



Gesellschaft zur Altlastensanierung
in Bayern mbH

**Bayerisches Forschungsverbundvorhaben
"Nachhaltige Altlastenbewältigung
unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"
Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse**

der Teilprojekte 1 bis 6

erstellt von der

Projektsteuerungsstelle
bei der

Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern (GAB) mbH

Im Auftrag

des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt,
Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV)

und

des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (LfW)

Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern (GAB) mbH
Vorsitzender des Aufsichtsrats: MD Dr. Heinz Fischer-Heidberger
Geschäftsführer: Dr. Thilo Hauck

Sitz der Gesellschaft: Innere Wiener Str. 11a, 81667 München

Tel: 089-447785-0

Telefax: 089-447785-22

e-mail: gab@altlasten-bayern.de

Internet: www.altlasten-bayern.de



Inhaltsverzeichnis

0.	Zusammenfassung	3
1	Allgemeines	4
1.1	Anlass und Zielsetzung	4
1.2	Organisation des Forschungsverbundvorhabens	5
1.3	Übersicht über die Teilprojekte im Forschungsverbundvorhaben	6
2	Angewandte Methoden der Teilprojekte	9
3	Zusammenfassende Darstellung der Teilprojekte	11
3.1	Teilprojekt 1 - PAK- Belastung, Altlastenfall in Oberbayern	11
3.2	Teilprojekt 2 - MKW- Belastung, Altlastenfall in Oberbayern	13
3.3	Teilprojekt 3 - LHKW- Belastung, Altlastenfall in Mittelfranken	15
3.4	Teilprojekt 4 - Arsen- Kupfer- Belastung, Altlastenfall in Unterfranken	16
3.5	Teilprojekt 5 - LCKW- Belastung, Altlastenfall in Oberfranken	18
3.6	Teilprojekt 6 - Modellierung - Entwicklung einer Simulationssoftware, Datenschnittstelle und Höchstleistungssimulation	20
4	Vorschläge zur Handlungsempfehlung	22
5	Fazit	25



0. Zusammenfassung

Die Nutzung des "natürlichen Reinigungsvermögens" bei der Sanierung von Altlasten - im angloamerikanischen Sprachraum mit "Natural Attenuation (NA)" bezeichnet - wird derzeit bundesweit diskutiert. Anlässlich dieser Diskussion initiierte der Bayerische Arbeitskreis "Natürliches Reinigungsvermögen" (BayAKNR) ein Forschungsverbundvorhaben mit dem Titel "Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens", das im Zeitraum von Juni 2001 bis Juni 2003 durchgeführt wurde. Das Forschungsverbundvorhaben wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV, vormals StMLU) mit insgesamt 2,24 Mio. Euro finanziert. Die Projektsteuerung oblag der Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern (GAB) mbH. Zur fachlichen Begleitung des Vorhabens wurde neben dem BayAKNR im Forschungsverbund ein Koordinationsgremium eingerichtet, in dem die einzelnen Teilprojekte, das Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW), das Landesamtes für Umweltschutz (LfU) und die GAB mbH vertreten waren. Der nachfolgende Schlussbericht erläutert Zielsetzung, Organisation und Struktur des Vorhabens. Es werden die wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse der einzelnen Teilprojekte zusammengefasst dargestellt sowie das erarbeitete phasenweise Vorgehen als Grundkonzept der Handlungsempfehlung vorgestellt.

An den ausgewählten Altlastenstandorten, die unterschiedliche Hauptkontaminanten und geologische Rahmenbedingungen repräsentieren sollten, wurde das natürliche Reinigungsvermögen in fünf Teilprojekten intensiv untersucht und beobachtet. Die Ergebnisse und Erkenntnisse flossen in ein sechstes Teilprojekt ein, das daraus eine Simulationssoftware und Datenschnittstellen zu einem kommerziellen Strömungsmodellierungsprogramm entwickelte. An einigen der Altlastenstandorte wurde eine Transportmodellierung zur Abschätzung des zukünftigen Schadstoffverhaltens vorgenommen.

Im Ergebnis zeigte sich, dass die detaillierte Erkundung und Erfassung der hydrogeologischen Rahmenbedingungen eine entscheidende Grundlage für das Prozessverständnis ist. Die Kenntnis der einzelnen schadstoffmindernden NA-Prozesse ist für die Abschätzung des NA-Potenzials in qualitativer Hinsicht erforderlich, wobei hier überwiegend standardisierte Methoden zum Einsatz kommen können. Hinsichtlich einer Quantifizierung der Prozesse und einer detaillierten Erfassung der Eingangsdaten für eine Modellierung des Schadstoffverhaltens sind überwiegend spezielle, innovative und noch nicht allgemein verfügbare Methoden notwendig, deren gezielte Auswahl sich nach den einzelfallspezifischen Anforderungen richten sollte.

Ein wesentliches Ziel des Forschungsverbundvorhabens war die Erarbeitung von Vorschlägen für die Handlungsempfehlung, die unter der Federführung der einzelnen Teilprojekte in thematisch orientierten teilprojektübergreifenden Arbeitsgruppen erarbeitet wurden. Dort fanden intensive Fachdiskussionen statt und es ergaben sich wertvolle Synergieeffekte in der Zusammenarbeit. Für die Handlungsempfehlung wurde ein mehrphasiges Konzept zur Untersuchung und Bewertung des NA-Potenzials entwickelt, das schließlich in der Umsetzung von MNA münden kann. Am Ende der einzelnen Untersuchungsphasen soll jeweils die Überlegung angestellt werden, ob eine Weiterverfolgung von Monitored Natural Attenuation (MNA) sinnvoll ist oder ob Sanierungsmaßnahmen zielführender sind.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass im Rahmen des Forschungsverbundvorhabens wertvolle Ergebnisse und Erkenntnisse durch die einzelnen Teilprojekte erarbeitet wurden. Das Forschungsverbundvorhaben insgesamt wurde von den Beteiligten als ein Projekt mit "Pilotcharakter" empfunden. Die Struktur und das Zusammenspiel aller Gremien wird aus Sicht der Beteiligten als sehr positiv bewertet, Synergieeffekte wurden optimal genutzt, wozu auch das große Engagement aller einen wesentlichen Beitrag geleistet hat.



1 Allgemeines

1.1 Anlass und Zielsetzung

Die Erfahrungen bei der Bearbeitung von Untergrundverunreinigungen zeigen, dass im Untergrund bei bestimmten Schadensfällen ein erhebliches Rückhalte- und Reinigungsvermögen vermutet werden kann. Diese "konzentrationsmindernden" Vorgänge werden im angloamerikanischen Sprachgebrauch unter dem Begriff "Natural Attenuation" zusammengefasst. In Deutschland wird aktuell (u.a. auch in einem ALA Unterausschuss) diskutiert, wie diese Vorgänge bei der Sanierung von Untergrundverunreinigungen berücksichtigt werden können.

Angesichts dieser Diskussion zum Thema "Natural Attenuation" ist es dringlich, einen entsprechenden Rahmen und Grundlagen in technischer und rechtlicher Hinsicht für Planer, Behörden und Betroffene zu schaffen. Damit soll eine Berücksichtigung und Einbeziehung der im Boden und Grundwasser von Natur aus ablaufenden Prozesse bei der Altlastenbearbeitung ermöglicht werden. Das bayerische Forschungsverbundvorhaben "Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens", das vom 1999 bei der GAB mbH gegründeten Bayerischen Arbeitskreis "Natürliches Reinigungsvermögen" (BayAKNR) initiiert wurde, leistete hierzu einen wesentlichen Beitrag und konnte zu einer Erweiterung des Kenntnisstandes beitragen. Die Ergebnisse werden in eine Handlungsempfehlung für Planer und Behörden einfließen.

Im Rahmen des Forschungsverbundvorhabens sollten folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Unter welchen Rahmenbedingungen findet natürliches Reinigungsvermögen in berücksichtigungswürdigem Umfang statt?
- Welche Basisdaten sind für eine Erfassung und Bewertung des natürlichen Reinigungsvermögens zu erheben?
- Reichen die bisherigen Verfahren zur Erkundung und Bewertung aus?
- Welche Methoden und Verfahren sind zusätzliche erforderlich und wie aufwändig sind diese?
- Welche Informationen und Daten sind für eine Prognose bzw. Modellierung der Vorgänge im Untergrund notwendig?
- Wie kann die Wirksamkeit der stattfindenden Prozesse kontrolliert werden?

Der nachfolgende Schlussbericht stellt die Rahmendaten, die Struktur und den organisatorischen Ablauf des Forschungsverbundvorhabens dar und gibt einen Überblick über die stattgefundenen Aktivitäten. Es werden die einzelnen Teilprojekte sowie deren wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse vorgestellt, die Aufgaben der Projektsteuerungsstelle dargestellt, Synergieeffekte im Vorhaben erläutert und Informationen zur Handlungsempfehlung gegeben.

Das Forschungsverbundvorhaben, wurde vom damaligen Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen StMLU - jetzt Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) - für den Zeitraum Juni 2001 bis Mai 2003 bewilligt. Das Verbundvorhaben bestand aus insgesamt sechs Teilprojekten, wobei fünf Teilprojekte jeweils einen konkreten Altlastenstandort untersuchten und das sechste Teilprojekt die projektübergreifende Entwicklung einer Simulationssoftware mit Strömungs- und Transportmodellierung vornahm. Die Finanzierung wurde vom StMUGV mit einem Volumen von insgesamt rd. 2,24 Mio € übernommen.

Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

1.2 Organisation des Forschungsverbundvorhabens

An dem Forschungsverbundvorhaben, das aus 6 Teilprojekten bestand, beteiligten sich insgesamt 9 Hochschulinstitute in Zusammenarbeit mit Ingenieurbüros und Behörden. Insbesondere die beiden Landesämter (LfW / LfU) sowie Vertreter der einzelnen Wasserwirtschaftsämter waren intensiv eingebunden.

Da sich bereits in der Antragsphase abzeichnete, dass zur Abwicklung und insbesondere zur besseren Nutzung von Synergieeffekten eine Steuerung und Koordination der einzelnen Teilprojekte erforderlich ist, wurde bei der GAB mbH eine Projektsteuerungsstelle eingerichtet. Weiterhin wurde ein Koordinationsgremium gebildet, das mit jeweils einem verantwortlichen Vertreter der Teilprojekte, einem Vertreter des LfU und des LfW und der Projektsteuerungsstelle besetzt war. Der BayAKNR hat ebenfalls das Vorhaben beratend begleitet.

Zur Bearbeitung und Diskussion bestimmter Themenschwerpunkte und zur Erarbeitung einzelner Kapitel der Handlungsempfehlung wurden Arbeitsgruppen gegründet. Die Themen der einzelnen Arbeitsgruppen wurden so gewählt, dass sie den Themenschwerpunkten der zu erarbeitenden Handlungsempfehlung entsprachen:

- Arbeitsgruppe 1: Monitoring
- Arbeitsgruppe 2: Mikrobiologie
- Arbeitsgruppe 3: Hydrochemie
- Arbeitsgruppe 4: Hydrogeologie
- Arbeitsgruppe 5: Prognose / Modellierung

Die Arbeitsgruppenleitung übernahm das Teilprojekt, das die Verantwortung für die Erarbeitung des thematisch zugeordneten Kapitels der Handlungsempfehlung hatte. Die Mitglieder der Arbeitsgruppen setzten sich zusammen aus jeweils einem Vertreter der Teilprojekte 1 bis 6, Vertreter der Wasserwirtschaftsämter, Vertreter des LfW und der Projektsteuerungsstelle. Nachfolgendes Organigramm in Abbildung 1 zeigt im Überblick die Organisation des Forschungsverbundvorhabens.

Durch die interdisziplinäre Zusammensetzung des Teilnehmerkreises und der Verzahnung von Forschung, Praxis und Verwaltung konnte ein breites Expertenwissen mit entsprechenden Erfahrungen aus der Praxis berücksichtigt und einbezogen werden.

Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

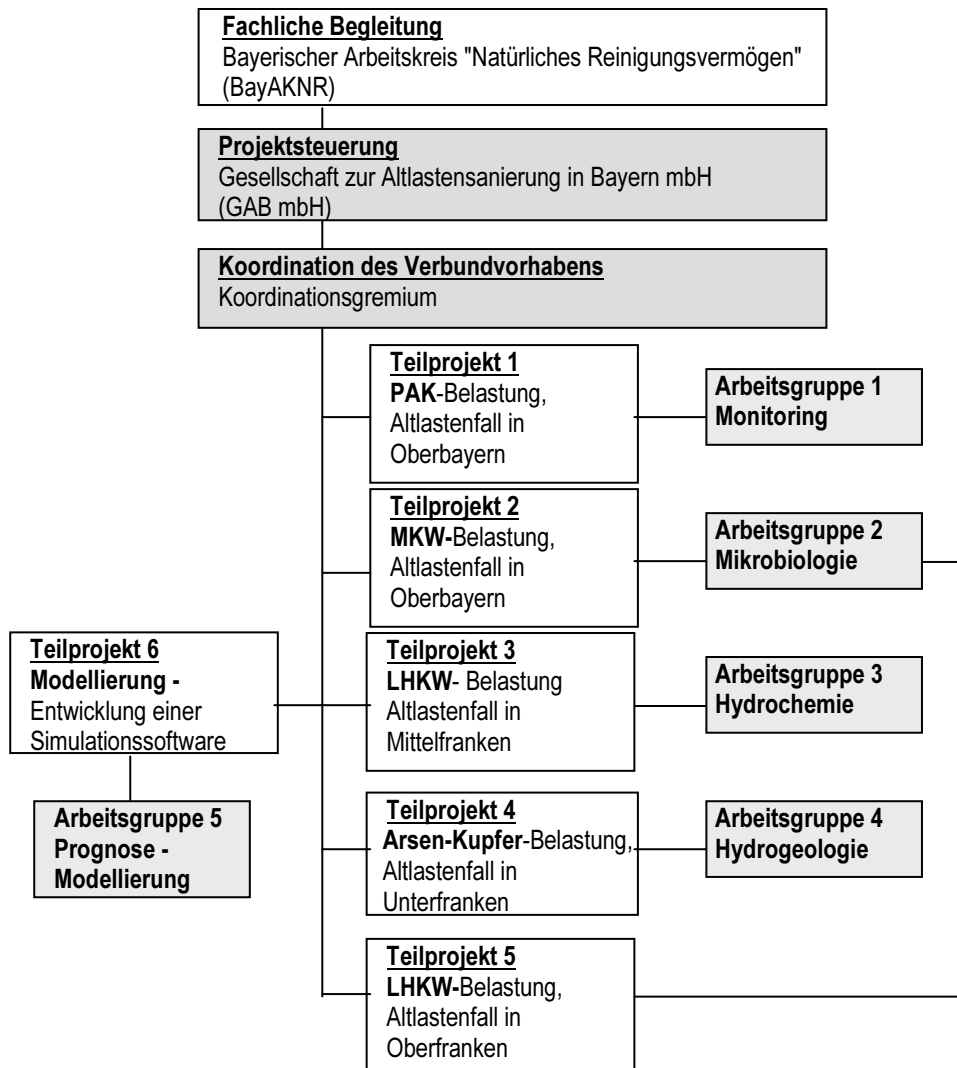


Abbildung 1: Struktur des Forschungsverbundvorhabens

1.3 Übersicht über die Teilprojekte im Forschungsverbundvorhaben

Für das Forschungsverbundvorhaben wurden 5 Altlastenstandorte zur Erfassung, Beobachtung und Beschreibung der Prozesse im Untergrund ausgewählt. Dabei war es nicht beabsichtigt, an den ausgewählten Standorten das natürliche Reinigungsvermögen einzusetzen, so dass eine Sanierung dadurch entfallen kann. Vielmehr laufen an den Standorten bereits technische Sanierungsmaßnahmen. Bei der Wahl der Standorte waren folgende Kriterien ausschlaggebend:

- Lage in unterschiedlichen geologischen Räumen Bayerns,
- Hoher Erkundungsstand und umfangreiche Datenlage,
- Verfügbarkeit der Daten und Zugänglichkeit der Fläche (Vermeidung von Konflikten mit Sanierungsverantwortlichen),
- Repräsentative Hauptkontaminanten,

Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

- Hinweise auf natürliches Reinigungsvermögen im Untergrund (z.B. durch das Vorliegen von Abbauprodukten).

In einem 6. Teilprojekt flossen die Ergebnisse und Erkenntnisse der 5 anderen Teilprojekte zur Entwicklung einer Simulationssoftware ein und es wurde an einzelnen Standorten das zukünftigen Stoffverhalten modelliert. Abbildung 2 zeigt die Lage der einzelnen Altlastenstandorte .

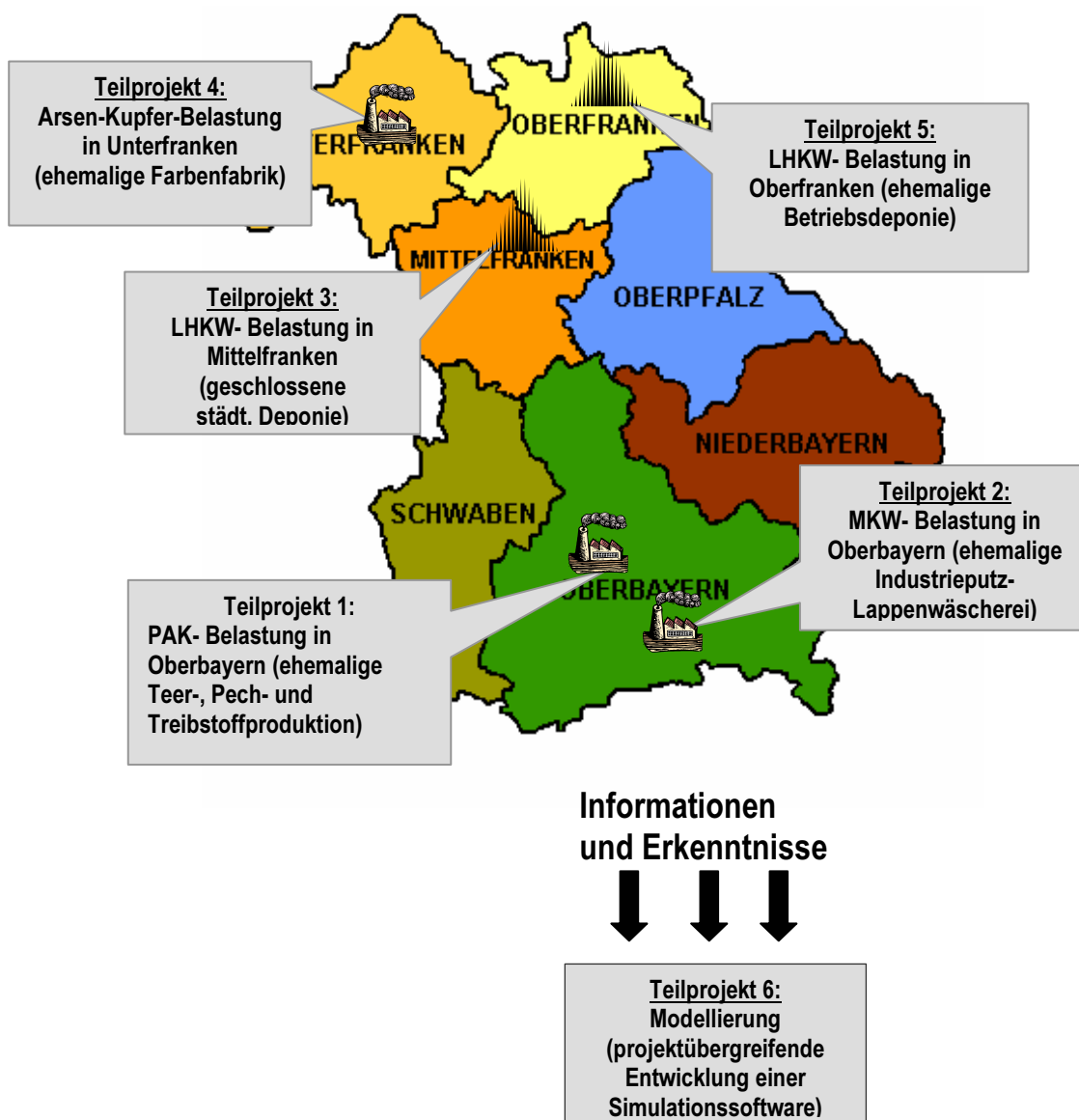


Abbildung 2: Lage der ausgewählten Altlastenstandorte in Bayern

Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

In Abbildung 3 sind die einzelnen Teilprojekte hinsichtlich ihrer Bezeichnung und der involvierten Institutionen dargestellt.

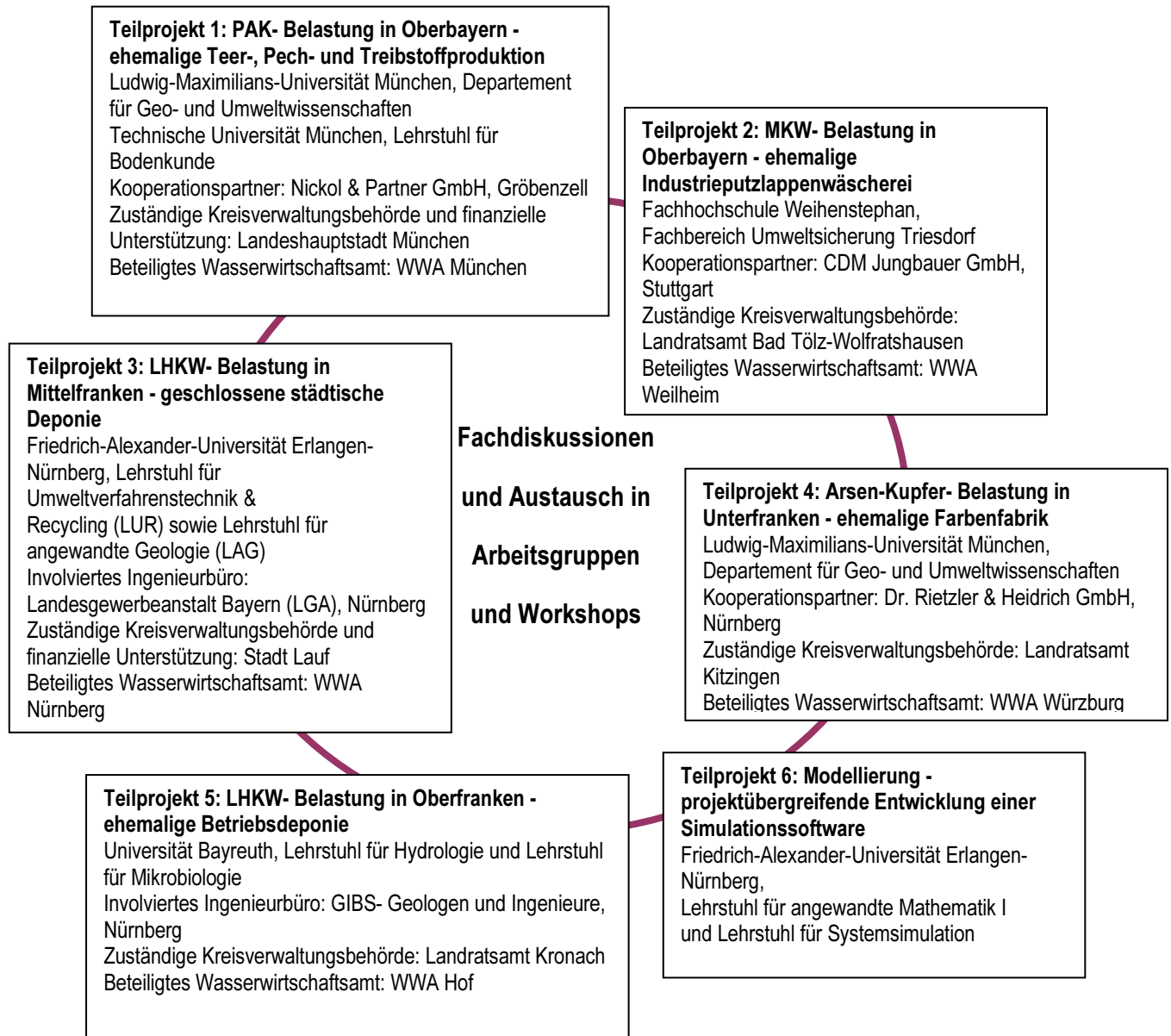


Abbildung 3: Am Forschungsverbundvorhaben beteiligte Hochschulen, Ingenieurbüros und Behörden.

Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft und das Bayerische Landesamt für Umweltschutz waren fachlich ebenfalls beteiligt. Weiterhin wirkten in den fachübergreifenden Arbeitsgruppen auch Vertreter der beteiligten Wasserwirtschaftsämter, der Versuchsanlage Wielenbach und des Wasserwirtschaftsamtes Bayreuth mit.

2 Angewandte Methoden der Teilprojekte

Bereits nach Vorliegen der Zwischenberichte und der ersten Ergebnisse wurden diese von der Projektsteuerung auch in Hinblick auf methodische Gemeinsamkeiten (Stichwort "Methodenkatalog") ausgewertet. Die einzelnen Teilprojekte gingen im Rahmen des Forschungsverbundvorhabens grundsätzlich bei der Beobachtung und Erfassung des natürlichen Reinigungsvermögens wie nachfolgend erläutert vor.

Nach einer Bestandsaufnahme der Daten, die i.d.R. erste Erkenntnislücken aufzeigte, folgte eine Verdichtung des Messstellennetzes, um insbesondere das Schadstoffverhalten in der Abstromfahne detailliert zu erfassen. Weiterhin wurden die den Schadstofftransport beeinflussenden Prozesse - wie z.B. Adsorption an der festen Bodenmatrix - untersucht und in geeigneten Laborexperimenten nachgebildet. Die Untersuchung von Eliminierungsprozessen (z. B. mikrobiologischer Abbau) bildete einen weiteren Schwerpunkt.

Vor Beginn der Strömungsmodellierung, die bei einem Großteil der Teilprojekte durchgeführt wurde, stand bei den einzelnen Teilprojekten die Erarbeitung einer hydrogeologischen Modellvorstellung im Vordergrund. Dazu wurden Daten von Bohrungen und Grundwassermessstellen ausgewertet und ein hydrogeologisches Erkundungsprogramm durchgeführt. Neben den allgemeinen hydraulischen Parametern und Angaben zur Geologie flossen in die Modellvorstellung auch die für das Untersuchungsgebiet maßgeblichen hydrologischen Zu- und Abflüsse ein. Die gewonnenen Messdaten, die errechneten Konstanten und ermittelten Parameter gingen bei Teilprojekt 2 und 4 in die standortbezogene Transportmodellierung mittels des Programms Richy (Teilprojekt 6) bzw. bei Teilprojekt 5 mittels anderer Programme (Transport BioChemie-TBC) ein.

Folgende Methoden kamen bei einem Großteil der Teilprojekte u.a. zur Anwendung bzw. wurden getestet:

Hydrogeologische Aspekte

- Auswertung und Regionalisierung von bereits vorhandenen Daten aus Bohrungen und sonstigen Aufschlüssen.
- Überprüfung der Funktionsfähigkeit vorhandener Grundwassermessstellen.
- Langzeitbeobachtungen der Grundwasserstände mittel Drucksonden und angeschlossener Dataloggereinrichtungen.
- Verfahrenstechnisch bereits ausgereifte Methoden zur Bestimmung der hydraulischen Aquifereigenschaften (z.B. Korngrößenverteilung, Pumpversuche etc.).
- Säulenversuche zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeiten (Durchlässigkeitsbeiwert).
- Tracerversuche zur Bestimmung der Fließrichtung, der Fließgeschwindigkeit und eventueller Kurzschlüsse von mehreren Grundwasserstockwerken.
- Geophysikalische Methoden (z.B. Georadar) zur Bestimmung der Morphologie des Grundwasserstauers und somit möglicher bevorzugter Schadstoffausbreitungspfade.
- Einbau von Lysimetern direkt auf dem Gelände zur Bestimmung der mittels Sickerwasser transportierten Fracht an Schadstoffen.
- Detaillierte Erkundung der Schadstofffahne mittels geeigneter Messstellenanordnung (z.B. in Form von zur Fließrichtung senkrecht angelegten Kontrollebenen).
- Bestimmung der vertikalen Verteilung der Schadstoffe im Grundwasser mittels Multilevelmessstellen

Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

oder horizontierter Beprobung.

- Bestimmung stabiler Isotope zur Altersdatierung und Ermittlung der Herkunft der vorhandenen Grundwässer.

Hydrochemische Aspekte

- Anwendung spezieller Probenahmetechniken (z. B. Schlauchkernbohrungen) zur Gewinnung von Bodenproben für Spezialuntersuchungen.
- Säulenversuche im Labor zur Erfassung der Transporteigenschaften (Adsorption, Desorption, Transport mit nicht flüssigen Medien) in der ungesättigten und gesättigten Zone.
- Bodenmechanische, physikalische und chemischen Untersuchungen zur Charakterisierung der Festphase (insbesondere auch Bestimmung der Oxidationsstufen verschiedener Stoffe wie z.B. Eisen, Mangan, Arsen, sequenzielle Extraktionsverfahren, Röntgendiffraktometrie, Röntgenfluoreszenzanalyse etc.).
- Detaillierte Bestimmung der Grundwasserinhaltsstoffe zur Ermittlung des vorhandenen Redoxmilieus und möglicher Redoxpartner.
- Sonderbestimmungen, die die Entwicklung neuer Methoden bedingen (z.B. Wasserstoff- und Methanmessungen im Grundwasser, In-Situ-Bestimmung des Eisenreduktionspotentials mittels eines In-Situ-Reaktors).

Mikrobiologische Aspekte

- Konservierung von Bodenproben vor Ort (z.B. Entnahme der Bodenproben unter Schutzgasatmosphäre – anaerobe Bedingungen).
- Anwendung von Standardmethoden zur Bestimmung der vorhandenen Zahl und Aktivität der Mikroorganismen (z.B. Koloniebildende Einheiten (KBE), "Most Probable Number" (MPN), Bodenatmung im Labor).
- Erfassung der mikrobiologischen Aktivität beim Abbau von PAK in der ungesättigten Zone mittels geeigneter Versuchsanordnungen (Heinemeyerapparatur).
- Mikrokosmenstudien zur Bestimmung des mikrobiologischen Abbaus in der gesättigten Zone unter optimierten und standortnahen Rahmenbedingungen.
- Bestimmung der Milieueigenschaften und der Nähstoffsituation am Standort.
- Bestimmung stabiler Isotope (Kohlenstoff, Schwefel, Sauerstoff) im Grundwasser zur Ermittlung des Abbauverhaltens der Schadstoffe.
- Sonderbestimmungen, die die Entwicklung neuer Methoden bedingten (z.B. Identifizierung der abbauenden Organismen auf phylogenetischem Niveau mittels Selective Isotope Probing (SIP) und PCR- Methoden (Polymerase Chain Reaction)).

Numerische Werkzeuge zur Modellierung

- Feflow und Modflow zur Modellierung der Grundwasserströmung.
- Richy (1D, 2D), TBC (TransportBioChemie), MT3D, RT3D zur Transportmodellierung.

Anhand der komplexen Fragestellungen und Zusammenhänge zeigte sich, dass sowohl die Neuentwicklung von Methoden als auch das Testen und Anpassungen bereits entwickelter, aber noch nicht etablierter Methoden zweckmäßig sein kann. Welche der dargestellten Methoden letztendlich für die Beobachtung des natürlichen Reinigungsvermögens künftig zur Anwendung kommen, wird jeweils von den Fragestellungen und der Fallgestaltung abhängig sein, wobei bei der Umsetzung in die Praxis sicherlich auch Kosten-Nutzen-Aspekte zu beachten sind.

3 Zusammenfassende Darstellung der Teilprojekte

Nachfolgend werden die einzelnen Teilprojekte zusammengefasst dargestellt und die durchgeführten Untersuchungen und daraus resultierenden Ergebnisse und Erkenntnisse anhand der vorgelegten Schlussberichte erläutert.

3.1 Teilprojekt 1 - PAK- Belastung, Altlastenfall in Oberbayern

Schadstoffspektrum

Bei dem untersuchten Standort handelt es sich um das ehemalige Betriebsgelände einer chemischen Fabrik in Oberbayern. Auf dem ca. 28.000 m² großen Gelände sind im Rahmen der Teer-, Pech- und Treibstoffproduktion (1875-1993) erhebliche Boden- und Grundwasserbelastungen entstanden. Die Sanierung des Grundstücks selbst ist in Schadensschwerpunkten bereits teilweise erfolgt. Die abschließende Sanierung ist derzeit in Vorbereitung. Das Schadstoffspektrum umfasst neben der Hauptkontaminante, den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), untergeordnet auch leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX), leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW) und Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW).

Hydrogeologische Rahmenbedingungen

Im Untersuchungsgebiet sind die im mittleren Pleistozän und Jungpleistozän abgelagerten Kiese der Münchner Schotterebene aufgeschlossen. Im Liegenden schließen sich die tertiären Ablagerungen der oberen Süßwassermolasse an. Die hydrogeologischen Verhältnisse im quartären Grundwasserleiter sind bestimmt durch ungespanntes Kalkschotterwasser, während im Tertiär generell gespannte Verhältnisse vorliegen. Im Gegensatz zum Quartär besteht das Tertiär aus einzelnen Grundwasserleitern, die durch die Heterogenität der tertiären Sedimente gebildet werden. Die nach Osten gerichtete tertiäre Grundwasserfließrichtung steht fast senkrecht zur NNO- gerichteten Fließrichtung des quartären Grundwasserleiters.

Aufgabenstellung und Zielsetzung

Ziel der Untersuchungen war die Beobachtung der Selbstreinigungsprozesse auf dem kontaminierten Untersuchungsgebiet (z.B. durch Probenahme und Analysekampagne) und das Studium der Wirkungsmechanismen der Selbstreinigung. Weiterhin sollte eine Charakterisierung von Freisetzungs- und Transportprozessen, die eine horizontale und insbesondere auch vertikale Verlagerung von PAK in der ungesättigten und gesättigten Zone eines hochkontaminierten Standortes regeln, vorgenommen werden, sowie Prognosen über einen zukünftigen Schadstoffbau erstellt werden. Das Teilprojekt 1 behandelte als einziges Teilprojekt auch explizit die ungesättigte Zone.

Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

Im Rahmen der Untersuchungen sollten folgende Sachverhalte geklärt werden:

- Beschreibung des Zustandes der Abstromfahne,
- Geologische und hydraulische Grundparameter sowie transportspezifische Parameter,
- Hydrochemische Verhältnisse,
- Wechselwirkungen zwischen Sediment-Schadstoff-Grundwasser,
- Rückhaltevermögen des Bodens,
- Biologische Abbauvorgänge.

Ein Teil der Untersuchungsziele (z.B. das Erstellen einer Prognose) konnte jedoch nicht erreicht werden, da sich die hydrogeologischen Verhältnisse mit Kopplung mehrerer Grundwasserleiter komplexer erwiesen, als ursprünglich erwartet.

Ergebnisse und Erkenntnisse

Für die *ungesättigte Zone* wurde im Bereich des Schadenszentrums eine verminderte Bodenatmung festgestellt, was ein Hinweis auf eine herabgesetzte mikrobiologische Aktivität ist und somit einen verminderten Schadstoffabbau anzeigen kann. Weiterhin wurde in der Betrachtung des Transportverhaltens der Aspekt der "Alterung" für Teeölphasen herausgestellt. Hierdurch verändern sich Viskosität, Oberflächenspannung und Kohäsion, was sich auf das Lösungsverhalten der Schadstoffe selbst und die Verlagerung in Phase vermindert auswirkt.

Der Aspekt der partikelgebundenen PAK wurde ebenfalls in Form von Sickerwasserlysimeterstudien und Säulenversuchen betrachtet. Es wurde festgestellt, dass der Austrag der partikulären Fraktion zwischen 0,7 und 200 μm im Vergleich zur "gelösten" Fraktion $< 0,7 \mu\text{m}$ deutlich dominiert. Ein weiterer Einfluss auf den Transport der PAK ist durch die Variabilität der Niederschläge gegeben. Die zeitlich hoch aufgelösten Niederschlags- und Sickerwassermessungen zeigten z.B. einen Einfluss von Starkniederschlägen auf das Austragsverhalten der Schadstoffe mit dem Sickerwasser, das bei starken Niederschlägen durch ggf. vorhandene bevorzugte Fließwege im Untergrund zunimmt. Eine Quantifizierung des Eintrages ins Grundwasser aus der ungesättigten Zone war jedoch aufgrund der fehlenden Daten zur Heterogenität des Standortes (Rekonstruktion der ungesättigten Zone mit Hilfe von Linerbohrungen) nicht möglich.

Für die *gesättigte Zone* lag das Hauptaugenmerk auf der Untersuchung der Abstromfahne und den dort stattfindenden Transportvorgängen. Da sich PAK in Phase in Senken auf der Oberfläche des Grundwasserstauers sammeln können, war es entscheidend, für die Lokalisierung und Interpretation der gefundenen Schadstoffverteilung das Relief der Aquiferbasis kleinräumig aufzulösen. Zusätzliche Aussagen über das Transportverhalten der PAK-Verteilung in den verschiedenen vorhandenen Grundwasserleitern wurde über ein hydrogeologisches Modell und die durchgeführte Strömungsmodellierung sowie einen Multitracerversuch gewonnen. Durch die hydrogeologischen Untersuchungen konnte auch der Bereich vorhandener Tertiärfenster bestimmt, lokal differierende Strömungsverhältnisse erkannt und die bisher nicht bekannten unterschiedlichen Fließrichtungen in den beiden Grundwasserleitern belegt werden.

Bedingt durch die hohe Durchlässigkeit und die hohe Grundwassernachlieferung wurden im Bereich der Abstromfahne nicht die idealisierten typischen Redoxzonen gefunden, die auf mikrobiologische Abbauvorgänge hinweisen. Es wurde jedoch an vorwiegend schadstoffbelasteten Messstellen eine Erhöhung der Erdal-

Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

kali- und Hydrogencarbonatwerte sowie eine Abnahme des Sauerstoffgehaltes im kontaminierten Bereich festgestellt, was ein Indiz für einen dort stattfindenden mikrobiologischen Abbau ist.

Die Geometrie der Abstromfahne konnte für verschiedene Zeiträume bestimmt werden, jedoch ließ sich die Fahnen Spitze mit dem herangezogenen Messstellennetz nicht erfassen. Eine Beurteilung der Fahne hinsichtlich einer möglichen Stationarität war jedoch aufgrund der starken Schwankungen der PAK über mehrere Größenordnungen nicht möglich, da die zeitliche Auflösung der PAK-Konzentrationen zu grob war, um detaillierte Ursache-Wirkungs-Beziehungen herstellen zu können.

3.2 Teilprojekt 2 - MKW- Belastung, Altlastenfall in Oberbayern

Schadstoffspektrum

Beim Betrieb einer Industriegewaschküche gelangten erhebliche Mineralölmengen in den Untergrund. Die Sanierung der ungesättigten Bodenzone auf dem etwa 9.000 m² großen Gelände ist bereits abgeschlossen, die Sanierung der gesättigten Zone in Planung. Insgesamt wurden durch die bereits vorgenommene Sanierung 1,3 Tonnen auf dem Grundwasser aufschwimmendes Öl und weitere 50 Tonnen Öl mit dem ausgehobenen Boden entfernt. Neben MKW und BTEX sind auch Belastungen durch weitere Schadstoffgruppen wie LHKW präsent.

Hydrogeologische Rahmenbedingungen

Die Geologie des Untersuchungsgebietes ist durch 5 bis 10 m mächtige spät- bis nacheiszeitliche Terrassenschotter der Isar in Form von schwach sandigen Mittel- bis Grobkiesen geprägt und wird von grundwasserstauenden Seetonen und würmglazialen Grundmoränen unterlagert. Die Aquiferbasis besitzt eine ausgeprägte Morphologie, die durch zahlreiche Bohrungen und eine Erkundung mittels Georadar belegt ist.

Der Grundwasserleiter ist charakterisiert durch eine kleinräumige Strukturauflösung mit hydraulischen Barrieren und Rinnen im Untersuchungsgebiet. Der Grundwasserflurabstand liegt im Untersuchungsgebiet bei 2,5 bis 6,5 m u. GOK, die Grundwassermächtigkeit bei 0 bis 3,5 m. Die Fließrichtung ist im kontaminierten Bereich nach Nordnordwesten gerichtet und weist kleinräumige Schwankungen auf. Anhand von Pumpversuchen ergaben sich hydraulische Durchlässigkeiten zwischen $5,0 \times 10^{-3}$ und $1,0 \times 10^{-2}$ m/s, wobei diese im kontaminierten Bereich stark abnehmen (bis auf Werte von $3,0 \times 10^{-5}$ m/s).

Aufgabenstellung und Zielsetzung

Ziel des Vorhabens war es, gängige Erkundungsmethoden und chemische sowie mikrobiologische Untersuchungsverfahren gezielt zur Quantifizierung und Bewertung von im Untergrund ablaufenden Abbauvorgängen einzusetzen. Durch die Auswahl gängiger Verfahren sollte eine rasche Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse auf vergleichbare Kontaminationstypen gewährleistet werden.

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine Vielzahl an gängigen Verfahren (z.B. auch aus der Mikrobiologie) auf die Fragestellung angewandt, die in der allgemeinen Altlastenbearbeitung derzeit noch nicht sehr verbreitet sind. Anhand der Ergebnisse wird deutlich, dass sich mit Hilfe gängiger Verfahren bereits gute Aussagen zum natürlichen Reinigungsvermögen treffen lassen, jedoch ist es schwierig, die im Untergrund stattfindenden Vorgänge explizit zu quantifizieren. Dies wurde mit einigen vorhandenen Methoden versucht und ist als Abschätzung gelungen, eine detaillierte Prognose ist aufgrund der gewonnenen Daten jedoch nur schwer möglich.

Ergebnisse und Erkenntnisse

Durch eine umfangreiche chemische Analyse des Grundwassers konnte die räumliche und zeitliche Variabilität der Schadstoffgehalte erfasst werden. Die erhöhten BTEX- und MKW- Gehalte im Grundwasser gehen hierbei mit der Ausdehnung der Ölphase einher. Über die chemischen Untersuchungen des Grundwassers konnten Redoxzonen auskartiert werden, die auf ein vorhandenes Abbaupotenzial hindeuten. Zusätzliche mikrobiologische Untersuchungen hinsichtlich milieuhängiger Mikroorganismen stimmten mit den vorgefundenen Ergebnissen der Redoxkartierung gut überein.

Die kleinräumig unterschiedlichen Grundwasserfließverhältnisse, die durch die festgestellte hohe Stauermorphologie bedingt sind, spiegeln sich auch in der Ausbreitung der gefundenen Redoxzonen wider. Als "inert Tracer" wurde in Voruntersuchungen, die für einen Tracerversuch stattfanden, ein Farbstoff festgestellt, der sich durch Fluoreszenzmessungen bestimmen lässt und ebenfalls ein Indikator für das Transportgeschehen ist. Im Rahmen des durchgeführten Tracerversuches zeigte sich weiterhin, dass im Bereich der Kontamination eine Verringerung der hydraulischen Durchlässigkeit vorliegt, was zu einer Umströmung und dadurch bedingten verminderten Nachlösung der Schadstoffe führen kann.

Hinsichtlich der Abschätzungen des mikrobiologischen Abbaus wurde über eine Charakterisierung der Zusammensetzung der aufschwimmenden Ölphase versucht, über den erhaltenen "Fingerprint" Aussagen zum Abbau und zum Nachlöseverhalten der Schadstoffe zu machen. Eine zusätzliche Bestimmung der stabilen Kohlenstoffisotope bei Xylol und Ethylbenzol ergab weitere Anhaltspunkte für einen Abbau, der sich jedoch aufgrund der geringen Datengrundlage nicht quantifizieren ließ.

Weitere Abschätzungen zum mikrobiologischen Abbauverhalten wurden anhand einfacher Berechnungen vorgenommen, wobei hier verschiedene Ansätze aufgegriffen wurden. Der Vergleich der Hintergrundwerte mit den Verhältnissen im kontaminierten Bereich und dem weiteren Abstrom ergab deutliche Hinweise auf ein mikrobiologisches Abbaupotenzial. Anhand der Erfahrungen wurde eine Liste mit einem Punktesystem erarbeitet, das sich auch auf andere vergleichbare Standorte anwenden lässt und relativ schnell zu einer groben systematisierten Erstabschätzung führen kann. Eine Abschätzung über die Expressed Biodegradation Capacity- Methode (EBC) kam zu dem Ergebnis, dass unter den vorherrschenden Bedingungen potenziell 76 % der gemessenen BTEX- Aromaten abgebaut werden können. Unter den vorliegenden Gegebenheiten kann davon ausgegangen werden, dass bereits stationäre Verhältnisse im Hinblick auf die Grundwasserabstromfahne vorliegen.

Im Ergebnis zeigte sich im Teilprojekt 2, dass mit Hilfe einfacher Methoden bereits erste qualitative und halbquantitative Abschätzungen möglich sind, die zu einem guten und plausiblen Ergebnis führen. Hier ist jedoch auch die schlüssige Indizienkette und die Gesamtschau der Daten mit anschließender Plausibilitätsprüfung ein wesentlicher Punkt. Die für eine detaillierte Prognose erforderlichen Eingangsdaten bedürfen jedoch zusätzlicher Spezialuntersuchungen, für die Neu- bzw. Weiterentwicklungen erforderlich sind.

3.3 Teilprojekt 3 - LHKW- Belastung, Altlastenfall in Mittelfranken

Schadstoffspektrum

Die ehemalige Deponie in Mittelfranken wurde von 1935 bis 1965 als Mischdeponie betrieben. Diese diente insbesondere der Ablagerung von industriellen Rückständen, vor allem aus der keramischen Produktion, die damals in der Gegend sehr verbreitet war. Aus Archivunterlagen geht jedoch hervor, dass auch chemische Flüssigkeiten oder Industrieabwässer abgelagert wurden.

Im Grundwasserabstrom der ca. 34.000 m² großen und maximal 14,5 m mächtigen Deponie wurden LCKW-Belastungen festgestellt, die auf einen diffusen, flächenhaften Eintrag schließen lassen. Seit 1997 laufen Grundwassersanierungsmaßnahmen, die allerdings bisher wenig erfolgreich sind. Die Grundwasseruntersuchungen zeigen im wesentlichen Belastungen durch Trichlorethen und cis-Dichlorethen. Die Deponie besitzt weder eine Basisabdichtung noch ist eine geologische Barriere vorhanden. Im westlichen Anschluss an die Deponie (ca. 100 m Entfernung vom Deponiefuß) befindet sich ein Vorfluter. Auf dem Geländebereich zwischen Deponiefuß und Vorfluter liegt eine Kläranlage mit mehreren tiefreichenden Klärbecken.

Hydrogeologische Rahmenbedingungen

Im Bereich des Untersuchungsgeländes treten quartäre Ablagerungen des Vorfluters auf, die unterlagert sind von Sedimenten des mittleren Keupers. Zwischen den quartären Ablagerungen und den Schichten des mittleren Keupers befindet sich eine nicht aushaltende Tonlage, so dass teilweise ein direkter Kontakt zwischen den beiden Grundwasserleitern besteht.

Die Durchlässigkeitsbeiwerte liegen im quartären Aquifer zwischen 1×10^{-3} und 4×10^{-4} m/s, die mittlere Abstandsgeschwindigkeit im Bereich zwischen Vorflut und Deponiefuß beträgt ca. 1,8 m/d. Der quartäre Grundwasserleiter ist gekennzeichnet durch eingelagerte Ton- und Schlufflinsen und weist eine variierende Durchlässigkeit auf, die von oben nach unten hin zunimmt. Aufgrund der Nähe zur Vorflut können die Strömungsverhältnisse im Abstrom der Deponie starken Schwankungen unterliegen.

Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Teilprojekt 3 stand zu Beginn des Vorhabens das Ziel im Vordergrund, Untersuchungen zum natürlichen Reinigungsvermögen durchzuführen und den qualitativen und quantitativen Nachweis von Natural Attenuation zu erbringen. Insbesondere durch die zu Beginn des Vorhabens bereits vorliegenden Abbauprodukte von Perchloroethylen und Trichlorethen wurde davon ausgegangen, dass natürliche Abbauvorgänge vorliegen, die dann auch im Rahmen einer Transportmodellierung mittels der Software Richy von Teilprojekt 6 abgebildet werden können.

Die Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen zeigten jedoch, dass auf dem Standort zumindest im betrachteten Aquifer nicht das ursprünglich vermutete Abbaupotenzial vorlag, so dass ein Nachweis des natürlichen Reinigungsvermögens nicht explizit erbracht werden konnte. Es konnten jedoch u.a. auch Methoden entwickelt werden, die für eine Bestimmung des mikrobiologischen Abbaupotenzials unter verschiedenen Randbedingungen geeignet sind. Mit dem nur untergeordneten mikrobiologischen Abbaupotenzials war auch eine Veränderung des Arbeitsprogramms verbunden. So wurde die Transportmodellierung mittels Richy durch Teilprojekt 6 nicht mit den Daten von Teilprojekt 3 sondern mit Daten aus anderen Teilprojekten vorgenommen.

Ergebnisse und Erkenntnisse

Anhand der neu errichteten Grundwassermessstellen und der durchgeführten Grundwasseruntersuchungen konnte die im Vorfeld festgestellte cis-Dichlorethenfahne abgegrenzt werden. Diese ist charakterisiert durch steile Konzentrationsgradienten und eine geringe räumliche Ausdehnung. Die Ergebnisse der Bohransprache zeigen weiterhin, dass nicht wie ursprünglich angenommen, die beiden Grundwasserleiter durch eine durchgehende Tonlage getrennt werden sondern dass in einzelnen Bereichen ein Kurzschluss der beiden Aquifere vorliegt.

Die durchgeführten Stichtagsbeprobungen zeigten große Schwankungen der Schadstoffgehalte, die auf stattfindende Niederschlagsereignisse zurückgeführt werden. Anhand des Grundwasserchemismus wurde eine Zone ermittelt, in der eng aufeinanderfolgend Nitrat-, Mangan-, Eisen- und Sulfatreduktion sowie Methanbildung stattfindet. Dies wird insbesondere durch die Untersuchungen der stabilen Schwefelisotope belegt.

Säulenversuche zum Sorptionsverhalten zeigten, dass im größten Teil des zumeist sandigen organikarmen Aquifers die Sorption und damit die Retardation als Prozess insgesamt vernachlässigt werden kann. Im Rahmen der Mikrokosmenstudien, für die ein Probenahmeverfahren und ein Versuchsdesign entwickelt wurde, zeigte sich innerhalb von 100 Tagen kein signifikanter Abbau der LCKW. Dieser Befund stimmt auch mit den vorgefundenen Redoxverhältnissen und den vorliegenden Elektronenakzeptoren im Grundwasser überein. Anhand weiterer mikrobiologischer Untersuchungen am Aquifermaterial wurden zwar hohe Aktivitäten der Mikroorganismen festgestellt, diese sind jedoch nicht mit einem wesentlichen Abbau der Kontaminanten verbunden.

Eine Abschätzung des Abbaus durch die vorhandenen Konzentrationsgradienten im Grundwasser ergibt in Zusammenhang mit Verdünnungseinflüssen aus der Vorflut in der Gesamtschau der Daten kein plausibles Bild. Diese Abschätzungen zeigen deutlich, dass zusätzliche, bisher unbekannte Einflüsse (z.B. Verdünnung durch aufsteigendes Grundwasser des unterlagernden Keupers, Abbau der Kontaminanten bereits in der Deponie selbst) eine Rolle spielen.

3.4 Teilprojekt 4 - Arsen- Kupfer- Belastung, Altlastenfall in Unterfranken

Schadstoffspektrum

Bei der Arsen- Kupfer Belastung in Unterfranken handelt es sich um das Gelände einer ehemaligen Farnefabrik, die bis etwa 1912 das sogenannte "Schweinfurter Grün" (ein Arsen-Kupfer-Acetat) herstellte. Im Rahmen der Produktion entstanden erhebliche Kontaminationen mit Kupfer und Arsen im Boden (jeweils bis 2.500 mg/kg) und Arsen im Grundwasser (bis zu 9 g/l). Aus dem Grundwasser wurden im Rahmen der bereits stattfindenden Sanierung über 7 Tonnen Arsen entfernt. Mit der Bodensanierung im ehemaligen Fabrikbereich (etwa 800 m²) sind jeweils über 30 Tonnen Arsen und Kupfer entnommen worden.

Hydrogeologische Rahmenbedingungen

Der Schadensbereich befindet sich im Ortskern der betroffenen Gemeinde in unmittelbarer Nähe des Mains im Maintal, das tief in die umgebende flach gewellte Keuper-Gäuhochfläche eingeschnitten ist. Die geologische Situation des Modellstandortes wird von alt-jungpleistozänen Sanden und Kiesen geprägt, die von den verkarsteten Festgesteinen des oberen und mittleren Muschelkalkes unterlagert werden. Durch eine schluffig-feinsandige Lage werden die quartären Ablagerungen bereichsweise in eine obere und eine untere Einheit



Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

gegliedert. Die Auswertung von Bohrungen und geophysikalischen Untersuchungen konnte die Morphologie einer quartären Rinnenstruktur, die sich nördlich der heutigen Mainschleife befindet, belegen.

Die Grundwasserströmungsverhältnisse orientieren sich im Bereich des Geländes an der quartären Rinnenstruktur und folgen deren Verlauf von Nordosten nach Südwesten zur dortigen Staustufe des Mains. Die Durchlässigkeitsbeiwerte liegen im Bereich des Untersuchungsgeländes zwischen $4,6 \times 10^{-3}$ und $1,6 \times 10^{-4}$ m/s, der Grundwasserflurabstand schwankt - je nach Wasserstand des Mains - zwischen ca. 1 und 4 m u. GOK.

Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Rahmen des Teilprojektes 4 sollten die Prozesse in fester und flüssiger Phase quantifiziert werden, die über einhundert Jahre zur Ausbreitung oder Immobilisierung der beiden Kontaminanten Kupfer und Arsen geführt haben. Um die Prozesse zu verstehen, zu quantifizieren und zu prognostizieren wurden folgende Fragen betrachtet:

- In welcher Spezies liegen Arsen und Kupfer in der Bodenmatrix vor?
- Welche Bodenbestandteile sind entscheidend für die Immobilisierung des Kupfers, die offensichtlich für Arsen weniger effizient sind?
- Wie nachhaltig ist die Kupferimmobilisierung und insbesondere wie empfindlich reagiert diese auf Systemänderungen?
- In welcher Spezies erfolgt der Transport von Kupfer und Arsen im Grundwasser, insbesondere auch hinsichtlich des Anteils partikulären und gelösten Stofftransportes?
- Welche Bodenbestandteile sind durch welche Prozesse an der Retardation des Arsens beteiligt? Welche Ausbreitungsgeschwindigkeiten können daraus für Arsen prognostiziert werden?
- Wie erfolgt der Transport des Arsens durch die beide Grundwasserstockwerke trennende Gesteinseinheit in den tieferen Muschelkalk?

Die o.g. Fragen wurden überwiegend beantwortet, jedoch konnte eine Prognose der Ausbreitungsgeschwindigkeiten für Arsen nicht abschließend durchgeführt werden. Die Ergebnisse geben hierzu jedoch bereits einige Anhaltspunkte. Hinsichtlich des Transportes in den Muschelkalk wurde eine Transportmodellierung mittels Richy 1D von Teilprojekt 6 durchgeführt. Weiterhin wurden Hinweise gefunden, die auf eine Grundwasserströmung in den Muschelkalk unter bestimmten Rahmenbedingungen hindeuten.

Ergebnisse und Erkenntnisse

Die im Rahmen der hydrogeologischen Untersuchungen durchgeführten Grundwasserstandsmessungen im ungespannten Quartär- und gespannten Muschelkalkaquifer deuten darauf hin, dass sich hier zum Teil wechselnde Druckverhältnisse einstellen, die zeitweise einen advektiven Transport vom Quartär in den Muschelkalk zulassen können. Untersuchungen stabiler Isotope zur Herkunft des Grundwassers deuten darauf hin, dass nicht wie ursprünglich angenommen der Main den entscheidenden Einfluss auf die Fließverhältnisse hat. Vielmehr ist davon auszugehen, dass ein Zustrom aus dem unterlagernden Muschelkalkaquifer stattfindet.

Die durchgeführten Grundwasseruntersuchungen zeigen im Hinblick auf die hydrochemische Zusammensetzung

Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

zung bereichsweise erhöhte Nitrat- und Sulfatgehalte, die auf den Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung bzw. auf Zuflüsse aus dem mittleren Muschelkalk zurückgeführt werden. Die Sauerstoffgehalte und das Redoxpotenzial im Grundwasserleiter des Quartärs und des mittleren Muschelkalks sind als vergleichsweise gering einzustufen. Weiterhin wurde eine manganreduzierende Zone festgestellt, die im Eintragsbereich der Schadstoffe auftritt.

Aus den Untersuchungen der Arsenspezies im Grundwasser geht hervor, dass Arsen (V) die dominierende Spezies ist. Arsen (III) liegt in Teilbereichen der kontaminierten Grundwasserzone vor und ist lokal an die Eintragsbereiche der Schadstoffe gebunden. Die Verhältnisse lassen darauf schließen, dass der als Arsen (III) eingetragene Schadstoff außerhalb der manganreduzierenden Zone zu Arsen (V) oxidiert wird und in Folge dessen einer verstärkten Adsorption an die Aquifermatrix unterliegt.

Anhand der durchgeführten sequenziellen Extraktion an Bodenproben, der Analysenergebnisse des "Original Schweinfurter Grüns" und in Verbindung mit den Ergebnissen weiterer Untersuchungen zum Eisen- und Manganengehalt, zur Kationenaustauschkapazität, dem Glühverlust und dem Karbonatgehalt kann für Kupfer am Standort eine bevorzugte Bindung an Eisenoxiden, Eisenhydroxiden aber auch an organischen Anteilen festgestellt werden. Im vorherrschenden neutralen bis alkalischen Bereich liegt an den Eisenoxidoberflächen bereits ein gewisser Anteil an negativen Bindungsplätzen vor, für die eine unspezifische Adsorption von Kupfer angenommen werden kann.

Eine Bindung des Arsens ist an Eisenoxide nachzuweisen. Daneben ist ein wesentlicher Anteil des Arsens leicht mobilisierbar unspezifisch festgelegt. Dieser Befund wird auch durch die stattgefundenen Röntgenabsorptionsfeinstrukturuntersuchungen, die eine innersphärische bidentat-binukleare Komplexierung an Eisenoxidoberflächen zeigen, unterstützt. Anhand der durchgeführten Adsorptions- und Desorptionsexperimente gibt es Hinweise darauf, dass für die Bindung von Arsen langfristig wirksame Prozesse wie intrapartikuläre Diffusion stattfinden.

Zusammenfassend lässt sich für den Standort auf Grundlage der vorhandenen Daten für Kupfer ein sehr hohes Rückhaltevermögen im natürlichen System ableiten. Das Rückhaltevermögen für Arsen ist wesentlich differenzierter zu bewerten, was mit dem Vorrat an Eisenoxiden im Untergrund zusammenhängt, die maßgeblich für die Bindung durch Adsorption erforderlich sind.

3.5 Teilprojekt 5 - LCKW- Belastung, Altlastenfall in Oberfranken

Schadstoffspektrum

Auf einer Deponie in Oberfranken wurden bis Ende der 60er Jahre Reststoffe aus der Aufbereitung von Altöl (im wesentlichen Säureharze) abgelagert. Auf dem Gelände fand bereits eine Pilotsanierung statt. Im Grundwasser sind neben den Mineralölkohlenwasserstoffen auch LHKW-Belastungen (bis über 10 mg/l) festzustellen, die Gegenstand der Betrachtungen des Teilprojektes 5 waren. Das Spektrum der LCKW liegt im wesentlichen bei Perchlorethylen (PCE bis zu 41 mg/l), Trichlorethen (TCE bis zu 220 mg/l), cis-Dichlorethen (DCE bis zu 9.500 mg/l) und Vinylchlorid (VC bis zu 570 mg/l). Die vorliegenden Abbauprodukte (insbesondere hohe Anteile an cis-Dichlorethen und das Auftreten von Vinylchlorid) weisen auf das Vorhandensein eines natürlichen Selbstreinigungsvermögens hin.



Hydrogeologische Rahmenbedingungen

Der Hauptgrundwasserleiter im Untersuchungsgebiet wird vom Kulmbacher Konglomerat gebildet. Dieser kann im Deponieumfeld in zumindest zwei Grundwasserstockwerke unterteilt werden. Der Flurabstand des oberflächennäheren Grundwasserleiters liegt i. d. R. zwischen 2 und 7 m u GOK. Die Grundwasserbewegung in diesem Stockwerk verläuft im Anstrom der Deponie von SE nach NW und schwenkt im unmittelbaren Abstrom der Deponie auf eine nach SW gerichtete Strömung um. Im tieferen Grundwasserstockwerk liegen die Grundwasserstände zwischen 15 und 20 m u GOK. Der starke hydraulische Gradient zwischen diesen beiden Stockwerken verursacht eine vom Hangenden ins Liegende gerichtete vertikale, jedoch geringe Wasserbewegung.

Aufgabenstellung und Zielsetzung

Hauptzielsetzung des Teilprojektes war es, Beiträge zur Erarbeitung fundierter Untersuchungsmethoden zu liefern, die es erlauben, natürliche Reinigungsvorgänge im Untergrund bei der Gefährdungsabschätzung von Altlasten zu identifizieren und zu quantifizieren. Bei dem ausgewählten Standort der Säureharzdeponie waren die chlorierten Ethene (LCKW + VC) Gegenstand der Betrachtungen.

Zum einen wurde versucht, Abbauraten auf Basis einer fundierten redoxchemischen Charakterisierung des Untergrundes vorherzusagen. Dieser Ansatz basiert auf der Hypothese, dass das redoxchemische Milieu maßgeblich die Abbaugeschwindigkeit chlorierter Ethene kontrolliert. Weiterhin wurde über mikrobiologische Untersuchungen eine Identifikation der am Abbau beteiligten Mikroorganismen vorgenommen. Mit Hilfe eines numerischen Modells, dem ein Multispeziesansatz zugrunde liegt, wurde eine Transportmodellierung durchgeführt, in die auch die redoxchemische Charakterisierung einfließt.

Die ursprünglich vorgesehene Quantifizierung der Schadstoffretention im Grundwasserleiter durch Ermittlung von Schadstofffrachten war eng mit der durchgeführten Pilotsanierung durch den Pflichtigen verbunden. Da das eingesetzte Sanierungsverfahren keine Bestimmung der Schadstoffgehalte im Grundwasser erlaubte (Einsatz von Vakuumpumpen), wurden alternativ hierzu Pumpversuche vorgenommen, um die hydraulischen Aquifereigenschaften (z.B. k_F Werte) zu bestimmen.

Ergebnisse und Erkenntnisse

Die Ergebnisse der redoxchemischen Charakterisierung des Untergrundes durch Analysen von Feststoff- und Grundwasserproben zeigen, dass im unmittelbaren Abstrom der Deponie in der ungesättigten Zone erhöhte Konzentrationen an organischen Kontaminanten (Mineralölkohlenwasserstoffe, MKW) anzutreffen sind. Chlorethene wurden in der Festphase nur in Spuren, überwiegend in Form von PCE, vergesellschaftet mit den MKWs gefunden. In den quartären Ablagerungen der ungesättigten Zone sind erhöhte Gehalte an reaktiven, mikrobiell verfügbaren Eisen- und Manganoxiden sowie reduzierte Eisen- und Schwefelverbindungen anzutreffen, die auf erhöhte mikrobielle Aktivität und partiell stärker reduzierte Zonen hindeuten. Der gesättigte Buntsandsteinbereich weist demgegenüber nur im Grundwasserschwankungsbereich und geringermächtigen Kontaminationsbereichen erhöhte Gehalte an reaktiven Oxiden auf, was auf nur untergeordnet stattfindende Grundwasser-Festphaseninteraktionen in diesem Bereich hindeutet.

Die Grundwasseranalysen zeigen im oberen Grundwasserstockwerk stark reduzierte Bereiche im unmittelbaren Abstrom der Deponie, in denen Sulfatreduktion und Methanogenese ablaufen. Für diesen Bereich besteht somit ein Potenzial für reduktive Dechlorierung, die auch stattfindet, wie der hohe Metabolisierungsgrad der

Chlorethene anzeigt. Mit zunehmender Distanz zur Deponie stellen sich dann jedoch sehr schnell, wahrscheinlich unterstützt durch eine hohe Grundwasserneubildungsrate in diesem Bereich, oxische Bedingungen ein, die ein Potenzial für (cometabolen) aeroben Abbau darstellen, der insbesondere für den Abbau niedrig chlorierter Ethene sehr günstig ist. Das untere Grundwasserstockwerk ist durch vorwiegend oxische Verhältnisse gekennzeichnet, eine geringe Chlorethen-Belastung mit insbesondere hochchlorierten Ethenen ist auch hier zu bemerken.

Mit Hilfe der angewandten molekularbiologische Methoden, die im Rahmen des Projektes entwickelt und etabliert wurden, konnten für den Schadstoff-Abbau relevante Gruppen der halo-respiratorischen und der alkan-oxidierenden Bakterien erfasst werden. Die Ergebnisse zeigen, dass Natural Attenuation am Standort durch Sulfat-Reduzierer und fermentative Bakterien möglich ist und dass der aerobe Alkan-Abbau ebenfalls eine Rolle spielt und parallel zum anaeroben Abbau durch Sulfat- oder Fe(III)-Reduzierer auftreten kann.

Anhand der Ergebnisse wurden Modellrechnungen zum reaktiven Stofftransport durchgeführt. Die Modellrechnungen ergaben eine Freisetzungsrate für PCE in der Säureharzdeponie von ca. 25 g/d. Der größte Teil des PCE wird bereits im Deponiebereich in TCE, cis-DCE und VC umgewandelt. Knapp 90 % der freigesetzten bzw. gebildeten Chlorethene verlassen das Modellgebiet, der größte Teil davon in Form von cis-DCE. Die restlichen 10 % werden im Modellgebiet oxidativ abgebaut.

Über verschiedene Szenarien wurde der Einfluss ausgewählter Parameter auf das Ergebnis überprüft. Dabei wurde unter anderem deutlich, dass es aufgrund der speziellen Strömungssituation im Abstrom der Deponie zu einer starken Verdünnung der ausgetragenen Schadstoffe kommt und dass der oxidative Abbau der Chlorethene im Modellgebiet quantitativ von untergeordneter Bedeutung ist, aber im Abstrom (außerhalb des Modellgebietes) höchstwahrscheinlich an Bedeutung gewinnt. Sulfat, das ebenfalls aus der Deponie freigesetzt wird, ist das potentiell bedeutendste Oxidationsmittel für den Abbau. Die Freisetzung aus der Deponie beeinflusst entsprechend die Modellrechnungen.

Insgesamt scheint ein hohes Potenzial für Natural Attenuation am Standort vorzuliegen. Die ständige Nachlieferung der Chlorethene aus dem Deponiebereich führt jedoch dazu, dass in absehbarer Zeit keine nennenswerte Schadstoffminderung im Abstrombereich zu erwarten ist.

3.6 Teilprojekt 6 - Modellierung - Entwicklung einer Simulationssoftware, Datenschnittstelle und Höchstleistungssimulation

Aufgabenstellung und Zielsetzung

Das Teilprojekt 6 hatte die Implementierung von numerischer Simulationssoftware zum Ziel, deren Schwerpunkt auf der Beschreibung natürlicher Abbauprozesse von Schadstoffen im Untergrund liegt. Der Einsatz dieses Werkzeuges sollte dazu beitragen, die Nutzung der natürlichen Reinigungsvorgänge im Untergrund zu beurteilen. Hierzu sollten im mathematischen Modell alle beobachteten bzw. erwarteten Prozesse quantitativ integriert werden. Die Simulationssoftware Richy 2D/3D des Lehrstuhls für angewandte Mathematik wurde weiterentwickelt, auf reale Fälle angewandt und auch die in Richy integrierte Software zur Identifizierung von Materialgrößen (ungesättigte Leitfähigkeit, Sorptionsisothermen) ergänzt.

Weiterhin sollte auf einem Höchstleistungsrechner die Ausbreitung und der Abbau der Schadstoffe für einen individuellen Altlastenfall vorhergesagt werden. Dabei sollte auch eine Anpassung der Simulationsalgorithmen des Teilprojektes Modellierung für den Höchstleistungsrechner vorgenommen werden.



Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

Ein weiteres Ziel war die Entwicklung und Bereitstellung von Datenschnittstellen zwischen den Verbundprojekten, um so mit der Software Feflow erstellten Datensätze der Strömungsmodellierung in der Transportmodellierung zu nutzen und auch die Benutzeroberfläche für die Ausgabedaten heranzuziehen.

Modellierung innerhalb des Forschungsverbundvorhabens

Zu Beginn des Vorhabens war geplant, für den Standort der ehemaligen Deponie in Mittelfranken (Teilprojekt 3) eine Strömungs- und Transportmodellierung durchzuführen und - insofern die Kapazitäten vorhanden sind, auch für weitere Standorte aus dem Verbund prognostische Szenarien zu rechnen.

Aufgrund des untergeordneten mikrobiologischen Abbaus bei Teilprojekt 3 wurde das Konzept dahingehend geändert, dass die MKW- Belastung in Oberbayern (Teilprojekt 2) und die Arsen-Kupfer-Belastung in Unterfranken (Teilprojekt 4) detaillierter betrachtet wurden. Für den Standort in Oberbayern wurde eine zweidimensionale Transportmodellierung mit verschiedenen Annahmen durchgeführt. Beim Standort in Unterfranken wurde die Frage des Transportes von Arsen und Kupfer vom quartären Grundwasserleiter in den Muschelkalikaquifer in eindimensionaler Form gerechnet. Um hier die vollständige Datengrundlage nutzen zu können, wurde für Teilprojekt 6 eine zweimonatige kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit ermöglicht.

Weiterhin wurde anhand von Datensätzen aus der Literatur Berechnungen vorgenommen, um u.a. die Robustheit der Simulationssoftware testen zu können. Hydrogeologische Datensätze des Standortes mit der Arsen-Kupfer-Belastung in Unterfranken (Teilprojekt 4) wurden genutzt, um Testrechnungen auf dem Bundeshöchstleistungsrechner durchzuführen. In Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojekten wurde die in Richy integrierte Identifizierungssoftware für Parameter (z.B. Säulenversuche) genutzt und weiter entwickelt.

Ergebnisse und Erkenntnisse

Im Rahmen des Projektes konnte das existierende Simulationswerkzeug Richy um die Beschreibung der natürlichen Abbauvorgänge erweitert werden. In Kooperation mit den anderen Teilprojekten (Austausch bzw. Anforderungen hinsichtlich der Prozessbeschreibung) wurden verschiedene Kinetiken zum mikrobiologischen Abbau implementiert und das Monod-Modell als 3-Komponentenmodell eingearbeitet. Weiterhin wurde die Temperaturabhängigkeit des mikrobiellen Abbaus in die Modellformulierung integriert und lässt sich nun mit einer Simulation des Wärmehaushaltes des Bodens koppeln, was insbesondere für Vorgänge in der ungesättigten Zone von Bedeutung sein kann. Die Darstellungen zur Sorptionskinetik wurden im Modell auf multiple Sorptionsplätze des porösen Mediums erweitert und der Prototyp eines allgemeinen Mehrkomponentenmodells eingearbeitet. So lassen sich nun auch allgemeine chemische Reaktionsgleichgewichte oder Kinetiken betrachten, insofern diese bei der Fallgestaltung zusätzlich erforderlich sind.

Hinsichtlich des in Richy integrierten Moduls zur Parameteridentifikation fand ebenfalls eine Erweiterung für die Auswertung spezieller Säulenexperimente (Kreislaufexperiment) und für das 3 - Komponenten-Monod-Modell des mikrobiologischen Abbaus statt. Weiterhin wurde das Simulationsmodell auf neuere numerische Verfahren (hybrid-gemischte Finite-Elemente-Methode) angepasst, was den Vorteil lokaler Massenerhaltung und stetiger Flussapproximationen bietet.

Die an fiktiven und Literaturdatensätzen durchgeführten Testrechnungen zeigten, dass sich im Vergleich mit anderen Simulationswerkzeugen abweichende Resultate ergeben können. Dies wird durch numerische Fehler in Form "numerischer Diffusion" begründet, welche zu einer Überschätzung des vorhandenen Abbaupotenzials führen können.



Die Modellrechnungen an den ausgewählten Teilprojekten 2 (MKW- Belastung) und 4 (Arsen-Kupfer-Belastung) zeigten gute Ergebnisse. So konnten bei Teilprojekt 4 Simulationen zum eindimensionalen diffusionsgesteuerten Transport von Arsen vom quartären Grundwasserleiter in den Muschelkalkaquifer entgegen der Fließrichtung gerechnet werden. Im Ergebnis zeigte sich hier, dass unter den gegebenen Fließbedingungen die Diffusion gegen die Fließrichtung für das Auftreten von Arsen im Muschelkalkaquifer verantwortlich sein kann.

Bei Teilprojekt 2 (MKW- Belastung) wurde ein zweidimensionaler Ansatz gewählt und verschiedene Szenarien (mit und ohne Abbau bzw. Sorption, mit und ohne kontinuierlicher Nachlieferung der Schadstoffe) hinsichtlich der dort vorliegenden Komponente Xylol betrachtet. Im Ergebnis zeigte sich, dass die gerechneten Szenarien die beobachtete Schadstofffahne nur unzureichend abbilden können, da anscheinend die Verlagerung der Xylole im Feld wesentlich geringer ist als im Modell erkennbar. Als mögliche Gründe werden u.a. eine höhere Nachlieferung von Sauerstoff aus der ungesättigten Zone (dadurch bedingt: besserer mikrobiologischer Abbau) verbunden mit dem teilweise Trockenfallen des Aquifers genannt. Diese Vorgänge lassen sich jedoch in Form eines 2D- Modells nicht nachvollziehen sondern erfordern das Einbeziehen der dritten Raumdimension sowie die Charakterisierung des Stoffeintrages aus der ungesättigten Zone. Weiterhin wären zusätzliche Daten erforderlich (z.B. Abbauraten anhand standortnaher Laborversuche) um die Rechnungen durchführen zu können.

Um die o.g. Module von Richy zukünftig für den externen Anwender einfacher nutzbar machen zu können, wurde eine Datenschnittstelle zwischen der kommerziellen Software Feflow und Richy 2D/3D geschaffen. Diese Schnittstelle ermöglicht es nun, vorhandene in Feflow berechnete Wasserhaushaltsmodelle zu übernehmen und in Richy einzulesen und für die dort vorhandenen Simulationsmöglichkeiten verfügbar zu machen. Weiterhin wurde für die Nutzung des Bundeshochleistungsrechner HITACHI SR8000-F1 am Leibnitz Rechenzentrum in München ein prototypischer Simulationscode entwickelt, der erfolgreich für exemplarische dreidimensionale Höchstleistungssimulationen getestet wurde. Hier zeigte sich, dass für komplexe Fragestellungen und viele verschiedene Szenarien eine aufwändigere Höchstleistungssimulation durchaus sinnvoll sein kann. Jedoch muss immer eine Abwägung des Nutzens gegenüber dem hohen Aufwand erfolgen, der im Vergleich zu kommerziell erhältlichen modernen Computern entsteht.

4 Vorschläge zur Handlungsempfehlung

Bereits in der Antragsphase zum Forschungsverbundvorhaben wurde neben den Zielen, das natürliche Reinigungsvermögen an den ausgewählten Standorten detailliert im Untergrund zu erfassen, zu beobachten und zu beschreiben, die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in eine Handlungsempfehlung angestrebt. Um dies zu bewerkstelligen, erklärte sich jedes der involvierten Teilprojekte bereit, federführend einen der folgenden Themenschwerpunkte zu bearbeiten:

- Hydrogeologie
- Hydrochemie und Geochemie
- Mikrobiologie
- Modellierung
- Monitoring



Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

Da möglichst frühzeitig Ideen für die Handlungsempfehlung verankert werden sollten, erarbeiteten bereits kurz nach Beginn des Projektes die beiden Landesämter (LfW, LfU) und die GAB mbH gemeinsam einen Fragenkatalog und einen Gliederungsvorschlag, welche den einzelnen Teilprojekten und Arbeitsgruppen als Anhaltspunkt.

In den vierteljährlichen Treffen der Arbeitsgruppen wurden Inhalte und Aufbau der Gliederung stets auf den neuesten Stand gebracht und diese durch die Projektsteuerungsstelle in Zusammenarbeit mit LfU und LfW angepasst und fortentwickelt. In Workshops wurden ebenfalls die Inhalte und die Praxistauglichkeit der vorgestellten Methoden diskutiert und so ein Beitrag zur Handlungsempfehlung geleistet.

Während des Verlaufs des Forschungsverbundvorhabens stellte sich heraus, dass es sinnvoll ist, die Detailtiefe der Handlungsempfehlung auf unterschiedliche Fragestellungen anzupassen. Daher ist vorgesehen, die Handlungsempfehlung in 2 Teile zu gliedern:

- Teil I, der unter der Federführung des LfW erarbeitet wird, umfasst wesentliche Grundlagen wie Definitionen, rechtliche Einordnung, eine Übersicht über die Vorgehensweise zur Untersuchung des NA-Potenzials und allgemeine Hinweise zur Umsetzung von MNA.
- Teil II, der unter der Federführung der GAB mbH erarbeitet wird, enthält als fachlich-methodischer Teil den Input der einzelnen Teilprojekte und Arbeitsgruppen des Forschungsverbundvorhabens. Die wesentlichen übergeordneten Inhalte von Teil II fließen in Teil I als Übersicht ein.

In der Handlungsempfehlung wird ein mehrphasiges Programm zur Untersuchung des NA-Potenzials beschrieben, das als letzte Phase das Monitored Natural Attenuation (MNA) beinhaltet. Nach jeder Phase ist zu prüfen, ob eine Berücksichtigung des NA-Potenzials lohnenswert erscheint oder ob dies derart untergeordnet ist, dass weitere Untersuchungen zu NA nicht erfolgsversprechend sind. Die genannte Vorgehensweise ist in der Übersicht in Abbildung 4 dargestellt.

Die von den Teilprojekten unter Beteiligung der Fachbehörden und Ingenieurbüros erarbeiteten Vorschläge zu den Themenschwerpunkten des fachlich-methodischen Teils der Handlungsempfehlung liegen mittlerweile vor und wurden bereits beim Symposium zum Bayerischen Forschungsverbundvorhaben vorgestellt und erörtert. Anschließend wird die Zusammenstellung und Überarbeitung des Teils II der Handlungsempfehlung erfolgen, wobei aufgrund der Verzahnung mit Teil I eine enge Abstimmung mit dem LfW notwendig wird.

Der erarbeitete Entwurf wird dann mit dem LfU und dem StMUGV detailliert abgestimmt. Teil I mit Begriffsbestimmungen und der Darstellung der rechtlichen Rahmenbedingungen erhält weiterhin einen zusätzlichen Input aus Teil II.

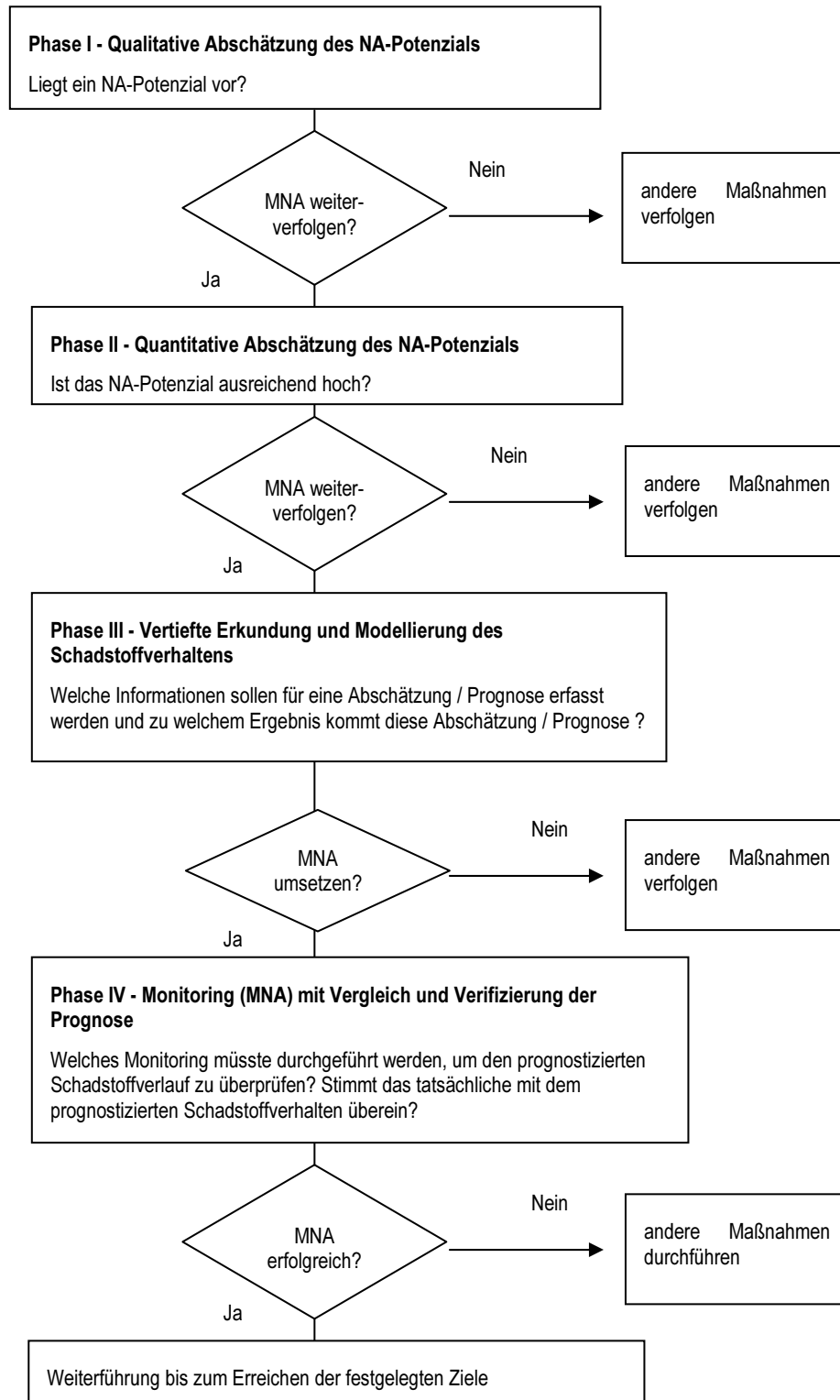


Abbildung 4: Vorgehensweise zur Untersuchung des NA-Potenzials

Bayerisches Forschungsverbundvorhaben

"Nachhaltige Altlastenbewältigung unter Einbeziehung des natürlichen Reinigungsvermögens"

- Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Erkenntnisse der Teilprojekte 1 bis 6 -

5 Fazit

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass im Rahmen des Forschungsverbundvorhabens wertvolle Ergebnisse und Erkenntnisse durch die einzelnen Teilprojekte erarbeitet wurden. Das Forschungsverbundvorhaben insgesamt wurde von den Beteiligten als ein Projekt mit "Pilotcharakter" empfunden. Die Struktur und das Zusammenspiel aller Gremien wird aus Sicht der Projektbearbeiter und -leiter als sehr positiv bewertet, Synergieeffekte wurden dadurch optimal genutzt.

Die gewählte Organisation und Struktur (Koordinationsgremium etc.) mit der Einführung einer Projektsteuerungsstelle führte zu einem vermehrten Informationsfluss und Austausch, der insgesamt als gewinnbringend betrachtet wird. Die Arbeitsgruppen waren die Voraussetzung für Fachdiskussionen und wurden von allen Beteiligten auch intensiv als Forum zum Austausch und zur detaillierten Diskussion bestimmter Fragestellungen genutzt.

Die Einbindung von Ingenieurbüros und Fach/Landesbehörden erweiterte den Experten- und Erfahrungspool und verstärkte die praxisorientierten Ansätze entscheidend. Im Rahmen der Workshops konnten die Ergebnisse und Erkenntnisse sowie die Vorschläge für die fachlich-methodische Umsetzung mit einem größeren Gremium diskutiert und erörtert werden, so dass zusätzliche Aspekte einfließen konnten. Hervorzuheben ist aber auch das große Engagement und die Bereitschaft aller zum Austausch, ohne die die genannten positiven Aspekte nicht entstanden wären.

München, den 02. März 2004

Dr. Thilo Hauck
Geschäftsführer

Michaela Webert
Projektsteuerin