

Studie

Produktanalyse für Altlastenisotopenfraktionierungs- verfahren

- Produktdatenblatt

Teilstudie

von Marktstudien des Fraunhofer MOEZ zu innovativen Technologien und
Verfahren der Altlastenbearbeitung

Inhalte der Marktstudien:

- Produktanalysen
- Marktanalysen
- Umsetzungskonzepte





Fraunhofer Zentrum
Mittel- und Osteuropa

erstellt für:

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ

Permoserstr. 15

04318 Leipzig

im Rahmen des Projekts:

Terra-, Aqua- und Sanierungskompetenzzentrum Leipzig (TASK)

- Initiative zur Förderung von Innovation, Technologie- und Wissenstransfer im Bereich Boden, Grundwasser & Flächenrevitalisierung

gefördert vom:

Bundesministerium für Bildung und Forschung

erstellt von:

Fraunhofer-Zentrum für Mittel- und Osteuropa MOEZ

Institutsleiter

Prof. Dr. Thorsten Posselt

Städtisches Kaufhaus Leipzig

Neumarkt 9-19

04109 Leipzig

Autor:

Rechtsassessor Thorsten Uhl, LL.M.Eur.

Telefon: 0341/23 10 39 - 155

E-Mail: thorsten.uhl@moez.fraunhofer.de

Zitiervorschlag:

Uhl, Thorsten: Produktanalyse für Altlastenisotopenfraktionierungsverfahren –
Produktdatenblatt. Fraunhofer MOEZ, Leipzig 2008

Leipzig, den 31. Juli 2008



Fraunhofer Zentrum Mittel- und Osteuropa

Copyright

Das Urheberrecht an den im Rahmen dieser Studie vom Fraunhofer MOEZ erstellten Konzepten, Entwürfen, Analysen, Studien und sonstigen Unterlagen liegt bei Fraunhofer MOEZ. Die Übertragung von Urheberrechten bedarf der Schriftform.

Der Auftraggeber ist zur Nutzung der vorliegenden Studie für die nach dem Auftrag vorgesehenen Zwecke berechtigt. Vervielfältigungen sind nur mit der ausdrücklichen Zustimmung von Fraunhofer MOEZ zulässig. Veränderungen, Übersetzungen oder digitale Nachbearbeitungen sind nicht zulässig. Eine Weitergabe der Studie an Dritte – insbesondere an Wettbewerber von Fraunhofer MOEZ – mit Ausnahme von öffentlichen Fördermittelstellen oder Kapitalgebern ohne schriftliche Freigabe durch Fraunhofer MOEZ ist nicht zulässig.

© Copyright Fraunhofer MOEZ 2008

Fraunhofer-Zentrum für Mittel- und Osteuropa MOEZ

Städtisches Kaufhaus Leipzig

Neumarkt 9-19

D-04109 Leipzig

Telefon: +49 (0) 341 / 23 10 39 – 0

Fax: +49 (0) 341 / 23 10 39 – 199

E-Mail: info@moez.fraunhofer.de

URL: www.moez.fraunhofer.de

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Prozessleitfaden zur Produktanalyse für die Altlastenisotopenuntersuchung	2
Abb. 2: Unterschiedliche Herstellungsverfahren chlorierter Wasserstoffe	7
Abb. 3: Wertschöpfungsprozess für die Schadstoffisotopenanalyse im Altlastenbereich	15
Abb. 5: Vergleich der Analysemethoden beim Einsatz in der ersten Detailuntersuchung	23

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Einsatz bei folgenden Schadstoffen	5
Tab. 2: Übliche Verwendung der Schadstoffe	5
Tab. 3: Mikrokosmen zur anaeroben reduktiven Dechlorierung	8
Tab. 4: Mikrokosmen zum aeroben Abbau von Chlorethenen (LCKW)	8
Tab. 5: In-situ-Fluoreszenz-Sonden für MTBE abbauende Bakterien	8
Tab. 6: Quantifizierung von Metaboliten des MTBE-Abbaus	9
Tab. 7: Anaerobe Säulenexperimente zur reduktiven Dechlorierung (quantitative Aussage)	9
Tab. 8: Real-time PCR (Polymerase-Kettenreaktion) zur Quantifizierung von Mikroorganismen und ihrer funktionellen Gene	9
Tab. 9: Zeitdauer der Isotopenuntersuchung	11
Tab. 10: Preise der Isotopenuntersuchung	11
Tab. 11: Auswahl von Referenzprojekten aus dem Bereich Schadstoffanalytik und Monitoring	13
Tab. 12: Auswahl von Referenzprojekten aus dem Bereich Grundwasseranalytik	13

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	II
Inhalt	III
1 Einleitung	1
2 Leistungsgegenstand	3
2.1 Verfahrensbeschreibung	3
2.1.1 Wirkungsprinzip	3
2.1.2 Verfahrensablauf	4
2.1.3 Generelle Anwendungsgebiete	4
2.1.4 Typische Anwendungsfälle	5
2.1.5 Allgemeine Anwendungsgrenzen	6
2.2 Applikationen	6
2.2.1 Qualifizierungsmethoden	6
2.2.2 Quantifizierungsmethoden	7
2.2.3 Schadstoffquellenbestimmung	7
2.3 Konkurrierende Analyseverfahren	8
2.3.1 Alternative Verfahren zur Schadstoffbestimmung	8
2.3.2 Standardanalyseverfahren	10
2.4 Kundennutzen bei Isotopenmonitoring	10
2.4.1 Zeitfaktor	10
2.4.2 Kostenfaktor	11
2.4.3 Qualität	12
2.4.4 Alleinstellungsmerkmale	12
2.5 Entwicklungsstand	12
2.5.1 Referenzprojekte	12
2.5.2 Perspektiven	13
3 Wirtschaftliches Umfeld	15
3.1 Akteure	15
3.1.1 Analysetechnikproduzenten	15

3.1.2	Methodenentwickler	15
3.1.3	Methodenanbieter/ Dienstleister	15
3.1.4	Bedarfsträger, Zwischen- und Endkunden	16
3.2	Schutzrechte	17
3.2.1	Patentsituation	17
3.2.2	Lizenzbedingungen	18
3.3	Geschäftsmodelle für Methodenanbieter	18
3.4	Rentabilität (Return on Investment)	18
4	Gegenwärtige Marktstellung der Altlastenisotopenanalyse	19
4.1	Marktchancen	19
4.2	Markthemmnisse	19
4.2.1	Geringe Anzahl der Marktakteure auf Anbieterseite	19
4.2.2	Niedriger Kenntnisstand auf der Nachfragerseite	20
4.2.3	Noch keine ausreichende Etablierung des Verfahrens	20
4.2.4	Praxis der Nachfrage nach einer Altlastenisotopenuntersuchung	21
4.3	Vorschläge zur Erhöhung des Implementierungsstands auf dem Markt	21
4.3.1	Klärung der weiteren Einsatzmöglichkeiten des Produktes	21
4.3.2	Isotopenuntersuchung in der ersten Detailuntersuchung*	22
4.3.3	Verbesserung des Informationsstandes zur Isotopenanalyse	23
4.3.4	Entwickeln eines einfachen Akkreditierungssystems	24
4.3.5	Modellbildung für die Zusammenarbeit	24
4.3.6	Implementierung des Verfahrens auf Auslandsmärkten	25

1 Einleitung

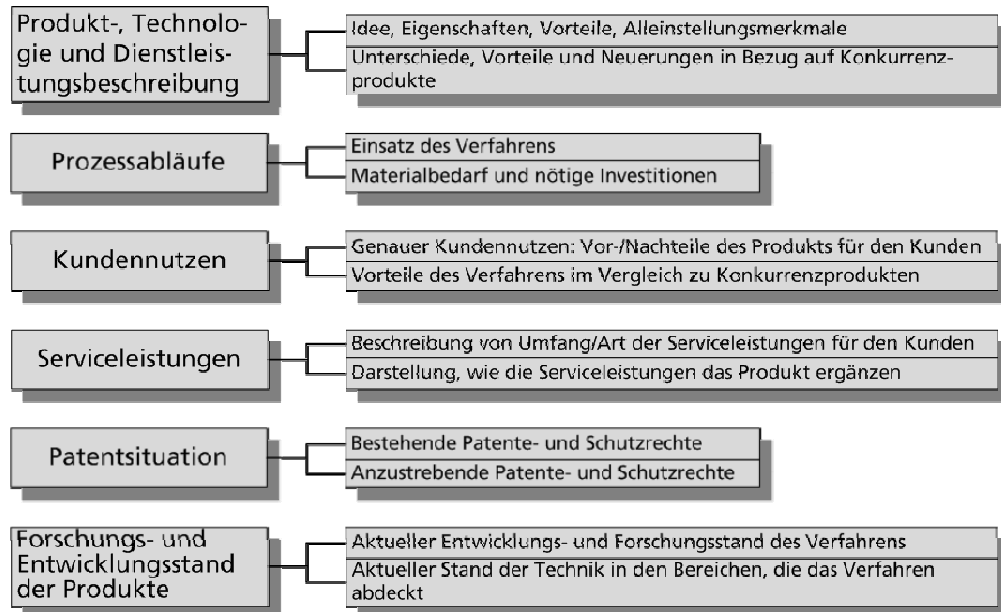
Die vorliegende Produktanalyse ist der erste Teil einer Studie, die das Fraunhofer Zentrum für Mittel- und Osteuropa (MOEZ) im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts „Terra-, Aqua und Sanierungskompetenzzentrum Leipzig (TASK) – Initiative zur Förderung von Innovation, Technologie- und Wissenstransfer im Bereich Boden, Grundwasser & Flächenrevitalisierung“ erstellt hat. Gegenstand der Studie ist das Verfahren der Altlastenisotopenuntersuchung. Die anderen Teile beinhalten eine Branchen- und Marktanalyse (Teil 2), produktspezifische Markteintrittsstrategien (Teil 3) und einen Ausblick auf Zielmärkte in Mittel- und Osteuropa (Teil 4)

In der Produktanalyse wird die Altlastenisotopenuntersuchung als innovatives Verfahren der Umwelttechnologie im Hinblick auf ihre Marktimplementierung untersucht. Ziel ist es daher, den Entwicklungsstand des Verfahrens herauszuarbeiten. Daraus werden Erkenntnisse über Ursachen für den derzeitigen Implementierungsstand des Verfahrens auf dem Markt abgeleitet. Desweiteren sollen erste Strategien für eine Erhöhung des Implementierungsstandes gewonnen werden. Damit bilden die Ergebnisse der Produktanalyse eine wesentliche Grundlage für die Marktanalyse in Teil 2 der Studie wie auch den produktspezifischen Umsetzungsstrategien in Teil 3 der Studie.

Methodisch beruht das Vorgehen in der Produktanalyse auf einen vom Fraunhofer MOEZ entwickelten Prozessleitfaden, der in Abb. 1 unten skizziert ist und für jedes innovative Produkt aus der Umwelttechnik angewendet werden kann. Um die Punkte des Prozessleitfadens abzuarbeiten, wurde vom Fraunhofer MOEZ ein Produktfragekatalog entwickelt. Dieser wurde in engem Dialog mit den aus Forschung und Entwicklung relevanten Akteuren der Altlastenisotopenuntersuchung abgearbeitet.

Um die umfangreichen Ergebnisse der Produktanalyse präzise und prägnant sowie informativ darzustellen, wird die Produktanalyse in der Form eines Produktdatenblatts dargestellt. Das ermöglicht einen schnellen und zugleich umfassenden Zugang zu allen wesentlichen Informationen, die zur Einschätzung der Marktrelevanz der Altlastenisotopenuntersuchung notwendig sind.

Abb. 1:
Prozessleitfaden zur
Produktanalyse für
die Altlastenisoto-
penuntersuchung
[Fraunhofer MOEZ]



2 Leistungsgegenstand

Technisches Analyseverfahren verschiedener Schadstoffgruppen in der Altlastenbearbeitung

- Zum qualitativen Nachweis des natürlichen Abbaus (NA: *natural attenuation*)
- Zur Prognose der natürlichen Abbauprozesse und des Zeithorizonts
- Als Quantifizierungsmethode zur Erfolgskontrolle des natürlichen Abbaus:
 - MNA: monitored natural attenuation
 - ENA: enhanced natural attenuation
- Zur Schadstoffquellenbestimmung in der Forensik (*Fingerprinting*):
 - Unterscheidung
 - Lokalisierung
 - Verursacherzuordnung
- Als Erkundungsinstrument in angebrachten Fällen der Altlastenbearbeitung:
 - Zur antizipierten Beweissicherung
 - Zur genaueren / gröbereren Schadenscharakterisierung und -quantifizierung
 - Zur Anpassung existenter Sanierungskonzepte (Soll-Ist-Vergleich)
 - Zur Einbettung in ein Grundwassermodell

2.1 Verfahrensbeschreibung

2.1.1 Wirkungsprinzip

- Verbindungen mit leichten Kohlenstoffisotopen (^{12}C -Isotope) werden bevorzugt biologisch abgebaut
- Verschiebung des Isotopenverhältnisses:
 - Verbleiben der schwereren ^{13}C -Isotope im Schadstoff
 - Anreicherung der leichteren ^{12}C -Isotope im Abbauprodukt
- Isotopenmassenspektrometer (IRMS) ermittelt verändertes $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ Isotopenverhältnis
- Natürliche Abbauprozesse können quantifiziert werden

2.1.2 Verfahrensablauf

Probenentnahme

- Probenanzahl
 - Erstuntersuchung: ca. fünf Proben
 - Detailuntersuchung: weitere sechs bis zehn Proben
 - Probenumfang für vollständige Analyse: zwischen 10 und 15 Proben
 - Bei Erstellung von ENA/MNA-Konzepten:
 - häufigere und längerfristige Probenentnahmen
- Probenvolumen zwischen 0,1 und 5 Liter
- Probenbehandlung: Konservierung der Probe um Bioaktivität zu stoppen

Analyse

- Trennung der jeweiligen Stoffe mittels Gaschromatographie
- Feststellung der dominierenden Schadstoffe in der Probe
- Katalytische Umsetzung zu Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff im Verbrennungsofen (Interface)
- Untersuchung des $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ Verhältnis der Gase im Isotopenmassenspektrometer (IRMS)

2.1.3 Generelle Anwendungsgebiete

Proben

- Überwiegend Grundwasserproben
- Bodenproben aus der ungesättigten Zone können mittels einer Lösungsmittel-extraktion (n-Pentan) untersucht werden

Anwendung

- Voruntersuchung
 - Schadstofferkundung und Schadstoffermittlung
 - Kontaminationsquellenzuordnung und Verursacherbestimmung
 - Schadstoffhistorienbestimmung
 - Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchung bei der Bestimmung entscheidender Standortparameter
- Detailuntersuchung
 - Qualitative Bestimmung des natürlichen Abbaupotentials und entscheidender Abbauparameter
 - Quantifizierung und Prognose des natürlichen Abbaus
 - Erstellung von MNA und ENA Konzepten

- Betreuende Untersuchung
 - Kontrolle der natürlichen Abbauprozesse
 - Gegebenenfalls Anpassung der MNA/ENA Konzeptparameter

2.1.4 Typische Anwendungsfälle

Tab. 1:

Einsatz bei folgenden Schadstoffen

[Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ]

Schadstoffe		qualitativ	quantitativ
BTEX:	Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol	x	x
LCKW:	Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe	x	x
MKW:	Mineralölkohlenwasserstoffe	x	-
MTBE:	Methyl-tert-butylether	x	x
TBA:	Tert-butylalkohol	x	-
PAK:	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe	x	-
	▪ bei Naphtalin:	x	x
Chlorierte Monoaromaten		-	x
	▪ bei Trichlorbenzol	x	x

Tab. 2:

Übliche Verwendung der Schadstoffe

[Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ]

Schadstoffe	Verwendung
BTEX	Lösungsmittel, Beimischung zu Kraftstoffen und Vorläufersubstanzen in der chemischen Industrie z.B. Insektizide, Farbstoffe, Kunststoffe
LCKW	Lösungsmittel und zur Entfettung in der Metallverarbeitung, Reinigungen, Ausgangsstoffe in der Kunststoffproduktion
MKW	Benzin, Kerosin, Heizöl, Petrochemie
MTBE	Benzinzusatz als Klopfschutzmittel bei Ottomotoren, in Startersprays
TBA	Benzinzusatz als Klopfschutzmittel bei Ottomotoren und Vergällungsmittel bei Industriealkoholen, Vorläuferprodukt von Antioxidantien
PAK	Teerhaltige Kleber, Nebenprodukt bei Gaswerken, Kokereien, Teerverarbeitung, Holzimprägnierung
Chlorierte Monoaromaten	Lösungsmittel, Wärmeübertragungsmittel, Verwendung bei Vulkanisation und der Herstellung von Insektiziden, Farbstoffen, Arzneimitteln, Duftstoffen und Weichmachern

Damit typische Anwendungsfälle in diesen industriellen Branchen

- Kokereien
- Imprägnierwerke und Färbereien
- Ö raffinerien
- Industriestandorte
- Chemische Reinigungen und Wäschereien
- Tanklager und Tankstellengelände
- Mülldeponien
- Gaswerke
- Chemiestandorte, insbesondere der Chlorchemischen Industrie
- Metallverarbeitungsbetriebe
- KFZ Werkstätten und KFZ Herstellung

2.1.5 Allgemeine Anwendungsgrenzen

- Sensitivität: Es lassen sich erst Abbaugrade über 60 % nachweisen
- Einschränkung der quantitativen Bestimmung des biologischen Abbaus:
 - Bei multiplen Schadstoffquellen mit gleichen Schadstoffen, aber unterschiedlichen Isotopenverhältnissen
- Abbauwege von Aromaten unter aeroben Bedingungen variabel:
- Nur qualitative Analyse des natürlichen Abbaus möglich (Rayleigh-Modell)
- Keine ausreichende Isotopenfraktionierung bei größeren Molekulargewichten ($> {}^{10}\text{C}$ -Atome)

2.2 Applikationen

2.2.1 Qualifizierungsmethoden

Schritte der Qualifizierung des natürlichen Abbaus:

- Ermittlung des Isotopenverhältnisses der Proben via GC-IRMS
- Vergleich des ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ Isotopenverhältnisses der Probe zum Standardwert (Fossil der Peedee-Belminite-Formation)
- Ausschluss anderer Faktoren wie Retardation oder Mischkontamination
- Verhältnis (IsotopenverhältnisProbe/IsotopenverhältnisStandart -1) > 0
- Dann Rückschluss auf natürlichen Abbauprozess

2.2.2 Quantifizierungsmethoden

Schritte der Quantifizierung des natürlichen Abbaus:

- Isotopenfraktionierung erfolgt proportional zum Abbau
- Bestimmung des Zeithorizonts anhand von Fraktionierungsfaktoren
- Ermittlung der spezifische Abbauraten für einzelne Schadstoffe
- Prognose des Abbaupotentials anhand der Abbauraten
- Bisher liegen für 20 Schadstoffe etwa 100 Fraktionierungsfaktoren vor

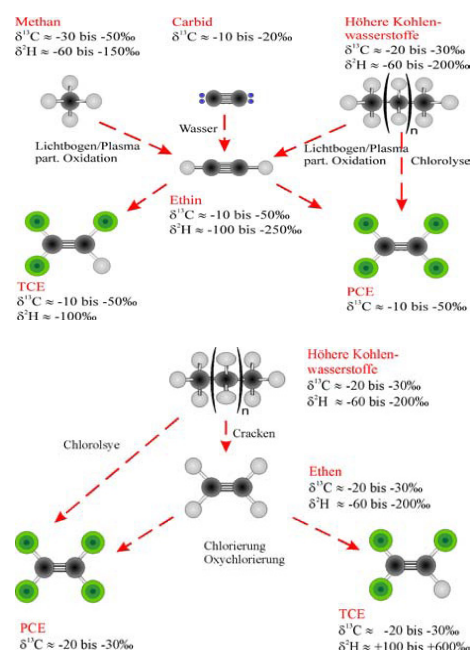
Geeignete Einsatzgebiete

- Schutzgutverletzung bleibt in einem tolerierbaren Rahmen
- Natürlicher Abbauprozess bildet eine kostengünstige Alternative

2.2.3 Schadstoffquellenbestimmung

Abb. 2:
Unterschiedliche
Herstellungsverfahren
chlorierter
Wasserstoffe

[Hydroisotop
GmbH]



- Verursacherzuordnung anhand der Isotopensignatur:
 - Unterscheidung gleicher Schadstoffe im Rahmen der Schadenshistorie
 - Aufgrund des Herstellungsverfahrens bzw. unterschiedlichen Ausgangsstoffen in der Isotopensignatur
 - Genaue Bestimmung eines Verursachers / mehrerer Verursacher

Geeignete Einsatzgebiete

- Bei der Zuordnung der Sanierungsverpflichtung
- Zur Abgrenzung geeigneter Dekontaminationsmaßnahmen

2.3 Konkurrierende Analyseverfahren

2.3.1 Alternative Verfahren zur Schadstoffbestimmung

Mikrobiologische Nachweisverfahren

- weisen Mikroorganismen oder spezifische Gene bzw. Genabschnitte nach

Tab. 3:

Mikrokosmen zur anaeroben reduktiven Dechlorierung

[Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ]

Nachweis	Untersuchungsaufwand	Kosten
Ermittlung der potentiellen Aktivität für die reduktive Dechlorierung von LCKWs (leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe) im Aquifer (Grundwasserleiter) und Anreicherung anaerober dechlorierender Bakterien zur Identifikation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Drei Parallelen pro Aktivitätsprobe und eine sterile Kontrolle ▪ Fachpersonal (1 Person), 50 h pro Versuchsansatz ▪ 12 Wochen Inkubationszeit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impfgut Grundwasser: 4.500 Euro ▪ Impfgut Sediment: 11.500 Euro pro 10 Proben

Tab. 4:

Mikrokosmen zum aeroben Abbau von Chlorethenen (LCKW)

[Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ]

Nachweis	Untersuchungsaufwand	Kosten
Nachweis des Standort-spezifischen Abbaus bzw. Abbaupotentials für die aerobe Dechlorierung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zwei Parallelen pro Probe und eine sterile Kontrolle ▪ Fachpersonal 50h ▪ 4 – 12 Wochen Inkubationszeit 	4.500 bis 12.000 Euro für 10 Ansätze

Tab. 5:

In-situ-Fluoreszenz-Sonden für MTBE abbauende Bakterien

[Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ]

Nachweis	Untersuchungsaufwand	Kosten
Ermittlung von MTBE-abbauenden Spezialisten sowie deren Quantifizierung mittels Gensonden (spezifische Marker für Gene oder Genabschnitte die zusätzlich über eine Detektionsfunktion, hier Fluoreszenz, verfügen)	1-5 Tage/Messung	ca. 130 Euro

Tab. 6:
Quantifizierung von
Metaboliten des
MTBE-Abbaus

[Helmholtz Zentrum
für Umweltfor-
schung - UFZ]

Nachweis	Untersuchungsaufwand	Kosten
<ul style="list-style-type: none"> Nachweis und quantitative Abschätzung des biologischen MTBE-Abbaus Messung der Anreicherung des spezifischen MTBE-Metaboliten tertiär-Butanol (TBA), der sich charakteristisch akkumuliert, allerdings auch wieder abgebaut wird Quantifizierung kann dann berechnet werden, wenn die kinetischen Abbauparameter bekannt sind 	3 – 5 Tage	100 Euro je Probe

Tab. 7:
Anaerobe Säulenex-
perimente zur redukti-
ven Dechlorierung
(quantitative Aussage)

[Helmholtz Zentrum
für Umweltfor-
schung – UFZ]

Nachweis	Untersuchungsaufwand	Kosten
<ul style="list-style-type: none"> Messung der in-situ Dechlorierungsrate chlorierter Ethene in Aquiferproben sowie Bestimmung der limitierenden Faktoren Berechnung der Dechlorierungsrate der LCKW über eine Massenbilanz mit Reaktionsstermen aus der Differenz der LCKW-Konzentrationen zwischen Säulenzulauf und –ablauf 	<ul style="list-style-type: none"> MNA-Untersuchungen: 10 Tage ENA-Untersuchungen: mehr als 10 Tagen 	7.000 Euro (pro Analyse mit je 8 Sedimentkernen)

Tab. 8:
Real-time PCR (Po-
lymerase-
Kettenreaktion) zur
Quantifizierung von
Mikroorganismen
und ihrer funktionel-
len Gene

[Helmholtz Zentrum
für Umweltfor-
schung – UFZ]

Nachweis	Untersuchungsaufwand	Kosten
<ul style="list-style-type: none"> Quantifizierung spezifischer schadstoffabbauender Mikroorganismen Spezifische Sequenzen von DNA oder RNA werden anhand der Auswahl von Oligonukleotiden (Primer und Sonden) vervielfältigt. Die Bestimmung der Kopienzahl in der Probe erfolgt über die Funktion der exponentiellen Zunahme der DNA-Kopienzahl. 	1 Tag pro 50 Kopienzahlen	ca. 150 Euro pro Kopienzahl, vorher qualitativer PCR-Nachweis von Genen

Grundlegende Nachteile dieser Verfahren

- Natürliche Umgebungsbedingungen müssen bei der Probenahme und im Labor aufrecht erhalten werden
- Abbauraten werden durch die Temperaturen im Labor verändert
- Zusätzliches Equipment bei anaeroben Proben (Abbau ohne Sauerstoff) notwendig
- Zusätze zur Probe wie etwa Vitamine oder Elektronendonatoren eventuell erforderlich
- Schadstoffzugabe eventuell notwendig (abhängig vom Gewinnungsort der Mikroorganismen; je nachdem ob an der Schadstoffquelle oder am Fahnenrand)

- Nicht immer eindeutig, ob die Desoxyribonukleinsäure (DNA) bzw. Ribonukleinsäure (RNA) von lebenden, aktiven Mikroorganismen stammt
- Alle Metabolitenuntersuchungen (Untersuchung der Zwischenprodukte) liefern nur qualitativ Ergebnisse
- Quantifizierung erfolgt hier nur über Modellrechnungen

Bewertung der mikrobiologischen Nachweisverfahren

- Keine direkte Konkurrenzprodukte zur Isotopenuntersuchung
- Einsatz im Altlastenbereich meist nur in Forschungsvorhaben

2.3.2 Standardanalyseverfahren

- Gaschromatographie (GC), IR-Spektroskopie, Flüssigkeitschromatographie (HLPC)

Vorteile

- Einfache und schnelle Schadstoff- und Konzentrationsbestimmung
- Relativ preiswert

Nachteile

- Lediglich punktueller Ausschnitt
- Keine Aussagen zu biologischem Abbaupotential
- Keine Aussagen zu Wechselwirkungen

2.4 Kundennutzen bei Isotopenmonitoring

2.4.1 Zeitfaktor

- Kurze Analysezeit
- Zeitaufwand liegt für Analyse und Gutachten zwischen einer und sechs Wochen
- Bereits nach Erstuntersuchung qualitative und quantitative Aussagen möglich

Tab. 9:
Zeitdauer der Isotopenuntersuchung
[Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ]

Untersuchung	Probenanzahl	Analysedauer*	Gutachtendauer*
Erstuntersuchung	4-5	1 Woche	1-3 Wochen
Detailuntersuchung	6-10	2 Wochen	2-4 Wochen
Detailuntersuchung	> 10	2-4 Wochen	2-6 Wochen

* Wartezeit von bis zu 12 Wochen möglich

2.4.2 Kostenfaktor

- Geringe Analysekosten der Isotopenuntersuchung in Bezug auf Gesamtkosten: Etwa 2.000 bis 25.000 Euro
- Kostenrahmen einer herkömmlichen Altlastensanierung: 100.000 Euro bis 10 Millionen Euro
- Kostenreduktion bei Nachweis von NA: bis zu 90 Prozent:
 - Hydraulische Sanierung: 2 Millionen Euro
 - ENA: 80.000 Euro
 - MNA: 20.000 Euro

Tab. 10:
Preise der Isotopenuntersuchung
[Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ]

Untersuchung	Kosten pro Probe	Gutachterkosten	Zeitaufwand (Analyse)*	Zeitaufwand (Gutachten)*
Erstuntersuchung	270-380 Euro	1.000-2.000 Euro	1 Woche	1-3 Wochen
Detailuntersuchung bis 10 Proben	270-380 Euro	1.500-2.500 Euro	2 Wochen	2-4 Wochen
Detailuntersuchung über 10 Proben	270-380 Euro	Über 2.000 Euro	2-4 Wochen	2-6 Wochen

* Wartezeit von bis zu 12 Wochen möglich

- Weitere Kosten für den Auftraggeber:
 - Kosten für die Probenahme
 - Transportkosten der Probe: 20 bis 50 Euro für Versand
- Kosten für Auf- und Abbau der Grundwassermessstellen*
 - Baustelleneinrichtung für eine Messstelle: zwischen 1500 und 3000 Euro
 - Jede weitere Messstelle mit etwa 50% davon zu veranschlagen
 - Entsanden/Klarpumpen: ab 1.000 Euro

* Merkblatt Nr. 2.1/7, Anlage 8 vom Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft: www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/merkblattsammlung/teil2_gewaesserkundlicher_dienst/doc/nr_217.pdf

- Posten für Grundwasserstellen sind aber kostenneutral:
 - Fallen bei allen anderen Analysemethoden genauso an
 - Bodengeologische Infrastruktur zudem oftmals vorhanden

2.4.3 Qualität

- Hohe Aussagefähigkeit und Zuverlässigkeit der Untersuchung (Konzentrationslimitierung der Schadstoffe liegt im Bereich $\mu\text{g/l}$)
- Bereits mit der Untersuchung einer Probe sind Aussagen zum Schadstoff und zu einem eventuell vorhandenen biologischen Abbau möglich
- Direkte Messmethode
 - Durch die In-situ Beprobung entsprechen die Ergebnisse auch den tatsächlich existenten Prozessen
- Ausschließlich Prognose des sicheren Abbaus
 - Es sind keine falsch-positiven Aussagen möglich

2.4.4 Alleinstellungsmerkmale

- Qualitativer NA-Nachweis (biologischer Abbau) mittels Isotopenfraktionierung
- Quantitative Bilanzierung des Schadstoffabbaus
- In-situ Methode: Messung und Bewertung lassen direkte Aussagen zum Beobachtungspunkt zu
- Analyse erfolgt ohne Veränderung der natürlichen Bedingungen und ohne Zwischenschritte

2.5 Entwicklungsstand

- Kohlenstoffisotopenmonitoring (CIM) aus technischer Sicht Standard
- Getestet und erfolgreich angewandt für alle potentiellen Applikationen
- Abbauparameter für zahlreiche Schadstoffe liegen vor
- Erfahrungsstand der Anbieter sehr hoch

2.5.1 Referenzprojekte

- Über 80 Anwendungen der beiden führenden Methodenanbieter (Firmen Hydroisotop und Isodetect)
- Derzeit: Referenzprojekt zur Erfolgskontrolle von ENA-Verfahren (Bad Salzungen)

Tab. 11:

Auswahl von Referenzprojekten aus dem Bereich Schadstoffanalytik und Monitoring

[Hydroisotop GmbH, Isodetect GmbH]

Projekt	Auftraggeber
Isotopenanalytik bei LCKW-Schaden	PHILIPS GmbH
Isotopenmonitoring auf dem Gelände des ehem. VEB Delicia	Ingenieurbüro Meßinger & Völkel, ARCADIS Consult GmbH, Leipzig (2007)
Isotopenmonitoring des LHKW-Schadensfalls Herxheim	Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH (2006)
Hydrochemische und isotopenhydrologische Untersuchungen Erkundung von Altlasten	Stadtwerke Radolfzell
Isotopenuntersuchungen an LCKWs	EHG Elektroholding GmbH, Frankfurt
Verschiedene isotopenhydrologische Untersuchungen, Schadstoffausbreitung im Grundwasser	Dr. K.-H. Prösl, Sachverständigenbüro für Grundwasser, Erding
Isotopenmonitoring am Deponiestandort "Röthehof"	MEAB / Märkische Entsorgungsanlagen-Betriebsgesellschaft mbH (2007)

Tab. 12:

Auswahl von Referenzprojekten aus dem Bereich Grundwasseranalytik

[Hydroisotop GmbH, Isodetect GmbH]

Projekt	Auftraggeber
Isotopenuntersuchungen in Grundwassersystemen	Geoexpert, Trento, Italien
Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten, isotopenhydrologische und hydro-chemische Untersuchungen in Grundwässern des Landes Baden-Württemberg	Geologisches Landesamt Baden-Württemberg im RP Freiburg
Alterszuordnung und Aufklärung des Einzugsgebiets von Trinkwasser-erschließungsbrunnen in mehreren Gebieten: Emmering, Schweinfurt, Puchheim und Garmisch - Isotopenanalysen von ^{14}C , ^{13}C , ^2H , ^{18}O und ^{85}Kr	Ingenieurbüro Dr. Knorr, München

2.5.2 Perspektiven

Tendenzen beim Isotopenanalyseverfahren

- Weiterentwicklung Wasserstoffisotopenanalyse
 - Nachweis bei geringeren Abbauraten ab 30 Prozent
 - Besserer Nachweis bei PAK, CKW und Benzol
- Kombination von Kohlenstoff- und Wasserstoffisotopenanalyse (Zweidimensionale Analyse)
 - Nutzen: besserer Nachweis des Abbauprozesses bei Schadstoffen (insbes. bei BTEX)

- Aufbau Chlorisotopenanalyse (Forschung ist noch nicht soweit)
 - Nutzen: NA-Nachweis bei weiteren (chlorierten) Schadstoffen, z.B. LCKW
- Isotopenanalyseverfahren auf andere Schadstoffe erweiterbar
z.B. bestimmte Nitrate, Dioxine aus dem Agrarsektor

Kombination mit BACTRAP (Isotopenmarkierung)

- Eigenständiges Produkt (von Fa. Isodetect entwickelt)
- BACTRAP ist sensitiver beim Nachweis mikrobiellen Abbaus
- BACTRAP kann nur begleitend eingesetzt werden, da kein quantitativer Nachweis
- Kombinationsmöglichkeit:
 - 1. Schritt: Einsatz von BACTRAP in Nähe des Kontaminationsherdes
Nutzen: Klärung, ob schon ein biologischer Abbau stattfindet
 - 2. Schritt: Isotopenanalyse in weiterer Entfernung zur Bestimmung der Abbaurrate

Kombination mit direct push-Verfahren

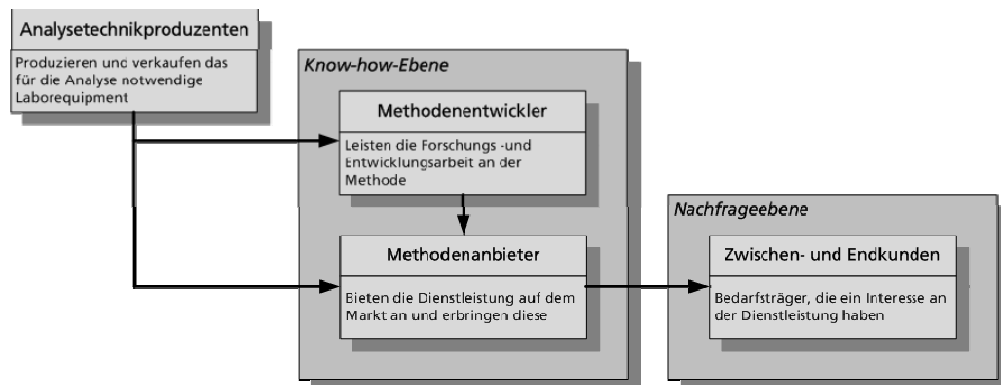
- Günstiges und schnelles Verfahren zur Grundwasserprobenahme
- Direct-push-Verfahren (geringer Sondendurchmesser) ist für eine einmalige Probenahme geeignet
- Folgende Kombinationsmöglichkeiten bestehen:
 - Erstanalyse
 - Fingerprint-Bestimmung aus der Schadstoffquelle (Verursacherzuordnung)

Fazit

- Anwendungsspektrum erweitert sich
- Insbesondere bei einer Erweiterung auf neue Schadstoffe aus dem Agrarsektor erschließt sich ein weites Anwendungsfeld

3 Wirtschaftliches Umfeld

Abb. 3:
Wertschöpfungsprozess für die Schadstoffisotopenanalyse im Altlastenbereich
[Fraunhofer MOEZ]



3.1 Akteure

3.1.1 Analysetechnikproduzenten

Isotopenverhältnismassenspektrometer (IRMS):

- IRMS als Analysegerät für Isotopenuntersuchung zwingend benötigt
- Europa- und weltweit nur sehr wenige IRMS-Hersteller:
- Thermo Scientific IRMS Manufacturing Group, Bremen
- SerCon, Crewe, Chesire, United Kingdom

3.1.2 Methodenentwickler

- Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt in München
- Umweltforschungszentrum Leipzig

3.1.3 Methodenanbieter/ Dienstleister

Deutsche Anbieter

- Isodetect GmbH (Oberschleißheim)
- Hydroisotop GmbH (Schweitenkirchen)
- GCA - Geochemische Analysen, Dipl. Ing. Manfred Schmitt (Sehnde)

Potentielle Anbieter

- Weitere chemische Analyselabore im In- und Ausland
- Voraussetzungen: Equipment und Fachpersonal
- Bewertung:
 - Verfahrenshandling für reines Analyselabor schwierig
 - Es muss ein Wissenschaftler aus der einschlägigen Forschung dazu kommen

3.1.4 Bedarfsträger, Zwischen- und Endkunden

Sanierungspflichtige

- Zur Erlangung eines Kostenausgleichsanspruches gegen andere Sanierungspflichtige
- Zur Erlangung eines Schadensersatzanspruchs bei unrechtmäßiger Inanspruchnahme

Sanierungspflichtig sind:

- Verursacher / dessen Rechtsnachfolger
- Aktueller / ehemaliger Eigentümer
- Grundstücksbesitzer / einer dessen Vorgänger

Privateigentümer / Gebietskörperschaften

- Zur Vermeidung einer Sanierungspflicht
- Zur Vermeidung eines aufwendigen Sanierungsverfahrens bei Sanierungspflicht

Behörden

- Bei behördlicher Sanierungsuntersuchung
- Bei Anordnungen (Sanierungsuntersuchung und -maßnahme)
- Bei Ersatzvornahme (Sanierungsuntersuchung und -maßnahme)

Investoren

- Bei vorhandenem wirtschaftlichen Nutzungs- und Verwertungsinteresse

Versicherungen

- Zur Vermeidung eines Versicherungsfalls
- Zur Vermeidung eines aufwendigen Sanierungsverfahrens im Versicherungsfall

Banken

- Als Sicherungsnehmer für das Grundstück
- Zur Erstellung eines Wertermittlungsgutachtens für ein Grundstück bei Zwangsversteigerungen

Ingenieurbüros mit Schwerpunkt Altlastensanierung / Sanierungsplaner

- Zur Beratung des Endkunden
- Zusammenarbeit mit dem Methodenanbieter der Isotopenanalyse

Analyselabore

- Zur Durchführung der Isotopenanalyse für den Auftraggeber
- Zusammenarbeit mit Ingenieurbüros

3.2 Schutzrechte**3.2.1 Patentsituation**

- Patentschutz: Deutsches Patent mit dem Az. 100 06 798.0
- Patenhalter: Dr. R.U Meckenstock (GSF) und H.-H. Richnow (UFZ)
- Verfahrenspatent: Isotopenverfahren zum Ermittlung eines biologischen Schadstoffabbaus in der Umwelt (Boden, Wasser)
- Patentreichweite: Deutschland

Bewertung

- Verfahrenspatent, das im Wesentlichen auf ein mathematisches Auswertungsverfahren beruht (Patent für Auswertungslogarithmus)
- Patentschutz schwer durchsetzbar:
 - Schwieriger und risikobehafteter Nachweis, da ein Wettbewerber kaum freiwillig seine Auswertungsmethode offenlegen wird
 - Es besteht die Möglichkeit, nur die Analysewerte zu liefern, die Auswertung dem Auftraggeber zu überlassen und so den Patentschutz ins Leere laufen zu lassen
- Kein Patentschutz auf europäischer Ebene: Nachahmungsgefahr

Gesamtfazit

- Vorteil der Methode liegt im Know-How und nicht beim Patent
- Patentschutz hier nicht so entscheidend

3.2.2 Lizenzbedingungen

- Lizenznehmer: Fa. Isodetect GmbH
- Lizenzreichweite: Eigene Nutzung und Weiterlizenzierung an Dritte
- Lizenzpolitik der Fa. Isodetect:
 - Lizenzierungsbereitschaft vorhanden
 - Lizenzgebühr: geschäftsübliche angemessene Jahresgebühr
 - Derzeitige Duldung von Wettbewerbern ohne Lizenz

3.3 Geschäftsmodelle für Methodenanbieter

3.4 Rentabilität (Return on Investment)

Die Analyse der auf dem Markt vorhandenen Geschäftsmodelle stützt sich auf unternehmensspezifische und geschäftsinterne Informationen. Auf Wunsch der Projektpartner sollen die hieraus gewonnenen Erkenntnisse vertraulich behandelt werden. Die Abschnitte 3.3 und 3.4 können daher nicht veröffentlicht werden.

4 Gegenwärtige Marktstellung der Altlastenisotopenanalyse

- Sehr geringer Marktanteil in 2007:
 - Etwa 40 Projekte der beiden führenden Anbieter (Isodetect, Hydroisotop)
 - Nachfrage entwickelt sich von gleichbleibend bis leicht ansteigend

4.1 Marktchancen

Biologischer Abbau

- Sanierung der Altlasten technisch und wirtschaftlich sehr umfangreich
- Paradigmenwechsel:
 - Weg vom Anspruch der Maximalsanierung
 - Hin zum pragmatischen Ansatz der nutzungsbezogenen Optimalsanierung
 - Wäre nur durch eine rechtliche Verankerung bestwirksam unterstützt
- Empfehlungen(z.T. geplant) von Isotopenanalysen in einigen Leitfäden
 - DECHEMA (Ges. für Chemische Technik und Biotechnologie)
 - Bayrisches LA für Wasserwirtschaft, Merkblatt Nr. 3.8/3, Anhang 3
 - HLUG (Hessisches Landesamt für Umweltschutz und Gesundheit)
 - EPA (United States Environmental Protection Agency)

Verursacherzuordnung

Schadstoffisotopenuntersuchung ist mit hinreichender Genauigkeit gerichtsfest

- S. unten Punkt 1 (Leistungsgegenstand)
- Müssen noch ins Bewusstsein potentieller Nutznießer geraten

4.2 Markthemmnisse

4.2.1 Geringe Anzahl der Marktakteure auf Anbieterseite

- Marktdurchdringung obliegt aktuell drei kommerziellen Anbietern
- Mangel an geeignetem Fachpersonals
 - Kapazitätsprobleme der Anbieter bei mehr Projekten / größeren Standorten

4.2.2 Niedriger Kenntnisstand auf der Nachfragerseite

Altlastenisotopenanalytik ist stark knowledge-based-driven

- Deutschlandweit sehr geringe Anzahl an Fachleuten
 - Nur 40 Wissenschaftler in der schadstoffbezogenen Umweltanalytik
 - Fast alle Wissenschaftler sind in der Forschung beschäftigt
u.a. GSF München, UFZ Leipzig, Max-Planck-Institut Jena, Geoforschungszentrum Potsdam, Uni Duisburg-Essen)
- Europaweit ist die Situation noch viel drastischer
 - Insbesondere in Mittel-und Osteuropa
 - Hier auch fehlende Infrastruktur im Bereich chemische Analytik

Mangelnde Kenntnis zum Einsatzspektrum der Isotopenuntersuchung in der Altlastenbranche

- Bei Ingenieurbüros
- Bei Behörden

4.2.3 Noch keine ausreichende Etablierung des Verfahrens

- Unklarer Leistungsumfang des Schadstoffisotopenmonitorings
 - Keine Berücksichtigung außerhalb von
 - NA-Konzepten (auch bisherige Handlungsempfehlungen beziehen sich nur auf den Nachweis des biologischen Abbaus)
 - Schadstoffherdzuordnung
- Unterschiedliche Akzeptanz von NA-Maßnahmen bei Behörden
 - Zum Teil bedingt durch föderative Strukturen
 - Noch keine Behördenlinie bzw. -praxis zur Anwendung des Verfahren
 - Noch Skepsis bei Vollzugsbehörden (Untere Bodenschutzbehörden)
 - Noch keine empfehlende Stellungnahme seitens der LABO
- Keine Profilschärfung des Verfahrens wegen neuer Anwendungsfelder
 - Geringe Wahrnehmung wegen teilweise fehlender alternativer Anwendung
 - Geringes Konkurrenzverhältnis zu anderen Technologien und Verfahren
- Allgemein geringer Bekanntheitsgrad
 - Wenig Öffentlichkeitsarbeit
 - Noch keine Vermarktung
 - Kundenakquise der Anbieter läuft ausschließlich über persönliche Kontakte
- Nutzen der Isotopenanalyse entpuppt sich oft erst, wenn ihr Einsatz zu spät ist

4.2.4 Praxis der Nachfrage nach einer Altlastenisotopenuntersuchung

Falsche Vorstellung über die Möglichkeiten des Verfahrens:

- Isotopenanalyse wird erst dann in Betracht gezogen, wenn herkömmliche Analyseverfahren nicht mehr weiterhelfen
- Überschätzung der Leistungsmöglichkeiten (überzogene Erwartungen)
- Nutzen der Isotopenanalyse entpuppt sich oft erst, wenn ihr Einsatz zu spät ist
- In schweren (oder schwer gewordenen!) Fällen kann die Isotopenuntersuchung auch nicht mehr maximale Ergebnisse liefern

4.3 Vorschläge zur Erhöhung des Implementierungsstands auf dem Markt

Innovative Technologien, Verfahren oder Methoden lassen sich nur erfolgreich in fremde Märkten transferieren, wenn sie im eigenen Markt implementiert sind:

- Maßnahmenvorschläge zunächst auf den nationalen Markt ausgerichtet
- Strategien für die internationalen Märkte sollten darauf aufbauen
Blickrichtung: Mittel- und osteuropäische Märkte

4.3.1 Klärung der weiteren Einsatzmöglichkeiten des Produktes

Situation

- Anwendungsfelder neben Forensik und NA-Kontrolle noch unscharf

Maßnahmen

- Zunächst Aktualisierung der Leistungsbeschreibung
- Dann Erstellen eines vollständigen Leistungskatalogs

Akteure

- Methodenentwickler und Anbieter

Mögliche Inhalte

- Frühzeitiger Einsatz des Isotopenmonitorings in der ersten Detailuntersuchung (s. dazu Punkt 3.3.2)
- Implementierung des Isotopenmonitorings in ein Grundwassermodell
 - Bestimmung der Abbaukinetik in einem simplen Modell
 - Übertragung in ein Modell zur Risikoabschätzung

Erschließen weiterer Marktsegmente durch Technikausweitung

- Auswahl großer und lukrativer Marktsegmente
Bsp.: Schadstoffe aus Agrarwirtschaft (Pflanzenschutzmittel: Pestizide, Nitratre)
- Definition von Fraktionierungsfaktoren im Labor
- Einarbeitung in Gleichung (Auswertungslogarithmus)

4.3.2 Isotopenuntersuchung in der ersten Detailuntersuchung*

* entwickelt vom
Fraunhofer MOEZ,
Dr. Ertl (Fa. Hydroisotop), Dr. Fischer
(Fa. Isodetect)

Gefahren bei der Verwendung der konventionellen Analytik

- Milieu- oder hydrogeologische Gegebenheiten können sich verändern
- Baumaßnahmen können Probenahmen in Quellbereichen verhindern
- Vermischung der Schadstoffe bei auftretenden Mehrfachkontaminationen
- Biologischer Abbau erschwert spätere Bestimmung der Primärsignaturen

Eintretende Nachteile

- Repräsentative Isotopensignaturen können dann nicht mehr ermittelt werden

Nutzen der frühzeitigen Isotopenuntersuchung

- Ungestörte Grundwassersysteme erlauben fundierte Aussagen
- Verringerter Umfang später notwendig werdende Untersuchungen
- Abschätzen des biologischen Selbstreinigungspotentials ermöglicht ein effizientes Sanierungskonzept
- MNA/ENA können schon als ernsthafte Option diskutiert werden
- Identifizierung noch nicht erkannter Quellen bei Mehrfachkontaminationen
- Antizipierte Beweissicherung als Vorsorgemaßnahme
- Klärung der Finanzierungsfrage befördert Sanierungsprozess

Aufwand kann in Grenzen gehalten werden

- 1 oder 2 Bohrlöcher weniger, dafür die Isotopenuntersuchung zusätzlich
- Geringer Aufwand für zusätzliche Probenahme (Probenvolumen ca. 100 ml)
- Mehr Proben nehmen, erst mal weniger untersuchen

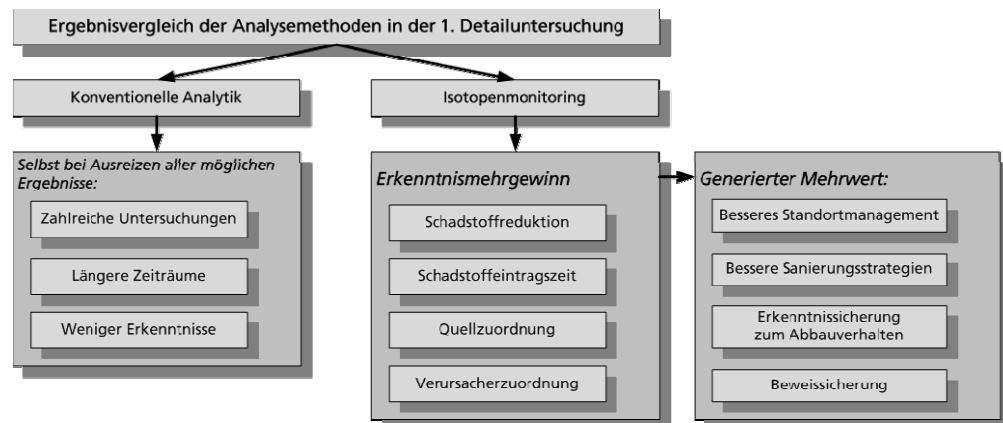
Folgen einer frühzeitigen Isotopenuntersuchung

- Berücksichtigung des Verfahrens bei Variantenstudie
- Vermeidung unwirksamer Sanierungsmaßnahmen (z.B. Pump & Treat)
- Sicherere und schnellere Sanierungserfolge
- Kostenersparnisse

- Klärung der Verantwortlichkeiten

Abb. 4:
Vergleich der Analysemethoden beim Einsatz in der ersten Detailuntersuchung

entwickelt vom Fraunhofer MOEZ zusammen mit Dr. Ertl (Fa. Hydroisotop) und Dr. Fischer (Fa. Isodetect)



4.3.3 Verbesserung des Informationsstandes zur Isotopenanalyse

Ziele

- Anerkennung und Standardisierung des Verfahrens für alle Anwendungsfelder
- Einbezug der LABO (Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz)
- Erreichen der entscheidenden Akteure

Zielgruppen

- Ingenieurbüros
- Behörden

Maßnahmen

- Umfrage zum Kenntnis-, Anwendungsstand sowie gemachten Erfahrungen
 - Einarbeitung von Fangfragen (z.B. Erfahrung bei PAK und Naphtalin)
 - Auswahl der Ingenieurbüros mithilfe von ITVA und/oder anderen Verbänden
 - Auswertung der Umfrage
- Auswertung von Referenzprojekten von Methodenentwickler und –anbietern
- Zusammenstellung von Informationen zu allen Anwendungsmöglichkeiten
 - Auswertung der bisherigen Leitfäden / Handlungsempfehlungen z.B. KORA, TVI, LABO, DECHEMA
 - Berücksichtigung des kommenden CSIA -Leitfadens der EPA

- (CSIA steht für Compound Specific Isotope Analysis)
- Konzertiertes Erstellen eines eigenen praxisorientierten Leitfadens
 - Empfehlungen im Dialog mit Behördenvertreter erarbeiten
 - Auch die LABO mit einbeziehen
- Informationsinitiative
 - Schulungs- und Informationskonzepte für innovative Ingenieurbüros
 - Veranstaltungen
 - E-Learning
 - Informationsmaterial für Behörden
 - PR-Konzept zur Erhöhung des Bekanntheitsgrades und der Vermarktung

4.3.4 Entwickeln eines einfachen Akkreditierungssystems

Verfahrensgegenstand

- Messverfahren (Analytik)
- Gutachtenerstellung

Ziele

- Erhöhung der Verfahrenssicherheit
- Qualitätssicherung für das Erkennen, Beratung und Handling von Altlasten-isotopenuntersuchungen
- Erhöhung der Sicherheit und Seriösität für Endkunden und Behörden

Konzeptionelle Fragen

- Zertifizierungsstelle
- Zertifizierungsverfahren
- Zertifizierungskriterien
- Zertifizierungskontrolle
- Zertifizierungskosten

4.3.5 Modellbildung für die Zusammenarbeit

Akteure

- Zwischen Ingenieurbüros und Methodenanbietern
 - Schrittweiser Einbezug von interessierten und innovativen Ingenieurbüros
 - Vermeidet unsachgemäße Anwendung durch Firmen ohne Know-how
- Einbeziehung von Behörden
 - Entwurf eines Musters für öffentlich-rechtliche Verträge in der Altlastenbearbeitung

Vorteile für Methodenentwickler und –anbieter

- Frühzeitige Einbindung stärkt Geschäftsfeld Schadstofferkundung
- Multiplikativer Effekt auf den Verbreitungsstand
- Generiert weitere Aufträge
- Minderung des Verbreitungsaufwands für technische Weiterentwicklungen
- Feedback-loop zur Weiterentwicklung

4.3.6 Implementierung des Verfahrens auf Auslandsmärkten

- Kontaktaufnahme zu den maßgeblichen Behörden
- Suchen geeigneter lokaler Partner zur Zusammenarbeit
- Bildung von Kooperationsformen
 - Erkundung und Sanierung durch Firmen des Projektlandes
 - Chemische Analyse und Gutachtenerstellung durch deutsche Methodenanbieter der Isotopenanalyse
- Demonstrationsprojekte zur Vor-Ort-Demonstration der Möglichkeiten
- Entwickeln einer PR- und Vermarktungsstrategie
- Erstellen eines „Ziellandleitfadens“
 - Internationaler Leitfaden“ als Template
 - Anpassung auf das jeweilige Zielland