verbindung mit einer parallelen Grundwassersanierung (Fallbeispiel 14 ehemaliger chemischer Kleinbetrieb).

Ebenfalls nur an einem Standort wurden in einem öffentlich-rechtlichen Vertrag Sanierungszielwerte festgeschrieben (Fallbeispiel 6 ehemalige Industrieschlammdeponie). Für die Parameter Leitfähigkeit, Sulfat, Chlorid, Nitrat, Nitrit, Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Zink und Barium wurde das Doppelte der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung von 1990, sofern die Vorbelastung im Anstrom der Deponie oberhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung lagen, der zweifache Wert der Vorbelastung festgesetzt.



#### 4.3.1.4 Sanierungszielerreichung in den Fallbeispielen

Nur in einem Fall wurden konkret Sanierungszielwerte vorgegeben (Fallbeispiel 6 ehem. Industrieschlammdeponie). Diese sind noch nicht vollständig erreicht. Nach dem Verlauf der Konzentrationsganglinien erscheint es aber durchaus realistisch, dass die Zielwerte in absehbarer Zeit im Grundwasser unterschritten werden können. Die Zielwerte entsprechen dem Doppelten der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung 1990.

In Tabelle 4.1 ist vermerkt, welche Vergleichswerte in den Einzelfällen nach der Sanierung erreicht bzw. unterschritten wurden. Das Bild ist sehr heterogen. Der in der TVO enthaltene Grenzwert für die elektrische Leitfähigkeit von 2.500 µg/l war z.T. schon vor der Sanierung unterschritten und wurde in anderen Fällen nach der Sanierung erreicht oder auch nicht erreicht. Ähnlich fallen die Ergebnisse für Sulfat aus, für das ebenfalls als Vergleich der Grenzwert der Geringfügigkeitsschwellenwert herangezogen wurde. Der Geringfügigkeitsschwellenwert für Chlorid wurde in allen Beispielen sicher erreicht. Der TVO-Grenzwert für Ammonium wurde dagegen bei keinem Fallbeispiel unterschritten. Die genannten Parameter sind vor allem im Abstrom der ehemaligen Siedlungsabfalldéponien (Fallbeispiele 1 bis 5) relevant.

Arsen war nur im Fallbeispiel 10 (ehem. Werksdéponien) relevant. Trotz der z.T. massiven Feststoffbelastungen erreichten die Arsen-Konzentrationen auch schon vor der Sanierung (nur) Werte unter 0,5 mg/l. Höhere Konzentrationen traten nur lokal und zeitlich eng begrenzt auf. Die Sanierung führte in fast allen Messstellen zu Werten zwischen 0,005 und 0,03 mg/l, d.h. maximal bis zum 3-fachen der Geringfügigkeitsschwelle.

**Tab. 4.1:** Wertniveaus der in den Fallbeispielen erreichten Stoffkonzentrationen der relevanten Leitparameter im Vergleich zu Regelwerken

Parameter	Regelwerk	Zielwert	Fallbeispiel															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
elektr. LFK	TVO	2.500 µS/cm	-		⊕	keine Monitoringdaten	-	gesonderte Sanierungszielwerte		+								
Sulfat	GFS TVO	240 mg/l	-								-		+					
Chlorid	GFS TVO	250 mg/l	⊕	+	+													
Ammonium	TVO	0,5 mg/l		-	-				-									
Arsen	GFS TVO	10 µg/l									(-)							
Cadmium	GFS	0,5 µg/l										-						
	TVO	5 µg/l										(+)						
Zink	GFS	58 µg/l										-						
Fluorid	GFS	0,75 mg/l											-					
Cyanid <sub>ges.</sub>	GFS TVO	0,050 mg/l											(+)		-	-		
∑ PAK <sup>1)</sup>	GFS	1,2 µg/l											-	-	-	-		
Naphthalin	GFS	1 µg/l											-	-	-	-		
Benzol	GFS	1 µg/l											-					
	TVO																	
BTEX	BBodSchV	20 µg/l										-		-		+		
Phenole	GFS	8 µg/l											-					
MKW	GFS	100 µg/l														(-)		
LHKW	GFS	20 µg/l														+		

<sup>1)</sup> PAK, gesamt: Summe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe ohne Naphthalin und Methylnaphthaline

⊕ Wert schon vor der Sanierung unterschritten

+ Wert unterschritten

- Wert überschritten

( ) Wert geringfügig unter-/überschritten

Cadmium war Leitparameter im Fallbeispiel 9 (innerstädtische, flächige Aufschüttung). Die Geringfügigkeitsschwelle wurde hier nach der Sanierung nicht erreicht. Die Grundwasserbelastung überschreitet aber heute den 10-fach so hohen Prüfwert der BBodSchV bzw. Grenzwert nach TVO nur geringfügig, wobei festzuhalten ist, dass der Sickerwasserprüfwert der BBodSchV für die Beurteilung des Grundwassers nicht maßgebend ist (s. auch Kap. 4.3.1.2). Der TVO-Wert ist nur zur Beurteilung von Grundwasser für Trinkwasserzwecke geeignet.

Im Fallbeispiel 10 wurde in den für die Auswertung herangezogenen Abstrommessstellen eine Cyanid-Konzentration in Höhe von 50 µg/l (GFS) nur noch knapp überschritten, obwohl die Sanierung noch nicht abgeschlossen ist. Die Geringfügigkeitsschwelle für Fluorid wird dagegen bei weitem nicht erreicht. Im Abstrom der Kokerei liegen die PAK- und Benzol-Konzentrationen ebenfalls noch weit über den GFS-Werten.

Auch auf den ehemaligen Kokereistandorten (Fallbeispiele 11, 12, 13) werden die Geringfügigkeitsschwellen und/oder Grenzwerte nach TVO bei weitem nicht erreicht, auch wenn z. T. deutliche Konzentrationsabnahmen erkennbar sind.

Im Fallbeispiel 14 (ehemaliger chemischer Kleinbetrieb) ist es gelungen, die Konzentrationen an LHKW, Benzol und MKW bis in den Bereich der Geringfügigkeitsschwellen und der Prüfwerte der BBodSchV abzusenken. Ursächlich ist jedoch nicht - wie schon an anderer Stelle erwähnt - die Oberflächensicherung, sondern vielmehr die parallel durchgeführte Grundwassersanierung.

#### **4.3.2 Empfehlungen zur Festlegung der Sanierungsziele und -maßnahmen**

Allgemein gilt, dass das/die Sanierungsziel(e) nicht zu früh als starre Vorgabe(n) formuliert werden sollte(n), sondern entsprechend den jeweiligen standortspezifischen Randbedingungen und unter Einhaltung der Verhältnismäßigkeit abzuleiten sind. Sanierungszielwerte sollten während Sanierungsmaßnahmen einvernehmlich mit den zuständigen Behörden abgestimmt und angepasst werden können, insbesondere dann, wenn die grundlegend formulierten Sanierungsziele erreicht, ursprünglich festgelegte Sanierungszielwerte jedoch nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand unterschritten werden können.

Wenn eine Oberflächensicherung als Sanierungsoption in Frage kommt, sollte im Rahmen der Sanierungsuntersuchung geprüft werden, in wieweit und in welchen Zeiträumen sich die räumliche Erstreckung und das Maß und die Verteilung der Belastung durch die Oberflächensicherung verringern lassen.

An die Herleitung der Sanierungsziele für Oberflächensicherungen bezogen auf den Grundwasserpfad sind insbesondere folgende Anforderungen zu stellen:

- einzelfallspezifische Ableitung  
Das/die Sanierungsziel(e) sind in jedem Einzelfall auf die spezifischen Randbedingungen (z. B. Lage der Schadstoffquelle in der ungesättigten und gesättigten Zone, räumliche Entwicklung der Fahne) abzustellen und unter Beachtung der Grundwassernutzung herzuleiten. Sie müssen auch die im Umfeld bereits vorhandenen Hintergrundbelastungen berücksichtigen.
- grundsätzliche Erreichbarkeit  
Das/die Sanierungsziel(e) müssen prinzipiell erreichbar sein. Die Erreichbarkeit ist im Vorfeld der Maßnahmen mit hinreichender Sicherheit nachzuweisen.
- Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit  
Die Erreichbarkeit des/der Sanierungsziels/-e muss mit verhältnismäßigen Mitteln möglich sein. Die Verhältnismäßigkeit ist durch die zuständige Behörde zu prüfen. Es liegt in ihrem Ermessen, ob sie die Pflichten des § 4 BBodSchG durchsetzt. Sie ist nicht verpflichtet, bestimmte Sanierungsziele vollständig zu verwirklichen. Die Auswahl steht in ihrem Ermessen und damit auch die Festsetzung des/der Sanierungsziels/-e selbst. Bei einer nur geringfügig zu erwartenden Verbesserung der Grundwasserqualität kann eine Oberflächensicherung im Einzelfall auch unverhältnismäßig sein.

- Ortsbezug  
Insbesondere bei der Festsetzung von Sanierungszielwerten muss/müssen das/die Sanierungsziel(e) für einen konkreten Geltungsort, d. h. Prüfort bestimmt werden. Prüfmedium ist in der Regel das Grundwasser. Prüfort kann z. B. der Schadensherd selbst, der unmittelbare und der weitere Abstrombereich, der Rand der Schadstofffahne oder die Grundstücksgrenze sein. Die erforderlichen Kontrollmessstellen sind bereits ausreichend lange vor der Sanierung (z. B. während der Sanierungsuntersuchung) einzurichten und ausreichend oft zu beproben. Es ist sicherzustellen, dass die maßgeblichen Kontrollmessstellen nicht durch die Sanierungsmaßnahmen zerstört werden.
- Zeitbezug  
Für das Erreichen des/der Sanierungsziel(e) sind Fristen festzulegen, die standortbezogen abzuleiten sind.

### **4.3.3 Anforderungen an die Datenlage zur Sanierungsentscheidung**

Für die Entscheidung über eine Sanierungsmaßnahme mittels Oberflächensicherung sollten mindestens Daten zu folgenden Aspekten vorliegen bzw. ermittelt werden:

- Flächen und Volumina
- Einordnung des Standortes in sein Umfeld (Lage zu Schutzgebieten, Angaben zu Gewässern)
- Nutzung des Sanierungsgrundstücks
- geplante Nutzung oder planungsrechtlich zulässige Nutzung des Sanierungsgrundstücks).
- geologisch/hydrogeologische Randbedingungen
- Wasserhaushaltsdaten
- Schadstoffinventar
- Überwachungsdaten und deren Auswertung vor der Sanierung
  - ⇒ Art und Umfang der Kontrollen
  - ⇒ Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen
  - ⇒ Entwicklung der Schadstofffrachten
  - ⇒ Entwicklung von Grundwasserständen und -fließrichtungen
  - ⇒ Prognose der Schadstoffkonzentrationen und -frachten sowie der hydrogeologischen Situation
- Kontaminationssituation für die einzelnen Medien (Boden, Bodenluft und Grundwasser)
- Schadstoffmengen je Medium
- Quellstärke
- chemisch-physikalisches Verhalten der Leitschadstoffe und Beschreibung des Ausbreitungsverhaltens
- Gefahrenbewertung (vollständige Eintragsprognose nach Konzentrationen und Frachten für den gegenwärtigen Zeitpunkt und in überschaubarer Zukunft)
- Ausmaß des Grundwasserschadens
- allgemeiner Grundwasserchemismus zur Kennzeichnung des hydrochemischen Typs sowie ggf. auftretende Begleitstoffe
- vorläufige Sanierungsziele
- festgelegte Sanierungszonen

- endgültig festgelegte Sanierungsziele
- zeitliche Prognose für die Erreichung der Sanierungsziele
- untersuchte Sanierungsvarianten
- Kostenschätzung
  - ⇒ Investkosten
  - ⇒ Sanierungsbegleitkosten
  - ⇒ Betriebskosten
  - ⇒ Überwachungskosten
- Kosten/Nutzen-Vergleiche
- Entscheidungsargumente für die Auswahl der Sicherungsmaßnahme und ggf. zusätzlicher Maßnahmen

#### **4.4 Anforderungen an die Überwachung des Grundwassers und Erfahrungen aus den Fallbeispielen**

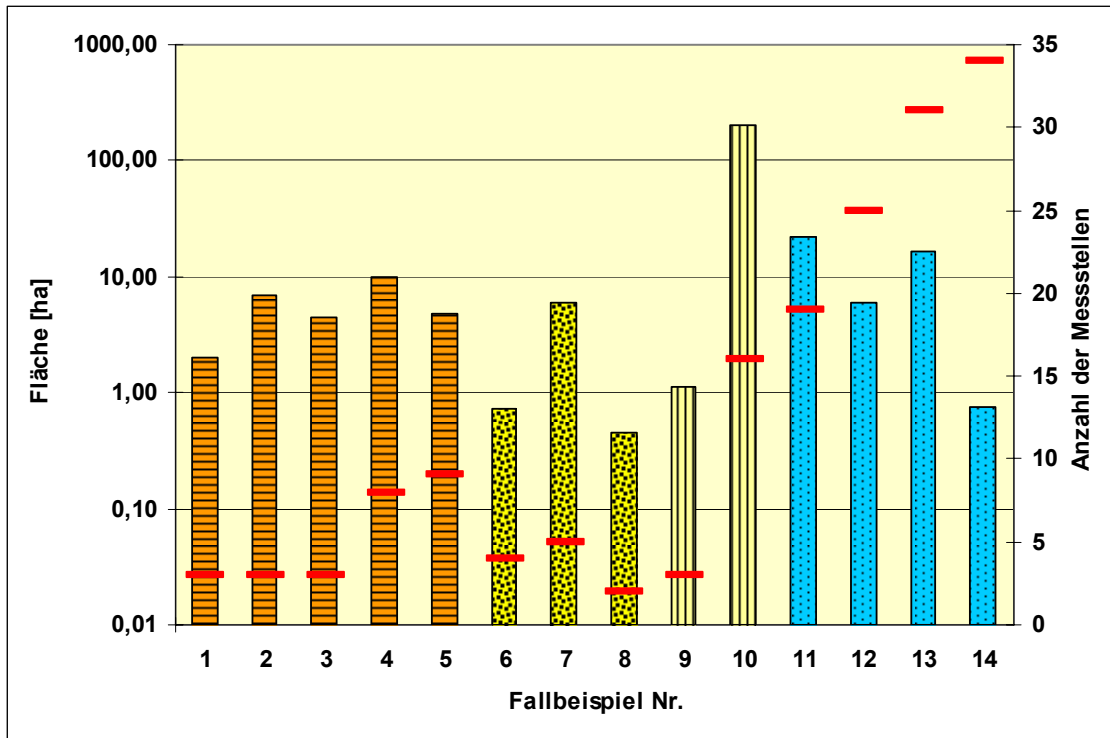
Im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) sowie in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) werden Rahmenregelungen zur Überwachung, Nachsorge und zu den von Pflichtigen durchzuführenden Eigenkontrollmaßnahmen vorgegeben. Nach § 15 BBodSchG unterliegen Altlasten und altlastverdächtige Flächen der Überwachung durch die zuständige Behörde. Bei Altlasten kann die Behörde vom Verpflichteten die Durchführung von Eigenkontrollmaßnahmen verlangen.

Nach Durchführung einer Sanierung werden häufig Nachsorgemaßnahmen erforderlich. Dies betrifft insbesondere Sicherungsmaßnahmen. Konkrete Hinweise zur Berücksichtigung von Überwachungs- und Nachsorgemaßnahmen bei der Prüfung, Planung und Durchführung von Sanierungsmaßnahmen gibt der MALBO Band 24 (LUA NRW, 2006).

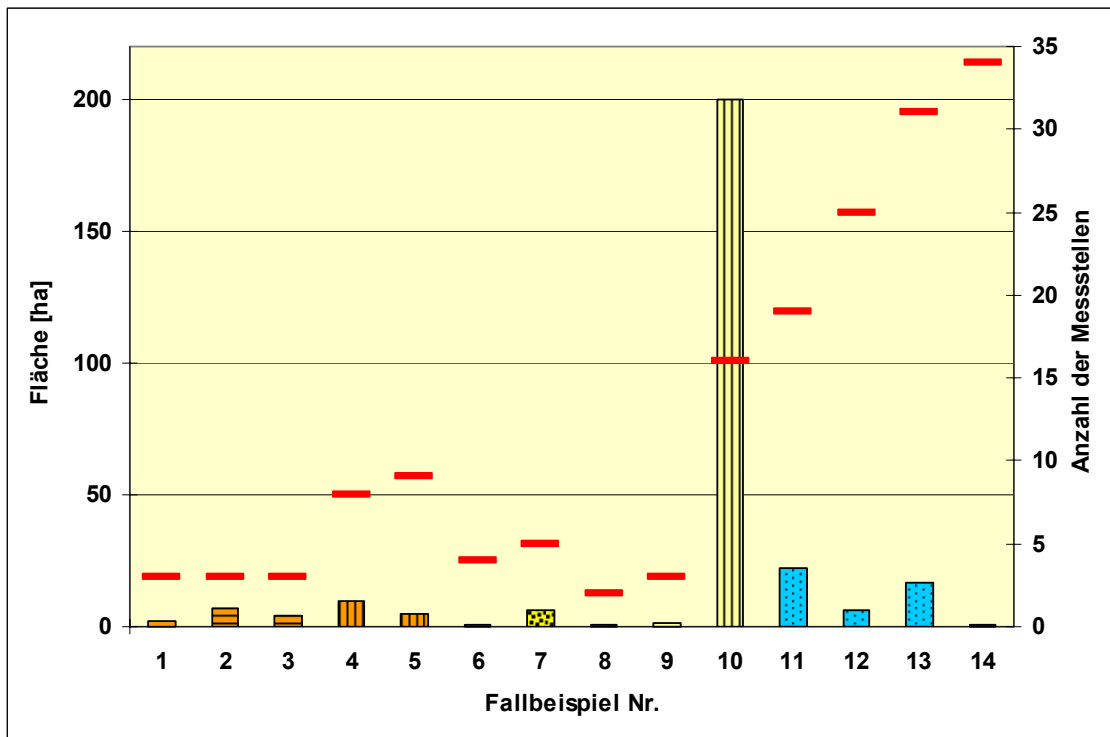
In § 5 BBodSchV ist explizit geregelt, dass die Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen gegenüber der zuständigen Behörde zu belegen und dauerhaft zu überwachen ist. In diesem Zusammenhang werden in den Fallbeispielen die Grundwassermessstellen zur Überwachung der Wirksamkeit der Oberflächensicherung im Hinblick auf den Grundwasserpfad näher betrachtet.

Grundwasserkontrollen werden bzw. wurden bei allen untersuchten Fallbeispielen durchgeführt. Gleichwohl zeigte die Fallrecherche im Vorfeld der Studie, dass solche Kontrollen nicht bei allen durchgeführten Oberflächensicherungen erfolgen. Oftmals fehlten aussagekräftige Monitoringdaten aus der Zeit vor Aufbringen der Oberflächensicherung, was Aussagen zum Grad der Wirksamkeit der Maßnahmen erschwert.

Der Umfang des Grundwassermonitorings schwankt bezüglich der Anzahl der Messstellen, des Parameterumfanges und der Messintervalle in weiten Grenzen. In den Abbildungen 4.13 und 4.14 sind die Flächengrößen der untersuchten Fallbeispiele im Verhältnis zur Anzahl der für das Monitoring herangezogenen Messstellen linear und logarithmisch dargestellt.



**Abb. 4.13:** Anzahl der Monitoring-Messstellen im Verhältnis zur Flächengröße (logarithmisch)



**Abb. 4.14:** Anzahl der Monitoring-Messstellen im Verhältnis zur Flächengröße (linear)

In vier Fällen werden nur zwei Abstrom- und eine Anstrommessstelle beobachtet, in einem Fall nur eine An- und Abstrommessstelle. Bei allen Fällen handelt es sich um Altablagerungen. Unter den Altablagerungen werden lediglich im Fallbeispiel 10, das zusätzlich auch einen Altstandort umfasst, regelmäßig 15 Messstellen beobachtet. Der Standort ist mit ca. 200 ha der weitaus größte hier betrachtete. Im Verhältnis zur Flächengröße ist die Anzahl der Messstellen eher gering.

Die Anzahl der Messstellen bei den ehemaligen Kokereien sind mit 19 bis 31 im Verhältnis umfangreich, den komplexen Schadensbildern im Boden und Grundwasser aber angemessen. Die größte Anzahl an Messstellen existiert mit 34 im Fallbeispiel 14, das flächenmäßig eher zurücktritt. Hier handelt es sich aber um ein komplexes Schadensbild.

## **5 Zusammenfassung**

### **Zielsetzung**

Statistische Erhebungen in Nordrhein-Westfalen zeigen seit Jahren, dass bautechnischen Sicherungsverfahren - insbesondere den unterschiedlichen Methoden der Oberflächensicherung - bei der Sanierung von Altlasten hohe Bedeutung zukommt. In Nordrhein-Westfalen wurden bisher ca. 30 % der sanierten Altlasten oberflächengesichert.

Über die generelle Effizienz und Langzeitwirksamkeit von Oberflächensicherungen ist trotz der Vielzahl der durchgeführten Maßnahmen bislang nur wenig bekannt. Im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) wurde daher eine Studie konzipiert, in der vorliegende Praxiserfahrungen ausgewertet werden sollten. Ziel des Projektes war es, aus den konkreten Erfahrungen in Einzelfällen unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen möglichst standortübergreifende Aussagen zur Effizienz und Langzeitwirksamkeit von Oberflächensicherungen abzuleiten.

Mit der vorliegenden Ausarbeitung soll den zuständigen Behörden und gleichermaßen den Sanierungspflichtigen wie den beteiligten Planern ein Instrumentarium zur Verfügung gestellt werden, das eine vertiefte Bewertung der Einsatzmöglichkeiten und des Nutzens einer Oberflächensicherung im Einzelfall zulässt und gleichzeitig die Anforderungen an die Sanierungsuntersuchung sowie die Planung, Ausführung und Nachsorge einer solchen Maßnahme konkretisiert.

### **Vorgehensweise**

Grundlage für die Erarbeitung der Arbeitshilfe ist eine Recherche bereits durchgeführter Einzelfälle. Nach einer Vorauswahl von prinzipiell verwendbar erscheinenden Fällen wurden 14 Fallbeispiele einer vertieften Betrachtung unterzogen. Es handelt sich sowohl um Ablagerungen als auch um Altstandorte, deren Schadstoffspektren variieren. Hinsichtlich der Oberflächensicherung werden Abdichtungen, Abdeckung oder Versiegelung durch Überbauung unterschieden.

Aufgrund der Vielzahl der Randbedingungen und Einflussgrößen ist es kaum möglich, typische Altlastenfälle zu definieren. Insofern sind auch die für die vorliegenden Untersuchungen herangezogenen Fallbeispiele heterogen und können kein repräsentatives Abbild der Sanierungspraxis mittels Oberflächensicherungen liefern. Dennoch lassen sich aus der Analyse dieser Fälle Schlüsse ziehen, die auch für andere Fallgestaltungen von Bedeutung sind.

Die gewonnenen Erkenntnisse beziehen sich auf die an Standorterkundungen zu stellenden Anforderungen, die Bewertung einer Oberflächensicherung hinsichtlich des Grundwasserpfadens, die Sanierungsentscheidung sowie die Anforderungen an die Überwachung und Nachsorge.



## **Anforderungen an die Standorterkundung**

Insbesondere im Hinblick auf die später durchzuführende Bewertung des Nutzens einzelner Sanierungstechniken ist es unerlässlich, den Schaden, sowohl im Boden als auch im Grundwasser möglichst genau zu erkunden. Dies betrifft insbesondere die Quellarchitektur und die Lage des Schadensherdes zum Grundwasserspiegel. Die Fallrecherche zeigte, dass oftmals nur das obere Grundwasserstockwerk betrachtet wird. Das gilt sowohl für die Untersuchung der Schadstoffquelle als auch für die Beschreibung des Grundwasserschadens. Insbesondere zu Beginn der Untersuchungen ist es oft hilfreich, qualitativ hochwertige Aufschlüsse, z. B. in Form von Schürfen oder Liner-Bohrungen, durchzuführen, um ein möglichst exaktes Bild des Untergrundaufbaus und der daraus resultierenden Ausbreitungsmöglichkeiten der Schadstoffe zu erhalten.

Für Fallgestaltungen, bei denen die Schadstoffquelle sowohl in der ungesättigten wie auch in der gesättigten Bodenzone liegt, sollten die Frachten - falls möglich - gesondert für das Sickerwasser und das Kontaktgrundwasser abgeschätzt werden.

Kenntnisse über die Dimension des Grundwasserschadens und die Prognose der weiteren Entwicklung sind eine wichtige Voraussetzung für die Verhältnismäßigkeitsüberlegungen. Die Erkundung des Grundwasserschadens soll auch mögliche Belastungen einschließen, die nicht auf den betrachteten Standort selbst zurückzuführen sind (z. B. Hintergrundbelastung). Dabei sollten möglichst auch deren Ursachen erfasst werden, um abschätzen zu können, welchen Nutzen eine Oberflächensicherung am betrachteten Standort für das Grundwasser hat.

Schon zu Beginn der Sanierungsüberlegungen auch im Zusammenhang mit Oberflächensicherungen sollten auch die Möglichkeit und die Sinnhaftigkeit eines MNA-Konzeptes geprüft werden. Sofern solche Maßnahmen nicht von vorne herein ausgeschlossen werden, bietet es sich an, das Untersuchungskonzept in der Phase der Detailuntersuchung bzw. Sanierungsuntersuchung darauf abzustellen.

## **Fachliche Bewertung hinsichtlich des Grundwasserpfades**

Eine Oberflächensicherung kann als alleinige Maßnahme ausreichend sein. Sofern aber die Altlast bis in die gesättigte Bodenzone hineinreicht, seitliche Wasserzutritte möglich sind oder eine Gasmigration in den benachbarten Untergrund möglich ist, ist im Allgemeinen eine Kombination mit anderen Maßnahmen erforderlich. Sofern keine Versiegelung durch Überbauung erfolgen soll, werden in der Regel die im Deponiebau gebräuchlichen Verfahren herangezogen.

Die Kriterien für die fachliche Bewertung sind mit der zuständigen Behörde in Abhängigkeit vom Einzelfall abzustimmen. Maßgebliches Kriterium ist die Wirksamkeit, die insbesondere durch die Sanierungszielerfüllung und die Langzeitwirksamkeit der Maßnahme bestimmt wird. In der Regel ist daher die Kosten-Wirksamkeits-Analyse das best geeignete Mittel für eine Nutzen/Kosten-Untersuchungen.

Wie bei einer Grundwassersanierungsmaßnahme mittels Pump+Treat-Verfahren ist auch bei einer Sanierung durch Oberflächensicherung zu erwarten, dass die Abnahme der Grundwasserbelastungen in zwei Phasen verläuft. Nachdem die Schadstoffe aus dem advektiv zugänglichen Porenraumabtransportiert worden sind, setzt ein diffusionsbestimmter Stoffübergang aus nicht oder sehr gering durchströmten Bereichen ein. Bei insgesamt sieben der betrachteten 14 Fallbeispiele konnte eine deutliche Konzentrationsabnahme der Leitparameter (70 - 95 %) festgestellt werden. Signifikante Abhängigkeiten des Sanierungserfolges von der Art der Altlast, dem Schadstoffspektrum oder der Art der Dichtung konnten nicht festgestellt werden. Selbst die Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasser wirkt sich nicht signifikant aus.

Aus den untersuchten Fallbeispielen, bei denen das Aufbringen der Oberflächensicherung maximal 26 Jahre, im Mittel nur 9 Jahre zurückreicht, können aufgrund der vorliegenden Datenlage keine gesicherten Erkenntnisse hinsichtlich der Langzeitwirksamkeit gewonnen werden. Allerdings liegen in keinem Fall eindeutige Anhaltspunkte dafür vor, dass die Oberflächensicherung Schaden genommen hätte.

### **Sanierungsentscheidung**

Die Entscheidung darüber, ob und welche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden, ist in erster Linie abhängig von den behördlicherseits festgelegten Sanierungszielen. Sie können in Form wertunabhängiger Ziele oder als Zielwerte definiert werden.

In 5 der betrachteten 14 Fallbeispiele erfolgte keine Definition von Sanierungszielen, bei 8 Fallbeispielen wurden wertunabhängige Ziele festgelegt. Nur in einem Beispiel sind Zielwerte definiert.

Es ist zweckmäßig, zuerst die Verhältnismäßigkeit der Beseitigung der Schadstoffquelle zu überprüfen, da in Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Betrachtung die Ableitung der Sanierungsziele für die Schadstofffahne erfolgt.

Allgemein gilt, dass die Sanierungsziele nicht zu früh als starre Vorgaben formuliert werden sollten, sondern entsprechend den jeweiligen standortspezifischen Randbedingungen und unter Einhaltung der Verhältnismäßigkeit herzuleiten sind. Sanierungsziele sind grundsätzlich einzelfallbezogen abzuleiten. Sie müssen prinzipiell erreichbar sein und einen klaren Orts- und Zeitbezug haben. Die erforderlichen Kontrollmessstellen sind bereits ausreichend lange vor der Sanierung (z. B. während der Sanierungsuntersuchung) einzurichten und ausreichend oft zu beproben. Es ist sicherzustellen, dass die maßgeblichen Kontrollmessstellen nicht durch die Sanierungsmaßnahmen zerstört werden.

Für das Grundwasser können die Geringfügigkeitsschwellenwerte orientierend herangezogen werden. Die Geringfügigkeitsschwellenwerte sind jedoch nicht zwangsläufig bindend als Maßnahmenwerte oder Sanierungszielwerte im Einzelfall zu verstehen.

Es ist nicht sachgerecht, die Prüfwerte der BBodSchV zur Grundwasserbeurteilung heranzuziehen. Bei der Entscheidung über Oberflächensicherung sollten Abschätzungen vorliegen, wie sich eine Oberflächensicherung auf die Verbesserung der Grundwasserqualität auswirkt.

Je nach Ausmaß der zu erwartenden Verbesserung der Grundwasserqualität kann auch eine Oberflächensicherung unverhältnismäßig sein. Grundsätzlich sollten im Rahmen der Sanierungsuntersuchung auch MNA-Konzepte auf ihre Eignung überprüft werden.

### **Anforderungen an die Überwachung**

Nach § 15 BBodSchV ist die Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen gegenüber der zuständigen Behörde zu belegen und dauerhaft zu überwachen.

Die Fallrecherche im Vorfeld der Studie zeigte, dass solche Kontrollen nicht bei allen durchgeführten Oberflächensicherungen erfolgen. Bei den untersuchten Fallbeispielen schwankte der Umfang des Grundwassermonitorings bezüglich der Anzahl der Messstellen, des Parameterumfanges und der Messintervalle in weiten Grenzen. In vier Fällen werden nur zwei Abstrom- und eine Anstrommessstelle beobachtet, in einem Fall nur eine An- und Abstrommessstelle. Dagegen existieren in einem komplexen Fall mit einer Fläche von knapp 1 ha 24 Messstellen.

## 6 Literatur

- AbfAbIV (2006) - Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen, BGBl. I, S. 305, Febr. 2001, zuletzt geändert am 13.12.2006 (BGBl. I, S. 2860).
- BBodSchG (1998) - Bundes-Bodenschutzgesetz - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten, Bundesgesetzblatt Jahrgang 1998 Teil I Nr. 16 vom 17. März 1998, Seite 502-510
- BBodSchV (1999) - Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999 Teil I Nr. 36 vom 12. Juli 1999, Seite 1554-1582
- BRECHTEL (1984) - Beeinflussung des Wasserhaushaltes von Mülldeponien. Handbuch über die Sammlung, Beseitigung und Verwertung von Abfällen aus Haushaltungen, Gemeinden und Wirtschaft (Müllhandbuch). 5. Lfg. Nr. 4623,
- DepV (2007) - Artikel 1 der Verordnung über Deponien und Langzeitlager und zur Änderung der Abfallablagerungsverordnung, BGBl. S. 2807, zuletzt geändert am 13.12.2006, BGBl. S. 2860
- DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (1997): GDA-Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten.- 3. Auflage 1997, Verlag Ernst & Sohn
- DGGT Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (2000): Aufbau von Rekultivierungsschichten.- Arbeitskreis AK 6.1 "Geotechnik der Deponiebauwerke", Bautechnik, Hft. 77
- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1995): Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen.- Eigenverlag
- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1996): Deponieasphalt für Deponieabdichtungen (Deutsche Asphalt Industrie, Bonn) vom 23.07.1996, Zulassungs-Nr. Z-68.11-1
- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1997): Bentofix D 4000 (Firma Naue, Lübbecke) vom 20. B. 1997, Zulassungs-Nr. Z-68.11-1; zweilagig
- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1998a): Bentofix D 4000 (Firma Naue, Lübbecke) vom 6.3.1998, Zulassungs-Nr. Z-68.11-5; zweilagig
- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1998b): NaBento NBD OIR (Firma Huseker, Gescher) vom 30.3. 1998, Zulassungs-Nr, Z-68.11-3; zweilagig
- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1998c): Bentofix DZ 6000 (Firma Naue, Lübbecke) vom 14.5.1998 , Zulassungs-Nr. Z-68.11-6; einlagig durch Erhöhung des gr-Gewichtes
- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1998d): Bentofix BZ 6000 (Firma Naue, Lübbecke) vom 14.5.1998, Zulassungs-Nr. Z-68.11-8; einlagig durch Erhöhung des gr-Gewichtes
- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1998e): Bentomat SS (Firma Bermüller, Nürnberg) vom 14.5.1998, Zulassungs-Nr. Z-68.11-4; zweilagig
- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1998f): DYWIDAG Mineralgemisch (DYWIDAG Umweltschutz GmbH, Aschheim) vom 20.01.1998, Zulassungs-Nr. Z-68.12-2
- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik (1998g): Vergütetes Mineralgemisch Chemoton (Sweitelsky Baugesellschaft mbH, Traunstein) vom 06.05.1998, Zulassungs-Nr. Z-68.12-7
- FGSV Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1994): ZTVE-StB 94 - Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau.- FGSV-Nr. 599
- FGSV Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2001): RStO 01 - Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen.- FGSV-Nr. 499
- ITVA Ingenieurtechnischer Verband Altlasten (1997): Arbeitshilfe "Oberflächensicherung".- erarbeitet im ITVA-Fachausschuss H 1 "Technologien und Verfahren" H1
- Künzel, O. (2009): Nutzbare Feldkapazität und Rekultivierungs- und Wasserhaushaltsschichten. S. 55-57 Müll und Abfall 02.09, 41. Jahrgang, Februar 2009, Erich Schmidt Verlag, Berlin

- LAbfG (1988) (Landesabfallgesetz) - Abfallgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen vom 21. Juni 1988 - GV. NW. S. 250
- LABO Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2005): Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung - Positionspapier.- ALA Ständiger Ausschuss Altlasten, Ad-hoc Unterausschuss "Natural Attenuation", Eigenverlag, 01.06.2005
- LABO Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2008): Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen (<http://www.labo-deutschland.de/sicker.htm>).
- LAGA Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (2000): Oberflächenabdichtung und -abdeckung.- Ad-hoc-Arbeitsgruppe "Infiltration von Wasser in den Deponiekörper", Eigenverlag, Februar 2000
- LAWA Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & LABO Länderarbeitsgemeinschaft Boden (2006): Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen.- Eigenverlag ([http://www.lawa.de/pub/kostenlos/gw/Grundsätze\\_Nachsorge\\_.pdf](http://www.lawa.de/pub/kostenlos/gw/Grundsätze_Nachsorge_.pdf)).
- LAWA Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser.- Eigenverlag (<http://www.lawa.de/pub/kostenlos/gw/GFS-Bericht-DE.pdf>).
- LUA NRW Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2000): Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzen-Kosten-Aspekten.- Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 11
- LUA NRW Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2003): Vollzugshilfe zur Gefährdungsabschätzung "Boden-Grundwasser".- Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 17
- LUA NRW Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2006): Überwachung, Nachsorge und Eigenkontrolle bei der Altlastenbearbeitung.- Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 24
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (1998): Oberflächensicherung von Altablagerungen und Deponien.- Materialien zur Altlastenbehandlung Nr. 6/98
- Schiefer (1985) - Rekultivierung als ökologisches Problem. Teil 2: Entwicklung einer Deponieabdeckschicht. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 26. Jahrg.
- Schmid, J., Schulz, H. (2003): Wirtschaftlichkeitsvergleich von Oberflächenabdichtungen.- Institut für Grundbau und Bodenmechanik Universität der Bundeswehr München, Bay-FORREST-Forschungsvorhaben F166
- TA Abfall - Gesamtfassung der zweiten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, Teil 1, Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen in der ab 1. April 1991 geltenden Fassung.- Köln (Bundesanzeiger Verlags-Ges. mbH)
- TA Siedlungsabfall - Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstiger Entsorgung von Siedlungsabfällen sowie ergänzende Empfehlungen zur TA Siedlungsabfall des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.- Stand 1. Juni 1993, Köln (Bundesanzeiger Verlags-Ges. mbH)
- UBA Umweltbundesamt (2008): Ableitung von Materialwerten im Eluat und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe. Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes "Sickerwasserprognose" in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes. FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 205 74 251. Autoren: Dr. B. Susset, Dr. W. Leuchs (<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3421.pdf>)

## **Anlage 1**

Tabellarische Zusammenfassung der Randbedingungen der Fallbeispiele

	Fall 1	Fall 2
Art der Altlast / Deponie	Altablagerung	Altablagerung
Kurzcharakteristik	stillgelegte Hausmülldeponie in der Nachsorgephase, Ablagerung von Hausmüll, Gewerbeabfall, Bauschutt	stillgelegte Hausmülldeponie in der Nachsorgephase, Ablagerung von Hausmüll, Gewerbeabfall, Bauschutt
Betriebszeitraum / Zeitraum der Entstehung	1964 - 1979	alter Teil: 1968 - 1973 neuer Teil: 1972 - 1980
Fläche	2 ha	alter Teil: 1 ha neuer Teil: 6 ha
Mächtigkeit	9 m	alter Teil: 12 m neuer Teil: 10 m
Kubatur	180.000 m <sup>3</sup>	alter Teil: 100.000 m <sup>3</sup> neuer Teil: 200.000 m <sup>3</sup>
Leitparameter der Schadstoffquelle	heterogen, keine Differenzierung möglich	heterogen, keine Differenzierung möglich
Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasser	ungesättigte Bodenzone	ungesättigte Bodenzone
Quellstärke	nicht näher untersucht	nicht näher untersucht
Architektur der Schadstoffquelle	Deponiekörper mit bekannter Ausdehnung	Deponiekörper mit bekannter Ausdehnung
Geologische Region	Niederrheinische Bucht	Niederrheinische Bucht
Schichtfolge	ca. 50 m Abraum aus dem Braunkohlentagebau	2 - 4 m Lößlehm 10 - 15 m Terrassen > 50 m tertiäre Feinsande
Grundwasserleiter	Abraum des Braunkohlentagebaus	tertiäre Feinsande (Kölner schichten)
GW-Mächtigkeit	50 m	> 50 m
Flurabstand	10 - 14	28 (alter Teil) 30 (neuer Teil)
Abstandsgeschwindigkeit	8,5 m/a	14 m/a
Anzahl der Monitoring-GW-Messstellen	3	3
Leitparameter	Salze Ammonium CSB	Salze AOX
Weitere Belastungsparameter	keine	Ammonium CSB PAK
Genereller GW-Chemismus	nicht untersucht	nicht untersucht
Ausdehnung der Fahne	Messstellennetz lässt keine Auswertung zu	Messstellennetz lässt keine Auswertung zu
Sanierungsuntersuchung	nein	nein
Sanierungsplanung / Sanierungsplan	1999	1986
Sanierungsziele	nicht formuliert	entfällt, da Abdeckung unter Abfallrecht
Art der Versiegelung	1. Oberflächenabdeckung 1979 mit 1 m Boden 2. Sanierung mit 2,5 mm KDB, verschweißt	Altteil: 0,5 m Boden Neuteil: 1,0 m bindiger Boden
Zusätzliche Bodensanierung	nein	nein
Zusätzliche Grundwassersanierung	nein	nein
Zusätzliche Entgasung	Gassammelschicht und passive Entgasung	Gassammelschicht und passive Entgasung nur im Neuteil
Jahr der Fertigstellung	2000	Altteil: 1981 Neuteil: 1989
Zeitraum des Grundwassermonitorings	1998 - 2005	1986 - 2006
Konzentrationsrückgang in den Kontrollmessstellen	keine signifikante Änderung erkennbar, aufgrund geringer Fließzeit bislang noch keine vollständiger Grundwasseraustausch im Aquifer	Belastungen bereits im Anstrom, bei Sulfat und Chlorid Abnahme erkennbar, AOX steigt an, Altablagerung offensichtlich nicht Schadstoffquelle der Grundwasserverunreinigung
Frachtreduzierung	nicht untersucht	nicht untersucht
Fahnenänderungen	nicht untersucht	nicht untersucht
Erreichen der Sanierungsziele	entfällt	entfällt

	<b>Fall 3</b>	<b>Fall 4</b>
Art der Altlast / Deponie	Altablagerung	Altablagerung
Kurzcharakteristik	stillgelegter Abschnitt einer Hausmülldeponie in der Nachsorgephase, Ablagerung von Hausmüll, Gewerbeabfall, Bauschutt	stillgelegte Hausmülldeponie in der Nachsorgephase, Ablagerung von Hausmüll, Gewerbeabfall, Bauschutt
Betriebszeitraum / Zeitraum der Entstehung	ca. 1965 - 1982	1968 - 1984
Fläche	4,5 ha	10 ha
Mächtigkeit	bis ca. 20 m	bis 35 m
Kubatur	1 Mio. m <sup>3</sup>	1,0 Mio. m <sup>3</sup>
Leitparameter der Schadstoffquelle	heterogen, keine Differenzierung möglich	heterogen, keine Differenzierung möglich
Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasser	ungesättigte + gesättigte Bodenzone, Einstau ca. 1,1 m	ungesättigte + gesättigte Bodenzone, 6 - 16 m Einstau
Quellstärke	nicht näher untersucht	nicht näher untersucht
Architektur der Schadstoffquelle	Deponiekörper mit bekannter Ausdehnung	Deponiekörper mit bekannter Ausdehnung
Geologische Region	Niederrheinische Bucht	Niederrheinische Bucht
Schichtfolge	0 - 1 m Flugsand bis 28 m Trassensedimente > 10 m tertiäre Feinsande	Lage am Rand eines Tagebaurestloches, im Norden: Abraum des Braunkohlentagebaus, im Süden: 1,8 - 4,8 Lößlehm 1,3 - 3,0 m Terrassen ca. 20 m tertiäre Schichten (Ton, Braunkohle, Sand)
Grundwasserleiter	Rurterrassen	Abraum des Braunkohlentagebaus, Terrassensedimente
GW-Mächtigkeit	15 - 20 m	> 20 m
Flurabstand	8 - 11 m	5 - 23
Abstandsgeschwindigkeit	100 m/a	Berechnung aufgrund schlechter Datenlage sinnvoll nicht möglich
Anzahl der Monitoring-GW-Messstellen	3	8
Leitparameter	Salze Ammonium	Eisen Mangan Arsen Sulfat Ammonium BSB CSB PAK
Weitere Belastungsparameter	CSB	keine
Genereller GW-Chemismus	nicht untersucht	nicht untersucht
Ausdehnung der Fahne	Messstellennetz lässt keine Auswertung zu	nicht näher untersucht
Sanierungsuntersuchung	entfällt	nein
Sanierungsplanung / Sanierungsplan	ca. 1995	ca. 1993
Sanierungsziele	entfällt, da Abdichtung unter Abfallrecht	entfällt, da Abdichtung unter Abfallrecht
Art der Versiegelung	Kombinationsabdichtung: 0,5 m mineral. Dichtung 2,5 mm KDB	1. Oberflächenabdeckung: 1984 ebenerdig mit bindigem Boden, 2. Oberflächenabdichtung: Profilierung mit Abraummaterial, 0,6 m mineral. Dichtung
Zusätzliche Bodensanierung	nein	nein
Zusätzliche Grundwassersanierung	nein	nein
Zusätzliche Entgasung	Gassammelschicht und aktive Entgasung	Gassammelschicht und aktive Entgasung
Jahr der Fertigstellung	1996	1994
Zeitraum des Grundwassermonitorings	1982 - 2006	unvollständige Angaben
Konzentrationsrückgang in den Kontrollmessstellen	elektrische Leitfähigkeit sank schon vor Aufbringen der Oberflächenabdichtung, bei Chlorid deutliche Abnahme, bei Ammonium erst Anstieg, dann leichte Abnahme	Aussagen aufgrund fehlender Daten der Abstrommessstellen nicht möglich
Frachtreduzierung	nicht untersucht	nicht untersucht
Fahnenänderungen	nicht untersucht	nicht untersucht
Erreichen der Sanierungsziele	entfällt	entfällt



## Hinweise zur Sanierungsentscheidung für Oberflächensicherungen bei Altlasten

	Fall 5	Fall 6
Art der Altlast / Deponie	Altablagerung	Altablagerung
Kurzcharakteristik	stillgelegte Hausmülldeponie außerhalb der Nachsorgephase, Ablagerung von Hausmüll, Gewerbeabfall, Bauschutt	stillgelegte Industriemülldeponie außerhalb der Nachsorgephase, Ablagerung von Neutralisations- und Fällrückständen der Metallindustrie
Betriebszeitraum / Zeitraum der Entstehung	1968 - 1976	1970 - 1975
Fläche	4,8 ha	1 ha
Mächtigkeit	bis 6 m	5,0 m
Kubatur	450.000 m <sup>3</sup>	50.000 m <sup>3</sup>
Leitparameter der Schadstoffquelle	heterogen, keine Differenzierung möglich	Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Zink, Chlorid, Sulfat, Nitrat
Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasser	ungesättigte + gesättigte Bodenzone, 3 - 4 m Einstau	ungesättigte + gesättigte Bodenzone, Einstau bis 1 m
Quellstärke	nicht näher untersucht	Arsen: 4 - 42 µg/l, Blei: 0,1 - 3,48 mg/l Cadmium: 820 µg/l Kupfer: 0,03 - 1,29 mg/l Zink: 0,48 - 28,4 mg/l Chlorid: 7,1 mg/l, Sulfat: 1,4 g/l
Architektur der Schadstoffquelle	Deponiekörper mit bekannter Ausdehnung	Deponiekörper mit bekannter Ausdehnung
Geologische Region	Münsterländer Kreidebucht	Bergisches Land
Schichtfolge	0 - 4,0 m Auffüllungen (Sand, Kies, Schluff) 3 - 6 m Flugsand 0 - 5 m Grundmoräne 0 - 3 m Verwitterungston > 30 m Kreidemergel	1,5 - 2,5 m Flugsand 0,1 - 0,5 m Verwitterungslehm > 30 m Tonschiefer
Grundwasserleiter	1. GW-Stockwerk: Flugsand 2. GW-Stockwerk: Kreidemergel	1. GW-Leiter: Flugsand 2. GW-Leiter: Tonstein
GW-Mächtigkeit	1. GW-Stockwerk: 6 m 2. GW-Stockwerk: > 30 m	1. GW-Leiter: 2 - 5 m 2. GW-Leiter: > 30 m
Flurabstand	0 bis wenige Dezimeter	1,7 - 7,5
Abstandsgeschwindigkeit	Berechnung aufgrund Inhomogenität des Deponiekörpers und GW-Leiters sinnvoll nicht möglich	16 m/a
Anzahl der Monitoring-GW-Messstellen	7	4
Leitparameter	Leitfähigkeit, Chlorid, CSB, Ammonium	Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Zink
Weitere Belastungsparameter	AOX, Arsen	Sulfat, Nitrat, Nitrit, Fluorid, Phosphat, Ammonium
Genereller GW-Chemismus	nicht untersucht	nicht untersucht
Ausdehnung der Fahne	anhand des Messstellennetzes nicht vollständig abgrenzbar	maximal 70 m, da durch die Vorflut begrenzt
Sanierungsuntersuchung	2002	1994
Sanierungsplanung / Sanierungsplan	Sanierungsplan gemäß BBodSchV, 2003	1999
Sanierungsziele	Vermeidung von Sickerwasserneubildung und Reduzierung der Grundwasserbelastungen	dauerhafte Absenkung der Grundwasserbelastungen, Zielwerte: für Lfk, SO <sub>4</sub> , Cl, NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , Na, K, Ca, Mg, Fe, As, Pb, Cd, Cu, Ni, Zn und Ba das Doppelte der Grenzwerte der TVO 1990, sofern die Vorbelastung im Anstrom der Deponie oberhalb der Grenzwerte der TVO liegen, der zweifache Wert der Vorbelastung
Art der Versiegelung	2,5 mm KDB, nicht verschweißt, nur überlappend verlegt	0,5 m mineral. Dichtung
Zusätzliche Bodensanierung	nein	nein
Zusätzliche Grundwassersanierung	nein	nein
Zusätzliche Entgasung	Gassammelschicht und passive Entgasung über die Rekultivierungsschicht	nicht erforderlich, da keine Gasbildung
Jahr der Fertigstellung	2003	2000
Zeitraum des Grundwassermonitorings	1993 - 2006	1999 - 2006
Konzentrationsrückgang in den Kontrollmessstellen	keine signifikanten Trendänderungen erkennbar	Rückgang erkennbar, Sanierungsziel noch nicht erreicht
Frachtreduzierung	nicht untersucht	nicht untersucht
Fahnenänderungen	nicht untersucht	nicht untersucht
Erreichen der Sanierungsziele	keine Aussage möglich	noch nicht vollständig

## Hinweise zur Sanierungsentscheidung für Oberflächensicherungen bei Altlasten

	Fall 7	Fall 8
Art der Altlast / Deponie	Altablagerung	Altablagerung
Kurzcharakteristik	vor erstem Abfallgesetz stillgelegte Gewerbeabfalldeponie, Ablagerung von Klärschlamm aus der Viskosefaserherstellung, untergeordnet Erdaushub, Bauschutt, Asche, Hausmüll	stillgelegte Gewerbeabfalldeponie in der Nachsorgephase, Ablagerung von Abfallstoffen des Kalkabbaus und Produktionsrückständen der Zementherstellung
Betriebszeitraum / Zeitraum der Entstehung	1950 - 1972	1972 - 1995
Fläche	6 ha	0,5 ha
Mächtigkeit	bis 15 m	20 m
Kubatur	900.000 m <sup>3</sup>	45.000 m <sup>3</sup>
Leitparameter der Schadstoffquelle	Sulfat, Sulfid Arsen Zink	erhöhter pH-Wert Leitfähigkeit Calcium Karbonat Sulfat Chlorid
Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasser	ungesättigte + gesättigte Bodenzone, Einstau bis 5 m	ungesättigte Bodenzone
Quellstärke	nicht näher untersucht	nicht näher untersucht
Architektur der Schadstoffquelle	4 einzelne Deponiekörper mit bekannter Ausdehnung	Deponiekörper mit bekannter Ausdehnung
Geologische Region	Randbereich der Niederrheinischen Bucht	Eifel Sötenicher Kalkmulde
Schichtfolge	10 m Rheinterrassen 50 m tertiäre Feinsande, Tone und Schluffe > 50 m devonisches Grundgebirge	Kalkstein
Grundwasserleiter	1. GW-Leiter: Rheinterrassen 2. GW-Leiter: tertiärer Feinsand 3. GW-Leiter: Grundgebirge	Kalkstein
GW-Mächtigkeit	1. GW-Leiter: 10 - 15 m 2. GW-Leiter: 15 m	> 50 m
Flurabstand	1. GW-Leiter: 2 - 12 m 2. GW-Leiter: 12 - 20 m	25
Abstandsgeschwindigkeit	Berechnung aufgrund Inhomogenität des Deponiekörpers und Grundwasserleiters sinnvoll nicht möglich	Berechnung aufgrund schlechter Datenlage sinnvoll nicht möglich (Karstgrundwasserleiter)
Anzahl der Monitoring-GW-Messstellen	5	2
Leitparameter	Sulfid Arsen	Sulfat Leitfähigkeit
Weitere Belastungsparameter	Ammonium CSB	keine
Genereller GW-Chemismus	nicht untersucht	nicht untersucht
Ausdehnung der Fahne	nicht näher eingegrenzt	nicht näher eingegrenzt
Sanierungsuntersuchung	1992	entfällt
Sanierungsplanung / Sanierungsplan	1995	Genehmigungsplanung
Sanierungsziele	Reduzierung/Vermeidung von Sickerwasserneubildung und Fassung kontaminierten Grund- und Sickerwassers	entfällt, da Abdichtung unter Abfallrecht
Art der Versiegelung	2,5 mm KDB	< 0,25 m mineral. Dichtung Bentonitmatte
Zusätzliche Bodensanierung	nein	nein
Zusätzliche Grundwassersanierung	Sicker-/Grundwasserfassung und -reinigung während der Bauphase	nein
Zusätzliche Entgasung	nicht erforderlich, da keine Gasbildung	nicht erforderlich, da keine Gasbildung
Jahr der Fertigstellung	1997	2003
Zeitraum des Grundwassermonitorings	1994 - 2006	1998 - 2006
Konzentrationsrückgang in den Kontrollmessstellen	deutlicher Rückgang erkennbar	schon seit Beginn der Messungen abnehmender Trend, Oberflächenabdichtung hat keinen signifikanten Einfluss
Frachtreduzierung	nicht untersucht	nicht untersucht
Fahnenänderungen	nicht untersucht	nicht untersucht
Erreichen der Sanierungsziele	ja	entfällt

## Hinweise zur Sanierungsentscheidung für Oberflächensicherungen bei Altlasten

	<b>Fall 9</b>	<b>Fall 10</b>
Art der Altlast / Deponie	Altablagerung	Altablagerung / Altstandort
Kurzcharakteristik	flächenhafte Aufschüttung aus Boden, Bauschutt, Aschen und Schlacken	ehemaliges Hüttenwerk, flächige Auffüllung von Böden und Produktionsrückständen, Verfüllung von 3 Kiesgruben
Betriebszeitraum / Zeitraum der Entstehung	nicht untersucht	1897 - 1993
Fläche	1,13 ha	200 ha
Mächtigkeit	bis 2,1 m	meist 3 - 6 m in den Kiesgruben bis 17 m
Kubatur	ca. 20.000 m <sup>3</sup>	ca. 1,2 Mio. m <sup>3</sup>
Leitparameter der Schadstoffquelle	Arsen Blei Cadmium Zink	<u>flächige Aufschüttung:</u> Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Quecksilber, MKW, PAK <u>Kokerei:</u> PAK, BTEX
Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasser	ungesättigte + gesättigte Bodenzone auf einer Fläche von ca. 1.630 m <sup>2</sup> Einstau bis 0,2 m	ungesättigte + gesättigte Bodenzone, Einstau bis 16 m
Quellstärke	nicht näher untersucht	nicht näher untersucht
Architektur der Schadstoffquelle	flächige Aufschüttung, ggf. Ausbildung relevanter Sekundärquelle	flächige Aufschüttung und drei verfüllte Gruben mit z.T. nicht genau bekannter Untergrenze
Geologische Region	Niederrheinische Bucht	Niederrheinische Bucht
Schichtfolge	0,2 - 2,7 m Auffüllungen 0 - 0,6 m Auenlehm 8 - 20 m Rheinterrasse	0,5 - 17 m Auffüllungen 0 - 3 m Auenlehm 3 - 20 m Rheinterrasse > 30 m tertiäre Schluffe und Feinsande
Grundwasserleiter	Rheinterrasse	Rheinterrasse
GW-Mächtigkeit	8 - 20 m	3 - 20 m
Flurabstand	1,4 - 3,3 m	0 - 1 m
Abstandsgeschwindigkeit	100 m/a	100 m/a
Anzahl der Monitoring-GW-Messstellen	3	12
Leitparameter	Zink Cadmium	<u>Gesamtfläche:</u> elektrische Leitfähigkeit, Fluorid, Sulfat, Kalium, Cyanide <u>Kokerei:</u> PAK, BTEX, Ammonium, Cyanide
Weitere Belastungsparameter	Blei Arsen	hoher pH-Wert, Arsen, Blei, Zink, Cyanid, PAK, Ammonium
Genereller GW-Chemismus	nicht untersucht	nicht untersucht
Ausdehnung der Fahne	Messstellennetz lässt keine Auswertung zu	wurde nicht näher eingegrenzt
Sanierungsuntersuchung	2002	nein
Sanierungsplanung / Sanierungsplan	1999 - 2002	1999 - 2002
Sanierungsziele	Entfernung der Bodenbelastungen im Grundwasserschwankungsbereich und Vermeidung einer Ausbreitung der Verunreinigung im Bereich der aufgefüllten Flächen	für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser nicht definiert, da gemäß Gefährdungsabschätzung kein Sanierungsbedarf besteht
Art der Versiegelung	Gebäude, asphaltierte Verkehrswege, PEHD-Folie	Versiegelung durch Überbauung
Zusätzliche Bodensanierung	Bodenaustausch im Grundwasserschwankungsbereich	nein
Zusätzliche Grundwassersanierung	nein	nein
Zusätzliche Entgasung	nicht erforderlich, da keine Gasbildung	nicht erforderlich, da keine Gasbildung
Jahr der Fertigstellung	2002	sukzessive mit der Ansiedlung neuer Betriebe seit 2000 bis heute
Zeitraum des Grundwassermonitorings	2001 - 2006	1994 - 2006
Konzentrationsrückgang in den Kontrollmessstellen	zunächst Anstieg vermutlich durch verstärkte Mobilisierung während des Bodenaustauschs, dann Abnahme bei schwankenden Konzentrationen, kein eindeutiger Trend erkennbar	<u>Abstrom des Gesamtgeländes:</u> bei Sulfat und Cyanid Abnahmen erkennbar, bei Fluorid kein signifikanter Trend <u>Kontakt-GW in verfüllten Kiesgruben:</u> keine signifikanten Trend erkennbar <u>Abstrom der Kokerei:</u> bei PAK Abnahme erkennbar bei Benzol kein eindeutiger Trend
Frachtreduzierung	nicht untersucht	nicht untersucht
Fahnenänderungen	nicht untersucht	nicht untersucht
Erreichen der Sanierungsziele	nein	entfällt

## Hinweise zur Sanierungsentscheidung für Oberflächensicherungen bei Altlasten

	Fall 11	Fall 12
Art der Altlast / Deponie	Altstandort	Altstandort
Kurzcharakteristik	Zechengelände mit Kokereibetrieb, flächenhafte Auffüllungen	Zechengelände mit Kokereibetrieb, flächenhafte Auffüllungen
Betriebszeitraum / Zeitraum der Entstehung	1890 - 1983	1881 - 1928
Fläche	22 ha	6 ha
Mächtigkeit	bis zu 4 m	bis 3,8 m
Kubatur	ca. 0,5 Mio. m <sup>3</sup>	ca. 150.000 m <sup>3</sup>
Leitparameter der Schadstoffquelle	PAK, BTEX	BTEX, PAK, Cyanide, Phenole
Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasser	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	ungesättigte + gesättigte Bodenzone
Quellstärke	nicht näher untersucht	nicht näher untersucht
Architektur der Schadstoffquelle	Daten zur Schadenserkundung liegen nicht vor, vermutlich punktuelle Verunreinigungen durch Handhabungsverluste mit örtlichen Anreicherungen, flächenhafte Schadstoffverbreitung gebunden an die Auffüllungen	Daten zur Schadenserkundung liegen nicht vor, vermutlich punktuelle Verunreinigungen durch Handhabungsverluste mit örtlichen Anreicherungen, flächenhafte Schadstoffverbreitung gebunden an die Auffüllungen
Geologische Region	Südrand der Münsterländer Kreidebucht Ruhrgebiet	Südrand der Münsterländer Kreidebucht Ruhrgebiet
Schichtfolge	0 - 8 m Auffüllungen 2- 4 m Fein- bis Mittelsande 6 - 4 m Auenlehm 4 - 8 m Basiskies > 30 m Emscher Mergel	0 - 3,8 m Auffüllungen 0 - 7,3 m fluviatile Bildungen der Emscher (Sande, Lehm, z. T. torfig) 0 - 3 m Geschiebemergel 0 - 1 m Verwitterungszone Emscher Mergel > 30 m Emscher-Mergel
Grundwasserleiter	1. GW-Leiter: Basiskies 2. GW-Leiter: Emscher-Mergel	1. GW-Leiter: sandiges Quartär 2. GW-Leiter: Emscher-Mergel
GW-Mächtigkeit	1. GW-Leiter: 4 - 8 m 2. GW-Leiter: > 30 m	1. GW-Leiter: 2 - 5 m 2. GW-Leiter: 2 - 5 m
Flurabstand	1. GW-Leiter: 1 - 13 m 2. GW-Leiter: 1 - 13 m	> 10 m
Abstandsgeschwindigkeit	12 m/d im Nahbereich der Grundwasserfassungsanlage	80 m/a
Anzahl der Monitoring-GW-Messstellen	19	25
Leitparameter	PAK, BTEX (Benzol)	PAK, Phenole, Cyanide
Weitere Belastungsparameter	Ammoniumm, Arsen, Chlorid, Sulfat, Sulfid <sub>ges.</sub> , Cyanid <sub>ges.</sub> , CSB	BTEX
Genereller GW-Chemismus	nicht untersucht	nicht untersucht
Ausdehnung der Fahne	nicht näher eingegrenzt	nicht näher eingegrenzt
Sanierungsuntersuchung	nein	nein
Sanierungsplanung / Sanierungsplan	2001	1999
Sanierungsziele	Unterbindung von Schadstoffeinträgen durch Sickerwasser in das Grundwasser, Vermeidung der Ausbreitung des Grundwasserschadens	Unterbindung von Schadstoffeinträgen durch Sickerwasser in das Grundwasser, Vermeidung der Ausbreitung des Grundwasserschadens
Art der Versiegelung	2,5 mm KDB	2,5 mm KDB
Zusätzliche Bodensanierung	Aushub lokaler Verunreinigungen und Einbau im Hauptbelastungsbereich	bereichsweiser Bodenaustausch außerhalb des Kernbereiches und Einbau im Hauptbelastungsbereich
Zusätzliche Grundwassersanierung	Grundwasserfassung durch Tiefendränage und Grundwasserreinigung	nein
Zusätzliche Entgasung	nicht erforderlich, da keine Gasbildung	nicht erforderlich, da keine Gasbildung
Jahr der Fertigstellung	2002	2003
Zeitraum des Grundwassermonitorings	2002 - 2006	1990 - 2005
Konzentrationsrückgang in den Kontrollmessstellen	deutlicher Rückgang bereits mit Beginn der Sanierung	bislang keine signifikanten Trends erkennbar
Frachtreduzierung	nicht untersucht	nicht untersucht
Fahnenänderungen	nicht untersucht	nicht untersucht
Erreichen der Sanierungsziele	größtenteils erreicht	nein

	<b>Fall 13</b>	<b>Fall 14</b>
Art der Altlast / Deponie	Altstandort	Altstandort
Kurzcharakteristik	Zechengelände mit Kokereibetrieb, flächenhafte Auffüllungen	chemischer Kleinbetrieb im Wesentlichen zum Abfüllen organischer Lösemittel, vermutlich Betrieb von Schluckbrunnen
Betriebszeitraum / Zeitraum der Entstehung	1928 - 1972	1952 - 1984
Fläche	16,8 ha	0,75 ha
Mächtigkeit	1 - 3 m	lokal sehr unterschiedlich
Kubatur	ca. 300.000 m <sup>3</sup>	Abschätzung sinnvoll nicht möglich
Leitparameter der Schadstoffquelle	PAK, Cyanide, BTEX	LCKW, BTEX, KW
Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasser	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	ungesättigte + gesättigte Bodenzone
Quellstärke	nicht näher untersucht	nicht näher untersucht
Architektur der Schadstoffquelle	Daten zur Schadenserkundung liegen nicht vor, vermutlich punktuelle Verunreinigungen durch Handhabungsverluste mit örtlichen Anreicherungen, flächenhafte Schadstoffverbreitung gebunden an die Auffüllungen	punktuelle Verunreinigungen durch Handhabungsverluste, Anreicherungen oberflächenah und innerhalb der Terrassensedimente
Geologische Region	Niederrheinische Bucht	Südrand der Münsterländer Kreidebucht Ruhrgebiet
Schichtfolge	1 - 3 m Auffüllungen 18 - 24 m Rheinterrasse 200 m tertiäre Feinsande, Schluffe und Tone	0 - 0,5 m Auffüllungen 0 - 8 m Lößlehm 0,7 - 1 m Auenlehm 6 - 8 m Emscher-Terrasse 1,5 - 2 m Verwitterungslehm > 30 m Mergelgestein
Grundwasserleiter	Rheinterrasse	1. GW-Leiter: Emscher-Terrasse 2. GW-Leiter: Mergelgestein
GW-Mächtigkeit	18 - 24	1. GW-Leiter: 6 - 8 2. GW-Leiter: > 30 m
Flurabstand	9 - 10	1. GW-Leiter: 3 - 13 m 2. GW-Leiter: 3 - 13 m
Abstandsgeschwindigkeit	100 m/a	50 m/d
Anzahl der Monitoring-GW-Messstellen	31	34
Leitparameter	PAK, Cyanide, BTEX (Benzol)	BTEX, LHKW
Weitere Belastungsparameter	Ammonium	KW
Genereller GW-Chemismus	nicht untersucht	nicht untersucht
Ausdehnung der Fahne	nicht näher eingegrenzt	ca. 40.000 m <sup>2</sup>
Sanierungsuntersuchung	1999, 2004, 2006	1994, 1995, 2002
Sanierungsplanung / Sanierungsplan	2000, 2006	2002, 2003
Sanierungsziele	Sicherung und weitere Dekontamination schutzgutgefährdender Untergrund-Verunreinigungen im Bereich der Schadensherde und der unmittelbar abströmenden Kontaminationsfahnen, Verhinderung/Minimierung einer weiteren Schadstoffausbreitung/-verlagerung in unbelastete Bereiche der wassergesättigten Zone	Verhinderung des Übertritts von belastetem Grundwasser in das Oberflächenwasser, Beseitigung des Grundwasserschadens, Unterbindung des Schadstoffübertritts aus der dauerhaft ungesättigten in die dauerhaft gesättigte Bodenzone
Art der Versiegelung	2,5 mm KDB	2,5 mm KDB
Zusätzliche Bodensanierung	bereichsweiser Bodenaustausch außerhalb des Kernbereiches und Einbau im Hauptbelastungsbereich	Bodenaustausch
Zusätzliche Grundwassersanierung	Grundwasserfassung über zentralen Sanierungsbrunnen und -reinigung	Grundwasserreinigung Phasenschöpfung
Zusätzliche Entgasung	nicht erforderlich, da keine Gasbildung	nicht erforderlich, da keine Gasbildung
Jahr der Fertigstellung	2003	2004
Zeitraum des Grundwassermonitorings	1999 - 2006	2002 - 2006
Konzentrationsrückgang in den Kontrollmessstellen	bei Cyaniden bislang kein signifikanter Trend bei PAK und BTEX deutlicher Rückgang	deutlicher Rückgang bei allen Leitparametern erkennbar
Frachtreduzierung	nicht untersucht	nicht untersucht
Fahnenänderungen	nicht untersucht	nicht untersucht
Erreichen der Sanierungsziele	größtenteils ja	weitgehend ja

## **Anlage 2**

Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten für das Aufbringen von Entwässerungs- und  
Rekultivierungsschichten

## Art der Dränageschicht

Für Oberflächenabdichtungen und z. T. auch Oberflächenabdeckungen, die mit Rekultivierungsböden überdeckt werden, ist im Regelfall eine Dränageschicht zur Ableitung des Sickerwassers aus dem Rekultivierungsboden vorzusehen. Ein Aufstau von Sickerwasser kann z. B. Aufwuchs schädigend sein oder zu Standsicherheitsproblemen führen. Für die Drainageschicht existieren verschiedene Ausführungsvarianten, die sich wiederum aus der Deponietechnik herleiten. Wie für die Dichtungselemente gilt, dass die nach Abfallrecht geltenden Anforderungen nicht bindend für die Sanierung von Altlasten sind, jedoch in der Praxis oft als Maßstab herangezogen werden.

Im Regelabdichtungssystem nach TA Si weist die Drainageschicht eine Mächtigkeit von mindestens 0,3 m auf. An den Durchlässigkeitsbeiwert wird eine Anforderung von  $K \geq 1 \cdot 10^{-3}$  m/s gestellt. Diese wird von einer Reihe unterschiedlicher Materialien erfüllt (z.B. gewaschener Kies, Schmelzkammergranulat). Je nach Kornverteilung ist auf einer unterlagernden KDB oder geosynthetischen Tondichtungsbahn (GTD) ein Schutzvlies anzuordnen. Die Dicke des Schutzvlieses ist in einem Schutzwirksamkeitsnachweis bezogen auf die Kornverteilung des Flächenfilters und die Auflast festzulegen. Oberhalb der Drainageschicht wird ein Filtervlies angeordnet, um den Eintrag von Feinbestandteilen aus der Rekultivierungsschicht zu unterbinden.

Alternativ zum mineralischen Flächenfilter können geotextile Entwässerungsschichten zum Einsatz kommen. Diese werden als Matten- und Rollenware verlegt. Sie werden in Form von Gittern, grobstrukturierten Partikeln oder Wirrgelegen, die zwischen zwei Vliesschichten eingebunden sind (Geokomposits), angeboten. Das Grundmaterial besteht in der Regel aus PE oder PP.

Aufgrund der Struktur weisen geotextile Entwässerungsschichten eine große Durchlässigkeit auf. Sie können somit die herkömmliche Drainageschicht bei gleichzeitiger Reduzierung der Gesamtmächtigkeit des Oberflächenabdichtungssystems ersetzen. Die Drainagemengen können vereinfacht auf Grundlage des Darcy'schen Gesetzes ( $v = K \cdot I$ ) sowie der Kontinuitätsbedingung je m Breite abgeschätzt werden:

$$q_D = v \cdot A = k \cdot I \cdot d \text{ [m}^2\text{/s]}$$

mit:  $v$  = Filtergeschwindigkeit [m/s]  
 $A$  = Fließquerschnitt [m<sup>2</sup>]  
 $K$  = Durchlässigkeit der Entwässerungsschicht [m/s]  
 $I$  = hydraulisches Gefälle (= Oberflächenneigung) [-]  
 $d$  = Mächtigkeit der Entwässerungsschicht [m]

Setzt man die Mindestanforderung der TA Si für die Drainmatte an ( $K \geq 1 \cdot 10^{-3}$  m/s,  $i = 0,05$ ,  $d = 0,30$  m), ergibt sich eine Abflussleistung  $q_D \geq 1,5 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s.

Diese Abflussleistung ist unter Berücksichtigung der zu erwartenden Auflast für das gewählte Drainelement und unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors von  $\eta \geq 2$  nachzuweisen.

Zum Einsatz von geotextilen Entwässerungsschichten in Deponien nahm die Ad-hoc-Arbeitsgruppe "Infiltration von Wasser in den Deponiekörper, Oberflächenabdichtung und -abdeckung" der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA, 2000) Stellung. Danach können geotextile Entwässerungsschichten in Deponien eingesetzt werden, wenn im Einzelfall nachgewiesen wird, dass folgende Kriterien eingehalten sind:

- ausreichendes Wasserableitvermögen,
- ausreichende Filterstabilität gegenüber den angrenzenden Schichten,
- ausreichende Sicherheit gegen Funktionsversagen infolge Durchwurzelung,
- Langzeitbeständigkeit der Geokunststoffe im Milieu der Oberflächenabdichtung,
- Nachweis der Standsicherheit.

Der Arbeitskreis "Geotechnik der Deponien und Altlasten" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik hat in den Empfehlungen E2-9 und E2-20 die Grundlagen für den Entwurf, die Bemessung und den Bau von geotextilen Entwässerungsschichten veröffentlicht. Um die erforderliche Qualität sicherzustellen, sollen nur Produkte verwendet werden, die einer Eigen- und Fremdüberwachung nach DIN 18200 unterliegen. Es sollen im Deponiebau nur Vliese eingesetzt werden, die den Anforderungen der Robustheitsklasse 3 (GRK 3) nach genügen. Für die Anwendung wird vorgeschlagen:

- als Entwässerungsschicht bei temporären Abdeckungen nach TA Si Nr. 11.2.1 h,
- als Entwässerungsschicht in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien der Klasse I, II und bei Altdeponien in Kombination mit einer reduzierten mineralischen Entwässerungsschicht.

Das LAGA-Papier wurde seinerzeit per Erlass des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (MUNLV) den Bezirksregierungen zur Anwendung empfohlen.

Die Einschränkung, den Einsatz von geotextilen Entwässerungsschichten bei Altdeponien bzw. Deponien der Klasse II nur in Verbindung mit einer reduzierten mineralischen Entwässerungsschicht zuzulassen, begründet sich im Wesentlichen aus der Sorge, dass sich die Transmissivität der geringmächtigen Schicht langfristig durch Wurzelwachstum vermindern kann.

Aus Sicht vieler Fachleute ist diese Sorge unbegründet. Durch die Entwicklung des Bewuchses auf der Rekultivierungsschicht wird die der Drainage zusickernde Wassermenge stark reduziert. Bei ausreichender Bemessung der Rekultivierungsschicht und der Drainage lässt sich sicherstellen, dass auch bei partieller Durchwurzelung eine ausreichende Abflusskapazität gegeben ist.



## **Bemessung von Rekultivierungsschichten**

Die TA Si fordert eine mindestens 1 m mächtige Rekultivierungsschicht. Abgesehen von der Schichtstärke werden an die Rekultivierungsschicht sonst nur allgemeine Anforderungen gestellt:

- Kulturfähigkeit des Bodens,
- Schutz der Dichtungsschichten vor z. B. Frost, Durchwurzelung oder Wühltätigkeiten von Tieren,
- Schutz vor Wasser- und Winderosion,
- Minimierung der Infiltration von Niederschlagswasser in das Entwässerungssystem durch geeignete Bewuchsauswahl.

Darüber hinaus kommen der Rekultivierungsschicht die allgemeinen Aufgaben als Pflanzenstandort und die Verhinderung des direkten Kontaktes von Menschen, Tieren und Pflanzen mit Schadstoffen zu.

Die Anforderungen an eine Rekultivierungsschicht sind in Anhang 5 der DepV konkretisiert. Danach soll sich die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht an der Durchwurzelungstiefe der Vegetation, die sich aus dem Rekultivierungs- und Sicherungsziel ergibt, der erforderlichen Höhe des pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrats und besonderen Schutzerfordernissen der Rekultivierungsschicht im Einzelfall orientieren. Sie ist so zu bemessen, dass unter Berücksichtigung der vegetationspezifischen Durchwurzelungstiefe und der Materialeigenschaften eine Durchwurzelung der Entwässerungsschicht weitestgehend vermieden wird und die Dichtung vor Wurzel- und Frosteinwirkung sowie vor Austrocknung geschützt wird. Die Mächtigkeit soll daher mindestens 1m betragen.

Die Schadstoffgehalte und Eluatkonzentrationen des verwendeten Bodenmaterials, der Gemische und ihrer mineralischen Bestandteile dürfen bei Deponien der Klasse II die Werte der Tabelle grundsätzlich nicht überschreiten.

Im Regelfall besteht die Rekultivierungsschicht aus mindestens zwei Lagen. Der Oberboden (0,40 m) ist als Infiltrationshorizont aufzubringen, der den unterliegenden Speicherhorizont mit einer ausreichenden Wassermenge versorgt. Der Boden soll deshalb stark durchlässig sein; in Frage kommen insbesondere leicht sandige Böden. Der Oberboden muss einen ausreichenden Anteil an Humus aufweisen, der ggf. durch Zumischung von Kompost erreicht werden kann. Gegen Erosionserscheinungen insbesondere nach der Bauphase sind geeignete Vorkehrungen zu treffen.

Der Unterboden wirkt als Speicherhorizont und soll deshalb ein hohes Wasserspeichervermögen aufweisen. Als Unterboden eignen sich z.B. Böden mit hohem Schluffanteil, die eine hohe nutzbare Feldkapazität aufweisen, z.B. Lößböden. Der Unterboden soll im unteren Bereich ein geringes Nährstoffangebot enthalten, damit den Pflanzenwurzeln kein Anreiz für ausgeprägtes Tiefenwachstum geboten wird.

Ober- und Unterboden sind unverdichtet und in weitgehend trockenem Zustand einzubauen.

Die Infiltration von Wasser in den Boden ist abhängig von dessen Speichereigenschaften. Bestimmungsgröße für die Speicherung von Wasser im Boden ist die nutzbare Feldkapazität (nFK). Sie wird als der Bereich zwischen den pF-Werten 1,8 und 4,2 bezeichnet (mit  $pF = \text{Logarithmus der Saugspannung}$ ).  $pF = 1,8$  entspricht einer Saugspannung von 60 hPa,  $pF = 4,2$  entspricht einer Saugspannung von 1,5 MPa. Die nutzbare Feldkapazität steht in enger Beziehung zur Korngröße und zum Porensystem des Bodens. Eine Zusammenstellung der wesentlichen Zusammenhänge zeigen die Tabellen 1 und 2. In Abhängigkeit von der Bodenart ergeben sich damit sehr stark variierende Werte. Eine gute Wasserspeicherung sowie sehr gute Eigenschaften hinsichtlich der Wasserversorgung von Pflanzen bieten tonige Schluffe (Ut2-4), sandiger Schluff (Us) und schluffiger Lehm (Lu). Die nutzbare Feldkapazität variiert weiterhin mit der Höhe des Gehaltes an organischer Substanz (Tab. 3). Je mehr organische Substanz enthalten ist, desto höher wird die nutzbare Feldkapazität.

Als Minimalwert wurde lange eine nutzbare Feldkapazität von 15 mm/dm bzw. ein Wert von 150 mm (bei 1 m Mächtigkeit) diskutiert (SCHIEFER, 1985). BRECHTEL (1984) empfiehlt bereits für Rekultivierungsschichten ein Bodenmaterial mit einer nutzbaren Feldkapazität von 18 - 20 mm/dm. In Anlehnung an diese Werte haben sich in letzter Zeit als Zielwerte (Landesumweltämter NRW, Freistaat Sachsen, Bayern, Niedersachsen) nutzbare Feldkapazitäten von 200 mm für die gesamte Rekultivierungsschicht herauskristallisiert, die auch zunehmend Eingang in Deponiebescheide fanden.

**Tab. 1:** Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität in Volumen-% in Abhängigkeit von Bodenart und Trockendichte  $\rho_t$  (aus: AG Boden, 1994)  
( $\rho_t$  entspricht  $\rho_d$  nach bodenmechanischer Schreibweise,  $\rho_t$ -Abstufung s. Anh. 2, Tab. 2)

Bodenart*	Kornfraktionen (Masse-%)			Luftkapazität Poren > 50 $\mu\text{m}$ ( $pF < 1,8$ )			nutzbare Feldkapazität Poren 0,2 - 50 $\mu\text{m}$ ( $pF 4,2$ bis $1,8$ )		
	Ton	Schluff	Sand	$\rho_t$ 1-2	$\rho_t$ 3	$\rho_t$ 4-5	$\rho_t$ 1-2	$\rho_t$ 3	$\rho_t$ 4-5
Ss	0 - 5	0 - 10	85 - 100	24	21,5	18,5	15,5	11	10,5
Sl2	5 - 8	10 - 25	67 - 85	17	14,5	10,5	19,5	17,5	17
Sl3	8 - 12	12 - 40	48 - 80	12,5	11,5	7,5	22,5	18,5	16
Sl4	12 - 17	10 - 40	43 - 78	11,5	10	6	20,5	17,5	14,5
Slu	8 - 17	40 - 50	33 - 52	8	7	5,5	27	21,5	18,5
St2	5 - 17	0 - 10	73 - 95	18,5	17	13	20	13,5	11,5
St3	17 - 25	0 - 15	60 - 83	-	9,5	7,9	-	14,5	12
Su2	0 - 5	10 - 25	70 - 90	18	15,5	12,5	19,5	16,5	14,5
Su3	0 - 8	25 - 40	52 - 75	12	9,5	8	24	22	19
Su4	0 - 8	40 - 50	42 - 60	10,5	8	5	26,5	24,5	21,5
Ls2	17 - 25	40 - 50	25 - 43	9	7	5,5	20	14,5	13
Ls3	17 - 25	30 - 40	35 - 53	7,5	6,5	4,5	19,5	15	12,5
Ls4	17 - 25	15 - 30	45 - 68	8,5	7,5	5,5	19	15,5	12
Lt2	25 - 35	30 - 50	15 - 45	5,5	4,5	3	16,5	13	10,5
Lt3	35 - 45	30 - 50	5 - 35	4	3	2,5	14,5	10,5	8
Lts	25 - 45	15 - 30	25 - 60	4	3,5	3	15	12	10
Lu	17 - 30	50 - 65	5 - 33	6,5	5,5	4	19,5	16	14
Uu	0 - 8	80 - 100	0 - 20	7,5	5	-	28	25,5	-
Uls	8 - 17	50 - 65	18 - 42	8,5	7	3,5	26	22,5	20,5
Us	0 - 8	50 - 80	12 - 50	8,5	6,5	-	28,5	26	-
Ut2	8 - 12	65 - 92	0 - 27	9,5	5	2	27,5	25,5	23
Ut3	12 - 17	65 - 88	0 - 23	10	4,5	2	25,5	24	22
Ut4	17 - 25	65 - 83	0 - 18	9,5	5	2	22	20,5	17,5
Tt	65 - 100	0 - 35	0 - 35	3	2,5	-	16	11,5	-
Tl	45 - 65	15 - 30	5 - 40	4	3	-	14	9	-
Tu2	45 - 65	30 - 55	0 - 25	3	2,5	2	15	10	7,5
Tu3	30 - 45	50 - 65	0 - 20	4,5	4	3	15,5	11	6,5
Tu4	25 - 35	65 - 75	0 - 10	7	5	-	17	15	-
gSfs	0 - 5	0 - 10	85 - 100	-	20	15	-	14	15
mS				-	35,5	22	-	8	8
mSgs				28,5	25	20	9,5	8,5	9,5
mSfs				26	23,5	18	14	12,5	13,5
fS				23	17	10,5	20,5	20	22
fSms				21,5	19	16	19	16,5	17,5

Für die Bodenarten Ts2 bis Ts4, gS und fSgs können wegen zu geringer Untersuchungsergebnisse keine Angaben gemacht werden

Gesamtporenvolumen = Luftkapazität + Feldkapazität

Totwasser = Feldkapazität - nutzbare Feldkapazität

Feldkapazität = Wassermenge, die entgegen der Schwerkraft zurückgehalten werden kann

**Tab. 2:** Einstufung der Trockendichte  $\rho_t$  (nach AG Boden, 1994)

Kurzzeichen	Stufen	Rohdichte $\rho_t$ [g/cm <sup>3</sup> ]
$\rho_{t1}$	sehr gering	< 1,25
$\rho_{t2}$	gering	1,25 - 1,45
$\rho_{t3}$	mittel	1,45 - 1,65
$\rho_{t4}$	hoch	1,65 - 1,85
$\rho_{t5}$	sehr hoch	> 1,85

**Tab. 3:** Zuschlag zur nutzbaren Feldkapazität in Volumen-% in Abhängigkeit von Bodenart und organischer Substanz (aus AG Boden, 1994)

Bodenart Kurzzeichen	organische Substanz Kurzzeichen	nutzbare Feldkapazität nFK
Ss, Su2, Su3, Su4, S12, Us, UU	h 1 <sup>1)</sup>	0
	h 2 <sup>2)</sup>	+ 0,5
	h 3 <sup>3)</sup>	+ 1
	h 4 <sup>4)</sup>	+ 3
	h 5 <sup>5)</sup>	+ 3,5
Sl3, Slu, St2, Ut2	h 2	+ 0,5
	h 3	+ 1
	h 4	+ 3
	h 5	+ 4
Sl4, Uls, Ut3	h 2	+ 0,5
	h 3	+ 1
	h 4	+ 3,5
	h 5	+ 4,5
St3, Ls2, Ls3, Ls4, Lt2, Lts, Lu, Ut4, Tu4, Ts4	h 2	+ 0,5
	h 3	+ 1,5
	h 4	+ 4
	h 5	+ 7
Lt3, Tu2, Tu3, Tl, Ts2, Ts3	h 2	+ 1
	h 3	+ 2,5
	h 4	+ 5,5
	h 5	+ 10
Tt	h 2	+ 2
	h 3	+ 5
	h 4	+ 10,5
	h 5	+ 16

<sup>1)</sup> h 1 < 1 Masse-% sehr schwach humos

<sup>4)</sup> h 4 4 - 8 Masse-% stark humos

<sup>2)</sup> h 2 1 - 2 Masse-% schwach humos

<sup>5)</sup> h 5 8 - 15 Masse-% sehr stark humos

<sup>3)</sup> h 3 2 - 4 Masse-% mittel humos

In diesem Zusammenhang ist jedoch anzumerken, dass gesicherte Erfahrungen und Bemessungsregeln zu diesem komplexen Problemkreis noch nicht vorhanden sind und die genannten Größen deshalb bisher nur als Anhaltswerte betrachtet werden dürfen. Unberücksichtigt bleiben dabei auch zeitabhängige negative wie positive Einflüsse wie Frost / Tauwechsel, Austrocknung / Durchfeuchtung, Kolmation, Wurzelwachstum und Entwicklung des Bodengefüges.

Die Formulierung von Mindestfeldkapazitäten (in mm) für Rekultivierungsschichten verfolgt das Ziel, das Wurzelwachstum zur Tiefe hin durch eine ausreichende Wasserverfügbarkeit zu behindern bzw. zu verhindern. Empfehlungen der Fachliteratur für Rekultivierungsschichten über Dichtungsschichten reichen von  $\geq 1$  m bis zu  $> 3$  m.

Landesamt für Natur, Umwelt  
und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen  
Leibnizstraße 10  
45659 Recklinghausen  
Telefon 02361 305-0  
poststelle@lanuv.nrw.de

[www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de)

