



BEW-Veranstaltung

Altlastensanierung - Aktuelle Aspekte zur Konzeption und Durchführung sowie Erfahrungen mit (innovativen) Sanierungsverfahren (18.11.2008)

Effizienz von Quellsanierungsmaßnahmen

Dr. I. Obernosterer (*Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH*), Dipl.-Ing. Michael Odensaß (*LANUV NRW*), Dipl.-Ing. Stefan Schroers (*LANUV NRW*)

1 Einleitung / Zielsetzung des Untersuchungsvorhabens

Bei einer Sanierung in Bezug auf den Grundwasserpfad stellt sich immer wieder die Frage, inwieweit es sinnvoll und erforderlich ist, vorab oder parallel auch die Schadstoffquelle zu sanieren. Viele Sanierungen in der Vergangenheit haben sich vorrangig auf die Schadstoff-fahne bezogen und ließen die Schadstoffquelle unberücksichtigt. In solchen Fällen sind die Sanierungszeiträume, respektive die Betriebskosten, direkt proportional der Dauer des Frachtaustrags aus der Schadstoffquelle und damit oft sehr unbefriedigend. Unter Umständen werden hohe Geldbeträge aufgewendet, ohne dass das von der Altlast ausgehende Gefahrenpotenzial in überschaubaren Zeiträumen entscheidend gebannt wird.

Durch eine Dekontamination der Schadensquelle zu einem möglichst frühen Zeitpunkt lässt sich der Aufwand zur Sanierung des Grundwassers oft erheblich reduzieren. Bisherige Praxiserfahrungen haben jedoch auch gezeigt, dass selbst in Fällen, in denen Verfahren zur Sanierung der Schadstoffquelle eingesetzt wurden, u. U. noch nach Abschluss der Maßnahmen in erheblichem Maß Schadstoffe in das Grundwasser freigesetzt werden können.

Für die Sanierungsentscheidung bei Grundwasserschäden ist daher die Effizienz von Herdsanierungsmaßnahmen eines der entscheidenden Kriterien. Es stellen sich u. a. die Fragen, wie viel Masse aus einer Quelle entfernt werden muss, um den Schadstoffaustrag signifikant zu reduzieren, welche Auswirkungen diese Reduzierung einerseits auf die Fahnenlänge und andererseits auf die Emissionszeit hat und wie die "Architektur" der Quelle (nicht durchströmte zusammenhängende Schadstoff-Pools oder Bereiche mit residualer Sättigung) das Emissionsverhalten beeinflusst.

Um einen Beitrag zur Beantwortung dieser Fragen leisten zu können, wurde im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) eine Studie konzipiert, in der vorliegende Praxiserfahrungen mit der Durchführung von Herdsanierungen vordringlich unter den vorgenannten Aspekten ausgewertet werden sollten. Die Ergebnisse dieser Studie sind Gegenstand des vorliegenden Beitrags.

2 Recherche und Auswahl von Fallbeispielen

Die Recherche der Fallbeispiele erfolgte in insgesamt drei Stufen.

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



- die Ausbreitung der Schadstofffahne hinreichend bekannt ist,
- vor Beginn der Herdsanierung ein mehrjähriges Grundwassermonitoring durchgeführt wurde,
- die Herdsanierung bereits mehrere Jahre zurückliegt und
- auch nach der Sanierung ein ausreichendes Grundwassermonitoring durchgeführt wurde.

Bereits bei dieser Erhebung wurde deutlich, dass die Anzahl der geeigneten Projekte als gering einzustufen war. Es zeichnete sich ab, dass die Auswertung im Wesentlichen auf Fallbeispiele mit leichtflüchtigen organischen Schadstoffen wie LHKW, PAK, MKW und BTEX zu beschränken war. Als Sanierungsverfahren wurden Aushubmaßnahmen oder innovative In-Situ-Maßnahmen betrachtet.

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, bei der die hinreichende Dokumentation der Erkundung, Sanierung und Überwachung sowie die Verfügbarkeit der Daten im Vordergrund stand. Als nicht geeignet wurden u. a. auch Projekte eingestuft, bei denen neben der Quellsanierung zeitgleich auch andere Sanierungsverfahren angewendet wurden, was eine getrennte Auswertung des Anteils der Herdsanierung am Gesamtsanierungserfolg nicht zuließ.

Die Ergebnisse dieser Erhebungen führten schließlich zu einer Auswahl von fünf 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. Darüber hinaus wurden weitere Fallbeispiele zur Auswertung einzelner Aspekte wie z.B. des Ablaufs der Quell- oder Fahnen erkundung herangezogen.

3 Charakterisierung der Fallbeispiele

Die wesentlichen Randbedingungen der betrachteten Fallbeispiele sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Im **Fallbeispiel 1** handelt es sich um eine **ehemalige Zeche und Kokerei**, die über fast 120 Jahre auf einer Fläche von zuletzt mehr als 40 ha betrieben worden ist. Der Untergrund, der sich durch Aufschüttungen und geringmächtige quartäre Ablagerungen über Emscher Mergel auszeichnet, war weitreichend mit Teerölen und anderen Kokerei-typischen Stoffen verunreinigt. Die Belastungen reichten bis in den oberflächennahen Bereich des Festgesteins, über den tieferen Untergrund lagen keine Erkenntnisse vor. Die Sanierung umfasste in zwei Phasen zwischen 1994 und 1998 einen umfangreichen Bodenaustausch bis in den Grundwasserschwankungsbereich. Der Aushub wurde z.T. in einem aufwändig gesicherten Landschaftsbauwerk auf dem Gelände wieder eingebaut.

Vor und nach Durchführung der Sanierungsmaßnahmen erfolgte ein umfangreiches Grundwassermonitoring. Zu diesem Zeitpunkt standen auf dem Gelände und im näheren Umfeld insgesamt 26 Grundwassermessstellen zur Verfügung. Davon waren 16 im Quartär und 10 in der Kreide (Emscher-Mergel) verfiltert. Ein Teil der Messstellen wurde durch den Bodenaustausch zerstört und an gleicher Stelle später wieder errichtet.

Die Auswirkungen der Sanierung auf die Grundwassersituation sind uneinheitlich (s. Abb. 1 und 2).



Tab. 1: Charakteristik der Fallbeispiele

Fallbeispiel	1	2	3	4	5
historische Nutzung	ehemalige Zeche und Kokerei	ehemaliges Gaswerk	ehemalige Dampfäscherei	ehemalige chemische Reinigung	Feilenfabrik, Kunststoffherstellung u.-verarbeitung
aktuelle Nutzung	Technologie- u. Gewerbepark	Wohnsiedlung	Wohnsiedlung	Gewerbefläche (Lagerfläche)	Büro- und Wohnflächen
Größe	41,4 ha	0,34 ha	0,5 ha	0,02 ha	0,3 ha
Lage	Südrand Münsterländer Kreidebecken	Nordrand der Ruhrkarbons	Südrand Münsterländer Kreidebecken	Niederrheinische Bucht	Bergisches Land
Geologie	Auffüllungen und Quartär über Emscher Mergel	Auffüllungen und Hochflutlehm über Terrassen über karbonischem Ton- und Sandstein	Auffüllungen und Quartär über Emscher Mergel	Auffüllungen über Terrassen mit Interglazial, tertiärer Schluff	Auffüllungen und Hanglehm über devonischem Schluffstein
Aquifer	Poren- über Festgesteinsaquifer	Poren- über Festgesteinsaquifer	Poren- über Festgesteinsaquifer	Porenaquifer	Festgesteinsaquifer
Schadstoffe	PAK, Phenole, Cyanide, BTX, Ammonium	PAK, Phenole, Cyanide, BTEX	LHKW	LHKW	LHKW, MKW, BTEX
horizontale Schadstoffverteilung	großflächig zusammenhängende Bereiche und punktuelle Einträge	Haupteintrag ehemalige Teerbecken, zusätzlich punktuelle Einträge	Haupteintrag vermtl. ehemalige schadhafte Leitung, zusätzlich punktuelle Einträge	mehrere punktuelle Einträge	mehrere punktuelle Einträge
vertikale Schadstoffverteilung	bis 1 m in das Festgestein, darunter nicht erkundet	bis 16 m u. GOK, d.h. in das Festgestein	bis ca. 10 m in das Festgestein, darunter nicht erkundet	bis in das Interglazial, darunter nicht erkundet	bis ca. 18 m in das Festgestein, darunter nicht erkundet
Lage der Schadstoffquelle zum GW	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	ungesättigte + gesättigte Bodenzone	ungesättigte + gesättigte Bodenzone
Quellsanierung	partieller Bodenaushub bis in den Grundwasserschwankungsbereich, teilweiser Einbau in einem Landschaftsbauwerk	partieller Bodenaustausch bis 15 m u. GOK in zugänglichen Bereichen	partieller, aber weitreichender Bodenaustausch bis 16 m Tiefe	In-Situ-Chemische Oxidation (ISCO) mit hydraulischer Sicherung	partieller Bodenaushub mit Wiedereinbau unterhalb einer Versiegelung
zusätzliche Sanierungsmaßnahmen	keine	keine	nachlaufende Bodenluftabsaugung abgeschlossen, noch anhaltende Pump+treat-Maßnahme	vorlaufende Pump+treat-Maßnahme mit begleitender Bodenluftabsaugung und Sanierung der Kanalisation	vorlaufende Bodenluftsanierung, nachlaufende Grundwassersanierung abgeschlossen
Monitoringzeitraum	1990 - 2008	1991 - 2007	1998 - 2008	1997 - 2008	1989 - 2006
Wirkung	uneinheitliches Bild, z.T. keine eindeutigen Trends, bereichsweise aber auch Rückgang der PAK-Belastungen bis zu 3 Zehnerpotenzen in beiden GW-Leitern	eindeutiger Effekt der Sanierung nicht erkennbar	sukzessiver Rückgang der Grundwasserbelastungen, Abreißen der Fahne	Hauptschaden schon mit Grundwasser- und Bodenluftsanierung beseitigt, Tailing-Effekte mit mehreren ISCO-Phasen erfolgreich reduziert	nach Bodenaustausch eher Anstieg der GW-Belastungen

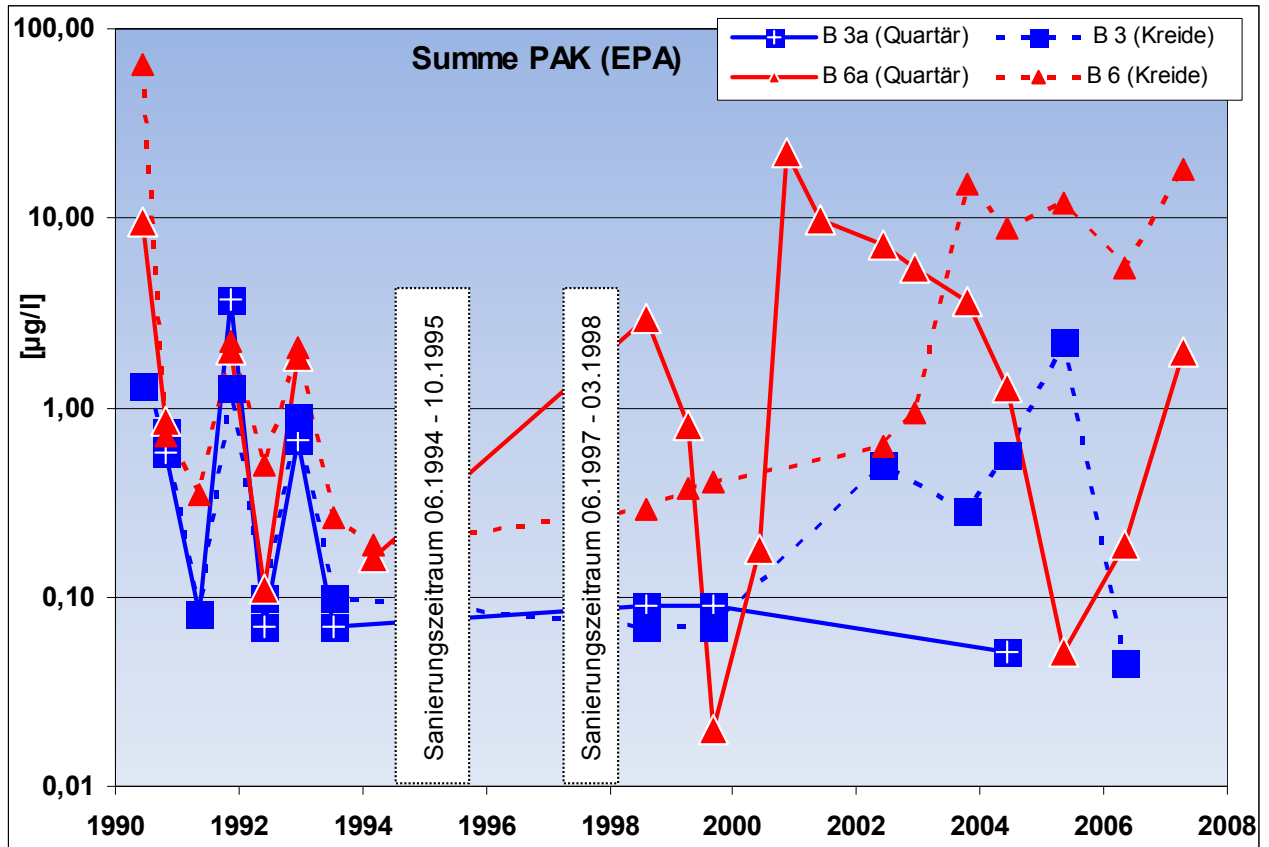


Abb. 1: Entwicklung der Σ PAK (EPA)-Konzentrationen im Fallbeispiel 1 in durchgehend erhaltenen Grundwassermessstellen

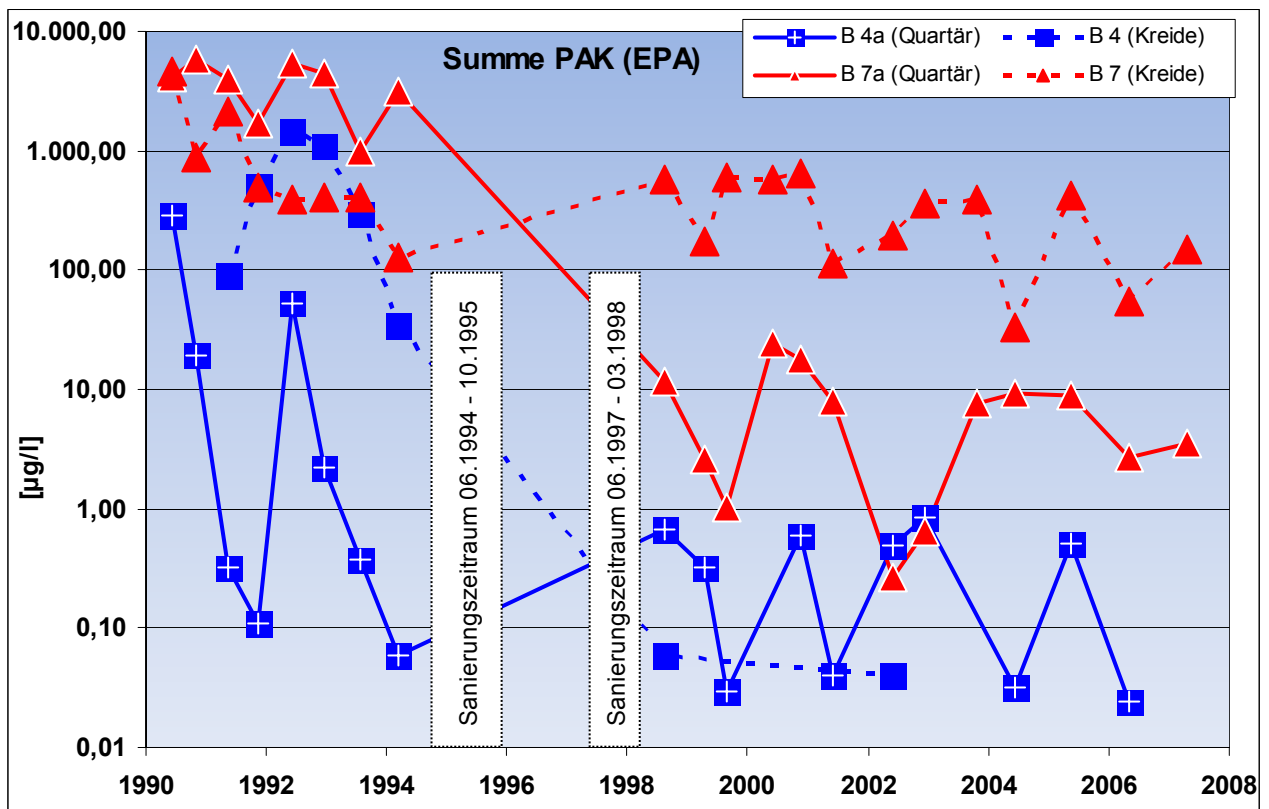


Abb. 2: Entwicklung der Σ PAK (EPA)-Konzentrationen im Fallbeispiel 1 in Grundwassermessstellen, die nach der Sanierung an gleicher Stelle ersetzt wurden



In den Messstellen außerhalb der Bodenaustauschbereiche ist nur teilweise eine eindeutige Abnahme der Schadstoffkonzentrationen zu erkennen. In Abbildung 1 sind exemplarisch für den Parameter PAK nach EPA die Konzentrationen in je zwei ausgewählten Messstellenpaaren (Verfilterung im Quartär bzw. in der Kreide) dargestellt. Die Konzentrationsniveaus vor und nach der Sanierung sind annähernd gleich. Die Sanierung wirkt sich also im Randbereich der ehemaligen Hauptbelastungszonen kaum aus. Vermutlich ist die noch messbare Belastung auf die Bildung von Sekundärquellen durch Adsorption gelöster Schadstoffe an die Bodenmatrix im Fahnenbereich zurückzuführen, aus denen noch über lange Zeit in geringer Konzentration Schadstoffe freigesetzt werden.

Die Messstellen im Bodenaustauschbereich wurden nach der Sanierung an gleicher Stelle neu errichtet. Hier zeichnen sich in beiden Grundwasserleitern (Quartär und Kreide) deutlich Schadstoffabnahmen ab, die je nach Lage der Messstellen zu den ehemaligen Hauptbelastungsbereichen die Größenordnung von 2 bis 3 Zehnerpotenzen erreichen (s. Abb. 2). Die geringere Abnahme in den Messstellen B7/B7a im Vergleich zu B4/B4a ist auf deren Nähe zu einem ehemaligen Zentrum des Schadstoffeintrags in den Boden zurückzuführen (Benzolfabrik).

Das **Fallbeispiel 2** ist ein über rund 100 Jahre betriebenes **ehemaliges Gaswerk**, das heute innerstädtisch liegt. Im Untergrund des nur 0,34 ha großen Standorts stehen geringmächtige quartäre Sedimente über devonischen Ton- und Sandsteinen an, in denen der Grundwasserleiter ausgebildet ist. Der Boden ist mit PAK, Phenolen, Cyaniden und BTEX verunreinigt. Die Belastungen reichen bis 16 m u. GOK, d.h. tief bis in das Festgestein.

Der Standort wurde durch einen partiellen Bodenaustausch bis 15 m Tiefe saniert. In den aufgrund der Bebauung unzugänglichen Bereichen mussten Kontaminationen im Untergrund verbleiben. Die Auswirkungen auf das Grundwasser sind trotz der bereits 10 Jahre zurückliegenden Sanierung relativ gering.

In Abbildung 3 sind exemplarisch die PAK-Konzentrationen über die Zeit aufgetragen. Ein signifikanter Rückgang der Belastungen konnte bislang in keiner Grundwassermessstelle im Abstrom beobachtet werden. In der Abstrommessstelle B3 setzte zwar zwischen 2002 und 2006 ein Abwärtstrend ein, bis 2008 wurde dann aber wieder das Ausgangsniveau erreicht. In der Abstrommessstelle B5 wurde ein gegenläufiger Trend beobachtet. Zwischen 2002 und 2006 trat ein Anstieg der Konzentrationen ein, der dann wieder nachließ. Die Beobachtungen erklären sich durch die hydrogeologische Situation des Standortes, der durch seine unmittelbare Nähe zu einem Vorfluter, sehr geringe hydraulische Gradienten und somit schwankende Grundwasserfließrichtungen gekennzeichnet ist. Diese Situation erklärt auch die im Seitenstrom des Standortes vorhandenen, unter wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten relevanten Schadstoffkonzentrationen (Messstelle KB2).

Das **Fallbeispiel 3** ist eine **ehemalige Dampfwäscherei**. Auch dieser Standort ist mit 0,5 ha vergleichsweise klein und liegt heute innerstädtisch in einem Wohnviertel. Der Untergrund zeichnet sich auch hier durch geringmächtige Aufschüttungen und quartäre Sedimente über Festgestein (Emscher Mergel) aus. Die Kontaminationen mit LHKW reichten bis mindestens 15 m u. GOK.

Die Sanierung erfolgte zunächst durch Bodenaustausch im Hauptbelastungsbereich bis in 16 m Tiefe. Im überbauten Randbereich mussten Kontaminationen im Untergrund verbleiben. Nachlaufend zum Bodenaustausch wurde im Randbereich eine Bodenluftabsaugung über ca. 1 Jahr sowie im ehemaligen Schadenszentrum eine Pump+ treat-Maßnahme durchgeführt, die noch heute anhält.

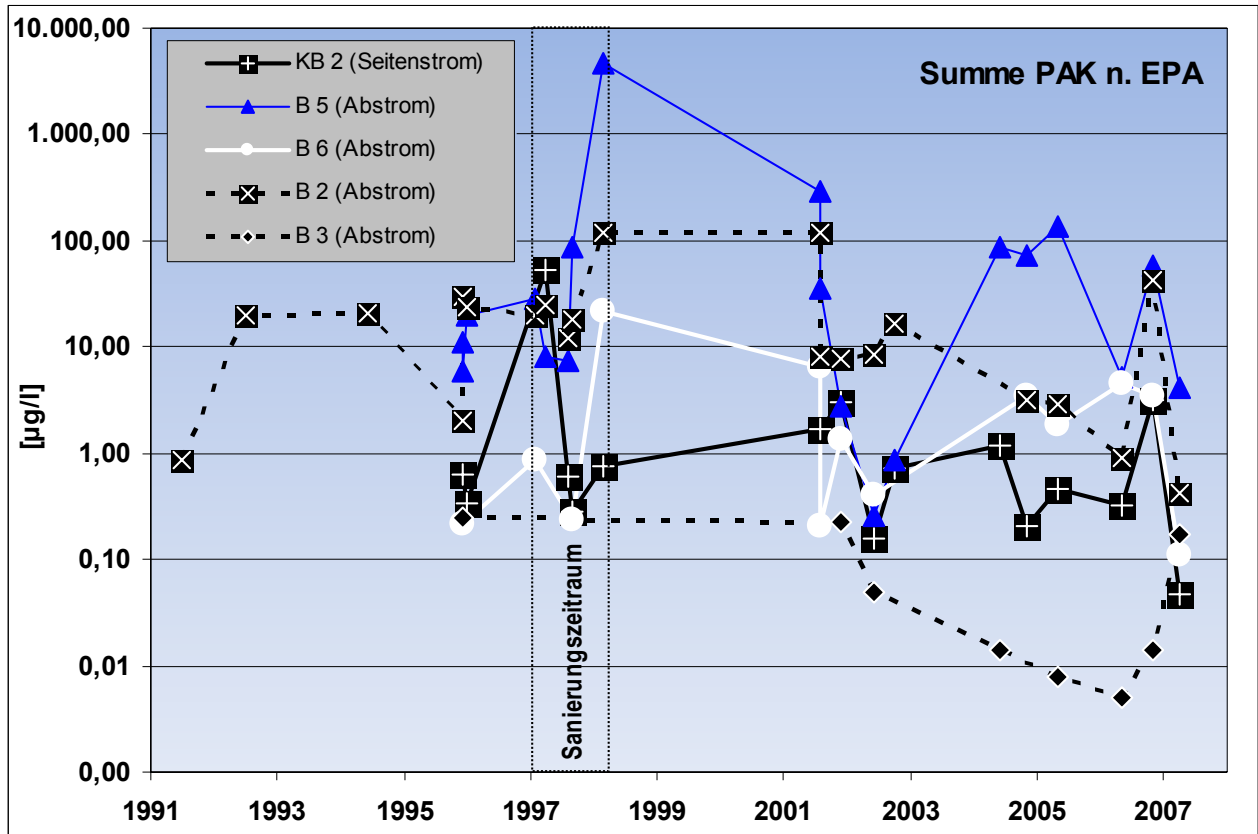


Abb. 3: Entwicklung der Σ PAK(EPA)-Konzentrationen im Fallbeispiel 2

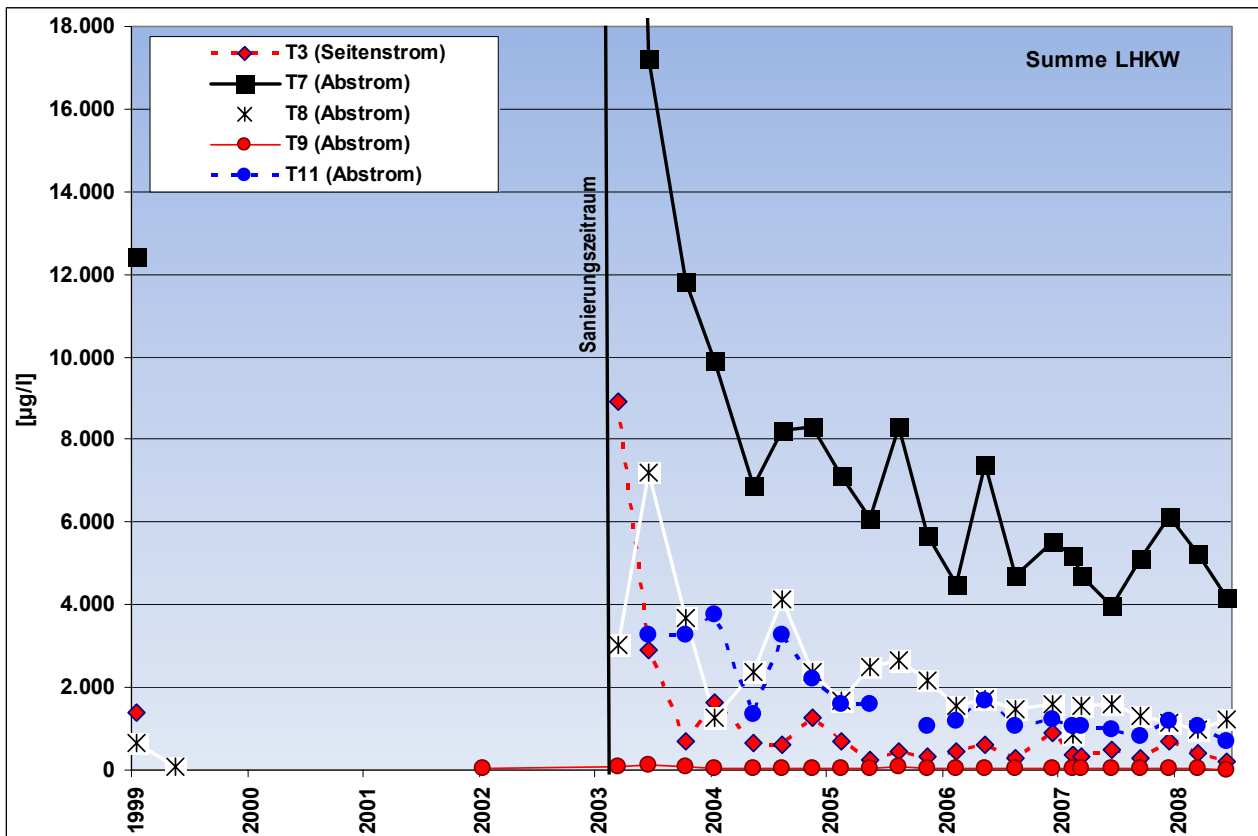


Abb. 4: Entwicklung der Σ LHKW-Konzentrationen im Fallbeispiel 3



Die Sanierungsmaßnahmen bewirkten eine deutliche Verbesserung der Schadstoffbelastungen des Grundwassers. In Abbildung 4 sind die Konzentrationen des Leitparameters LHKW über die Zeit aufgetragen. Die Messstelle T11 steht im ehemaligen Hauptbelastungsbereich, sie wird heute als Sanierungsbrunnen betrieben, um die verbliebenen Restbelastungen im Grundwasser zu fassen. Die hier auftretenden Schadstoffkonzentrationen sind deutlich geringer als in der Messstelle T7, die unmittelbar am abstromigen Rand des sanierten Hauptbelastungsbereiches steht. Dort sind Restbelastungen im Untergrund verblieben.

In den näher am Eintragsort liegenden Messstellen (T7, T8) trat ein signifikanter Rückgang der Belastungen ein. Mittlerweile scheint sich ein Tailing-Effekt einzustellen, d.h. die Schadstoffkonzentrationen streben einem stabilen Endwert zu. T9 liegt ca. 1.200 m in Abstromrichtung entfernt. Hier wurde bislang keine Veränderung der LHKW-Konzentrationen festgestellt. Nach wie vor sind geringe, aber gemessen an der Geringfügigkeitsschwelle für LHKW doch relevante Schadstoffgehalte vorhanden.

Im **Fallbeispiel 4** handelt es sich um eine **ehemalige chemische Reinigung**. Mit 200 m² ist der Standort die kleinste der hier betrachteten Flächen. Auch sie liegt innerstädtisch. Der Hauptgrundwasserleiter ist in mächtigen Terrassensedimenten ausgebildet, die tief reichend mit LHKW belastet waren.

Nachdem zunächst ein großer Teil der Schadstoffe schon mittels Pump+Treat sowie einer Bodenluftsanierung aus dem Untergrund entfernt werden konnte, stellte sich im Grundwasser ein Tailing-Effekt ein. Die Schadstoffkonzentrationen verharrten auf einem Niveau, das nicht akzeptiert werden konnte. Daher wurde in einer zweiten Sanierungsphase das ISCO-Verfahren angewendet. Bei der **In-Situ-Chemischen Oxidation** wird ein chemisches Oxidationsmittel in den Aquifer infiltriert. Bei Kontakt mit den Kontaminanten erfolgt deren vollständiger chemischer Abbau.

Die Infiltration des Oxidationsmittels erfolgte in drei Phasen. Die Konzentrationsentwicklungen der LHKW in den Grundwassermessstellen im Quellbereich sind in Abbildung 5 aufgetragen. Es wird ersichtlich, dass nach der ersten Zugabe des Oxidationsmittels die Schadstoffkonzentrationen zwar deutlich zurückgingen, jedoch nach wenigen Monaten z.T. wieder bis zum Ausgangsniveau anstiegen. Dieser Effekt war nach der zweiten ISCO-Phase schwächer ausgeprägt und konnte nach der dritten Phase nochmals reduziert werden. Insgesamt konnte das Niveau der LHKW-Konzentrationen im Schadenszentrum gegenüber der Ausgangssituation auf ca. 1 bis 6 % gesenkt werden. Aufgrund von Restbelastungen in einer stauenden Zwischenlage im Grundwasserleiter wird langfristig jedoch davon ausgegangen, dass unmittelbar über der Aquifersohle LHKW-Restbelastungen von einigen 100 µg/l verbleiben werden.

Am Standort des **Fallbeispiels 5** wurde ehemals eine **Feilenfabrik und eine Kunststoffherstellung bzw. -verarbeitung** betrieben. Auch dieser Standort ist mit 0,3 ha relativ klein und befindet sich in einem innerstädtischen Bereich. Der Untergrund zeichnet sich wiederum durch geringmächtige Aufschüttungen und quartäre Bildungen über Festgestein (Schluffstein) aus. Der Boden ist mit LHKW verunreinigt, die zur Oberflächenbehandlung der Werkstücke eingesetzt worden sind. Die Schadstoffquelle konnte nicht vollständig eingegrenzt werden. Durch Handlungsverlust und vermutlich auch Leckagen im Kanalsystem existierten mehrere Eintragsorte.

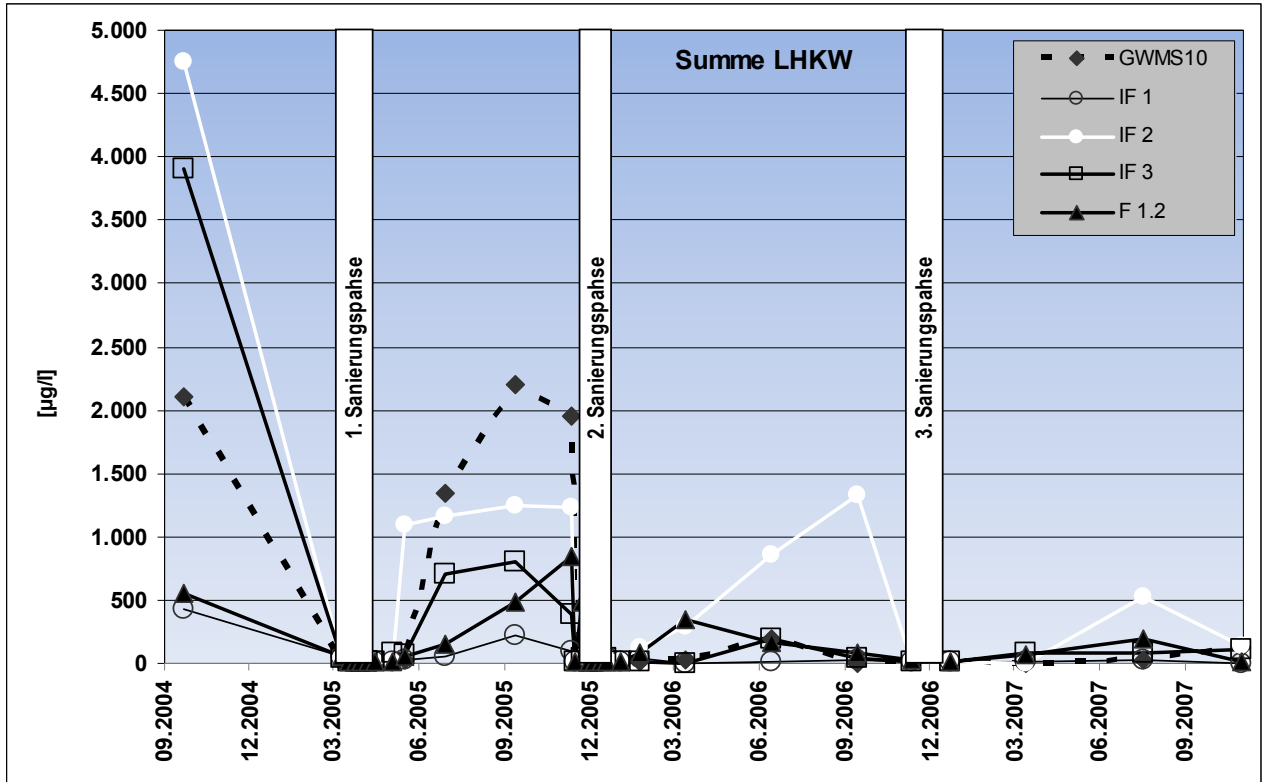


Abb. 5: Entwicklung der Σ LHKW-Konzentrationen im Quellbereich im Fallbeispiel 4

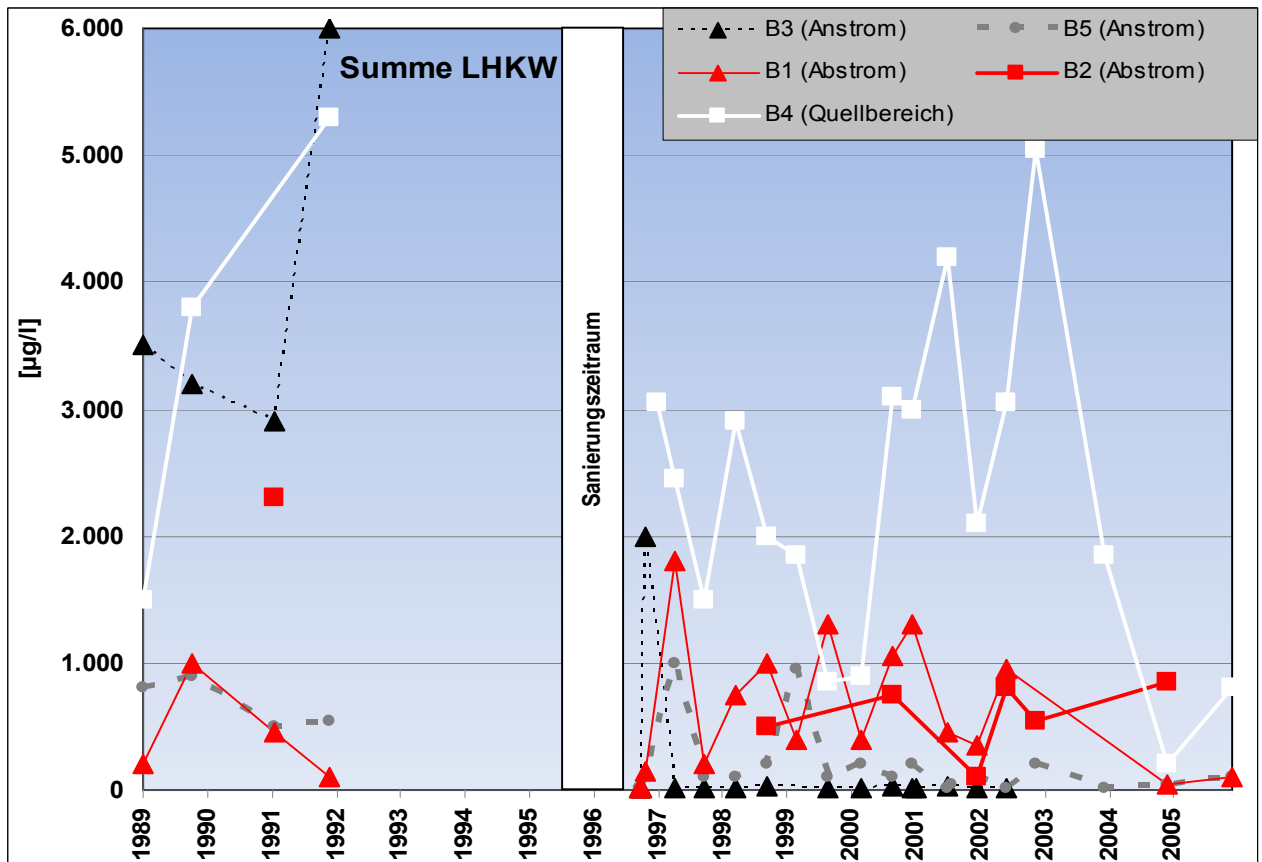


Abb. 6: Entwicklung der Σ LHKW-Konzentrationen im Fallbeispiel 5



Die Sanierung umfasste einen partiellen Bodenaustausch in den baulich zugänglichen Bereichen. Der Boden wurde auf dem Standort selbst unterhalb einer Versiegelung wieder eingebaut. Die Entwicklung der Schadstoffbelastungen im Grundwasser ist je nach Messstellenstandort uneinheitlich. In Abbildung 6 sind die LHKW-Konzentrationen der Grundwassermessstellen im Anstrom, im Quellbereich sowie im Abstrom aufgetragen. Es wird deutlich, dass auch im Grundwasseranstrom schon erhebliche Belastungen mit LHKW vorlagen, die nach der Sanierung deutliche abgenommen haben. Die hohen Belastungen vor Beginn der Sanierung sind auf die Nähe der Messstellen zum Schadensherd zurückzuführen. Im Gegensatz zu dem durch B3 und B5 erfassten Anstrombereiche bewirkte die Sanierung weder im Quellbereich noch im Abstrom signifikante Verbesserungen der Grundwasserqualität, was in erster Linie auf verbliebene Restbelastungen im Festgestein zurückzuführen sein dürfte (Abb. 6).

4 Erkenntnisse und Hinweise

Die Fallsammlung liefert sicher kein repräsentatives Abbild der z. Zt. gängigen Sanierungspraxis mittels Herdsanierungen. Trotz einiger Gemeinsamkeiten sind die hier betrachteten Fallbeispiele insgesamt sehr heterogen. Dennoch lassen sich aus der Analyse dieser Fälle Schlüsse ziehen, die auch für andere Sanierungsmaßnahmen von Bedeutung sind.

Es würde den Rahmen der vorliegenden Bearbeitung überschreiten, auf alle Erkenntnisse der Auswertungen einzugehen. Im Folgenden werden daher die nur wesentlichen Schlüsse und Empfehlungen zusammengefasst. Sie betreffen die Erkundung des Schadensfalls sowie die Formulierung der Sanierungsziele, die in engem Zusammenhang mit der Abwägung der Verhältnismäßigkeit im konkreten Einzelfall stehen. Die Empfehlungen beziehen sich in erster Linie auf Altstandorte, bei denen weit häufiger Entscheidungen über eine Quellsanierung zu treffen sind als bei Altablagerungen.

4.1 Schadenserkundung

Bei der Schadenserkundung ist generell zwischen der Erkundung der Schadstoffquelle und der Erkundung der Schadstofffahne zu unterscheiden. In der Regel ist es sinnvoller, die beiden Erkundungsschritte nacheinander durchzuführen.

4.1.1 Quellerkundung

Wie schon die im Auftrag des LANUV durchgeführten Auswertungen von Grundwassersanierungen und Oberflächensicherungen gezeigt haben, ist der Erfolg der Sanierung ganz wesentlich von der Kenntnis der Schadstoffquelle abhängig. Der Quellerkundung kommt daher eine wesentliche Bedeutung zu.

Obwohl sich zum Ablauf der Schadenserkundung zahlreiche Empfehlungen und Hinweise in der Fachliteratur finden (z.B. [1-5]), ist in der Praxis immer wieder festzustellen, dass die Quellerkundung zwar oft umfangreich, aber dennoch unzureichend stattfindet. Ursächlich sind z.T. die mangelnde Zugänglichkeit der Flächen oder die zu weiträumigen Verteilungen der Schadstoffeinträge; auch die erforderlichen Erkundungsschritte sind u. U. unverhältnismäßig. In einem nicht unerheblichen Teil der Fallbeispiele erfolgte die Schadenserkundung aber auch unsystematisch und wenig effektiv, was am nachfolgenden Beispiel erläutert werden soll.

4.1.1.1 Fallbeispiel Quellerkundung

In diesem Fallbeispiel handelt es sich um eine rund 15 ha große Fläche, auf der ehemals ein Imprägnierwerk betrieben worden ist. Die Fläche liegt unmittelbar neben einem großen Vorfluter. Sie ist dementsprechend durch wenige Meter mächtige Auenlehme über ca. 20 m mächtigen Terrassenkiesen und schließlich tertiären Feinsanden gekennzeichnet.

Die geplante Aufgabe und Veräußerung des Werkes war Anlass für eine erste Altlastenerkundung. Ohne vorausgehende historische Recherche wurde die Fläche mit einem flächendeckenden Erkundungsraster überzogen, wobei versiegelte Bereiche, d.h. nahezu der gesamte Produktionsbereich, ausgespart blieben. Nur in einem kleinen Teilbereich außerhalb der Produktionsanlagen traten oberflächennahe Belastungen mit Teerölen auf. In zwei weiteren Erkundungsphasen, die auf Betreiben der zuständigen Behörde aufgrund der unzureichenden Aufschlüsse im Werksbereich erfolgten, wurden zwei Grundwassermessstellen am abstromigen Rand des Geländes gebaut und auch in versiegelten Bereichen Rammkernsondierungen niedergebracht (Abb. 7).

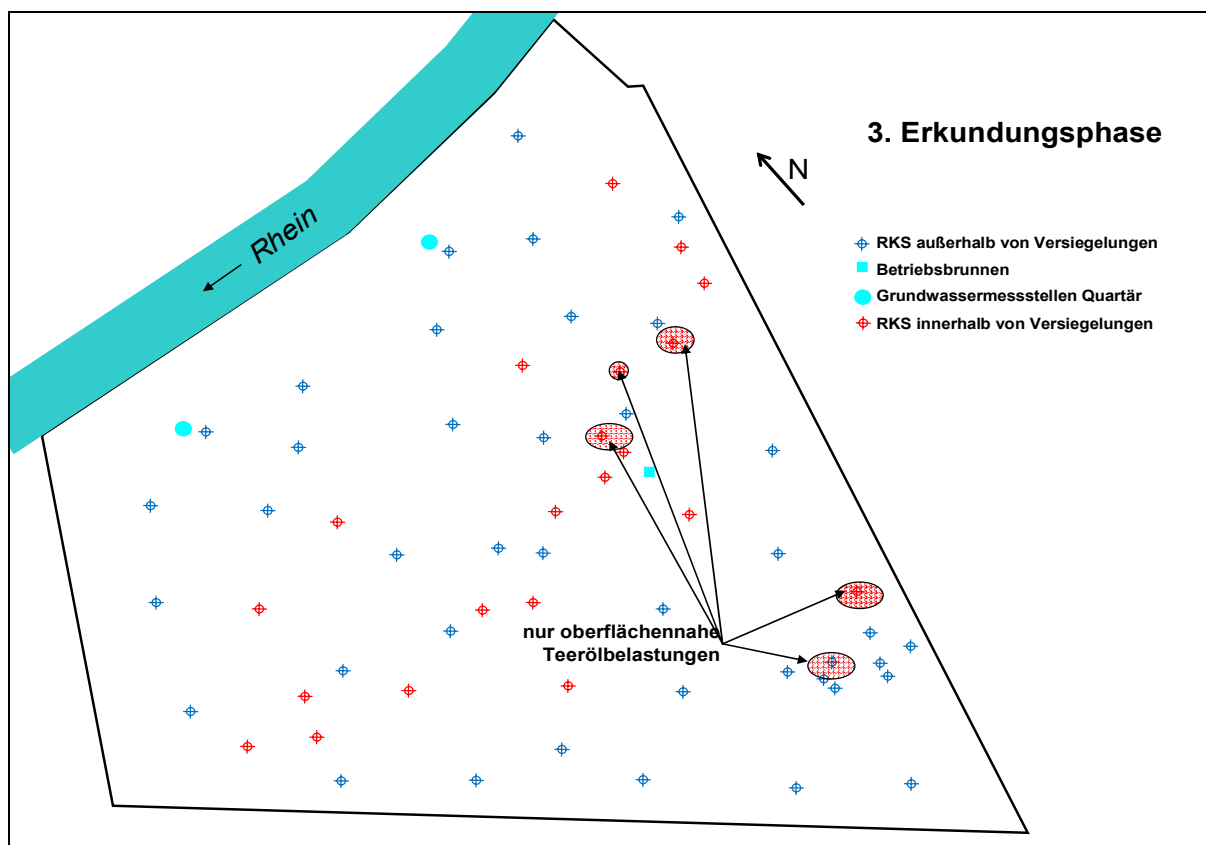


Abb. 7: Erkenntnisstand nach der 3. Erkundungsphase im Fallbeispiel "Quellerkundung"

Erst nachdem die Produktion stillgelegt worden, die Anlagen rückgebaut und das Gelände schon veräußert war, ließ die Behörde in eigener Zuständigkeit unmittelbar an Sandplatz der alten Imprägnierwanne drei Bohrungen abteufen. Der Bereich war durchgehend bis zur Quartärbasis mit Teerölen verunreinigt. Weitere Erkundungsphasen mit einer Vielzahl von Bohrungen ergaben, dass sich die Teeröle auf den tertiären Feinsanden weitflächig ausgebreitet hatten (Abb. 8), was einen massiven Grundwasserschaden nach sich zog.

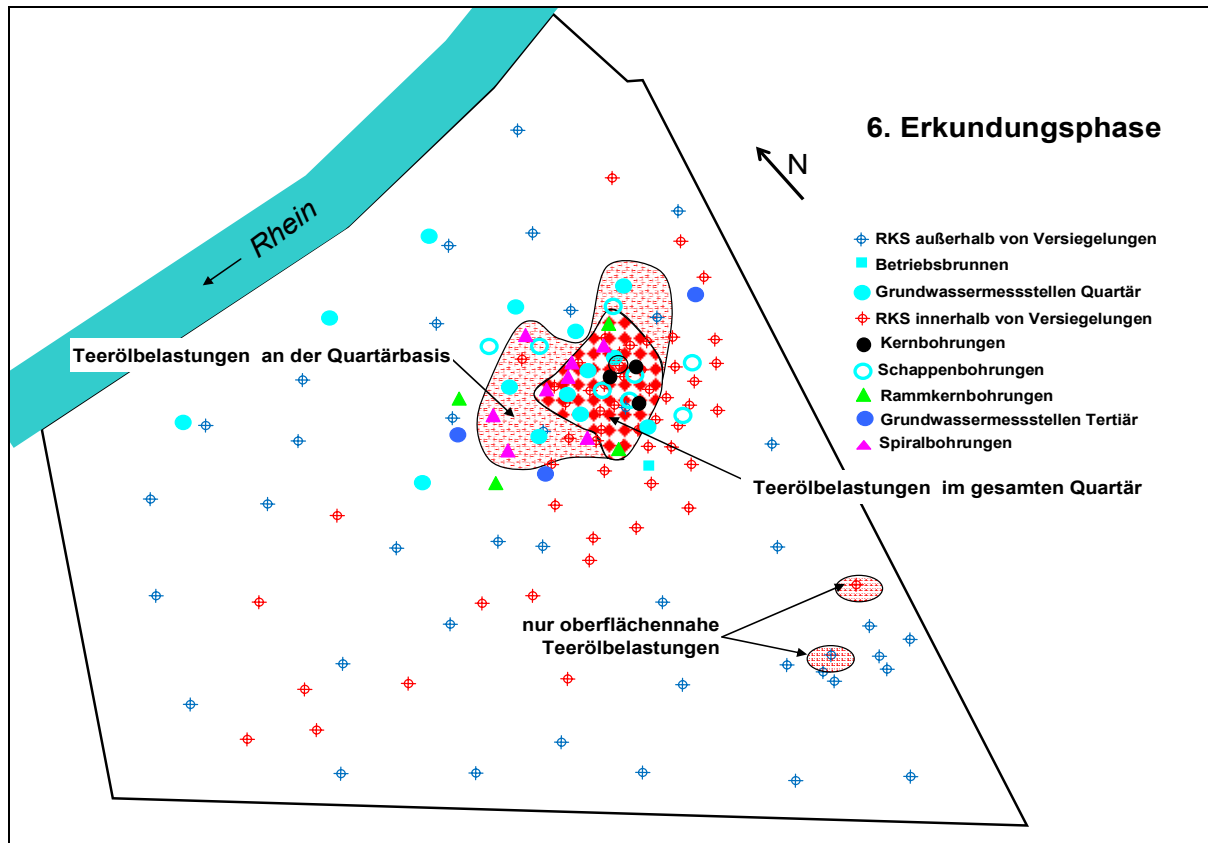


Abb. 8: Erkenntnisstand nach der 6. Erkundungsphase im Fallbeispiel "Quellerkundung"

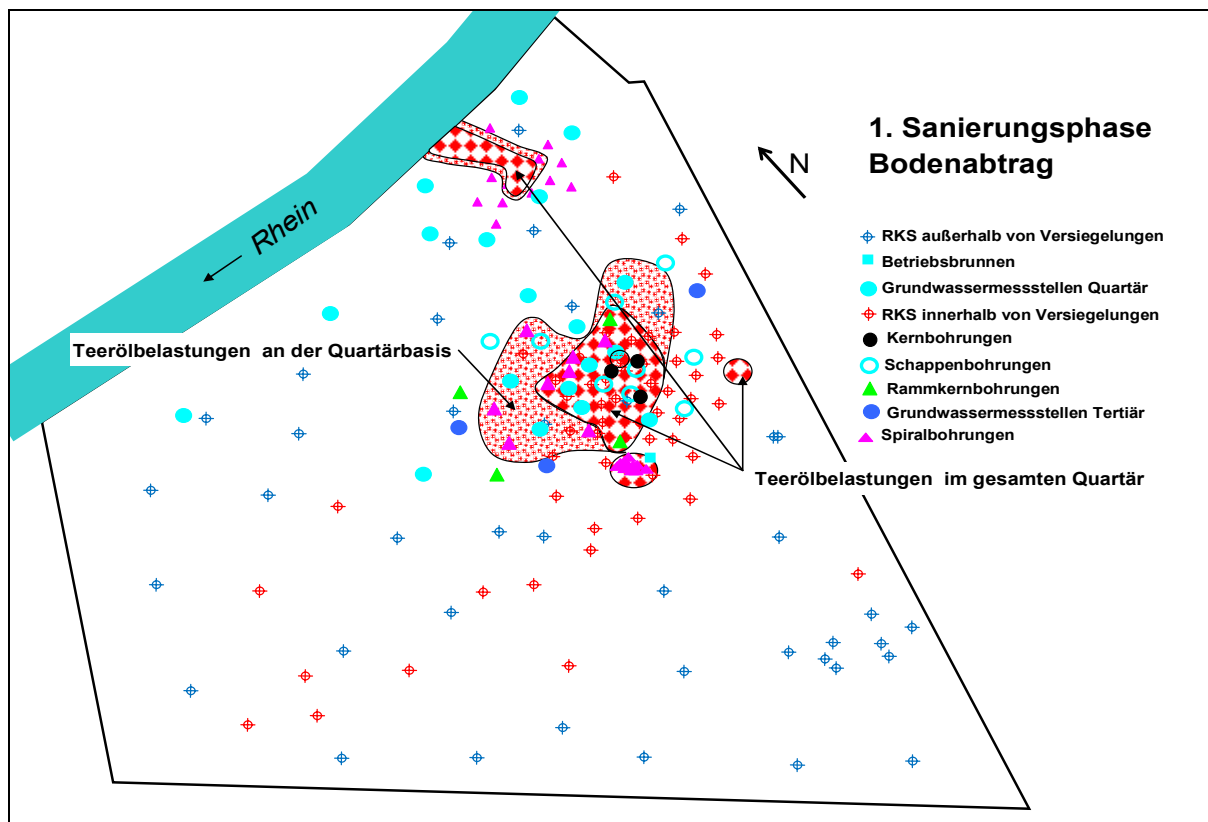


Abb. 9: Erkenntnisstand nach der 1. Sanierungsphase im Fallbeispiel "Quellerkundung"

Die Sanierung sah zunächst einen flächenhaften Abtrag des durch Tropfverluste mehr oder weniger stark mit PAK verunreinigten Oberbodens ab, um das Außengelände zügig für eine neue Nutzung verfügbar zu machen. Im Zuge dieser Arbeiten traten unbekannte Leitungsverläufe auf, über die offensichtlich Teeröle in mehreren Versickerungsschächte gelangt waren. Es stellte sich heraus, dass in drei zusätzlichen Arealen Teerölkontaminationen bis zur Quartärbasis vorlagen (Abb. 9).

Die Situation erforderte eine Anpassung des schon bestehende Sanierungskonzeptes, das die Umschließung des Hauptbelastungsbereiches mit einer Dichtwand und begleitende hydraulische Maßnahmen vorsah. Eines der zusätzlichen Belastungsareale konnte in die Einkapselung einbezogen werden. Ein weiteres wurde mittels Bodenaustausch durch überschrittene Großbohrpfähle dekontaminiert. Das dritte musste aufgrund seiner Ausdehnung und der Nähe zum Vorfluter im Untergrund verbleiben (Abb. 10).

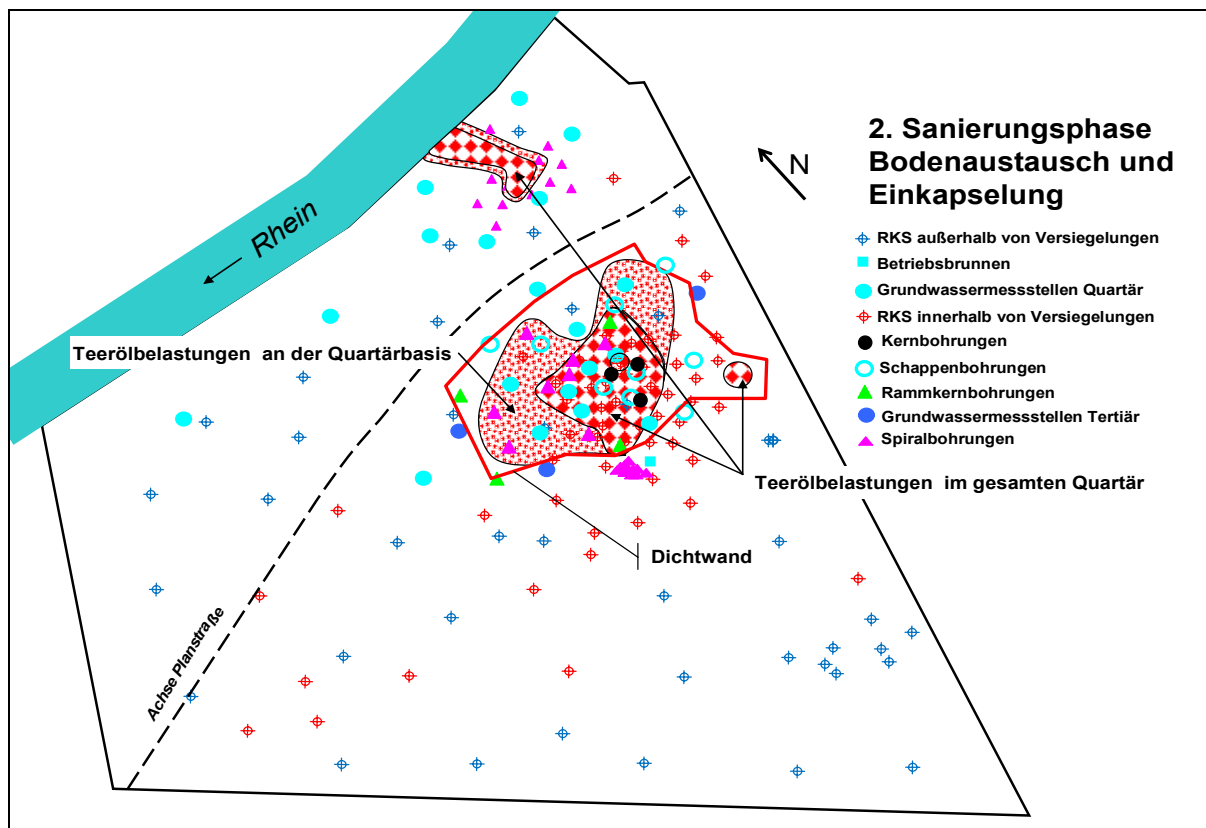


Abb. 10: Situation nach der 2. Sanierungsphase im Fallbeispiel "Quellerkundung"

4.1.1.2 Empfehlungen für die Quellerkundung

Die Erkundung der Schadstoffquelle ist die Basis für die gemäß BBodSchV geforderte Sickerwasser- bzw. Eintragsprognose. Als Ergebnis der abschließenden Eintragsprognose muss die sachkundig erarbeitete und nachvollziehbar begründete Aussage darüber vorliegen, ob und ggf. inwieweit (Konzentrationen, Frachten) derzeit oder in überschaubarer Zukunft von der zu beurteilenden Fläche ein erheblicher Schadstoffeintrag in das Grundwasser hervorgerufen wird bzw. zukünftig zu erwarten ist [3]. Dabei sind alle im Einzelfall in Betracht kommenden Eintragspfade zu berücksichtigen. Die Erkundung der Schadstoffquelle muss daher Folgendes umfassen:

- Erfassung des vollständigen Schadstoffspektrums
- Erfassung der Schadstoffverteilung im Untergrund anhand von Feststoffuntersuchungen
- Zustand der Schadstoffe (gelöst, fixiert, residual, mobil)
- Erfassung der Gesamtschadstoffmassen
- Bestimmung der Quellstärke bezogen auf alle relevanten Schadstoffe mit ausreichender statistischer Absicherung (je nach Lage der Schadstoffquelle zum Grundwasserspiegel durch realitätsnahe Materialuntersuchungsverfahren (Eluat-Verfahren) oder die Untersuchung des Kontaktgrundwassers)

Vor Beginn der praktischen Arbeiten für die Quellerkundung sind zunächst verschiedene theoretische Arbeitsschritte erforderlich (Abb. 11), auf deren Basis ein maßgeschneidertes Untersuchungsprogramm erfolgen kann. Die Kosten für eine intensive Vorbereitung der Arbeiten lassen sich durch Einsparungen bei der praktischen Erkundung oft mehr als nur auffangen.

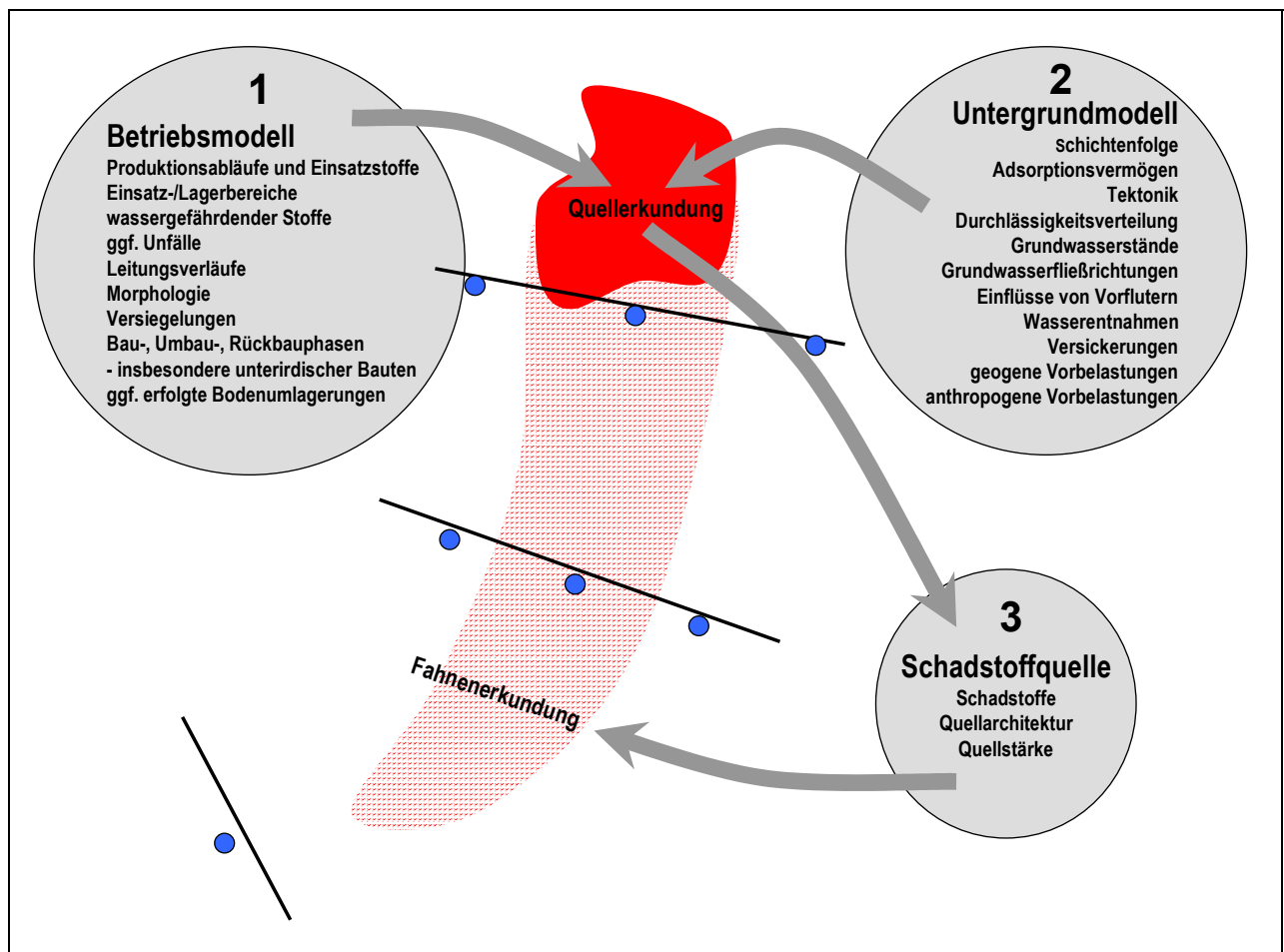


Abb. 11: Ablaufschema einer Schadenserkundung

Anhand aller vorliegenden Unterlagen zum Schadensfall ist vorab ein "Betriebsmodell", d.h. eine Modellvorstellung über den Standort, seine historische Entwicklung und seine morphologischen und baulichen Randbedingungen zu entwickeln. Die dabei relevanten Aspekte sind beispielhaft in Abbildung 7 genannt. Parallel ist aus allen vorhandenen Unterlagen zur geologisch-hydrogeologischen Situation ein Untergrundmodell zu entwickeln. Durch die Verknüpfung der beiden Modelle lässt sich eine erste Vorstellung über die Belastungssituation des Untergrundes herleiten. Diese Vorstellung ist die Grundlage für die Aufstellung des Untersuchungsprogramms.



Die praktischen Untersuchungen sollten im Regelfall in mehreren Phasen erfolgen. Anhand des Erkenntniszugewinns aus den ersten Phasen wird das Programm für die weiteren Phasen angepasst. Leider wird die phasenweise Erkundung oft einem nicht nachvollziehbaren Zeitdruck geopfert, der sich häufig aus den Finanzierungsprogrammen für die Untersuchungen oder anstehenden verwaltungstechnischen Entscheidungen ergibt.

Insbesondere anfangs kann es sinnvoll sein, auf hochwertige Aufschlussverfahren zurückzugreifen (Schürfe, Liner-Bohrungen, Direct-Push), die sehr viel genauere Informationen z.B. über Schichtgrenzen, Feinschichtungen, Klüftigkeiten oder Fremdbestandteile im Boden zulassen als die klassischen Rammkernsondierungen, Schappen- oder Spülbohrungen. Auch hier gilt, dass die anfangs höheren Kosten zu deutlichen Einsparungen bei den folgenden Untersuchungsschritten führen können.

In Festgesteinbereichen wird die Quellerkundung oft nur auf bestimmte Tiefen begrenzt. Häufig wird die Erkundung auf das Lockergestein und den oberflächennahen Bereich des Festgesteins begrenzt. Dieses Vorgehen birgt für eine spätere Sanierung in Bezug auf den Grundwasserschaden große Gefahren. Nicht erkannte Schadstoffquellen im Festgestein können dazu führen, dass eine Quellsanierung im Lockergestein (zunächst) nicht die gewünschten Effekte hat.

4.1.2 Fahnen erkundung

4.1.2.1 Empfehlungen für die Fahnen erkundung

Im Rahmen der Gefährdungsabschätzung für das Grundwasser ist zusätzlich zu der Eintragsprognose zu untersuchen, ob durch die zu beurteilende Fläche bereits eine Grundwasserverunreinigung hervorgerufen wird [3]. Ist dies der Fall, so sind im Weiteren die Lage und Ausdehnung sowie die Konzentrationsverteilung innerhalb der Verunreinigung ("Fahne") festzustellen (gegenwärtige Schadstoffausbreitung). Wie bei der Betrachtung des Stoffeintrags ist auch bei einer bereits eingetretenen Grundwasserverunreinigung die Entwicklung der Schadstoffausbreitung in überschaubarer Zukunft abzuschätzen. Hinweise zur Fahnen erkundung finden sich z.B. in [6] und [7].

Eine zielgerichtete Erkundung der Schadstofffahne im Grundwasser kann in der Regel erst dann erfolgen, wenn die Schadstoffquelle hinreichend erkundet ist. Wie die Quellerkundung sollte auch diese phasenweise erfolgen. Im ersten Schritt gilt es, die Fließrichtungen in dem oder den maßgeblichen Grundwasserleitern sowie die Schadstoffkonzentrationen am unmittelbaren abstromigen Rand der Schadstoffquelle zu erfassen.

Die Erkundung der Schadstofffahne sollte nicht nur anhand der Konzentrationen, sondern auch anhand der Frachten erfolgen. Um diese der Höhe und der räumlichen Entwicklung nach abschätzen zu können, ist die Anordnung von Grundwassermessstellen in zwei bis drei Bilanzebenen quer zur Schadstofffahne erforderlich (1 im unmittelbaren Abstrom der Quelle, 1 im zentralen Bereich der Fahne ohne Phase, 1 im Bereich der Fahnen spitze, s.a. Abb. 11 u. [7]). Dieser Empfehlung wird in der Praxis (noch) sehr selten nachgekommen.

Ferner ist u. U. eine teufenorientierte Erkundung erforderlich, die die Lithographie und die verschiedenen Redoxzonen mit jeweils einem Ausbauhorizont berücksichtigt (z.B. mittels kurzer Filterstrecke oder Packer (Unterwasserpumpe), Multilevelsystem oder Direct-Push) [7].

Um die (kostenintensiven) Grundwassermessstellen optimal positionieren zu können, bieten sich im Einzelfall Voruntersuchungen mittels Grundwassersondierungen und/oder Direkt-Push-Sondierungen an.

4.1.2.2 Fallbeispiel Fahnerkundung

Anhand des Fallbeispiels 3 (s. Abschn. 3) soll nachfolgend verdeutlicht werden, wie eine Fahnerkundung in der Praxis aussehen kann und wie die gewonnenen Ergebnisse ausgewertet werden können.

Bei diesem Fallbeispiel handelt es sich um einen heute innerstädtischen Standort, auf dem ehemals eine Dampfwascherei betrieben wurde. Anhand der Quellerkundung wurde ein Bereich zusammenhängender Bereich mit LHKW-Belastungen des Bodens bis mindestens 15 m u. GOK, d.h. bis in das Festgestein, ausgewiesen. In der Peripherie dieser Fläche traten noch punktuelle Belastungen auf (Abb. 12).

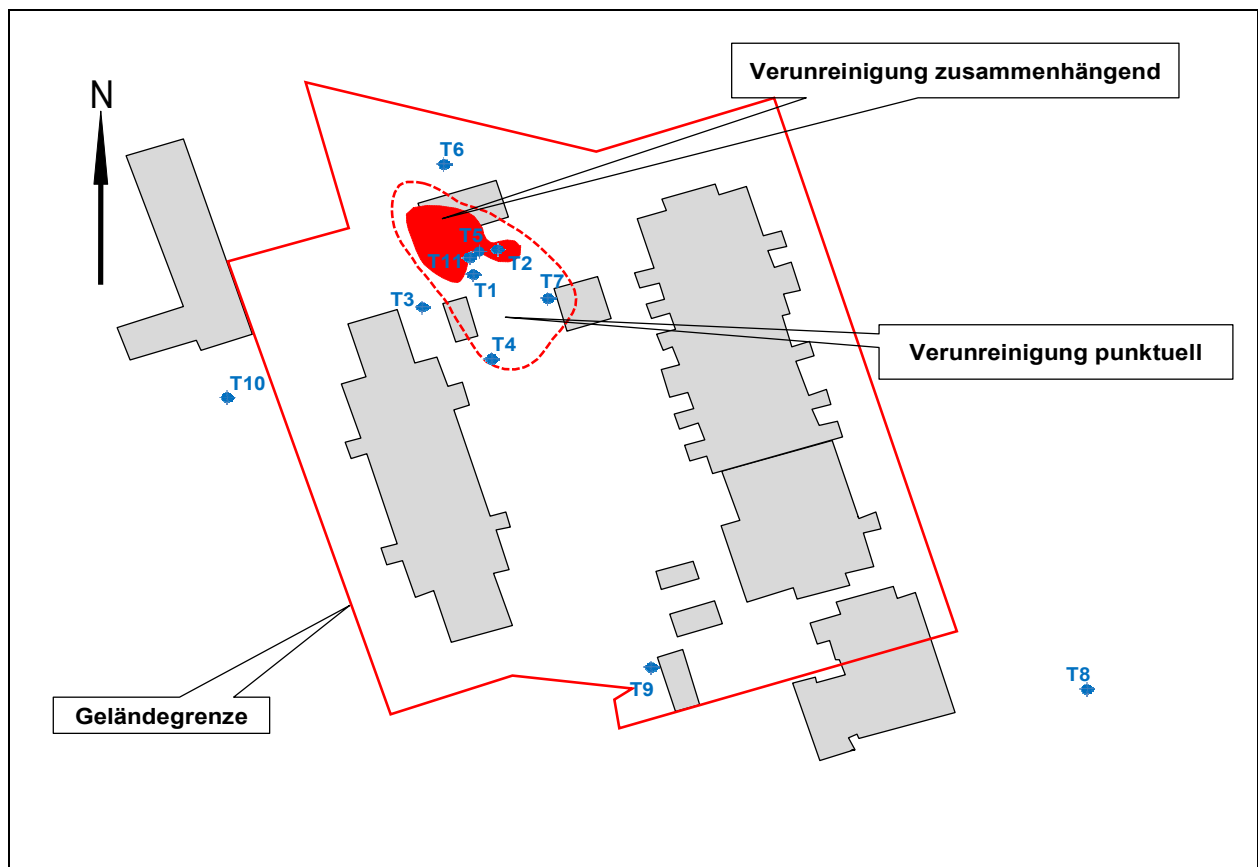


Abb. 11: Ausdehnung der Bodenbelastungen und der Quellsanierung im Fallbeispiel 3

Die Errichtung von Grundwassermessstellen war aufgrund der engständigen Bebauung mit Wohnhäusern nur eingeschränkt möglich. Zugänglich waren nur der Hauptbelastungsbereich sowie der weitere Abstrom. In Abbildung 12 ist die Belastungssituation des Grundwassers im Festgestein mit LHKW zu Beginn der Erkundung dargestellt. Hier hatte sich ein ca. 40 bis 50 m breite und 1.000 m lange Fahne ausgebildet. Bis zum Beginn der Sanierung, die erst ca. 4 Jahre später stattfand, hatte sich die Fahne weiter ausgebreitet (Abb. 13). Die Deckschichten des Grundgebirges führen nur sporadisch Wasser und wurden daher nicht weiter betrachtet.

Die Sanierung erfolgte zunächst durch Bodenaustausch im Hauptbelastungsbereich bis in 16 m Tiefe (Abb. 14). Im überbauten Randbereich mussten Kontaminationen im Untergrund verbleiben. Im Bodenaustauschbereich wurde ein Brunnen errichtet, über den die verbliebenen Restbelastungen soweit wie möglich aus dem Boden und dem Grundwasser entfernt werden sollen. Diese Maßnahme läuft seit fünf Jahren.

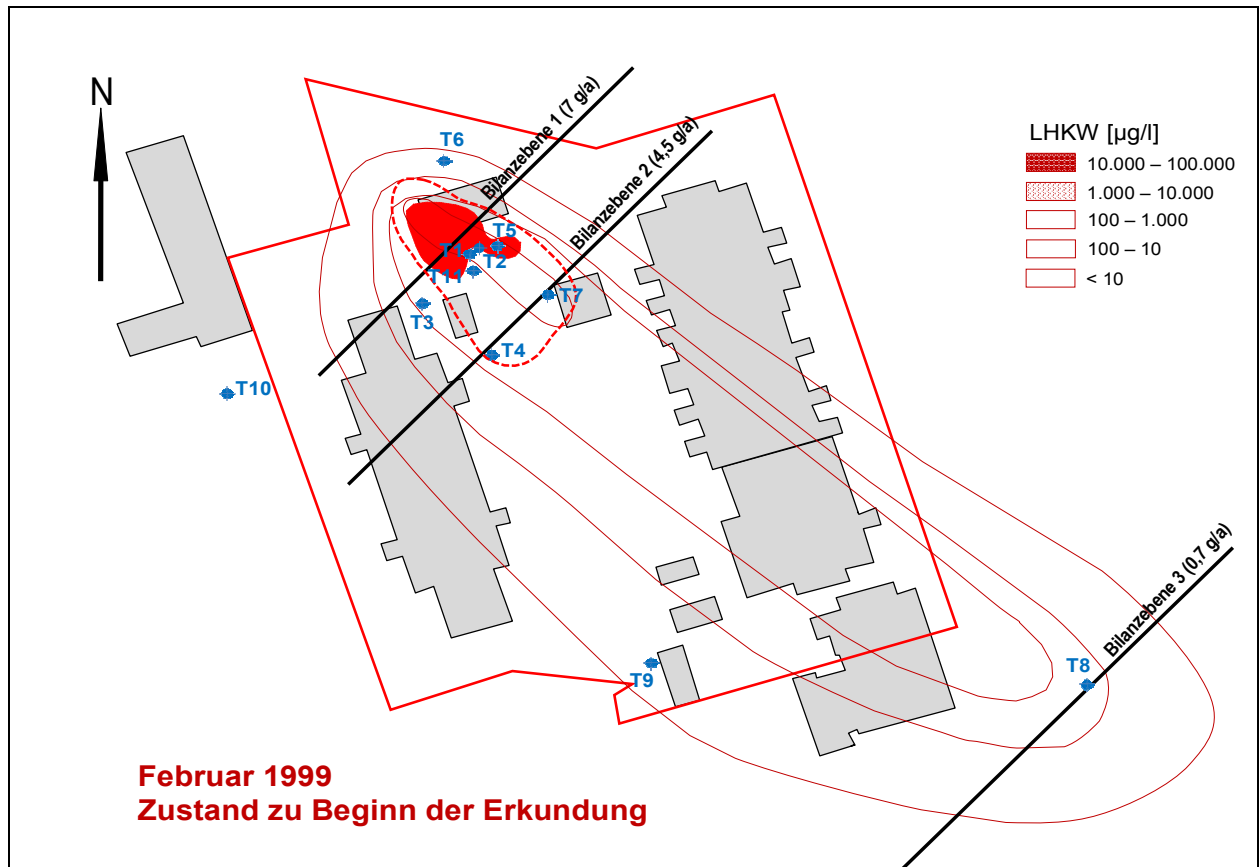


Abb. 12: Ausdehnung der Grundwasserbelastungen zu Beginn der Erkundung im Fallbeispiel 3

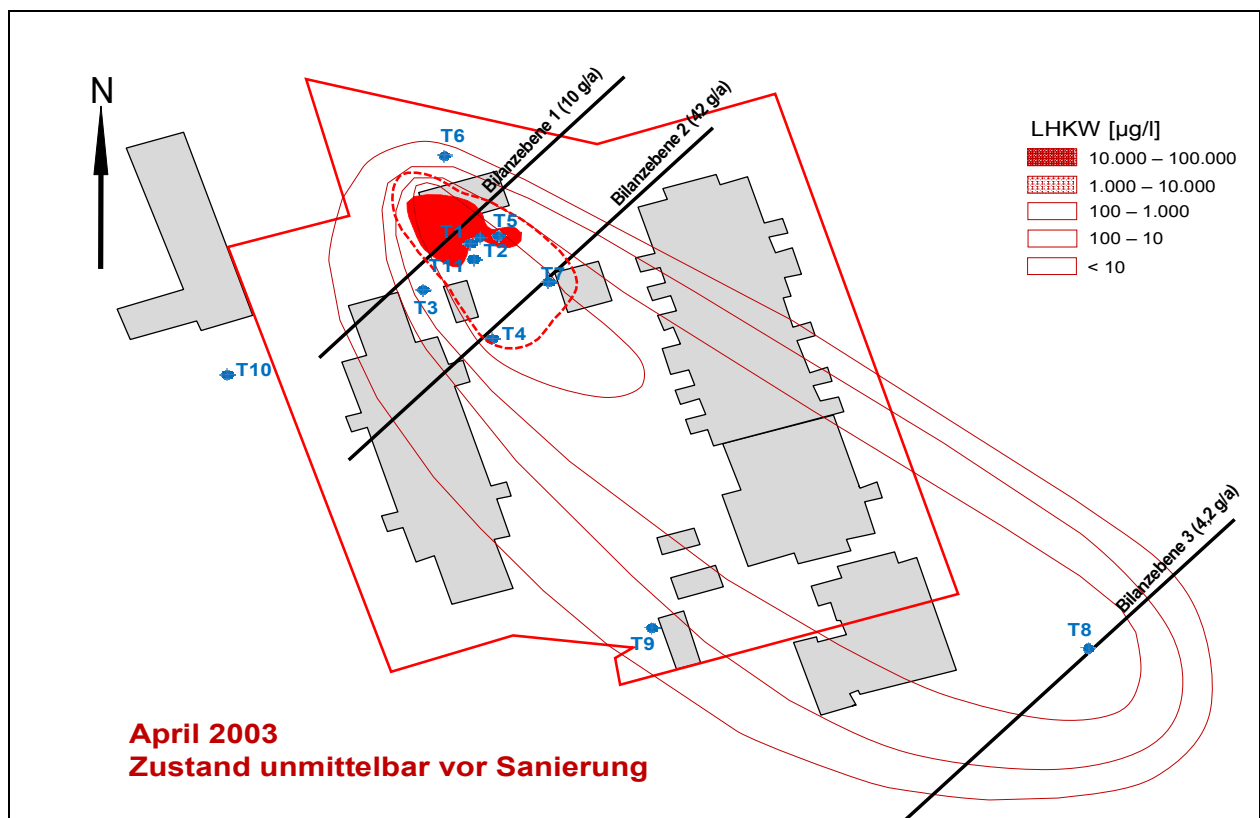


Abb. 13: Ausdehnung der Grundwasserbelastungen zu Beginn der Sanierung im Fallbeispiel 3

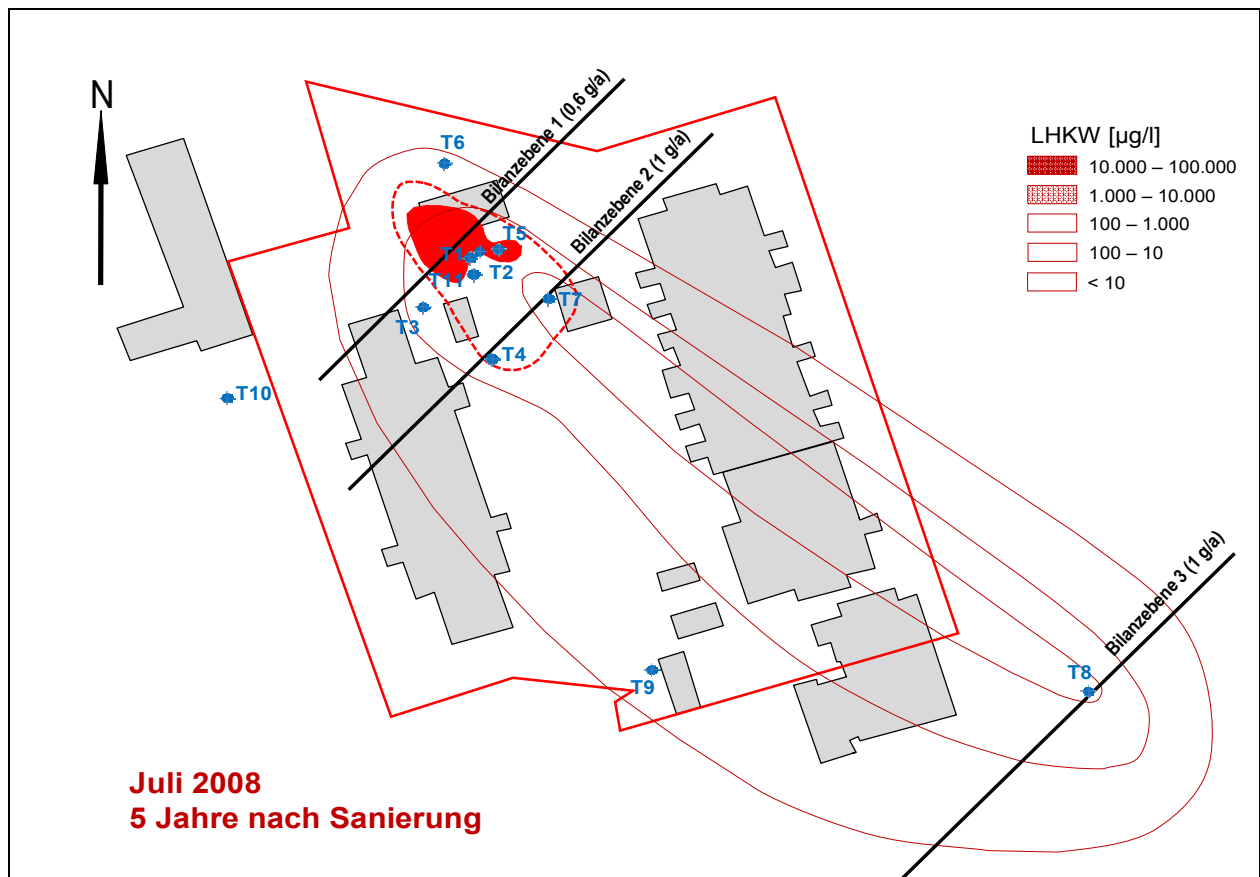


Abb. 14: Ausdehnung der Grundwasserbelastungen 5 Jahre nach Beginn der Sanierung im Fallbeispiel 3

Die bestehenden Messstellen erlauben trotz nicht ganz optimaler Platzierung die Kontrolle des Sanierungserfolges anhand von Frachtenbetrachtungen in mehreren Bilanzebenen (Abb. 12 bis 14). Die erste Bilanzebene liegt im ehemaligen Zentrum der Bodenbelastungen, die zweite am abstromigen Rand dieses Bereiches. Eine dritte Ebene ungefähr am Ende der Fahne betrachtet. Die Frachten, die überschlägig aus den gemittelten Belastungen aller Messstellen in einer Bilanzebene berechnet worden sind, gehen aus Tabelle 2 hervor und sind graphisch in Abbildung 15 aufgetragen.

Tab. 2: Schadstofffrachten in verschiedenen Bilanzebenen und zu verschiedenen Zeitpunkten während der Sanierung im Fallbeispiel 3

Frachten	Feb 1999	Apr 2003	Juli 2008
Bilanzebene 1	7	10	0,6
Bilanzebene 2	4,5	42	1
Bilanzebene 3	0,7	4,2	1

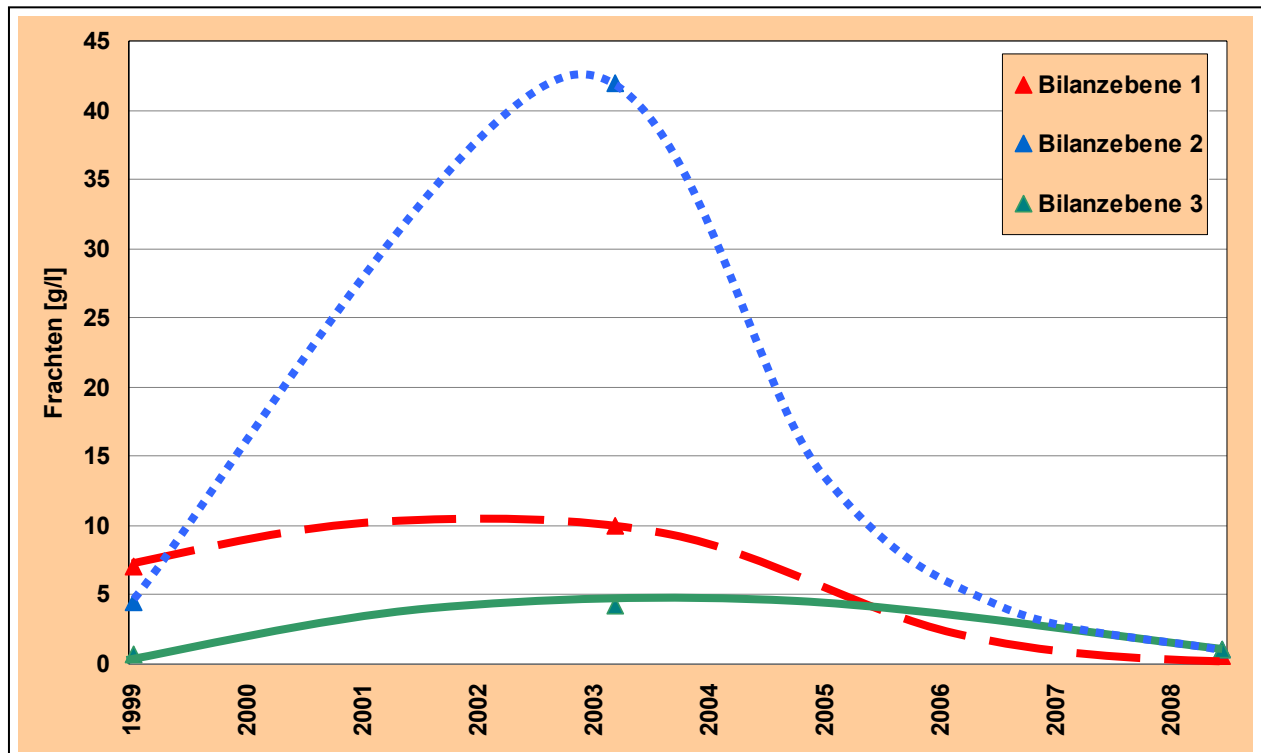


Abb. 15: Entwicklung der Schadstofffrachten in verschiedenen Bilanzebenen während der Sanierung im Fallbeispiel 3

Es wird ersichtlich, dass anfänglich, d.h. zu Beginn der Untersuchungen die höchsten Belastungen des Grundwassers innerhalb des Schadenszentrums vorlagen. Bis kurz vor Beginn der Sanierung waren eine starker Anstieg und eine Verlagerung in Abstromrichtung, d.h. an den abstromigen Rand des Hauptbelastungsbereiches erfolgt. Nach fünf Jahren Sanierungsdauer sanken die Schadstofffrachten in allen Bilanzebenen deutlich ab. Nur in der Bilanzebene 3 ist die Belastung derzeit höher als zu Beginn der Untersuchungen. Daraus ist abzulesen, dass sich die Schadstoffe mit dem Abstrom verlagert haben. Das ehemalige Schadenszentrum ist weitgehend abgereinigt. Der Schwerpunkt der Belastungen liegt jetzt wenige 10er Meter weiter im Abstrom. Die in ca. 1.000 m Entfernung zu ehemaligen Schadensherd gelösten vorliegenden Belastungen können durch die Grundwasserhaltung im ehemaligen Schadenszentrum nicht erfasst werden. Bei der gegebenen Abstandsgeschwindigkeit von ca. 40 m/a ist davon auszugehen, dass die Belastungen hier noch über einen längeren Zeitraum im jetzigen Niveau verharren.

4.2 Hinweise zur Sanierungszielfestlegung

Bei Betrachtung der Auswirkungen der durchgeführten Maßnahmen zur Quellsanierung liegt der Schluss nahe, dass nur in zwei der betrachteten fünf Fallbeispiele die Quellsanierung zu einer Verbesserung der Grundwassersituation geführt hat und damit sinnvoll war. Eine solche Betrachtung wäre allerdings als zu vordergründig einzustufen und wird dem Sachverhalt nicht ausreichend gerecht. Die Bewertung, ob und in welchem Ausmaß sich ein Sanierungserfolg eingestellt hat oder nicht, ist abhängig davon, welche Sanierungsziele gesteckt wurden.

Der Festlegung der Sanierungsziele - auch das hat die vorliegende und die zuvor schon durchgeführten Fallauswertung ergeben - wird in der Praxis meist nur eine geringe Bedeutung



beigemessen. Meist werden erst im Rahmen der Sanierungsuntersuchung Vorschläge durch den Gutachter des Sanierungspflichtigen unterbreitet, wobei oft nicht zwischen vorläufigen und endgültigen Sanierungszielen unterschieden wird. Eine kritische Diskussion der gutachterlichen Vorschläge und deren Korrektur durch die dafür zuständige Behörde unterbleiben.

Ohne eine detaillierte Vorgabe der Sanierungsziele kann jedoch streng genommen keine qualifizierte Sanierungsuntersuchung (gemäß [8]) und keine Bewertung der möglichen Sanierungsszenarien erfolgen, zumindest gerät diese schnell in eine Schiefelage.

Bei der Festlegung von Sanierungszielen für den Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser ist zwischen der Sanierung der Schadstoffquelle und der Sanierung des Grundwasserschadens zu unterscheiden. Die Festlegung der Sanierungsziele im Falle eines eingetretenen Grundwasserschadens stellt einen iterativen Prozess dar. Es ist grundsätzlich zweckmäßig, zuerst die Verhältnismäßigkeit der Beseitigung oder Reduzierung der Schadstoffquelle zu überprüfen, da sich in Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Betrachtung die Ableitung der Sanierungsziele für das kontaminierte Grundwasser ändern kann. Erst im Anschluss ist standortspezifisch u.a. in Abhängigkeit von den Aufwendungen für die Dekontamination die Frage nach den Sanierungszielen für das Grundwasser zu beantworten.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Festlegung der Sanierungsziele ist der Erhalt bzw. die Wiederherstellung der Nutzungsmöglichkeiten des Standortes. Bei jeder Sanierung stellt sich die Frage, ob nur die aktuelle oder auch zukünftig andere Nutzungsmöglichkeiten gewährleistet werden sollen. Die geplanten Nutzungsmöglichkeiten müssen bei Abfassung der Sanierungsziele ausreichend durchdacht sein, um zu vermeiden, dass sich bei einer Nutzungsänderung ggf. erneut ein Sanierungsbedarf ergibt.

Verbleibende Teilquellen können z.B. langfristig betrachtet zu erheblichen Nutzungsbeeinträchtigungen führen und /oder stigmatisierend auf potenzielle Investoren wirken (vgl. a. [9]). Auch wenn eine Quellsanierung aus Gefahrenabwehrgründen nicht zwingend erforderlich ist, kann sie dennoch für alle Beteiligten vorteilhaft und empfehlenswert sein. Die Mehraufwendungen sind dem steigenden Nutzen gegenüberzustellen.

Das Ziel, möglichst vielfältige Nutzungsmöglichkeiten zu erhalten bzw. wieder herzustellen, entspricht im Grunde der Forderung nach einer möglichst großen Nachhaltigkeit einer Sanierung. Im allgemeinen Verständnis setzt sich der Begriff der Nachhaltigkeit aus drei Komponenten zusammen:

- Die **ökologische Nachhaltigkeit** umschreibt die Zieldimension, Natur und Umwelt für die nachfolgenden Generationen zu erhalten. Dies umfasst u.a. generell einen schonenden Umgang mit der natürlichen Umgebung.
- Die **ökonomische Nachhaltigkeit** fordert, dass die Wirtschaftsweise so angelegt ist, dass sie dauerhaft eine tragfähige Grundlage für Erwerb und Wohlstand bietet.
- Unter **sozialer Nachhaltigkeit** wird in der Regel das Verbot verstanden, in der Gegenwart irreversible Veränderungen an der Welt vorzunehmen, die von zukünftigen Generationen nicht gewollt werden könnten (Generationengerechtigkeit).

Auch wenn der Begriff Nachhaltigkeit nach seinem etymologischen Ursprung auf lebende bzw. regenerierbare Ressourcen abhebt, wird er auch auf den Umgang mit Boden angewendet. Auch Boden kann regeneriert werden. Dies ist Gegenstand einer Herdsanierung. Jeder Entscheidung über das Erfordernis einer Herdsanierung birgt somit auch die Prüfung der Nachhaltigkeit des Sanierungskonzeptes.



4.3 Hinweise zur Verhältnismäßigkeitsabwägung

Die Erreichung der Sanierungsziele ist im Grunde das wichtigste Kriterium bei Verhältnismäßigkeitsabwägung der zuständigen Behörde. Bei der Verhältnismäßigkeitsabwägung ist zu prüfen, ob die Sanierungsmaßnahmen:

- geeignet
- erforderlich und
- angemessen, d.h. verhältnismäßig im engeren Sinne sind.

Unabhängig vom Wirkungspfad spielt bei der Festlegung von Sanierungszielen immer der Zeitfaktor eine wesentliche Rolle, was anhand der nachfolgenden Erläuterungen zu den drei einzelnen Aspekten der Verhältnismäßigkeitsabwägung verdeutlicht werden soll.

Geeignetheit

Eine Maßnahme ist als geeignet einzustufen, wenn das mit ihr verfolgte Ziel erreicht oder gefördert wird.

Wird das Sanierungsziel so definiert, dass möglichst kurzfristig eine möglichst große Abnahme der Schadstofffreisetzung aus der Quelle und damit der Grundwasserbelastungen erzielt werden soll, so ist eine Herdsanierung im Einzelfall womöglich als gering oder nicht geeignet einzustufen. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn nur ein Teil der Schadstoffquelle saniert werden kann oder sich im Abstrom bereits größere Sekundärquellen gebildet haben.

Steht bei einer Sanierung aber die Langzeitwirkung im Vordergrund, sind Herdsanierungen in der Regel in Bezug auf ihre Eignung positiv zu beurteilen. Durch eine (partielle) Herdsanierung wird die Gesamtmasse an Schadstoffen im Untergrund verringert. In der Folge verringern sich die in das Grundwasser freigesetzte Schadstofffracht und/oder die Dauer dieser Freisetzung. In welchem Verhältnis sich Ausmaß und Dauer der Schadstofffreisetzung reduzieren, ist allerdings von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig (z.B. Schadstoffart, Schadstoffverteilung, geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen, hydrologischer Situation) und kann oft nicht zuverlässig prognostiziert werden. Sicher ist aber, dass durch das ganz oder teilweise Entfernen der Schadstoffe aus dem Untergrund eine deutliche Verbesserung der Situation eintritt - wenn nicht direkt, so doch zumindest mittel- bis langfristig. Eine Prognose, dass sich diese Besserung in überschaubaren Zeiträumen ggf. nicht nachweisen lässt, stellt die Eignung einer Herdsanierung nicht generell in Frage. Sie darf nicht allein ausschlaggebend dafür sein, auf eine Herdsanierung zu verzichten.

Unter diesem Aspekt ist der Begriff "in überschaubarer Zukunft" zu überdenken. Im Zusammenhang mit der Frage nach der Fortdauer einer Belastung wird dem Begriff oft ein Zeitraum von 1 - 2 Generationen zugeordnet. Dies reicht hier ggf. nicht aus, auch längere Zeiträume müssen betrachtet werden, auch wenn sich der tatsächliche Verlauf von Konzentrationsentwicklungen in Abhängigkeit der Sanierungsmaßnahmen nicht sicher einschätzen lässt.

Gerade in innerstädtischen Bereichen ist es aufgrund der Bebauungssituation oft nicht möglich, mit verfügbaren oder zumutbaren finanziellen Mittel eine Schadstoffquelle vollständig zu entfernen. Herdsanierungen können vielfach nur in Baulücken mit vertretbarem Aufwand erfolgen. Die unterhalb noch bestehender Gebäude vorhandenen Belastungen müssen bis zu deren Rückbau im Untergrund verbleiben. Auch wenn eine Quellsanierung nur schrittweise erfolgen kann ("Patch-work-Sanierung") und damit lange Sanierungszeiträume in Anspruch nimmt, kann sie im Einzelfall fachlich als geeignetes Mittel anzusehen sein.



Erforderlichkeit

Eine Maßnahme ist erforderlich, wenn kein anderes, ebenso wirksames, aber den Sanierungspflichtigen weniger belastendes (milderes) Mittel gewählt werden kann.

Bei der Bewertung der Erforderlichkeit wirkt sich der Zeitfaktor gegenüber der Bewertung der Geeignetheit umgekehrt aus. Wird das Sanierungsziel so definiert, dass auch eine langfristige Verbesserung der Grundwassersituation tragbar ist, ist eine Herdsanierung u. U. nicht erforderlich. Soll aber möglichst kurzfristig eine möglichst deutliche Besserung der Situation bewirkt werden, dann gibt es in vielen Fällen kein anderes, ebenso wirksames Mittel; die Herdsanierung wäre dann erforderlich. Das gilt insbesondere für die Fälle, bei denen der Großteil der Schadstoffquelle zugänglich ist.

Angemessenheit

Für die Bewertung der Angemessenheit (Verhältnismäßigkeit im engeren Sinne) ist eine Abwägung zwischen der Schwere des Eingriffs und dem Gewicht und der Dringlichkeit der diesen Eingriff rechtfertigenden Gründe oder der mit diesem Eingriff verfolgten Ziele erforderlich. Die Kosten oder alle sonstigen mit einer Sanierungsmaßnahme verbundenen Folgen dürfen den Sanierungspflichtigen im Verhältnis zu dem damit zu erreichenden Rechtsgüterschutz nicht unangemessen belasten.

Auch hier spielt wieder der zeitliche Aspekt eine Rolle. Oft werden Entscheidungen zuungunsten von Dekontaminationsverfahren und zugunsten von Sicherungsverfahren getroffen, weil letztere kurzfristig nur geringe Investitionskosten verlangen. Damit findet jedoch eine Problemverlagerung in die Zukunft statt. Die Belastungen im Quellbereich und damit ein ggf. weiteres Sanierungserfordernis (z.B. bei einer Neunutzung) bleiben erhalten.

5 Fazit

Die durchgeführten Fallrecherchen haben gezeigt, dass die mit den verfügbaren Mitteln erhobenen Daten nicht ausreichend waren, alle gesteckten Ziele zu erreichen. So bieten die Daten z.B. keine ausreichende Grundlage zur Klärung der Abhängigkeiten zwischen der entfernten Schadstoffmasse und dem verbleibenden Schadstoffaustrag aus der Quelle bzw. der Reduzierung von Fahnenlänge und Emissionszeit. Auch bleiben Fragen nach dem Einfluss der "Architektur" der Quelle auf das Emissionsverhalten weitgehend unbeantwortet. Es ist festzustellen, dass die Erkundungen im Vorfeld, während und nach der Sanierung, die Basis für die Beantwortung derartiger Fragen sind, in der Praxis oftmals nicht optimal umgesetzt werden können. Anhand der diesbezüglich gewonnenen Erkenntnisse werden Empfehlungen für eine zielgerichtete Quell- und Fahnen erkundung abgeleitet.

Die Beantwortung der Frage, ob eine Quellsanierung im Einzelfall effektiv und sinnvoll war oder sein kann, hängt von den festgesetzten bzw. festzusetzenden Sanierungszielen ab. Wird ausschließlich der Rückgang der Schadstoffkonzentrationen in den relevanten Grundwassermessstellen innerhalb weniger Jahre als Bewertungskriterium herangezogen, war die Quellsanierung nur in zwei der betrachteten fünf Fallbeispiele erfolgreich. Wird jedoch auch das Kriterium der Nachhaltigkeit in die Bewertung einbezogen, sind u.U. auch auf den ersten Blick uneffektiven Herdsanierungen durchaus als erfolgreich einzustufen.



6 Literatur

- [1] BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG – BBODSCHV. Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999 Teil I Nr. 36, ausgegeben zu Bonn am 16. Juli 1999, Seite 1533-1582
- [2] Bund-/Länder Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), Unterausschuss des Ständigen Ausschusses "Altlasten" (ALA) (2002): Arbeitshilfe für Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung.- Eigenverlag, s. http://www.lanuv.nrw.de/altlast/ah_altlasten.htm
- [3] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen LUA NRW (2003): Vollzugshilfe zur Gefährdungsabschätzung "Boden-Grundwasser".- Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 17
- [4] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), Ständiger Ausschuss Altlastenausschuss - ALA, Ad-hoc Unterausschuss "Natural Attenuation" (2005): Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung - Positionspapier.- Eigenverlag, s. http://www.labo-deutschland.de/pdf/Positionspapier_Version_01062005b.pdf
- [5] Wabbels, D., Teutsch, G. (2008): Methoden, Empfehlungen und Hinweise zur Untersuchung und Beurteilung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse (NA-Prozesse) bei mineralölkontaminierten Standorten.- Themenverbund 1 (TV 1) "Raffinerien, Tanklager, Kraftstoffe/Mineralöl, MTBE" im BMBF-Förderschwerpunkt "Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden" (KORA), Entwurf Stand 1/08
- [6] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen LUA NRW (2006): Grundwasseruntersuchungen an Altlasten im Lockergestein.- Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 25
- [7] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2008): Untersuchungsstrategie Grundwasser - Leitfaden bei Untersuchungen zu belasteten Standorten.- Altlasten und Grundwasserschadensfälle 42, s. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6641/>
- [8] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen LUA NRW (2000): Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzen-Kosten-Aspekten.- Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 11
- [9] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2008): Wertermittlung von kontaminierten Flächen im Spannungsfeld der Bauleitplanung .- Altlasten und Grundwasserschadensfälle 41, s. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6641/>