Stilllegung und Nachsorge von Deponien und Altablagerungen in Deutschland – FuE-Ergebnisse des BMBF-Förderschwerpunkts KORA-TV4

Zusammenfassung: Der Beitrag fasst ausgewählte Ergebnisse, die im Rahmen des Themenverbunds TV4 „Deponien, Altablagerungen“ des BMBF-Förderschwerpunkts KORA „Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden“ (www.natural-attenuation.de, <http://www.gwz-dresden.de/veroeffentlichungen/kora-abschlussdokumentationen.html>) am Grundwasser-Zentrum Dresden erarbeitet wurden, zusammen und verweist auf die erarbeiteten FuE-Berichte der Projektpartner.

Im Projektverbund KORA-TV4 „Deponien, Altablagerungen“ wurden FuE-Arbeiten zur Berücksichtigung der Wirkungen von natürlichen Stoffrückhalte- und Abbauprozessen beim Umgang mit abfallablagerungsverursachten Gewässerschäden und Gefahrensituationen als begleitende Untersuchungen zu den Maßnahmen einer nachhaltigen Stilllegung, Rekultivierung, Wiedernutzbarmachung, Sanierung und Nachsorge der Abfallablagerungsstandorte durchgeführt. Dabei konnte beispielhaft gezeigt werden, unter welchen Bedingungen abfallablagerungsverursachte Gewässerschäden und Gefahrensituationen durch die Wirkungen von natürlichen bzw. stimulierten natürlichen Prozessen reduziert werden und wie die Wirkungen dieser Prozesse zuverlässig identifiziert, bewertet und bei der Planung von Maßnahmen berücksichtigt werden können.

In Deutschland sind heute rund 100.000 Abfalldeponien und Altablagerungen erfasst, die das Grundwasser, und somit die für die Gewinnung von Trinkwasser wichtigste Ressource, verunreinigt bzw. geschädigt haben. Der Berücksichtigung der Wirkungen von NA-Prozessen kommt bei der Planung und Anordnung von Maßnahmen zum Umgang mit diesen Schäden eine besondere Bedeutung zu.

Decommissioning and aftercare for active and disused landfill sites in Germany – research and development results from the promotion focus KORA-TV4 of the Federal Ministry of Education and Research

Abb. 1: Zeitphasen der betriebstechnischen Nutzung von Naturraum durch eine Deponie und ihre Reintegration in den Naturraum in der Nachsorgephase (vgl. Luckner Th in DGFZ 2008)

Summary: This article summarises selected results from a study conducted by the Dresden Groundwater Centre on the promotion focus “Controlled and natural retention and decomposition of pollutants for the remediation of contaminated groundwater and soils” (www.natural-attenuation.de, <http://www.gwz-dresden.de/veroeffentlichungen/kora-abschlussdokumentationen.html>) as one of a number of subjects grouped under the title TV4, Active and Disused Landfill Sites, which have been launched by the German Federal Ministry of Education and Research. References are also given to research and development reports from the project partners.

Research and development work has been conducted for the KORA-TV4 group of projects, Active and Disused Landfill Sites, to study the allowance that can be made for the effects of natural substance retention and decomposition processes in dealing with risk scenarios and damage to water bodies due to landfills. This work was intended to accompany studies regarding potential measures for the sustainable decommissioning, replanting, rehabilitation, refurbishment and aftercare of landfill sites. It has thus been possible to demonstrate the conditions under which

risk scenarios and damage to water bodies caused by landfills can be attenuated through the effects of natural, or stimulated natural, processes, and how the effects of such processes can be identified reliably and allowed for in the development of remedial measures.

About 100,000 active and disused landfill sites which have contaminated the groundwater have so far been identified in Germany. It should be noted in this context that groundwater is the main resource for drinking water production. Taking account of the effects of natural decomposition processes is of particular importance in the development and implementation of measures intended to deal with such damage.

1. Grundbegriffe

1.1. Deponie, Altablagerung, Anlage

Die Begriffe Deponie und Altablagerung werden vom Abfall- und Umweltrecht definiert. Hiernach sind Deponien und Altablagerungen Betriebsanlagen, die sich im Wesentlichen dadurch unterscheiden, dass Deponien in Betrieb befindliche An-

Abb. 2: Schematische Darstellung eines typischen abfallablagungs- und grundwasserschadens (vgl. Luckner Th in DGFZ (2009))

lagen und Altablagerungen bereits endgültig stillgelegte Anlagen sind.

- Deponie bzw. Deponieabschnitt: betriebene Beseitigungsanlage zur Ablagerung von Abfällen
- Altablagerung/Altlast: stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie ... Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert worden sind
- Altstandort/Altlast: Grundstücke stillgelegter Anlagen und sonstige Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist

1.2. Errichtung, Betrieb, Ablagerung, Stilllegung und Nachsorge

Die Begriffe Errichtung, Betriebs- (Ablagerung, Stilllegungs-) und Nachsorgephase sind im Abfallrecht definierte Begriffe. Der Betrieb einer Deponieanlage ist mit einer räumlich und zeitlich begrenzten Nutzung von Kompartimenten des allgemeinen Naturraums verbunden. *Abbildung 1* veranschaulicht die Einteilung einer solchen Nutzung für Deponien und Altablagerungen in die zeitlichen Phasen von der Errichtung der Anlage bis zum Abschluss der Nachsorge.

Hiernach umfasst die Betriebsphase der Deponie die Phase der Ablagerung der Abfälle sowie die Maßnahmen zur Stillle-

gung der Anlage, die die erforderlichen Arbeiten zur Sicherung und Rekultivierung der Anlage umfassen. Für diese Stilllegungsmaßnahmen muss eine entsprechende Planung (Stilllegungsnachweis) vorgelegt und genehmigt werden. Dieser Nachweis schließt die Nachsorgemaßnahmen ein.

In der Nachsorgephase einer endgültig stillgelegten Deponie gilt es, die verbliebenen Schäden und Gefahren zu mindern bzw. zu beseitigen. Gemäß §36 KrW-/AbfG greifen hierbei nicht mehr die Regelungen des Abfallrechts sondern bereits die des BBodSchG und somit das Umweltrecht mit seinen spezifischen Anforderungen. Somit wird auch nicht mehr von der stillgelegten Deponie sondern von einer Altablagerung (Altlast) gemäß BBodSchG gesprochen.

1.3. NA/MNA/ENA

In den KORA-Handlungsempfehlungen (vgl. Michels et al. 2008) wurden die Grundbegriffe NA/MNA und ENA wie folgt definiert:

- Die deutsche Definition des Begriffes Natural Attenuation ist an die US-EPA OSWER-Directive 9200.4-17P (vgl. Michels et al. 2008) angelehnt. Natürliche

Schadstoffminderungsprozesse (Natural Attenuation – NA) sind physikalische, chemische und biologische Prozesse, die ohne menschliches Eingreifen zu einer Reduzierung der Masse, der Toxizität, der Mobilität, des Volumens oder der Konzentration eines Stoffes im Boden oder Grundwasser führen. Zu diesen Prozessen zählen biologischer Abbau, chemische Transformation, Sorption, Dispersion, Diffusion und Verflüchtigung der Stoffe (vgl. LABO Positionspapier 2005).

- Die Überwachung der natürlichen Schadstoffminderungsprozesse durch zeitlich gestaffelte Untersuchungen auf deren Wirksamkeit hin wird als Monitored Natural Attenuation (MNA) bezeichnet.
- Bei Enhanced Natural Attenuation (ENA) wird im Gegensatz zu NA und MNA aktiv auf die stattfindenden Schadstoffminderungsprozesse Einfluss genommen, mit dem Ziel diese in ihrer Wirkungsweise zu maximieren. Die Anwendung von ENA ist eine verfahrenstechnische Maßnahme, die verwaltungsrechtlich als eine „in situ“-Sanierung angesehen wird.

2. Problemstellung

Gewässerschäden und Gefahrensituationen können durch Stoffemissionen von Abfallablagungen infolge nicht bzw. nur unvollständig wirksamer oder fehlender Sicherungselemente zum Schutz der angrenzenden Gewässer verursacht werden (vgl. Abb. 2). Zur technischen und umweltrechtlichen Klassifizierung werden diese Schäden hier als abfallablagungs- und grundwasserschaden bezeichnet. Der verwendete Begriff „abfallablagungs- und grundwasserschaden“ soll einen fachgebietsübergreifenden Bezug zu den schaden- und gefahrenverursachenden Stoffemissionen aus abgelagerten Abfällen von Deponien, Altablagerungen, Abfallverfüllkörpern und sonstigen Abfallablagungen herstellen.

Solche Schutzgutschäden und die von diesen Schäden ausgehenden Gefahren sind oft nicht mit verhältnismäßigem Aufwand allein durch klassische (bau-) technische Stilllegungs- und Sanierungsmaßnahmen, wie z. B.

- Herstellung von Oberflächenabdichtungen auf Abfallkörpern,
- Einbau von Dichtwänden und sonstigen Trenn- und Stützkörpern zur vertikalen Einkapselung von Abfallkörpern,
- Errichtung, Betrieb und Rückbau von Sickerwasser- und sonstigen Wasser-

Abb. 3: Schematische Darstellung der abgegrenzten Fach-/Rechtsgebiete und deren Wechselwirkungen für Fallgestaltungen mit abfallablagerungsverursachten Gewässerschäden (vgl. Luckner Th. in DGFZ 2009 und Sondermann et al. 2008)

bzw. Abwasserfangungs-, Transport- und Aufbereitungsanlagen,

- Errichtung klassischer Pump-and-Treat-Anlagen zur Fassung und (Off-site) Behandlung von sickerwasserbeeinflusstem Grundwasser etc.,

beseitigbar bzw. ausreichend minderbar. Somit bedarf es im Rahmen der Erarbeitung von Stilllegungsnachweisen, Sanierungsplänen und Abschlussbetriebsplänen auch der

- Berücksichtigung der Wirksamkeit von NA-Prozessen (NA ... Natural Attenuation)

bei der Auswahl, Planung und Durchführung von Maßnahmen zur Schadens- und Gefahrenminderung. Wesentlich ist dabei, die erforderlichen Einzelmaßnahmen auf Basis einer gesamtheitlichen Betrachtung des Standortes aufeinander abzustimmen.

Vor diesem Hintergrund wurden in den letzten Jahren eine Reihe von FuE-Projekten zum Umgang mit abfallablagerungsverursachten Gewässerschäden unter Berücksichtigung der Wirksamkeit von NA-Prozessen auf unterschiedlichsten Standorten in Deutschland durchgeführt, die im Themenverbund TV4 „Deponien, Altablagerungen“ des BMBF-Förder-

schwerpunkts KORA (www.natural-attenuation.de) zusammengefasst wurden.

Die FuE-Ergebnisse dieser Projekte wurden mit den FuE-Schlussberichten der ZuwendungsempfängerInnen umfassend veröffentlicht (vgl. Kap. 6 dieses Beitrags). Ergänzend wurde im Rahmen der Themenverbundkoordination durch das Dresdner Grundwasserforschungszentrum (DGFZ e.V.) der KORA-TV4-Leitfaden mit dem Titel „Umgang mit abfallablagerungsverursachten Gewässerschäden und Gefahrensituationen unter Berücksichtigung der Wirkungen natürlicher Rückhalte- und Abbau-Prozesse“ erarbeitet (vgl. DGFZ 2008).

3. Lösungsansätze/Methodik

Abfallablagerungsverursachte Gewässerschäden und Gefahrensituationen haben sich oft über Jahrzehnte hinweg formiert oder können sich durch Änderung der betrieblichen Randbedingungen (z.B. im Rahmen einer bevorstehenden Anlagenstilllegung durch die geplante Außerbetriebnahme von Wasserfassungen etc.) in absehbarer Zeit mit hinreichender Wahrscheinlichkeit (bei ungehindertem Geschehensablauf) entwickeln. Dabei werden die Schäden und Gefahren ursächlich von den

Stoffemissionen aus dem Abfallkörper, der Primär-(Schadstoff)quelle, bestimmt.

Die Reaktionszeit von der Begründung eines Gefahrenverdachts sowie der Feststellung einer Schadens- bzw. Gefahrensituation bis zum Wirksamwerden von Maßnahmen zur Minderung bzw. Beseitigung der Schäden und Gefahren, erfordert oftmals kein sofortiges Eingreifen. Im Regelfall steht ausreichend Zeit zur Verfügung, um sorgfältige Ermittlungen und Maßnahmenplanungen durchführen zu können.

Ein schrittweises, iteratives Vorgehen mit einer fortlaufenden (behördlichen) Prüfung der Verhältnismäßigkeit kennzeichnet deshalb das Regelverfahren von der Erfassung der Schäden und Gefahren bis zur Planung, Anordnung, Durchführung und Überwachung von Maßnahmen.

Die Erforderlichkeit zur Untersuchung von Lösungsansätzen für die Schaden- und Gefahrenminderung bei abfallablagerungsverursachten Gewässerschäden unter Berücksichtigung der Wirkungen von NA-Prozessen ergibt sich auf Basis folgender rechtlicher Grundlage: Geschädigte Gewässer, so auch das durch abfalltypisch Stoffe geschädigte Grundwasser, wieder in einen guten Zustand zu versetzen, schreiben in Deutschland das WHG und die darauf basierenden Landeswassergesetze vor. Das USchadG enthält hierzu explizit das Gebot zur Prüfung und Berücksichtigung der Wirkungen natürlicher Wiederherstellungsprozesse geschädigter Umweltkompartimente und damit zur Wiederherstellung ihrer Funktionen im Naturhaushalt bei der Festlegung von Maßnahmen zu ihrer Sanierung.

Für die Bewertung der Wirksamkeit von NA-Prozessen (NA, Natural Attenuation) bedarf es spezifischer Untersuchungen und der Nutzung von (Planungs-)Instrumenten, wie z.B.

- der Erfassung und Auswertung von Daten zu den geologischen, hydrologischen, hydrogeologischen, hydraulischen und hydrochemischen Standortgegebenheiten,
- der Identifikation von Parametern in Labor-, Technikums- und Feldtestanlagen zur Quantifizierung der NA-Wirkungen (z.B. für den Ansatz in Prognosemodellen),
- der Erarbeitung mathematischer Simulationsmodelle zur Abbildung der Grundwasserströmungs- und der konservativen und reaktiven Stofftransportprozesse etc.

Auf dieser Basis können maßnahmen- und monitoringbasierte Konzepte für den

Umgang mit abfallablagerungsverursachten Schäden und Gefahrensituationen geplant, angeordnet und umgesetzt werden. Hierbei gilt es die Wirkungen der NA-Prozesse bei der Minderung von abfallablagerungsverursachten Gewässerschäden und Gefahrensituationen

- bei Deponie- und Bergbauanlagen in der Regel als Ergänzung zu klassischen bautechnischen Stilllegungs-, Wiedernutzbarmachungsmaßnahmen und
- bei Altablagerungen als Ergänzung zu Sanierungs- und Nachsorgemaßnahmen zu berücksichtigen.

Für den Einsatz technischer NA- bzw. ENA-basierter Maßnahmen (ENA, Enhanced Natural Attenuation) ergeben sich hierbei z. B. folgende Möglichkeiten:

- die Errichtung und der (temporäre) Betrieb von Gasinjektionsanlagen zur In-situ Oxidation organischer Restschadstoffe in geschädigten Gewässerbereichen,
- die Errichtung und der (temporäre) Betrieb von Be- und Entgasungsanlagen im Abfallkörper zur aeroben In-situ Stabilisierung des Abfallkörpers sowie
- die Errichtung und der (temporäre) Betrieb von Anlagen zur Sickerwasser-Kreislaufführung im Abfallkörper etc.

Mit diesen Maßnahmen wird das vorrangige Ziel der Beschleunigung der natürlichen Stoffabbauprozesse in den Schadstoffquellen und -fahnen und somit der Emissions-, Schadens- und Gefahrenminderung verfolgt. Weiterhin ist auch

- die Erarbeitung von (reinen) MNA-Konzepten (MNA, Monitored Natural Attenuation),

möglich, die im LABO-Positionspapier (2006) wie folgt definiert werden: „Für die behördliche Entscheidung, die unter Berücksichtigung von natürlichen Schadstoffminderungsprozessen und der Verhältnismäßigkeit ein Absehen von Sanierungsmaßnahmen in Verbindung mit MNA beinhaltet, wird der Kurzbegriff „MNA-Konzept“ eingeführt.“

Bei der Bearbeitung kommt der schrittweisen Prüfung der Verhältnismäßigkeit erhebliche Bedeutung zu. Dabei gilt es

- die Erforderlichkeit von Maßnahmenplanungen,
- die Eignung der geplanten Maßnahmen bzgl. Erreichbarkeit der Zielwerte,
- die Angemessenheit der geplanten Maßnahmen (Verhältnis Aufwand/Nutzen) sowie
- die Erforderlichkeit zur Durchführung der geplanten Maßnahmen zu prüfen.

Abb. 4: Schematische Darstellung der Standortsituation und des Grundwasserschadens unter der Deponie Weiden-West (vgl. Schinke et al. 2006)

Im Rahmen des Entschließungs- und Auswahlermessens entscheidet letztlich die Behörde mit einem Bescheid über die durchzuführenden Maßnahmen. Bei der Auswahl von

- abfallrechtlich bestimmten Maßnahmen zur geordneten Anlagenstilllegung und Rekultivierung sowie deren Nachsorge,
 - bergrechtlich bestimmten Maßnahmen zur Wiedernutzbarmachung und Berg- bzw. Gemeinschaftenabwehr sowie
 - bodenschutz- und wasserrechtlich bestimmten Maßnahmen zur Sanierung und Nachsorge
- gilt es beim Umgang mit abfallablagerungsverursachten Gewässerschäden (AbGWS) die unterschiedlichen Fach-/Rechtsgebiete
- Deponie/Abfallrecht,
 - Bergbau/Bergrecht,
 - Altablagerung und Altstandort/Bodenschutzrecht sowie
 - Gewässerschaden/Wasserrecht
- abzugrenzen (vgl. Abb. 3) und die erforderlichen Einzelmaßnahmen auf Basis einer gesamtheitlichen Betrachtung des Standortes aufeinander abzustimmen.

4. Nachsorge und Folgenutzung

Vorrangiges Ziel der Deponieanlagenbetreiber und Sanierungsverpflichteten ist es, nach Abschluss der erforderlichen Maßnahmen zur Stilllegung und Nachsorge die

- Entlassung aus der Deponienachsorge bzw. den
- Abschluss der Sanierung zu erreichen, um somit aus den Anlagenbetriebs-, Nachsorge- bzw. Sanierungsverpflichtungen sowie aus der behördlichen Überwachung entlassen zu werden.

Die „Entlassung aus der Nachsorge“ (für Deponien) kann auf Antrag des Deponiebetreibers erfolgen, wenn die zuständige Behörde nach entsprechender Prüfung (Kriterien gem. DepV und KrW-/AbfG) zu dem Ergebnis kommt, dass zukünftig keine Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit mehr zu erwarten sind. Spätestens ab diesem Zeitpunkt werden die Regelungen des Umweltrechts für den Umgang mit der ehemaligen Betriebsanlage (Deponie) maßgebend und somit auch die entsprechenden umweltrechtlichen Begriffe.

Die Maßnahmen zur Rekultivierung der Geländeoberfläche werden für die vom Deponiebetrieb genutzten Flächen durch eine nach § 36 KrW-/AbfG zu erlassende Rekultivierungsanordnung und für die Wiedernutzbarmachung der Geländeoberfläche für die noch unter Bergaufsicht stehenden Flächen durch den gemäß § 4 Abs. 4 und § 55 Abs. 2 Nr. 2 BBergG erstellten und zugelassenen ABP (Abschlussbetriebsplan) bestimmt. Nach der Wiederherstellung der Nutzbarkeit der betroffenen Oberflächen nach Abfall- und Bergrecht unterliegen diese Flächen wieder dem allgemeinen Umwelt- und Ordnungsrecht.

Die Nachnutzung von zuvor abfallrechtlich genutzten Flächen von Deponieanlagen ist in verschiedener Weise möglich. Die Nachnutzung ist dabei grundsätzlich von der Nachsorge der jeweiligen Anlage, die noch zu den Verpflichtungen der ehemaligen Anlagenbetreiber gehört, zu trennen.

5. KORA-TV4-Projekte

Im vorbenannten BMBF-Förderschwerpunkt KORA-Themenverbund 4 „Depo-

Abb. 5: Anordnung der Anlagenkomponenten für den Feldversuch auf der Deponie Weiden-West (vgl. Schinke et al. 2006)

Abb. 6: Konzentrationsänderung von org. C und N-Verbindungen am Überwachungspunkt IR2-30.4, Feldversuchsphasen VP1-VP3 (vgl. Schinke et al. 2006)

nien, Altablagerungen“ wurden zu der oben beschriebenen Problemstellungen folgende Standortprojekte bearbeitet:

- Projekt 4.1, Berliner Hausmüllablagerungen, Kladow/Gatow: „Erfassung natürlicher Prozesse bei Emissionen unterschiedlicher Altablagerungen am Beispiel der Berliner Hausmüllablagerungen Kladow/Gatow“;
- Projekt 4.2, Deponie Weiden-West: „Stimulation der natürlichen Selbstreinigungsprozesse in der Aeration- und Grundwasserzone unter der stillgelegten Deponie Weiden-West zur Unterbindung der Gefährdung der Schutzgüter im Grundwasserabstrom der Deponie“;
- Projekt 4.3, Altablagerung „Monte Scherbelino“, Frankfurt am Main: „Modellgestützte Analyse und Bereitstellung eines numerischen Prognoseinstrumentariums der Selbstreinigungsprozesse deponiebürtiger Schadstoffe im Grundwasser“;
- Projekt 4.4, Spüldeponie Großkayna: „Untersuchung des natürlichen Rückhalts und Abbaus deponiebürtiger Schadstoffe am Beispiel der subaquatischen Deponie Großkayna/Merseburg“;

- Projekt 4.A1, Deponie Halle-Lochau: „Untersuchungen für die nachhaltige Stilllegung von Deponien, die in Restlöchern des Braunkohlenbergbaus eingerichtet wurden, am Beispiel der Deponie Halle-Lochau“;
- Projekt 4.A2, Deponie Kuhstedt: „Vorhaben zur aeroben in-situ-Stabilisierung der Altdeponie Kuhstedt zur Minderung des Kosten- und Nachsorgeaufwandes.“

Mit den FuE-Arbeiten der KORA-TV4-Projekte konnte beispielhaft gezeigt werden, unter welchen Bedingungen abfallablagerungsverursachte Gewässerschäden und Gefahrensituationen durch die Wirkungen von natürlichen bzw. stimulierten natürlichen Prozessen reduziert werden und wie die Wirkungen dieser Prozesse zuverlässig identifiziert, bewertet und bei der Planung von Maßnahmen berücksichtigt sowie durch modelltechnische Ansätze prognostiziert und kontrolliert werden können. Die FuE-Projekte des KORA-TV4 wurden von mehreren PartnerInnen aus Industrie, Wissenschaft, Verwaltung, Planungs- und Sachverständigenbüros bearbeitet und begleitet. Die Projekte wurden vom BMBF im Rahmen des Förderschwer-

punkts KORA gefördert und in verschiedener Weise von den Standorteigentümern durch Eigenmittel cofinanziert bzw. durch ergänzende Eigenleistungen der Projektpartner durchgeführt. Die wesentlichen Produkte des KORA-TV4 „Deponien, Altablagerungen“ sind die

- FuE-Abschlussberichte der KORA-TV4-Standortprojekte (4.1 bis 4.A2) sowie der
- Leitfaden des KORA-Themenverbund 4 „Deponien, Altablagerungen“ (vgl. DGFZ 2008).
- Diese Berichte sind zusammen mit weiteren KORA-Abschlussberichten als pdf-Datei (CD) Bestandteil des Leitfadens (vgl. DGFZ 2008) und stehen zum Download unter folgenden Adressen zur Verfügung:
- <http://www.gwz-dresden.de/veroeffentlichungen/kora-abschlussdokumentationen.html>

6. Standortbeispiel „Deponie Weiden-West“

Die Deponie Weiden-West ist eine Bauschutt- und Hausmülldeponie mit einer Grundfläche von etwa 18 ha und einem Abfallvolumen von 1,5 Mio. m³. Nach etwa 50 Jahren Anlagenbetrieb wurde die Ablagerungsphase im Jahr 1998 beendet. Da die Deponie über keine wirksame Basisabdichtung verfügt, emittieren seit Jahrzehnten etwa 100 m³/d Sickerwasser aus dem Abfallkörper, das nach der Passage einer 3 bis 5 m mächtigen Aerationzone dem Grundwasser unter dem Abfallkörper zugeht und dort einen Grundwasserschaden bewirkt hat. (Abb. 4) Der Grundwasserschaden ist dabei durch typische abfallablagerungsverursachte Stoffe, insbesondere durch Ammonium und organische Verbindungen, gekennzeichnet. Der so entstandene abfallablagerungsverursachte Grundwasserschaden wird in seiner Größe auf 1 bis 2 Mio. m³ geschädigtes Grundwasser geschätzt. Um die weitere Ausbreitung des Schadens und die Gefährdung umliegender Schutzgüter zu unterbinden, wird eine aus drei Brunnen bestehende Vertikaldrainage betrieben, mit der das verunreinigte Wasser aus dem Grundwasserschadensbereich gehoben und aufbereitet wird. Da die Effizienz des Pump-and-Treat-Verfahrens mit der Zeit durch abnehmende Stoffkonzentrationen im Fördermedium sinken wird, die im Untergrund verbliebenen Restschadstoffe aber noch eine signifikante Größenordnung aufweisen werden, wurde nach geeigneten Wegen gesucht, den guten che-

mischen Zustand im geschädigten Grundwasserteilkörper als Zielgröße der Schadens- und Gefahrenminderung zu erreichen.

Hierzu wurden mit dem KORA-FuE-Projekt 4.2 die Wirkungen des Eintrags von Luft und Sauerstoff in den Grundwasserschadensbereich im klüftig/porösen Festgesteinsgrundwasserleiter unter der Deponie Weiden-West untersucht, um mit dieser Technik in einer anschließenden großtechnischen Anwendung den Grundwasserschaden und die von diesem ausgehenden Gefahren signifikant mindern zu können. Konzeptioneller Ansatz war es hierbei, die natürlichen, mikrobiologisch oxidativen Transformationsprozesse im Schadensbereich des Festgesteinsgrundwasserleiters (Feldspat-Sandstein mit unregelmäßig auftretenden Ton-/Schluffhorizonten) zu stimulieren und somit die Schadensminderung zu beschleunigen. Die verbleibenden Restschadstoffe sollen dabei auf der weiteren Untergrundpassage den natürlichen anoxischen Selbstreinigungsprozessen überlassen werden.

Abbildung 4 veranschaulicht die Standortsituation mit der Wirkungskette und den Abhängigkeiten zwischen den Emissionen aus dem Abfallkörper, dem Grundwasserschaden, der Abfangdrainage und dem Betrieb der ENA-Feldtestanlage zum Gaseintrag und den umliegenden Schutzgütern schematisch.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des KORA-FuE-Projekts 4.2 vom DGFZ am Grundwasser-Zentrum Dresden durchgeführt, welches durch das BMBF gefördert und von der Stadt Weiden i. d. OPf. als Standorteigner und Sanierungspflichtiger cofinanziert wurde. Das in den BMBF Förderschwerpunkt KORA integrierte Projekt umfasste neben den Voruntersuchungen am Standort und im Labor einen Feldversuch am

Rande der Ablagerungsflächen im Zentrum des Grundwasserschadens. Hierzu wurde im Rahmen des FuE-Vorhabens eine geeignete Gasinjektions- und Überwachungsanlage entwickelt, installiert und betrieben, um die Wirkungen des Gaseintrags auf das Abbauverhalten ausgewählter Stoffe exemplarisch im Feldmaßstab aufzuzeigen. **Abbildung 5** zeigt die Anordnung der Anlagenkomponenten für den Feldversuch auf der Deponie Weiden-West.

Mit dem Eintrag von gasförmigem Sauerstoff (technischer Sauerstoff) in den Grundwasserschadensbereich der Deponie Weiden-West konnte gezeigt werden, dass sich die Konzentrationen der Parameter TOC und Ammonium im anstehenden Festgesteinsgrundwasserleiter deutlich reduzieren und somit die vom abfallablagungs- und gasinjektionsverursachten Grundwasserschaden ausgehenden Gefahren vermindern lassen. Der Feldversuch diente somit auch der Unter- und Überwachung der im Labor ermittelten Prozessparameter. Der Transport des eingetragenen Sauerstoffs erfolgte beim Feldversuch entlang vorhandener Klüftflächen und heterogen verzweigter Gaskanäle, unabhängig vom hydraulischen Gradienten des Grundwassers. An einigen Überwachungsmessstellen im Innen- und Außenring wird dies an dem sprunghaften Anstieg des Redoxpotentials auf etwa 350 mV und des Sauerstoffgehaltes auf Sättigungskonzentrationen von 50–60 mg-O₂/l (bei ca. 3,0 bar Absolutdruck) deutlich. Der Transport des gelösten Sauerstoffs mit dem Grundwasser konnte an einer weiteren Messstelle (IR1-29.9) beobachtet werden. **Abbildung 6** veranschaulicht die Beschaffenheitsentwicklung im Überwachungspunkt IR2-30.4. Deutlich sichtbar ist der TOC Konzentrationsrückgang von 300 auf etwa 5 mg/l. Sinkende NH₄-N und steigende NO₃-N Konzentrationen indizieren die Nitrifikation. Somit konnten am

Überwachungspunkt IR2-30.4 die Zielprozesse der Stimulation im Feld überzeugend nachgewiesen werden.

Mit dem Eintrag eines Oxidationsmittels lassen sich hiernach die natürlichen Selbstreinigungsprozesse in-situ stimulieren. Die Ergebnisse des Feldversuchs verdeutlichen die Anwendbarkeit eines gasförmigen Eintrags von Reaktanten in einen Festgesteinsgrundwasserleiter. Im Gegensatz zum Lockergestein lässt sich in diesem Versuch durch die realisierte technische Gasinjektionslanze kein vertikaler Gasaufstieg im unmittelbaren Bohrlochumfeld feststellen. Somit kann der Sauerstoff über Entfernungen von > 20 m lateral transportiert werden. Die Überwachung der Bodenluft zeigte, dass die Gaseinspeicherung und der Gasverbrauch im Grundwasserleiter gegenüber der Ausgasung in die Aerationzone dominieren. Die in die gesättigte Grundwasserzone eingespeicherten Gasvolumina werden durch den Phasenübergang Gas-Wasser ins geschädigte Grundwasser eingelöst und infolge der ablaufenden, oxidativen Prozesse verbraucht. Die Wirkung der Zielprozesse TOC-Abbau und Nitrifikation konnten im FuE-Projekt nachgewiesen werden. (**Abb. 5 und 6**)

Der Forschungsbericht zu diesem FuE-Projekt steht zum Download zur Verfügung (<http://www.tib.uni-hannover.de>). Weiterhin kann der Bericht als CD beim DGFZ angefordert werden (<http://www.dgfz.de>). ■

Korrespondenz:

Herr Dr.-Ing. Th. Luckner
GFI Grundwasserforschungsinstitut GmbH Dresden im
Grundwasser-Zentrum Dresden
E-Mail: TLuckner@GFI-Dresden.de
www.grundwasserzentrum-dresden.de

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AbGWS	abfallablagungsversuchter Gewässer- bzw. Grundwasserschaden
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
DepV	Deponieverordnung
ENA	Enhanced Natural Attenuation
FuE	Forschung und Entwicklung
GW	Grundwasser
KORA	Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
NA	Natural Attenuation
MNA	Monitored Natural Attenuation
TV	Themenverbund
USchadG	Umweltschadengesetz
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

LITERATUR

- DGFZ (Hrsg.) (2008)** KORA- Leitfaden „Umgang mit abfallablagungs- und gasinjektionsverursachten Gewässerschäden und Gefahrensituationen unter Berücksichtigung der Wirkungen natürlicher Rückhalte- und Abbauprozesse“ (Leitfaden des KORA-TV4 „Deponien, Altablagungen“), Gemeinsame Mitteilungen des Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. und seiner Partner, Heft 04/2008, ISSN 1611-5627, 337 Seiten
- LABO (2006)** „LABO-Positionspapier: Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung“, altlasten spektrum, Heft 01/2006, Seite 45 ff.
- Luckner Th (06/2009)** Zum Umgang mit abfallablagungs- und gasinjektionsverursachten Gewässerschäden und Gefahrensituationen, 12. Dresdner Grundwasserforschungstage, Proceedings des DGFZ e.V., ISSN 1430-0176, Seite 99-109
- Michels J, Stuhmann M, Frey C, Koschitzky**

- HP (Hrsg.) (2008)** Handlungsempfehlungen mit Methodensammlung, Natürliche Schadstoffminderung bei der Sanierung von Altlasten. VEGAS, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, DE-CHEMA e.V. Frankfurt, www.natural-attenuation.de, ISBN-13 978-3-89746-092-0, 363 Seiten
- Schinke R, Luckner Th (06/2006)** Stimulation natürlicher Schadstoffminderungsprozesse im GW-Schadensbereich am bayrischen Referenzstandort der Deponie Weiden-West, Dokumentation zum Altlastensymposium 2006 der GABmbH am 26. und 27. Juni 2006, München, Seite 46–57
- Sondermann WD, Hejma B, Luckner Th (2008)** „Rechtsgrundlagen zur Berücksichtigung der Wirkungen von NA-Prozessen beim Umgang mit abfallablagungs- und gasinjektionsverursachten Gewässerschäden und Gefahrensituationen“, altlasten spektrum Heft 6/2008, Seite 245–251