

Gaseintrag in den Grundwasserschadensbereich der Deponie Weiden-West

R. Schinke und Th. Luckner

DGFZ Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., Dresden

Gas injection in the contaminated groundwater body underneath of the waste disposal site Weiden-West

Abstract english

The waste disposal site Weiden-West (Germany, Bavaria) has no effective bottom liner. Contaminated seepage water percolate into the groundwater since more than fifty years. Anoxic degradation products such as ammonium and organic carbon are the most important contaminants transported by the seepage water.

Further spread out of polluted groundwater towards the drinking water wells of the nearby town is today stopped by expensive pumping and treating the water. To reduce costs a more effective technology is developed to treat the contaminated groundwater in-situ beneath the landfill. The current activities in the field intend to enhance the natural microbiological, oxidative transformation processes by means of air or oxygen gas injection.

Important parameters of the NA processes were identified based on batch and column tests. Currently, a field in-situ experiment demonstrates the gas-injection technology. Observation wells surrounding the gas-injection probe are used to control the effectiveness of the remediation.

Abstract deutsch

Die über Jahrzehnte hinweg betriebene Deponie Weiden-West in Bayern verfügt über keine wirksame Basisabdichtung, so dass aus ihr Deponiesickerwasser in die Aerationzone und in das Grundwasser gelangte und so einen Grundwasserschaden bewirkt hat.

Mit der Entnahme und Aufbereitung von geschädigtem Grundwasser wird derzeit eine weitere Ausbreitung des Schadens verhindert. Um die Aufwendungen für die Erreichung des guten chemischen Zustandes zu reduzieren, wird der Eintrag von Luft und Sauerstoff in den Grundwasserschadensbereich untersucht. Dabei ist es das Ziel, die natürlichen, mikrobiologisch oxidativen Transformationsprozesse zu stimulieren und damit die Schadstoffminderung im Schadensbereich signifikant zu beschleunigen.

Aufbauend auf Batch- und Säulenversuchen im Labor, die der Parameteridentifikation und der Prozessbeschreibung dienen, wurde ein Feldversuch installiert, der im Realmaßstab an einer Gasinjektionslanze die Wirksamkeit des erstrebten Verfahrens demonstriert.

Keywords

Gaseintrag, Lufteintrag, Sauerstoffeintrag, Deponie, Grundwasser, Grundwasserschaden, Feldversuch, Festgesteinsaquifer

1 Einleitung und Zielstellung

Die über etwa 50 Jahre betriebene Deponie Weiden-West hat eine Fläche von etwa 18 ha und ein Volumen von etwa 1,5 Mio. m³. Da die Deponie über keine wirksame Basisabdichtung verfügt, emittieren seit Jahrzehnten aus ihr etwa 100 m³/d Deponiesickerwasser, das nach der Passage einer 3 bis 5 m mächtigen Aerationzone dem Grundwasser unter der Deponie zugeht und einen Grundwasserschaden bewirkt hat. Der Grundwasserschaden ist dabei durch typische deponiebürtige Stoffe, insbesondere durch Ammonium und organische Verbindungen, gekennzeichnet.

Der so entstandene Grundwasserschaden wird in seiner Größe auf 1 bis 2 Mio. Kubikmeter Wasser geschätzt. Um die weitere Ausbreitung des Schadens und die Gefährdung von Schutzgütern zu unterbinden, wird eine aus 3 Brunnen bestehende Vertikal-drainage betrieben, mit der das verunreinigte Wasser 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, wird nach geeigneten Wegen gesucht, den guten chemischen Zustand (WHG §33a Abs.1) als Zielgröße der Schadens- und Gefahrenminderung zu erreichen.

Hierzu wird der Eintrag von Luft und Sauerstoff in den Grundwasserschadensbereich der Deponie Weiden-West untersucht. Dabei ist es das Ziel im Schadensbereich des Festgesteinsgrundwasserleiters (Feldspat-Sandstein mit unregelmäßig auftretenden Ton-/ Schluffhorizonten), die natürlichen, mikrobiologisch oxidativen Transformationsprozesse zu stimulieren und die Schadstoffminderung zu beschleunigen. Hierdurch soll das Gefährdungspotential des Grundwasserschadens signifikant reduziert werden, um die verbleibenden Restschadstoffe auf der weiteren Untergrundpassage den natürlichen anoxischen Selbstreinigungsprozessen überlassen zu können. (siehe Abb. 1)

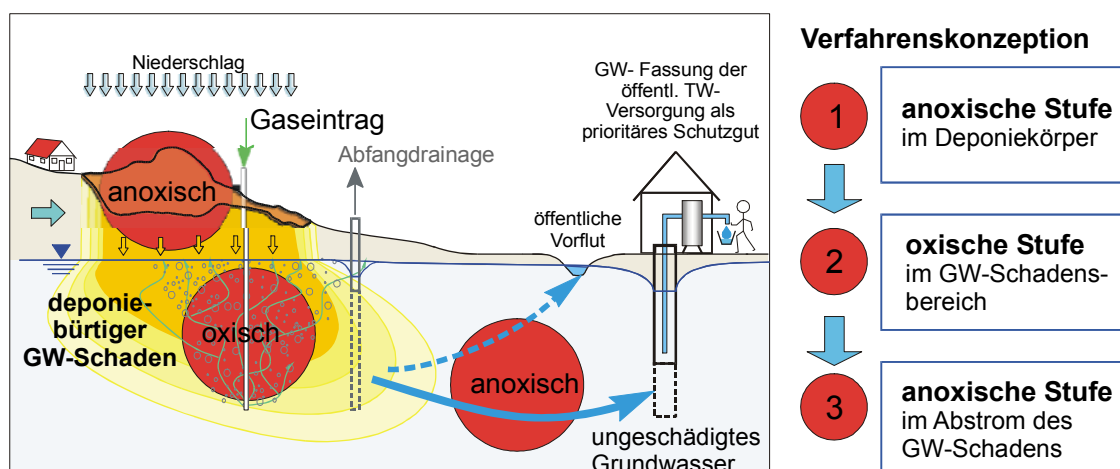


Abbildung 1 Sicherungskonzeption für den Grundwasserschaden der Deponie Weiden-West

2 Laboruntersuchungen

In laborativen Voruntersuchungen galt es, die natürlichen Stofftransformationsprozesse im Schadensbereich zu untersuchen und geeignete Möglichkeiten der Prozessstimulation zu entwickeln. Hierzu wurden Batch- und Säulenversuche angesetzt, die der Parameter- und Prozessidentifikation dienen.

Mit Standortmaterial (Grundwasser u. Feststoff) aus dem Schadensbereich und der autochthonen Mikrobiozönose wurden in Batchversuchen vergleichend die Stimulation mit O_2 und Luft untersucht. Den aeroben TOC Abbau galt es hierbei mit Grundwasser aus dem Schadensbereich, das aus unterschiedlichen Messstellen (P3, P3-RII) entnommen wurde, durchzuführen. Abb. 2 reflektiert den TOC Abbau in den Versuchsansätzen.

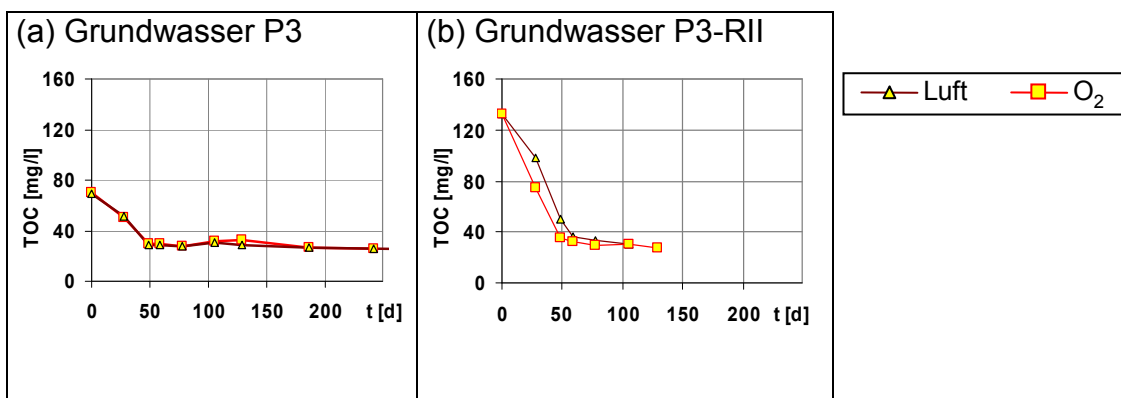


Abbildung 2 Zielprozess Aerobere TOC Abbau

Weitestgehend unabhängig von den TOC Ausgangskonzentrationen reduzierte sich in den aeroben Versuchsansätzen innerhalb der ersten 50 Tage die Konzentration relativ schnell auf etwa 30 mg-TOC/l beim P3-Wasser bzw. 35 mg-TOC/l beim P3-RII-Wasser. Eine weitere Reduktion des TOCs war beim P3-Wasser nicht zu beobachten. Beim P3-RII-Wasser findet in Bezug zur Anfangsphase eine weitere Reduktion des TOCs mit deutlich geringerer Rate statt. Zu Versuchsende sind die TOC-Gehalte der aeroben Ansätze nahezu identisch. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass der residuale TOC nicht bioverfügbar und huminstoffähnlichen Substanzen zuzurechnen ist.

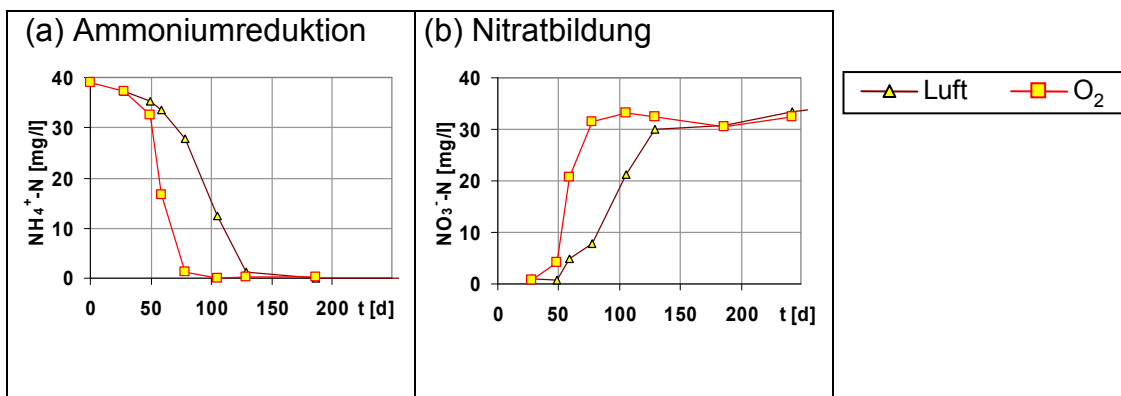


Abbildung 3 Zielprozess Aerobe Stickstofftransformation im Grundwasser P3

Das Grundwasser aus dem Pegel P3 hat signifikante NH_4^+ -Konzentrationen, an denen anschaulich der Prozess der Nitrifikation aufgezeigt werden konnte. Mit dem Verbrauch des verfügbaren TOCs setzte nach etwa 50 Tagen die Nitrifikation ein (Abb. 3). Beim Sauerstoffansatz wurde das Ammonium nach weiteren 25 Tagen vollständig zu Nitrat umgewandelt. Beim Luftansatz waren hierfür 50 Tage mehr nötig.

Die identifizierten aeroben Prozesse (TOC-Abbau, Nitrifikation) sind die Zielprozesse für die Hauptproblemstoffe (TOC, NH_4^+) des deponiebürtigen GW-Schadens. Mit den Versuchen konnte somit nachgewiesen werden, dass diese Stoffe durch Sauerstoff- bzw. Lufteintrag effektiv abgebaut bzw. umgesetzt werden. Die Weiterführung der Untersuchungen in Durchströmungsversuchen lieferte Informationen zum Transportverhalten und erbrachte weitere Erkenntnisse für die Wirkung des gasförmigen Eintrags von Luft und Sauerstoff in die obere GW-Zone unter der Deponie.

3 Feldversuch

3.1 Zielstellung

Mit dem gasförmigen Eintrag von Luft und Sauerstoff soll mit dem Feldversuch am Beispielobjekt der Deponie Weiden-West gezeigt werden, dass die Hauptproblemstoffe TOC und Ammonium im real anstehenden Festgesteinsgrundwasserleiter wirksam reduziert werden können und dass sich mit dem Stoffumsatz das Gefährdungspotentials des deponiebürtigen Grundwasserschadens vermindern lässt. Dabei ist es das vordergründige Ziel, unter Standortbedingungen und im Realmaßstab den Nachweis der prinzipiellen Eignung bzw. der Wirksamkeit des Verfahrens zu erbringen.



Abbildung 4 Feldversuch zum gasförmigen Sauerstoffeintrag in den GW - Schadensbereich der Deponie Weiden-West

Der Versuch dient dabei auch der Untersetzung der laborativ ermittelten Prozessparameter für eine wissenschaftlich begründete Prognose der stimulierten natürlichen Selbstreinigungsprozesse und zur Beurteilung der Kostenersparnis im Vergleich zu konventionellen Sanierungsverfahren.

Mit einem erfolgreich verlaufenden Feldversuch sollen die Voraussetzungen zur Weiterführung und Umsetzung der Belüftungsanlage im gesamten Bereich der geschädigten Aeration- und GW-Zone geschaffen und die Übertragbarkeit auf die in Deutschland zahlreich existierenden Altdeponien und Altablagerungen gesichert werden.

3.2 Hydrogeologische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet liegt im Randbereich des Fränkisch-Oberpfälzer Bruchschollenlands in der sogenannten Weidner Bucht die im Osten an das Grundgebirge, dem Oberpfälzer Wald anschließt.

Die Deponie selbst liegt im Ausstrichbereich der Schichten des Muschelkalkes, die lokal von tertiären und quartären Lockersedimenten überlagert werden. Die Lockergesteine waren Gegenstand des Sand- und Kiesabbaus, in dessen Hohlformen die Deponie entstand. Südlich der Deponie streichen Schichten des Buntsandsteins aus.

Bei den vorgefundenen Gesteinsformationen im Untersuchungsgebiet handelt es sich um Arkosen (Feldspat-Sandsteine), die von unregelmäßigen Ton- und Schluffsteinhorizonten durchzogen werden, nahezu kalkfrei sind und Korngrößen im Spektrum von Mittelsand bis Feinkies aufweisen.

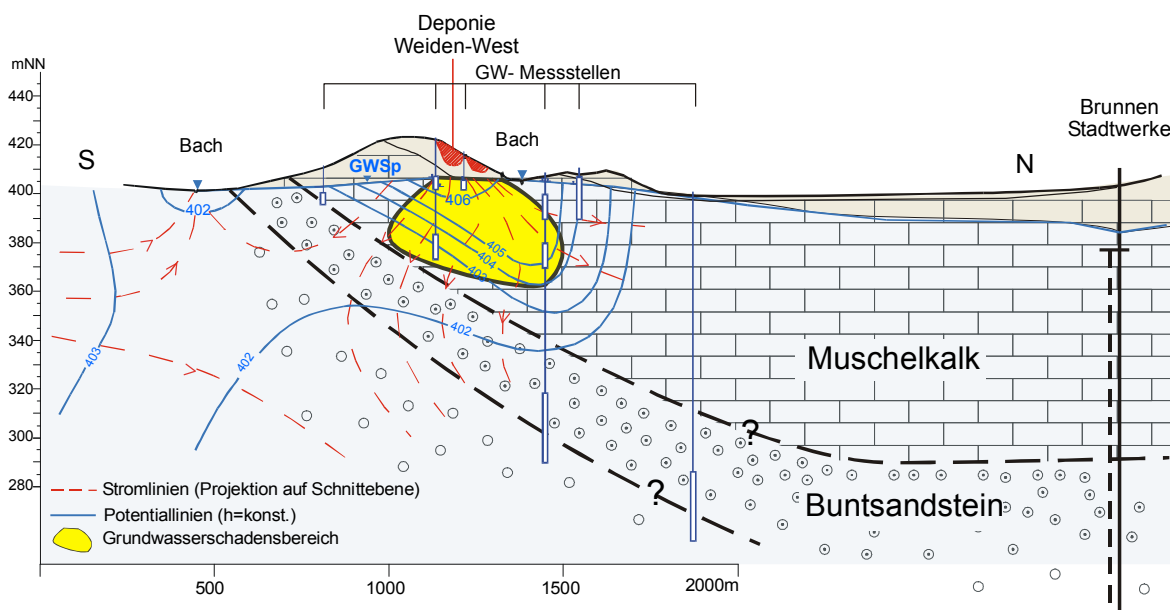


Abbildung 5 Hydrogeologische Verhältnisse im Liegenden der Deponie

Die geohydraulischen Kennwerte werden durch die Anzahl und die Öffnungsweiten der Klüfte geprägt, zusätzlich wird mit einer Wasserführung im Porenraum gerechnet. Von besonderer hydrogeologischer Relevanz sind entfestigte Bereiche im Muschelkalk, die kaum noch eine Sandsteinstruktur erkennen lassen. In diesen Bereichen sind hohe Durchlässigkeiten mit besonderen Wasser- und Gaswegsamkeiten zu erwarten.

3.3 Versuchsaufbau

Am Rande der Ablagerungsflächen der Deponie Weiden - West wurde der Feldversuch aufgebaut, der mit einer zentralen Gasinjektionslanze und 6 Überwachungsmessstellen ausgestattet ist. Die Bohrungen zur Installation der Ausbauelemente wurden im Rotary-Spülbohrverfahren mit Seilkernen abgeteuft, um ungestörte Kernproben für die begleitenden, laborativen Untersuchungen zu gewinnen.

Die errichtete Gasinjektionslanze hat bei etwa 28 m und etwa 10 m unter dem mittleren Grundwasserspiegel Gaseintragungselemente, mit denen über einen Zeitraum von etwa 1 Jahr ca. 12 t (8400 Nm³) Sauerstoff und atmosphärische Luft in den Untergrund eingetragen werden sollen.

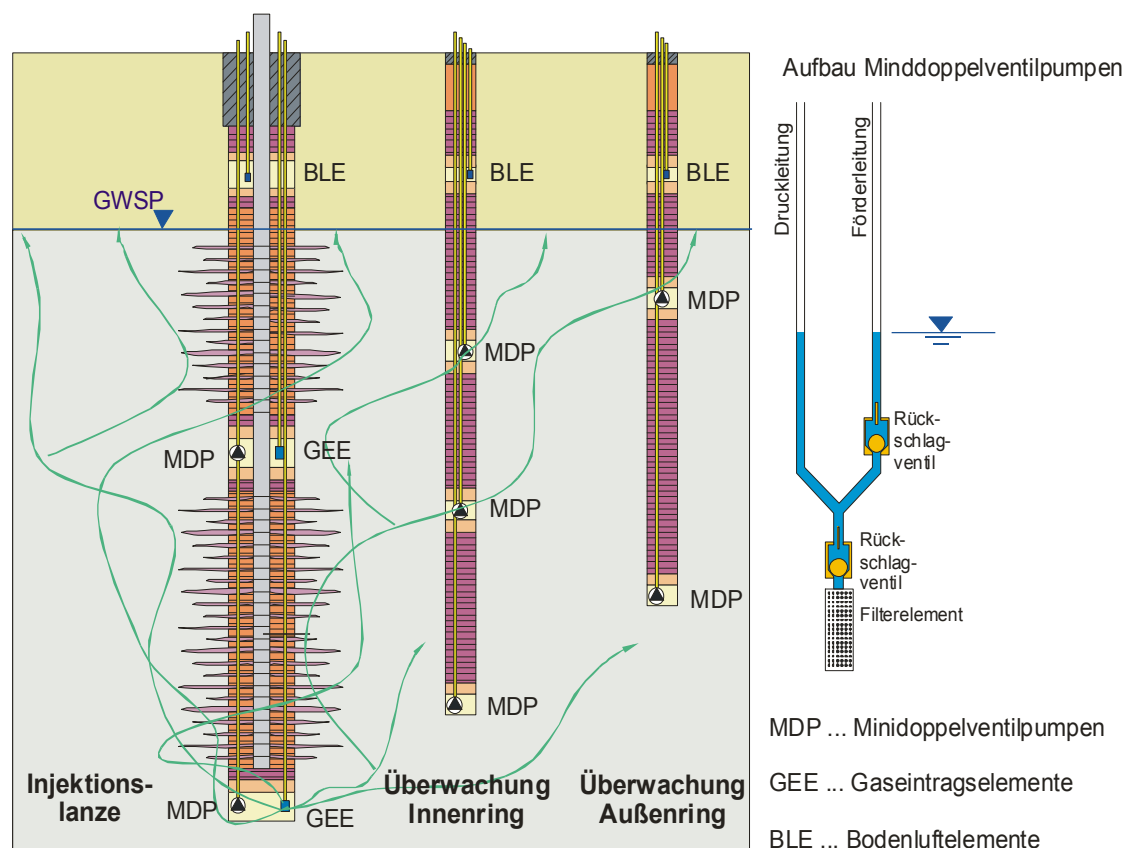


Abbildung 6 Charakteristischer Vertikalschnitt Ausbau der Injektionslanze und Aufbau der Minidoppelventilpumpen

Für die Abdichtung oberhalb der Eintragshorizonte kam eine Tonmehl-Zement-Suspension zur Anwendung, die nach Abschluss der Ringraumverfüllung über ein Manschettenrohr mit hohem Druck in den Ringraum und das anstehende Gebirge eingepresst wurde. Die Verpressung diente der Ausbildung von über die Bohrlochwand hinausgehenden Dichtungsschirmen, um die beim Bohrprozess angeschnittenen Kluftebenen und bevorzugten Gasaufstiegsbereiche im unmittelbaren Bohrlochumfeld zu schließen (Abb. 6).

Neben den Eintrags-elementen ist die Injektionslanze mit Überwachungselementen für Grundwasser und Bodenluft ausgestattet, um für die Prozessuntersuchungen während des Feldversuchs zeitnah die Wirkung des Gaseintrags dokumentieren zu können.

Außerdem wird die Wirkung des Sauerstoffeintrags durch 6 Überwachungsmessstellen im näheren Umfeld der Injektionslanze erfasst. Auf einem inneren und einem äußeren Überwachungsring wurden jeweils 3 Messstellen installiert, die 2 bzw. 3 GW-Überwachungsebenen (Filterlänge 1 m) besitzen und mit einem Bodenluftelement ausgestattet sind. In den GW-Überwachungsebenen kamen Mini-Doppelventilpumpen (MDP) zum Einsatz, deren Funktionsprinzip in Abb. 6 dargestellt ist.

Die kurzen Filterlängen und die geringe GW-Entnahme mit den MDP bei der Probenahme bedingen, dass die GW-Proben punktförmige Information liefern und nahezu keine räumliche Integration der Information erfolgt. Vorteil des gewählten Ausbaus für den Versuch ist die Anordnung mehrerer Überwachungsebenen in einem Bohrloch bei gleichzeitig sicherer hydraulischer Trennung der Horizonte untereinander.

3.4 Versuchsdurchführung

Nach Abschluss der Versuchsvorbereitungen und der erfolgreichen Funktionstests an den Gaseintragselementen konnte mit dem kontinuierlichen Gaseintrag begonnen werden ($t = 0$ d, Abb. 7). Die Versuchsphase 1 (0 - 72 d) ist durch den Sauerstoffeintrag in das untere Eintragselement (IL-36.2), beginnend mit 7 NL-O₂/min und weiterführend mit 16 NL-O₂/min, gekennzeichnet.

In der Versuchsphase 2 wurde der Eintrag im unteren Element auf 12 NL-O₂/min reduziert und das obere Eintragselement (IL-18.2) mit 8 NL-O₂/min dazugeschaltet, so dass seither insgesamt 20 NL-O₂/min (1,2 Nm³-O₂/h) in den Grundwasserschadensbereich kontinuierlich eingetragen wurden. Das Q-t Diagramm in Abbildung 7 verdeutlicht den durchflussgesteuerten Eintrag in den beiden Versuchsphasen.

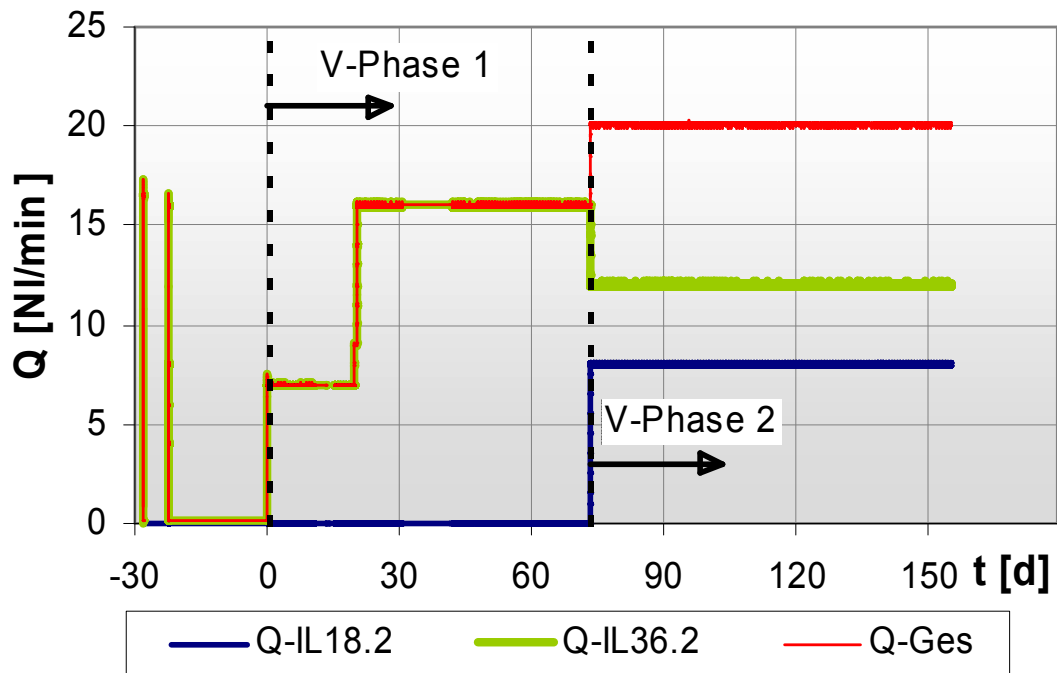


Abbildung 7 Sauerstoffeintrag in Versuchsphase 1 und 2

Neben den Durchflüssen werden die Gaseintragsdrücke kontinuierlich aufgezeichnet. Im Mittel liegen die Gaseintragsdrücke in der Versuchsphase 2 im Eintragsselement IL-36.2 bei 2,5 bar und bei IL-18.2 bei 1,02 bar. Sie liegen damit geringfügig über dem am Eintragungspunkt vorherrschenden hydraulischen Druck, so dass sich anhand der bekannten Höhendifferenzen zwischen den Eintragungspunkten ein signifikant nach unten gerichteter hydraulischer Gradient schlussfolgern lässt.

Bisher (Stand: 22.02.2006) wurden mit diesem Versuchsregime in das untere Gaseintragsselement (IL-36.2) $2650 \text{ Nm}^3 = 3,8 \text{ t}$ und in das obere Gaseintragsselement (IL-18.2) $850 \text{ Nm}^3 = 1,2 \text{ t}$ und somit insgesamt $3500 \text{ Nm}^3 = 5,0 \text{ t}$ Sauerstoff eingetragen.

3.5 Bisherige Ergebnisse

Ausgangssituation

Die Abbildung 8 zeigt die Analysenwerte der 0-Beprobung. Die Milieuparameter Redoxpotential und Sauerstoff sowie die Konzentrationen der Hauptproblemstoffe sind entsprechend ihrer Tiefe und ihrer Zuordnung (Injektionslanze, Innen- und Außenring) aufgetragen.

Anhand dieser Abbildung lassen sich für das Redoxpotential im Mittel etwa 100mV ableiten. Die Sauerstoffkonzentrationen (gelöst) lagen in dem reduzierten GWL-Bereich bei $< 1,5 \text{ mg/l}$. Zwischen 390 und 395 mNN wurden erhebliche TOC Konzentrationen ($> 500 \text{ mg/l}$) analysiert. Die Ammoniumkonzentrationen wiesen im Grundwasser-

schwankungsbereich (400 - 405 mNN) die höchsten Werte auf. Nitrat konnte bei der 0-Beprobung in keiner Messstelle nachgewiesen werden.

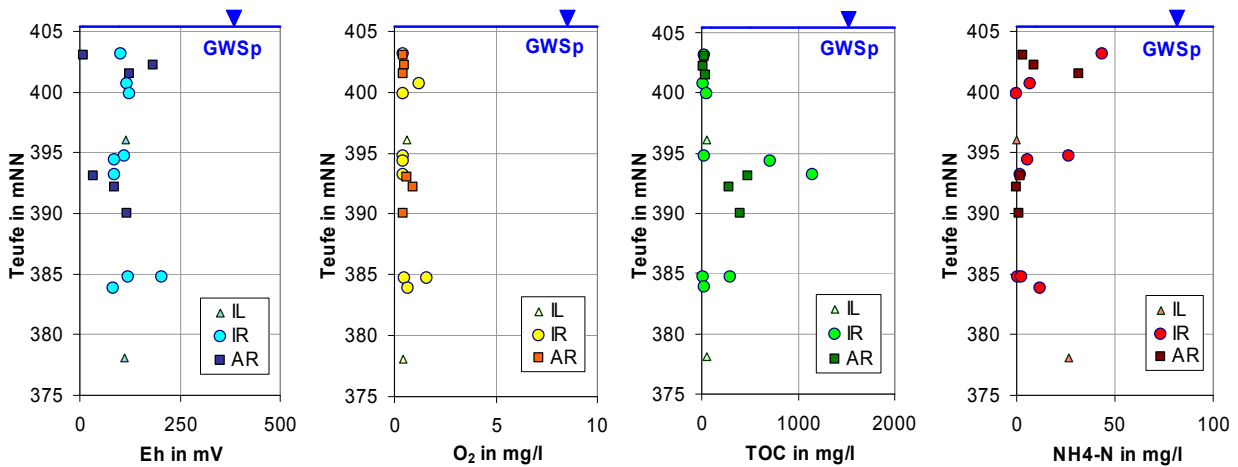


Abbildung 8 Beschaffenheit in den Überwachungspunkten des Feldversuchs vor Versuchsbeginn

Gaseintrag und Beschaffenheitsveränderung im Grundwasser

Das injizierte Gas breitet sich unabhängig vom hydraulischen Gradient des Grundwassers im Festgesteinsgrundwasserleiter entlang vorhandener Klufflächen und heterogen verzweigter Gaskanäle aus. Der gasförmige Transport des Sauerstoffs wird an einigen Überwachungsmessstellen im Innen- und Außenring mit dem sprunghaften Anstieg des Redoxpotentials auf etwa 350 mV und der Sauerstoffkonzentration auf Sättigungskonzentrationen von 50 - 60 mg-O₂/l deutlich. Die Abbildung 9 reflektiert die Änderungen der Milieuparameter an der Messstelle IR2.

Die bereits in Versuchsphase 1 beobachteten Milieuänderungen im Überwachungspunkt IR2-30.0 lassen sich auf den Gaseintrag in den unteren Eintragshorizont (IL-36.2) zurückführen. Demgegenüber waren die Milieuänderung im Überwachungspunkt IR2-12.0 mit Beginn der Versuchsphase 2 festzustellen, so dass die Reaktion mit dem Gaseintrag in das obere Eintragselement (IL-18.2) korreliert (siehe Abb. 9). Im mittleren Horizont der Messstelle verblieben die Milieuwerte unverändert, so dass bisher offensichtlich weder gasförmiger noch gelöster Sauerstoff den Überwachungspunkt erreicht hat.

Anhand der auch im Außenring (AR2-13.9) detektierten charakteristischen Milieuänderung wird deutlich, dass mit dem O₂-Eintrag in den oberen Horizont (IL-18.2) das Gas im GWL über eine Entfernung von > 20 m mit einer signifikanten Horizontalkomponente transportiert wird.

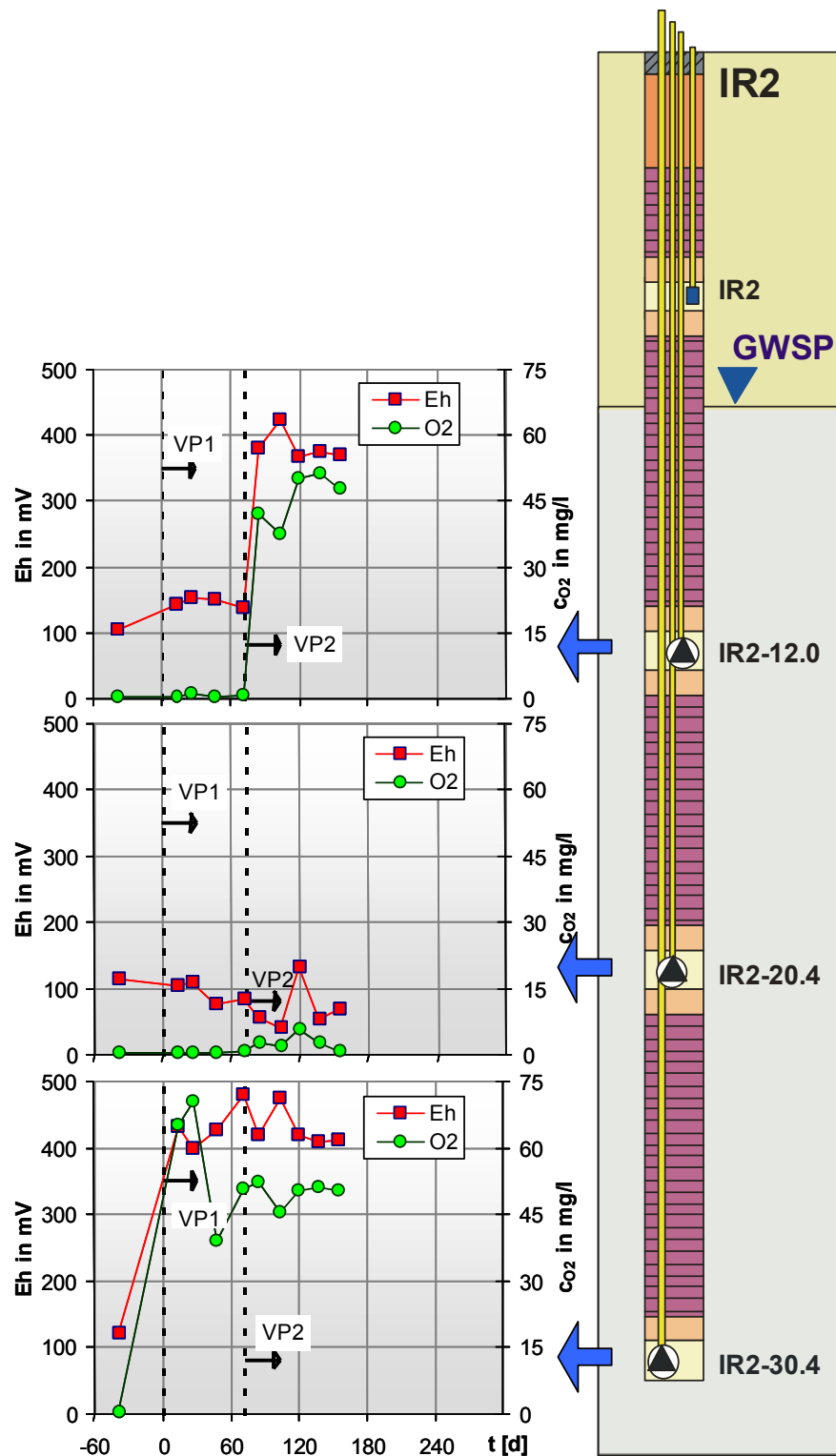


Abbildung 9 Milieuentwicklung in der Messstelle IR2

Die Abb. 10 zeigt die Beschaffenheitsentwicklung im Überwachungspunkt IR2-30.4. Deutlich sichtbar ist der TOC Konzentrationsrückgang von 300 auf etwa 5 mg/l. Sinkende NH_4^+ - und steigende NO_3^- Konzentrationen indizieren die Nitrifikation. Somit konnten am Überwachungspunkt IR2-30.4 die Zielprozesse der Stimulation im Feld überzeugend nachgewiesen werden.

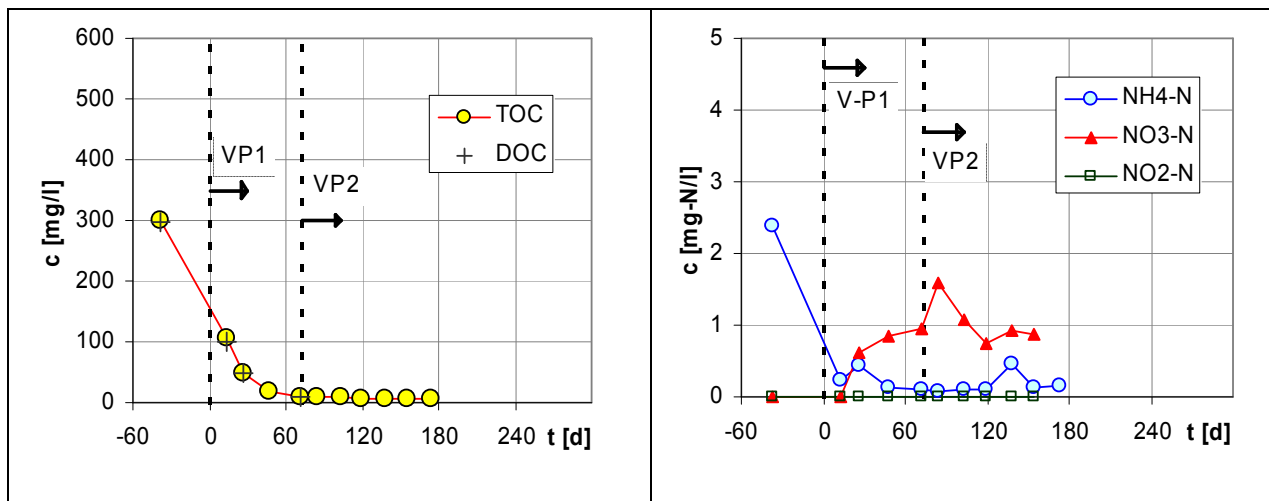


Abbildung 10 Konzentrationsentwicklung von C und N am Überwachungspunkt IR2 -30.0

Zur Steuerung des Einflussbereiches der Injektionslanze und der Menge des Oxidationsmittels soll im Weiteren als Trägergas für den Sauerstoff Luft eingesetzt werden. Luft eignet sich hierfür in besonderem Maße, weil es neben dem inertem Anteil (Stickstoff) bereits einen Anteil Oxidationsmittel (Sauerstoff) besitzt, so dass in Abhängigkeit der benötigten Sauerstoffkonzentration der Sauerstoffanteil nur zudosiert werden muss. Neben dem Vorteil der Steuerung ergibt sich gleichzeitig ein reduzierter Einsatz des Oxidationsmittels Sauerstoff.

Bodenluft:

An den 7 Bodenluftmessstellen werden die Bodenluftanteile O_2 , CH_4 , CO_2 und H_2S vor Ort mit dem Probenahmesystem meta BLPS 304-II der Fa. Meta bestimmt. Die Gaszusammensetzung ist dabei durch die im Deponiekörper und in der darunterliegenden Aerationzone ablaufenden, anaeroben Abbauprozesse mit bedeutender Methan- und der CO_2 -Bildung gekennzeichnet.

Das Verhältnis zwischen Methan und Kohlendioxid lag zu Versuchsbeginn bei etwa 2,0; wobei die Messwerte (CH_4 (18 - 50 Vol-%) und CO_2 (15 - 30 Vol-%)) eine große Bandbreite aufwiesen. Der Sauerstoffanteil war nahe 0 Vol-% (siehe Abb. 11). Der nichtanalytierte Anteil der Bodenluft, der dem Stickstoff zugeordnet wurde, wies einen ebenfalls großen Wertebereich, im Mittel etwa 45 Vol-%, auf.

In der Versuchsphase 1 ließ sich ein Anstieg der CH_4 - und der CO_2 -Anteile verzeichnen, wobei das Verhältnis der beiden Gase weitgehend unverändert blieb. Am O_2 -Anteil konnten keine Veränderungen festgestellt werden, so dass es für den Bilanzraum in dieser Versuchsphase keinen Nachweis zu Gasaustritten über die Grundwasseroberfläche in die Aerationzone gibt. Somit ist davon auszugehen, dass der eingetragene Sauerstoff im Grundwasserleiter eingespeichert und verbraucht werden konnte.

Die Änderungen der Bodenluftzusammensetzung sind in der derzeit laufenden Versuchsphase 2 indifferent. In den Messstellen IR1, IR2, AR2, AR3 wurde ein weiterer Anstieg des CO₂-Anteils auf teilweise > 40 Vol-% bei Rückgang des Methananteils, der auf eine Methanoxidation hinweist, beobachtet. In den Messstellen IR1 und AR2 ließen sich nach 154 Versuchstagen (82 d nach Beginn der Versuchsphase 2) nennenswerte O₂ Konzentrationen (> 10 Vol-%) nachweisen (siehe Abb. 11).

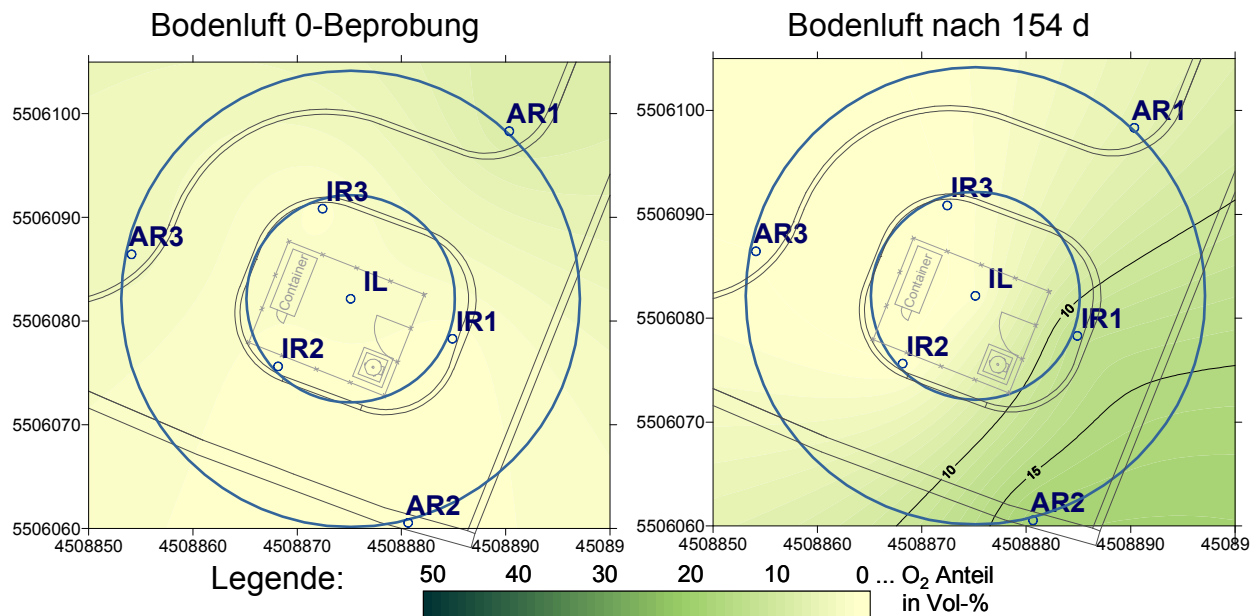


Abbildung 11 Sauerstoffanteil der Bodenluft in Vol-%

4 Zusammenfassung

Die bisherigen Überwachungsdaten aus den regelmäßigen Beprobungen der Grundwassermessstellen im Quell- und Abstrombereich der Deponie zeigen, dass die derzeit anaeroben Stoffwandlungsprozesse nicht ausreichen (Limitation von Elektronenakzeptoren oder -donatoren), eine Gefährdung von Schutzgütern, insbesondere des noch ungeschädigten Grundwassers und der Grundwasserfassung der Stadtwerke Weiden auszuschließen.

Mit dem Eintrag eines Oxidationsmittels lassen sich hingegen die natürlichen Selbstreinigungsprozesse nachweislich stimulieren und das Gefährdungspotential des Grundwasserschadens signifikant reduzieren. Anhand laborativer Voruntersuchungen konnte die Wahl des gasförmigen Oxidationsmittels getroffen werden.

Die ersten Ergebnisse des Feldversuchs verdeutlichen die Anwendbarkeit eines gasförmigen Eintrags von Reaktanten in einen Festgesteinsgrundwasserleiter. Im Gegensatz zum Lockergestein lässt sich in diesem Versuch durch den realisierten Ausbau der 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 bisher, 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. An einem Überwachungspunkt konnten die Zielprozesse TOC Abbau und Nitrifikation bereits festgestellt werden.

5 Literatur

- | | | |
|--|------|---|
| Luckner L., Luckner Th.,
Schinke R. | 2004 | Natural Attenuation in der Deponienachsorge, in Stegmann R., Rettenberger G., Bidingmaier W., Ehrig H.-J., Fricke K. (Hrsg.), Deponietechnik 2004, 4. Hamburger Abfallwirtschaftstage, Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, ISBN 3-9808180-5-5 |
| H. Ehbrecht, L. Luckner | 2004 | BIOXWAND - Entwicklung und Erprobung einer Bio-oxidations-wand im Abstrom eines hoch mit Ammonium kontaminierten Grundwasserleiters, Forschungs-bericht, Berliner Wasserbetriebe, Berlin, Februar 2004. |
| Schinke R., Luckner Th. | 2005 | Gaseintrag in den Grundwasserschadensbereich der Deponie Weiden-West; Hrsg. DECHEMA e.V., ISBN 3-89746-071-X; 2005 |
| Th. Luckner, L. Luckner,
W.D. Sondermann, B.
Hejma | 2006 | Grundlagen zum Umgang mit deponiebürtigen Grundwasserschäden; Altlastenspektrum, Erich Schmidt Verlag; ISSN 0942-3818; 15. Jg.; Feb. 06 |

Anschrift der Verfasser

R. Schinke	Dr. Th. Luckner
Telefon +49 (0)351 / 40 50 671	Telefon +49 (0)351 / 40 50 666
Email rschinke@dgfz.de	Email tluckner@dgfz.de
DGFZ Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.	
Meraner Str. 10; D-01217 Dresden	
Website: www.dgfz.de	

Der Beitrag entstand im Rahmen des vom BMBF geförderten und von der Stadt Weiden i.d. OPf. cofinanzierten Projektes (Förderkennzeichen: 0330502) mit dem Titel

„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“.

Dem Projektträger des BMBF und BMWi und der Stadt Weiden i. d. OPf. sei für die Unterstützung gedankt.