



PERSPEKTIVEN FÜR UMWELT & GESELLSCHAFT **umweltbundesamt**^U

5. ÖVA Technologieworkshop

"Anwendung chemischer In-situ-Verfahren –
(direkte) Einbringung von Stoffen ins Grundwasser“

am: **20. November 2014**

Ort: Democenter, Brigittenauer Lände 50-54, 1200 Wien

In Kooperation mit



zukunft
SEIT 1909
denken

Mit Unterstützung durch:



Vorwort

In Österreich beschreiben die Umweltqualitätsziele (2005) und das "Leitbild Altlastenmanagement" (2009) langfristige Ziele und Strategien für historisch kontaminierte Standorte. Für eine effektive Umsetzung bis 2050 wird es notwendig sein auch die Anwendungspotenziale neuer bzw. innovativer Sanierungstechnologien umfassend auszuschöpfen. Internationale Beispiele bestätigen, dass diese Technologien einen wichtigen Beitrag zur kosten- und leistungseffizienten Sanierung von kontaminierten Standorten und der Schonung natürlicher Ressourcen liefern können.

Um den Einsatz und die Akzeptanz innovativer Sanierungstechnologien zu unterstützen hat sich der ÖVA zum Ziel gemacht, ausgewählte Technologien, welche bis dato in Österreich nur sehr untergeordnet in Anwendung sind, in einer Reihe von ÖVA-Technologieworkshops vorzustellen. Jeder ÖVA-Workshop gibt einen Überblick über eine ausgewählte Schlüsseltechnologie und hat seinen Schwerpunkt auf der Vorstellung und Diskussion ausgewählter Anwendungen aus der österreichischen und internationalen Praxis.

Vier ÖVA-Workshops zu den Themen "Air Sparging", "Thermische In-Situ Verfahren", "In-situ-Aerobisierung" und "Permeable/Reaktive Wände" fanden bereits statt. Der heutige Technologieworkshop widmet sich dem Thema „Anwendung chemischer In-situ-Verfahren – (direkte) Einbringung von Stoffen ins Grundwasser“, zu dem ich Sie im Namen des ÖVA herzlichst begrüße.

Thomas G. Reichenauer
Präsident des ÖVA

PROGRAMM

Einführung

10:00 -10:15 **Begrüßung**
Präsident des ÖVA
(REICHENAUER, Thomas G. - AIT – Austrian Institute of Technology, Tulln)

Block 1: Einführung, Grundlagen und Überblick

10:15 – 10:45 **In-situ-Sanierung mit Hilfe der Chemie – (wie) geht das?**
(KOSCHITZKY, Hans-Peter – VEGAS, Universität Stuttgart)

10:45 – 11:15 **Direkte und indirekte Einbringung von Stoffen ins Grundwasser – wasserrechtliche Rahmenbedingungen**
(OSSEGGGER, Gunter - BMLFUW, Abt. IV/1: Wasserlegistik und -ökonomie)

11:15 – 11:45 **Einbringung von Stoffen in den Untergrund aus Sicht des Grundwasserschutzes**
(SAMEK, Michael – BMLFUW, Abteilung IV/4: Anlagenbezogene Wasserwirtschaft)

12:00 – 13:00 Mittagessen

Block: Fallbeispiele In-situ-chemische Oxidation (ISCO) und Reduktion (ISCR)

13:00 – 13:25 **ISCO-Fallbeispiel Planung – Genehmigung – Umsetzung**
(JACOBS, Patrick - TAUW GmbH, Berlin)

13:25 – 13:50 **10 Jahre Praxiserfahrung mit ISCO Grundwassersanierungen**
(EDEL, Hans-Georg – Züblin Umwelttechnik GmbH, Stuttgart)

13:50 – 14:15 **Praxiserfahrungen mit in-situ chemischer Reduktion bzw. Oxidation von LHKW- bzw. BTEX-Kontaminationen**
(BOHNERT, Bernadette – HPC AG, Rottenburg)

14:15 – 14:40 **Sanierung Ölunfall Deutschlandsberg**
(FRITSCH, Alfred – INTERGEO Umwelttechnologie und Abfallwirtschaft GmbH, Wien)

14:40 – 15:10 Kaffeepause

Block: Kurzstatements und Diskussion

15:10 – 15:20 **Einbringung von Stoffen ins Grundwasser – Wollen wir das?**
(MÜLLER-GRABHERR, Dietmar – Umweltbundesamt GmbH, Wien)

15:20 – 15:30 **Anwendung und Bedeutung von chemischen In-situ-Verfahren in der Praxis aus Betreibersicht**
(MORIZ, Gerhard – BP Austria)

15:30 – 16:00 **Abschlussdiskussion**

Ende des Workshops

16:30 – 18:30 GENERALVERSAMMLUNG des ÖVA

INHALTSÜBERSICHT

In-situ-Sanierung mit Hilfe der Chemie – (wie) geht das? <i>Norbert Klaas, Hans-Peter Koschitzky – VEGAS, Universität Stuttgart</i>	5
Direkte und indirekte Einbringung von Stoffen ins Grundwasser – wasserrechtliche Rahmenbedingungen <i>Gunter Ossegger – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien</i>	9
Einbringungen von Stoffen aus Sicht des Grundwasserschutzes <i>MR DI Michael Samek - Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien</i>	13
ISCO-Fallbeispiel Planung – Genehmigung – Umsetzung <i>Dr. Patrick Jacobs, Tauw GmbH, Berlin</i>	17
10 Jahre Praxiserfahrung mit ISCO-Grundwassersanierungen <i>Hans-Georg Edel – Züblin Umwelttechnik, Stuttgart</i>	20
Praxiserfahrungen mit in-situ chemischer Reduktion bzw. Oxidation von LHKW- bzw. BTEX-Kontaminationen <i>Bernadette Bohnert – HPC AG, Rottenburg</i>	26
Sanierung Ölunfall Deutschlandsberg <i>Mag. Alfred FRITSCH – INTERGEO Umwelttechnologie und Abfallwirtschaft GmbH, Wien</i>	31
Einbringung von Stoffen ins Grundwasser – Wollen wir das? <i>Dietmar MÜLLER-GRABHERR, Timo DÖRRIE, Umweltbundesamt GmbH, Wien</i>	37
Anwendung und Bedeutung von chemischen In-situ-Verfahren in der Praxis aus Betreibersicht <i>Ing. Gerhard MORIZ, BP Europa SE / Remediation Management, Wien</i>	41
Anhang: Teilnehmerliste	44

In-situ-Sanierung mit Hilfe der Chemie – (wie) geht das?

Klaas, Norbert; Koschitzky, Hans-Peter – VEGAS, Universität Stuttgart

1. Klassifizierung der Sanierungsverfahren

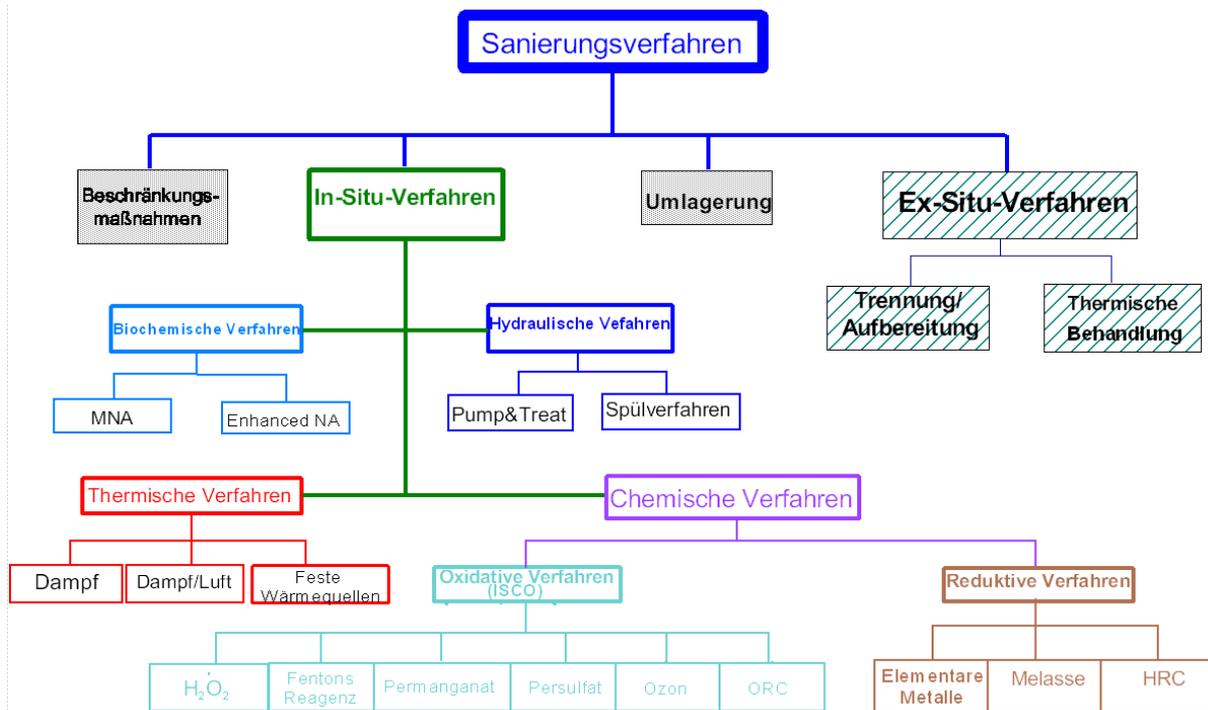


Abb 1: Klassifizierung der Sanierungsverfahren

Abbildung 1 zeigt eine Übersicht über die Sanierungsverfahren. Neben einigen hydraulischen Verfahren, bei denen chemische Stoffe (z.B. Alkohole oder Tenside) zur Veränderung der (Löse-)Eigenschaften von Wasser verwendet werden und auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, ist der Einsatz von chemischen Reagenzien im Bereich biochemische Verfahren („Enhanced Natural Attenuation“) und auch bei den chemischen Verfahren erforderlich. Diese Reagenzien nehmen als Reaktionspartner an chemischen Umsetzungen teil. In jedem Fall bringt das Einbringen von Stoffen in den Untergrund bringt eine Reihe von Problemen – nicht nur rechtlicher Art – mit sich, die man gut gegen die unbestreitbaren Vorteile dieser Methoden abwägen sollte.

In beiden Bereichen (chemisch oder biochemisch) muss deutlich zwischen oxidativen und reduktiven Methoden unterschieden werden. Grundsätzlich sind oxidative Methoden effizienter und für ein breiteres Schadstoffspektrum anwendbar, bedeuten i.d.R. aber auch einen „härteren“ Eingriff in den Aquifer und die dortige Biozönose. Beide Techniken greifen in das Redoxmilieu im Untergrund ein und sind durch den stabilen Bereich des Wassers limitiert (siehe Abbildung 2). Die Abbildung zeigt, dass – in Abhängigkeit von pH-Wert – nur ein bestimmtes Fenster für die Einstellung des Redoxpotentials zur Verfügung steht, da außerhalb des gestrichelten Bereichs chemische Verfahren wegen Nebenreaktionen des Wassers zunehmend unökonomisch werden (Verbrauch von Reagentien). Diese Darstellung ist jedoch

eine rein thermodynamische Betrachtung, wobei sich der wirtschaftliche Bereich durch Eingriffe in die Reaktionskinetik etwas erweitern lässt.

Welche Art von Eingriff (oxidativ oder reduktiv, rein chemisch oder Stimulierung von mikrobiologischer Aktivität) im speziellen Fall sinnvoll ist, wird primär durch die Art der vorliegenden Schadstoffe, aber auch durch die am Standort vorherrschenden hydrochemischen und geochemischen Gegebenheiten bestimmt.

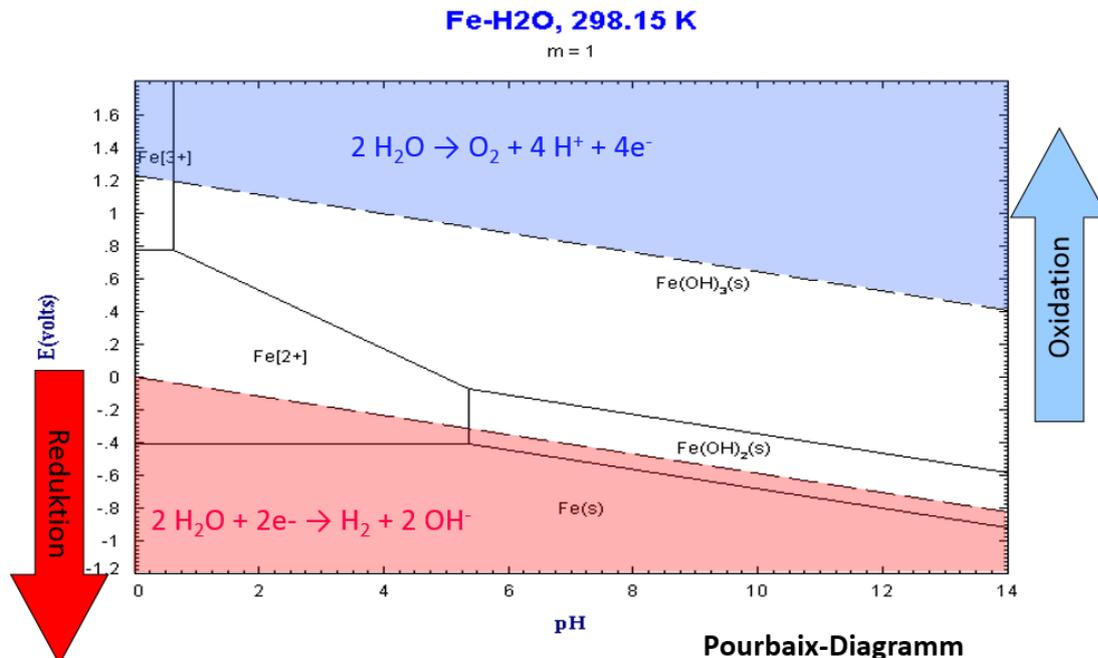


Abb 2: Eh/pH-Diagramm mit stabilem Bereich von Wasser

Mikrobielle Verfahren

Die folgende Darstellung gibt einen Überblick über die in Aquiferen – je nach Milieubedingungen - ablaufenden Redoxreaktionen am Beispiel des mikrobiellen Abbaus von Naphthalin. Der Parameter ΔG^0 (freie Reaktionsenthalpie) ist ein Maß für die bei einer Reaktion freiwerdende Energie (negative Werte für exotherme Reaktionen), die auch Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit hat (je stärker exotherm eine Reaktion ist, desto schneller läuft sie i.d.R. ab).

Redox zones	Redoxreaktionen	ΔG^0 [kcal/eeq]
Aerobic zone	$1/48 C_{10}H_8 + 1/4 O_2 \rightarrow 10/48 CO_2 + 1/12 H_2O$	- 25,43
Nitrate reducing zone	$1/48 C_{10}H_8 + 1/5 NO_3^- + 1/5 H^+ \rightarrow 10/48 CO_2 + 11/60 H_2O + 1/10 N_2$	- 23,88
Mn(IV) reducing zone	$1/48 C_{10}H_8 + 1/2 MnO_2(s) + 1/2 HCO_3^- + H^+ \rightarrow 10/48 CO_2 + 1/2 MnCO_3 + 7/12 H_2O$	- 18,88
Fe(III) reducing zone	$1/48 C_{10}H_8 + FeOOH(s) + 1/2 HCO_3^- + H^+ \rightarrow 10/48 FeCO_3 + 76/48 H_2O$	- 5,66
Sulfate reducing zone	$1/48 C_{10}H_8 + 1/8 SO_4^{2-} + 3/16 H^+ \rightarrow 10/48 CO_2 + 1/16 H_2S + 1/16 HS^- + 1/12 H_2O$	- 1,67
Methanogenic zone	$1/48 C_{10}H_8 + 1/4 H_2O \rightarrow 4/48 CO_2 + 1/8 CH_4$	- 0,99

Abb 3: Mikrobielle Reaktionen im Aquifer mit Energieausbeuten (nach McFarland & Sims 1991)

Zur Stimulierung von mikrobiellen Abbauvorgängen oder auch zur Immobilisierung von (Schwer-)Metallen kann sowohl in das Redoxmilieu eingegriffen werden als auch den Mikroorganismen Nährstoffe von außen zugeführt werden. Zur Erhöhung des Redoxpotentials können so genannte „oxygen release compounds (ORC)“ zugeführt werden, was z.B. bei Schadensfällen mit Kohlenwasserstoffen einen positiven Effekt haben kann. „Hydrogen release compounds (HRC)“ wie z.B. Laktatsalze erniedrigen auf der anderen Seite das Redoxpotential, was sich günstig auf die reduktive Dechlorierung von CKW auswirkt. Bei (Schwer-)Metallen hängt es vom Metall und auch von der Spezies ab, in dem das Metall vorliegt, welches Verfahren sinnvoll ist.

Oxidative Verfahren

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über einige Eigenschaften der wichtigsten chemischen Oxidationsmittel. Es gilt die Regel, dass mit höherem Redoxpotential (E_0) sich einerseits die Oxidationskraft erhöht, es andererseits aber auch schwieriger wird, die Reaktion zu kontrollieren bzw. Nebenreaktionen mit Reagentienverlusten zu unterbinden.

Tabelle 1: Eigenschaften der wichtigsten Oxidationsmittel

Oxidationsmittel	Aktives Reagenz	E0 [V]	Bemerkungen
Permanganat	MnO_4^-	1,7	Bildet MnO_2 (Feststoff, Clogging?)
Wasserstoffperoxid (Fenton's Reagenz)	H_2O_2	1,8	Katalysator notwendig (Fe^{2+}), komplexer Chemismus, schwierig zu kontrollieren (pH), Zwischenprodukte
	OH^\bullet	2,8	
	HO_2^\bullet	1,7	
	$O_2^{\bullet-}$	-2,4	
	HO_2^-	-0,88	
Ozon	O_3	2,1	Schlecht wasserlöslich
	OH^\bullet	2,8	
Persulfat	$S_2O_8^{2-}$	2,1	Komplexer Chemismus, Katalysator erforderlich
	$SO_4^{\bullet-}$	2,6	
Eisen(III)oxid	$Fe(OH)_3$?	Feststoff, benötigt Mikroorganismen, Verfügbarkeit speziesabhängig

Oxidative Verfahren sind geeignet für aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, sind aber auch bei einigen chlorierten Kohlenwasserstoffe anwendbar. Sie haben damit gegenüber den reduktiven Reagenzien ein breiteres Anwendungsspektrum und den wesentlichen Vorteil, dass die Reaktion bis zur vollständigen Mineralisierung führen kann.

Reduktive Verfahren

Auch bei den Reduktionsmitteln gibt es eine ziemliche Bandbreite, von denen aber nur wenige tatsächlich eingesetzt werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Eigenschaften der wichtigsten Reduktionsmittel

Reduktionsmittel	Aktives Reagenz	E0 [V]	Bemerkungen
Eisen	$Fe(0)$	-0,4	Gut untersucht, hohe Dichte (Transport?)
Nicht-Eisenmetalle	Al	-1,66	Wenig untersucht, Korrosionsprobleme!
	Mg	-2,36	
Aktiv-Wasserstoff	„H“, „H ₂ “	<-0,2	H ₂ , Melasse, Laktat, Pflanzenöle. Unterstützung der mikrobiellen Reduktion

Reduktive Reaktionen laufen, wie schon gesagt (siehe Kapitel 2, Abbildung 3), im Vergleich zu oxidativen Reaktionen grundsätzlich langsamer ab. Die Verfahren mit aktivem Wasserstoff benötigen zudem die Unterstützung durch Mikroorganismen. Diese Verfahren sind daher nur für elektronenreiche Schadstoffe wie halogenierte Stoffe oder redoxaktive Metalle¹ geeignet. Aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe können reduktiv gar nicht abgebaut werden, die Abbaubaren werden in Metabolite überführt.

Die metallischen Reagenzien müssen als Feststoffe in den Aquifer eingebracht werden (mechanisch oder als wässrige Suspension). Dabei kommen zum komplexen Chemismus, der stark von den hydrochemischen Bedingungen am Standort abhängt, noch Probleme bei der Mobilität (Transportierbarkeit) der Partikel.

2. Zusammenfassung

Trotz aller Schwierigkeiten haben die chemischen Sanierungsverfahren in jedem Fall ein Potential, zumal für viele Standorte aus unterschiedlichen Gründen andere, etablierte Verfahren nicht oder nur mit geringen Erfolgsaussichten einsetzbar sind. Auf Grund des komplexen Zusammenwirkens von Chemie, Mikrobiologie und Standortfaktoren ist bei diesen Verfahren eine sehr gründliche Planung verbunden mit umfangreichen Kenntnissen bei den Anwendern erforderlich.

Einige chemische Sanierungsverfahren werden erfolgreich eingesetzt. Andere sind noch nicht wirklich marktreif und es besteht weiterer Forschungsbedarf. Angesichts der europa- und weltweit vielfältigen und gravierenden Probleme mit Grundwasserkontaminationen sind diese Entwicklungen aber durchaus wünschenswert und notwendig. Auch wenn die chemischen Sanierungsverfahren in vielen Fällen vielleicht nicht die erste Wahl sind, ist es dennoch wichtig, ein reichhaltiges Portfolio an Methoden zur Verfügung zu haben, um den Herausforderungen in Richtung einer nachhaltigen Umwelt nachzukommen.

Literatur

McFarland, M.J., Sims, R.C. (1991): Thermodynamic Framework for Evaluating PAH Degradation in the Subsurface. *J. of Groundwater*, Vol. 29, No. 6: 885-895

¹ bei Metallen kann bestenfalls eine Immobilisierung erreicht werden, deren Nachhaltigkeit im Einzelfall zu überprüfen ist

Direkte und indirekte Einbringung von Stoffen ins Grundwasser – wasserrechtliche Rahmenbedingungen

Gunter Ossegger

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

1. Einleitung

Die Reinhaltung und der Schutz der Gewässer, insbesondere auch der Schutz des Grundwassers vor dem Eintrag von Schadstoffen, stellen zentrale Zielsetzungen des WRG 1959 aber auch im Unionsrecht dar. Die hohe Schutzbedürftigkeit des Grundwassers resultiert insbesondere aus dessen Bedeutung für die Trinkwasserversorgung.

2. Unionsrechtliche Grundlagen

Die Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (WRRL) enthält EU-weit einheitliche Qualitätsziele für den guten chemischen Zustand von Grundwasser und verpflichtet die Mitgliedsstaaten zum Schutz des Grundwassers zu Maßnahmen, um einen guten chemischen Zustand im Grundwasser zu erreichen bzw. eine Verschlechterung des Zustands zu verhindern, indem die Einleitung von Schadstoffen in das Grundwasser verhindert oder begrenzt wird.

In Ergänzung bzw. in Konkretisierung dazu normiert die Richtlinie 2006/118/EG zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (GWRL) EU-weit einheitliche Grundwasserqualitätsnormen sowie Kriterien für die Festlegung von (nationalen) Schwellenwerten durch die Mitgliedsstaaten und sieht Maßnahmen zur Verhinderung oder Begrenzung des Eintrags von Schadstoffen in das Grundwasser vor. Gemäß Artikel 6 der GWRL haben die Maßnahmenprogramme des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans

- alle zur Verhinderung von Einträgen gefährlicher Stoffe in das Grundwasser erforderlichen Maßnahmen zu umfassen. Bei der Ermittlung dieser Stoffe berücksichtigen die Mitgliedstaaten insbesondere die gefährlichen Stoffe, die zu den in Anhang VIII Nummern 1 bis 6 der Richtlinie 2000/60/EG genannten Familien oder Gruppen von Schadstoffen gehören, sowie die Stoffe, die zu den in Anhang VIII Nummern 7 bis 9 der Richtlinie 2000/60/EG genannten Familien oder Gruppen von Schadstoffen gehören, wenn diese als gefährlich erachtet werden, und
- für in Anhang VIII der Richtlinie 2000/60/EG aufgeführte Schadstoffe, die nicht als gefährlich erachtet werden, und für alle anderen nicht gefährlichen nicht in Anhang VIII der Richtlinie 2000/60/EG aufgeführten Schadstoffe, von denen nach Auffassung der Mitgliedstaaten eine reale oder potenzielle Verschmutzungsgefahr ausgeht: alle erforderlichen Maßnahmen zur Begrenzung von Einträgen in das Grundwasser zu umfassen, um sicherzustellen, dass diese Einträge nicht zu einer Verschlechterung führen, oder signifikante und anhaltende steigende Trends bei den Konzentrationen

von Schadstoffen im Grundwasser bewirken. Diese Maßnahmen tragen zumindest bewährten Praktiken Rechnung, darunter der besten Umweltpraxis und der besten verfügbaren Technik nach Maßgabe der einschlägigen Gemeinschaftsvorschriften.

Die GWRL steht ferner in einem inhaltlichen Zusammenhang mit der Richtlinie 80/68/EWG über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe.²

3. Nationale Zielvorgaben

Gemäß § 30c Abs. 1 Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959) sind alle Gewässer einschließlich des Grundwassers im Rahmen des öffentlichen Interesses und nach Maßgabe der folgenden gesetzlichen Bestimmungen so reinzuhalten und zu schützen, dass u.a. die Gesundheit von Mensch und Tier nicht gefährdet werden kann, eine nachhaltige Wassernutzung auf der Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen gefördert wird und eine Verbesserung der aquatischen Umwelt, u.a. durch spezifische Maßnahmen zur schrittweisen Reduzierung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten von gefährlichen Schadstoffen gewährleistet wird. Insbesondere ist Grundwasser sowie Quellwasser so reinzuhalten, dass es als Trinkwasser verwendet werden kann. Grundwasser ist weiters so zu schützen, dass eine schrittweise Reduzierung der Verschmutzung des Grundwassers und Verhinderung der weiteren Verschmutzung sichergestellt wird. ...

§ 30 ist Maßstab für die Handhabung und Auslegung der Einzelbestimmungen des WRG 1959³.

Darauf aufbauend legt § 30c Abs. 1 WRG 1959 als konkretes Umweltziel fest, dass Grundwasser derart zu schützen, zu verbessern und zu sanieren ist, dass eine Verschlechterung verhindert und der gute Zustand erreicht wird. Der gute Zustand im Grundwasser ist dann erreicht, wenn sich der Grundwasserkörper zumindest in einem guten mengenmäßigen und einem guten chemischen Zustand befindet.

In der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW) werden der gute chemische Zustand durch Schwellenwerte für Schadstoffe bezeichnet und Kriterien zur Beurteilung des chemischen Zustands im Grundwasser festgelegt.

² Die Richtlinie 80/68/EWG des Rates wurde gemäß Art. 22 WRRL Ende 2013 aufgehoben. Nach dieser Richtlinie war der Eintrag von bestimmten gefährlichen Schadstoffen ins Grundwasser zu verhindern und der Eintrag sonstiger Schadstoffe ins Grundwasser zu begrenzen, um eine Verschmutzung des Wassers durch diese Stoffe zu vermeiden

³ § 30 kann nicht unmittelbar als Rechtsgrundlage für konkrete Maßnahmen herangezogen werden kann, sondern die weiteren Vorschriften gesetzlichen Bestimmungen (insb §§ 30a ff, 31, 32 etc) bestimmen die Möglichkeiten und Grenzen der Handhabung des WRG bei der Verfolgung der Ziele des § 30 Abs 1 (vgl. *Oberleitner/Berger*, WRG-ON 1.02 § 30 Rz 2, Stand März 2014, rdb.at).

4. Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers

Maßnahmen zur Begrenzung bzw. Verhinderung der Einbringung bestimmter Schadstoffe sind in den §§ 32 und 32a WRG 1959 geregelt. Einbringungsverbote und Einbringungsbeschränkungen zielen darauf ab, das Grundwasser vor einem aus dem Gesichtspunkt des Gewässerschutzes nicht vertretbaren Eintrag von Schadstoffen zu schützen, indem eine Verschlechterung bzw. Verschmutzung des Grundwassers verhindert wird. Der Begriff der „Verschmutzung“ wird gemäß § 30 Abs. 3 Z 3 WRG 1959 definiert als die durch menschliche Tätigkeiten direkt oder indirekt bewirkte Freisetzung von Stoffen oder Wärme in Wasser, die der menschlichen Gesundheit oder der Qualität der aquatischen Ökosysteme oder der direkt von ihnen abhängigen Landökosysteme schaden können oder eine Beeinträchtigung oder Störung des Erholungswertes und anderer legitimer Nutzungen der Umwelt mit sich bringen.

§§ 6 und 7 QZV Chemie GW legen zum Schutz des Grundwassers vor Verschlechterung bzw. Verschmutzung Einbringungsverbote sowie -beschränkungen hinsichtlich bestimmter Stoffe fest. Die diesbezüglich in den Anlagen 2 und 3 aufgelisteten Schadstoffe sind grundsätzlich aus der früheren Grundwasserschutzverordnung⁴ übernommen und den durch Artikel 6 der GWRL vorgegebenen Kategorien zugeordnet worden.

Gemäß § 6 QZV Chemie GW ist die direkt vorgenommene Einbringung von Stoffen der Anlage 2 ex lege verboten, sodass kein weiteres behördliches Verfahren vorgesehen ist. Eine direkte Einbringung ist gegeben, wenn keine Bodenpassage vorliegt. Aus den Erläuterungen zur Verordnung ergibt sich, dass dies der Fall ist, wenn eine belebte Bodenschicht fehlt. Dies wird insbesondere bei der Einbringung über einen Sickerschacht bzw. lediglich über eine Schotterschicht zutreffen.

Vom Verbot sind die Einbringung von Haushaltsabwässern aus Einzelobjekten in Streulage außerhalb von Schutz- und Schongebieten sowie von Stoffen in so geringer Menge und Konzentration ausgenommen, dass jede gegenwärtige oder künftige Gefahr einer Beeinträchtigung des Grundwassers ausgeschlossen ist, insbesondere die Einbringung geringfügiger Mengen von Stoffen für wissenschaftliche Zwecke zum Studium, zum Schutz oder zur Sanierung der Oberflächenwasser- oder Grundwasserkörper.

Jede von § 6 nicht erfasste Einbringung von in der Anlage 2 angeführten Schadstoffen sowie die direkte oder indirekte Einbringung von in Anlage 3 angeführten Schadstoffen in das Grundwasser unterliegt der Bewilligungspflicht gemäß § 32 WRG 1959. Bei der Bewilligung dieser Einbringungen ist ein Einmischungsbereich zu berücksichtigen, wobei für die Ermittlung der Ausbreitung der Schadstofffahnen im Grundwasser und die Beurteilung deren Auswirkungen keine generalisierten Vorgaben festgelegt sind.

Für die Beurteilung der Bewilligungsfähigkeit ist zunächst relevant, ob ein festgelegter Schwellenwert eingehalten wird. § 7 Abs. 2 QZV Chemie GW beinhaltet die rechtliche Vermutung, dass eine Verschmutzung jedenfalls nicht gegeben ist, wenn die gemäß § 4 in Verbindung mit Anlage 1 für den guten Zustand festgelegten Schwellenwerte eingehalten wer-

⁴Gemäß § 16 Abs. 1 QZV Chemie GW ist anlässlich deren Inkrafttreten die Grundwasserschutzverordnung aufgehoben worden.

den. Dabei ist aus örtlicher Sicht auf die Stelle abzustellen, an der der Eintritt des Schadstoffs in das Grundwasser erfolgt.

Wird jedoch an der maßgeblichen Stelle ein Schwellenwert gemäß Anlage 1 überschritten, so ist grundsätzlich von der Gefahr einer möglichen Verschlechterung bzw. Verschmutzung des Grundwassers auszugehen und auf der Basis der Einzelfallbeurteilung unter Berücksichtigung des konkreten Einmischungsbereichs im Rahmen eines Bewilligungsverfahrens gemäß § 32 WRG 1959 von der Behörde zu entscheiden, ob eine Bewilligungsfähigkeit gegeben oder der Antrag abzuweisen ist.

In § 9 QZV Chemie GW sind Anforderungen an die in den Bewilligungsbescheid aufzunehmenden Inhalte festgelegt.

Die dargestellten materiell-rechtlichen Bestimmungen sind gegebenenfalls auch von anderen Genehmigungsbehörden (Gewerbebehörde gemäß § 356b GeWO, UVP-Behörde gemäß 3 17 UVP-G 2000 etc.) mitanzuwenden.

Anschrift des Verfassers:

Mag. Gunter Ossegger
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung IV 1 – Wasserlegistik und-ökonomie
1010 Wien, Stubenring 1
E-Mail: gunter.ossegger@bmlfuw.gv.at

Einbringungen von Stoffen aus Sicht des Grundwasserschutzes

MR DI Michael Samek

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

1. Einleitung

Der Schutz der Grundwasser vor Verunreinigungen hat in Österreich sehr hohe Bedeutung und auch eine lange Tradition. Dies insbesondere deshalb, da die Versorgung der österreichischen Bevölkerung mit hochwertigem Trinkwasser fast ausschließlich mittels nicht aufbereitetem Grundwasser sichergestellt wird. Dementsprechend ist der flächendeckende Erhalt der Qualität des Grundwassers in seiner natürlichen Beschaffenheit ein vorrangiges Ziel der österreichischen Wasserwirtschaft. Jede gezielte Einbringung von Stoffen in den Untergrund und das Grundwasser ist daher fachlicherseits sehr kritisch zu sehen und nur dann als zulässig zu beurteilen, wenn durch geeignete Maßnahmen gewährleistet ist, dass es zu keiner Verschmutzung des Grundwassers kommt und damit weiterhin eine uneingeschränkte Nutzung des Grundwassers zum Zwecke der Trink- und Nutzwasserversorgung möglich ist.

2. Grundwasserschutz

Der Vorsorgegedanke ist für den flächendeckenden Grundwasserschutz, nicht nur in Österreich, ein grundlegendes Prinzip in der Bewirtschaftung der Grundwasservorkommen. Grundwasserverunreinigungen durch punktuelle aber auch durch diffuse Stoffeinträge sind meist nicht unmittelbar erkennbar. Eine Sanierung zur Wiederherstellung einer ausreichenden Beschaffenheit des Grundwassers ist, wenn überhaupt, nur mit großem finanziellen und technischen Aufwand und in langen Zeiträumen möglich. Die konsequente Anwendung des Vorsorgeprinzips ist deshalb von ganz besonderer Bedeutung. Dazu gehört auch eine systematische, regelmäßige Überwachung des Grundwassers. Dadurch lassen sich Gefährdungen des Grundwassers frühzeitig erkennen und geeignete Maßnahmen können rechtzeitig ergriffen werden. Aufgrund seiner herausragenden Bedeutung für die Trinkwasserversorgung und wichtigen ökologischen Funktionen ist ein flächendeckender Grundwasserschutz erforderlich. Die strengen Regelungen des österreichischen Wasserrechtsgesetzes bringen diesen Ansatz auch rechtlich zum Ausdruck.

Im Hinblick auf eine nachhaltige Nutzung der Ressource Grundwasser für Zwecke der Trinkwasserversorgung ist daher von zentraler Bedeutung, dem Eintrag anthropogener Stoffe in das Grundwasser vorzubeugen. Das heißt aber Emissionen bereits an der Quelle zu begrenzen (Emissionsminimierungsprinzip).

Neben dem allgemeinen Grundwasserschutz bieten die geltenden rechtlichen Bestimmungen im Zusammenhang mit Trinkwasserversorgungsanlagen auch die Möglichkeit, besondere Anordnungen zum Schutz des Grundwassers in Form von Schutz- und Schongebieten zu normieren. Im Geltungsbereich dieser Gebiete können zusätzlich Nutzungseinschränkungen

sowie weitere Gesichtspunkte bei der Errichtung, dem Erhalt und dem Betrieb von Anlagen sowie der Bewirtschaftung und Nutzung der das Grundwasser schützenden Überdeckungen festgelegt werden, um einen weitergehenden Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen nachhaltig sicherzustellen.

Darüber hinaus bestehen eine Reihe weiterer rechtlicher Instrumente, mit denen erforderlichenfalls auf regionaler Ebene Maßnahmen zur Verbesserung und Erhalt der Qualität des Grundwassers gesetzt werden können.

3. Begrenzung der Emissionen

Um das generelle Ziel des Erhalts einer flächendeckend natürlichen Beschaffenheit des Grundwassers dauerhaft zu erreichen, ist insbesondere bei Einbringungen in den Boden oder das Grundwasser eine klare Begrenzung der einzubringenden Stoffe hinsichtlich Menge und Qualität erforderlich. Dabei ist jedenfalls sicherzustellen, dass es zu keiner Verschmutzung des Grundwassers kommt. Die Vorgaben hinsichtlich der einzuhaltenden qualitativen Anforderungen für das Grundwasser werden für eine Reihe von verschiedenen Stoffen in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser in Form von Schwellenwerten normiert (Immissionsgrenzwerte). Die Schwellenwerte der in dieser Verordnung enthaltenen Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen orientieren sich im Hinblick auf die vorrangige Nutzung des Grundwassers im Wesentlichen an den Parameterwerten der Trinkwasserverordnung. Für Stoffe, die nicht im Regelungsbereich Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser enthalten sind, sind unter Berücksichtigung anderer gesetzlicher Vorgaben bzw. vorhandener nationaler und internationaler technischer Regelwerke vertretbare Immissionsgrenzwerte für das Grundwasser abzuleiten und festzulegen. Dabei kann es auch erforderlich sein, ökologische Belange (Selbstreinigung) zu berücksichtigen.

Im Rahmen einer wasserrechtlichen Bewilligung für Einbringungen von Stoffen in den Boden oder das Grundwasser ist daher fachlich zu prüfen, ob und in welchem Umfang diese qualitativen Anforderungen eingehalten werden oder es zu einer Erhöhung der Konzentration bestimmter Stoffe im Grundwasser kommt. Bei Einbringungen in den Boden ist es in der Regel zusätzlich erforderlich, dass Prognosen der Sickerwasserbelastungen zu erstellen sind, um diese Prüfung vornehmen zu können.

Kommt es projektgemäß zu Überschreitungen der in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser normierten bzw. abgeleiteten Qualitätsanforderungen, so ist jedenfalls zu prüfen, ob es zu einer Verschmutzung des Grundwassers kommt. Die Rahmenbedingungen für diese Prüfung sind in Österreich derzeit nicht allgemein festgeschrieben. So gibt es insbesondere hinsichtlich der Festlegung der fachlich vertretbaren Strecke im Abstrombereich der Einbringung, in der die Qualitätsziele nicht eingehalten werden (Toleranzbereich), kein allgemeines Verständnis bzw. keine allgemeine Vorgaben. Diese Beurteilung bedarf daher derzeit noch einer Einzelfallbeurteilung, bei der sowohl bestehende Nutzungen als auch die lokale und regionale Bedeutung des Grundwassers einzubeziehen sind. Es ist aber davon auszugehen, dass der Fragestellung des Toleranzbereiches in den nächsten Jahren in der fachlichen Diskussion ein hoher Stellenwert eingeräumt werden wird.

4. Überwachung der Emissionen

Neben der Emissionsbegrenzung stellt die Überwachung der Emissionen ein zentrales Element für den Schutz des Grundwassers bei Einbringungen dar. Damit sollen rechtzeitig unzulässige bzw. nicht erwartete Beeinträchtigungen der Qualität des Grundwassers erkannt und die Möglichkeit umgehend geeignete Maßnahmen zur Verbesserung zu setzen, geschaffen werden.

Die bescheidgemäß festgelegten Einbringungen in das Grundwasser sind daher im Rahmen des Betriebes der Anlage in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren. Diese Kontrollen hat sowohl die Menge als auch die Qualität der einzubringenden Stoffe zu umfassen. Darüber hinaus sind die verwendeten Messgeräte und die beabsichtigten Messmethoden anzugeben.

Im Allgemeinen ist aber auch die Überwachung der Einhaltung der normierten bzw. abgeleiteten Qualitätsziele im Grundwasser im Abstrombereich der Einbringung erforderlich. Dazu sind in einer die hydrogeologischen Verhältnissen und den prognostizierten Toleranzbereich berücksichtigenden Entfernung der Einleitungsstelle geeignete Probenahmestellen zu errichten bzw. bereits vorhandene heranzuziehen. In regelmäßigen zeitlichen Abständen sind an diesen Probenahmestellen Proben des Grundwassers zu ziehen und diese in Abstimmung mit den konsentierten stofflichen Einbringungen auf relevante Inhaltstoffe zu analysieren. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, dass zum Schutz von bestehenden Grundwassernutzungen im Abstrombereich der Einbringung zusätzliche Überwachungen an den Entnahmestellen durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der Überwachung sind in geeigneter Weise zu dokumentieren, und der Wasserrechtsbehörde vorzulegen. Sollten die Überwachungsergebnisse zeigen, dass die bescheidgemäß vorgeschriebenen Qualitätsziele nicht eingehalten werden können, oder es zu einer Beeinträchtigung des Grundwassers kommt, dann sind die Einleitungen in das Grundwasser umgehend einzustellen bzw. geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um die geforderte Qualität des Grundwassers wiederherzustellen.

Bereits den Antragsunterlagen für eine wasserrechtliche Bewilligung ist ein detailliertes Mess- und Untersuchungsprogramm zur Überwachung der Einbringungen und der Einwirkungen auf das Grundwasser anzuschließen, das sämtliche Angaben hinsichtlich der vorgesehenen Maßnahmen enthält. Dieses Programm hat sowohl die Kontrolle des Betriebes der Anlage selbst (Menge und Qualität der einzubringenden Stoffe) als auch die Überwachung der Einhaltung der Qualitätsziele im Grundwasser im Abstrombereich der Einbringung zu umfassen. Darüber hinaus sind die verwendeten Messgeräte und die beabsichtigten Messmethoden anzugeben. Das vorgelegte Mess- und Untersuchungsprogramm wird im Rahmen der wasserrechtlichen Bewilligung fachlich geprüft und beurteilt, und erforderlichenfalls ergänzt und angepasst.

5. Zusammenfassung

Direkte oder indirekte Einbringungen von Stoffen in den Untergrund oder das Grundwasser sind im Hinblick auf den, durch den Vorsorgegrundsatz bestimmten Grundwasserschutz kritisch zu sehen. Aus Sicht des Grundwasserschutzes sind derartige Einbringungen nur dann fachlich vertretbar, wenn die Emissionen strikt begrenzt werden, und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Qualität des Grundwassers nicht zu einer Einschränkung der Nutzung des Grundwassers zum Zwecke der Trinkwasserversorgung führt. Für den Zeitraum der Einbringung ist eine umfassende Überwachung der Emissionen und der Qualität des Grundwassers im Abstrombereich der Einbringung durchzuführen. Erforderlichenfalls sind weitergehende Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers oder zur Wiederherstellung dessen Qualität zu setzen.

Anschrift des Verfassers:

MR DI Michael Samek
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung IV 5 – Anlagenbezogene Wasserwirtschaft
1030 Wien, Marxergasse 2
E-Mail: michael.samek@bmlfuw.gv.at

ISCO-Fallbeispiel Planung – Genehmigung – Umsetzung

Dr. Patrick Jacobs, Tauw GmbH, Berlin

1. Grundlagen

Ziel der in-situ chemischen Oxidation ist die Umsetzung von oxidierbaren Kontaminanten, die an der Matrix sorbiert, im Grundwasser gelöst oder als Produktphase (NAPL) vorliegen. Das Einbringen eines Oxidationsmittels (Oxidans) löst Redox-Reaktionen aus, bei denen Elektronenübergänge zwischen dem Oxidans (= Elektronenakzeptor) und einem oder mehreren Reduktanten (= Elektronendonatoren) stattfinden. Als Reduktanten fungieren im Anwendungsfall der Grundwassersanierung grundsätzlich alle oxidierbaren Verbindungen im Untergrund, zu denen auch, aber nicht ausschließlich, die Kontaminanten gehören. Im Idealfall werden die Reduktanten vollständig zu CO_2 und H_2O mineralisiert.

Die Fähigkeit eines Stoffes, einen anderen Stoff zu oxidieren, lässt sich durch das Oxidationspotenzial ausdrücken. Je höher das Oxidationspotenzial ist, desto stärker ist die Fähigkeit des Oxidationsmittels, bestimmte Verbindungen anzugreifen und zu zerstören.

2. Planung

Konzeptionelles Standortmodell

Eine oftmals unterschätzte Grundvoraussetzung zur Planung einer erfolgreichen ISCO-Maßnahme ist das möglichst exakte Verständnis der Untergrundbedingungen, welches in einem möglichst detaillierten und vollständigen konzeptionellen Standortmodell zusammenzufassen ist.

Wichtig ist hierbei insbesondere das Verständnis der Prozesse, die bei der Einbringung des Oxidationsmittels – in aller Regel als wässrige Lösung – in den Untergrund ablaufen.

Wird ein Oxidationsmittel in flüssiger Form in einen Porengrundwasserleiter infiltriert, kommt es zunächst zu einer Verdrängung des schadstoffbelasteten Grundwassers. Die Oxidationsmittellösung breitet sich dabei entlang präferentieller Fließwege aus, wobei die Oxidationsmittelkonzentration aufgrund von Dispersion und Reaktion mit der Aquifer-Matrix sukzessive abnimmt, so dass es an der Injektionsfront nicht zu einem Kontakt von gelösten Schadstoffen und Oxidationsmittel kommt. Erst der nachfolgende diffusive Transport des Oxidationsmittels aus den mit Oxidationsmittel gesättigten Poren in die umliegenden Bereiche mit gelösten, sorbierten oder als Phase vorliegenden Schadstoffen führt in der Regel zu einem direkten Kontakt von Schadstoff und Oxidationsmittel.

Die Ausbreitung des Oxidationsmittels ist dabei gegenüber der Injektionsfront stark retardiert. Die Stärke der Retardation hängt vom Matrixbedarf oder dem sogenannten Natural Oxidant Demand (NOD) ab.

Erst das Verständnis dieser Prozesse am jeweiligen Standort und die genaue Erkundung der räumlichen Schadstoffsituation im Untergrund lassen es überhaupt zu, die Wirksamkeit einer ISCO-Maßnahme grundsätzlich einzuschätzen und die technischen Parameter für die Planung abzuleiten. So zeigt sich beispielsweise auch, dass eine Dimensionierung der Oxi-

datationsmittelzugabe anhand von stöchiometrischen Bilanzierungen mit der Zielsubstanz, wie man es noch häufig antrifft, ein vollkommen ungeeignetes Planungswerkzeug ist.

Auswahl des Oxidationsmittels

Eine weitere grundsätzliche Fragestellung ergibt sich bei der Auswahl des am besten geeigneten Oxidationsmittels. Die grundsätzliche Schwierigkeit bei der Auswahl eines für die konkreten Standortbedingungen optimalen Oxidationsmittels (und die Beurteilung der Effektivität und Effizienz) liegt darin, dass frei, z. B. im Internet, zugängliche Informationen oftmals nicht unabhängigen Quellen entstammen und die relevanten Fragestellungen nicht in der erforderlichen Tiefe behandeln. Insbesondere von Herstellern verbreitete Informationen zeichnen oftmals ein unrealistisch positives Bild.

Für den Planer ergibt sich daraus die Fragestellung, was die wichtigsten Eigenschaften zur Beurteilung der Eignung eines Oxidationsmittels sind. Berücksichtigt man die Modellvorstellung wie oben dargestellt, ergeben sich folgende Faktoren:

- Grundsätzliche Abbaubarkeit des Zielschadstoffs durch das Oxidationsmittel
- Beständigkeit des Oxidationsmittels im Untergrund
- Höhe des Matrixbedarfs bzw. Selektivität des Oxidationsmittels

Des Weiteren sind Störeffekte zu berücksichtigen, die z. B. mit radikalfangenden Eigenschaften von Grundwasserinhaltsstoffen oder Wechselwirkungen mit der Aquifermatrix zusammenhängen können.

Für eine Beurteilung sind die relevanten Punkte standortspezifisch anhand von theoretischen Vorüberlegungen sowie von Labor- und ggf. Feldversuchen zu behandeln.

Einbringungstechnik

Gegenstand des dritten großen Planungsschritts ist die technische Einbringung des Oxidationsmittels. Dies wird im Wesentlichen durch das ausgewählte Oxidationsmittel bestimmt, insbesondere dadurch, ob das Oxidationsmittel in fester Form, als wässrige Lösung oder gasförmig zur Verfügung steht. Entsprechend sind Mischeinrichtungen unter Umständen erforderlich. Die Einbringung von Oxidationsmittellösungen kann in freiem Zulauf oder über gesteuerte Druckinjektionen, ggf. auch zielgenau über Direct-Push-Systeme erfolgen.

3. Genehmigung

Die Genehmigungsanforderungen von ISCO-Maßnahmen lassen sich im Wesentlichen in wasserrechtliche und in arbeitsschutzrechtliche Belange unterscheiden.

Die Einleitung von Stoffen in das Grundwasser erfordert ein entsprechendes wasserrechtliches Erlaubnisverfahren. Bei dem in der Regel vor allem nachzuweisen sein wird, dass keine unkontrollierte Ausbreitung von unverbrauchtem Oxidationsmittel, von mobilisierten Bestandteilen der Grundwasserleitermatrix – wie z. B. Schwermetallen – oder von Nebenprodukten unvollständiger Oxidation der Zielsubstanzen erfolgt. Eine unkontrollierte Ausbreitung von Oxidationsmittel lässt sich dabei in der Regel ausschließen, wenn im Untergrund des Anwendungsbereichs keine baulichen Strukturen im weiteren Sinne vorliegen, die eine Drä-

nierung und Ableitung des Infiltrats bewirken. Dies ist aber gerade an Altstandorten und bei erdoberflächennahen Anwendungen mit entsprechender Sorgfalt zu prüfen.

Arbeitsschutzrechtlich ist zu berücksichtigen, dass für die einzusetzenden Oxidationsmittel aufgrund ihrer sehr hohen Reaktivität angemessene Schutzanforderungen unter Einhaltung aller gesetzlichen Anforderungen vorzusehen sind. Neben den allgemeinen Anforderungen zur Anlagensicherheit sind als spezifische Gefährdungsszenarien hierbei spontane exotherme Umsetzungen von organischem Material (z.B. Holzpaletten, Arbeitskleidung) mit ausgetretener oder verschütteter Oxidationsmittellösung zur Berücksichtigung oder akute Gesundheitsgefährdung bei der Verwehung von Stäuben bei der Verwendung fester Oxidationsmittel.

4. Umsetzung

Maßnahmenkonzeption

Wie im Abschnitt Planung ausgeführt, ist bei ISCO-Anwendungen, wie bei in-situ-Verfahren im Allgemeinen, der Kontakt zwischen dem eingebrachten Agens, hier dem Oxidans, und der Zielsubstanz entscheidend. Aufgrund der Komplexität natürlicher Grundwasserleiter, ist im Gegensatz zu idealisierenden Laborversuchen, ein vollständiger Kontakt als technisch unmöglich anzusehen und damit auch eine vollständige Dekontamination des jeweiligen Kontaminationsbereichs im Grundwasserleiter. Entsprechend ist es sinnvoll, bereits in der Maßnahmenkonzeption die ISCO-Maßnahme in ein Gesamtkonzept einzubetten, das beispielsweise eine weitergehende Abreinigung durch mikrobiologische Sanierung oder MNA vorsieht.

Technische Durchführung

Die Umsetzung einer ISCO-Maßnahme kann entsprechend den unter dem Abschnitt Planung genannten Punkten in unterschiedlicher Weise erfolgen. Aufgrund der faktischen Unmöglichkeit, die Prozesse im Untergrund exakt zu steuern und zu kontrollieren, ist in jedem Fall eine sorgfältige und umfassende Planung vorzusehen.

Generell ist festzustellen, dass einigen kritischen Punkten nicht immer die nötige Aufmerksamkeit geschenkt wird. Insbesondere betrifft dies folgende Punkte:

- Die schwer kontrollierbare Ausbreitung, gerade wenn ein Gemisch wie z. B. Wasserstoffperoxid und Eisensulfat eingebracht werden soll.
- Die Langsamkeit der Prozesse im natürlichen System, wobei nicht die Reaktionskinetik sondern der Transport zum Reaktionspartner (Diffusion) der geschwindigkeitsbestimmende Schritt ist.
- Wechselwirkungen des Oxidationsmittels mit der Matrix, wie z. B. die Maskierung der Zielsubstanz.
- Bildung von Nebenprodukten.

Über die Anforderungen an die Planung hinaus ist grundsätzlich ein enges begleitendes und nachsorgendes Monitoring vorzusehen, über das ggf. Anpassungen der Maßnahme ausgelöst werden. Ebenso sind in Abhängigkeit von potenziell relevanten Schutzgütern Sicherungssysteme, wie z. B. Sicherungsbrunnen im Abstrom, vorzusehen.

10 Jahre Praxiserfahrung mit ISCO-Grundwassersanierungen

Hans-Georg Edel, Züblin Umwelttechnik, Stuttgart

1. Einleitung

Nach über 10 Jahren Praxiserfahrung, hat sich die In-situ chemische Oxidation (ISCO) fest am Markt etabliert und zählt zu den am häufigsten angewandten, innovativen In-situ Sanierungstechnologien. In Deutschland wurde das ISCO-Verfahren erstmals großtechnisch auf einem Produktionsstandort der Automobilindustrie in Baden-Württemberg zur Quellensanierung eines LCKW-Grundwasserschadens eingesetzt [1] und erfolgreich abgeschlossen. Die Züblin Umwelttechnik GmbH kann inzwischen auf rund 20 Pilotversuche, 11 erfolgreich abgeschlossene sowie drei laufende ISCO-Sanierungen verweisen (**Tab. 1**). Als Oxidationsmittel wurden dabei vor allem NaMnO_4 und KMnO_4 sowie NaS_2O_8 eingesetzt.

Im Rahmen des Vortrags werden die wesentlichen Aspekte der ISCO-Technologie erläutert und die erste großtechnische ISCO-Sanierung in Deutschland kurz vorgestellt. Danach wird ein interessantes, aktuelles Sanierungsprojekt näher besprochen, bei dem ISCO mit der In-situ biologische Reduktion (ISBR) kombiniert wird.

Tab. 1: ISCO-Projekte der Züblin Umwelttechnik seit 2003

Jahr	Projekt	Oxidationsmittel
seit 2003	rund 20 Pilotversuche , diverse Standorte	NaMnO_4 , KMnO_4 , NaS_2O_8 , u.a.
2005 - 2008	Baden-Württemberg, Automobilindustrie	NaMnO_4
2008 - 2009	Nordrhein-Westfalen, Metallindustrie	KMnO_4
2009	Hanau, Ingenieurbüro	KMnO_4
2009 - 2010	Sachsen, ehem. Chemische Reinigung	NaMnO_4
2009 - 2011	Berlin, Ingenieurbüro	NaMnO_4
2009 - 2012	Bürstadt, ehem. Chemische Reinigung	NaMnO_4
2010 - 2012	Rheinland-Pfalz, Militärstandort	KMnO_4 / NaMnO_4
2011 - 2012	Bietigheim, Ingenieurbüro	NaS_2O_8
2007 - 2013	Schweiz, Tierkörperverwertung	NaMnO_4
2012 - 2013	Bremen, Öffentliche Hand	NaMnO_4
2012 - 2014	Brandenburg, Öffentliche Hand	NaMnO_4
seit 2014	Bremen, Öffentliche Hand	NaMnO_4
seit 2014	Schweiz, Immobilien	NaMnO_4
seit 2014	NRW, ehem. Chemische Reinigung	NaMnO_4

2. Grundlagen der In-situ chemischen Oxidation (ISCO)

Das Funktionsprinzip der In-situ chemischen Oxidation (ISCO) beruht darauf, geeignete Oxidationsmittel in den Untergrund einzubringen und zu verteilen, um die vorhandenen Schadstoffe in-situ zu eliminieren (**Abb.1**).

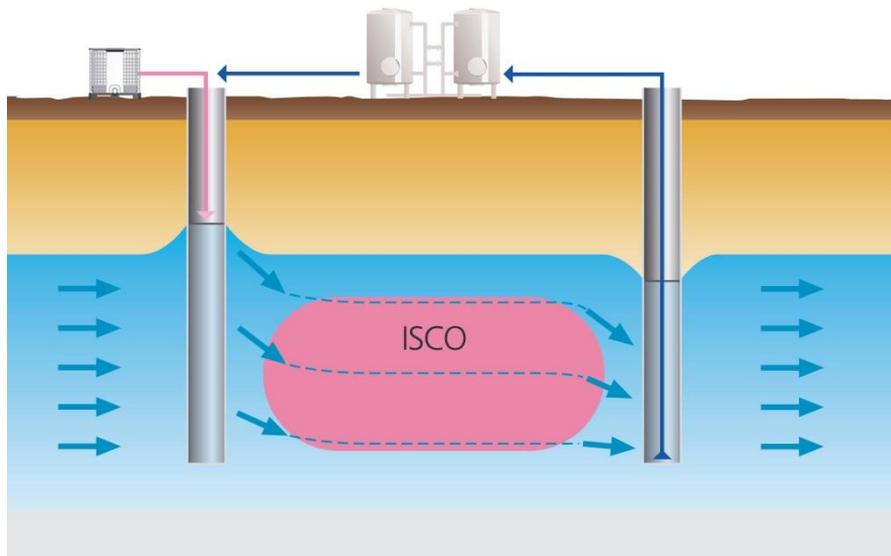


Abb. 1: ISCO - in-situ chemische Oxidation, Verfahrensprinzip

Das ISCO-Verfahren eignet sich vor allem zur Quellensanierung mit Schadstoffen im mittleren bis höheren Konzentrationsbereich. Ein besonderer Vorteil von ISCO gegenüber herkömmlichen Verfahren besteht darin, dass sich die Sanierungsdauer durch die rasche Zerstörung der Schadstoffe beträchtlich verkürzen lässt.

In der Sanierungspraxis werden vor allem Permanganat und Persulfat als Oxidationsmittel eingesetzt, in bestimmten Fällen auch Fenton's Reagens (**Tab. 2**).

Tab. 2: Praxisrelevante Oxidationsmittel für ISCO

Oxidationsmittel	Redoxgleichung	E_h [V]
Permanganat	$MnO_4^- + 4 H^+ + 3 e^- \rightarrow MnO_2 + 2 H_2O$	1,7
Peroxodisulfat	$S_2O_8^{2-} + 2 H^+ + 2 e^- \rightarrow 2 HSO_4^-$	2,1
Peroxodisulfat	$S_2O_8^{2-} (KAT) \rightarrow \bullet SO_4^- + SO_4^{2-}$	2,7
Fenton's Reagens	$H_2O_2 (Fe^{2+}) \rightarrow \bullet OH + OH^-$	2,8

In **Tabelle 3** ist dargestellt, welche Schadstoffe sich damit oxidativ zerstören lassen. Diese Oxidationsmittel reagieren allerdings nicht nur spezifisch mit den Schadstoffen, sondern ganz allgemein mit oxidierbaren Verbindungen, wie sie auch natürlich in der Bodenmatrix vorkommen. Dabei wird Fe^{2+} zu Fe^{3+} , Mn^{2+} zu Mn^{4+} und S^{2-} zu $S(0)$ oder SO_4^{2-} oxidiert, Huminstoffe werden entfärbt. Der Bedarf an Oxidationsmittel hängt daher nicht nur von den Schadstoffen, sondern auch von der Art des Bodens ab. Der englische Fachbegriff für Bodenoxidationsmittelbedarf lautet SOD (soil oxidant demand). Größere Massen an Böden mit einem sehr hohen SOD können durch ISCO nicht wirtschaftlich saniert werden.

Tab. 3: Oxidierbarkeit von verschiedenen Schadstoffen verändert nach [2]: ++ sehr gut, + gut, - kaum

Schadstoff	Permanganat	Peroxodisulfat	Peroxodisulfat, aktiviert	Fenton's Reagens
Chlorierte Ethene	++	+	++	++
Chlorierte Ethane	-	-	+ / ++	+ / -
Chlorierte Methane	-	-	- / + / ++	+ / -
KW	+	+	++	++
BTEX	+	+	++	++
Benzol	-	+	+ / ++	++
PAK	+ / ++	+	+ / ++	+ / ++
MTBE	+	- / +	++	+ / ++

3. Erste großtechnische ISCO-Sanierung in Deutschland

Im Jahre 2003 hat die ZÜBLIN Umwelttechnik mit Labor- und Felduntersuchungen begonnen, um die erste ISCO-Sanierung in Deutschland an einem Standort der Automobilindustrie in Baden-Württemberg vorzubereiten (**Abb. 2**).



Abb. 2: Erste großtechnisch durchgeführte ISCO-Sanierung in Deutschland an einem Standort der Automobilindustrie in Baden-Württemberg

Diese Quellensanierung eines LCKW-Grundwasserschadens im Gipskeuper wurde im September 2005 begonnen und nach 30 Monaten erfolgreich abgeschlossen [1]. Dabei wurden etwa 10 Tonnen LCKW oxidativ zerstört und die mittleren LCKW-Konzentrationen von ca. 30 mg/L dauerhaft um über 90-95% reduziert. Die im Rahmen dieser Sanierungsmaßnahme gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen haben wesentlich zur Verbreitung und Akzeptanz des ISCO-Verfahrens beigetragen.

4. Aktuelles Praxisbeispiel – Bremen-Sebaldsbrück, ehemalige Silberfabrik

In der Freien Hansestadt Bremen wurden auf dem Standort der ehemaligen Silberwarenfabrik auf einer Fläche von ca. 12.000 m² massive Verunreinigungen durch LCKW mit maximalen Konzentrationen bis ca. 85.000 µg/L in der gesättigten Bodenzone bis ca. 20 m unter Geländeoberkante festgestellt (**Abb. 3**).

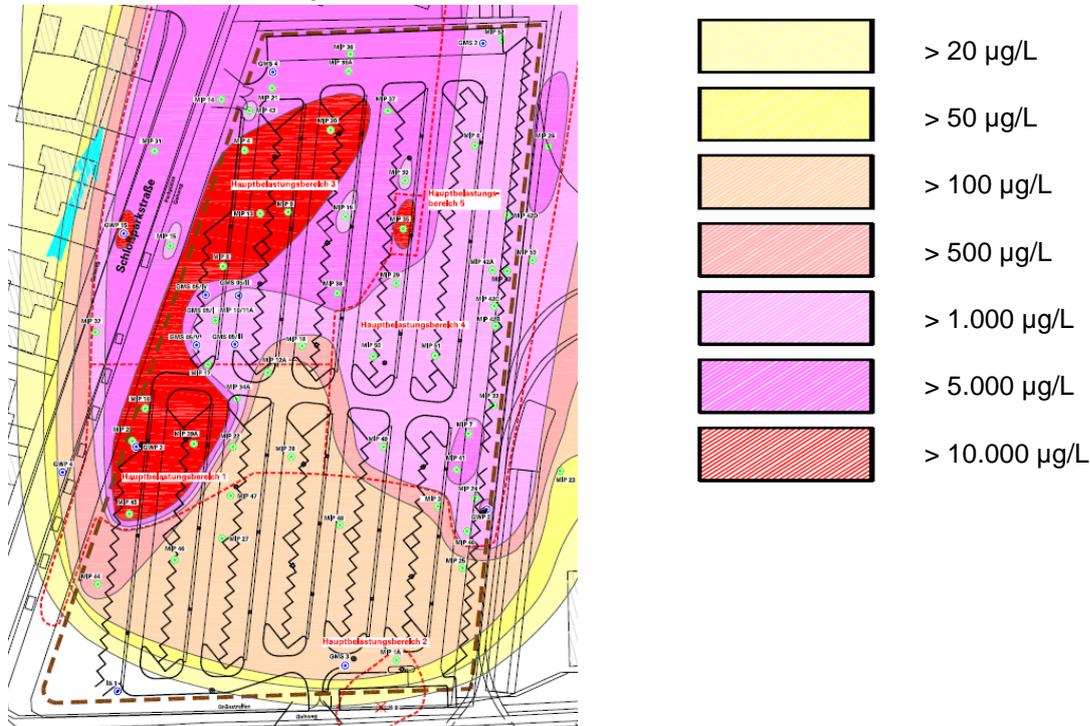


Abb. 3: LCKW-Belastung in den Wesersanden bis ca. 20 m uGOK

Um eine wirtschaftliche Lösung für die umfassende Sanierung des Grundwasserschadens zu finden, wurden im Rahmen einer beschränkten Ausschreibung mit vorlaufendem Teilnahmewettbewerb innovative Technologien zur Grundwassersanierung als Bestandteil des Gesamtsanierungskonzeptes gefordert.

Unter Abwägung technisch-wirtschaftlicher Belange wurde das erfolgversprechendste Sanierungskonzept, das auf einer Kombination innovativer und konventioneller Verfahren basiert, beauftragt. Die Bereiche mit den höchsten LCKW-Gehalten werden demnach durch In-situ chemische Oxidation (ISCO), weniger stark belastete Bereiche durch In-situ biologische Reduktion (ISBR) behandelt (**Abb. 4**).

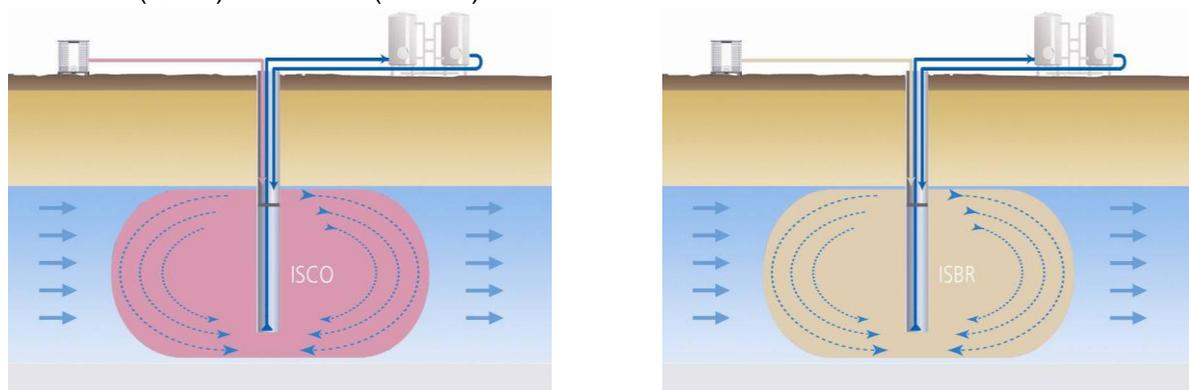


Abb.4: In-situ chemische Oxidation (ISCO) und In-situ biologische Reduktion (ISBR) in Kombination mit GZS (Grundwasserzirkulationssystem), Verfahrensprinzip

Mit Hilfe mehrerer Grundwasserzirkulationssysteme (GZS) sollen die jeweiligen Reagenzien Permanganat und Melasse im Aquifer verteilt und zum Schadstoff transportiert werden. Zunächst wurden Feldversuche mit den am Standort noch nicht erprobten, innovativen Verfahren ISCO und ISBR (In-situ biologische Reduktion) durchgeführt, wobei gleichzeitig die berechnete Reichweite der Grundwasserzirkulationssysteme (GZS) überprüft wurde.

Die vorab festgelegten Ziele wurden weitgehend erreicht. Die berechnete radiale Reichweite der GZS von ca. 20 m wurde mittels Tracerversuchen verifiziert. Permanganat und Melasse lassen sich über die Grundwasserzirkulationswalze der GZS transportieren und gleichmäßig im Aquifer verteilen. Im Wirkungsbereich des GZS 4 stieg infolge der Permanganatinjektion das Redoxpotenzials um 200-300 mV an, der pH-Wert blieb im Bereich von 6,5-7,5 stabil. Es zeigte sich eine signifikante Abnahme der hohen LCKW-Gehalte. Im Wirkungsbereich des GZS 3 wurden durch die Injektion von Melasse die für eine vollständige reduktive Dehalogenierung erforderlichen sulfatreduzierenden Redoxbedingungen geschaffen. Der pH-Wert blieb im Bereich von 6-7 stabil. Ethen als Indikator für den vollständigen LCKW-Abbau konnte nachgewiesen werden. Die LCKW-Gehalte haben deutlich abgenommen, insbesondere auch die molaren Konzentrationen

Die Feldversuche dauerten insgesamt 16 Monaten lang. Anhand der gewonnenen Ergebnisse und Betriebserfahrungen aus dem Feldversuch konnte die prinzipielle Machbarkeit und Effizienz des Maßnahmen- und Sanierungskonzepts bestätigt werden [3]. Die anfangs aufgetretenen, massiven Probleme mit dem zu geringen Durchsatz der GZS konnten schließlich behoben werden. Mit Hilfe des Feldversuchs wurden Möglichkeiten der Optimierung im Hinblick auf eine zielgerichtete, erfolgreiche Sanierung des Standorts aufgezeigt werden.

Seit September 2014 läuft die Gesamtsanierung des Standorts mit Hilfe von insgesamt 10 GZS, wovon 3 für das ISCO- und 7 für das ISBR-Verfahren genutzt werden (**Abb. 5**). Für die Dauer der Maßnahmen sind bei ISCO 12 Monate und bei ISBR 60 Monate angesetzt.



Abb.5: Die Gesamtsanierung des LCKW-Grundwasserschadens am Standort der ehemaligen Silberwarenfabrik erfolgt mit Hilfe von 10 GZS, die für eine Kombination des ISCO- und des ISBR-Verfahrens genutzt werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die In-situ chemische Oxidation ist eine effiziente Technologie zur Sanierung einer großen Bandbreite von organischen Schadstoffen im Grundwasser. Unter den innovativen In-situ Verfahren nimmt ISCO eine herausragende Marktposition in Deutschland ein und findet auch in Europa verstärkte Anwendung. Bei den bisher durchgeführten Maßnahmen an unterschiedlichen Standorten hat sich gezeigt, dass das ISCO-Verfahren eine rasche Reduzierung hoher Schadstoffgehalte im Grundwasser ermöglicht. Darüber hinaus ist das Verfahren auch besonders gut dafür geeignet, vorhandene Schadstoffpotenziale unter Gebäuden zu minimieren.

Das ISCO-Verfahren ist allerdings nicht für alle Schäden mit LCKW oder organischen Schadstoffen anwendbar. Zur Sanierung weit ausgedehnter Schadstofffahnen oder Böden mit sehr hohen Gehalten an organischer Substanz ist es aus wirtschaftlichen Gründen weniger geeignet.



Abb. 6: Mobile in-situ Versuchsanlage zur raschen und sicheren Durchführung von ISCO-Pilotversuchen.

Die erfolgreiche Anwendung des ISCO-Verfahrens bedarf neben umfassender praktischer Erfahrung auch einer möglichst detaillierten Kenntnis der Untergrundverhältnisse und der räumlichen Verteilung der Schadstoffe. Feldversuche zur Überprüfung der Sanierungseffizienz im Grundwasserleiter sind empfehlenswert. Diese lassen sich mit Hilfe der mobilen in-situ Versuchsanlage der ZÜBLIN Umwelttechnik (**Abb. 6**) rasch und sicher durchführen.

Literatur

- [1] EDEL, H.-G., FRIEDRICH, M., GERWECK, H., STÄBLEIN, H., MAIER-OßWALD, W. (2011) In-situ chemische Oxidation (ISCO) Erfahrungen aus einer erfolgreichen Herdsanierung, Handbuch der Altlastensanierung, 3. Aufl.
- [2] HULING, S.G., PIEVETZ, B.E. (2006) In-Situ Chemical Oxidation, 1-58, Engineering Issue, EPA United States Environmental Protection Agency
- [3] EDEL, H.-G., LEVERMANN, L., WESSEL, U., KONERTZ, K., VON MÜCKE, T., VOGT, M. und RUITER, E.-H. (2013) ISCO, ISBR, GZB – Kombination innovativer und konventioneller Verfahren zur Sanierung eines LCKW-Grundwasserschadens, in: Altlastensymposium 2013, Tagungsband, Hrsg. Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern (GAB), 198 – 207

Praxiserfahrungen mit in-situ chemischer Reduktion bzw. Oxidation von LHKW- bzw. BTEX-Kontaminationen

*Bernadette Bohnert
HPC AG, Rottenburg/Deutschland
e-mail: bernadette.bohnert@hpc.ag*

1. Einleitung

In jüngerer Zeit sind innovative Sanierungsverfahren entwickelt worden, die bei Grundwasserschäden einen schnelleren Erfolg und insgesamt geringere Kosten als konventionelle Sanierungsmaßnahmen erwarten lassen. Daher wurde an zwei Standorten vorgeschlagen, eine in-situ chemische Reduktion mittels EHC-R[®] (erste Anwendung in Deutschland) bzw. in-situ chemische Oxidation mittels EHC-O[®] durchzuführen. Exemplarisch wird nachfolgend das Fallbeispiel 1 (in-situ chemische Reduktion von LHKW mittels EHC-R[®]) vorgestellt.

2. Fallbeispiel 1 - Schadensbild, Historie

Der Schadstoffherd befindet sich unterhalb eines Werksgeländes und umfasst etwa 250 m². Bis etwa 3 m Tiefe steht eine anthropogene Auffüllung an. Bis 10 m Tiefe folgen schluffig-kiesige Lockersedimente und bis etwa 11 m Tiefe ebenfalls quartärer Hangschutt. Das Quartär führt ab ca. 4 m Tiefe Grundwasser (1. Aquifer). Ab etwa 11 m Tiefe beginnt der Festgesteinsuntergrund in Form verkarsteter Kalk- und Mergelsteine des Weißen Jura (2. Aquifer). Die LHKW-Schadstoffquelle befindet sich im Quartär und dort hauptsächlich innerhalb des Grundwassers, d. h. im Tiefenbereich zwischen 4 und 10 bis 11 m.

1998 wurde die Sanierung begonnen. In der ungesättigten Bodenzone wurden Bodenluftpegel betrieben, die zwischenzeitlich wieder abgeschaltet wurden, da die jährlichen Austragsmengen weniger als 1 kg LHKW betragen. Sanierungsschwerpunkt war jedoch die wasser-gesättigte Bodenzone, wo aufgrund geringer Aquiferdurchlässigkeiten intermittierend abgepumpt wurde. Mit relativ hohen LHKW-Konzentrationen von > 6.000 µg/l aber geringen Förderleistungen von ca. 0,05 l/s ergab sich zuletzt ein jährlicher Schadstoffaustrag von etwa 2 kg LHKW. Hierbei dominierte Tetrachlorethen (PCE) mit 65 - 85 %.

Die Grundwasserentnahme ist prinzipiell ein bewährtes Verfahren, das sich neben günstigen Investitionskosten, insbesondere auch durch geringe laufende Betriebskosten auszeichnet. Jedoch besaß die Anlage einen relativ hohen Stromverbrauch, der zuletzt bei etwa 6.000 kWh/kg LHKW lag. Die Effizienz der Maßnahme wurde diesbezüglich zunehmend schlechter (Tailingeffekt) und angesichts der noch hohen Konzentrationen, vgl. Abbildung 1, war ein Ende nicht absehbar. Eine Optimierung bzw. Beschleunigung der Gesamtmaßnahme war daher wünschenswert.

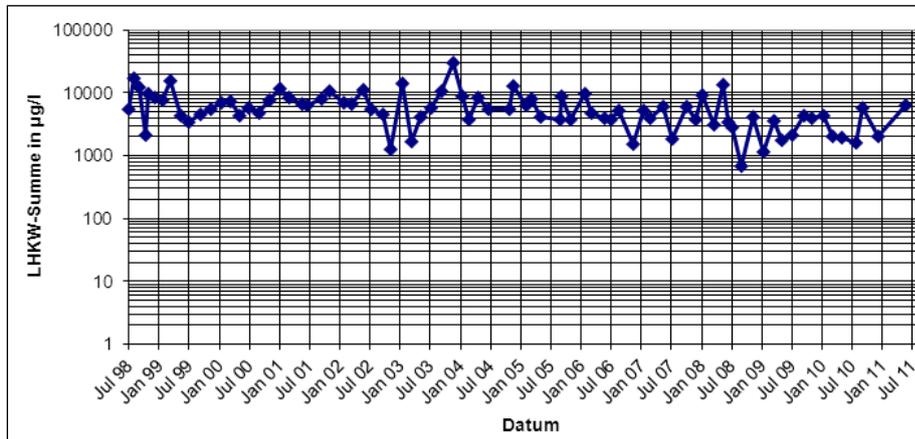


Abb. 1: Entwicklung Grundwasserkonzentration

3. Fallbeispiel 1 - Versuchskonzeption

Die bisherige Konzentrationsentwicklung im Grundwasser lässt erwarten, dass eine konventionelle Pumpmaßnahme noch >> 10 Jahre betrieben werden müsste. Als Alternative wurde daher eine chemisch-biologische in-situ Reduktion der LHKW mit EHC-R® der Fa. Peroxy-Chem (ehem. Adventus) als geeignet bewertet.

EHC® setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- ca. 65 % organischer Kohlenstoff in Lebensmittelqualität (Zellulose, Getreidespreu)
- ca. 35 % reduzierte Metalle (nullwertiges Eisen).

EHC-R® wird als Pulver mit Wasser vermischt und durch Direct-push-Verfahren, d. h. mehrere nahe beieinander liegende Kleinbohrungen, in den Aquifer injiziert. Innerhalb des Grundwassers führt EHC-R® durch das Zusammenwirken von physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Prozessen zu stark reduzierenden Bedingungen und somit zu einer schnellen und überwiegend vollständigen Dechlorierungsreaktion. Der pH-Wert des Grundwassers wird dabei nicht beeinflusst.

Ziel der Maßnahme ist eine Dekontamination des Schadstoffherds, d. h. der Abbau gelöster LHKW wie auch tröpfchenförmig-feinverteilter, als Flüssigphase auftretender LHKW⁵.

EHC® wirkt mit folgenden vier Mechanismen:

1. Direkter abiotischer Abbau im Kontakt mit nullwertigem Eisen (reduktive Dechlorierung)

Der Prozess hält bei feinpulverigem Eisen ca. 2 - 3 Jahre an und wirkt innerhalb der physikalischen Reichweite der EHC-R®-Injektion. Die beiden Reaktionspfade sind Hydrogenolyse und die reduktive beta-Elimination. Der mit > 90 % dominierende Pfad ist i. d. R. die beta-Elimination (direkter chemischer Abbau). Bei der untergeordnet ablaufenden Hydrogenolyse

⁵ Zusammenhängende Pools, wie sie in anderen Fällen unmittelbar auf dichtenden Schichten als zusammenhängende Flüssigphase auftreten, sind angesichts der Geologie und den gemessenen Schadstoffgehalten nicht zu erwarten.

entstehen die bereits am Standort vorhandenen Zwischenprodukte Cis-1,2-Dichlorethen (CDCE) und Vinylchlorid (VC) (so kann man für 1.000 µg/l Trichlorethen (TCE) maximal 14 µg/l CDCE und 0,5 µg/l VC erwarten), welche aber in der Folge aufgrund des Zusammenwirkens mit anderen Mechanismen ebenfalls rasch weitergehend abgebaut werden.

2. Abiotischer LHKW-Abbau durch Herabsetzung des Redoxpotenzials im Grundwasser infolge der Kohlenstoff-Eisen-Kombination ohne direkten Kontakt

Die Zone sehr stark negativen Redoxpotenzials liegt etwa 3 - 5 m abstromig der Injektion, kann aber auch gut 10 m betragen. Solange das Redoxpotenzial niedrig bleibt, liegt Eisen als gelöstes zweiwertiges Eisen vor, danach fällt es als dreiwertiges Eisen aus. Der Prozess wirkt etwa für die Dauer von 2 - 5 Jahren. Grund für den Schadstoffabbau via verändertem Redoxpotenzial ist, dass LHKW ab einem Redoxpotenzial von unter etwa -450 mV chemisch nicht mehr stabil sind, d. h. sie zerfallen vollständig zu ungiftigem Ethen.

3. Indirekter abiotischer Abbau

Nach der Injektion von nullwertigem Eisen und dessen Oxidation liegen frei gelöstes Eisen(II) und eine Vielzahl von Fe(II)-Eisenmineralen vor, die eine große reaktive Oberfläche aufweisen und so eine Vermittlerrolle bei der reduktiven Dechlorierung der LHKW einnehmen. Die Reaktivität von Fe(II) als abiotischer Reduktant nimmt deutlich zu, wenn es an die Oberfläche von Mineralen gebunden ist. Diese Eisenminerale sind zum Beispiel Eisensulfid, Magnetit, grüner Rost oder Siderit.

Die Distanz dieser Wirkung reicht bis ca. 15 m in den Abstrom. Sie hängt ebenfalls mit dem Redoxpotenzial zusammen, da diese Minerale sowie das gelöste Eisen so lange vorliegen, wie das Redoxpotenzial niedrig genug ist, danach fallen schwerlösliche Fe(III)-Minerale aus. Die Dauer der Wirkung liegt bei > 2 Jahren im Falle von feinpulverigem Eisen.

4. Biologischer Abbau durch Biostimulation

Dieser Effekt hat mit ca. 20 m abstromig der Injektionspunkte die größte Reichweite und wirkt über einen Zeitrahmen von ca. 2 - 5 Jahren. Der Wirkmechanismus beruht auf der Schaffung eines gut geeigneten Milieus für Mikroorganismen und deren Versorgung mit Elektronendonatoren und Nährstoffen. Die Nährstoffe werden mit dem EHC-R® geliefert. Die organische Komponente von EHC-R® (organisches Fasermaterial) ist nährstoffreich, hydrophil und besitzt eine große Oberfläche, wodurch sie eine ideale Grundlage für das Bakterienwachstum im Grundwasser darstellt.

Dieser vierte Wirkmechanismus ist der einzige, bei dem es zum Auftreten relevanter Anteile von Metaboliten wie CDCE und VC kommen kann. Allerdings gilt es zu beachten, dass aufgrund der oben beschriebenen abiotischen Prozesse größere Teile der Kontaminanten bereits abgebaut wurden. Der biologische Abbau bereinigt verbliebene Reste bzw. reicht räumlich über die Wirkungsgrenzen der anderen Prozesse hinaus.

Allgemeine Bemerkungen zu EHC-R®:

- Nur durch Kombination von reduzierten Metallverbindungen und kontrolliert freisetzbarem organischem Kohlenstoff kommt es zum starken Absenken des Redoxpotenzials auf -600 mV, was Voraussetzung für einen schnellen Abbau der LHKW ohne Akkumulation wesentlicher Mengen an toxischer Metaboliten ist.
- O. g. Prozesse wirken kombiniert. Daher ist es nicht möglich, einzelne Prozesse zu quantifizieren. Entkoppelt ist keiner der Prozesse so wirksam wie die Kombination.
- Durch die nährstoffreichen organischen Komponenten von EHC-R® werden natürlich vorhandene Mikroorganismen stimuliert, spezielle Impfungen sind i. d. R. nicht notwendig.

4. Fallbeispiel 1 - Versuchsdurchführung

Im August 2011 wurden im Umfeld von P41 Injektionsbohrungen mit einer EHC-R®-Suspension durchgeführt und anschließend über insgesamt ein Jahr ein Grundwasser-Monitoring durchgeführt.

Die Ausführung der Injektionsbohrungen war technisch eingeschränkt (dichter Untergrund, aktiver und dicht bebauter Produktionsstandort). Durch die Anpassung des Injektionsrasters und die Verdünnung der Suspension wurde dennoch eine im Vergleich zur ursprünglichen Planung realisierbare Konfiguration erreicht. Aufgrund der limitierten Ausführungszeit musste jedoch auf zwei Injektionspunkte verzichtet werden.

Zur Erfolgskontrolle und hydrochemischen Überwachung des Grundwasserabstroms war ein Monitoring vorgesehen. Im vorliegenden Fall wird hiermit insbesondere auch die Lage des Standorts in der Wasserschutzzone III berücksichtigt.

Da nach Ende der ersten Versuchskampagne zustromig noch hohe LHKW-Konzentrationen verblieben, wurde im Juni 2013 im Umfeld von P43 eine zweite Kampagne in diesem Bereich durchgeführt, die aufgrund der vorangegangenen Erfahrungen planmäßig umgesetzt werden konnte.

5. Fallbeispiel 1 - Auswertung und Ergebnisse

Die Ergebnisse der beiden Kampagnen sind positiv einzustufen. Im Zentrum des Versuchsfelds erfolgte ein vollständiger Umsatz des Ausgangsstoffs PCE, welcher nachweislich auf biologischem Weg über die Zwischenstufen TCE, CDCE und VC bis zu nicht toxischem Ethen abgebaut wurde. Zudem weisen kurzfristige überproportional hohe Chlorid-Konzentrationen auf abiotische Prozesse hin. Die Entwicklung der Redoxparameter hin zu sulfatreduzierenden und methanogenen Bedingungen erreichte ihren Höhepunkt zunächst nach ca. 6 Monaten, anschließend sowie im weiteren Verlauf der zweiten Kampagne war ein Rückgang zu beobachten, der aber noch nicht abgeschlossen ist. Abbauprozesse finden daher nach wie vor statt.

Im direkten Abstrom des Versuchsfelds waren nur geringfügige Veränderungen erkennbar. Im Vergleich zur Ausgangssituation wurde die LHKW-Summen-Konzentration im Schadenszentrum um ca. 80 % verringert.

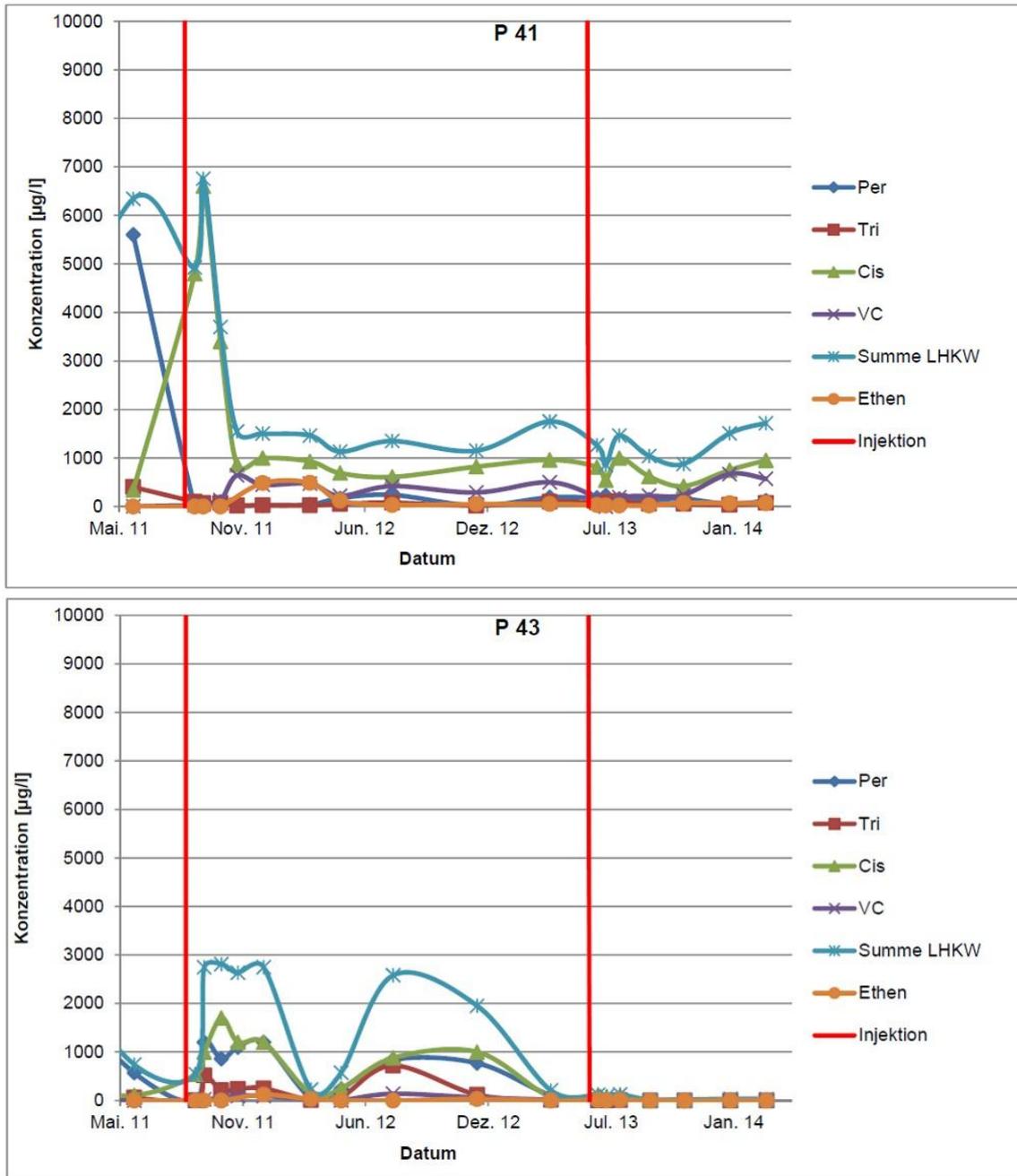


Abb. 2: Entwicklung LHKW-Konzentrationen in P 41 (erste Kampagne) und P 43 (zweite Kampagne)

6. Schlussfolgerung

Der Versuchsverlauf wird insgesamt positiv bewertet. Die Daten des Monitorings zeigen, dass die Wirkung in abgeschwächter Intensität nach wie vor anhält. Derzeit erfolgt eine Verlängerung des Monitorings, um nach Ende der Wirkdauer von EHC-R® durch die zuständige Behörde über die Verhältnismäßigkeit weiterer Maßnahmen entscheiden zu lassen.

7. Literatur

<http://www.peroxychem.com/markets/environment/soil-and-groundwater>

(zuletzt aufgerufen 06.11.2014)

Sanierung Ölunfall Deutschlandsberg

Mag. Alfred FRITSCH, INTERGEO Umwelttechnologie und Abfallwirtschaft GmbH

1. Einleitung

Die Firma INTERGEO Umwelttechnologie und Abfallwirtschaft GmbH wurde nach einem Heizölaustritt von ca. 15.000 l mit Sofortmaßnahmen und in weiterer Folge mit Boden- u. Grundwassersanierungsmaßnahmen an einer am Hauptplatz in A-8530 Deutschlandsberg gelegenen Liegenschaft und angrenzender Bereiche beauftragt.

Mittels umfassender Untersuchungen wurde ein durch an mehreren Stellen undichten, unterirdischen Heizölzuleitung verursachter massiver Heizölschaden (HEL „Heizöl extra leicht“) in der ungesättigten und gesättigte (Grundwasser) Bodenzone vorgefunden.

Das Heizöl breitete sich zuerst lateral entlang bevorzugter Wegigkeiten, wie z.B. den Hinterfüllungen der Heizölleitung (Kabelsand) sowie den benachbarten Keller- bzw. Streifenfundamenten, dann unmittelbar darauf vertikal bis in den Grundwasserbereich aus.

2. Schadensbild

Durch umfangreiche Boden- u. GW-Untersuchungen (34 Rammkernsondierungen, 9 GW-Sonden, 3 Brunnenbohrungen, Baugrubenbeprobungen) wurden Kontaminationen in der ungesättigten Bodenzone (im unmittelbaren Nahbereich zum Heizöltank) und in der gesättigten Bodenzone dokumentiert.

Geologisch gesehen liegen auf dem gegenständlichen Areal unter einer durchschnittlich ca. 1,5 m mächtigen anthropogenen Deckschicht generell kiesige Sand- bzw. sandige Kieshorizonte mit einem relativ hohen Steinanteil vor. Die Kieshorizonte haben eine maximale vertikale Ausdehnung von ca. 5 m mit teilweise grobkiesigen und steinigen Anteilen. Die Sandlagen sind in unterschiedlichen Tiefen zwischengelagert, mit einer Mächtigkeit bis zu ca. 1 m. Der Grundwasserstauer liegt in einer Tiefe von ca. 5 m unter GOK. Die Grundwasseroberfläche befindet sich in einer Tiefe von 2,5 bis 3,5 m unter GOK, die generelle Grundwasserströmungsrichtung verläuft in östliche bis südöstliche Richtung.

Die Verunreinigungen im Grundwasser wurden im nördlichen Bereich eines Weinkellers, im Bereich des Heizraumes und entlang der unterirdischen Heizölleitung festgestellt. Weiters wurden Verunreinigungen (zum Teil Öl in Phase) in neu errichteten Grundwassermessstellen auf den drei nächstgelegenen, abstromig angrenzenden Grundstücken sowie im Gehsteigbereich des Hauptplatzes von Deutschlandsberg im Zuge der Ersterkundung vorgefunden.

Die vom Heizölaustritt hervorgerufene Öllinse auf der Grundwasseroberfläche umfasste eine Fläche von etwa 1250 m². Die gesamte Grundwasserkontamination bzw. -beeinträchtigung wies schließlich eine Fläche von ca. 14.000 m² auf. Der Schadensbereich inkl. der Schadstofffahne umfasste eine Länge von ca. 175 m und eine max. Breite von 115 m.

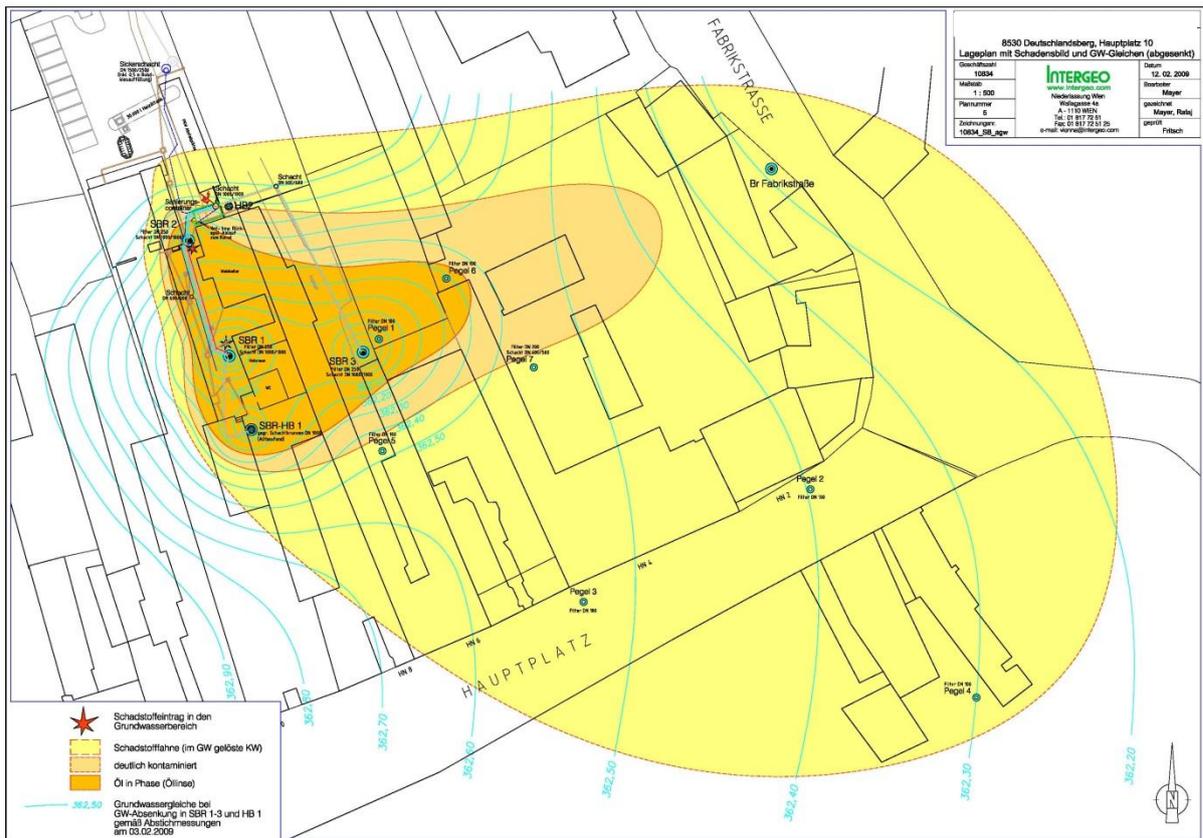


Abb. 1: Schadensbild

3. Sanierungsmaßnahmen

Aufgrund der baulichen Gegebenheiten konnte im Innenhof des betroffenen Grundstückes nur ein kleinräumiger Aushub durchgeführt werden. Die aus dem Aushubbereich (Bereich Heizraum und entlang der unterirdischen Heizölleitung) entnommenen Bodenproben zeigten die verbliebenen Restkontaminationen v.a. im GW-Schwankungsbereich, untergeordnet in der ungesättigten Bodenzone. Zur Abwehr von Schadstoffverdriftungen wurden Sofortmaßnahmen mittels GW-Absenkung und Absaugung der Ölphase von der Grundwasseroberfläche in 4 Brunnen durchgeführt, somit konnten in den ersten 8 Monaten bereits ca. 6.000 l Heizöl durch das Abpumpen der Ölphase von der Grundwasseroberfläche und durch Entfernung von kontaminiertem Erdreich aus dem Untergrund entfernt werden.

Als Hauptsanierung wurden Pump&Treat- sowie Bodenspülmaßnahmen mittels 5 Sanierungsbrunnen, 17 Infiltrationspegeln und 5 Infiltrationsstrecken, welche im unmittelbaren Schadenszentrum installiert und zu insgesamt 4 Infiltrationsgruppen zusammengefasst wurden, über einen Zeitraum von ca. 3,5 Jahren durchgeführt. Im Zuge der Bodenspülung wurden die Pegel und Strecken grundsätzlich gruppenweise abwechselnd angesteuert, wobei innerhalb jeder Gruppe wiederum jeder Pegel bzw. jede Strecke individuell mit einem Kugelhahn eingestellt werden konnte. Die Konfiguration der jeweiligen Gruppen und einzelnen Infiltrationsstellen erfolgte manuell.

Mit Zustimmung der Behörde erfolgte zur Sanierungsbeschleunigung während der letzten beiden Sanierungsjahre der periodische Einsatz von Dosierstoffen.

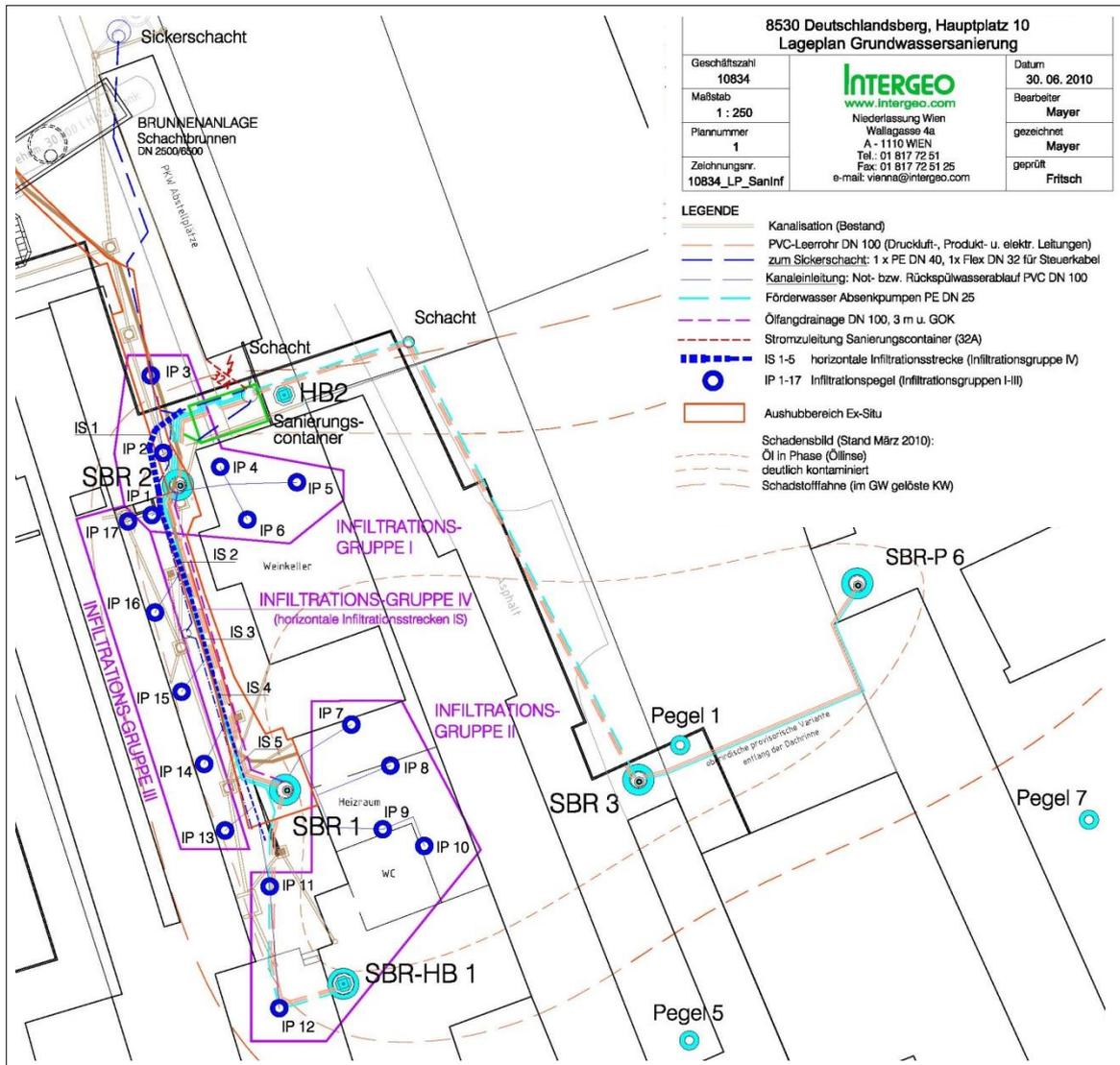


Abb. 2: Lageplan mit Sanierungseinrichtungen

Hydraulische Standortparameter

Die Auswertung durchgeführter Pumpversuche ergab eine mittlere Transmissivität (T) von $7,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ sowie einen mittleren Durchlässigkeitsbeiwert (k_f) von $3,9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Im nicht abgesenkten Grundwasserzustand konnte ein GW-Gefälle (I) von ca. 0,6 % im GW-Abstrom und ca. 1,75 % im Schadenszentrum ermittelt werden. Durch die Grundwasserabsenkung in den Sanierungsbrunnen erhöhte sich das GW-Gefälle im Absenkungstrichter auf ca. 2,5 – 3,5 %. Im Bereich des Absenkungstrichters lag eine effektive Fließgeschwindigkeit des Grundwassers zu den Sanierungsbrunnen von ca. 1 bis 1,5 m/d vor. Außerhalb des Absenkbereiches konnte im GW-Abstrom eine GW-Fließgeschwindigkeit von ca. 0,1 bis 0,3 m/d errechnet werden.

Salztracer-Versuch

Zur Simulation der Einbringung von Tensiden (z.B. Bioversal) in das Grundwasser wurde zuerst ein Salztracer-Versuch mit allen vertikalen Infiltrationspegel durchgeführt. Für den Tracerversuch wurden insgesamt 800 l gesättigte Salzlösung drucklos eingebracht, gefolgt von ca. 5000 l Wasser zum besseren Einspülen des Tracers in die gesättigte Bodenzone.

Die Wirkungsweise der Tenside beruht im Wesentlichen auf der Herstellung einer Verbindung zwischen zwei nicht mischbaren Phasen, wobei die Oberflächenspannung zwischen den hydrophoben und hydrophilen Komponenten herabgesetzt und das Öl zum Fließen gebracht wird. Biokompatible Tenside, wie z. B. Bioversal, haben gegenüber herkömmlichen technischen (xenobiotischen) Tensiden den Vorteil, dass die dispergierten Kohlenwasserstoffe in Form der dabei entstehenden Mizellen von Bakterien aufgenommen und nachfolgend verwertet werden können. Biokompatible Tenside zeichnen sich gegenüber herkömmlichen Tensiden durch mildere Tensideigenschaften, bessere biologische Abbaubarkeit und geringere Toxizität aus.

Mit der Tensidspülung werden gleichzeitig zwei Strategien verfolgt. Einerseits wird Öl-Phase in der Wasserphase dispergiert und damit z.B. für biologischen Abbau verfügbar gemacht, andererseits können die Schadstoffe durch die Herabsetzung der Oberflächenspannung besser aus der Bodenmatrix entfernt werden.

Durchführung und Dokumentation der Tensidspülung

Für eine einzelne Spülmaßnahme wurde eine Gesamtmenge von ca. 5 – 6 m³ Bioversal-Wasser-Gemisch verwendet, wobei die einzelnen Infiltrationsgruppen abwechselnd manuell angesteuert wurden. Die Tensidspülungen wurden in Abhängigkeit des Sanierungsfortschrittes so oft wiederholt bis in der jeweiligen Beobachtungsphase (ca. 4 - 8 Wochen) keine relevante KW-Mobilisierung mehr in der Bodenzone bzw. im Grundwasser feststellbar war. Durch den permanenten Pumpbetrieb wurde im gesamten Infiltrationsbereich eine dauerhafte Absenkung des Grundwasserspiegels zu den Brunnen erzielt, wodurch etwaige laterale Schadstoff- bzw. Tensidverdriftungen erfolgreich verhindert und ein Zuströmen zu den Sanierungsbrunnen erreicht wurde. Dies wurde mittels abstromigen Kontrollmessungen (CSB, Tenside) kontrolliert, welche mit vor Beginn der Tensidspülungen durchgeführten Nullmessungen verglichen wurden.

Das geförderte und gereinigte Grundwasser wurde, solange Tenside nachgewiesen werden konnten, zwischenzeitlich größtenteils in den Kanal geleitet, ein geringer Teil wurde gleichmäßig über alle Infiltrationsstellen versickert um eine optimale Durchspülung der Bodenzone zu garantieren.

Bodenspülung mit Wasserstoffperoxid (H₂O₂)

Die Bodenspülmaßnahmen mit Wasserstoffperoxid (definitionsgemäß: Infiltration von „sauerstoffangereichertem Wässern“) wurden nach dem Einsatz der biokompatiblen Tenside durchgeführt. Sie wurden durchgeführt, um noch etwaige nicht aus der Bodenmatrix entfernte Restgehalte an Kohlenwasserstoffen beseitigen bzw. minimieren zu können.

Durch den Oxidationsmittelzusatz können Sanierungszeiträume häufig deutlich verkürzt werden, da chemische Prozesse gegenüber biologischen Abbauprozessen wesentlich schneller ablaufen. Bei der Wasserinfiltration mit einer Zudosierung von Wasserstoffperoxid („stabilisiertes 35%iges H₂O₂ – unterhalb der Toxizitätsgrenze von 3 g/l H₂O₂-Zudosierung) erfolgt je nach Konzentrationsmenge ein mikrobiologischer Abbau bis hin zu einer oxidativen (chemischen) „Zersetzung“ bzw. im Idealfall eine komplette Mineralisierung der Mineralöl-Kohlenwasserstoffe zu Wasser und Kohlendioxid (ISCO).

Die für einen erfolgversprechenden Einsatz von Wasserstoffperoxid erforderlichen Grundvoraussetzungen (d.h. eine ausreichend große Anzahl von Infiltrationspegeln in nicht allzu großer Entfernung zueinander, geringe bis mittlere TOC, Fe- und Mn-Gehalte in der ungesättigten Bodenzone, eine relativ gute Durchlässigkeit aufgrund überwiegend mittel – bis

grob sedimentärer Bodenschichten) sowie ein vergleichsweise geringfügiger Karbonatgehalt in der Bodenzone lagen grundsätzlich vor.

Durchführung und Dokumentation der Wasserstoffperoxidspülung

Die zeitlich und mengenmäßig exakt definierten H_2O_2 -Zudosierungen erfolgten in einer Konzentration von ca. 2 g/l (ca. 1,5 l H_2O_2 je 1000 l Wasser) in das zur Infiltration verwendete gereinigte Grundwasser bzw. Reinwasser. Die H_2O_2 -Lösung wurde möglichst gleichmäßig und drucklos über die insgesamt 17 vertikalen Infiltrationspegel und 5 horizontalen Infiltrationsstrecken in die ungesättigte Bodenzone bzw. in den GW-Schwankungsbereich eingebracht. Anschließend wurde das aus den 5 Sanierungsbrunnen abgepumpte und über ÖAS und Aktivkohle gereinigte Grundwasser in genau definierten periodischen Zeitintervallen in die entsprechenden Infiltrationspegel bzw. -strecken gemäß einem Infiltrationsschema in die ungesättigte Bodenzone infiltriert. Der im Infiltrationsschema angeführte Zyklus von H_2O_2 -Dosierung, Anlagenstillstand und Wasserinfiltration erfolgte automatisch mittels Zeitsteuerung.

Demnach wurden innerhalb von 24 Stunden ca. 6 l (=1,5l*4) H_2O_2 bei einer Grundwasserinfiltrationsmenge von insgesamt ca. 20 – 25 m³/d in die ungesättigte Bodenzone zur Versickerung gebracht. Die restliche Grundwassermenge (ca. 10 – 15 m³) wurde in den Versickerungsbrunnen abgeleitet, um eine effiziente GW-Absenkung im Schadenszentrum aufrecht erhalten zu können.

Im Verlauf der H_2O_2 -Spülung wurden monatliche Grundwasseranalysen im Schadenszentrum und im Abstrombereich durchgeführt, um neben den KW-Gehalten auch mögliche Veränderungen der Eisen- und Mangankonzentrationen im Grundwasser feststellen zu können.

4. Sanierungsverlauf

Vor Beginn der Sanierungsmaßnahmen kam es ursprünglich zu einer Schadstoffverdriftung in südöstlicher Richtung (Hauptplatz), später schwenkte der Schadensbereich bedingt durch benachbarte, bauliche Wasserhaltungsmaßnahmen gegen Osten. Nach ca. 1,5 Jahren und bereits deutlich verringerter Schadstofffahne verlangsamte sich der positive Trend (Stagnationsphase), geringmächtige Phasenansammlungen traten nur noch im direkten Schadenszentrum auf. Erst nach Einsatz der Tensidspülungen (6 Monate) reduzierten sich in den GW-Messstellen die Schadstoffgehalte merklich und die Ölphasenansammlungen verschwanden.

Zur Entfernung von vorhandenen Restkontaminationen mit geringfügigen Schadstoffgehalten aus dem GW-Schwankungsbereich wurden H_2O_2 -Dosierungen durchgeführt, wodurch nach wenigen Monaten erstmalig die Sanierungsziele erreicht wurden. Mittels erfolgten Nachsorge- und Beweissicherungsmaßnahmen über einen Zeitraum von ca. 6 Monaten (Brunnenreinigungen, sanierungsabschließende Beprobungsreihen und Pumpversuche) wurde nachgewiesen, dass vom Schadenszentrum keine weitere Grundwassergefährdung mehr ausging, wodurch die Sanierung nach 4 Jahren als erfolgreich abgeschlossen zu bewerten war.

Einbringung von Stoffen ins Grundwasser – Wollen wir das?

Dietmar MÜLLER-GRABHERR, Timo DÖRRIE, Umweltbundesamt GmbH, Wien

1. Akzeptanz und Anwendung biologischer und chemischer in-situ-Verfahren

Grundlagen für die Anwendung biologischer und chemischer in-situ-Verfahren wurden bereits in vielen internationalen und auch österreichischen Forschungs- und Entwicklungsprojekten geschaffen. Die Anwendung entsprechender Verfahren ist im nordamerikanischen Bereich seit langer Zeit gegeben, in Europa sind Akzeptanz und Anwendungen seit den späten 90er zunehmend. In Deutschland konnten bei einer Erhebung für den Zeitraum bis 2007 (LORENZ, D. et al.; 2008) insgesamt 140 Sanierungsprojekte, Pilotanwendungen oder Konzepte erfasst werden. Bis 2009 wurden weitere 99 Projekt (Achtung: nach 2007 wurde auch MNA als biologisches in-situ-Verfahren eingestuft) erfasst.

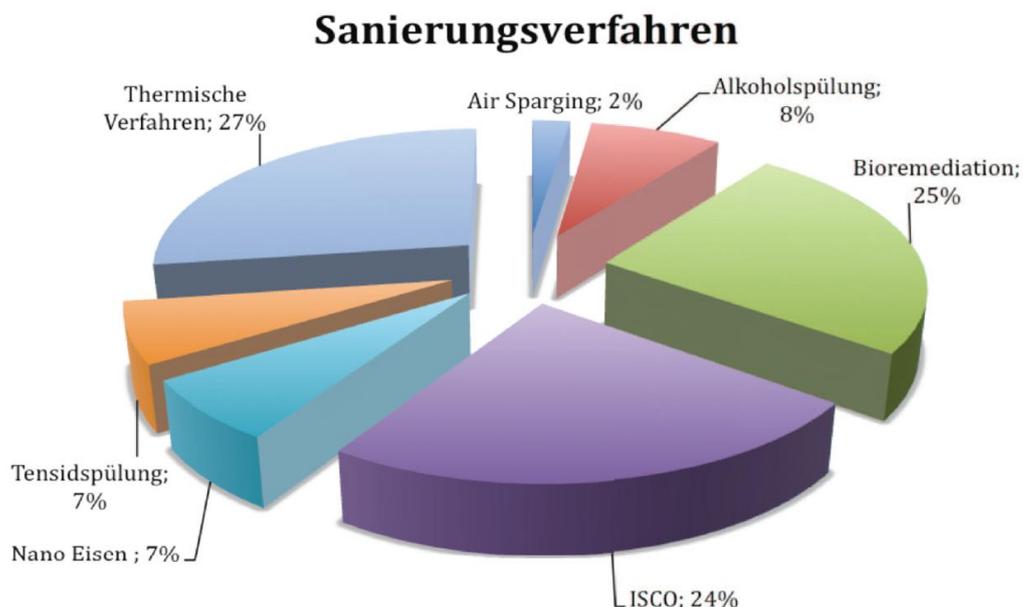


Abb. 1: Anwendung von in-situ-Sanierungsverfahren (gesättigte Zone); Deutschland bis 2007 (Quelle: Lorenz, D. et al.; 2008)

Im Vergleich dazu sind in Österreich Akzeptanz und Anwendungsmöglichkeiten im bestehenden rechtlichen Rahmen bis heute nicht ausreichend diskutiert oder allgemein geklärt worden. Im Rahmen des UFG geförderten Projektes INTERLAND wurde als eines der Ergebnisse bereits im Jahr 2006 der „Leitfaden 07: In-situ Anwendung chemischer Oxidationsmittel und Oxidationsverfahren“ (SOJA, G.; April 2006) publiziert. Ziel war einen Beitrag zur Etablierung des Verfahrens als „Stand der Technik“ zu leisten. Dabei wurde kurz zusammengefasst die In-situ-Anwendung chemischer Oxidationsmittel als Sanierungsverfahren beschrieben, dessen Stärken in der raschen Wirksamkeit auch bei hohen Kon-

zentrationen problematischer Schadstoffe sowie in der Kombinierbarkeit und Unterstützungsmöglichkeit biologischer Verfahren liegt.

Bei einer Erhebung des Umweltbundesamtes für den ÖVA im Jahr 2009 (DÖRRIE, T., LÄNGERT-MÜHLEGGGER, H.; 2010) bestätigte sich, dass ISCO-Anwendungen in Österreich weiterhin die Ausnahme sind und sich weitgehend auf den Einsatz von Wasserstoffperoxid beschränken. Dementsprechend wurden einerseits Demonstrationsprojekte (Permanganat und Wasserstoffperoxid) empfohlen, aber auch Bedarf und Potenziale zur Weiterentwicklung (Persulfat; Kombination mit anderen Verfahren) identifiziert.

Rechtlicher Rahmen

Eine der wesentlichsten Voraussetzungen im Hinblick auf die Möglichkeiten einer Anwendung chemischer (aber auch biologischer) in-situ-Verfahren ist die Diskussion des rechtlichen Rahmens. Neben den allgemeinen Bestimmungen des österreichischen Wasserrechts ist dabei seit 2010 die Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (BGBl. II Nr. 98/2010; QZV Chemie GW) wesentlich. Demnach ist die indirekte und direkte Einbringung (d.h. mit oder ohne „Bodenpassage“) von bewilligungspflichtigen Stoffen (sh. Anlage 3 QZV Chemie GW) in das Grundwasser grundsätzlich möglich. Für verbotene Stoffe (sh. Anlage 2 QZV Chemie GW) gelten weitgehende Einschränkungen, aber kein grundsätzlicher Ausschluss.

Technische Rahmenbedingungen

Zur Klärung der Rahmenbedingungen für einen möglichen Einsatz von Oxidations- und Reduktionsmitteln kann als erster Ansatz Kapitel 4 der zitierten Publikation aus dem Projekt INTERLAND heran gezogen werden. Als erforderliche Vorkenntnisse wird dabei, abgesehen von den für einen konkreten kontaminierten Standort relevanten Schadstoffen, auf

- geologische, hydrogeologische und geochemische Rahmenbedingungen,
- die Schadstoffverteilung und die Schadstoffbindung,
- das Monitoring der Prozesse bzw. Sanierung und Sicherheitsaspekte

abgezielt. Wie allgemein bei der Anwendung von in-situ-Verfahren ist auch der Aspekt bzw. Toleranz in Bezug auf verbleibende Restkontaminationen relevant.

Im Hinblick auf Voraussetzungen (oder Einschränkungen) im Allgemeinen oder auch für konkrete Anwendungsfälle sind darüber hinaus folgende Gesichtspunkte zu diskutieren:

- Keine negativen Auswirkungen auf das Grundwasser in der Standortumgebung, d.h. Nutzungen des Grundwassers dürfen weder über den Zeitraum noch nach Abschluss der Maßnahme gefährdet werden, mittel- bis langfristig gut nutzbare und besonders geschützte Grundwasservorkommen dürfen nicht beeinträchtigt werden.
- Umfassende Abwägung ökologischer Vor- und Nachteile, d.h. insbesondere auch
- für den Zeitraum der Maßnahme ist eine umfassende Beschreibung kurz- bis mittelfristiger Auswirkungen auf den Zustand am Standort und im Grundwasserabstrom notwendig,
- Kontrolle toxischer Abbauprodukte am Schadensherd, dabei ist die Toxizität möglicher Abbauprodukte im Vergleich mit der Reduktion der Schadstoffmasse bzw. der mobilisierten Schadstofffracht zu bewerten, (eine Ausbreitung mit der Schadstofffahne ist nicht zulässig),

- die am Standort nach Abschluss der Maßnahme verbleibenden Restbelastungen (Intensität, Ausmaß, Toxizität, Dauer) sind abzuschätzen und
- nach Abschluss der Maßnahme muss insbesondere für das Grundwasser im Abstrom des kontaminierten Standortes dauerhaft eine wesentliche Verbesserung (d.h. zumindest wesentliche Reduzierung der Schadstofffracht und Fahnenlänge) gewährleistet sein.
- Beschränkung auf hochkontaminierte Bereiche und Schichten („Hot-spots“).

In Hinblick auf die Planung und Umsetzung der Anwendung chemischer In-situ-Verfahren ist ein aussagekräftiges Standortmodell, d. h. die nachvollziehbare und plausible Beschreibung in Bezug Untergrundaufbau, Hydrogeologie, Schadstoffverteilung und -bindung (inkl. Abgrenzung von „Hot-spots“), die geochemische Charakterisierung unterschiedlicher Schichten und eine Einschätzung der verbleibenden Datenunsicherheiten wesentlich. Aus dem Standortmodell können der Mengenbedarf für Oxidations- oder Reduktionsmitteln abgeschätzt und ein Konzept für die Injektion und Ausbreitung entwickelt werden (s. Abb. 2).

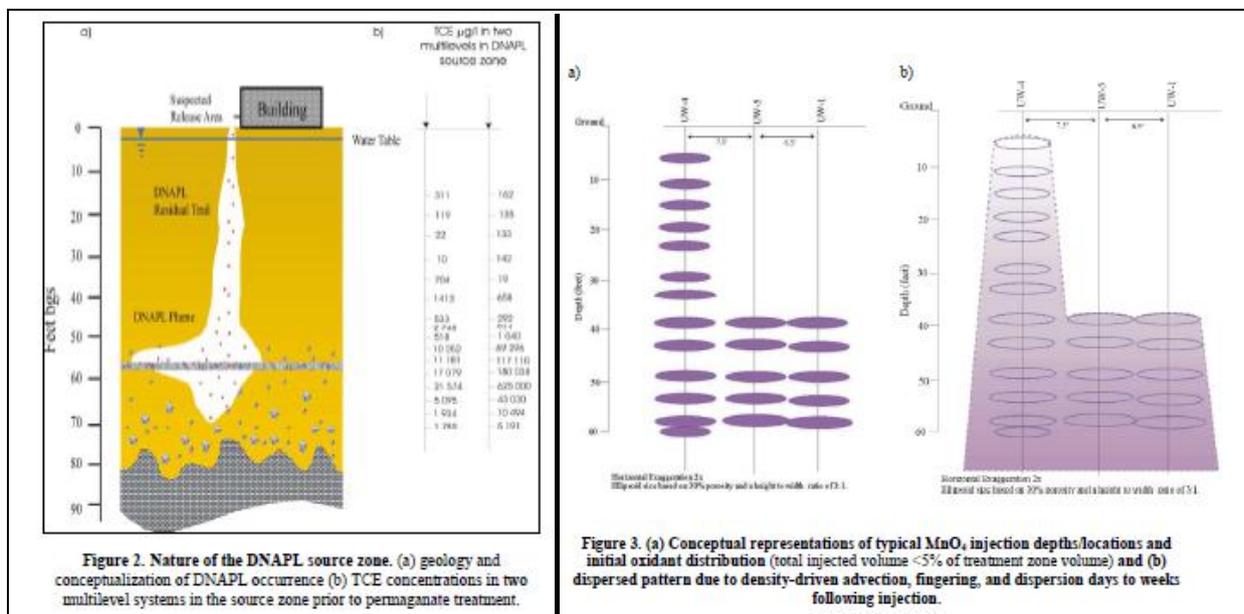


Abb. 2: Schadstoffverteilung und Konzept zur Injektion von KMnO₄ (Quelle: ITRC, 2005)

Als Teil eines entsprechenden Maßnahmenkonzepts sind zusätzlich das notwendige Beweissicherungsprogramm, Sicherheits- und Notfallmaßnahmen vorzusehen. Innerhalb der Beweissicherung sind Nachweis und Kontrolle der chemischen Prozesse von zentraler Bedeutung.

Stand und Weiterführung der Diskussion

Allgemein stellt sich die Frage, ob Akzeptanz und ein gutes Verständnis für die Voraussetzungen zur Anwendung chemischer in-situ-Verfahren in Österreich bereits gegeben sind.

Die naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen für die Anwendung von chemischen in-situ-Verfahren und die dabei notwendige direkte Einbringung reaktiver Stoffe in das

Grundwasser sind weitestgehend gegeben. Die Einbringung von Stoffen in das Grundwasser ist auch in Österreich grundsätzlich rechtlich möglich.

Grundlage für eine Planung und die erfolgreiche Anwendung der Verfahren muss ein gutes und umfassendes Verständnis der Prozesse am Standort (aussagekräftiges Standortmodell) sein. Als weitere Voraussetzung ist die Bewertung von Restkontaminationen zu beachten. Dabei kann auch eine Kombination und Nachschaltung anderer, z.B. biologischer in-situ-Verfahren zweckmäßig sein. Jedenfalls sind vorab Sicherheits- und Notfallmaßnahmen festzulegen sowie zur Kontrolle der Wirksamkeit ein umfassendes Monitoringprogramm.

Literatur:

DÖRRIE, T., LÄNGERT-MÜHLEGGGER, H., 2010: Technologiequickscan In-situ-Sanierungstechnologien (Hrsg. Österreichischer Verein für Altlastenmanagement; download sh. <http://www.altlastenmanagement.at/home/?p=410>)

ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council), 2005: Technical and Regulatory Guidance for In Situ Chemical Oxidation of Contaminated Soil and Groundwater, 2nd ed. ISCO-2. (Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, In Situ Chemical Oxidation Team; download <http://www.itrcweb.org>)

LORENZ, D. et al., 2008: Auswertung internationale Fachliteratur zu in-situ-Anwendungen in der gesättigten Zone bei der Altlastenbearbeitung (Projekt im Rahmen des deutschen Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden, Abfall“ 2007; download sh. http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LABO/index.jsp)

SOJA, G., 2006: In-situ Anwendung chemischer Oxidationsmittel und Oxidationsverfahren (INTERLAND-Leitfaden 07; download sh. <http://interland.arcs.ac.at/extranet/interland/publikat.htm>)

Anwendung und Bedeutung von chemischen In-situ-Verfahren in der Praxis aus Betreibersicht

Ing. Gerhard MORIZ, BP Europa SE / Remediation Management, Wien

1. PERF Projekt: Grundwasser- und Bodensanierung durch In-situ Chemische Oxidation

Petroleum Environmental Research Forum (PERF) Projekt – Erfassung und Empirische Auswertung von ca. 40 ISCO Sanierungsprojekten (2000 – 2010) (Aramco, BP, Chevron, Exxon Mobile, Shell Tankstellen)

Technology	# Sites where technology was applied ¹	Remediation Objective ²				Scale		Geology is most like this conceptual scenario ³					
		Source	Plume	Source + Plume	Barrier	Pilot	Full Scale	A	B	C	D	E	Unknown
H2O2	14	12	0	2	0	2	12	0	6	5	1	3	2
Catalyzed H2O2	9	7	0	2	0	0	9	0	2	6	0	1	1
H2O2 + Ozone	8	2	4	1	1	0	8	1	1	3	0	1	2
Ozone	4	2	0	1	1	0	4	0	0	3	0	0	1
Activated Persulfate	6	3	2	1	0	2	4	0	3	2	0	0	1
Percarbonate	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
OH• + Percarbonate	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
Peroxygen suspension	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
Total	44	29	6	7	2	5	39	1	13	21	1	5	7

¹ 36 sites; some sites used more than one ISCO technology, resulting in 44 ISCO implementations.

² Remediation objective (design capability). Some sites treated both source and plume.

³ Scenario descriptors (target treatment zone). Four treatment zones encompassed two geologic scenarios.

A. Relatively homogeneous & permeable unconsolidated sediments

B. Largely impermeable sediments with interbedded lenses of higher permeability material

C. Largely permeable sediments with inter-bedded lenses of low permeability material

D. Competent, but fractured bedrock

E. Weathered bedrock (sandstone, siltstone, etc.)

2. Hydraulische Bodenspülung mit Bioversal im Rahmen von EX SITU- und IN SITU-Maßnahmen Heizölschaden ehem. BHB-Tanklager 1230 Wien (INTERGEO Umwelttechnologie Wien)

Boden- und Grundwasserkontamination durch HEL (Leckage Heizölversorgungsleitung) kontaminierte ungesättigte BZ im Schadenszentrum, 2 kontaminierte GW-Stockwerke
Gesamtausmaß: ca. 50.000 L HEL, 12.000 m²,

Okt. 1998 – März 1999 Erkundung und Sofortmaßnahmen (4 GW-Sanierungsbrunnen)
Sanierung März 1999 – Mai 2011 (inkl. Monitoring), mehrphasig, 3 Sanierungsabschnitte

EX SITU: Teilaushübe (als Flächendrainage genutzt)

IN SITU: 3 Pump & Treat Sanierungsanlagen mit Bodenspüleinrichtungen 11 GW-Sanierungsbrunnen, aktive Ölsperre: 2 Ölauffang-Drainagen L = 200 m Flächendrainagen (Ex Situ-Bereiche) hydraul. Bodenspülung: horizontale und vertikale Infiltrationsstrecken L = 215 m

ab April 2004: periodische Dotierung von Bioversal-Wassergemisch (0,5 %) zur Bodenspülung im Schadenszentrum (Bereich Bürogebäude – ca. 750 m²)

Einbringen von insgesamt ca. 10.000 L Bioversal-Wassergemisch

Mobilisierung und Ausschwemmen der HEL-Partikel aus dem Sediment zu den GW-Entnahmeeinrichtungen

Schadstoff-Rückgewinnung/Gesamtaustrag: 45.000 L



Abb: 1 BHB

3. In-Situ-Sanierung eines MKW-Schadens, BP Tankstelle Bundesstraße 20, A - 6611 Heiterwang

- 2006: Auffinden von oberflächennahen Kontaminationen mit KW (bis ca. 2.500 mg/kg) -> vollständige Entfernung aus baustatischen Gründen nicht möglich
- Um biologischen Abbau der Restkontamination zu beschleunigen wurde reacre© in den Boden eingebracht. Begleitendes Grundwassermonitoring.
- Okt/Nov 2007, April 2008 → Kontrollbohrungen, um Sanierungserfolg zu belegen.
- 2008 → Abbau erfolgreich und deutliches Unterschreiten der Sanierungszielwerte - Projektende!
- **reacre®**
- Mikroorganismen, keramische Teilchen mit funktionalen Oberflächen, Biopolymere (Schutz der Mikroorganismen) und Mikronährstoffe
- beschleunigter biologischer Abbau von Schadstoffen ohne Mobilisierung der organischen Schadstoffe im Grundwasser

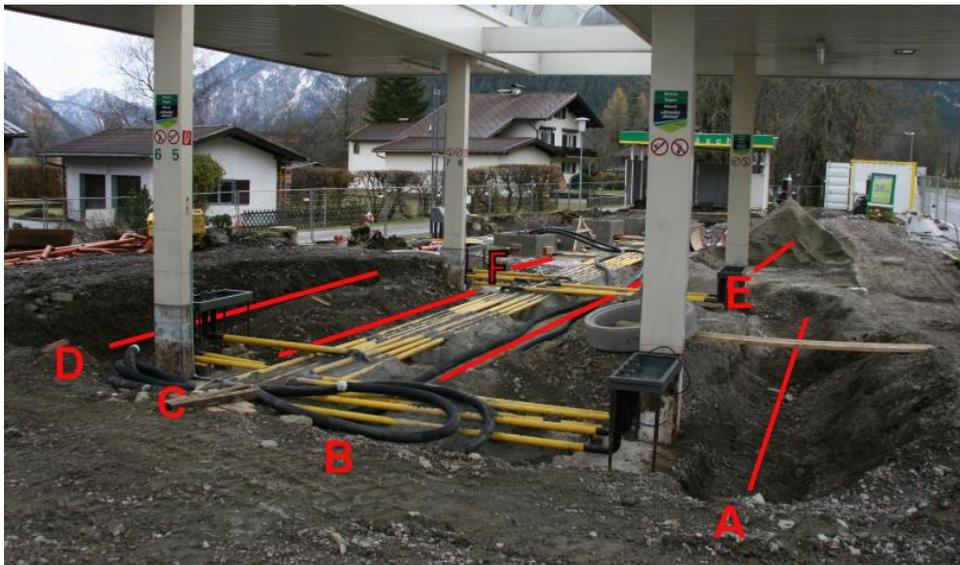


Abb. 2: Heiterwang

5. ÖVA – Technologie Workshop 2014
 „Anwendung chemischer In-situ-Verfahren - (direkte) Einbringung von Stoffen ins Grundwasser“

TEILNEHMERLISTE				
	Name		Firma	Abteilung
1	Gert	Arnold	Magistrat der Stadt Wien	MA 45 - Wiener Gewässer
2	Ioannis	Athanasiou	BIOVERSAL International GmbH	
3	Vesna	Micić Batka	Universität Wien	Department of Environmental Geosciences
4	Elisabeth	Eisl	Wiener Gewässer Management GmbH	
5	Adrian	Flores Orozco	Technische Universität Wien	Department of Geodesy and Geoinformation
6	Sabine	Foditsch	Umweltbundesamt GmbH	Altlasten
7	Peter	Freitag	Keller Grundbau Ges.mBH	
8	Stephan	Hammer	PORR UMWELTECHNIK GMBH	
9	Georg	Hofmann	Amt der OÖ. Landesregierung	Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft
10	Gerald	Holzbauer	PORR Umwelttechnik GmbH	Altlastensanierung und Projektierung
11	Martin	Jung	AIT Austrian Institute of Technology GmbH	Health & Environment Department
12	Franz	Kitzwögerer	BIOVERSAL International GmbH	
13	Christoph	Kolmer	Amt der Oö. Landesregierung	
14	Dr. Hartwig	Kraiger	GWU Geologie-Wasser-Umwelt GmbH	
15	Helmut	Längert-Mühlegger	Umweltbundesamt GmbH	Altlasten
16	Susanne	Laumann	Tauw bv	BU Industry
17	Alexander	Mechtler	GRUPPE WASSER	
18	Heinz	Meier	Z-Design GmbH	
19	Christoph	Moser	Amt der Oö. Landesregierung	Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft
20	Manfred	Nahold	GUT GRUPPE UMWELT + TECHNIK GMBH	
21	Regine	Patek	Kommunalkredit Public Consulting GmbH	Abteilung Wasser und Altlasten
22	Robert	Philipp	TERRA Umwelttechnik GmbH	
23	Hans	Punesch	Amt der NÖ Landesregierung	Referat Altlasten und Verdachtsflächen
24	DI Michael	Rabitsch	Amt der Kärntner Landesregierung	Abteilung 8
25	Sascha	Salek	HPC Austria GmbH	
26	Kerstin	Scherr	Universität für Bodenkultur	Dep. IFA-Tulln, Inst. Umweltbiotechnologie
27	Andreas	Schimpl	Magistrat Linz	Umwelt und Technik- Center
28	Doris	Schmid	Universität Wien	
29	Hanns	Schnepf	INTERGEO Umwelttechnologie u. Abfallwirtschaft GmbH	
30	Gerald	Schobert	Zwillingenieur für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft	
31	DI Philipp	Schöftner	AIT Austrian Institute of Technology GmbH	Health & Environment Department
32	Martin	Schröttner	Amt der Steiermärkischen Landesregierung	Abteilung 15 Energie, Wohnbau, Technik
33	Martin	Schuster	ASPG-Altlastensanierungsprojekte GmbH	
34	Gerhard	Soja	AIT Austrian Institute of Technology GmbH	
35	Andreas	Straka	Magistrat der Stadt Wien	MA 45 - Wiener Gewässer
36	Hans	Urban	DI Trugina & Partner ZT-GmbH	
37	Stephan	Wagner	Universität Wien	Department of Environmental Geosciences
38	Wolfgang	Walzer	Magistrat der Stadt Wien	MA 45 - Wiener Gewässer
39	Andrea	Watzinger	AIT Austrian Institute of Technology GmbH	Health & Environment Department
40	Thomas	Weiland	Wiener Gewässer Management GmbH	
41	Jörg	Weindl	BFM Umwelt GmbH Beratung-Forschung-Management	
42	Bernhard	Wimmer	AIT Austrian Institute of Technology GmbH	Health & Environment Department
43	Elisabeth	Winkler	Amt der Steiermärkischen Landesregierung	Abteilung 15
Vortragende, Veranstalter				
1	Bernadette	Bohnert	HPC AG, Rottenburg	
2	Eva	Dobeiner-Madaras	ÖVA	
3	Timo	Dörrie	Umweltbundesamt, ÖVA	Abteilung Altlasten
4	Hans-Georg	Edel	Züblin Umwelttechnik GmbH, Stuttgart	
5	Alfred	Fritsch	INTERGEO Umwelttechnologie und Abfallwirtschaft GmbH, Wien	
6	Patrick	Jacobs	TAUW GmbH, Berlin	
7	Hans-Peter	Koschitzky	VEGAS, Universität Stuttgart	
8	Gerhard	Moriz	BP Austria	
9	Dietmar	Müller-Grabherr	Umweltbundesamt GmbH, Wien	
10	Gunter	Ossegger	BMLFUW	Abt. IV/1: Wasserlegistik und -ökonomie
11	Thomas	Reichenauer	Austrian Institute of Technology, ÖVA	Health & Environment Department
12	Michael	Samek	BMLFUW	Abteilung IV/4: Anlagenbez. Wasserwirtschaft