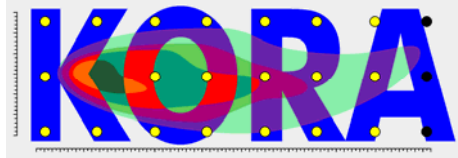


# BMBF-Förderschwerpunkt



## Handlungsempfehlungen und Methodensammlung - Untersuchungsmethoden zur Beurteilung von NA -

Hans-Peter Koschitzky  
Jochen Michels, Matthias Stuhmann, Christopher Frey



Projektübergreifende Begleitung (PüB)



9. ALTLASTEN-PRAxis: NATURAL ATTENUATION – Prozessverständnis als Voraussetzung zur Planung von Maßnahmen an kontaminierten Standorten

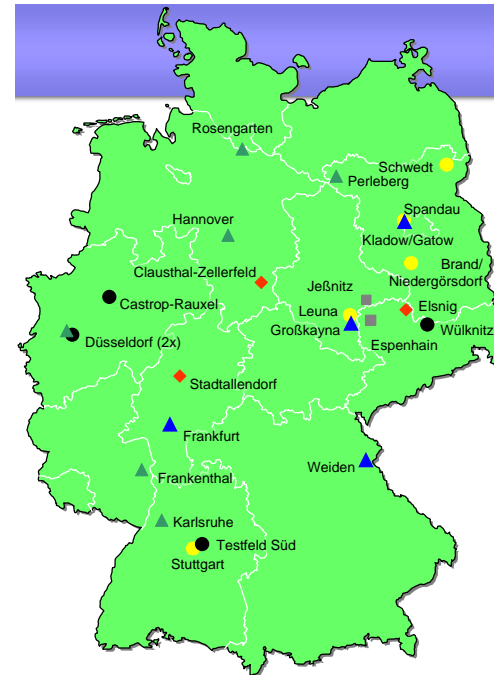
Umweltbundesamt Wien in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur BOKU  
Wien, 08. Juni 2009



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Untersuchte Standorte im Förderschwerpunkt KORA



### Schadstoffe

Standorte

● TV 1: Mineralöl	5
● TV 2: PAK, BTEX	4
▲ TV 3: CKW	6
▲ TV 4: deponiebürtig	4
◆ TV 5: Explosivstoffe	3
■ TV 6: Schwermetalle, u.a.	2
Summe:	24

Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden



## Ziele und Zielgruppen der KORA-Produkte

### Handlungsempfehlungen (HE)

- Ziele:
  - Empfehlungen zur Nutzung des NA-Potentials in der Altlastenbearbeitung
  - Zusammenstellung der Definitionen, rechtlichen Einordnung, Erfahrungen und Empfehlungen zu Methoden und Arbeitsweisen
- Hauptzielgruppen:
  - Bundesressorts, OFD, BBR, LABO, LAWA (+ Zielgruppen LF)

### Leitfäden (LF)

- Ziele:
  - Schadstoff- bzw. branchenspezifische Bewertung des NA-Potentials
  - Hinweise und Empfehlungen zur Planung und Durchführung von MNA sowie
  - Beschreibung von Referenzstandorten
- Hauptzielgruppen:
  - Vollzug, Ingenieurbüros, Grundstückseigner, Sanierungspflichtige (+ HE)

TV 1 Raffinerien, Tanklager	← Peter
TV 2 Gaswerke, Koker, Teerverarbeitung	← Hüßers
TV 3 Chemische Industrie	← Grandel/Held
TV 4 Deponien, Altablagerungen	
TV 5 Rüstungsallasten	
TV 6 Bergbau, Sedimente	

Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden



## Handlungsempfehlungen

### Kapitel

- 1 Einführung
- 2 Begriffsbestimmungen
- 3 Rechtliche Rahmenbedingungen
- 4 Umsetzung von MNA (stufenweises Vorgehen)
- 5 Erkundung und Monitoring
- 6 Untersuchung der NA-Prozesse
- 7 Modellierung und Prognose
- 8 Ökonomische Bewertung
- 9 Risikokommunikation und Akzeptanz
- 10 Glossar
- 11 Index
- 12 Literatur

Anhang: Methodensammlung

Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden



## Handlungsempfehlungen

### Kapitel

- 1 Einführung
- 2 Begriffsbestimmungen
- 3 Rechtliche Rahmenbedingungen
- 4 Umsetzung von MNA (stufenweises Vorgehen)
- 5 Erkundung und Monitoring
- 6 Untersuchung der NA-Prozesse
- 7 Modellierung und Prognose
- 8 Ökonomische Bewertung
- 9 Risikokommunikation und Akzeptanz
- 10 Glossar
- 11 Index
- 12 Literatur

Anhang: **Methodensammlung**



## Kapitel 4: Umsetzung von MNA

### Stufenweises Vorgehen zur Umsetzung von MNA

- Stufe I: Prüfung der Voraussetzungen für MNA
- Stufe II: Spezifische Standortuntersuchungen zum Nachweis der Wirksamkeit von NA
- Stufe III: Prognose und Entscheidung über MNA
- Stufe IV: Überwachung und Abschlusskontrolle

#### Kapitel 5: Erkundung und Monitoring

- Stufe I: ...
- Stufe II: ...
- Stufe III: ...
- Stufe IV: ...

#### Kapitel 6: Untersuchung der NA- Prozesse

- Stufe I: ...
- Stufe II: ...
- Stufe III: ...
- Stufe IV: ...

#### Kapitel 7: Modellierung und Prognose

- Stufe I: ...
- Stufe II: ...
- Stufe III: ...
- Stufe IV: ...



## Stufe I: Prüfung der Voraussetzungen für NA

#### Kapitel 5: Erkundung und Monitoring

Stufe I:  
Erkundung und Abgrenzung des Untersuchungsraumes

- Quellbereich
- zukünftiger Fahnenbereich
- Bilanzraum
- hydrogeologische Erkundung
- Rezeptoren

#### Kapitel 6: Untersuchung der NA- Prozesse

Stufe I:  
Potentialabschätzung

- Interpretation verfügbarer Daten
- Abschätzung des Abbau- und Rückhaltepotentials

#### Kapitel 7: Modellierung und Prognose

Stufe I:  
Konzeptionelles Standortmodell (hydrogeol./geochem.)

- Definition von Aufgaben, Zielen, und Anforderungen an die Modellergebnisse
- Teilung des Untersuchungsgebietes in Bilanz- > Modell- > Aussageraum
- Datenbank zu Erfassung von Erkundungsdaten



## Stufe II: Spezifische Standortuntersuchungen zum Nachweis der Wirksamkeit von NA

#### Kapitel 5: Erkundung und Monitoring

Stufe II:  
Spezifische Erkundungsmaßnahmen

- Horizontale und vertikale Quellen- und Fahnenabgrenzung
- Strömungsverhältnisse
- Schadstofffrachten an Transekten

#### Kapitel 6: Untersuchung der NA- Prozesse

Stufe II:  
Identifizierung und Quantifizierung der NA-Prozesse

- Quantifizierung der fracht-reduzierenden Prozesse
- Elektronendonor/-akzeptor-Bilanzen
- Nachweis spez. Metaboliten
- In-situ-Untersuchungen

#### Kapitel 7: Modellierung und Prognose

Stufe II:  
Berechnungsmodell für die Grundwasserströmung und den Stofftransport

- Übersicht über Modellierungssoftware in KORA
- Erarbeitung und iterative Anpassung des Transportmodells
- Modellrechnungen/ Interpretation



## Stufe III: Prognose und Entscheidung über MNA

### Kapitel 5: Erkundung und Monitoring

Stufe III:  
Festlegung von Über-  
wachungsmessstellen  
und -intervallen

- Messstellenausbau
- modellgestützte Planung des Monitoringprogramms

### Kapitel 6: Untersuchung der NA- Prozesse

Stufe III:  
Parameterpräzisierung  
und Auswahl von  
Leitparametern

- Erhöhung der Datendichte
- Spezialuntersuchungen in Abstimmung mit Erkundung und Modellierung
- Leitparameter müssen auch die Rahmenbedingungen erfassen

### Kapitel 7: Modellierung und Prognose

Stufe III:  
Hinweise und  
Empfehlungen zu  
Modellprognosen

- Beschreibung der Modellunsicherheit über Szenarienanalysen



## Stufe IV: Überwachung und Abschlusskontrolle

### Kapitel 5: Erkundung und Monitoring

Stufe IV:  
Durchführung des  
Monitorings

- Planung der technischen Maßnahmen im "Versagensfall"
- Modellgestützte Festlegung von Messstellen
- Vergleich von Messwerten mit Prognosewerten zukünftiger Fahnenbereich

### Kapitel 6: Untersuchung der NA- Prozesse

Stufe IV:  
Kontrolle der Wirksamkeit  
und Nachhaltigkeit der  
NA-Prozesse

- optional weitere Prozessuntersuchungen

### Kapitel 7: Modellierung und Prognose

Stufe IV:  
Modellierung

- Entwicklung einer merkmalsabhängigen Entscheidungsmatrix für spezifische Rückfallmaßnahmen
- Definition von Aufgaben, Zielen, und Anforderungen an die Modellergebnisse



## KORA-Methodensammlung zur Untersuchung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse

### Methoden

- In KORA entwickelte, erprobte und validierte Methoden, zum Teil noch nicht standardisiert oder genormt.
- Keine „Modellierungsmethoden“ (numerische Modelle)  
[Übersicht/Grundlagen in HE Kap. 7](#); [Details in BLF TV7](#)

### Darstellung

Einheitliche Systematik, 2 Seiten pro Methode

- Nachschlagewerk für die Altlastenbearbeitung
- Schneller Überblick über spezifische Methoden  
→ [Weitere Details finden sich in den Leitfäden](#)



## KORA-Methodensammlung zur Untersuchung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse

### Informationen

- Zielsetzung / Kurzbeschreibung des Verfahrensprinzips
- Einsatzbereich / -möglichkeiten
- Aufwand (Zeit, Personen, Kosten)
- Anforderungen an Proben
- Anwendungsbereiche und –grenzen
- Entwicklungsstand / Anbieter / Literatur
- Anwendungsbeispiele (KORA-Projekte) → **Leitfäden**
- Alternative Methoden
- Ansprechpartner



## KORA-Methodensammlung zur Untersuchung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse

### Gliederung der Methoden

- Methoden zur Erkundung (22)**
  - Charakterisierung der Quelle und der Fahne
- Methoden zur Beurteilung des biologischen Abbaus(21)**
  - in Stufe I
  - in Stufe II
- Methoden zur Beurteilung des Rückhalts (6)**
  - in Stufe I
  - in Stufe II
- Methoden zur Beurteilung des Abbaus, Rückhalts und der Transformation (19)**
  - chemisch-analytische Methoden
  - Batch- und Säulenversuche
- Methoden zur Hydrogeologie und Ökotoxikologie (17)**



Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden

## KORA-Methodensammlung - Erkundung

### 1. Methoden zur Erkundung

#### Direct-Push-Techniken:

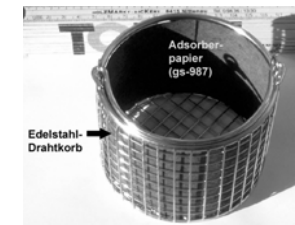
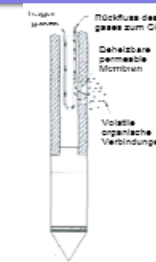
- mit Sonden: z.B. MIP, LIF (1.1.1; 1.1.2)
- mit GW- und Gas-Probennahme (1.1.3, 1.1.4)

#### Pumpversuche:

- Bestimmung der Phasenmobilität bei aufschwimmender Ölphase (1.1.6)
- Immissions-Pumpversuche (1.2.1)

#### Passivsammler-Techniken:

- Passivsammler z. Frachtbest. im GW & Oberflächengewässer „gaiasafe“ (1.2.2)
- Nicht-Gleichgewichts-Passivsammler (PAK, NSO-HET) (1.2.3)
- Keramikdosimeter (PAK, BTEX, LCKW) (1.2.4)



Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden

## KORA-Methodensammlung - Biologischer Abbau

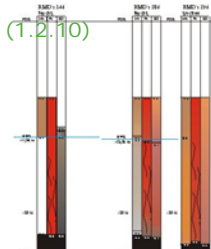
### 2. Methoden zur Beurteilung des biologischen Abbaus

#### Redoxparameter / Keimzahlbestimmung (Stufe I):

- Vertikale Redoxzonenkartierung mit Detektorbändern (1.2.10)
- MPN-Verfahren zur Keimzahlbestimmung (2.1.1)

#### Nachweis von Metaboliten:

- Metaboliten-Nachweis von aromatischen Kohlenwasserstoffen (2.1.2, 2.1.9)
- Quantifizierung von Metaboliten des MTBE (2.2.12)



#### Mikrokosmen (Stufe I und II):

- aerob und anaerob (LCKW-Abbaupotential, Clotethene) (2.2.1a-c)
- Anoerobe Säulenuntersuchungen (2.2.2)
- In-situ-Mikrokosmen (BACTRAP®) (2.2.9)



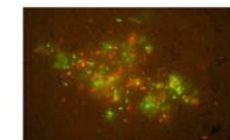
Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden

## KORA-Methodensammlung - Biologischer Abbau

### 2. Methoden zur Beurteilung des biologischen Abbaus

#### Molekularbiologische Methoden:

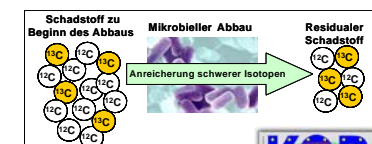
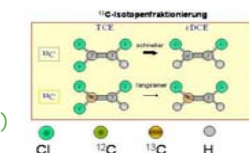
- Real-time PCR-DGGE (2.2.3) (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis)
- In-situ-Fluoreszenz-Sonden (fish) für MTBE-abbauende Bakterien (2.2.10)



Fluoreszenzfärbung (live-dead)

#### Isotopenuntersuchungen:

- <sup>13</sup>C-LCKW-Isotopenverhältnisse (2.2.4)
- <sup>13</sup>C-BTEX/PAK-Isotopenverhältnisse (2.2.5)
- <sup>37</sup>Cl-Isotopenfraktionierung von LCKW (2.2.6)
- <sup>13</sup>C-CO<sub>2</sub>-Isotopenverhältnis im gelösten organischen Kohlenstoff (2.2.7)



Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden

## KORA-Methodensammlung - Rückhalt

### 3. Methoden zur Beurteilung des Rückhalts

#### In Stufe I:

- Sequentielle Extraktionsmethoden (3.1.1, 3.1.3.)
- pH-abhängige Batch-Versuche (3.1.2)



#### In Stufe II:

- Säulenversuche (3.2.1)



Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden

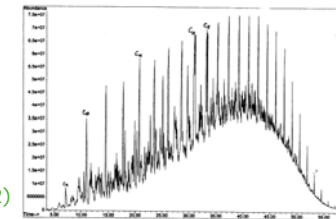


## KORA-Methodensammlung – Abbau, Rückhalt, Transformation

### 4. Methoden zur Beurteilung des Abbaus, Rückhalts und der Transformation

#### Chemisch-Analytische Methoden:

- GC-MS-Fingerprinting (4.1.6)
- HPLC-DAD8-MS)-Analytik für Teeröl-methabolite, (N-HET) (4.1.5)
- Non-Target-Analytik (HPLC-NMR-MS) (4.1.2)



#### Batch- und Säulenversuche:

- Batchversuche zur biotischen und abiotischen Transformation von STV (4.2.1)
- Säulenversuche mit markierten Verbindungen (4.2.10)



Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden

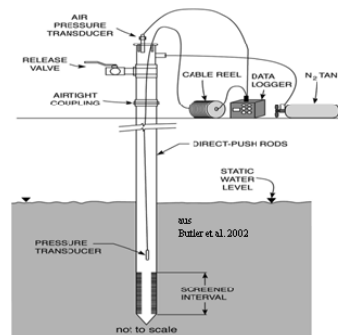


## KORA-Methodensammlung - Hydrogeologie, Ökotoxikologie

### 5. Methoden zur Hydrogeologie und Ökotoxikologie

#### Hydrogeologie / Geologie:

- Direct-Push-Injection-Logging (5.1.1)
- Direct-Push-Slug-Tests (5.1.2)
- Thermischer Flowmeter (5.1.3)
- Diffusivitätstest (5.1.4)



#### Ökotoxikologische Methoden:

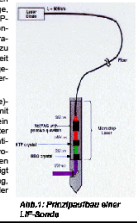
- Feststoffkontakttests zur ökotoxikologischen Bewertung (5.2.3)
- Ökotoxikologische Testmethoden mit Bodeneluat (Algenwachstumshemmtest, Daphnien-, Leuchtbakterientest, ...) (5.2.3)

Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden



## Methodenblätter: Beispiel Direct-Push-LIF-Sondierung

<b>1. Methoden zur Erkundung</b>	
<b>1.1 Charakterisierung der Quelle und der Fahne</b>	<b>1.1.2 Direct-Push-LIF Sondierung bzw. -ROST™ Sondierung</b>
<b>Zielsetzung</b> Tiefenhorizontierte in-situ Detektion von Schadstoffen, insbesondere polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone.	
<b>Kurzbeschreibung der Methode</b> Allgemeines zu DP-Verfahren: Direct-Push wird als Überbegriff für Technologieverfahren verwendet, bei denen Stahlrohre mit Durchmesser von 25 - 50 mm in den Boden gedrückt oder gebohrt werden. Die DP-Verfahren können in der ungesättigten und gesättigten Zone verwendet werden und eignen sich besonders für bindige, sandige und kiesige Sedimente bis zur Mittelkohäsion. DP-Verfahren bieten die Möglichkeit, während der Sondierung kontinuierlich bzw. semi-kontinuierlich erkundungsrelevante Parameter aufzuzeichnen, sowie Gas-Wasser-Bodenproben zu nehmen. Dies sowie die i.d.R. größere Sondiergeschwindigkeit (60 - 200 m/Tag), die räumliche „Beweglichkeit“ und die geringeren Kosten sind die Vorteile der DP-Verfahren gegenüber herkömmlichen Bohrverfahren (Dietrich, 2005). <b>LIF-Sondierung:</b> Bei einer LIF (Laser Induced Fluorescence)- bzw. ROST™ (Rapid Optical Screen Tool)-Sondierung wird mit zwei in Serie geschalteten Lasern Licht im UV-Bereich über ein Glasfaserkabel in die Sonde geleitet und durch ein Saphirfenster ins umgebende Sediment. Insbesondere polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe werden angeregt zu fluoreszieren, wobei Intensität, Dauer und Wellenlängenbereich der emittierenden Fluoreszenz, die online über einen Oszillographen angezeigt wird, Aufschluss geben über die Schadstoffzusammensetzung, den Grad der Kontamination und u.U. über das Vorliegen der Schadstoffe als Phase.	
<b>Einsatzbereich/Aufwand</b> <b>Erfasste(r) Parameter:</b> Fluoreszenz-Intensität einzelner Wellenlängenbereiche bzw. Summenfluoreszenz als Maß für die Kontamination und deren Quasimessung. <b>Messmedium / Einsatzort:</b> Ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Sandige und bindige Lockergesteinsedimente bis ca. 30 m u. GOK. <b>Untersuchungsaufwand:</b> ca. 100 - 120 Sondiermeter / Tag bzw. rund 4250 € / Tag. <b>Ergänzende Untersuchungen:</b> ROST-Sondierungen werden häufig mit CPT-Sondierungen kombiniert.	
<b>Anforderungen an Proben</b> <b>Probenvolumen, Art:</b> Es werden keine Proben genommen, da es sich um eine in-situ Analytik-Methode handelt. <b>Probenlagerung:</b> Es werden keine Proben genommen, da es sich um eine in-situ Analytik-Methode handelt.	



<b>Anwendungsbereich und -grenzen der Methoden</b> <b>Anwendungsbereich:</b> Ungesättigte und gesättigte Bodenzone mit sandigen bis ton-mittelschweren Lockergesteinsedimenten bis ca. 30 m u. GOK. <b>Anwendungsfall in KORA:</b> Projektnummer 1.2: Brand (FKZ: 02WN0302), Projektnummer 1.4b: VMZ Spandau (FKZ: 02WN0432).	<b>Anwendungsgrenze:</b> - Mittel- und grobkörnige Sedimente sowie Festgestein nicht sonderbar. - Semi-quantitative Methode, da die Lithologie / Sediment Einfluss auf die Signalthöhe hat.
<b>Entwicklungsstand/Anwendungsbeispiele</b> <b>Praxistauglichkeit:</b> Ja, wird seit Jahren eingesetzt. <b>Abbieter:</b> Fugro (ROST™) <b>Literatur:</b> Geseman D., Schmitt T., Fauser C. (2006) Untersuchungen von Allstäten - Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von Direct-Push Technologien bei der Altlastenbearbeitung. Altstätten Spalten 2/16:330. Dietrich P., Leven C. (2005) Direct Push Technologies. In: Kirsch R. (ed) Groundwater Geophysics. Springer Verlag, p 321-340.	
<b>Alternative Methoden</b> Direct-Push MF-Sondierung <b>Ansprechpartner:</b> Dr. Anita Peter, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Tel: 0431-800 3917, E-mail: <a href="mailto:anita.peter@paqi.uni-kiel.de">anita.peter@paqi.uni-kiel.de</a>	
<b>Besonderheiten/Hinweise</b> Durch das Messprinzip der LASER-induzierten Fluoreszenz besitzt das Verfahren einen eingeschränkten Anwendungsbereich, der primär auf PAK beschränkt ist.	

Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden



## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 1.1.2 Direct-Push-LIF-Sondierung

#### Zielsetzung:

Tiefenhorizontierte in-situ Detektion von Schadstoffen, insbesondere PAK, in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone.

#### Kurzbeschreibung der Methode:

##### Allgemeines zu DP-Verfahren:

Direct-Push wird als Überbegriff für Technologieverfahren verwendet, bei denen Stahlrohre mit Durchmessern von 25 - 50 mm in den Boden gedrückt oder gehämmert werden. ....

##### LIF-Sondierung:

Bei einer LIF- bzw. ROST™-Sondierung wird mit zwei in Serie geschalteten Lasern Licht im UV-Bereich über ein Glasfaserkabel in die Sonde geleitet und durch ein Saphirfenster ins umgebende Sediment. Insbesondere PAK werden angeregt zu fluoreszieren, .....



## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 1.1.2 Direct-Push-LIF-Sondierung (Fortsetzung)

#### Abbildung:

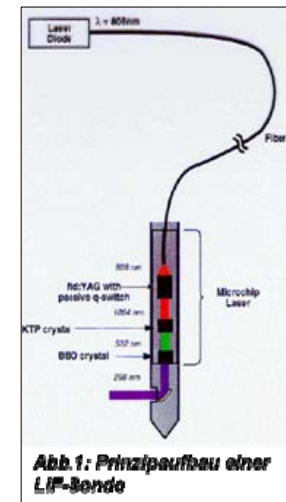


Abb. 1: Prinzipaufbau einer LIF-Sonde



## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 1.1.2 Direct-Push-LIF-Sondierung (Fortsetzung)

#### Einsatzbereich / Aufwand:



#### Erfasste Parameter:

Fluoreszenz-Intensität einzelner Wellenlängenbereiche bzw. Summenfluoreszenz als Maß für die Kontamination und deren Zusammensetzung.

#### Messmedium / Einsatzort:

In-situ Sondierungen in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone.

#### Untersuchungsaufwand:

ca. 100 - 120 Sondiermeter/Tag bzw. rund 4.250,- €/Tag.

#### Ergänzende Untersuchungen:

LIF-Sondierungen werden häufig mit CPT-Sondierungen kombiniert.



## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 1.1.2 Direct-Push-LIF-Sondierung (Fortsetzung)

#### Anforderungen an Proben:



#### Menge, Art:

Keine Probennahme, da In-situ-Analytik-Methode.

#### Probenlagerung:

Keine Probennahme.

#### Anwendungsbereich und -grenzen:

##### Anwendungsbereich:

Ungesättigte und gesättigte Bodenzone mit sandigen bis fein-/mittelkiesigen Lockergesteinssedimenten bis ca. 30 m u.GOK.

##### Anwendungsgrenzen:

Mittel-/grobkiesige Sedimente sowie Festgestein nicht sondierbar.

Semiquantitative Methode, da die Lithologie Einfluss auf die Signalhöhe hat.



## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 1.1.2 Direct-Push-LIF-Sondierung (Fortsetzung)

#### Entwicklungsstand / Anwendungsbeispiele:



#### Praxistauglichkeit:

Praxistauglich. Wird seit Jahren eingesetzt.

#### Anbieter:

z.B. Fugro (ROST™).

#### Anwendung in KORA:

Projektnummer 1.2: Brand (FKZ: 02WN0352),

Projektnummer 1.4b: VMZ Spandau (FKZ: 02WN0432).

#### Literatur:

GERSTNER D., SCHEYTT T., FÄLKER C. (2006) Untersuchungen von Altlasten - Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von Direct-Push Technologien bei der Altlastenbearbeitung. Altlasten Spektrum: 316-330.

DIETRICH P., LEVEN C. (2005) Direct Push Technologies. In: Kirsch R. (ed.) Groundwater Geophysics. Springer Verlag, p. 321-340.



Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden

## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 1.1.2 Direct-Push-LIF-Sondierung (Fortsetzung)



#### Alternative Methoden:

Direct-Push-MIP-Sondierung.

#### Ansprechpartner:

Dr. Anita Peter, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Tel: 0431-880 3917,

E-mail: [anita.peter@gpi.uni-kiel.de](mailto:anita.peter@gpi.uni-kiel.de).

#### Besonderheiten / Hinweise:

Durch das Messprinzip der LASER-induzierten Fluoreszenz besitzt das Verfahren einen eingeschränkten Anwendungsbereich, der primär auf PAK beschränkt ist.



Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden

## Methodenblätter: Beispiel MPN-Verfahren zur Keimzahlbestimmung

### 2. Methoden zur Beurteilung des biologischen Abbaus

#### 2.1 Biologischer Abbau (Stufe I)

##### 2.1.1 MPN-Verfahren zur Keimzahlbestimmung

Zielsetzung: Mikrobiologische Bestandsaufnahme durch Keimzahlbestimmung mittels des Most-Probable-Number Verfahrens.

Kurzbeschreibung der Methode: Die Bestimmung der Keimzahl erfolgt durch die Ermittlung der Verdünnungsstufe, in der noch entwicklungsfähige Keime vorhanden sind. Die speziellen Nährmedien sind selektiv von den vergleichend zu quantifizierenden Mikroorganismen verwertbar. Nach Inkubation der Probensätze wird anhand mikrobieller Wachstumsmerkmale die Anzahl der positiven Röhrenchen pro Verdünnungsstufe festgestellt. Mit Hilfe eines EDV-Programms oder mit Tabellen lässt sich aus dieser Anzahl die wahrscheinlichste Keimzahl, auf Grundlage einer Poisson-Verteilung, in der Probe ermitteln.

Einsatzbereich/Aufwand: Messmedium / Einsatzort: Labormessung mit Standortwasser oder Eluat von Sediment.

Untersuchungsaufwand: 1 - 2 Monate pro Versuch, 40 - 100 € pro Messung.

Ermöglichte Untersuchungen: Abbau in Mikrokosmen, um die Relevanz verschiedener Elektronenakzeptoren und Auxiliarsubstrate für den Abbau spezifischer Schadstoffe zu beurteilen.

Anforderungen an Proben: Art, Probenvolumen: Flüssigkeiten (100 ml), Sedimentproben (100 g)

Probenlagerung: Die Proben sollten möglichst fektfrisch analysiert werden. Die Aufbewahrung muss unter Erhalt der Redoxbedingungen erfolgen. Dabei sollten die Proben gekühlt werden.

Anwendungsbereich und -grenzen der Methoden: Anwendungsbereich: Breite Anwendbarkeit. Da Keimzahlbestimmung dient der vergleichenden mikrobiologischen Charakterisierung eines Standortes bezüglich der Verwitter unterschiedlicher Elektronenakzeptoren (Wachstum mit O<sub>2</sub>, Nitrat, Fe(II), Sulfat bzw. Methanogenen) und der Ermittlung des aeroben Schadstoff-Abbaupotenzials.

Anwendungsbereich: Es existieren kaum Erfahrungen zum Nachweis von Schadstoffwerten unter strikt anaeroben Bedingungen.

#### Entwicklungsstand/Anwendungsbeispiele

Praxistauglichkeit: Praxistauglich

Anbieter: Analytlabore mit Mikrobiologie-Abteilung

Anwendung in KORA: Projektnummer 2.4b: Testfeld Süd (FKZ: 02WN0362) und Projektnummer 3.3b: Karlsruhe-Ost (FKZ: 02WN0374)

Literatur: Swanson M., Hasse L., F., Wilmann P., F., F., F. (1994) A rapid screening method for micro-organisms degrading polycyclic aromatic hydrocarbons in micropiles. Appl. Microbiology Biotechnology, 40: 735-750.

Tiemann A., Schwert K., Stoll C., Müller A., Lorenz S. (2005) Natürlicher mikrobieller Abbau (Natural Attenuation) von COV: Fallbeispiele, Abbaumechanismen und Nachweismethoden. In: Ressourcen- und Grundwasser-schutz, Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser (ISSN 1434-5785), Band 28: 53-73.

Alternative Methoden: Es befinden sich molekularbiologische Methoden in der Entwicklung, die in Zukunft alternativ eingesetzt werden bzw. die MPN-Verfahren ergänzen können.

Ansprechpartner: Dr. Andreas Tiemann, DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Abteilung Umweltbiotechnologie und Altlasten, Karlsruhe Str. 84, 76139 Karlsruhe, Fon: 0721/6678220, Fax: 0721/6678101, [ajtm@tzw.de](mailto:ajtm@tzw.de), [www.tzw.de](http://www.tzw.de)

Besonderheiten/Hinweise: Der Vorteil der MPN-Verfahren liegt in ihrer breiten Anwendbarkeit. Es können z.B. direkt die Keimzahlen für einen bestimmten Schadstoff ermittelt werden, auch wenn die Abbauebenen und Organismen im einzelnen noch nicht bekannt sind und daher keine molekularbiologischen Sonden zur Verfügung stehen. Zur Ermittlung der anaeroben Keimzahlen sind bei Probenahme und Bestimmung zwingend der Ausschluss von Luft und der Erhalt der Redoxbedingungen zu gewährleisten.

Besonderheiten/Hinweise: Der Vorteil der MPN-Verfahren liegt in ihrer breiten Anwendbarkeit. Es können z.B. direkt die Keimzahlen für einen bestimmten Schadstoff ermittelt werden, auch wenn die Abbauebenen und Organismen im einzelnen noch nicht bekannt sind und daher keine molekularbiologischen Sonden zur Verfügung stehen. Zur Ermittlung der anaeroben Keimzahlen sind bei Probenahme und Bestimmung zwingend der Ausschluss von Luft und der Erhalt der Redoxbedingungen zu gewährleisten.



Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden

## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 2.1.1 MPN-Verfahren zur Keimzahlbestimmung

#### Zielsetzung:

Mikrobiologische Bestandsaufnahme durch Keimzahlbestimmung mittels des Most-Probable-Number Verfahrens.

#### Kurzbeschreibung der Methode:

#### Allgemeines zu DP-Verfahren:

Die Bestimmung der Keimzahl erfolgt durch die Ermittlung der Verdünnungsstufe, in der noch entwicklungsfähige Keime vorhanden sind. Die speziellen Nährmedien sind selektiv von den vergleichend zu quantifizierenden Mikroorganismen verwertbar. Nach Inkubation der Probensätze.....

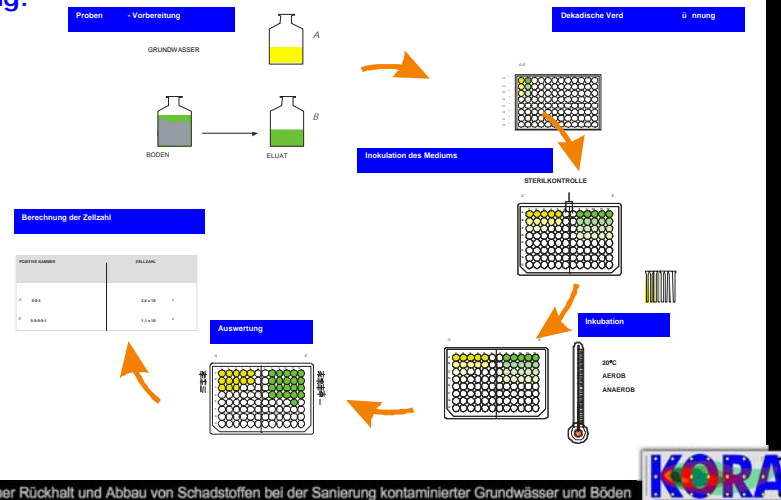


Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden

## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 2.1.1 MPN-Verfahren zur Keimzahlbestimmung

Abbildung:



Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden



## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 2.1.1 MPN-Verfahren zur Keimzahlbestimmung

Einsatzbereich / Aufwand:

Messmedium / Einsatzort:

Labormessung mit Standortwasser oder Eluaten vom Sediment..

Untersuchungsaufwand:

1 - 2 Monate pro Versuch;

40 - 180 € pro Messung.

Ergänzende Untersuchungen:

Abbau in Mikrokosmen, um die Relevanz verschiedener Elektronenakzeptoren und Auxiliarsubstrate für den Abbau spezifischer Schadstoffe zu beurteilen.

Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden



## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 2.1.1 MPN-Verfahren zur Keimzahlbestimmung

Anforderungen an Proben:

Menge, Art:

Flüssigproben (100 ml), Sedimentproben (100 g).

Probenlagerung:

Die Proben sollen möglichst feldfrisch analysiert werden. Die Aufbewahrung muss unter Erhalt der Redoxbedingungen erfolgen. Dabei sollten die Proben gekühlt werden.

Anwendungsbereich und -grenzen:

Anwendungsbereich:

Breite Anwendbarkeit. Die Keimzahlbestimmung dient der vergleichenden mikrobiologischen Charakterisierung eines Standortes bezüglich der Verwerter unterschiedlicher Elektronenakzeptoren (Wachstum mit O<sub>2</sub>, Nitrat, Fe(III), Sulfat bzw. Methanogene) und der Ermittlung des aeroben Schadstoff-Abbaupotenzials.

Anwendungsgrenzen:

Es existieren kaum Erfahrungen zum Nachweis von Schadstoffverwertern unter strikt anaeroben Bedingungen.

Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden



## KORA-Methodensammlung - Beispiel

### 2.1.1 MPN-Verfahren zur Keimzahlbestimmung

Entwicklungsstand / Anwendungsbeispiele:

Praxistauglichkeit:

Praxisreif.

Anbieter:

Analytiklabore mit Mikrobiologie-Abteilung

Anwendung in KORA:

Projektnummer 2.4b: Testfeld Süd (FKZ: 02WN0362)

Projektnummer 3.3b: Karlsruhe-Ost (FKZ: 02WN0374)

Literatur:

STIEBER M., HAESELER F., WERNER P., FRIMMEL F.H. (1994): A rapid screening method for microorganisms degrading polycyclic aromatic hydrocarbons in microplates. Appl. Microbiology Biotechnology, 40: 735-755.

TIEHM A., SCHMIDT K., STOLL C., MÜLLER A., LOHNER S. (2005) Natürlicher mikrobieller Abbau (Natural Attenuation) von CKW: Fallbeispiele, Abbaumechanismen und Nachweismethoden. In: Ressourcen- und Grundwasserschutz, Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser (ISSN 1434-5765), Band 28: 53-73.

Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden





### 2.1.1 MPN-Verfahren zur Keimzahlbestimmung

#### Alternative Methoden:

Es befinden sich molekularbiologische Methoden in der Entwicklung, die in Zukunft alternativ eingesetzt werden bzw. die MPN-Verfahren ergänzen können.

#### Ansprechpartner:

Dr. Andreas Tiehm, DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Abteilung Umweltbiotechnologie und Altlasten, 0721/9678220 E-Mail: [tiehm@tzw.de](mailto:tiehm@tzw.de)

#### Besonderheiten / Hinweise:

Der Vorteil der MPN-Verfahren liegt in ihrer breiten Anwendbarkeit. Es können z.B. direkt die Keimzahlen für einen bestimmten Schadstoff ermittelt werden, auch wenn die Abbauege und Organismen im einzelnen noch nicht bekannt sind und daher keine molekularbiologischen Sonden zur Verfügung stehen.

Zur Ermittlung der anaeroben Keimzahlen sind bei Probenahme und Bestimmung zwingend der Ausschluss von Luft und der Erhalt der Redoxbedingungen zu gewährleisten.



# Danke für Ihr Interesse

# Haben Sie Fragen ??

#### Weitere Informationen:

- Internet: <http://www.natural-attenuation.de>
- Newsletter: <http://www.natural-attenuation.de/News>

