

**Kurzdarstellung der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie
"Grundwassersanierung für den Altstandort ehemalige Carbonit AG
in Leverkusen-Schlebusch (Waldsiedlung)**

1. Allgemeines

In Leverkusen-Schlebusch betrieb die ehemalige Carbonit AG im Bereich der heutigen Waldsiedlung zwischen 1887 und 1926 eine Fabrik zur Herstellung ziviler und militärischer Sprengstoffe. Darüber hinaus wurde ab 1916 (vor allem in den Nachkriegsjahren 1919/1920) auf dem Betriebsgelände in großem Umfang Munition delaboriert.

Die langjährige industriellen Nutzung im Bereich und engeren Umfeld der ehemaligen Produktionseinrichtungen zu Bodenverunreinigungen mit sprengstofftypischen Verbindungen [Dinitrotoluol (DNT) und Trinitrotoluol (TNT) mit ihren Abbau- und Umwandlungsprodukten], polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) sowie Blei, Arsen und Quecksilber.

Umfangreiche Grundwasseruntersuchungen zeigen zudem eine weiträumige Grundwasserverunreinigung mit sprengstofftypischen Verbindungen (nachfolgend Nitroaromaten). In Übereinstimmung mit den Befunden der Bodenuntersuchungen treten als Hauptkontaminanten des Grundwassers die Einzelparameter Trinitrotoluol (insbesondere 2,4,6-TNT) und Dinitrotoluol (insbesondere 2,4-DNT und 2,6-DNT) sowie untergeordnet die Abbauprodukte des TNT, die Amino-Dinitrotoluole (2-A-4,6-DNT und 4-A-2,6-DNT) auf.

Die auf Grundlage der Untersuchungsbefunde ausgewiesene Belastungsfahne verläuft ausgehend von dem Bereich und engeren Umfeld ehemaliger Produktionsanlagen entsprechend der Grundwasserfließrichtung vornehmlich in südwestliche Richtung und reicht bis auf das Kölner Stadtgebiet. Neben der weiträumigen Grundwasserverunreinigung durch Nitroaromaten wurden im Bereich der Waldsiedlung lokal erhöhte Gehalte an Ammonium, Arsen, Blei und Nickel festgestellt.

Im Nachgang der Untersuchungen wurden im Auftrag der Stadt Leverkusen im Zeitraum 1998 bis 2001 54 als belastet ausgewiesene Grundstücke mittels Bodenaustausch saniert. Darüber hinaus wurden auf weiteren drei Grundstücken Maßnahmen zur Gefahrenabwehr seitens der Grundstückseigentümer durchgeführt.

Nach Abschluss der von der Stadt Leverkusen veranlassten Bodensanierungsmaßnahmen wurde im Rahmen einer von der Dr. Tillmanns & Partner GmbH im Auftrag der Stadt Leverkusen im Jahr 2006 erstellten Machbarkeitsstudie untersucht, ob und wie unter technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine Sanierung der im Untersuchungsgebiet nachgewiesenen Grundwasserverunreinigungen möglich ist.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden die unter Berücksichtigung der standort-spezifischen Randbedingungen (Haupt- und Nebenkontaminanten, hydrogeologische und hydrochemische Verhältnisse, Nutzungsstruktur und Platzverhältnisse etc.) prinzipiell zur Sanierung von mit Nitroaromaten verunreinigten Wässern zur Verfügung stehenden Dekontaminationsverfahren sehr detailliert auf deren verfahrensspezifische Eignung geprüft.

Die detaillierte Eignungsprüfung der grundsätzlich einsetzbaren Sanierungsverfahren ergab, dass eine Grundwassersanierung im Bereich der Waldsiedlung prinzipiell möglich ist. Als das unter den vorliegenden standortspezifischen Randbedingungen sowie insbesondere unter Berücksichtigung der anfallenden Invest- und Betriebskosten **geeignetste** Verfahren wurde die Grundwasserfassung über Horizontalfilterbrunnen mittels „Heber-Reaktor“ – Verfahren in Kombination mit einer ex-situ-Abreinigung der geförderten Wässer durch Oxidation herausgearbeitet.

Der Verunreinigungsbereich wurde in zwei Sanierungszonen gegliedert, an deren westlicher Grenze jeweils ein Horizontalfilterbrunnen zur vollständigen Fassung der verunreinigten Grundwässer installiert werden soll.

Im Hinblick auf die technische Durchführbarkeit des „Heber-Reaktor“ –Verfahrens erfolgten weitere Untersuchungen insbesondere zur Erkundung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der geplanten Horizontalfilterbrunnen im Rahmen einer Sanierungs-Detailplanung im Auftrag der Stadt Leverkusen durch das Ingenieurbüro Dr. Tillmanns & Partner GmbH in 50126 Bergheim.

Die anlässlich der Detailplanung durchgeführten Untersuchungen im Bereich der geplanten Horizontalfilterbrunnentrassen bestätigten die Befunde der vorhergehenden Untersuchungen, so dass weiter von einer technisch machbaren Realisierung der oben beschriebenen Sanierungsmaßnahme entsprechend der Machbarkeitsstudie auszugehen ist.

2. Hydrogeologische Situation im 1. Grundwasserstockwerk

Über der als gering durchlässig einzustufenden devonischen Verwitterungszone ist innerhalb der als durchlässig zu bezeichnenden pleistozänen Lockersedimente (Dünensande, Fließerden und Mittelterrassensedimente) ein geringmächtiger Porengrundwasserleiter ausgebildet. Die hydrogeologische Situation des 1. Grundwasserstockwerkes ist dabei generell durch die unterschiedlichen Durchlässigkeiten der pleistozänen Lockersedimente sowie die Morphologie des devonischen Untergrundes gekennzeichnet.

Der Grundwasserflurabstand beträgt unter Berücksichtigung niederschlagsbedingter, jahreszeitlicher Schwankungen und der Morphologie des Untergrundes im Bereich des engeren Untersuchungsgebietes zwischen 1,5 m im Nordosten und 10,0-13,0 m im Südwesten (Mülheimer-/Berliner Straße).

Die Grundwasserfließrichtung ist zu allen Untersuchungszeitpunkten nach Westen bis Westsüdwesten in Richtung des Vorfluters Rhein bzw. die in Rheinnähe liegenden Wassergewinnungsanlagen der BAYER AG ausgerichtet.

Nachfolgende Grundwasserstände wurden in den einzelnen Untersuchungen festgestellt:

	Beethovenstr. (Anstrom)	Mülheimer Str. Abstrom GWMS 229
12/1993	67,0	50,0
01/1994	68,0	48,5
05/2004	67,0	48,5
11/2004	68,0	48,5
04/2005	68,0	49,0
04/2009	68,0	49,0
09/2010	65,5	48,5

Die wassererfüllte Mächtigkeit des Aquifers zeigt unbeschadet der oben angegebenen, relativ konstanten Grundwasserstände deutliche raumzeitliche Schwankungen. Die **zeitlichen** Schwankungen sind niederschlagsbedingt. Die **räumlichen** Schwankungen sind auf die Reliefierung der Aquiferbasis zurückzuführen. Die Grundwassermächtigkeiten liegen in Abhängigkeit von der morphologischen Position und den jahreszeitlich bedingten Niederschlägen zwischen wenigen Dezimetern und ca. 3-4 m. Lokal wurden zudem innerhalb des Untersuchungsgebietes periodisch trocken fallende Bereiche (z.B. GWMS 180, 193 und 197) festgestellt.

Grundsätzlich ist im Bereich der Waldsiedlung wegen des relativ steilen Reliefs der grundwasserstauenden devonischen Verwitterungszone der Einfluss der jahreszeitlich bedingten Grundwasserschwankungen auf die o.g. generelle Fließrichtung sehr gering.

Das Wassereinzugsgebiet des 1. Grundwasserstockwerkes ist im Wesentlichen auf den Siedlungsbereich der Waldsiedlung beschränkt.

Mittels Pumpversuchen und Open-End-Tests wurde ein Gebiets- k_f -Wert von $1,25 \times 10^{-4}$ m/s ermittelt, so dass während der Sanierungsmaßnahme von einer kontinuierlichen Grundwasserförderung über die Horizontalförderbrunnen ausgegangen werden kann.

3. Kurzbeschreibung des geplanten Sanierungsverfahrens

Auf Grund der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie soll die Fassung des verunreinigten Grundwassers an der Aquiferbasis unmittelbar oberhalb des devonischen Stauers mittels Horizontalfilterbrunnen (DN 100) erfolgen.

Die in den Horizontalfilterbrunnen anfallenden Grundwässer werden jeweils zu einem Sammelschacht am Ende der Horizontalfilterbrunnen geleitet und von dort über Rohrleitungen zu einer Abreinigungsanlage geführt. Anschließend sollen die abgereinigten Wässer über Sickerbrunnen wieder dem Grundwasser zugeführt werden.

Die Sanierungsmaßnahme ist im sogenannten **Heber-Reaktor-Verfahren** ohne Einsatz von Pumpen geplant. Hierbei muss der Einleitpunkt des Wassers in den Untergrund tiefer liegen als der Hochpunkt am Beginn der Horizontalfilterbrunnen, um einen kontinuierlichen Wasserstrom aufrecht erhalten zu können. Beschränkt wird das Heber-Reaktor-Verfahren von der physikalisch maximal möglichen Wasserhebung von ca. 8 m.

An der **Ottweiler Straße** liegt die Basis am Ende des Horizontalfilterbrunnens (= Sammelschacht) bei etwa 6,7 m u. GOK. In diesem Bereich kann das Wasser innerhalb des Sammelschachtes so gehoben werden, dass die zur Sanierungsanlage führende Rohrleitung in offener Grabenbauweise frostsicher verlegt werden kann. Je nach Ausführung der Sanierungsanlage muss die Anlage ggf. z.T. abgesenkt werden, um das Heber-Reaktor-Verfahren beibehalten zu können.

Die Versickerung der abgereinigten Wässer soll über einen Sickerbrunnen erfolgen. Hierbei muss der Übergabepunkt Rohrleitung/Grundwasser tiefer liegen als der Tiefpunkt des Horizontalfilterbrunnens. Dies ist im Bereich der Ottweiler Straße ohne größere Baumaßnahmen realisierbar.

An der **Mülheimer Straße/Berliner Straße** liegt die Sohle des Horizontalfilterbrunnens am Endpunkt der Filterstrecke bei ca. 12,4 m u. GOK, so dass die Wässer im Heber-Reaktor-Verfahren bis auf maximal 4,5 m u. GOK gehoben werden können.

Von diesem Punkt aus muss eine Rohrleitung zur Sanierungsanlage geführt werden, die entsprechend mindestens 5 m unterhalb des Höhenniveaus der Mülheimer Straße positioniert werden muss, um das Heber-Reaktor-Verfahren durchführen zu können.

Als Standort der Sanierungsanlage bietet sich daher bei realistischer Betrachtung **ausschließlich** ein Standort innerhalb des auf Kölner Stadtgebiets liegenden Naturschutzgebietes Am Hornpottweg an, da dieses entsprechende Höhenniveaus aufweist, um ein funktionierendes Heber-Reaktor-Verfahren zu gewährleisten.

4. Vergleich möglicher Sanierungsvarianten

An dieser Stelle werden die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie zu diesem Kapitel stark verkürzt wiedergegeben.

Nachfolgende Sanierungsvarianten wurden in der Machbarkeitsstudie ausführlich diskutiert:

1. Grundwasserentnahme über Vertikalbrunnen
2. Grundwasserentnahme über Horizontalbrunnen.

zu 1.

Zur vollständigen Fassung der verunreinigten Grundwässer werden insgesamt 63 Vertikalbrunnen (DN 150) benötigt. Die Brunnen sind jeweils bis etwa 1 m in die devonische Verwitterungszone abzuteufen und als vollständige Brunnen auszubauen. Die Brunnen sind durch Leitungen untereinander und mit der ex-situ-Abreinigungsanlage zu verbinden. Zur Förderung der verunreinigten Grundwässer ist jeder Brunnen mit einer Tauchpumpe mit Niveausteuerng auszurüsten.

Die Kosten für die Grundwasserentnahme (= Fassung und Förderung) setzen sich aus den Investkosten für die Brunnenanlagen und den Betriebskosten der Grundwasserförderung zusammen. Die Betriebskosten umfassen die Überwachung der Brunnenanlagen, Betriebsmittel und Energie. Die durchschnittliche Pumpenlaufzeit wurde mit 5 Jahren in die Kostenrechnung eingerechnet.

Die Investkosten für die beiden Brunnengalerien wurden mit **336.250,- €** errechnet. Für den Rohrleitungsbau liegen die Kosten gemäß Machbarkeitsstudie bei **121.000,- €**. Die Planungskosten liegen bei ca. **30.000,- €**.

Die jährlichen Betriebskosten (Wartungs- und Instandhaltungskosten, Energiekosten für den Pumpenbetrieb) sind mit **153.270,- €** zu kalkulieren.

Zu 2.

Um eine vollständige Fassung der verunreinigten Grundwasser zu gewährleisten, sind Horizontalbrunnen in Längen von 310 m (Ottweiler Straße) bzw. ca. 500 m (Mülheimer Straße/Berliner Straße) zu errichten. Auf Grund der Randbedingungen (sehr viele Kreuzungspunkte mit Ver- und Entsorgungsleitungen, Kanälen, Wohnbebauung etc.) sind die Brunnen in grabenlosen Verfahren zu errichten.

Neben der Errichtung der Horizontalbrunnen ist an den Tiefpunkten der Horizontalbrunnen jeweils ein Sammelschacht zu errichten und an die Horizontalbrunnen anzuschließen. Von den Sammelschächten führen Leitungen zur ex-situ-Abreinigungsanlage. Die Leitung des Wassers aus den Sammelschächten zur Abreinigungsanlage kann zum einen mittels Pumpe (Pump and Treat) oder im Heber-Reaktor-Verfahren ohne Pumpe erfolgen.

Nachfolgend sind die Kosten für die Fassung des Wassers über Horizontalbrunnen und für die Weiterförderung der Wässer mittels Pump and Treat bzw. Heber-Reaktor-Verfahren zusammengestellt.

Investkosten:

- Einrichtung der Horizontalbrunnen einschl. Errichtung des Endschachtes:
429.600,- €
- Rohrleitungsbau (Zuleitungen zur Ex-situ-Anlage):

36.000,- €

Planungskosten:

60.000,- €

jährliche Betriebskosten einschl. der Energiekosten für Pump and Treat:

19.095,- €.

Um das Heber-Reaktor - Verfahren auch an der Mülheimer Straße / Berliner Straße anwenden zu können, sind zur Reduzierung der Höhendifferenz zwischen Grundwasseroberfläche und Dekontaminationsanlage (einschließlich aller Zu- und Ableitungen) prinzipiell 1. eine dezentrale Positionierung der ex-situ-Abreinigungsanlage in einem topographisch günstigeren Bereich (NSG Hornpottweg), 2. eine Unterflur-Errichtung der Dekontaminationsanlage oder 3. der Bau einer unmittelbar abstromig zur Brunnen-galerie verlaufenden Dichtwand zum Aufstau des Grundwassers denkbar.

Bei der standortspezifischen Nutzungsstruktur und der daraus resultierenden Vielzahl an querschlägig zum Straßenverlauf verlegten Ver- und Entsorgungsleitungen ist die Errichtung einer durchgehenden Dichtwand mit vertretbarem Aufwand nicht realisierbar. Darüber hinaus sind beim Einsatz von Dichtwänden hydraulische Auswirkungen, wie z.B. die Risiken von Umströmungen der Dichtwand und möglichen Schäden an der im unmittelbaren Umfeld vorhandenen Gebäudesubstanz, zu berücksichtigen. Der Einsatz von Dichtwänden wurde dementsprechend nicht empfohlen.

Grundsätzlich ist die Positionierung einer ex-situ-Abreinigungsanlage an topographisch günstigen Stellen (NSG Hornpottweg) der kostenintensiven Errichtung einer Unterflur-Abreinigungsanlage vorzuziehen. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass durch die dezentrale Einrichtung der ex-situ-Abreinigungsanlage in der Regel längere Rohrleitungen erforderlich werden. Die daraus resultierende Druckminderung (siehe oben) ist durch eine entsprechende Erhöhung der Potentialdifferenz auszugleichen.

Der Standort der ex-situ-Abreinigungsanlage wurde entsprechend so gewählt, dass die Höhendifferenz zwischen der Grundwasseroberfläche im Bereich der Grundwasserentnahme (Sammelschacht) und dem höchsten Punkt der ex-situ-Abreinigungsanlagen (ca. 3 m über GOK) jeweils unterhalb der maximal realisierbaren Höhendifferenz von 8,0 m liegt.

Wie bei den "Pump and Treat" - Verfahren setzen sich die Kosten der Grundwasserentnahme (= Fassung und Förderung) bei den "Heber-Reaktor" - Verfahren aus den

Investkosten für die Lieferung und Einrichtung der Brunnenanlagen zuzüglich den Betriebskosten während der laufenden Grundwasserförderung zusammen.

Folgende Kosten sind zu berücksichtigen:

Investkosten

- Einrichtung der Horizontalbrunnen einschl. Errichtung des Endschachtes:

424.100,- €

- Rohrleitungsbau (Zuleitungen zur Ex-situ-Anlage):

36.000,- €

Planungskosten:

60.000,- €

jährliche Betriebskosten einschl. der Energiekosten für Heber-Reaktor-Verfahren:

7.200,- €.

Für die Abreinigung der verunreinigten Grundwässer wurden folgende Verfahren eingehend miteinander verglichen:

- Aktivkohleadsorption
- Adsorption an RGS-Polymeren
- Extraktion mittels makroporöser Polymere (MPP)
- chemische Oxidation mittels Ozon/UV-Bestrahlung
- Chemische Reduktion mittels elementarem Eisen
- Biologischer Schadstoffabbau.

Aus diesen Verfahren zeigen ausschließlich die Adsorption an Aktivkohle sowie die chemische Oxidation mittels Ozon und UV-Bestrahlung gute Eigenschaften für einen effizienten Einsatz unter den standortspezifischen Verhältnissen. Abgesehen von der schadstoffspezifischen Eignung zeichnen sie sich in erster Linie durch den vergleichsweise fortgeschrittenen Entwicklungsstand und die positiven Erfahrungen aus der Sanierungspraxis aus.

Die Verfahren zur Adsorption an RGS-Polymeren sowie zur Extraktion mittels makroporöser Polymere befinden sich für den Bereich der Nitroaromaten noch im Stadium der Forschung und Entwicklung und können zum gegenwertigen Zeitpunkt somit **nicht** für einen Einsatz im vorliegenden Fall empfohlen werden. Die Verfahren zur chemischen Reduktion mittels elementarem Eisen sowie zum biologischen Schadstoffabbau können vor allem auf Grund der nur unvollständigen chemischen Reduktion bzw. bio-

logischen Mineralisation von Nitroaromaten und der dadurch generell erforderlichen Nachbehandlung der abzureinigenden Wässer gleichfalls nicht empfohlen werden.

Dementsprechend beschränken sich die nachfolgenden Ausführungen ausschließlich auf die Verfahren zur Adsorption an Aktivkohle sowie zur chemischen Oxidation mittels Ozon und UV-Bestrahlung.

Aktivkohleadsorption mit nachgeschalteter chemischer Oxidation

Bei einer Abreinigung mittels Aktivkohleadsorption mit nachgeschalteter chemischer Oxidation (Ozon und UV-Bestrahlung) ist für die Abreinigungsanlagen ein Flächenbedarf von jeweils ca. 50 m² zu veranschlagen.

Zwecks Enteisenung und Entmanganung werden die geförderten Grundwässer jeweils nach Passage eines Schlammabsetzbeckens zunächst über rückspülbare Kiesbettfilter geleitet.

Zur Adsorption der Nitroaromaten werden die verunreinigten Wässer nachfolgend über jeweils zwei in Reihe geschaltete Nass-Aktivkohle-Filter geleitet. Entsprechend der standortspezifischen Schadstoffzusammensetzung ist mit einer Adsorptionskapazität von ca. 2 -Gew.-% zu rechnen.

Nach Passage der Nass-Aktivkohle-Filter wird das Wasser zur Eliminierung von insbesondere polaren Nitroaromatenverbindungen mittels einer nachgeschalteten chemischen Oxidationsanlage (Ozonierung und UV-Bestrahlung) behandelt.

Das abgereinigte Wasser kann als Brauchwasser genutzt oder über Sickerbrunnen in den Aquifer reinfiltrierte werden. Um eine hydraulische Beeinträchtigung der Sanierungsmaßnahmen sowie der Bausubstanz durch die aus einer Reinfiltration resultierende Erhöhung der Grundwasserspiegelfläche zu vermeiden, ist die Einrichtung eines Sickerbrunnens (DN 400) südwestlich des geplanten Anlagenstandortes (NSG Hornpotweg) westlich der Berliner Straße empfohlen.

Sollte eine Versickerung in den Aquifer (= Reinfiltration) nicht möglich sein, müssen die abgereinigten Wässer in die Kanalisation (= Indirekteinleitung) eingeleitet werden. Bei einer Grundwasserförderung mittels "Heber-Reaktor" - Verfahren ist die Tiefenlage der Einleitung zu berücksichtigen.

Der Transport der gereinigten Wässer zur Einleitstelle (Reinfiltration, Indirekteinleitung) erfolgt über frostsicher zu erstellende Rohrleitungen.

Die Kosten der Grundwasserabreinigung mittels Aktivkohleadsorption mit nachgeschalteter Ozonierung / UV-Bestrahlung setzen sich aus den Investkosten für die Lieferung und Einrichtung der ex-situ-Abreinigungsanlagen zuzüglich den Betriebskosten während der laufenden Grundwasserabreinigung zusammen. Die Investkosten umfassen die Leistungen im Rahmen der Planung, Lieferung, Ausführung und Montage der Abreinigungsanlagen. Die Betriebskosten umfassen die zum Anlagenbetrieb erforderlichen Betriebsmittel und Energie.

Bei den veranschlagten Grundwasserfördermengen / Durchsatzraten von ca. 5 m³/h (Sanierungsteilzone I, Ottweiler Straße) und 8 m³/h (Sanierungsteilzone II, Mülheimer Straße) wurde ein Ozonbedarf von ca. 2,0 g/h (Sanierungsteilzone I) und ca. 5,5 g/h (Sanierungsteilzone II) errechnet. Der tatsächliche Ozonbedarf wird in Vorversuchen ermittelt.

Investkosten

- Einrichtung der ex-situ-Abreinigungsanlagen

233.000,- €

- Einrichtung eines zentralen Sickerbrunnens einschl. der Zuleitungen

47.300,- €

- Inbetriebnahme der Sanierungsanlagen

10.000,- €

Planungskosten

26.000,- €

jährliche Betriebskosten

35.175,- €.

Abreinigung mittels chemischer Oxidation

Bei der alleinigen Abreinigung der Wässer mittels chemischer Oxidation (Ozonierung und UV-Bestrahlung) reduziert sich der Flächenbedarf der ex-situ-Anlagen auf 40 m² je Anlage.

Analog zur oben beschriebenen Abreinigungsmethode werden die geförderten Grundwässer nach Passage eines Schlammabsetzbeckens zwecks Enteisung und Entmanganung zunächst über rückspülbare Kiesbettfilter geleitet.

Zur chemischen Oxidation mittels Ozonierung und UV-Bestrahlung werden die Wässer anschließend den Oxidationsanlagen, bestehend aus jeweils einem Ozongenerator, einem Mischersystem mit Dosiereinrichtung sowie einem entsprechend der erforderlichen Reaktionszeit dimensionierten Reaktionsgefäß zugeleitet.

Die aus den Oxidationsanlagen abfließenden, abgereinigten Wässer sollen planungsgemäß über frostsicher zu erstellende Rohrleitungen zur zentralen Versickerungsanlage geleitet und in den Aquifer reinfiltriert werden. Sollte dies nicht möglich sein, sind die abgereinigten Wässer der Kanalisation zuzuführen, was nur mittels Pumpen erfolgen kann.

Die Kosten der Grundwasserabreinigung mittels Ozonierung und UV-Bestrahlung setzen sich aus den Investkosten für die Lieferung und Einrichtung der ex-situ-Abreinigungsanlagen sowie den Betriebskosten während der Grundwasserabreinigung zusammen. Dabei umfassen die Investkosten insbesondere Leistungen im Rahmen der Planung, Lieferung, Ausführung und Montage der Abreinigungsanlagen. Die Betriebskosten umfassen die Überwachung der Anlagen, Betriebsmitteln und Energie. Die Versickerung der abgereinigten Wässer wird zunächst als kostenneutral betrachtet.

Demnach ergeben sich folgende Kosten:

Investkosten

- Einrichtung der ex-situ-Abreinigungsanlagen

202.000,- €

- Einrichtung eines zentralen Sickerbrunnens einschl. der Zuleitungen

47.300,- €

- Inbetriebnahme der Sanierungsanlagen

10.000,- €

Planungskosten

22.000,- €

jährliche Betriebskosten

25.740,- €.

Zu diesen Kosten sind weitere Kosten für Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen (Anlagenüberwachung, GW-Monitoring) zu kalkulieren, die hier nicht weiter betrachtet werden, da sie keine Bedeutung für die Standortwahl der ex-situ-Abreinigungsanlage haben.

In einer Kosten-Nutzen-Analyse wurden folgenden Sanierungsvarianten eingehend betrachtet:

Sanierungs-variante	Fassung und Förderung der verunreinigten Wässer	Abreinigung / Dekontamination der geförderten Wässer
1	Vertikalbrunnen / "Pump and Treat"	Aktivkohleadsorption mit nachgeschalteter chemischer Oxidation
2	Vertikalbrunnen / "Pump and Treat"	Chemische Oxidation
3	Horizontalbrunnen / "Pump and Treat"	Aktivkohleadsorption mit nachgeschalteter chemischer Oxidation
4	Horizontalbrunnen / "Pump and Treat"	Chemische Oxidation
5	Horizontalbrunnen / "Heber-Reaktor"	Aktivkohleadsorption mit nachgeschalteter chemischer Oxidation
6	Horizontalbrunnen / "Heber-Reaktor"	Chemische Oxidation

Tabelle 29: Prinzipiell geeignete Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen

Der Nutzen einer Sanierungsvariante wird bei Grundwassersanierungsmaßnahmen durch den Grad der jeweiligen Eignung zur Erreichung des Sanierungszieles bestimmt.

Die vorgenannten 6 Sanierungsvarianten wurden im Hinblick auf das gleiche Sanierungsziel entwickelt. Als Sanierungsziel wurde die Unterbrechung der von den Belastungsschwerpunkten ausgehenden Schadstofffahne(n) und die Unterbindung einer weiteren Ausbreitung der Schadstoffe in bislang unbelastete Grundwasserbereiche definiert.

Unter Voraussetzung eines sach- und fachgerechten Einsatzes wird das Sanierungsziel von allen 6 Sanierungsvarianten erreicht.

Dementsprechend weisen die 6 Sanierungsvarianten keine Unterschiede hinsichtlich ihrer Eignung zum Erreichen des Sanierungszieles und somit des Nutzens auf. Die diskutierten Varianten sind hinsichtlich ihres Nutzens als gleichwertig zu bezeichnen.

In Anlehnung an die Arbeitshilfe "Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzen-Kosten-Aspekten" [aus: Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 11] wurden zur Absicherung der Berechnungsergebnisse Sensitivitätsanalysen für unterschiedliche Zinssätze und unterschiedliche Sanierungszeiträume durchgeführt.

So wurden in den Berechnungsszenarien I bis III ein einheitlicher Zinssatz von jeweils 2 % p. a. sowie exemplarische Sanierungszeiträume von 20, 30 und 50 Jahren für Sanierungsteilzone I und 5 und 10 Jahren für Sanierungsteilzone II in Ansatz gebracht. Bei den Szenarien IV bis VI wurde ein einheitlicher Zinssatz von jeweils 4 % p. a. sowie exemplarische Sanierungsdauern von 20, 30 und 50 Jahren für Sanierungsteilzone I und 5 und 10 Jahren für Sanierungsteilzone II angesetzt.

Die sehr detailliert durchgeführte Sensitivitätsanalyse ergab folgendes Ergebnis:

Variante	Szenario I Zinssatz: 2 % Dauer: 30 / 5	Szenario II Zinssatz: 2 % Dauer: 20 / 10	Szenario III Zinssatz: 2 % Dauer: 50 / 10	Szenario IV Zinssatz: 4 % Dauer: 30 / 5	Szenario V Zinssatz: 4 % Dauer: 20 / 10	Szenario VI Zinssatz: 4 % Dauer: 50 / 10
1 Vertikalbrunnen "Pump and Treat" Aktivkohleadsorption chemische Oxidation	3.880.649,--	3.435.470,--	5.377.465,--	3.230.014,--	3.217.022,--	4.096.212,--
2 Vertikalbrunnen "Pump and Treat" chemische Oxidation	3.641.062,--	3.233.548,--	5.042.218,--	3.035.205,--	3.030.463,--	3.848.337,--
3 Horizontalbrunnen "Pump and Treat" Aktivkohleadsorption chemische Oxidation	2.355.420,--	2.034.019,--	3.037.881,--	2.019.640,--	1.918.367,--	2.385.127,--
4 Horizontalbrunnen "Pump and Treat" chemische Oxidation	2.115.832,--	1.832.097,--	2.702.634,--	1.824.831,--	1.731.808,--	2.137.252,--
5 Horizontalbrunnen "Heber-Reaktor" Aktivkohleadsorption chemische Oxidation	2.197.211,--	1.894.974,--	2.803.706,--	1.893.336,--	1.789.962,--	2.214.010,--
6 Horizontalbrunnen "Heber-Reaktor" chemische Oxidation	1.957.623,--	1.693.052,--	2.468.459,--	1.698.527,--	1.603.402,--	1.966.134,--

Ausweislich der Zusammenstellung wäre eine Sanierung der Grundwasserverunreinigung mittels Vertikalbrunnen die mit Abstand kostenintensivste Sanierungsvariante.

Unabhängig von den für die Berechnungen zu Grunde gelegten Zinssätzen und Sanierungszeiträumen bleibt die Sanierungsvariante 6 die mit Abstand günstigste Verfahrenskombination zur Sanierung der vorliegenden Grundwasserverunreinigung mit Nitroaromaten. Erwartungsgemäß nimmt dabei die Differenz zwischen der kosteninten-

sivsten und der kostengünstigsten Sanierungsvariante in Abhängigkeit von der jeweiligen Höhe der jährlichen Betriebskosten generell mit der Sanierungsdauer zu.

Unter Berücksichtigung der obigen Ausführungen wurde entsprechend die Sanierung der Nitroaromatenverunreinigung mittels Horizontalfilterbrunnen im Heber-Reaktor-Verfahren und nachfolgender Abreinigung der Wässer mittels chemischer Oxidation empfohlen.

Hier ist zu berücksichtigen, dass auf Grund der zukünftig zu erwartenden Steigerung der Energiekosten der Vorteil des Heber-Reaktor-Verfahrens weiter zunehmen wird, so dass die Empfehlung dieses Verfahrens auf jeden Fall aufrecht erhalten wird.

Für den Horizontalbrunnen im Bereich der Mülheimer Straße / Berliner Straße bedeutet dies zwangsläufig, dass die ex-situ-Anlage entweder im NSG Hornpottweg positioniert oder mit hohem technischen und finanziellen Aufwand unterirdisch eingerichtet werden muss.

Die Positionierung der ex-situ-Abreinigungsanlage im NSG Hornpottweg bedingt die Öffnung der alten, noch vorhandenen und intakten Zufahrt zur ehemaligen Kiesgrube. Die Zufahrt ist so zu sichern (z.B. mittels eines Tores), dass ein unbefugter Zugang ausgeschlossen werden kann.

Die Abreinigungsanlage erfordert -wie beschrieben- einen Flächenbedarf von ca. 40 m², der sich am Ende der Zufahrt noch vor dem Erddamm ohne großen Eingriff in die Natur zur Verfügung stellen lässt.

Die Anlage ist so zu konzipieren, dass diese bei Störungen automatisch abgeschaltet wird, so dass keine unbehandelten Wässer in den Aquifer reinfiltrierte werden. Zudem müssen die Störungen unmittelbar beim Anlagenbetreiber angezeigt werden, so dass eine zeitnahe Beseitigung der Störungen gewährleistet werden kann.

Der für den Anlagenbetrieb benötigte Strom soll über Erdleitungen aus dem Stadtgebiet Leverkusen entlang der Mülheimer Straße und der ehemaligen Zufahrt zur Sanierungsanlage geführt werden.

Lärmemissionen treten bei Verfahren zur chemischen Oxidation nur in relativ geringem Umfang auf. Da die Anlagen nicht in unmittelbarer Nähe zu Wohnbebauungen instal-

liert werden sollen, sind die geringen Lärmemissionen aus der Sicht des Unterzeichners tolerierbar. Sind die Lärmemissionen entgegen den Erwartungen nicht tolerierbar, können die Anlagen eingehaust werden.

Die Sanierungsanlage wird planungsgemäß eingezäunt, um Vandalismus weitestgehend ausschließen zu können. Ggf. ist die Einzäunung im Sinne einer Ausgleichsmaßnahme zu begrünen.

Nach Abschluss der Sanierungsmaßnahme werden alle installierten Betriebseinrichtungen (Sanierungsanlagen, Einzäunungen, Tore etc.) rückgebaut. Die Sickerbrunnen sind gleichfalls gemäß DVGW Arbeitsblatt W 135 "Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Grundwassermessstellen und Brunnen" in der dann gültigen Fassung sach- und fachgerecht rückzubauen bzw. zu verpressen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das mit hohem Aufwand als das günstigste Sanierungsverfahren ermittelte Heber-Reaktor-Verfahren nur erfolgreich durchgeführt werden kann, wenn die Abreinigungsanlage im NSG Hornpottweg positioniert werden kann.

Bergheim, den 19.09.2011

Dr. Tillmanns & Partner GmbH



Dipl.-Geol. H. Bauer
(Projektleiter)