



Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung · VEGAS
Institut für Wasserbau · Universität Stuttgart · Pfaffenwaldring 61 · D-70550 Stuttgart

Universität Stuttgart
Institut für Wasserbau
Wissenschaftlicher Leiter VEGAS
Jürgen Braun, Ph.D. Tel.: 685-67018
Technischer Leiter VEGAS
Dr.-Ing. H.-P. Koschitzky Tel.: 685-64716
Pfaffenwaldring 61, D - 70550 Stuttgart
Telefon +49 (0) 711 685 - 64717
Telefax +49 (0) 711 685 - 67020
E-Mail: vegas@iws.uni-stuttgart.de
www.vegasinfo.de

Wissenschaftlicher Bericht
Nr. 2007/05 (VEG 22)

**Auswertung von Vollzugsfragen zu
Untersuchungs- und Beurteilungs-
strategien in den standortbezogenen
KORA-Projekten
- Abschlussbericht -**

Förderkennzeichen: BMBF: 02WN0756
Projektlaufzeit: 01.04.2006 – 28.02.2007
Auftragnehmer: Institut für Wasserbau, VEGAS, Universität Stuttgart
Projektleiter: Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky
Bearbeiter: Dr. Matthias Stuhmann

April 2007

(Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky)

(Dr. Matthias Stuhmann)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WN0756 gefördert.
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN -	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Auswertung von Vollzugsfragen zu Untersuchungs- und Beurteilungsstrategien in den standortbezogenen KORA-Projekten – Analyse und Auswertung einer Umfrage des Lenkungsausschusses unter besonderer Berücksichtigung des LABO-Positionspapiers		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Stuhmann, Matthias Koschitzky, Hans-Peter	5. Abschlussdatum des Vorhabens 28.02.2007	
	6. Veröffentlichungsdatum -	
	7. Form der Publikation -	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS) Pfaffenwaldring 61 70550 Stuttgart	9. Ber. Nr. Durchführende Institution WB 2007/05 (VEG 22)	
	10. Förderkennzeichen *) 02WN0756	
	11. Seitenzahl 88	
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	12. Literaturangaben 8	
	14. Tabellen 14	
	15. Abbildungen -	
16. Zusätzliche Angaben -		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) KORA-Lenkungsausschuss (Mitglieder aus Ministerien, Behörden und Interessenverbänden)		
18. Kurzfassung In diesem Vorhaben wurde „der Fragebogen des Lenkungsausschusses KORA zu den gewählten Untersuchungs- und Beurteilungsstrategien in den standortbezogenen Projekten“, der im Dezember 2004 an die Manager der Themenverbände verschickt worden war, ausgewertet. Zielsetzung war, die für den Vollzug relevanten Fragen bei der Berücksichtigung von NA im Rahmen der Altlastenbearbeitung herauszuarbeiten und anhand der ausgefüllten Fragebögen zu beantworten. Die Auswertung erfolgte tabellarisch. Branchentypische Unterschiede wurden hierbei herausgearbeitet. Zusätzlich wurden die „Fragen an KORA“ des Altlastenausschusses (ALA) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), sowie das LABO-Positionspapier „Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung“ (Stand: 01.06.2005) berücksichtigt. Die dargestellte Auswertung gibt einen gut strukturierten Überblick zum derzeitigen Entwicklungsstand von Untersuchungs- und Beurteilungsstrategien in den standortbezogenen KORA-Projekten. Hierbei wird aber auch deutlich, dass einige Vollzugsfragen noch nicht hinreichend beantwortet werden können. Ziel der einzelnen Themenverbände sollte es deshalb sein, die erarbeiteten Auswertungsergebnisse in die KORA-Branchenleitfäden und -Handlungsempfehlungen einzuarbeiten und hierbei die noch offenen Vollzugsfragen zu berücksichtigen.		
19. Schlagwörter KORA, Natural Attenuation, Untersuchungsstrategie, Vollzugsfragen, LABO-Positionspapier		
20. Verlag -	21. Preis -	

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN -	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title Analysis of Questions Posed by Enforcement Authorities for Survey and Assessment Strategies of KORA Sites Projects – Interpretation of a Questionnaire Issued by the KORA Steering Committee Taking into Account the LABO Position Paper	
4. author(s) (family name, first name(s)) Stuhrmann, Matthias Koschitzky, Hans-Peter	5. end of project 28.02.2007 6. publication date - 7. form of publication -
8. performing organization(s) (name, address) Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS) Pfaffenwaldring 61 70550 Stuttgart	9. originator's report no. WB 2007/05 (VEG 22) 10. reference no. 02WN0756 11. no. of pages 88
13. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	12. no. of references 8 14. no. of tables 14 15. no. of figures -
16. supplementary notes Part of the BMBF Funding Priority "KORA": "Retention and Degradation Processes to Reduce Contaminations in Groundwater and Soil"	
17. presented at (title, place, date) KORA Steering Committee (members of ministries, authorities and associations)	
18. abstract In this project the "questionnaire of the KORA steering committee for chosen survey and assessment strategies of the KORA site projects", which had been issued in December 2004, was analyzed. The objective of this study was to refine the relevant questions of the enforcement authorities within the management of contaminated sites, taking natural attenuation into account and to answer these questions with the completed questionnaires. The analysis was summarized in table form. Differences and similarities of answers referring to different pollutants typical for a particular industry were identified. In addition the KORA questions of the sub-committee for contaminated soils (ALA) of the German Working Group on Soil Issues (LABO) and the LABO position paper "Consideration of natural attenuation processes when managing contaminated sites" (state: 1 st June, 2005) were taken into account. The presented analysis gives a well structured overview of the current development status of survey and assessment strategies on the KORA sites. At this it became apparent that some of the authority questions cannot be sufficiently answered yet. Therefore the KORA Thematic Networks (TV) should incorporate the compiled results in their individual Guidelines and in the KORA Handbook of Recommendations bearing in mind the authority questions still open.	
19. keywords KORA, natural attenuation, survey strategies, assessment strategies, authorities, LABO position paper	
20. publisher -	21. price -

Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung und Zielsetzung	1
2.	Vorgehensweise	2
2.1	Auswertung der LA-Fragebögen	2
2.1.1	AG „Untersuchungsstrategie“	2
2.1.2	Managertreffen	4
2.2	Berücksichtigung des ALA-Fragenkatalogs.....	4
3.	Ergebnisse.....	6
3.1	Ergebnisse der LA-Fragebogenauswertung.....	6
3.1.1	Allgemeine Standortdaten (0).....	6
3.1.2	Quellencharakterisierung (1).....	6
3.1.3	Fahnencharakterisierung (2).....	8
3.1.4	Nachweis schadstoffmindernder Prozesse (3).....	10
3.1.5	Sanierungsmaßnahmen (4).....	12
3.1.6	Untersuchungs- und Beurteilungsstrategie (5).....	13
3.1.7	Prognose des Fahnenverhaltens (6).....	15
3.1.8	Überwachung und Wirksamkeitsnachweis (7)	16
3.1.9	Akzeptanz (8)	16
3.2	Ergebnisse zur Auswertung des ALA-Fragenkatalogs	18
4.	Diskussion der Ergebnisse unter Berücksichtigung des LABO-Positionspapiers.....	21
5.	Fazit und Ausblick.....	23
	Literatur.....	24
	Anhang I: Tabellen	A-1
	Anhang II: Abkürzungen	A-5
	Anhang III: Auswertetabellen.....	A-8
	Tabelle I: Auswertung der Standortprojekte des TV 1	A-9
	Tabelle II: Auswertung der Standortprojekte des TV 2	A-22
	Tabelle III: Auswertung der Standortprojekte des TV 3	A-33
	Tabelle IV: Auswertung der Standortprojekte des TV 4	A-45
	Tabelle V: Auswertung der Standortprojekte des TV 5.....	A-55

1. Veranlassung und Zielsetzung

Der BMBF-Förderschwerpunkt KORA („Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden“) wurde im Jahr 2002 mit acht Themenverbänden (TV) begonnen und soll Mitte 2008 abgeschlossen werden. TV 1 bis TV 6 befassen sich mit unterschiedlichen branchentypischen Schadstoffen auf 25 Standorten (Tab. 1), während TV 7 und TV 8 die Querschnittsthemen Modellierung (TV 7), Recht (TV 8) und Akzeptanz (TV 8) bearbeiten. Die Themenverbände werden jeweils von einem Themenverbandskoordinator und einem Manager koordiniert, die auch das Bindeglied zum Lenkungsausschuss (LA) und zur Projektübergreifenden Begleitung (PüB) darstellen.

Tab. 1: Branchentypische Themenverbände des Förderschwerpunktes KORA

TV	Branchen / Schadstoffe	Anzahl Standorte
TV 1	Raffinerien, Tanklager / MKW, BTEX, MTBE	6
TV 2	Gaswerke, Kokereien, Teerverarbeitung / PAK, BTEX, Heterozyklen	4
TV 3	Chemische Industrie, Metallverarbeitung / Chlorierte Lösemittel	6
TV 4	Deponien, Altablagerungen / deponiebürtige Schadstoffe	4
TV 5	Rüstungsaltslasten / Nitroaromaten, sprengstofftypische Verbindungen	3
TV 6	Bergbau und Sedimente / Schwermetalle, Sauerwasser, DDT, HCH	2

Der Lenkungsausschuss (LA) für den Förderschwerpunkt KORA, dessen Mitglieder aus Ministerien, Behörden und Interessenverbänden berufen wurden, hat in den Jahren 2003 und 2004 Fragen aus Sicht des Vollzugs zusammengestellt und als „Fragebogen des Lenkungsausschusses KORA zu den gewählten Untersuchungs- und Beurteilungsstrategien in den standortbezogenen Projekten“ zusammengefasst (Anhang I, Tab. 1). Dieser Fragebogen wurde im Dezember 2004 an die Manager der Themenverbände mit der Bitte um Weiterleitung an die Standortbearbeiter und gemeinsame Beantwortung versandt. Rückläufe der beantworteten Fragebögen trafen größtenteils im Laufe des Jahres 2005 bei der Projektübergreifenden Begleitung von KORA (PüB) ein.

Aufgrund des Umfangs der Fragebögen konnten diese nicht von den Behördenvertretern des Lenkungsausschusses selbst ausgewertet werden. Das BMBF war daher bereit, parallel zum Auftrag der KORA PüB (Förderkennzeichen 02WN0336) die Auswertung im Rahmen des Projektes „Stand der Entwicklung von Untersuchungs- und Beurteilungsstrategien in den standortbezogenen KORA-Projekten – Analyse und Auswertung einer Umfrage des Lenkungsausschusses unter besonderer Berücksichtigung des LABO-Positionspapiers“ (Förderkennzeichen 02WN0756) von der Projektübergreifenden Begleitung von KORA (KORA-PüB), VEGAS, Universität Stuttgart durchführen zu lassen.

Der Ad-hoc-Unterausschuss (UA) „Natürliche Schadstoffminderung“ des Altlastenausschusses (ALA) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) hatte im Zuge der Erstellung des LABO-Positionspapiers „Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung“ (LABO, 2005) Bewertungskriterien formuliert, für deren Überprüfung zum damaligen Zeitpunkt teilweise keine praktikablen Nachweis- und Bewertungsverfahren zur Verfügung standen. Der ALA-UA hatte deshalb im November 2004 einen Fragenkatalog an die Mitglieder des BMBF-Förderschwerpunktes KORA übergeben, um die in KORA bereits entwickelten und verwendeten Nachweis- und Bewertungsverfahren und -strategien zum Nachweis natürlicher Schadstoffminderungsprozesse abzufragen. Die ALA-Fragen decken sich zum Teil mit den Vollzugsfragen des LA-Fragebogens, so dass die Fragen beider Fragebögen gemeinsam betrachtet werden.

Die hier dargestellte Auswertung der Fragebögen unter Berücksichtigung der ALA-Fragen kann aber nur einen **Zwischenstand** der Antworten auf die gestellten Vollzugsfragen wiedergeben. Angaben aus dem TV 6 fehlen vollständig, da dessen standortbezogene Projekte zunächst zurückgestellt worden waren und zum Zeitpunkt des Fragebogenversandes gerade erst begonnen wurden. Daher wurden keine Fragebögen an den TV 6 versandt. Endergebnisse zu sämtlichen Themenverbänden werden in den einzelnen Branchenleitfäden sowie in den KORA-Handlungsempfehlungen zu finden sein, die auch Antworten auf die LA-Fragen enthalten werden. Die Veröffentlichung soll voraussichtlich Mitte 2008 erfolgen.

2. Vorgehensweise

2.1 Auswertung der LA-Fragebögen

2.1.1 AG „Untersuchungsstrategie“

Zur Unterstützung der Auswertung der Fragebögen wurde bei der 4. LA-Sitzung am 11.03.2004 ergänzend die AG „Untersuchungsstrategie“ geschaffen (Anhang I, Tab. 3). Das 1. Treffen dieser AG fand am 17.10.2005 statt. Dabei wurden aus den 27 Teilfragen des Fragebogens die wesentlichen Vollzugsfragen identifiziert (Anhang I, Tab. 2) und für die systematische Auswertung zu 8 Fragenkomplexen zusammengefasst (Tab. 2). Jeder Fragenkomplex besteht aus mehreren Teilfragen bzw. -kriterien, die die Grundlage für die tabellarische Auswertung (Anhang III) bildeten.

Beim 2. Treffen der AG „Untersuchungsstrategie“ am 14.06.2006 waren die ersten Auswertungsergebnisse vom TV 3 vorgestellt worden. Beim 3. Treffen der AG am 01.12.2006 wurden die Ergebnisse der TV 1 und TV 2 diskutiert und die Teilkriterien weiter optimiert. Hierbei zeigte sich, dass sich die Ergebnisse aufgrund der großen Standort- und Themenverbundunterschiede nicht sinnvoll als Diagramme visualisieren lassen. Stattdessen stellte sich die nach Themenverbänden getrennte Tabellenform als die am besten geeignete Auswerteform heraus, um die Fülle an Informationen übersichtlich darstellen zu können. Die Auswertetabellen befinden sich im Anhang III.

Einige LA-Fragen wurden in Abstimmung mit der AG hierbei nicht berücksichtigt, da sie zum Zeitpunkt der Befragung nur unzureichend beantwortet werden konnten (z.B. „Kostenaufwand“, „Datenbasis für Gesamtbeurteilung“).

Tab. 2: Fragenkomplexe zur Fragebogen-Auswertung

Nr.	Fragenkomplex
1	<p>Quellencharakterisierung:</p> <p>Wie werden in den KORA-Projekten die vorhandenen Schadstoffmassen in der ungesättigten und gesättigten Zone ermittelt und der Frachtaustrag aus der Quelle (Massenfracht pro Zeiteinheit in einem definierten Querschnitt) bestimmt?</p>
2	<p>Fahnencharakterisierung:</p> <p>Wie werden in den KORA-Projekten die Fahnen abgegrenzt und die Schadstofffrachten ermittelt, Veränderungen der Ausdehnung der Fahnen und Veränderungen der Stoffzusammensetzung und Konzentrationsverteilung in der Fahne erfasst?</p>
3	<p>Nachweis schadstoffmindernder Prozesse:</p> <p>Welche Nachweise werden zur a) qualitativen und b) quantitativen Bestimmung und c) zur Bilanzierung dieser Prozesse in den KORA-Projekten durchgeführt?</p>
4	<p>Sanierungsmaßnahmen:</p> <p>Welche aktiven Sanierungsmaßnahmen wurden oder werden zur Sanierung der Eintragsstelle und/oder der Fahne durchgeführt und mit welchem Ergebnis in Bezug auf die Schadstofffrachten?</p>
5	<p>Untersuchungs- und Beurteilungsstrategie:</p> <p>Welche bevorzugte Vorgehensweise bei der Untersuchung und Beurteilung schadstoffmindernder Prozesse zeichnet sich ab bzw. welche Empfehlungen für innovative Methoden ergeben sich derzeit aus den KORA-Projekten?</p>
6	<p>Prognose des Fahnenverhaltens:</p> <p>Erfolgte in den KORA Projekten anstelle einer Modellierung eine verbal-argumentative Prognose? Wenn ja, wie wurde diese durchgeführt. Welche Modelle wurden in den KORA-Projekten verwendet und welche Parameter mussten hierzu wie ermittelt werden?</p>
7	<p>Überwachung und Wirksamkeitsnachweis:</p> <p>In welchem Umfang, wie häufig und über welchen Zeitraum soll das Monitoring auf den KORA-Projektstandorten erfolgen und in welcher Form soll der Abgleich mit den Prognosewerten erfolgen? Welche Konsequenzen sind vorgesehen, wenn sich die Erwartung aus der Prognose nicht einstellt?</p>
8	<p>Akzeptanz:</p> <p>Inwieweit werden die Anforderungen des Vollzuges an MNA-Konzepte (vgl. LABO-Positionspapier) erfüllt bzw. wie werden die bisherigen Ergebnisse der Projekte im Hinblick auf eine Akzeptanz von MNA durch die zuständige Behörde / den Maßnahmenträger beurteilt?</p>

Während der Auswertung stellte sich auch heraus, dass die Antworten auf die größtenteils offen gehaltenen Fragen des Fragebogens sehr unterschiedlich ausgefallen waren, so dass zu einigen Standorten sehr viel, zu anderen sehr wenig verwertbare Informationen vorlagen. Deshalb wurden für die Auswertung zusätzlich die im Jahr 2005 entstandenen KORA-Veröffentlichungen „Standortkompendium“ (KORA, 2005a) und der Ergebnisband zum „KORA-Statusseminar 2005“ (KORA, 2005b) herangezogen.

2.1.2 Managertreffen

Nach der jeweils nach Themenverbund getrennten Auswertung fanden Treffen bzw. telefonische Besprechungen mit den jeweiligen TV-Managern statt:

- TV 3: Treffen am 13.07.2006 in Kiel
- TV 2: Treffen am 16.11.2006 in Dresden
- TV 1: Treffen am 24.11.2006 in Tübingen
- TV 4: Telefonische Besprechung am 15.01.2007
- TV 5: Telefonische Besprechung am 07.02.2007

Nach Überarbeitung und Ergänzung der Auswertetabellen entsprechend den Angaben der Manager, wurden die Tabellen an die jeweiligen Standortbearbeiter zur endgültigen Plausibilitätsprüfung geschickt. Änderungs- und Ergänzungsvorschläge der Standortbearbeiter wurden ebenfalls in die Auswertetabellen (Anhang III) eingearbeitet.

2.2 Berücksichtigung des ALA-Fragenkatalogs

Zunächst wurden die Fragen des ALA-Fragenkatalogs (Tab. 3) mit denen der Fragebogenauswertung (Fragenkomplexe) verglichen.

Tab. 3: ALA-Fragen an KORA

Zur Betrachtung der Schadstoffquelle:
1. Welche neuen Methoden zur Quellencharakterisierung zeichnen sich ab?
2. Wie kann untersucht werden, in welcher Form die Schadstoffe in der Quelle vorliegen?
3. Wie kann die vorhandene Schadstoffmasse bestimmt werden?
4. Wie kann die Freisetzungsrates aus der Quelle (Masse/Zeit) ermittelt werden?
5. Wie kann ermittelt werden, wie lange die Quelle Schadstoffe nachliefert, wenn keine technischen Maßnahmen zur Reduktion der Masse und/oder der Austragsrate durchgeführt werden (Prognose der Existenz der Quelle)?
Zur Betrachtung der Schadstofffahne:
6. Welche neuen Methoden zur räumlichen Fahnenabgrenzung zeichnen sich ab?

7. Wie können Schadstofffrachten ermittelt werden?
8. Wie und mit welcher Auflösung können die Prozesse „mikrobiologischer Abbau“, „chemische Transformation“, „Sorption“ und „Dispersion“ im Einzelfall im Feld quantitativ ermittelt bzw. abgeschätzt werden? Welche sind die „typischen Prozessparameter“ zur qualitativen Erfassung?
9. Bei welchen Fallgestaltungen sind aufgrund von überschlägigen Stoffbilanzen quantitative Abbaunachweise möglich?
10. Wie und mit welcher Genauigkeit kann die Verdünnung von den übrigen NA-Prozessen unterschieden werden?
11. Wie kann eine Bilanzierung der Prozesse erfolgen?
12. Wie und mit welcher Genauigkeit / Sicherheit kann die „Quasi-Stationarität“ der Fahne nachgewiesen bzw. ermittelt werden?
13. Wie kann das Fahnenverhalten prognostiziert werden? Welche Untersuchungen und Beurteilungen bzw. Modellierungen zur Prognose sind in der Praxis umsetzbar?

Hierbei zeigt sich, dass neun der 13 ALA-Fragen vollständig von den Fragenkomplexen der LA-Fragebogenauswertung abgedeckt werden bzw. bei der Auswertung zusätzlich berücksichtigt wurden. Für vier ALA-Fragen (Nr. 5, 8, 10 und 12) trifft dies teilweise nicht zu, so dass diese gesondert betrachtet werden mussten (siehe Kap. 3.2). Für die Beantwortung dieser Fragen wurden u. a. auch die Ergebnisse des KORA-Arbeitsgesprächs zum Fragenkatalog des ALA-UA vom 12.04.2005 sowie des Experten-Fachgesprächs Natural Attenuation in Leipzig vom 26.09.2005 herangezogen.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der LA-Fragebogenauswertung

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse anhand der Fragenkomplexe (Tab. 2) vorgestellt und diskutiert. Die vollständigen Ergebnisse der Auswertung sind tabellarisch im Anhang III aufgelistet.

3.1.1 Allgemeine Standortdaten (0)

Das Voranstellen allgemeiner Standortdaten dient der groben Übersicht über Art und Ausmaß der Grundwasser- und Bodenverunreinigung und den geologischen Verhältnissen auf den einzelnen KORA-Standorten. Deutlich wird hierbei, dass im Förderschwerpunkt KORA relativ große und komplexe Schadensfälle mit multiplen oder großflächigen Einträgen betrachtet werden. Die Deponie (TV 4)- und Rüstungsstandorte (TV 5) unterscheiden sich zudem von den übrigen Altlastenstandorten der TV 1 - 3, da auf den Erstgenannten meist eine Quellensanierung aufgrund der Masse (Deponien) bzw. diffuser oder großflächiger Belastungen (Rüstungsstandorte) nicht möglich ist und die größtenteils im ungesättigten Bereich liegenden Schadstoffe vielerorts keine kartierbaren Fahnen im Grundwasser ausbilden. Eine NA-Bewertung auf diesen Standorten stellt demnach eine besondere Herausforderung dar.

3.1.2 Quellencharakterisierung (1)

Themenverbundsübergreifend lässt sich feststellen, dass bei den meisten KORA-Standortprojekten die Charakterisierung der Quelle nicht Gegenstand der ursprünglichen F&E-Projekte war. In vielen Fällen werden lediglich die Fahnen betrachtet (sog. „Fahnenprojekte“: z.B. TV 1.1 Leuna, TV 2.2, TV 3.3 Karlsruhe), bei anderen handelt es sich um reine Prozessforschungsprojekte (z.B. TV 3.2 Perleberg). Dieses „Manko“ war bereits 2004 in Verbindung mit dem ALA-Fragenkatalog an KORA thematisiert worden und hatte in einigen Fällen zu zusätzlichen Aufstockungsanträgen zur Quellenbetrachtung geführt. Mittlerweile wurden in einigen Standortprojekten die Quellen näher betrachtet und neue Methoden zur Quellencharakterisierung entwickelt, so dass auch einige Vorgehensweisen wie z.B. **Isotopenuntersuchungen** und verschiedene **Direct-push-Sondiermethoden** mit unterschiedlichen **In-situ-Detektionsverfahren** zur Praxisanwendung empfohlen werden können.

TV 1:

Im TV 1 werden neben den klassischen Boden- und GW-Probennahmen insbesondere **Direct-push-Sondierungen** teilweise mit **ROST** und **MIP** zur Quellencharakterisierung angewendet (TV 1.2, TV 1.4, TV 1.5). ROST ist eine innovative Methode zur Phasendetektion und charakterisiert somit auch die Schadstoffform in der Quelle (vgl. Kap. 2.2 und 3.2, ALA-Frage Nr. 2). Allerdings ist diese Methode nicht zur CKW-Phasendetektion geeignet. Im TV 1.2 wurden außerdem aufbauend auf die Direct-push-Sondiertechnik **1“-GW-Messstellen**

entwickelt, mit denen kostengünstige, tiefendifferenzierte GW-Probennahmen durchgeführt werden können. Des Weiteren werden **Fingerprinting-(Biomarker-), Isotopenuntersuchungen** und **Pumpversuche** (TV 1.3) sowie **Elutionsversuche** (TV 1.3, TV 1.2) zur Untersuchung der Quelle angewendet.

Im ungesättigten Bereich kommen neben den bereits erwähnten Direct-push-Sondierungen mit ROST, MIP und PID auch Boden- und Bodenluftuntersuchungen sowie **Radonmessungen zur Phasenkartierung** (TV 1.5) zum Einsatz.

Eine Schadstoffmassenermittlung wird lediglich im TV 1.2 anhand von über die Tiefe integrierten **Sättigungsprofilen** (ermittelt aus gemessenen scheinbaren Phasenmächtigkeiten, Wasserspannungskurven bzw. Van-Genuchten-Parametern und K_f -Werten) durchgeführt. Residuale Phase (u. a. im GW-Schwankungsbereich) wird hierbei nicht berücksichtigt.

Der Frachtaustrag aus der Quelle wird im TV 1 anhand von Säulen- und Tankexperimenten (TV 1.3, TV 1.2) oder anhand von Fluidsättigungsprofilen (TV 1.2) analytisch oder **numerisch mit Hilfe von MIN3P** (TV 1.2) berechnet. In TV 1.3 wird die Fracht mittels eines Strömungsmodells aus gemessenen Schadstoffkonzentrationen und Pumpversuchergebnissen abgeschätzt.

TV 2:

Bei den Standortprojekten des TV 2 handelt es sich überwiegend um „Fahnenprojekte“. Eine Quellencharakterisierung fand meist bei früheren Erkundungsuntersuchungen (Detailuntersuchungen im Rahmen der Altlastenbearbeitung) mit klassischen Boden- und GW-Probennahmen statt. Zusätzlich werden jedoch auch **Phasenanalysen** (TV 2.5), **Säulenversuche** (TV 2.2), **Isotopenanalysen von $\delta^{13}\text{C}_{\text{Schadstoffe}}$, $\delta^{34}\text{S}^{\text{SO}_4}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$** , (TV 2.3) sowie numerisch basiertes **Fahnenbacktracking** (TV 2.4) durchgeführt.

Im ungesättigten Bereich werden teilweise Boden-, Bodenluft- und Sickerwasserproben entnommen.

Die Schadstoffmasse wird bislang nur in TV 2.5 aus der Quellengeometrie und den Stoffkonzentrationen abgeschätzt.

Der Frachtaustrag aus der Quelle wird über **Immissionspumpversuche** (TV 2.4), GW-Sanierungsbrunnen (TV 2.2) sowie indirekt über quellnahe Kontrollebenen (TV 2.3, TV 2.5) und **Passivsammlertechnik** (TV 2.5) abgeschätzt.

TV 3:

Auch bei den Standortprojekten des TV 3 handelt es sich überwiegend um „Fahnenprojekte“. Eine genauere Quellencharakterisierung im Rahmen von KORA findet lediglich im TV 3.5 mit klassischen GW-Messstellen sowie mit **Direct-push-Sondiertechnik bis 30 m u.GOK** statt. In TV 3.2 wird eine Sekundärquelle mit Hilfe einer neu entwickelten **Direct-push-1“-GW-Messstelle mit Packer-Pumpensystem** und PID-Detektion, sowie für anaerobe Bereiche mit **Direct-push-Double-Tube-Technik** erkundet.

Im ungesättigten Bereich finden an der Haupteintragsstelle des TV 3.6 **Isotopenuntersuchungen** zur Ermittlung der Primärsignatur statt.

Eine Abschätzung der Schadstoffmasse wird lediglich im TV 3.5 anhand tiefendifferenzierter Konzentrationsmessungen durchgeführt.

Eine Frachtaustragsermittlung findet in TV 3.5 mittels analytischer und numerischer Abschätzungen sowie in TV 3.3 anhand von historischen Daten mit Hilfe nicht-reaktiver **Stofftransportmodellierung** statt. Aufgrund von Sicherungsmaßnahmen sind in TV 3.1 (Schadstoffquelle gekapselt) und TV 3.4 (Hauptquelle hydraulisch gesichert) keine Frachtausträge aus der Quelle ermittelbar.

TV 4:

Deponien und Altablagerungen zeichnen sich meist durch sehr große Volumina mit ausgeprägten Heterogenitäten aus. Eine genaue Quellencharakterisierung und Schadstoffmassenermittlung wäre in vielen Fällen sehr aufwändig und nicht unbedingt sinnvoll. Deshalb werden innerhalb des TV 4 auch nur vereinzelt Feststoffuntersuchungen bei Erkundungsbohrungen durchgeführt.

Schadstoffmassen werden auf den Standorten des TV 4 nicht ermittelt.

Eine Frachtaustragsermittlung erfolgt im TV 4.3 mit Ergebnissen tiefendifferenzierter GW-Beprobungen über 3-D-Modellierung des Stofftransports. Mittlerweile ist am Standort des TV 4.3 der Frachtaustrag durch einen Dichtwandbau vollständig unterbunden. In TV 4.1 und 4.2 sind Frachtaustragsermittlungen aufgrund der komplexen Hydrogeologie (mehrere, sehr mächtige GW-Leiter) nicht möglich. Beim Spezialfall der subaquatischen Deponie von TV 4.4 werden Frachten über Spezialbohrungen und spezielle Sammelhaubenbehälter am Seegrund bestimmt.

TV 5:

An Rüstungsalblaststandorten sind die Schadstoffe oftmals heterogen im Oberboden über große Flächen verteilt. Eindeutig abgrenzbare Belastungsschwerpunkte lassen sich vielerorts nicht lokalisieren (vgl. TV 5.1). Im TV 5 werden Untersuchungen v.a. in der ungesättigten Zone z.B. in Form von **Eluat-, Feststoff-, Sickerwasser- und Batchversuchen** durchgeführt (TV 5.2, TV 5.3). Am Standort von TV 5.2 werden zusätzlich Pumpversuche und Packertests angewendet.

Schadstoffmassen werden lediglich am Standort 5.2 mit GIS-basierten Thiessen-Polygonen bilanziert.

Dort finden auch Frachtaustragsabschätzungen aus Eluat- und Sickerwassermessungen mittels einer **GIS-gestützten Transportprognose in der ungesättigten Zone** statt.

3.1.3 Fahnencharakterisierung (2)

Als praktikable Methoden zur Fahnencharakterisierung sind neben der klassischen GW-Probennahme aus GW-Messstellen insbesondere die kostengünstigeren und deshalb flexibler einsetzbaren **Direct-push-Sondierungen** zu nennen. Außerdem stellten sich **tiefendifferenzierte GW-Probennahmen** (z.B. mit Messstellenbündel, -gruppen, oder Multilevelmessstellen mit Packern) als unerlässlich für eine vertikale Lokalisierung der unterschiedli-

chen Reaktionsräume sowie für alle Bilanzierungen und Berechnungen heraus. Als innovative Methoden zur Fahnencharakterisierung kommen u.a. **Redox-Textilfarbbänder**, verschiedene **Passivsammler**, sowie **Immissionspumpversuche** im Einsatz.

Auf einigen Standorten, - insbesondere auf denen des TV 4 und 5 -, waren Fahnen aufgrund von Quellenlage und -eigenschaften, hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (Kluft-GW-Leiter, sehr mächtige Aquifere, Wasserscheiden) oder in Folge von Sicherungsmaßnahmen (Dichtwände, Einspundungen, hydraulische Sicherung) nur eingeschränkt kartierbar.

TV1:

Zur räumlichen Abgrenzung der Fahne werden im TV 1 neben den klassischen GW-Probennahmen die schon erwähnten **Direct-push-Sondierungen** meist in Kombination mit **tiefendifferenzierten Probennahmen** (u.a. mit neu entwickelten Packersystemen (TV1.5)) verwendet.

Frachtabschätzungen erfolgen an **Kontrollebenen** aus tiefenhorizontierten Konzentrationsmessungen, hydraulischen Gradienten und K_f -Wert-Profilen (TV 1.2), sowie aus Pumpversuchergebnissen (TV 1.3) mit Hilfe von **Transportmodellierungen**. Hierzu werden im TV 1.2 K_f -Wert-Profile kontinuierlich über die Tiefe anhand von Direct-push-Sondierungen mit **Injection-logging** und punktuellen **Slugtests** gemessen.

TV 2:

Im TV 2 wird zur Fahnenabgrenzung überwiegend auf klassische Methoden (GW-Probennahmen an GW-Messstellen) zurückgegriffen. In TV 2.4 werden außerdem **Direct-push-Sondierungen** eingesetzt. Die Probennahme erfolgt jeweils **tiefendifferenziert**, am Standort TV 2.2 sogar mit **hoch aufgelösten Multilevel-Messstellen** (Beprobungsabstand bis 2,5 cm). **Heterozyklen** werden an allen TV 2-Standorten bei der Fahnenabgrenzung berücksichtigt.

Die Schadstofffrachtenermittlung des TV 2 beruht im Wesentlichen auf dem **Kontrollebenenkonzept**. Hierzu werden Konzentrationsmessungen oder **Immissionspumpversuche** eingesetzt. Außerdem werden in TV 2.3 und 2.5 **Passivsammler** verwendet.

TV 3:

Auf den Standorten des TV 3 werden die Fahnen im Wesentlichen mit **Direct-push-Sondierungen**, die teils als **1“GW-Messstellen mit Packer-Pumpenkombination** (TV 3.2) oder Doppelpackern (TV 3.5) ausgebaut sind, abgegrenzt. Auf allen Standorten erfolgt die Probennahme **tiefendifferenziert**, u.a. mit Messstellenbündeln, Doppelpackern, mobilen Packersystemen, oder mit speziellen **Multilevel-Probennahmesystemen (MLPS)**.

Die Schadstofffrachten werden an Kontrollebenen über Konzentrationsmessungen mittels Modellierung ermittelt. Zusätzlich kommen **Immissionspumpversuche** (TV 3.5) und **Diffusionsbags** (TV 3.1, 3.3) zum Einsatz.

TV 4:

Im TV 4 werden die Fahnen durch klassische GW-Probennahmen an GW-Messstellen erkundet. Die Probennahme erfolgt jeweils **tiefendifferenziert**. Stofffrachten werden an **Kontrollebenen** mit Hilfe von tiefendifferenzierten Stoffkonzentrations- bzw. **Tracermessungen** (F12 bei TV 4.1) und mit Hilfe eines **3-D-Stofftransportmodells** abgeschätzt.

Deponiefahnen werden im TV 4 stoffspezifisch in Bezug auf Transportgrößen betrachtet. Hierbei wird im TV 4.3 der **Ratio-Ansatz** verfolgt.

TV 5:

Auf den Standorten des TV 5 sind die Kontaminationen heterogen im ungesättigten Bereich verteilt. Primärschadstoffe und deren zahlreiche Metabolite werden vorwiegend bei Niederschlagsereignissen temporär in das Grund- und Oberflächenwasser ausgewaschen. Eine Fahnenabgrenzung wird zusätzlich durch die Hydrogeologie einiger TV 5-Standorte (TV 5.1, 5.2: Kluft-GW-Leiter) erschwert.

Zur räumlichen Abgrenzung einer Fahne greift der TV 5 auf klassische GW-Probennahmen und Pumpversuche an Messstellen zurück. Zusätzlich werden **Passivsammler** eingesetzt. Die Probennahme erfolgt zum Teil **tiefendifferenziert**.

Bei der Vielzahl von Stoffen kann nur für bestimmte, ökotoxikologisch relevante und auch in geringen Mengen nachweisbare STV (meist Metabolite) eine Frachtabschätzung durchgeführt werden. Diese Frachten werden über **Pumpversuche** und **Strombahnauswertungen** mit GW-Analysen oder über Durchflussmessungen an Oberflächenwässern mit **Passivsammlern** ermittelt.

3.1.4 Nachweis schadstoffmindernder Prozesse (3)

Zum Nachweis schadstoffmindernder Prozesse werden in den einzelnen Themenverbänden eine Vielzahl von Methoden angewendet und weiterentwickelt sowie Prozessparameter identifiziert. **Zeitreihenanalysen** sowie die Untersuchung der **Redoxparameter** (Elektronen-Akzeptoren, Redoxpotential) werden an allen KORA-Standorten durchgeführt. Viele Methoden und Prozessparameter sind allerdings schadstoffspezifisch und werden im Folgenden getrennt nach Themenverbänden dargestellt.

TV 1:

Qualitative Nachweismethoden des TV 1 zu NA-Prozessen, insbesondere zum Abbau, bestehen aus **mikrobiologischen Tests** (z.B. **KBE- und MPN-Tests**) sowie **Batch- und Säulenversuchen**. Je nach dem ob es sich um MTBE (TV 1.1) oder MKW und BTEX (TV 1.2 – 1.5) handelt, zeichnen sich Unterschiede bei den Nachweismethoden ab. Molekularbiologische Methoden wie z.B. die **Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH)** kommen ausschließlich beim MTBE-Standort zum Einsatz. Metabolite werden ebenfalls nur am TV 1.1-Standort untersucht. Biomarker-Identifikation mit Hilfe von **Non-Target-Analytik** (Fingerprinting) findet dagegen bislang nur am Standort des TV 1.3 statt.

Die Quantifizierung des Abbaus wird mittels $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenfraktionierungen und spezifischen Fraktionierungsfaktoren (aus Laborversuchen bzw. aus der Literatur) durchgeführt. Bei TV 1.1 werden hierzu spezielle In-situ-Bakterienfallen, sogenannte **Bactraps**[®] mit markierten Verbindungen verwendet. Teilweise wird der Abbau auch mit Hilfe von Batch- und Säulenversuchen abgeschätzt. Eine Übertragung der Ergebnisse auf Feldverhältnisse ist hierbei allerdings problematisch. Am Standort 1.3 wird die **Non-Target-Analytik** (Fingerprinting) auch zum quantitativen Nachweis des Bioabbaus herangezogen. Darüber hinaus werden über die **Bilanzierung verbrauchter Elektronenakzeptoren** (TV 1.2, 1.4, 1.5) sowie der **Bildung abbauspezifischer Quotienten** (TV 1.3) die schadstoffmindernden Prozesse quantitativ ermittelt. Mit Hilfe der **Tracer-Korrekturmethode mit TMB** (TV 1.2, 1.4, 1.5) als konservativem Tracer kann zwischen Abbau- und Verdünnungsprozessen unterschieden werden (vgl. ALA-Fragen Nr. 8 und 10, Kap. 3.2).

Die Bilanzierung der NA-Prozesse wird im TV 1.2 mittels **numerischer Simulation des reaktiven Stofftransports** erreicht.

TV 2:

Der Nachweis der Abbauprozesse im Feld erfolgt im TV 2 weitgehend über "footprints" (Elektronenakzeptoren, Fell, CO_2 , Metaboliten). Aber auch **Isotopie-Effekte** von $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$, $\delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{CO}_2}$ werden hierzu in TV 2.2 und 2.3 analysiert. Redoxzonen werden am Standort TV 2.3 mit **Redox-Textilfarbbändern** (GAIASAFE) näher untersucht.

Batch- und Säulenversuche dienen zur qualitativen und quantitativen Untersuchung der Sorption (TV 2.3) und des Abbaus (TV 2.2, 2.4, 2.5). Die Sorption wird im TV 2.3 zusätzlich über ^{14}C -Isotopenuntersuchungen quantifiziert. Darüber hinaus kommen **Toxizitätsuntersuchungen** (TV 2.4, 2.5) zum Einsatz.

Zur Bilanzierung der einzelnen NA-Prozesse werden neben den Ergebnissen der Säulenversuche bzw. der **On-site-Säulenanlage** (TV 2.5) auch Feldmessungen (Massenbilanzen an Kontrollebenen, Sorptionsparameter) sowie Ergebnisse von **Immissionspumpversuchen** (TV 2.4) verwendet und mit **reaktiven Stofftransportmodellen** simuliert. Die Genauigkeit solcher integralen Bilanzierungen ist begrenzt.

TV 3:

Der qualitative Nachweis der NA-Prozesse wird im TV 3 weitgehend durch **Batch- und Säulenversuche** (Sorption und Abbau), **Isotopenfraktionierungen** (Abbau) und **molekularbiologische Untersuchungen** (Abbau) wie z.B. über **PCR-Nachweise** bzw. **DNA-Sonden** von dechlorierenden Bakterien erbracht. Typische Prozessparameter sind insbesondere die spezifischen **Metabolite** der chlorierten Ethene sowie sämtliche **Redoxparameter**. Letztere wurden zum Teil mit **Redox-Textilfarbbändern** (TV 3.4) kleinräumig charakterisiert.

Zur Quantifizierung der Abbauprozesse werden überwiegend $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -CKW-Isotopenfraktionierungen (mit teilweiser Ermittlung der Fraktionierungsfaktoren im Labor) verwendet. Im TV 3.4 wurde zusätzlich die komponentenspezifische Cl-Isotopenfraktionierung, die sogenannte **Compound specific isotopic analysis (CSIA)** für ausgewählte LCKW neu entwickelt. Eine Bilanzierung der Prozesse erfolgt über **reaktive Transportmodellierung**.

TV 4:

Aufgrund der oft vorherrschenden geohydrochemischen Heterogenität im Abstrom von Alt-
ablagerungen und Deponien („Stoffcocktails“) ist eine Trennung der einzelnen NA-Prozesse
nicht möglich. **Metabolite** werden überwiegend als Summenparameter (**DOC, GC-MS-
Screening, CSB, AOX**) erfasst. Mittels molekularbiologischer Methoden wie **DNA-
Fingerprints** und **DAPI-Färbung** wird im TV 4.1 versucht, den Abbau von den anderen Pro-
zessen zu differenzieren. Im TV 4.3 werden **konservative Tracer** (z.B. Cl-) als Leitparame-
ter für Transport- und Verdünnungsprozesse herangezogen, um so über **Ratio-
Berechnungen (BTSA)** die Verdünnung von den anderen schadstoffmindernden Prozessen
abzugrenzen und zu quantifizieren.

Eine weitere Differenzierung der Prozesse wird in TV 4.2 über **Säulen- und Feldversuche**
mit Modellierung sowie in TV 4.3 mittels **numerischer Modellierung** (SPRING, MODFLOW,
RT3DMS) erreicht.

TV 5:

Im TV 5 wird der Nachweis schadstoffmindernder Prozesse zum einen über eine umfassen-
de **Charakterisierung der STV-Metabolite mit HPLC-DAD, -MS und -NMR** sowie weiterer
Non-Target-Analytik, zum anderen über **Batch-, Säulen- und Großlysimeterversuche**
teilweise mit ¹⁵N- und ¹⁴C-markierten Verbindungen geführt. Säulen- und Großlysimeter-
versuche dienen vor allem der Aufklärung der Abbauwege (Metabolismuster) von Nitro-
aromaten unter bestimmten Milieubedingungen, aber auch zur Untersuchung der Adsorpti-
ons- und Transportprozesse. Im TV 5.6 wird mit ¹⁴C-Tracer-Applikationen im Wurzelraum
von Versuchsbäumen ein weiterer NA-Prozess näher untersucht: die **Dendro-
Remediations-Kapazität** (natürliche Phytosanierung). Nach ersten Ergebnissen sind insbe-
sondere Nadelbäume für die natürliche Verringerung (Phytoextraktion, -stabilisierung) der
auf Rüstungsallaststandorten im Oberboden typischerweise großflächig verteilten STV-
Rückstände gut geeignet.

Eine Prozessquantifizierung wird über **inverse Modellierung** der Batch-, Säulen- und Lysi-
meter-Versuchsergebnisse unter Einbeziehung der Ergebnisse der Isotopenmarkierungs-
versuche erreicht. In TV 5.2 werden die Ergebnisse der inversen Modellierung mit einem **re-
aktiven Transportmodell** verifiziert.

3.1.5 Sanierungsmaßnahmen (4)**TV 1 - 5**

Sanierungsmaßnahmen werden insbesondere bei Schadensfällen der Themenverbünde 1
bis 3 durchgeführt (Tab. 4). Quellensanierungen bestehen vorwiegend aus **Bodenaushub
und Bodenluftabsaugung**, teilweise in Kombination mit **hydraulischer Sanierung** oder
hydraulischer Sanierung bzw. **Phasenabschöpfung** als alleiniger Maßnahme (z.B. TV 1.2).

Fahnensanierungsmaßnahmen werden an Standorten des TV 2 und 3 in Form von klassi-
schem **Pump & Treat** (TV 3.1, 3.3, 3.4) oder **hydraulischen ENA-Maßnahmen** (TV 2.2:
Nitratinfiltration, TV 2.4: O₂- bzw. H₂O₂-Injektion) bewerkstelligt.

Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen auf die Schadstofffrachten in der Fahne sind bei den Kerosinschäden des TV 1.2 und dem Teerölschaden des TV 2.5 bislang nicht erkennbar. Bei den übrigen, (teil-)sanierten Schadensfällen des TV 1 und 3 sind dagegen deutliche Rückgänge der Schadstoffkonzentrationen in der Fahne sowie in einigen Fällen eine **Entkoppelung der Fahne von der Quelle** (TV 1.3, 3.1, 3.4) feststellbar.

Tab. 4: Durchgeführte bzw. geplante Sanierungsmaßnahmen auf den KORA-Standorten

	Quellen(teil)sanierung durchgeführt / geplant	Baubedingter Bodenaushub	nur Fahnen-sanierung	keine aktiven Sanierungsmaßnahmen
TV 1	4	1	1	-
TV 2	3	-	1	-
TV 3	5 + 1*	-	-	-
TV 4	-	-	2 + 1**	1
TV 5	3	-	-	-
Σ	16	1	5	1

*: Standort TV 3.2: ENA-Maßnahme an Sekundärquelle geplant

** : Standort TV 4.4 (subaquatische Deponie), keine Fahnen- sondern Wasserkörpersanierung (Tiefenbelüfter)

An den Standorten des TV 4 werden in der Regel Sicherungs- bzw. Stilllegungsmaßnahmen durchgeführt. Am Standort des TV 4.2 soll allerdings eine ENA-Maßnahme in Form einer O₂-Injektion zur Fahnen-sanierung zum Einsatz kommen.

Bei Rüstungsaltlaststandorten (TV 5), bei denen die Schadstoffe oft heterogen und diffus über weite Flächen verteilt vorliegen, sind aktive Maßnahmen nur eingeschränkt möglich. Feststellbare Schadstoffherde werden durch (Teil-)Aushub entfernt.

Insgesamt betrachtet sind an fast allen KORA-Standorten (22 von 23 Standorten: alle Standorte der TV 1, 2, 3 und 5) aktive Sanierungsmaßnahmen durchgeführt worden bzw. geplant. MNA ist dort nicht als alleinige Maßnahme sondern nur in Kombination mit aktiven Sanierungsmaßnahmen vorgesehen.

Bei Deponien und Altablagerungen (TV 4) mit geringerem Gefahrenpotential wird im Einzelfall auf aktive Maßnahmen verzichtet werden (vgl. TV 4.1).

3.1.6 Untersuchungs- und Beurteilungsstrategie (5)

Welche bevorzugte Vorgehensweise bei der Untersuchung und Beurteilung von NA-Prozessen in den standortbezogenen KORA-Projekten verfolgt wird, hängt im Wesentlichen von den ursprünglichen **Zielstellungen** der jeweiligen F&E-Projekte ab. Diese Zielstellungen erweisen sich bei Gegenüberstellung als sehr unterschiedlich (siehe Anhang III). An einigen Standorten geht es v.a. um die Entwicklung eines neuen ENA-Verfahrens, an anderen werden ganz bestimmte NA-Prozesse im Detail erforscht oder spezielle Nachweismethoden

weiterentwickelt. Die Hoffnung, über die Strategieauswertung der standortbezogenen KORA-Projekte allgemeine Untersuchungs- und Beurteilungsempfehlungen für die „Berücksichtigung von Schadstoffminderungsprozessen bei der Altlastenbearbeitung“ (LABO-Positionspapier, 2005) zu bekommen, kann deshalb nicht erfüllt werden, zumindest nicht im Rahmen dieser Fragebogenauswertung.

In KORA verwendete und weiterentwickelte Methoden zur Abgrenzung der Quelle und der Fahne sowie für den qualitativen und quantitativen Nachweis von NA-Prozessen wurden bereits genannt (siehe oben). Des Weiteren kamen in KORA auch etliche **Methoden zur Untersuchung der Hydrodynamik und Geohydraulik** zum Einsatz. Hierbei sind insbesondere folgende Methoden erwähnenswert:

TV 1:

Im TV 1 werden vorwiegend **Pumpversuche** und **Tracertests**, aber auch **Injection Loggings**, **EC-logs**, **Slug-Tests** und **CPT-Sondierungen** zur hydrogeologischen Untergrunderkundung eingesetzt. Darüber hinaus konnte im TV 1.3 eine neue **Diffusionsmessmethode für Kluft-GW-Leiter** entwickelt werden.

TV 2 und 3:

Zusätzlich werden Messungen mit dem **GW-Fluss-Visualisierungsmesssystem** (GFV bzw. Phrealog) (TV 2, TV 3), dem **Flowmeter** (TV 3) und dem neu entwickelten thermischen Flowmeter, dem sogenannten „**Thermoflow**“ (TV 3) durchgeführt.

TV 4:

Am Standort TV 4.2 werden darüber hinaus unterschiedliche geo-physikalische **Bohrlochmessungen** (SAL, TEMP, GR, FEL, IL) durchgeführt.

TV 5:

Am Standort des TV 5.2 werden mit Hilfe von **speziellen Diffusionszellenversuchen** die effektiven Diffusionskoeffizienten abgeschätzt.

Beispiele für einzelfallspezifische Untersuchungs- und Beurteilungsstrategien finden sich in den Tabellen des Anhangs III. Bewertungsstrategien richten sich im Wesentlichen nach den bereits veröffentlichten, überwiegend länderspezifischen Handlungshilfen (Rügner et al., 2001, HLUG, 2004, Bay. LfW, 2004, ITVA, 2004) . Seit der Veröffentlichung des LABO-Positionspapiers „Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung“ (LABO, 2005) und dessen Anwendungsempfehlung durch die Umweltministerkonferenz im Oktober 2005 orientieren sich auch die KORA-Standortprojekte in zunehmenden Maße an den im LABO-Positionspapier aufgestellten Anwendungskriterien für ein MNA-Konzept. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass Teilergebnisse von KORA bereits in das Positionspapier geflossen sind.

3.1.7 Prognose des Fahrenverhaltens (6)

An 21 der hier analysierten 23 KORA-Standortprojekte erfolgte eine Prognose der NA-Prozesse und des Fahrenverhaltens über **mathematische Modellierungsverfahren**. Ausnahmen sind die Prozessforschungsprojekte in Perleberg (TV 3.2) und Clausthal-Zellerfeld (TV 5.1), in denen aufgrund der speziellen Zielstellungen (Prozessuntersuchung) bislang auch keine verbal-argumentative Prognose erstellt wurde.

TV 1:

Im TV 1 werden als Prognosemodelle vorwiegend numerische 3-D-Strömungs- und Transportmodelle bzw. numerische, reaktive Transportmodelle verwendet. Im Einzelnen sind hier **GeoSys** (Kombination aus **ROCKFLOW** und **TBC**) (TV 1.2), **MODFLOW** mit Koppelung von Transportmodellen wie z.B. **MT3D** (TV 1.1, 1.4) und **MIN3P** (TV1.2) mit Mehrphasenmodell **COMPFLOW** (TV 1.2b) zu nennen. Außerdem wurde in TV 1.3 ein Strömungs- und Transportmodell für geklüftete Geringleiter weiterentwickelt.

TV 2:

Im TV 2.3 erfolgt eine modellgestützte Prognose mit dem Strömungsmodell **SPRING** in Kombination mit dem reaktiven 3-D-Transportmodell **TBC** bzw. durch Vorwärts- und Inversmodellierung u.a. mit **MT3D-IPD**, **SMART**, **PHREEQC-2** und **PHT3D** (TV 2.4).

TV 3:

Im TV 3 wird überwiegend das Strömungsmodell **MODFLOW** mit den Transportmodellen **FEFLOW**, **MT3D**, **GIS-FEFLOW**, **MT3DMS** bzw. mit den reaktiven Transportmodellen **TBC** oder **RT3D** sowie mit dem thermodynamischen Gleichgewichtsmodell **PHT3D** (TV 3.6) gekoppelt. Es kommen aber auch **eigene Weiterentwicklungen** und deterministische und stochastische Ansätze (TV 3.4) zum Einsatz.

TV 4:

An den Standorten des TV 4 werden mit verschiedenen 2D- und 3D-Strömungs- und Transportmodellen, u.a. mit **SPRING** und **RT3DMS** (TV 4.3), modellgestützte Prognosen erstellt. Einen Sonderfall stellt die subaquatische Deponie des TV 4.4 dar. Hier werden ein GW-Strömungsmodell und ein Seeströmungsmodell gekoppelt und mit Dichteströmungs- und Reaktions-Bausteinen zu dem Modellsystem **MODGLUE** erweitert.

TV 5:

Modellgestützte Prognosen werden im TV 5.2 und 5.3 mit dem numerischen 3-D-Strömungs- und Transportmodell **FEFLOW** durchgeführt. Prozesse bzw. Prozessraten werden durch inverse Modellierung im Rahmen der modellgestützten Auswertung der Laborversuche berechnet. Inverse Parameterermittlung erfolgt im TV 5.2 u.a. mit **PhreaqC** im Rahmen der modellgestützten Säulenversuchsauswertung, im TV 5.3 mit dem Simulationsmodell **RICHY**.

Die Anzahl der für die numerischen Modellierungen benötigten Parameter, insbesondere aus Feld- und Laboruntersuchungen, ist sehr groß. Etliche Parameter sind in den Tabellen

des Anhangs III aufgelistet (Die Angaben in den Tabellen erheben hierbei nicht den Anspruch auf Vollständigkeit). Unterschiede zwischen den einzelnen Standortprojekten sind hierbei relativ gering.

3.1.8 Überwachung und Wirksamkeitsnachweis (7)

Art und Umfang der notwendigen Überwachungsmaßnahmen im Rahmen des Langzeitmonitorings, sowie Sanierungszielwerte sind in den einzelnen KORA-Standortprojekten bislang nur in Einzelfällen festgelegt worden (siehe Tabellen im Anhang III).

In welcher Form und in welchen Zeiträumen eine Überprüfung der Prognose stattzufinden hat und welche Konsequenzen vorzusehen sind, falls sich die erwartete Prognose nicht einstellen sollte, kann anhand der bisher vorliegenden Informationen aus den einzelnen KORA-Standortprojekten nicht beantwortet werden. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass diese Fragen nicht Bestandteil der F&E-Projekte sind und jeweils einfallspezifisch von den zuständigen Behörden im Rahmen des Ermessensspielraums zu beantworten sind.

3.1.9 Akzeptanz (8)

Die Anforderungen und die Akzeptanz der Vollzugsbehörden an ein MNA-Konzept richten sich seit Veröffentlichung und UMK-Empfehlung des LABO-Positionspapiers „Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung“ im Oktober 2005 im Wesentlichen nach der Erfüllung der dort aufgestellten Bewertungskriterien. Die Fragebögen des Lenkungsausschusses wurden zu einem Zeitpunkt beantwortet, zu dem das LABO-Positionspapier noch nicht veröffentlicht war und zu dem erst wenige MNA-Konzept-Vorschläge an den KORA-Standorten vorlagen, so dass in den Antworten nur wenige Angaben zu behördlicher Akzeptanz bzw. Nicht-Akzeptanz zu finden sind.

Tab. 5: Behördenakzeptanz an den KORA-Standortprojekten

	MNA akzeptabel	nicht akzeptabel bzw. ENA	noch nicht entschieden	Öffentlich-rechtlicher Vertrag
TV 1	2	3	1	0
TV 2	3	0	1	0
TV 3	4	1	0	1
TV 4	2	1	1	0
TV 5	0	1	2	0

Als Ende 2006 die Fragebogenauswertung den Managern und Standortbearbeitern erneut zur Plausibilitätsprüfung vorgelegt wurde, konnte ein deutlicher Zuwachs an behördlicher

Akzeptanz festgestellt werden (siehe auch Tabellen im Anhang III). Hohe Akzeptanz von Seiten der Behörden findet sich vor allem an Standorten der Themenverbände 2 und 3 (Tab. 5). Geringe Behördenakzeptanz liegt bislang bei den Standortprojekten des TV 5 vor. An der Mehrzahl der TV 1-Standorte wird eine ENA-Strategie verfolgt.

Abschließende Entscheidungen von Seiten der Behörden zur Durchführung eines MNA-Konzeptes liegen mit Ausnahme des öffentlich-rechtlichen Vertrages am Standort TV 3.4 (ausschließlich für gering kontaminierte Fahnen spitze) bislang an keinem KORA-Standort vor.

3.2 Ergebnisse zur Auswertung des ALA-Fragenkatalogs

Von den 13 Fragen des ALA-Unterausschusses „Natürliche Schadstoffminderung“ betreffen fünf Fragen die Schadstoffquellen- und acht die Schadstofffahnenbetrachtung (Tab. 6).

Tab. 6: Vergleich der ALA-Fragen mit den Fragenkomplexen der LA-Fragebogenauswertung

ALA-Fragen an KORA	Fragenkomplexe
Zur Betrachtung der Schadstoffquelle:	
1. Welche neuen Methoden zur Quellencharakterisierung zeichnen sich ab?	(1) Quellencharakterisierung (5) Untersuchungsstrategie
2. Wie kann untersucht werden, in welcher Form die Schadstoffe in der Quelle vorliegen?	(1) Quellencharakterisierung (5) Untersuchungsstrategie
3. Wie kann die vorhandene Schadstoffmasse bestimmt werden?	(1) Quellencharakterisierung
4. Wie kann die Freisetzungsrates aus der Quelle (Masse/Zeit) ermittelt werden?	(1) Quellencharakterisierung
5. <i>Wie kann ermittelt werden, wie lange die Quelle Schadstoffe nachliefert, wenn keine technischen Maßnahmen zur Reduktion der Masse und/oder der Austragsrate durchgeführt werden (Prognose der Existenz der Quelle)?</i>	-
Zur Betrachtung der Schadstofffahne:	
6. Welche neuen Methoden zur räumlichen Fahnenabgrenzung zeichnen sich ab?	(2) Fahnencharakterisierung
7. Wie können Schadstofffrachten ermittelt werden?	(1) Quellencharakterisierung (2) Fahnencharakterisierung
8. <i>Wie und mit welcher Auflösung können die Prozesse „mikrobiologischer Abbau“, „chemische Transformation“, „Sorption“ und „Dispersion“ im Einzelfall im Feld quantitativ ermittelt bzw. abgeschätzt werden? Welche sind die „typischen Prozessparameter“ zur qualitativen Erfassung?</i>	- (3) Nachweis von NA
9. Bei welchen Fallgestaltungen sind aufgrund von überschlägigen Stoffbilanzen quantitative Abbaunachweise möglich?	(3) Nachweis von NA
10. <i>Wie und mit welcher Genauigkeit kann die Verdünnung von den übrigen NA-Prozessen unterschieden werden?</i>	- (3) Nachweis von NA
11. Wie kann eine Bilanzierung der Prozesse erfolgen?	(3) Nachweis von NA
12. <i>Wie und mit welcher Genauigkeit / Sicherheit kann die „Quasi-Stationarität“ der Fahne nachgewiesen bzw. ermittelt werden?</i>	-
13. Wie kann das Fahnenverhalten prognostiziert werden? Welche Untersuchungen und Beurteilungen bzw. Modellierungen zur Prognose sind in der Praxis umsetzbar?	(6) Prognose Fahnenverhalten (-)

Die Fragen Nr. 1 - 4, 6 - 7, 9, 11 und 13 werden vollständig von den Fragenkomplexen der LA-Fragebogenauswertung abgedeckt bzw. wurden zusätzlich bei der Fragebogenauswertung berücksichtigt. Für die ALA-Fragen Nr. 5, 8, 10 und 12 trifft dies teilweise nicht zu (kursive Formatierung in Tab. 6):

Frage 5:

Wie kann ermittelt werden, wie lange die Quelle Schadstoffe nachliefert, wenn keine technischen Maßnahmen zur Reduktion der Masse und/oder der Austragsrate durchgeführt werden (Prognose der Existenz der Quelle)?

Diese Fragestellung wird in den einzelnen KORA-Standortprojekten nicht behandelt, da auf den Standorten Methodenentwicklungen und Prozessforschung im Vordergrund stehen und zudem auf fast allen KORA-Standorten technische Maßnahmen zur Schadstoffreduktion oder Quellensicherung durchgeführt werden bzw. wurden (vgl. hierzu auch Kap. 3.1.5). Eine Ausnahme stellt TV 1.2 dar. Dort wird mit Hilfe eines **expliziten Differenzenverfahrens** basierend auf analytischen Berechnungen von Fluidsättigungsprofilen und Berechnungen von Massenflüssen über das Raoult'sche Gesetz Quellenemissionen als Funktion der Zeit prognostiziert (Huntley & Beckett, 2002). Die genaue Bestimmung der Schadstoffmasse ist allerdings oft schwierig, so dass die Prognose der Existenz der Quelle mit großen Unsicherheiten behaftet sein kann.

Im Themenverbund 7 (Modellierung, Prognose) werden zusätzlich Instrumente (z.B. „**Virtueller Aquifer**“) entwickelt, mit denen man solche Szenarien rechnen bzw. prognostizieren kann, sofern eine ausreichende Datengrundlage zur Schadstoffquellencharakterisierung vorliegt. Innerhalb dieser komplexen Fragestellung wird es allerdings auch noch nach Abschluss des KORA-Förderschwerpunktes weiteren Forschungsbedarf geben.

Fragen 8 und 10:

Wie und mit welcher Auflösung können die Prozesse „mikrobiologischer Abbau“, „chemische Transformation“, „Sorptions“ und „Dispersion“ im Einzelfall im Feld quantitativ ermittelt bzw. abgeschätzt werden? ... Wie und mit welcher Genauigkeit kann die Verdünnung von den übrigen NA-Prozessen unterschieden werden?

Die durch die LA-Fragebogenauswertung nicht abgedeckten Teilfragen (kursiv) betreffen insbesondere die Präzision bei der Quantifizierung der einzelnen NA-Teilprozesse. Eine Unterscheidung und Quantifizierung der Prozesse erfolgt in den KORA-Standortprojekten u.a. über Isotopenfraktionierungen, Isotopensignaturen der Abbauprodukte, molekularbiologische Methoden (Unterscheidung zwischen mikrobiologischem Abbau und chemischer Transformation), über Ermittlung des Elektronenakzeptorverbrauchs im Vergleich zu einem konservativen Tracer (Unterscheidung zwischen biologischem Abbau und Dispersion), über Laborversuche (Sorptions) und über Tracerversuche (Verdünnung). Im TV 4.3 wird mit den ABC-Ratio-Ansätzen (BTSA-Ansätzen) zwischen Dispersion und den übrigen, wirklich reaktiven NA-Prozessen unterschieden.

Prozessraten werden überwiegend mit Hilfe von Modellierungen berechnet. Hierbei besteht die Möglichkeit, die Genauigkeit bzw. die Fehler mit Sensitivitätsanalysen und inversen Mo-

dellierungen zu quantifizieren. Die Genauigkeit und Auflösung der Prozessraten ist wesentlich von der Qualität der gemessenen Daten abhängig. Auch hier ist abzusehen, dass nach Abschluss des Förderschwerpunktes KORA noch Fragen offen bleiben und es noch weiteren Forschungsbedarf geben wird.

Frage 12:

Wie und mit welcher Genauigkeit / Sicherheit kann die „Quasi-Stationarität“ der Fahne nachgewiesen bzw. ermittelt werden?

Eine gesicherte Aussage über die Quasi-Stationarität einer Fahne kann nur dann getroffen werden, wenn langjährige Messreihen von einer Vielzahl von GW-Messstellen im Fahnenbereich vorliegen, die einen deutlichen Trend in Richtung Stationarität bzw. Fahnenreduktion aufzeigen. Zeitliche Schwankungen und Veränderungen der hydraulischen Bedingungen (z.B. temporäre GW-Entnahmen oder GW-Absenkungen aufgrund von Baumaßnahmen) können die Genauigkeit und Sicherheit solcher Aussagen stark einschränken. Oft erschweren zusätzlich komplexe Schadensquellen (Überlagerung mehrerer Fahnen) und komplexe hydrogeologische Untergrundverhältnisse eine gesicherte Aussage. Sind dagegen Instationaritäten der Hydraulik genau bekannt, können diese in ein Modell umgesetzt und so die Prognosesicherheit des Fahnenverhaltens gesteigert werden.

4. Diskussion der Ergebnisse unter Berücksichtigung des LABO-Positionspapiers

Die in der Auswertung der Vollzugsfragen aufgestellten Fragenkomplexe gründen teilweise auf den im LABO-Positionspapier (LABO, 2005) genannten **Voraussetzungen für ein MNA-Konzept**:

1. Quellensanierung wurde durchgeführt
2. Frachtreduzierende NA-Prozesse übertreffen verdünnende Prozesse
3. ausreichende Datenbasis zur Prognose des Fahnenverhaltens vorhanden
4. Quasi-Stationarität der Fahne wurde prognostiziert

Zu 1:

Quellen(teil)sanierungen sind an 16 von 23 betrachteten KORA-Standorten durchgeführt worden bzw. geplant (siehe **Fragenkomplex 4** „Sanierungsmaßnahmen“, Tab. 4 in Kap. 3.1.5). Um eine effektive Quellensanierung durchführen zu können, muss die Lage der Schadstoffquelle genau bekannt sein. Für die Berücksichtigung von NA-Prozessen sind insbesondere auch die verbleibenden Restbelastungen und die von diesen ausgehenden Schadstofffrachten von entscheidender Bedeutung. In **Fragenkomplex 1** „Quellencharakterisierung“ wurde der Frage nachgegangen, mit welchen Methoden die Schadstoffkonzentrationen, -massen und die -frachten in den einzelnen KORA-Standortprojekten bestimmt werden. Die Ergebnisse sind in Kap. 3.1.2 dargestellt.

Festzuhalten bleibt, dass die Quellenbetrachtung in einigen KORA-Standortprojekten etwas kurz gekommen ist, da deren Fokus auf den Schadstofffahnen („Fahnenprojekte“) oder den einzelnen NA-Prozessen lag („Prozessforschungsprojekte“). Mittlerweile werden jedoch auf den meisten Standorten die Quellen näher untersucht. Einige Methoden zur Quellencharakterisierung wurden und werden in KORA-Projekten weiterentwickelt, wie z.B. spezielle Sondiertechniken, Isotopenanalysen und verschiedene Phasendetektionsmethoden. Trotzdem besteht weiterhin Forschungs- und Entwicklungsbedarf insbesondere für weitere Methoden zur Phasenkartierung (z.B. für CKW) und zur Emissionsabschätzung.

Zu 2:

Die in den KORA-Standortprojekten verwendeten Methoden zum qualitativen und quantitativen Nachweis schadstoffmindernder Prozesse sind unter dem Fragenkomplex 3 „Nachweis schadstoffmindernder Prozesse“ (Kap. 3.1.4) zusammengefasst. Die Problematik der genauen Quantifizierung der Einzelprozesse wurde außerdem in Kap. 3.2 (ALA-Fragen 8 und 10) diskutiert. Eine Differenzierung der einzelnen NA-Prozesse ist insbesondere im Abstrom von Deponien und Rüstungsaltslasten kaum möglich. Trotzdem können auch dort mit ABC-Ratio-Ansätzen bzw. inerten Tracern die frachtreduzierenden von den verdünnenden Tracern unterschieden werden. Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist aber auch in diesem Bereich vorhanden.

Zu 3:

In fast allen betrachteten KORA-Standortprojekten (21 von 23) erfolgte eine Prognose des Fahnenverhaltens mit Hilfe numerischer Modellierungsverfahren (**Fragenkomplex 6**, Kap. 3.1.7). Hierzu sind umfangreiche Datenreihen und Parameterermittlungen notwendig. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass es sich um Forschungs- und Entwicklungsprojekte handelt. Im Rahmen der üblichen Altlastenbearbeitung wird ein so großer Aufwand oft nicht möglich sein. Effizientere Prognosewerkzeuge für die numerische Simulation des reaktiven Schadstofftransportes werden derzeit im TV 7.3 entwickelt.

Zu 4:

Mit welchen Methoden die Schadstofffahnen in den KORA-Standortprojekten untersucht werden, sind in Kap. 3.1.3 (**Fragenkomplex 2** „Fahnencharakterisierung“) zusammengestellt. Der gesicherte Nachweis der Quasi-Stationarität einer Fahne wird in Kap. 3.2 (ALA-Frage 12) diskutiert. Die Prognosesicherheit bei instationären Grundwasserströmungsverhältnissen kann über Modellierungsverfahren gesteigert werden.

Des weiteren enthält das LABO-Positionspapier (LABO, 2005) folgende Regelungsbestandteile für ein MNA-Konzept:

- a) Festlegung nachprüfbarer Zielvorgaben in Raum und Zeit auf Basis der Prognose
- b) Festlegung von Überwachungsmaßnahmen (MNA) und Berichtspflichten
- c) Vorbehalt weiterer Maßnahmen bei Abweichung der Prognose

Zu diesen Punkten liegen in den KORA-Standortprojekten bislang nur wenige Informationen vor (siehe **Fragenkomplex 7** „Überwachung und Wirksamkeitsnachweis“, Kap. 3.1.8). Diese Themen sind nicht Bestandteil der F&E-Standortprojekte und sind jeweils einzelfallspezifisch noch von den zuständigen Behörden im Rahmen des Ermessensspielraums zu bearbeiten.

5. Fazit und Ausblick

Die dargestellte Auswertung und Analyse des Fragebogens des KORA-Lenkungsausschusses sowie die zusätzliche Betrachtung der ALA-Fragen geben einen gut strukturierten Überblick zum derzeitigen Entwicklungsstand von Untersuchungs- und Beurteilungsstrategien in den standortbezogenen KORA-Projekten. Unterschiede zwischen den nach Branchen bzw. Schadstoffen getrennten Themenverbänden werden dadurch ebenso deutlich, wie auch Gemeinsamkeiten.

Insbesondere bei den Untersuchungsstrategien zur „Quellencharakterisierung“, „Fahnencharakterisierung“ und zum „Nachweis schadstoffmindernder Prozesse“ zeigt sich, dass innerhalb des Förderschwerpunktes KORA durch Neu- und Weiterentwicklungen spezieller Untersuchungsmethoden präzise Antworten auf Vollzugsfragen geliefert werden können. Zu nennen sind hier u.a. ausgeklügelte Isotopenuntersuchungen, differenzierte molekularbiologische Methoden sowie spezielle Modellierungsverfahren. Diese Methoden werden ausführlich in den Branchenleitfäden und als Übersicht in der Methodensammlung der KORA-Handlungsempfehlungen beschrieben werden.

Die tabellarische Auswertung anhand der ausgewiesenen Fragenkomplexe macht aber auch deutlich, dass einige Vollzugsfragen - insbesondere hinsichtlich der Beurteilungsstrategien - noch nicht hinreichend beantwortet werden können und daher einige Lücken in den Auswertetabellen existieren, die einer weiteren Betrachtung in den Themenverbänden bedürfen.

Ziel der einzelnen Themenverbände sollte es deshalb sein, die gemeinsam mit den Managern und Standortbearbeitern erarbeiteten Auswertungsergebnisse in die Branchenleitfäden einzuarbeiten und hierbei zu versuchen, die noch offenen Vollzugsfragen zu berücksichtigen.

Darüber hinaus sollen die Ergebnisse der Auswertung auch in die KORA-Handlungsempfehlungen fließen.

Literatur

- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2004): Natürliche Schadstoffminderung bei Grundwasserverunreinigungen durch Altlasten und schädliche Bodenverunreinigungen - Natural Attenuation, LfW-Merkblatt Nr. 3.8/3 vom 05.11.2004.
- HLUG (2004): Arbeitshilfe zu überwachten natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen im Grundwasser (Monitored Natural Attenuation MNA), Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Handbuch Altlasten Band 8, Teil 1.
- Huntley, D., Beckett, G.D. (2002): Persistence of LNAPL source: relationship between risk reduction and LNAPL recovery. *Journal of Contaminant Hydrology* 59: 3 - 26.
- ITVA (2004): Monitored Natural Attenuation. Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V., Berlin, ITVA-Arbeitshilfe - H1-12, Stand Dezember 2004.
- KORA (2005a): Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden. Statusseminar 2005, DECHEMA e.V., Frankfurt, <http://www.natural-attenuation.de>.
- KORA (2005b): Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen bei der Sanierung kontaminierter Grundwässer und Böden. Standortkompendium, Stand November 2005, DECHEMA e.V., Frankfurt, <http://www.natural-attenuation.de>.
- LABO (2005): Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung - Positionspapier des Ad-hoc Unterausschusses "Natural Attenuation" des Ständigen Ausschusses Altlasten (ALA) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), Stand 01.06.2005.
- Rügner, H., Teutsch G., Grathwohl, P., Kohler, W. (2001): Natural Attenuation organischer Schadstoffe im Grundwasser - Stand der Technik, Methoden zur Implementierung; Schriftenreihe altlastenforum Baden-Württemberg e.V., Heft 5, Schweizerbart, Stuttgart.

Anhang I: Tabellen

Tab. 1: Fragebogen des Lenkungsausschusses KORA (27 Teilfragen)

1 Standortverhältnisse und durchgeführte Untersuchungen	
1.1 Standortcharakteristik	
1.1.1	Allgemeine kurze Beschreibung des Standortes
1.1.2	Kurzbeschreibung der Untersuchungen zur Abgrenzung der Eintragsstellen von Schadstoffen in den Boden und das Grundwasser
1.1.3	Kurzbeschreibung der Untersuchungen zur Abgrenzung von Verunreinigungenfahnen in der gesättigten Bodenzone und im Grundwasser
1.1.4	Zusammenfassung und zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsergebnisse
1.2 Durchgeführte Untersuchungen	
1.2.1	Auf welche der unter 1. beschriebenen Boden- und Grundwasserverunreinigungen bezieht sich das Forschungsprojekt?
1.2.2	Aus welchen Untersuchungen ergaben sich Indizien für natürliche Abbau- und Rückhalteprozesse?
1.2.3	Fanden oder finden Veränderungen a) der Schadstoffausbreitung über die Fahnenränder oder b) der Schadstoffverteilung innerhalb der Schadstofffahne statt?
1.2.4	Welche Untersuchungen zur Frachtaberschätzung im Bereich der Quelle (Emission aus der Quelle) und der Fahne wurden oder werden durchgeführt?
1.2.5	Welche Untersuchungen wurden oder werden zur Identifikation von NA-Prozessen durchgeführt?
1.2.6	Welche maßgebenden Schadstoffminderungsprozesse wurden festgestellt?
1.2.7	Welche Untersuchungen wurden oder werden durchgeführt, um die Zonen der Verunreinigung abzugrenzen, in denen NA-Prozesse stattfinden (Reaktionsräume)?
1.2.8	Welche Untersuchungen wurden oder werden durchgeführt, um die festgestellten Prozesse quantitativ abzuschätzen?
1.2.9	Welche der durchgeführten Untersuchungen werden rückblickend für verzichtbar angesehen?
1.2.10	Welche Untersuchungen würden Sie nach jetzigem Kenntnisstand ergänzend zum vorgesehenen Untersuchungskonzept durchführen?
1.2.11	Welchen Kostenaufwand erforderten die NA-spezifischen Untersuchungen?
2 Bewertung	
2.1 Beurteilung und GW-Qualitätsziele	
2.1.1	Auf Basis welcher Daten erfolgt(e) die abschließende Gesamtbeurteilung der Grundwasserverunreinigung einschließlich natürlicher Abbau- und Rückhalteprozesse?
2.1.2	Wie und auf Basis welcher Informationen wurden oder werden die festgestellten NA-Prozesse quantifiziert und bilanziert?
2.1.3	Welche Grundwasser-(Sanierungs-)zielwerte wurden für die Bereiche der Eintragsstellen und die Fahne festgelegt und in welchem Zeitraum sind sie zu erreichen und zu unterschreiten?
2.1.4	Haben sich bereits jetzt aus Sicht des Maßnahmenträgers und/oder der Behörde Argumente für oder gegen die Akzeptanz einer (M)NA-Strategie ergeben?

(Fortsetzung Tab. 1)

2.2 Prognose/Modellierung	
2.2.1	Wie und auf Basis welcher Informationen wurde oder wird eine Prognose der NA-Prozesse durchgeführt?
2.2.2	Welche konkreten Anforderungen werden bzw. wurden an eine Modellierung gestellt?
2.2.3	Welcher Art war oder ist die durchgeführte bzw. durchzuführende Modellierung und welche Felddaten, Laboruntersuchungsergebnisse und
2.3 Sanierung	
2.3.1	Wurden oder werden aktive Sanierungsmaßnahmen im Bereich der Eintragsstelle und der Fahne durchgeführt?
2.3.2	Warum wurde im vorliegenden Fall für den betreffenden Bereich auf eine aktive Grundwasser-sanierung verzichtet und welche Gründe spielten dabei die maßgebende Rolle?
3 Überwachung und Auswertung der Monitoring-Ergebnisse	
3.1	Welche oder wie viele Messstellen sollen wie häufig auf welchen Parameterumfang untersucht werden?
3.2	Wie und in welchen Zeiträumen soll eine Überprüfung der prognostizierten und der im Rahmen der Überwachung tatsächlich ermittelten Werte erfolgen?
3.3	Über welchen Zeitraum ist auf Grundlage der Prognose ein Monitoring erforderlich?
4 Weitere Anmerkungen des Bearbeiters	

Tab. 2: Zuweisung der 27 Teilfragen des LA-Fragebogens zu Fragenkomplexen

LA-Fragebogen	Fragenkomplexe
1.1 Standortcharakteristik	
1.1.1 Allg. kurze Beschreibung des Standortes	(0) Allgemeine Standortdaten
1.1.2 Untersuchungen zur Quellenabgrenzung	(1) Quellencharakterisierung
1.1.3 Untersuchungen zur Fahnenabgrenzung	(2) Fahnencharakterisierung
1.1.4 Zusammenfassung und zusammenfassende Bewertung	(0) Allgemeine Standortdaten (8) Akzeptanz
1.2 Durchgeführte Untersuchungen	
1.2.1 Welche Boden- u. GW-Verunreinigungen?	(0) Allgemeine Standortdaten
1.2.2 Welche Untersuchungen für NA-Indizien?	(3) Nachweis von NA (qualitativ)
1.2.3 Veränderungen der Schadstoffverteilung?	(2) Fahnencharakterisierung
1.2.4 Welche Untersuchungen zur Frachtab-schätzung aus der Quelle und der Fahne?	(1) Quellencharakterisierung (2) Fahnencharakterisierung
1.2.5 Welche Untersuchungen für NA-Prozesse?	(3) Nachweis von NA (qualitativ)
1.2.6 Welche NA-Prozesse maßgebend?	(3) Nachweis von NA (Indizien)
1.2.7 Welche Untersuchungen für Abgrenzung?	(3) Nachweis von NA (qualitativ)
1.2.8 Welche Untersuchungen für Quantifizierung?	(3) Nachweis von NA (quantitativ)
1.2.9 Welche Untersuchungen verzichtbar?	(5) Untersuchungsstrategien
1.2.10 Welche Untersuchungen ergänzend?	(5) Untersuchungsstrategien
1.2.11 Welcher NA-spezifische Kostenaufwand?	-
2.1 Beurteilung und GW-Qualitätsziele	
2.1.1 Welche Datenbasis für Gesamtbeurteilung?	-
2.1.2 Welche Datenbasis für Bilanzierung der NA-Prozesse?	(3) Nachweis von NA (quantitativ)
2.1.3 Welche Sanierungszielwerte, Zeitraum?	(7) Überwachung (Monitoring)
2.1.4 Akzeptanz Behörde/Maßnahmenträger?	(8) Akzeptanz
2.2 Prognose/Modellierung	
2.2.1 Wie Prognose der NA-Prozesse durchgeführt?	(6) Prognose Fahnenverhalten
2.2.2 Welche Anforderungen an Modellierung?	-
2.2.3 Welche Modellierart, welche Parameter?	(6) Prognose Fahnenverhalten
2.3 Sanierung	
2.3.1 Quellen- und Fahnensanierung?	(4) Sanierungs-/Sicherungsmaßnahmen
2.3.2 Warum Verzicht auf Sanierungsmaßnahmen?	(4) Sanierungs-/Sicherungsmaßnahmen
3 Überwachung und Auswertung	
3.1 Wie viele MS, wie häufig, Parameterumfang?	(7) Überwachung (Monitoring)
3.2 Wie und wann Überprüfung der Prognose?	(7) Überwachung (Monitoring)
3.3 Wie lange ist ein Monitoring erforderlich?	(7) Überwachung (Monitoring)

Tab. 3: Mitglieder der AG „Untersuchungsstrategie“

Name	Institution
Herr Dr. Volker Franzius	Umweltbundesamt, Dessau
Herr Michael Odensaß	Landesumweltamt NRW, Essen
Herr Peter Börke	Technische Universität, Dresden
Herr Gottfried Schellartz	Stadtverwaltung Düsseldorf
Frau Dr. Inge Bantz	Stadtverwaltung Düsseldorf
Herr Dr. Jochen Michels	DECHEMA, Frankfurt
Herr Christopher Frey	DECHEMA, Frankfurt
Herr Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky	VEGAS, IWS, Universität Stuttgart
Herr Dr. Matthias Stuhmann	VEGAS, IWS, Universität Stuttgart

Anhang II: Abkürzungen

AOX:	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
DOC:	Dissolved organic carbon
DNBS:	Dinitro-Benzoesäure
DNT:	Dinitrotoluol (eigentlich Dinitromethylbenzen)
BTSA:	Breakthrough state analysis
BTEX:	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (leichtflüchtige, aromatische KW)
cDCE:	Cis-1,2-Dichlorethen
CKW:	Chlorierte Kohlenwasserstoffe
CPT:	Cone penetrameter testing: Drucksondiertechnik zur Untersuchung der Lithologie (Aufzeichnung des Spitzendrucks und der Mantelreibung)
CSB:	Chemischer Sauerstoffbedarf
DAPI:	6-Diamidino-2-Phenylindol (DAPI) ist ein DNA-spezifischer Fluoreszenz-Farbstoff
DCA:	Dichlorethan
DCE:	Dichlorethen
DNAPL:	Dense nonaqueous phase liquids (schwere organische Phasen)
DNT:	Dinitrotoluol
DOC:	Dissolved organic carbon = gelöster organischer Kohlenstoff
DU:	Detailuntersuchung im Rahmen der Altlastenerkundung
Eh:	Redox-Potential
ENA:	Enhanced natural attenuation (in-situ-Sanierungsmaßnahme)
EPA:	Environmental Protection Agency = US-amerikanische Umweltbehörde
F 12:	Dichlordifluormethan, ein Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW)
FEL:	Widerstandsmessung, fokussiertes Elektrik-Log bei der Bohrlochmessung
FOC:	Organikgehalt im Boden
F&E:	Forschung und Entwicklung
GC:	Gas-Chromatographie
GC-MS:	Gas-Chromatographie mit Massenspektrometer-Detektion
GFV:	Grundwasser-Fluss-Visualisierungs-Messsystem, Einbohrloch-Messverfahren
GR:	Gamma-Ray-Log bei der Bohrlochmessung

GW:	Grundwasser
GZB:	Grundwasserzirkulationsbrunnen
HMX:	Sprengstoff Cyclotetramethylentetranitramin (= Oktogen)
IL:	Widerstandsmessung, Inductions-Log bei der Bohrlochmessung
ISRT:	In-situ-Respirationstest
KBE:	Koloniebildende Einheit
K _d :	Verteilungskoeffizient bei der Sorption
KE:	Kontrollebene
K _f :	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
KOC:	Auf den Organikgehalt im Boden bezogener Verteilungskoeffizient
KOC	= K _d /FOC
KW:	Kohlenwasserstoffe
LCKW:	Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe
LF:	Elektrische Leitfähigkeit
LHKW:	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
LIF:	Laser-induced fluorescence (laserinduzierte Fluoreszenzmessung)
LNAPL:	Light nonaqueous phase liquids (leichte organische Phasen)
MKW:	Mineralölkohlenwasserstoffe
MIP:	Membrane Interphase Probe zur Erfassung leicht bis mittelflüchtiger Substanzen (VOC)
MLPS:	Multilevelprobenahmesystem
MS:	Messstelle
MTBE:	Methyl-tertiär-Butylether
NA:	Natural Attenuation (natürlicher Rückhalt und Abbau von Schadstoffen)
ne:	Effektive Porosität
NLfB:	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
NTL:	Tanklager Niedergörsdorf
NSO-HET:	Heterozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bei denen im Ring ein oder mehrere C-Atome durch N-, S- oder O-Atome ersetzt sind (NSO-PAK)
PAK:	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCE:	Perchlorethen bzw. Tetrachlorethen
PCR:	Polymerase chain reaction = Polymerase-Kettenreaktion
PID:	Photoionisationsdetektor

QS:	Qualitätssicherung
RDX:	Sprengstoff Cyclotrimethylentrinitramin bzw. Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin (= Hexogen)
RKS:	Rammkernsondierung
ROST:	Rapid optical screening tool, beruht auf dem Prinzip der laserinduzierten Fluoreszenzspektroskopie (LIF)
SAK ₂₅₄ :	Spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm zur Messung gelöster organischer Verbindungen (DOC)
SAL:	Leitfähigkeits-Log bei der Bohrlochmessung
SSCP:	Single Strand Conformation Polymorphism zur genetischen Untersuchung bakterieller Gemeinschaften
STV:	Sprengstoff-typische Verbindungen
TCA:	Trichlorethan
TCE:	Trichlorethen
tDCE:	Trans-1,2-Dichlorethen
TIC:	Total inorganic carbon = gesamter anorganischer Kohlenstoff
TMB:	Trimethyl-Benzol
TMP:	Temperatur-Log bei der Bohrlochmessung
TNB:	Trinitrobenzol
TNT:	Trinitrotoluol (eigentlich 2,4,6-Trinitromethylbenzen)
TOC:	Total organic carbon = gesamter organischer Kohlenstoff
TVO:	Trinkwasserverordnung
VC:	Vinylchlorid
VOC:	Volatile organic compounds = leichtflüchtige organische Verbindungen
WHG:	Wasserhaushaltsgesetz

Anhang III: Auswertetabellen

- Tabelle I: Auswertung der Standortprojekte des TV 1
- Tabelle II: Auswertung der Standortprojekte des TV 2
- Tabelle III: Auswertung der Standortprojekte des TV 3
- Tabelle IV: Auswertung der Standortprojekte des TV 4
- Tabelle V: Auswertung der Standortprojekte des TV 5

Tabelle I: Auswertung der Standortprojekte des TV 1

	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Allgemeine Standortdaten (0)						
Schadstoffe	MTBE (MKW, BTEX)	Kerosin (BTEX, MKW, Trimethylbenzole, Ethyltoluole, Propylbenzole, ...)	Kerosin (BTEX, MKW, Trimethylbenzole, Ethyltoluole, Propylbenzole, ...)	BTEX (v.a. Benzol), MKW, PAK	BTEX (MKW)	MKW, BTEX
Co-Kontaminanten	Ammonium	-	-	LHKW	PAK, Phenole, LHKW	Nitrat, Ammonium, Sulfat
Eintragstellen	multiple Einträge, relativ geschlossener Mineralöl- Phasenkörper	großflächig auf- schwimmende Kero- sinphase	2 Schadensherde: NTL1: Residualsät- tigung im Kapillar- saum, NTL2: aufschwim- mende Phase	multiple Einträge	mehrere Einträge: Tanklager, Teerdestillation, Havarien	mehrere Einträge: Produktions-, Verlade-, Tankanlagen, Düngemittelfabrik
Fahnenlänge [m]	MTBE: ca. 2000 BTEX: ca. 300	< 100 1,3,5-TMB > 100 (bezogen auf 1 µg/l-Isolinie)	ca. 40 bis 160 1,3,5-TMB: 100 bis 150 (bezogen auf 1 µg/l-Isolinie)	MKW, PAK: ca. 160	BTEX: ca. 250	mehrere 100
Fahnenbreite [m]	MTBE: mehrere 100	650	NTL1: 50 bis 70 NTL 2: 200 bis 250	ca. 100 (150)	BTEX: ca. 80	mehrere 100
Flurabstand [m]	4 bis 7	9 bis 12	NTL1: 18 bis 20 NTL2: 15 bis 18	3 bis 23	2 bis 3	4 bis 6,5
K_r-Wert	4*10 ⁻⁴ bis 3*10 ⁻³ m/s	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵ m/s (Sande); < 10 ⁻⁵ m/s (Schluffe)	10 ⁻⁵ m/s	dunkelrote Mergel: ca. 2 *10 ⁻⁵ m/s Bochinger Horizont: ca. 1*10 ⁻⁴ m/s	ca. 5*10 ⁻⁴ m/s	1,5*10 ⁻³ - 8*10 ⁻⁶ m/s
Abstandsgeschwindigkeit	0,3 bis 1 m/d	10er m/a	wenige 10er m/a	d.r. Mergel: ca. 2 bis 18 m/d Boch. Hor.: ca. 10 bis 95 m/d	25 m/a	10 - 300 m/a

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Aquifermächtigkeit [m]	3 bis 4	100 (GW-Leiter-Komplex)	5 bis 12	Quartär: 3 bis 9, D.r. Mergel: 5 bis 15 Boch. Hor.: 0,5 bis 2	11	15 bis 20
Belastungstiefe [m u.GOK]	4 bis 8	12 bis 22	NTL1: 20 bis 24 NTL2: 19 bis 23	Primärschaden: ca. 10	1 bis 11 (1. GWL), Eintragsbereich: oberflächennah, abstromig: tiefer	bis 15
Untersuchungsraumgröße	Standortmodell: 30 km ² , For- schungsbauwerk: 4500 m ²	400.000 m ²	NTL1: 400.000 m ² NTL2: 90.000 m ²	Schaden: 9.000 m ² , hydrogeologisches Untersuchungsge- biet: ca. 15 ha	23.000 m ²	2600 m ² (Testfelder) Firmengelände : 940 ha
Zahl genutzter Messstellen	74 von 104, davon 20 im Forschungs- bauwerk (15 Multi- level MS)	GW-/Phasenstände: 79 (50 direct push 1" MS) GW-Analysen: 55 (40 direct push) Monitoring: steht noch nicht fest, < 55 MS	NTL1: GW-/Phasen- stände: 30 (10 di- rect push-ML-MS; 2 direct push 1"-MS); GW-Analysen: 20 NTL2: GW-/Phasen- stände: 45 von 81; GW-Analysen: 39 (20 direct push-MS)	ca. 86 von insge- samt 124 GW-MS	46 von 52 (12 MS-Gruppen)	35 1" GW-MS von insgesamt 560 MS
Quellencharakterisierung (1)						
Untersuchungen im gesättigten Bereich des Schadensherdes	Rammkernsondierungen, 200 GW-MS (frühere Arbeiten)	adaptive direct push-Sondierungen mit LIF (ROST) und MIP, tiefendifferenzierte 1"-direct-push-GW-MS, Kerosinanalysen, Entnahme von Standortmaterial für Säulenversuche (Elutionsversuche)	adaptive direct push-Sondierungen mit GW- und Boden-Probenahme und -analytik, tiefendifferenzierte 1"-direct-push-GW-MS, Kerosinanalysen, Entnahme von Standortmaterial für 2D- und Säulenversuche	Pumpversuche zur Phasenmobilität, GW-Analysen, Fingerprinting (Biomarker), Isotopenanalysen, Entnahme von Standortmaterial für Säulenversuche	LIF-(ROST-) und MIP-Sondierungen, Pumpversuche, GW-Analysen, Rasterbeprobung (RKS)	direct push-Sondierungen mit GW- und Boden-Analysen

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Untersuchungen im ungesättigten Bereich des Schadensherdes	keine Relevanz für die Projektziele (Fahnenprojekt), Quellensanierung noch vorgesehen	Direct push-Sondierungen mit ROST und MIP, Bodenprobenahme und Analytik	Bodenluftuntersuchungen mit direct push (PID)	Sickerwasserproben, Festsubstanz, Säulenversuche, Fingerprinting (Biomarker), Isotopenanalysen	Boden- und Bodenluftuntersuchungen	Radonmessungen zur Phasenkartierung
Schadstoffmassenermittlung	keine Relevanz für die Projektziele (Fahnenprojekt), Quellensanierung noch vorgesehen	analytische Berechnungen über LNAPL – Sättigungsprofilen (aus direkten Feldmessungen)	analytische Berechnungen über LNAPL - Sättigungsprofilen (Messung von scheinbaren Phasenmächtigkeiten und Ermittlung von Van Genuchten-u.a. Bodenparametern)	nur im Rahmen des Bodenaushubs, nicht für verbliebene Restbelastungen durchgeführt (Fahnenprojekt)	bis dato keine Massenermittlung	keine Massenermittlung
Frachtaustragsermittlung (Massenfracht pro Zeiteinheit in einem definierten Querschnitt)	keine	numerische Berechnung der Emission anhand von Fluidsättigungsprofilen sowie aus Säulenexperimenten (MIN3P)	NTL 1: analytische Berechnung von Fluidsättigungsprofilen und Berechnung der Massenf Flüsse über Raoult-sches Gesetz und numerische Berechnung mit MIN3P. NTL 2: numerische Berechnung der Kerosin-ausbreitung und der Emission (Mehrphasenmodell COMPFLOW); 2D-Tankexperimente mit Kerosin-pools	Berechnung aus Bodeneluaten (Säulenversuche), Sickerwasserproben, Berechnungen aus Pumpversuchen an Kontrollebenen	Strömungsmodellierung mit ermittelten Schadstoffkonzentrationen und Ergebnissen aus Pumpversuchen und Siebanalysen (K_f -Werte)	keine Frachtaustragsermittlung

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Fahnencharakterisierung (2)						
Horizontale und vertikale Abgrenzung der Fahne	104 GW-MS, davon 15 Multilevel-MS	55 GW-MS von 79 (40 direct push 1"-GW-MS, 15 konventionelle MS), 2 MS-Gruppen	NTL 1: 20 von 30 GW-MS (2 direct push MS), 10 direct-push-MS-Bündel NTL 2: 39 von 81 GW-MS (20 direct push 1"GW-MS), 3 direct push-MS-Bündel, 2 MS-Bündel	43 GW-MS im 1. GW-Leiter (d.r. Mergel), 29 GW-MS im 2. GW-Leiter (Boch. Hor.), keine weitere vertikale Abgrenzung (relevante Belastungen nur in oberen GW-Leitern)	19 GW-MS, davon 6 MS-Gruppen	35 direct push 1"-MS von insgesamt 560 MS, durchgehend geschlitz und in Kontrollebenen angeordnet
Schadstofffrachtenermittlung	Frachtabschätzung (mit Modellierung) an Kontrollebenen	Frachtabschätzung aus tiefenhorizontierten Konzentrationsmessungen, hydr. Gradienten und K _f -Profilen (direct push mit Injection-Logging und punktuellen Slug-tests)	Frachtabschätzung aus tiefenhorizontierten Konzentrationsmessungen, hydr. Gradienten und K _f -Profilen (direct push mit Injection-Logging und punktuellen Slug-tests)	Frachtabschätzung aus Pumpversuchen an Kontrollebenen, Transportmodellierung	keine Schadstofffrachtenermittlung	geplant
Nachweis NA-Prozesse (3)						
qualitativer Nachweis						
Zeitreihenanalysen	ja	bedingt (Zeitreihen liegen nur für MS im Herdbereich, MS in der Fahne gibt es erst seit Projektbeginn, d.h. bisher nur 2 Probenahmen)	bedingt (längere Zeitreihen nur für MS im Herdbereich, in der Fahne wenige MS, die Konzentrationen > 0 µg/L aufweisen)	ja	ja	ja
Metabolite	Metabolite von MTBE: Tertiärbutanol (TBA), Tertiärbutylformiat (TBF)	nein	nein	Metabolite von LHKW: cis-1,2-, trans-1,2-Dichlorethen, VC	nein	nein

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Redoxparameter, e⁻-Akzeptoren	ja	ja	ja	ja	ja	ja
molekularbiologische Untersuchungen	Charakterisierung MTBE-abbauender Isolate, Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FisH)	ja, aber außerhalb des KORA-Projektes	nein	nein	nein	nein
Batchansätze	nein	Bestimmung der Abbaubarkeit von BTEX, Nachweis der Bioverfügbarkeit von FeIII, Bestimmung von amorphem FeIII	nein	nein	ja, zum Nachweis des Abbaus unter Zugabe von NO ₃ ⁻	Ermittlung der limitierenden Faktoren, seriell betriebene Batch-Anlage zur Ermittlung der Abbauparameter
Säulenversuche	Abbauexperimente unter aeroben und denitrifizierenden Bedingungen	nein, nicht zum Nachweis von NA	nein, nicht zum Nachweis von NA	nein	Abbauexperimente (anaerob/aerob) unter Zugabe von NO ₃ ⁻	Abbauexperimente (anaerob) unter Zugabe von NO ₃ ⁻ ; Bestimmung des Schadstoffaustragsverhaltens (verfügbares Schadstoffpotential), Ermittlung der Elutionsraten
Sonstiges	Verfolgung der Gesamtkeimzahl von Denitrifikanten, Nitrifikanten und Sulfatreduzierern	Bestimmung der Bioverfügbarkeit und der Gesamtoxidationskapazität von Fe III, Quantifizierung der Eisenreduktion	Titerbestimmungen zum Nachweis von Kerosinabbauenden Bakterienpopulationen, Bioventing-Versuch, in-situ-Respirationstests (ISRT)	Fingerprinting von Biomarkern	MPN- und KBE-Tests, Anreicherungen von Mikroorganismen	Bestimmung von Zellpopulationen: KBE-Tests (bei 20° und 37°C)

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Indizien für NA	Redoxverhältnisse, Metabolitenspektren, Isotopenfraktionierung, MTBE-Fahne scheinbar stabil	e ⁻ -Akzeptoren- und Metabolitenspektren, relative Anreicherung von TMB, Phasensättigung und -mobilität nehmen allerdings noch zu	e ⁻ -Akzeptoren- und Metabolitenspektren, relative Anreicherung von TMB, NTL2: Phasensättigung und -mobilität nehmen allerdings noch zu	BTEX: sehr kurze Fahne, PAK: Metabolitenspektrum und GC-MS-Fingerprinting: Abbau weit fortgeschritten, LHKW: Metabolite	Redoxverhältnisse, Rückgang der e ⁻ -Akzeptor-Konzentrationen, Entstehung von metabolischen Nebenprodukten, Rückgang der Schadstoffkonzentrationen v.a. in Randbereichen, quasi-stationäre Fahne	Redoxverhältnisse, Rückgang der e ⁻ -Akzeptor-Konzentrationen, Konzentrationsänderungen von BTEX, Sulfat, Nitrat, Ammonium, Eisen und Mangan entlang der Fließrichtung
quantitativer Nachweis						
Batchansätze	ja, für kinetische Parameter	Bestimmung von Abbauraten für BTEX	nein	nein	ja, zur Quantifizierung des Abbaus	nein
Säulenversuche	nein	nein	nein	nein	ja, zur Quantifizierung des Abbaus	geplant
Isotopenuntersuchungen	¹³ C/ ¹² C: Fraktionierung im Feld mit Bactraps	¹³ C/ ¹² C: Fraktionierung zur Quantifizierung des biologischen Abbaus	nur NTL1: ¹³ C/ ¹² C: Fraktionierung zur Quantifizierung des biologischen Abbaus	¹³ C/ ¹² C: Fraktionierung von LHKW	nein (¹³ C/ ¹² C-Fraktionierung geplant)	¹³ C/ ¹² C: Fraktionierung geplant
Sonstiges	Versuche in Labor-aquifer-Modellen und in der Feldversuchsanlage (Forschungsbauwerk)	Abbauraten (Tracer-Korrekturmethode mit TMB) und Volatilisierung aus Felddaten, Bilanzierung verbrauchter e ⁻ -Akzeptoren, Koc(foc) - Bestimmung aus Bodenproben (Sorptions)	Abbauraten (Tracer-Korrekturmethode mit TMB) und Volatilisierung aus Felddaten, Bilanzierung verbrauchter e ⁻ -Akzeptoren, Koc(foc)-Bestimmung aus Bodenproben (Sorptions)	GC-MS-Fingerprinting: abbauspezifische Quotienten z.B. Chrysen zu Phenanthren	Stoffspezifische Abbauraten aus Felddaten: Tracer-Korrekturmethode mit TMB, Methode nach Buschek & Alcantar	Stoffspezifische Abbauraten (fließpfadbezogen) aus Felddaten: Tracer-Korrekturmethode mit TMB (für Benzol nicht anwendbar)

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Quantifizierung / Bilanzierung	Berechnungen anhand Abbau-Charakteristika des Feldversuchs (Forschungsbauwerk)	Quantifizierung der Prozesse NAPL-Lösung, Advektion, Dispersion, Abbau und Volatilisierung aus Feld- und Laboraten, numerische Simulation des reaktiven Stofftransports	Quantifizierung der Prozesse NAPL-Lösung, Advektion, Dispersion, Abbau und Volatilisierung aus Feld- und Laboraten, numerische Simulation des reaktiven Stofftransports	Massenbilanzierung (Emissionsmessungen) an Quelle und entlang der Fahne an Kontrollebenen	Quantifizierung aus Feld- und Laboraten mit Hilfe eines Strömungsmodells, Bilanzierung des e ⁻ -Akzeptorverbrauchs (Gesamtoxidationsleistung)	Bilanzierung der e ⁻ -Akzeptorverbrauchs (Gesamtoxidationsleistung)
Sanierungsmaßnahmen (4)						
Quellensanierung	Quellensanierung (Bodenaushub, GW-Reinigung mit Strippung) und Sicherung (Einspundung der Haupteintragsstelle)	Phasenabschöpfung und Bodenluftabsaugung seit 2002 an 12 Brunnen	NTL1: Phasenabschöpfung 1998-99 an zwei Brunnen NTL2: Phasenabschöpfung 1998-2002 an 12 Brunnen	Aushubsanierung (63.500 t) 2001-02, Abstomsicherung an 5 GW-MS von 1998-2003, Bauwerksdrainage am Fahnenanfang (Fassung und Behandlung) seit 2003	Bodenaushub in ausgewählten Bereichen bzw. baubedingt	keine, nur baubedingter Bodenaushub
Fahnensanierung	Schutzbrunnen	keine	keine	keine	keine	Abwehrbrunnenanlage
Auswirkung der Maßnahmen	keine Angaben	vermutlich mäßige Effizienz auf Emission in das GW, gute Effizienz im Sinne der Schadstoffmassenreduzierung und damit der Schadensherdlebensdauer	NTL1: sehr geringe Effizienz, deshalb Einstellung der Phasenabschöpfung nach < 1 Jahr NTL2: abnehmende Effizienz im Sinne fallender Förderraten im Laufe der Zeit	Entkoppelung Quelle/Fahne	Reduzierung des Schadstoffpotentials	weitere Ausbreitung im Abstrom wird verhindert

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Untersuchungs- und Beurteilungs-Strategie (5)						
Ziele der Forschungs- vorhaben	Entwicklung einer ENA-Strategie für MTBE, Entwicklung und Validierung von Konditionierungsbauelementen, Untersuchung und Optimierung der Abbaumechanismen	Beurteilung und Bewertung von NA, Langzeitprognose der GW-Gefährdung und des Fahrenverhaltens, Strategien zur kosten-effektiven Langzeitüberwachung	NTL1: Beurteilung und Bewertung von NA, Überprüfung der Möglichkeiten zur ENA-Anwendung, Quantifizierung des aeroben Abbaus NTL2: Beurteilung und Bewertung von NA, Untersuchung der Auswirkung von Ölabschöpfungsmaßnahmen auf die Emission	Entwicklung geeigneter Erkundungsmethoden (bevorzugte Wegsamkeiten, repräsentative GW-Probennahme) und quantitative Prozessbeschreibung (Stofftransport) in einem heterogenen Klutgesteins-GWL, reaktive Transportmodellierung zur quantitativen Prozessbeschreibung und	Entwicklung eines einfachen und kostengünstigen ENA-Verfahrens für MKW- und BTEX-belastete Standorte, Erarbeitung einer übertragbaren Handlungsanweisung für andere MKW- und BTEX-belastete Standorte	Entwicklung von ENA-Strategien als kostengünstige Sicherungs- bzw. Sanierungsvarianten an Raffineriestandorten, Entwicklung eines Monitoring-Ansatzes für die Langzeitüberwachung von MNA- und ENA-Maßnahmen
Untersuchungsstrategien	Einzelfallentscheidung, abhängig von Zielstellungen, Standortgegebenheiten, Schadensart, Komplexität und betroffene Rezeptoren					
Strategie (Vorgehensweise, z.B. gestuftes Vorgehen, Reihenfolge)	Aufbau eines reaktiven Transportmodells im Forschungsbauwerk,	(tabellarische Auflistung nicht möglich)	(tabellarische Auflistung nicht möglich)	gestuftes Vorgehen: I: Wissenschaftliche Begleitung der Schadensherdsanierung	Qualitative Bewertung zur grundsätzlichen Machbarkeit von (E)NA anhand von Altdaten,	Aufarbeitung Altdaten, Auswahl Testfeld, Radonuntersuchungen, großräumige direct push-Sondierungen mit GW-Probennahme

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Strategie (Fortsetzung)	Überführung der Resultate in die Standortmodellierung			II: Ergänzende Erkundung an bestehenden GW-MS III: Erkundung des NA-Reaktionsraumes mit neuen Messstellen IV: Bewertung und Ableitung von Empfehlungen	GW-Monitoring, Direct Push-Sondierung, parallel: quantitative Bewertung anhand von Laboruntersuchungen	(gleitende Projektierung), Erstellung Strukturmodell, Strömungsmodell, erste Transportmodellierung für Auslegung der Kontrollräume, Prozessidentifikation, Isotopenuntersuchung, Errichtung Messstellennetz, Tracerversuche ...
Verwendete Untersuchungsmethoden:						
direct push	nein	ja, mit ROST, MIP und Messstellenausbau, adaptive Vorgehensweise	ja, GW-, Boden- und Bodenluftprobenahme und Messstellenausbau, adaptive Vorgehensweise	nein	mit MIP und LIF	ja, mit gleitender Projektierung
tiefendifferenzierte Probennahme	ja	ja	ja	nein	ja (MS-Gruppen)	ja, mit selbstentwickeltem Packersystem
Isotopenuntersuchungen	ja	ja	ja	ja	nein (geplant)	geplant
Untersuchungen zur Hydrodynamik / Geohydraulik	geohydraulische und geoelektrische Methoden	Injection Logging, EC-logs, Slug Tests, CPT-Sondierungen, Schichtenverzeichnisse, GW-Standsdaten, Siebanalysen, Permeameterversuche	Injection Logging, EC-logs, Slug Tests, CPT-Sondierungen, Schichtenverzeichnisse, GW-Standsdaten, Siebanalysen, Wasserspannungskurven	Pumpversuche, Diffusivitätsmethode für Kluff-GWL neu entwickelt, Markierungsversuche	Pumpversuche, Auswertung von Wasserstandsdaten, Strömungsmodellierung, (Tracertest geplant)	Injection Logging, Slug-Tests, Tracertests, Auswertung Wasserstandsdaten, Strömungsmodellierung, Variabilität der Fließrichtung
Sonstige Untersuchungen	Säulenversuche, Feldversuchsanlage	Batchversuche, Phasendetektion mit ROST	Säulen- und 2D-Laborversuche (Emission)	Fingerprinting von Biomarkern, Isotopenuntersuchung	Batch- und Säulenversuche	Säulenversuche, Radonuntersuchungen

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Beurteilungsstrategien	Einzelfallentscheidung, abhängig von der Fragestellung					
Beurteilungsstrategie (Abfolge von Auswertungen nach bestimmten Kriterien)	im Projekt nicht explizit vorgesehen (ENA im geschlossenen Reaktionsraum)	(tabellarische Auflistung nicht möglich)	(tabellarische Auflistung nicht möglich)	Überprüfung der Kriterien für MNA nach LABO-Positionspapier	"3 lines of evidence", Verifizierung der Laborergebnisse im Feld, Strömungs- und Transportmodellierung zur Prozessidentifikation und Prognose, Entwicklung eines Monitorings	Szenarienanalysen, Abbau-Quantifizierung, numerische Modellierung, Prognose, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen NA/ENA-Einsatz geplant
verzichtbare Untersuchungsmethoden	derzeit keine	derzeit keine	Säulenversuche, GW- und Kerosin-Analysen lieferten vergleichbare Ergebnisse zur Emissionsabschätzung	derzeit keine	derzeit keine	keine Angaben
Prognose des Fahnenverhaltens (6)						
Modellgestützte Prognose	Strömungsmodell MODFLOW (GMS), reaktive Transportmodellierung, Kalibrierung und Verifizierung des Modells anhand von zeitaufgelösten biochemischen Standortdaten	3-D-Strömungs- und Transportmodell GeoSys inkl. Elektrodenakzeptor-spezifischem Abbau	NTL1: numerisches reaktives Transportmodell: MIN3P NTL2: Mehrphasenmodell mit mobiler Phase (COMP-FLOW), Prognose der Fahnenentwicklung mit MIN3P	Strömungs- und Transportmodell, eigene Weiterentwicklungen für geklüftete Geringleiter	numerische Strömungsmodell: MODFLOW, Transportmodell: MT3D geplant	numerische, reaktive Transportmodellierung geplant

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Prozessmodellierung	Abbau	Simulation der unterschiedlichen Abbauewege (aerober Abbau, Sulfat-, Fe-Reduktion, Methanogenese) mit Monod-Kinetik bzw. Abbauraten 1. Ordnung	NTL1+NTL2: Biologischer Abbau: Simulation mit Kinetik 1. Ordnung (2D)	Transportmodellierung	reaktive Transportmodellierung geplant	reaktive Transportmodellierung geplant
Quantifizierung der Unsicherheiten der Prognose	nein	Szenarienanalyse (Sensitivität) für nicht sicher bestimmbare Parameter	Szenarienanalyse (Sensitivität) für nicht sicher bestimmbare Parameter	Sensitivitätsanalysen	keine Angaben	Szenarienanalysen
Feldparameter und aus diesen abgeleitete Parameter						
Hydrogeologische Parameter	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung	Lithologie, Stratigraphie, Aquifermächtigkeit, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss (Daten z.T. vom Berliner Senat)	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss
Strömungsparameter	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient, Porosität	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient, Porosität	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Transmissivität, Hydraulischer Gradient, Diffusivität	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient, GW-Stände	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient, GW-Stände
Transportparameter	Fließgeschwindigkeit	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung, Advektion, Adsorption

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Geochemische Parameter	Redoxparameter (gelöst), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, Fe(II), Mn(II)	Redoxparameter (O ₂ , NO ₃ , SO ₄ , Fe(II), Mn(II), CH ₄), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, C _{org} / K _d	Redoxparameter (O ₂ , NO ₃ , SO ₄ , Fe(II), Mn(II), CH ₄), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, C _{org} / K _d	Redoxparameter (O ₂ , NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , SO ₄ , Fe, Mn), Temperatur, pH-Wert, Redoxpotential, LF, Hauptionen	Redoxparameter und metabolische Nebenprodukte (gelöst), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, LF, Hauptionen	Redoxparameter, Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, Fe(II), Mn(II), LF, DOC, DIC, Hauptionen
Schadstoffparameter	Schadstoff- und Metaboliten-Konzentrationen	Schadstoff-Konzentrationen	Schadstoff-Konzentrationen	Schadstoff- und Metaboliten-Konzentrationen	Schadstoff-Konzentrationen	BTEX-Komponenten, MKW, Trimethylbenzole
Sonstige Parameter	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	-	z.T. TMB, Heterocyclen	keine Angaben
Parameter aus Laboruntersuchungen						
Hydrogeologische / Transportparameter	K _f -Werte, Porosität, Sorption	K _f aus Siebanalysen und Permeameterversuchen, C _{sat} aus Säulenversuchen und Kerosinanalysen, Porositäten, Van Genuchten Parameter aus Siebanalysen, Kerosindichte	K _f aus Siebanalysen, C _{sat} aus Säulenversuchen und Kerosinanalysen, Porositäten, Van Genuchten Parameter aus Siebanalysen und Wasserspannungskurven	-	K _f -Werte	K _f -Werte, Abbauparameter
Prozessparameter	Abbau: kinetische Konstanten	Sorption: K _d -Werte, (Emissionsparameter), biologischer Abbau aus Batchexperimenten	Sorption: K _d -Werte, (Emissionsparameter)	-	keine Angaben	Ermittlung der Abbauprodukte über GC-MS-Untersuchungen
Parameter aus Literatur						
Hydrogeologische / Transportparameter	Dispersion	transversale und longitudinale Dispersivität, Grenzflächenspannung Kerosin - Wasser	transversale und longitudinale Dispersivität, Grenzflächenspannung Kerosin - Wasser, Kerosindichte	Porosität, Diffusionskoeffizienten	Porosität, Dispersion, Sorption	Porosität, Advektion, Adsorption, Dispersionskoeffizienten, Diffusionskoeffizienten

(Tabelle I)	TV 1.1 Leuna	TV 1.2a Brand	TV 1.2b Ni.dorf	TV 1.3 Epple	TV 1.4 Spandau	TV 1.5 Schwedt
Parameter des mikrobiellen Abbaus	Kinet. Konstanten (zur Verifizierung der Labordaten)	-	-	-	keine Angaben	Abbauraten
Überwachung (Monitoring) (7)						
Umfang (Anzahl der Messstellen, Parameter)	noch nicht festgelegt, derzeit 74 MS	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	20 - 30 Messstellen geplant	noch nicht festgelegt
Häufigkeit	2 mal pro Jahr	noch nicht festgelegt, derzeit 2-4 mal pro Jahr	noch nicht festgelegt, derzeit 2-4 mal pro Jahr	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt, derzeit 1-2 mal pro Jahr	noch nicht festgelegt
Zeitraum	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt
Sanierungszielwerte	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt
Abgleich mit Prognose	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt
Konsequenzen bei Abweichung	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt
Akzeptanz (8)						
Kriterien für MNA-Konzept (LABO) erfüllt?	MNA für MTBE nicht anwendbar, ENA-Strategie wird angestrebt	erfüllt	NTL1: ja NTL2: Beurteilung noch nicht abgeschlossen	erfüllt	MNA ist aus Sicht der Behörde keine Option für den Standort, stattdessen ENA	keine Angaben
Behördenbeurteilung	MNA für MTBE nicht anwendbar, ENA-Strategie wird angestrebt	Akzeptanz für MNA vorhanden	Beurteilung noch nicht abgeschlossen	MNA akzeptabel	Akzeptanz für ENA vorhanden, abschließende Entscheidung noch nicht gefällt	keine Angaben
Maßnahmenträgerbeurteilung	großes Interesse an ENA-Maßnahmen	Akzeptanz vorhanden	Akzeptanz vorhanden	MNA akzeptabel	Akzeptanz vor dem Hintergrund der Verhältnismäßigkeit vorhanden	keine Angaben

Tabelle II: Auswertung der Standortprojekte des TV 2

	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
Allgemeine Standortdaten (0)				
Schadstoffe	BTEX, Naphthalin, Acenaphthen	PAK, BTEX, NSO-HET	NSO-HET, PAK, BTEX	PAK, NSO-HET
Co-Kontaminanten	weitere PAK	(KW)	Phenole, Cyanide	BTEX
Eintragstellen	1 Haupteintragsbereich (Benzolfabrik) und Restbelastungen nach erfolgter Bodensanierung (2 Teergruben, Gasreinigerstraße)	3 relevante Teilflächen: Klärteiche, Kokerei mit Nebengewinnungsanlagen, Auffüllungen, KORA-Testfeld im Bereich der ehem. Kokerei-Nebengewinnung	mehrere massive Eintragsbereiche: Kondensation, Gaswäsche, Bezoldestillation, Teerdestillation, ehem. Tankanlagen, Teerölgruben, ...	eine Haupteintragsstelle (ehem. Imprägnieranlage), weitere Eintragsbereiche (Gleisanlage, Wägeschuppen)
Fahnenlänge [m]	200 (Naphth. + BTEX) 400 (Acenaphthen)	325 (PAK) 200 (BTEX)	mindestens 350 - 400, Fahne wurde bislang nicht abgegrenzt	ca. 350 > 350 (Acenaphthen, Indan, einige NSO-HET)
Fahnenbreite [m]	50 (BTEX) 100 (Naphthalin) 150 (Acenaphthen)	250 aufgrund diffuser Einträge	nur Teile abgegrenzt	ca. 400 (Fahne verläuft über Wasserscheide, Fahne "taucht ab")
Flurabstand [m]	5 bis 6	1,3 bis 2,6	3 bis 4	2 bis 4
K_f-Wert	10 ⁻⁴ bis 10 ⁻³ m/s (10 ⁻² m/s im unteren Bereich)	1. Aquifer: 10 ⁻⁶ bis 10 ⁻⁴ m/s (stellenweise 10 ⁻³ m/s im Auffüllungsbereich)	Quartär: 3,5*10 ⁻³ m/s	1 bis 2*10 ⁻³ m/s
Abstandsgeschwindigkeit	0,5 bis 2 m/d (5 m/d im unteren Bereich)	0,06 m/d	2 m/d (Transportgeschwindigkeit)	0,3 bis 0,8 m/d
Aquifermächtigkeit [m]	15 bis 20	1. Aquifer: 5 bis 7,4 2. Aquifer: 60 m (Kluft-GW-L)	Quartär: ca. 3,5	30
Belastungstiefe [m u.GOK]	5 bis 15	6 bis 10 (Quartär), stellenweise mehr als 50 (Kreide)	4 bis 10	0 bis 30
Untersuchungsraumgröße	Gelände: 15 bis 20 ha	0,3 km ² (=Testfeld + Beurteilungsebene im Abstrom)	100 m lang, 160 - 400m breit	ca. 0,1 km ²

(Tabelle II)	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
Zahl genutzter Messstellen	70 von 70, (davon 18 Multilevel-MS, 1 hoch auflösende Multilevel-MS)	ca. 66 von 136, (davon im Abstrom 9 2-fach-MS-Gruppen, im Testfeld: 16 3-fach-GW-MS-Gruppen)	80 für GW-Standsmessungen 28 für GW-Probenahme, (davon 10 Multilevel-MS); seit GZB-Start 30 GW-MS (davon 24 Direct-Push-MS)	42, teilweise nicht sachgerecht ausgebaut (frühere Arbeiten), (davon 9 3-fach-MS-Gruppen)
Quellencharakterisierung (1)				
Untersuchungen im gesättigten Bereich des Schadensherdes	Rammkernsondierungen, GW-Untersuchungen, Säulenversuche	Testfeld liegt teilweise im Bereich der Quelle, GW-Analysen, Isotopenuntersuchungen: $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Schadstoffe}}$, Sedimentproben: Fe(II) und Fe(III), Fe(III)-Oxidationskapazitäten	frühere Arbeiten, GW-Analysen, Bodenproben, numerisch basiertes Fahnen-Backtracking unter Berücksichtigung reaktiver Transporteigenschaften	frühere Arbeiten (DU), MS-Gruppe in Quellbereich: GW- und Phasenanalysen, Bohrkernanalysen
Untersuchungen im ungesättigten Bereich des Schadensherdes	Rammkernsondierungen, Bodenluft- und Boden-Untersuchungen	Sickerwasserentnahme mit Saugkerzen zur Bestimmung der Sulfat-Nachlieferung aus Auffüllungen, Bodenluftuntersuchungen	frühere Arbeiten Bodenluftuntersuchungen, Bodenproben	ungesättigter Bereich wurde größtenteils saniert (Bodenaustausch, Immobilisierung)
Schadstoffmassenermittlung	Fahnenprojekt, keine Massenermittlung, Quellensanierung (Bodenaushub) durchgeführt, Abschätzung der Restbelastung nicht möglich	Schadstoffmassen nicht abschätzbar, da nicht exakt lokalisierbare Restbelastungen (inhomogene Verteilung)	Fahnenprojekt, keine Massenermittlung	Abschätzung aus Geometrie der Quelle und Stoffkonzentrationen
Frachtaustragsermittlung (Massenfracht pro Zeiteinheit in einem definierten Querschnitt)	Frachtermittlung über GW-Sanierungsbrunnen: 120 kg/a in Kontrollebene 0 (Quellenah)	Teilabschätzung durch die erste Beurteilungsebene im Testfeld	über Immissionspumpversuche	indirekt: Abschätzung an quellenächster Kontrollebene (teufenorientierte 3-fach-MS) aus: Konzentration, Abstandsgeschwindigkeit (K_f , n_e , bzw. aus Einbohrloch-Methode) und mit zeit-integrierenden Passivsammlern
Fahnencharakterisierung (2)				
Heterozyklen-Bestimmung	ja	ja	ja	ja

(Tabelle II)	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
Horizontale und vertikale Abgrenzung	Insg. 70 MS, davon 18 ML-MS mit Probenahmestellen in bis zu 10 versch. Tiefen, 1 hoch-aufgelöste ML-MS (100 versch. Tiefen, Abstand 2,5 - 30 cm), Sediment-Liner für hoch aufgelöste Lokalisierung von Redoxprozessen (insbesondere am Fahnenrand)	insgesamt 136 MS, davon 9 ML-MS (2-fach), 3 MS-Bündel und 20 MS-Gruppen, 16 3-fach verfilterte MS (Testfeld), GAIASAFE-Detektoren für Eisen/ Mangan und Schwefel zur Charakterisierung der Redoxzonen	insgesamt 28 MS, davon 10 mehrfachverfilterte MS	insgesamt 42 MS, frühere Arbeiten: 38 direct push (GEOWATER [®]) mit 3 - 6 Probenahmen pro Lokalisation, 9 teufenorientierte Dreifach-MS (4 als Centerline, 4 an den Flanken, eine im Zustrom)
Schadstofffrachten-ermittlung	Frachtaberschätzung über Sanierungsbrunnen (integrale Probenahme) oder aus tiefenhorizontierten Konzentrationsmessungen und hydraulischen Kennwerten an 5 Kontrollebenen senkrecht zur Fahnenachse	Frachtaberschätzung an Kontrollebenen, Bestimmung der Abstandsgeschwindigkeit über hydraulische Abschätzungen und Tracerversuche, Transportmodellierung, Immissionspumpversuche, Passivsammler	Immissionspumpversuche an Kontrollebenen, Modellierung mit SMART und MT3D-IPD, reaktive prozessorientierte Schadstofftransportmodellierung (vorwärts und invers)	Frachtaberschätzung an Kontrollebenen auf Basis von Pumpproben und Stoffbilanzblockmodell, Frachtaberschätzung auf Basis zeitintegrierter Passivsammlertechnik, Immissionspumpversuche (nicht durchführbar)
Nachweis NA-Prozesse (3)				
qualitativer Nachweis				
Zeitreihenanalysen	ja	ja, Redoxzonenkartierungen	ja	ja, aber Zeitreihen werden als nicht repräsentativ für die Bewertung von NA-Prozessen angesehen
Metabolite	ja	z.B. Metabolite von Chinolin und Dibenzothiophen, Hydroxychinoline, Dibenzothiophensulfon, -sulfoxid	nein	keine systematische Untersuchung
Redoxparameter, e⁻-Akzeptoren	ja	ja, Footprints	ja	ja
molekularbiologische Untersuchungen	nein	nein	mikrobiologische Bestandsaufnahme im Feld, Bestimmung von NSO-HET-Verwertern	nein

(Tabelle II)	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
Batchansätze	ja	Bestimmung der Sorption und des ir-/reversiblen Rückhalts (Bindungsverteilung (^{14}C))	Abbauversuche mit H_2O_2 -Zugabe	Mikrokosmen aerob und anaerob
Säulenversuche	Laborsäulen-Versuche: PAK-Abbauversuche mit und ohne NO_3 -Zugabe	Bestimmung der Sorption	Abbauversuche mit H_2O_2 -Zugabe	On-site-Säulenanlage mit 2 aktiven und 2 vergifteten Reaktoren, Langzeitsäulenversuche zur Beobachtung des Auslaugungsverhaltens aus Teerölquellen
Sonstiges	2D-Mesokosmen-Versuche (Modellaquifere), Isotopie-Effekte im Feld: $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$, $\delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{CO}_2}$	GAIASAFE-Detektoren für Fe/Mn und S zur Charakterisierung der Redoxzonen, Isotopie-Effekte: $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$	Rinnenversuche mit H_2O_2 - bzw. O_2 -Zugabe, Toxizitätsuntersuchungen	kontinuierliche Messung von pH, Eh, Temperatur, Wasserstand und Leitfähigkeit (Sonden), Toxizitätstests
Indizien für NA	relativ kurze Schadstofffahne trotz jahrzehntelangem Schadstoffeintrag und hohen Abstandsgeschwindigkeiten, Redox-Milieu, TIC-Anstieg, Stoffbilanzierungen an Bilanzebenen, Isotopenverschiebungen von Sulfat, Sulfid und TIC entlang des Abstroms	relativ kurze Schadstofffahne trotz jahrzehntelangem Schadstoffeintrag und mittleren Abstandsgeschwindigkeiten, Redoxverhältnisse, Metabolitenspektren und Isotopenverschiebungen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$) entlang des Abstroms, Ergebnisse der Mikrokosmenversuche	Rückgang der Schadstoffkonzentrationen (Zeitreihenanalysen), Frachtreduktion an Bilanzebenen (Immissionspumpversuche)	Hydrogeochemische Verschiebung im Bereich der Quelle (HCO_3^- -Dominanz anstelle von SO_4), Redox-Milieu, Frachtbetrachtung zeigt Abnahme, "Negativfahne" von e^- -Akzeptoren
quantitativer Nachweis				
Batchansätze	nein	Bestimmung der Sorption und des ir-/reversiblen Rückhalts (Bindungsverteilung (^{14}C))	ja	Mikrokosmen aerob und anaerob
Säulenversuche	Bilanzierungen von Schadstoffen und Oxidationsprodukten (CO_2 , HS^-) in Laborsäulen-Versuchen	Quantifizierung der Sorption	ja	On-site-Säulenanlage mit 2 aktiven und 2 vergifteten Reaktoren, Langzeitsäulenversuche zur Quantifizierung des Auslaugungsverhaltens aus Teerölquellen

(Tabelle II)	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
Isotopenuntersuchungen	ja	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Schadstoffe –Fraktionierung zur Quantifizierung des Abbaus (nicht erfolgreich), ^{14}C zur Quant. des Rückhalts	(nicht im aktuellen Projekt)	nein
Sonstiges	Massenbilanzen	keine Angaben	Rinnenversuche mit H_2O_2 - bzw. O_2 -Zugabe	Hydrogeochemische Stoffbilanzuntersuchungen
Quantifizierung / - Bilanzierung	Bilanzierung von Stoffumsetzungen an 5 Kontrollebenen, in Laborsäulen-Versuchen und mit 1-D-Transport/ Reaktionsmodell PHREEQC-2	Massenbilanzen über Stoffströme an Kontrollebenen für BTEX, PAK und Sulfat, numerische Simulation des reaktiven Stofftransports	Immissionspumpversuche an Kontrollebenen, Modellierung mit SMART und MT3D-IPD, PHT3D, Modellierung von Redoxprozessen, Bestimmung der stoffspez. in-situ-Bioabbauratenkonstanten	Bilanzierung von Schadstoffen, Reaktionsprodukten (footprints) und e^- -Akzeptoren zur Ermittlung des Abbaupotentials
Sanierungsmaßnahmen (4)				
Quellensanierung	Quellensanierung (Aushub erheblicher Massen an belastetem Boden und Teeröl auf mehreren Flächen)	bislang keine Sanierungsmaßnahmen, Sanierungskonzept liegt vor, Überarbeitung unter Einbeziehung der Ergebnisse des F&E-Vorhabens	nein	Bodenaustausch und Immobilisierung in der ungesättigten Zone von 1999 - 2002
Fahnensanierung	Hydraulische Sicherung mit 7 Sanierungsbrunnen von 1995 - 2003, Fortführung ab 2003 mit 5 Brunnen, ENA: Infiltration von Nitrat (50 mg/l) über eine Rigole (16 m ³ /h) von 05/2003 bis 12/2004 (600 Tage)	bislang keine Sanierungsmaßnahmen, Sanierungskonzept liegt vor, Überarbeitung unter Einbeziehung der Ergebnisse des F&E-Vorhabens vorgesehen	ENA-Maßnahme für NSO-HET geplant (aktuelles Projekt)	keine
Auswirkung	Verringerung der GW-Belastung, Verkürzung der Fahne von 600 auf 100 m bis 2003, erneute Ausbreitung >150 m (=Testfeld), Abnahme der Fahnenbreite von 100 auf 50m seit Quellensanierung	-	-	bislang keine Auswirkungen erkennbar

(Tabelle II)	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
Untersuchungs- und Beurteilungs-Strategie (5)				
Ziele der Forschungsvorhaben	Verhältnismäßigkeitsbetrachtungen von NA, ENA und pump&reat als Grundlage für Entscheidungen über zukünftige Sanierungsstrategien, Untersuchung und Optimierung der Abbaumechanismen mit Nitratzugabe (ENA), Untersuchung der konkurrierenden Sulfidreoxidation	Entwicklung geeigneter Instrumente zum Monitoring und zur Beurteilung von NA-Prozessen und zur langfristigen Schadstoffausbreitung, Untersuchung des langfristigen Ausbreitungsverhaltens der Schadstofffahne mit Hilfe numerischer Modellierung (Szenarienanalysen).	Entwicklung eines effektiven ENA-Verfahrens (neue Injektionstechnik zur optimalen Durchmischung), ENA-Pilotanwendung mit entwickelter Injektionstechnik, Verifizierung mit reaktiver Transportmodellierung, Optimierung der Analyseverfahren für heterozyklische KW	Charakterisierung, Bewertung und Prognose der Abbau- und Rückhalteprozesse mittels prozessbezogener Analytik und eines Monitoringprogrammes
Untersuchungsstrategien	Einzelfallentscheidung, abhängig von Zielstellungen, Standortgegebenheiten, Schadensart, Komplexität, betroffene Rezeptoren			
Strategie (Vorgehensweise, z.B. gestuftes Vorgehen, Reihenfolge)	Möglichst gute Quellen- und Fahnencharakterisierung, Massenbilanzen, Modellrechnungen, regelmäßige Überwachung	Testfeldeinrichtung, Sedimentuntersuchungen, Redoxzonenkartierung, Auswahl von Boden- und Grundwasserproben für weitergehende Untersuchungen (Mikrokosmenuntersuchungen etc.)	Installation von direct-push-basierten MS-Reihen mit hoher räumlicher Auflösung, Stichtagsbeprobung, tiefendifferenzierte Probenahme, Tracerversuche, Isotopenanalysen, Immissionspumpversuche, GW-Analysen ect.	Stufenweise Bearbeitung der Untersuchungsmaßstäbe "Mikrokosmos" - Säulenversuch - On-Site-Säulenversuch - Feld und deren "Upscaling" untereinander, enge Abstimmung mit dem Altlastenmonitoring des Verpflichteten
Verwendete Untersuchungsmethoden:				
direct push	nein	nein	ja	ja
tiefendifferenzierte Probennahme	hochaufgelöste Multilevel-MS mit Probenahmen in über 100 verschiedenen Tiefen (Abstand: 2,5 bis 30 cm) und 18 ML-MS mit vertikaler Auflösung von 0,5 bis 1 m	ja	ja	ja
Isotopenuntersuchungen	ja	ja	nein	nein

(Tabelle II)	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
Untersuchungen zur Hydrodynamik / Geohydraulik	hydraulische Dreiecksberechnungen, GW-Gleichpläne, GW-Modellierung mit SPRING	Tracerversuche	(Immissions-)Pumpversuche, Slug-Tests	Hydrodynamische Untersuchungen, phrealog, Fluid-Logging als Einbohrlochverfahren mit Hilfe eines NaCl-Tracers, Tracerverdünnungsverfahren, Drucksonden
Prozessuntersuchungen	Abbauversuche aerob/ anaerob mit und ohne Nitratzugabe, mit und ohne Sulfidanwesenheit, 2D-Mesokosmenversuche (Modellaquifere), Isotopenuntersuchungen, Bilanzierungen	Batch-/Säulenversuche (Sorption), Isotopenuntersuchungen (Abbau), Analyse des porengelassenen Bodenswassers mit Saugkerzen (Sulfatnachlieferung aus Auffüllungen), ¹⁴ C-Versuche zur Quantifizierung des Rückhalts	Abbauversuche mit Heterozyklen mit H ₂ O ₂ - oder O ₂ -Zugabe (Optimierung der Zugabetechnik)	Abbauversuche in Mikrokosmen und in-situ-Säulenversuchen, anaerobe Fed-Batch-Versuche, Untersuchungen zur Restquellintensität
sonstige Untersuchungsmethoden	keine Angaben	Passivsammler, GAIASAFE-Redoxbänder für Fe-/ Mangan- und Schwefel zur Lokalisierung von kleinräumigen Redoxzonen, geophysikalische Erkundungsmethoden zur Phasenausbreitung (außerhalb des F&E-Projektes)	neu entwickelte bzw. verbesserte Analyseverfahren für heterozyklische KW	neu entwickelter "Fluxmeter"-Passivsammler (Nichtgleichgewichtssammler), On-Site-Säulenversuchsanlage, Druck- und Multiparametersonden zur kont. Messung von Wasserstand, Temp., LF, phrealog (GFV [®] -Messverfahren)
Beurteilungsstrategien	Einzelfallentscheidung, abhängig von der Fragestellung			
Beurteilungsstrategie (Abfolge von Auswertungen nach bestimmten Kriterien)	Fahnenkartierungen (stationäre Fahne); Bilanzierungen der Pro- u. Edukte, Isotopenfraktionierungen (mikrobiologische Abbauprozesse), Konzentrations- und Frachtunterschiede in versch. Bilanzenebenen entlang der Fahne, Tiefenprofile (hohe Schadstoffgehalte bei niedrigen Oxidationsmittel- und erhöhten CO ₂ -Konzentrationen)	Beurteilung nach LABO-Positionspapier	keine Angaben	Anwendung des LABO-Positionspapiers

(Tabelle II)	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
verzichtbare Untersuchungsmethoden	derzeit keine	Fe(III)-Sedimentuntersuchungen, da Untergrund zu heterogen, C-Isotopenfraktionierungsuntersuchungen für PAK, da Quelle sehr inhomogen und Verfahren ab > C 10 nur eingeschränkt bzw. nicht einsetzbar	derzeit keine	kontinuierliche Messung von pH und Eh
Prognose des Fahrenverhaltens (6)				
Modellgestützte Prognose	3-D-Transportmodell SPRING 3.0 geplant	Strömungsmodell (SPRING), numerisches reaktives 3-D-Transportmodell (TBC)	numerische Strömungs- und nicht-reaktive Transportmodellierung, reaktive prozessorientierte Schadstofftransportmodellierung (vorwärts und invers): MT3D-IPD, SMART, PHREEQC-2, PHT3D etc.	außerhalb des F&E-Vorhabens: GW-Modell auf Basis von PCGE-OFIM (muss noch weiterentwickelt werden)
Prozessmodellierung	hydrochemische Reaktionen mit PHREEQC 2	mikrobielle Abbaureaktionen unter sulfatreduzierenden Bedingungen (doppelte Monod-Kinetik), Sorptionsprozesse (kinetisch limitiert)	Redoxprozessmodellierung	Erfolgte vereinfacht im Rahmen der Auswertung von Laborversuchen (1-D Konvektion-Dispersion, Henry-Isotherme, Kinetik 1. Ordnung), Blockmodell zum Nachweis der Stofffrachtreduzierung und für hydrogeochemische Stoffbilanzen
Quantifizierung der Unsicherheiten der Prognose	keine Angaben	Szenarienanalyse für unsichere Modelleingangsparameter (Sulfatnachlieferung aus heterogener Auffüllung, Monod-Konzentrationen, Sorptionskapazitäten)	Szenariomodellierung	Erfolgte als Blockmodell im Rahmen des Nachweises der Stofffrachtreduzierung

(Tabelle II)	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
Feldparameter und aus diesen abgeleitete Parameter				
Hydrogeologische Parameter	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, ect.	Lithologie, Stratigraphie, GW-Leiter-Geometrie, GW-Hydroisohypsenplan, GW-Neubildung, GW-Abfluss
Strömungsparameter	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient, Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient, Diffusivität	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient
Transportparameter	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung	Dispersion (aus Tracerversuchen)	Transportgeschwindigkeit, Transportrichtung	Fließrichtung, Filter- und Abstandsgeschwindigkeiten aus Hydroisohypsenplan ("Hydrologisches Dreieck" und Einbohrlochmessungen (Tracerverdünnungsmethode, GFV [®] -Verfahren), Dispersionsparameter aus statistischer Auswertung von granulometrischen Untersuchungen
Geochemische Parameter	Redoxparameter (fest + gelöst), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, Hauptionen	Redoxparameter (gelöst)	Redoxparameter (gelöst), Temperatur, pH-Wert, etc.	Elektronenakzeptoren, Milieuparameter (Temperatur, pH, Eh, Leitfähigkeit), Ionenbilanz, Organische Summenparameter (DOC, TOC, Phenolindex)
Schadstoffparameter	PAK-, NSO-PAK- und BTEX-Konzentrationen, Metabolite-Konzentrationen	PAK- und BTEX-Konzentrationen (gelöst und als NAPL)	PAK- und NSO-HET-Konzentrationen, BTEX	PAK- und NSO-HET-Konzentrationen, untergeordnet BTEX
Sonstige Parameter	-	Sorptionsparameter: C_{org} , Sulfatisothermen	-	-

(Tabelle II)	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
Parameter aus Laboruntersuchungen				
Hydrogeologische / Transportparameter	K _F -Werte	K _F -Werte	K _F -Werte, Porositäten etc.	K _F -Werte aus granulometrischen Untersuchungen
Prozessparameter	kinetische Konstanten der beteiligten Abbauprozesse	Sorption (Sorptionisothermen)	Abbauraten in Abhängigkeit von O ₂ , Retardationsfaktoren aus Säulenversuchen	Sorptionsparameter (Isothermen) für das standortkonkrete Schadstoffgemisch und standortkonkrete Sediment, Abbaukinetik unter standortkonkreten Bedingungen
Parameter aus Literatur				
Hydrogeologische / Transportparameter	Porosität, Dispersion, Sorption	Porosität, Dispersion, Sorption	Porosität, Sorption	Porosität, Retardationsfaktoren
Parameter des mikrobiellen Abbaus	Kinetische Konstanten (zur Verifizierung der Labordaten)	Monod-Konzentrationen für Schadstoffe und e ⁻ -Akzeptoren, Wachstumsraten der Mikroorganismen, Inhibitionskonzentrationen	-	Wachstumsraten der Mikroorganismen, Abbau-Kinetik, Inhibitionskonzentrationen, Limitationen
Überwachung (Monitoring) (7)				
Umfang (Anzahl der Messstellen, Parameter)	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	Vorschlag: 27 MS auf BTEX, PAK (Auswahl aus 2-4-Ring-PAK), Auswahl von NSO-Heterozyklen, Ionenbilanz, e ⁻ -Akzeptoren, Milieuparameter, org. Summenparameter
Häufigkeit	noch nicht festgelegt, erst einmal jährlich	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	derzeitiger Vorschlag: Monitoring 1 - 2 Jahre jährlich, danach alle 5 bis 10 Jahre
Zeitraum	noch nicht festgelegt, vermutlich viele Jahrzehnte bis Jahrhunderte	noch nicht festgelegt, Dauerbeobachtung vorgesehen	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt, Dauerbeobachtung vorgesehen
Sanierungszielwerte	PAK (EPA) ohne Naphthalin: 1µg/l Naphthalin: 2µg/l BTEX: 10 µg/l	nicht definiert, Maßnahmenziel ist die Verhinderung des weiteren Schadstoffaustrags über die Fahnenränder	noch nicht festgelegt (nicht Aufgabe des Projekts)	noch nicht festgelegt

(Tabelle II)	TV 2.2 Dü.-Flingern	TV 2.3 Castrop-Rauxel	TV 2.4 Testfeld Süd	TV 2.5 Wülknitz
Abgleich mit Prognose	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt
Konsequenzen bei Abweichung	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt
Akzeptanz (8)				
Kriterien für MNA-Konzept (LABO) erfüllt?	noch nicht erfüllt (Quelle zu wenig bekannt)	noch nicht erfüllt (Quellen und Fahnenränder nicht ausreichend abgrenzbar, Effektivität der geplanten aktiven Sanierungsmaßnahmen noch nicht abschätzbar)	noch nicht erfüllt (Fahnenverhalten noch nicht geklärt, Fahnenlänge noch nicht abgegrenzt)	noch nicht erfüllt (Fahne nicht ausreichend abgegrenzt), MNA-Vorschlag vorgelegt
Behördenbeurteilung	Akzeptanz für MNA nur in Kombination mit aktiven Maßnahmen, ENA mit Nitrat-Infiltration nicht zielführend	Akzeptanz vor dem Hintergrund der Verhältnismäßigkeit vorhanden, abschließende Entscheidung noch nicht gefällt	Behörde ist an den Ergebnissen der Test-ENA-Maßnahme sehr interessiert	Akzeptanz vorhanden, abschließende Entscheidung noch nicht gefällt
Maßnahmenträgerbeurteilung	keine Angaben	Akzeptanz vor dem Hintergrund der Verhältnismäßigkeit vorhanden	keine Angaben	Akzeptanz vor dem Hintergrund der Verhältnismäßigkeit vorhanden

Tabelle III: Auswertung der Standortprojekte des TV 3

	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Allgemeine Standortdaten (0)						
Schadstoffe	PCE	TCE	PCE, TCE	CI-Alkane, PCE	PCE	TCE, PCE (cDCE)
Co-Kontaminanten	BTEX	-	Deponie-Einträge	PAK, BTEX	-	BTEX, MKW
Eintragstellen	1 Haupteintragsstelle	2 Haupteintragsstellen außerhalb des Untersuchungsgebietes, multiple Sekundärquellen	3 Eintragstellen	1 Haupteintragsstelle, > 4 Sekundärquellen	1 Haupteintragsstelle	2 Eintragstellen
Fahnenlänge [m]	> 2000	2000	4400 (im Jahr 1997) (aktuell nicht erkundet)	3500	500 bis max. 1000 (Worst-Case-Szenario), (schwierig bestimmbar wegen Tiefenlage)	800
Fahnenbreite [m]	900	600	700	800	50 bis 100	400
Flurabstand [m]	4 bis 6	1,5 bis 5,5	2 bis 4	4 bis 10	30 bis 35	4 bis 7
K_r-Wert	Unterer Bereich: 1*10 ⁻³ m/s, oberer Bereich: 1*10 ⁻⁴ m/s	1 bis 10*10 ⁻⁴ m/s	5 bis 10*10 ⁻⁴ m/s	1 bis 7*10 ⁻⁴ m/s	1*10 ⁻⁵ m/s	1 bis 7*10 ⁻⁴ m/s
GW-Gefälle	0,0006 bis 0,001	ca. 0,0015	0,002 bis 0,01	0,0016 bis 0,005	0,003	0,002 bis 0,003
Abstandsgeschwindigkeit	0,3 bis 0,4 m/d (unterer Aquiferbereich)	ca. 0,1	0,2 bis 1,3	1,6 bis 3,2	0,025 bis 0,165	0,5 bis 1
Aquifermächtigkeit [m]	15 bis 30	5 bis 24	15 bis 20	10 bis 24	> 230	10 bis 15
Belastungstiefe [m u.GOK]	8 bis 30 (v.a. im unteren Aquiferbereich)	10 bis 20	3 bis 15	10 bis 30, Tertiär (>30)	35 bis 100	5 bis 25
Untersuchungsraumgröße	3 km ²	1 km ²	2,9 km ²	2,4 km ²	Strömung: 8 km ² 2D-Vertikaltransport: 0,1 km ²	1,5 km ²
Zahl genutzter Messstellen	61 von 123	70 von 100	38 von 50	110 von 330	17 von 39	45 von 58

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Quellencharakterisierung (1)						
Untersuchungen im gesättigten Bereich des Schadensherdes	nicht durchgeführt	Sekundärquellen: Direct-Push-1"GW-MS mit Packer-Pumpensystem, PID (VOC vor Ort) Bodenproben: anaerob: direct push-Double-Tube-Technik (unter Argon-Atmosphäre)	nicht durchgeführt	(frühere Arbeiten)	6 direct push-GW-MS bis 30 m Tiefe, Entnahme von GW-Proben, 1 konventionelle GW-MS	Sekundärquellen: Entnahme von GW-Proben
Untersuchungen im ungesättigten Bereich des Schadensherdes	nicht durchgeführt	nicht durchgeführt	nicht durchgeführt	(frühere Arbeiten)	6 direct-push-Bodenluft-MS (6 Tiefen), 5 Bodenluft-MS-Bündel (3-4 Tiefen)	Bodenluftbeprobung im TCE-Eintragsbereich incl. Isotopenuntersuchung (Primärsignaturen)
Schadstoffmassenermittlung	nicht durchgeführt, da "Fahnenprojekt", Schadstoffquelle teilsaniert und gekapselt	nicht durchgeführt, da "Prozessforschungsprojekt", Hauptquellen außerhalb des Untersuchungsgebietes	nicht durchgeführt, da "Fahnenprojekt", Schadensherd 3 wird seit Ende 2002 hydraulisch gesichert	nicht durchgeführt, da "Fahnenprojekt", Hauptquelle hydraulisch gesichert	aufgrund der Tiefenlage (> 70 m u.GOK) sehr schwierig, Abschätzung über tiefendifferenzierte Konzentrationsmessungen in der Bodenluft und im GW (MLPS)	nicht durchgeführt, da "Fahnenprojekt"
Frachtaustragsermittlung (Massenfracht pro Zeiteinheit in einem definierten Querschnitt)	nicht durchgeführt, da Schadstoffquelle gekapselt	nicht durchgeführt, da "Prozessforschungsprojekt", Hauptquellen außerhalb des Untersuchungsgebietes, großflächige Kontaminationen (multiple Einträge)	Modellierung des nicht-reaktiven Stofftransports mit historischen Daten (Epignose)	nicht durchgeführt, da Hauptquelle hydraulisch gesichert, Sekundärquellen: Daten nicht zugänglich	Abschätzung von Volatilisierung, Sickerwasser-Emission und Diffusion ins GW, Frachtab-schätzung analytisch und numerisch	Frachtab-schätzung an Kontrollebenen beabsichtigt (GW-Flüsse aus numerischem Modell)

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Fahnencharakterisierung (2)						
Horizontale und vertikale Abgrenzung	123 GW-MS, davon 24 MS-Gruppen, in der Regel in drei Tiefen verfiltert, 7 MS-Bündel	100 direct push-1"-MS mit Packer-Pumpenkombination, VOC-Detektion mit PID	50 GW-MS, tiefendifferenzierte Probenahme (hochauflösend) mit mobilem Packersystem, 8 ML-MS mit Doppelpacker und Abwehrpumpen	330 GW-MS, davon 22 MS-Bündel (3 Tiefen), 11 ML-MS	17 GW-MS, davon 34 direct-push-Sondierungen bis zu 50 m Tiefe, 12 davon als direct-push-1"GW-MS mit Doppelpacker, 4 konventionelle MS mit ML-Probenahme-System (MLPS: Scheibenpacker u. Minidruckpumpen)	58 GW-MS, tiefendifferenzierte Probenahme mit Einfachpackern, 8 ML-MS, zweifach und dreifach horizontalisiert
Qualitätssicherungsmaßnahmen	Messstellenprotokoll, Kamera-Befahrung	keine Angaben	Eignungsprüfung der GWM (QS), einheitliche Probenahmeverfahren	Druckstabile Probenahme, einheitliche repräsentative Probenahme	Horiz. Strömungsbedingungen durch gleichzeitige Betätigung der Beprobungsintervalle für eine tiefendiff. GW-Beprobung, 3 mal Pegelvolumina ausgetauscht bei Beprobung	Mehrfachuntersuchungen, Akkreditierung der Isotopenuntersuchungen abgeschlossen
Schadstofffrachten-ermittlung	Diffusions-Bags, Berechnungen aus zeitlicher Schadstoffentwicklung	Frachtaberschätzung an Kontrollebenen	Diffusionsbags, Frachtaberschätzung an Kontrollebenen anhand tiefendifferenzierter Konzentrationsmessungen und Transportberechnungen (Modellierung)	Frachtaberschätzung an Kontrollebenen anhand Punktkonzentrationsmessungen mit Modellierung	1. Kontrollebene (KE 1): Immissionspumpversuch (nicht optimal, da K_f zu gering), 2. KE: Immissionspumpversuch, Frachtaberschätzung an Kontrollebenen anhand tiefendiff. Kozenrationmessung und Modellierung	Frachtaberschätzung an Kontrollebenen beabsichtigt (GW-Flüsse aus numerischem Modell)

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Nachweis NA-Prozesse (3)						
qualitativer Nachweis						
Zeitreihenanalysen	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Metabolite	TCE, cDCE, tDCE, VC, Ethen/Ethan	TCE, cDCE, tDCE, VC, Ethen/Ethan	TCE, cDCE, tDCE, VC, Ethen/Ethan, Methan	cDCE, tDCE, VC, Ethen/Ethan (n.n.), Methan, 1,1,1-TCA, 1,1-DCA, 1,2-DCA	TCE, cDCE, tDCE, VC, Ethen/Ethan	TCE, cDCE, tDCE, VC, Ethen/Ethan (nicht nachweisbar)
Redoxparameter, e⁻-Akzeptoren	ja	ja	ja	ja, u.a. Redox-Textilfarbbänder	ja	ja
molekularbiologische Untersuchungen	exemplarischer Nachweis von <i>Dehalococcoides spez.</i>	PCR-Nachweis von potentiell reduktiv dehalogenierenden Bakterien	Nachweis von <i>Desulfitobac.</i> und <i>Dehaloc. ethenogensis</i> (DNA-Sonde, PCR)	nein	nein	16S-PCR Nachweis reduktiv dechlorierender Mikroorganismen im GW und in Mikrokosmen
Batchansätze	Sorptions- und Desorptionsversuche	Dechlorierungsversuche mit Sedimentproben unter Zugabe von e ⁻ -Donatoren	Abbauversuche mit Standort-GW unter versch. Redoxbedingungen und mit versch. Auxiliarsubstraten mit und ohne Sediment	Abbauversuche aerob / anaerob mit Standortmaterial und Auxiliarsubstraten	nein	Abbauversuche mit Standort-GW (u. Sediment) unter verschiedenen Redoxbedingungen mit versch. e ⁻ -Akzeptoren
Säulenversuche	Sorptionsversuche mit Kerogen-haltigen Sedimentproben zum Retardationsverhalten von cDCE (¹⁴ C-markiert)	Dechlorierungsversuche (Abbau) in ungestörten Bodenkernen	nein	Abbauversuche aerob / anaerob mit Standortmaterial	nein	nein

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Sonstiges			Untersuchung von Auxiliarsubstraten, MPN	Redox-Textilfarb- bänder, Untersu- chung von Auxiliarsubstraten (BTEX, PAK, TOC, SAK ₂₅₄), DOC-Charakterisierung, ¹³ C-Primärsignatur von PCE	C _{org} -Gehalt, ¹³ C-Primärsignatur von PCE	MPN
Indizien für NA	Fahne trotz hoher Abstandsgeschwindigkeit relativ ortsfest, Schadstoffkonzentrationen rückläufig	Metaboliten-Spektren, molekularer Nachweis von <i>Dehalococcoides</i> , Korrelation des Vorkommens von <i>Dehaloc.</i> mit Nachweis der Metabolite cDCE, VC	zurückgehende Schadstoffkonzentrationen und charakteristische Abbausequenzen bis zum Ethen/Ethan sowie charakter. Redoxzonierungen in allen drei Teilfahnen nachweisbar	Alle Zwischenstufen des LHKW-Abbaus einschließlich Ethen nachweisbar, Redoxzonen, Fahne seit Jahrzehnten stabil	in 110m Entfernung Abnahme von PCE unter Zunahme von TCE und cDCE, in 270 m Entfernung PCE nicht mehr nachweisbar, Metaboliten-Spektren, Anreicherung schwererer PCE-Isotope mit der Tiefe (>75m)	sehr kurze PCE- und TCE-Fahnen, Metabolite (cDCE), Fahne quasi-stationär, Ergebnisse der Isotopenfraktionierung deuten auf spezifischen CKW-Abbau hin
quantitativer Nachweis						
Batchansätze	nein	nein	nein	Bestimmung von ¹³ C-Fraktionierungsfaktoren	nein	Bestimmung von ¹³ C-Fraktionierungsfaktoren, (mit Zudosierung von Nährstoffen)
Säulenversuche	-	-	-	-	-	-
Isotopenuntersuchungen	¹³ C/ ¹² C-CKW-Isotopenfraktionierung	nein	nein	¹³ C/ ¹² C-CKW-Isotopenfraktionierung, Compound-specific isotope analysis (CSIA) mit ³⁷ Cl (neu entwickelt)	¹³ C/ ¹² C-CKW-Isotopenfraktionierung	¹³ C/ ¹² C-CKW-Isotopenfraktionierung (¹³ C-Summen und Primärsignatur), Compound-specific ratio
Sonstiges						

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Quantifizierung / Bilanzierung	reaktive Transportmodellierung, 3-D-Auswertung	nein, da keine Kapazitäten, In-situ-Säulenversuche, ENA-Testfeld für Prozess-Modellierung	reaktive Transportmodellierung, Massenbilanz Abschätzungen	reaktive Transportmodellierung (sehr komplex, <i>nur qualitative Betrachtung möglich</i>)	reaktive Transportmodellierung	Berechnung über Kontrollebenen, numerische reaktive Transportmodellierung
Sanierungsmaßnahmen (4)						
Quellensanierung	Bodenaushub, Phasenextraktion, Bodenluftabsaugung, hydraulische Sanierung, Dichtwandeinschließung	keine (erst Erkundungsphase)	Bodenluftabsaugung mit hydraulischer Sicherung seit 2001 nur an Schadensherd 3	Bodenluftabsaugung, hydraulische Sicherung am Haupteintragsbereich	Bodenluftabsaugung geplant, Maßnahmen in gesättigter Zone wegen Tiefenlage (40 - 70m+) unverhältnismäßig	hydraulische Sanierung bzw. Sicherung seit 2001 (GW-Förderung nicht kontinuierlich)
Fahnensanierung	hydraulische Sanierung 1990-95	keine	hydraulische Sanierung 1991-99	hydraulische Sanierung an 2 Galerien (seit 2002)	keine, weil unverhältnismäßig (Tiefenlage, Unzugänglichkeit, Wohnbebauung)	keine
Auswirkung der Maßnahmen	Abriss der Fahne, keine Nachlieferung aus der Quelle (gekapselt), weitere Auswirkungen nicht genauer untersucht	-	zurückgehende PCE- und TCE-Gehalte im Abstrom von Schadensherd 3	Abriss der Fahne, Abnahme der Schadstoffkonzentrationen, Zunahme der O ₂ -, Abnahme der Auxiliärstoffkonzentrationen, negativer Effekt: TCE und PCE werden schlechter abgebaut	Keine relevante Auswirkung auf das Fahrenverhalten zu erwarten	Schadstoffreduzierung in der Fahne

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Untersuchungs- und Beurteilungs-Strategie (5)						
Ziele der Forschungsvorhaben	Prozessverständnis, Prognose der zukünftigen Schadstoffentwicklung, verallgemeinbare Erkenntnisse über die Anwendung von MNA bei CKW-Schadensfällen	Prozesserforschung, Verständnis über die Beteiligung der Mikroorganismen bei der Umsetzung chlorierter Ethene, Anwendung neuer mikrobiologischer Nachweistechiken	Prozessverständnis: Einfluss von e ⁻ Donator-Punktquellen auf Abbau, Prognose und Kontrolle der zukünftigen Schadentwicklung bei variablen hydraulischen Randbedingungen	Quantifizierung der NA-Prozesse, Prognose, Anwendung von MNA ausschließlich an der Fahnen Spitze	Prozessverständnis, Quantifizierung des CKW-Eintrags und des NA-Potentials, Ableitung einer Untersuchungsmethodik für tiefe GWL, Anwendung von MNA in einem tiefen GWL	Nachweis, Quantifizierung und Prognose von NA-Prozessen durch Kombination unterschiedlicher Methoden, Anwendung von MNA bei mehreren Quellen, Erhöhung der Akzeptanz für MNA
Untersuchungsstrategien	Einzelfallentscheidung, abhängig von Zielstellung, Standortgegebenheiten, Schadensart, Komplexität, betroffene Rezeptoren					
Strategie (Vorgehensweise, z.B. gestuftes Vorgehen, Reihenfolge)					Fahneneingrenzung (vertikal/horizontal) mittels direct push, Positionierung weiterer konventioneller GWMS, Multilevelprobenahmen, Flowmetermessungen, Immissionspumpversuche, C-Isotopenanalysen	
verwendete Untersuchungsmethoden:						
direct push	ja	ja, mit PID	ja	nein	ja, bis 50 m Tiefe	ja, geplant
tiefendifferenzierte Probenahme	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Untersuchungen zur Hydrodynamik / Geohydraulik	Phrealog, Pumpversuche, Tracerversuche	Testfeld: K _f -Bestimmung mittels slug-Test, Uranin-Tracerversuche	Flowmeter, Fluidlogs, Thermoflow hochauflösend	Flowmeter	K _f aus Flowmeter (hochauflösend), Labormessungen und Immissionspumpversuchen	(Doppel-) Pumpversuche, Tracerversuche, Immissionspumpversuche

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Sonstiges	Säulenversuche zur Bestimmung der Sorptionskapazität Kerogen-haltiger Sedimente, Diffusionsbags	real-time-PCR-rRNA neu entwickelt	DNA-Sonde für <i>Dehaloc. ethenogenensis</i> weiter entwickelt, Diffusionsbags	Redox-Textilfarbbänder, DOC-Aufschlüsselung, C- und Chlor-Isotopenanalysen	MLPN, C-Isotopenanalyse	16S-PCR-Nachweis, C-Isotopenanalyse neu entwickelt auch für kleinste Mengen, Chlor-Isotopenanalysen geplant
Beurteilungsstrategien	Einzelfallentscheidung, abhängig von der Fragestellung					
Beurteilungsstrategie (Abfolge von Auswertungen nach bestimmten Kriterien)						
verzichtbare Untersuchungsmethoden	keine	PCR-SSCP mit universellen Primern (nicht ausreichend sensitiv)	keine	(MPN)	mikrobiologische Labormethoden zur Quantifizierung von NA-Prozessen (besser: in-situ-Messungen bzw. Literaturwerte)	keine
Prognose des Fahnenverhaltens (6)						
Modellgestützte Prognose	Hydrogeologisches Modell (ROCKWORKS), Strömungs- und Transport-Modelle (FEFLOW, MODFLOW, TBC MT3D)	keine modellgestützte Prognose, Prognosabschätzung aus historischer Entwicklung ist mit großen Unsicherheiten behaftet	numerische Strömungs- und Transport-Modelle: MODFLOW, TBC	numerische Strömungs-Modelle: MODFLOW, Transport-Modelle: MT3D/RT3D, GIS-FEFLOW, deterministische u. stochastische Ansätze	analytische und numerische 3D-Strömungs- und Transport-Modelle (eigene Weiterentwicklungen)	numerische Strömungs-, Transport- und Reaktions-Modelle (MODFLOW, MT3DMS, PHT3D, z.T weiter entwickelt), Inversmodellierung
Prozessmodellierung	Sorption und Abbau	-	Abbau	Abbau	Advektion mit Dispersion / Diffusion, Volatilisierung, Sorption und Abbau	Abbau

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Quantifizierung der Unsicherheiten der Prognose	Szenarienanalysen	-	Szenarienanalysen	Szenarienanalysen	Szenarienanalysen	Szenarienanalysen (in Teilbereichen Kontrolle/ Plausibilität mit Hilfe von Zeitreihen)
Feldparameter und aus diesen abgeleitete Parameter						
Hydrogeologische Parameter	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	-	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss
Strömungsparameter	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydr. Gradient, Heterogenitäten (Geologie, U-Bahn-Bau)	-	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient
Transportparameter	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung, Sorption (Dichte, C-Gehalt, Kerogene, Retardationsfaktor, Koc, Kd)	-	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung, Dispersions-, spezifische Speicherkoefizienten	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung, Dispersions-, spezifische Speicherkoefizienten
Geochemische Parameter	Redoxparameter, H_2 , Haupt-Kationen und -Anionen, Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, FeII/III, Mn II/III (Festphase)	-	Redoxparameter, Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, Fe(II), Mn(II)	Redoxparameter, Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, Fe(II), Mn(II)	Redoxparameter, H_2 , Haupt-Kationen und -Anionen, Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential	Lithokomponentenanalyse, Redoxparameter (gelöst), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, Fe(II), Mn(II)
Schadstoffparameter	Schadstoff- u. Metaboliten-Konzentrationen LHKW)	-	Schadstoff- und Metaboliten-Konzentrationen	Schadstoff- und Metaboliten-Konzentrationen	Schadstoff- und Metaboliten-Konzentrationen	Schadstoff- und Metaboliten-Konzentrationen
Sonstige Parameter	weitere Schadstoffe		Randbedingungen			Randbedingungen

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Parameter aus Laboruntersuchungen						
Hydrogeologische / Transportparameter	Permeabilität, (Mikro-) Porosität, Korngrößen, Dispersion, Retention	-	-	-	Porosität, C _{org} -Gehalt	Porosität, Sorption
Prozessparameter	Sorptionsparameter (Kerogene) in Säulenversuchen, Two-site-Sorption-Modell nach van Genuchten durch Anpassung der Durchbruchskurve	Abbauparameter in Säulenversuchen	Abbauparameter in Batch-Experimenten: reaktive Spezies, Michaelis-Menten-Parameter	Abbauparameter in Abhängigkeit von Auxiliarsubstraten in Batchansätzen	Isotopenverhältnisse	Abbauparameter in Abhängigkeit von verschiedenen e ⁻ -Akzeptoren in Batchansätzen mit Isotopenfraktionierung
Parameter aus Literatur		-				
Hydrogeologische / Transportparameter	Stratigraphie, GW-Stand, -Neubildung, -Abfluss (aus Bohrdatenbank des NLFB), Dispersion	-	Sorption	Porosität, Dispersion, Sorption	Retardationsfaktoren	Sorption
Parameter des mikrobiellen Abbaus	nur als Kontrollwert		Michaelis-Menten-Parameter, Wachstumsraten, Ertragskoeffizienten	Abbauraten	-	Abbauraten, Michaelis-Menten-Parameter, Fraktionierungsfaktoren
Parameter im Rahmen der Modellkalibrierung	Desorptionsraten, Abbauraten, Retardationsfaktoren	-	Randbedingungen, effektive Porosität, Dispersionskoeff., Nachlöseraten, Schadstoffreservoir, Nachbildung der Schadstofffahne, Reaktionsparam.	Nachbildung der Schadstofffahne, Reaktionsparameter geplant	Abschätzung der Emission aus dem Schadensherd, der Elutionszeit, Abbauraten und Fahnenlängen durch 2D-Simulationen und Szenarienanalysen	Nachbildung der Schadstofffahne und der Isotopensignaturen, Bestimmung von Abbauratenkonstanten 1. Ordnung

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Überwachung (Monitoring) (7)						
Umfang (Anzahl der Messstellen, Parameter)	noch nicht festgelegt, Parameter: Metabolite, Redoxmilieu	noch nicht festgelegt	Langzeitmonitoring an 10 Messstellen (Erkundungsmessstellen): großer Parameterumfang	noch nicht festgelegt, 26 belastete Messstellen als Überwachungs-Messstellen definiert	noch nicht festgelegt, Messung aller detektierten Schadstoffe, Vor-Ort-Parameter, An-/ Kationen, GW-Stände vorgesehen	noch nicht festgelegt, Optimierung mit geostatist. Methoden geplant (multivariate Datenanalyse, Zeitreihenentwicklung)
Häufigkeit	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	nach 24 Monaten	noch nicht festgelegt	jährlich	noch nicht festgelegt
Zeitraum	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt vermutlich Jahrzehnte	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt
Sanierungszielwerte	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	prognostizierte Werte	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt
Abgleich mit Prognose	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	Überprüfung alle 3 bis 5 Jahre ohne Prognoseabgleich	nach 3 und 6 Jahren	jährlich	noch nicht festgelegt
Konsequenzen bei Abweichung	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	pump&treat, wenn 50% (nach 3 a) und 10% (nach 6 a) der Werte > Prognose (gilt nur für die Fahnen spitze!)	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt
Akzeptanz (8)						
Kriterien für MNA-Konzept (LABO) erfüllt?	noch nicht erfüllt	noch nicht erfüllt	noch nicht erfüllt, da Quellen und Fahnen nicht ausreichend abgegrenzt	nur für Fahnen spitze erfüllt	erfüllt	noch nicht erfüllt, aber absehbar "erfüllbar"

(Tabelle III)	TV 3.1 Hannover	TV 3.2 Perleberg	TV 3.3 Karlsruhe	TV 3.4 Lierenfeld	3.5 Rosengarten	3.6 Frankenthal
Behördenbeurteilung	MNA als Option	MNA als Option	derzeit keine Akzeptanz, da Fahnenlänge unbekannt (Forschungsprojekt bezieht sich nur auf einen Teilbereich)	öfl.-rechtl. Vertrag: MNA als Option nur in gering kontaminierter Fahnen spitze	MNA wird akzeptiert	MNA als Option für die Fahne nach weiteren Quellenmaßnahmen
Maßnahmenträgerbeurteilung	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	öfl.-rechtl. Vertrag kein unmittelbares Interesse an MNA	entfällt	MNA als Option für die Fahne

Tabelle IV: Auswertung der Standortprojekte des TV 4

	TV 4.1 Kladow-Gatow	TV 4.2 Weiden-West	TV 4.3 Monte Scherbelino	TV 4.4 Großkayna
Allgemeine Standortdaten (0)				
Schadstoffe	Schwermetalle, Arsen, Ammonium, Bor, Arzneimittel, typische Abfallablagerungsemissionen	Ammonium, TOC, (Sulfat)	hohe Salzkonzentrationen, TOC, AOX, Ammonium, Nitrat, Schwermetalle (Cr, Ni, As)	Ammonium, H ₂ S, Phenole
Eintragstellen	4 Altablagerungen: Hausmüll (Ablagerung 1 und 5) und Bauabfälle (Ablagerung 2, 3), Ölschlämme, Chemikalienabfälle evtl. in Ablagerung 2	1 Altablagerung auf einer Fläche von 18 ha (ca. 1,5 Mio m ³), Hausmüll, Bauschutt	3 zusammenhängende Halde (18,3 Mio. m ³ , 35 - 42 m Höhe)	Spüldeponie: Größe: 1,2 km ² Volumen 25 Mio. m ³ (Industrieabfälle, Kraftwerksaschen)
Basisabdichtung	nein	nein	nein	nein
Fahnenlänge [m]	600 - 800 (mittels F12 bestimmte maximale horizontale Ausdehnung)	(1-2 Mio. m ³ geschädigtes GW)	800 (CI) (vor Dichtwandbau) bzw. 400 (Graben)	(nur lokale Randbereiche des Deponiekörpers betroffen)
Fahnenbreite [m]	> 500 je Abfallablagerung 1,2,3, bei 5 ca. 100	(1-2 Mio. m ³ geschädigtes GW)	600	(nur lokale Randbereiche des Deponiekörpers betroffen)
Flurabstand [m]	zwischen ca. 6 und 20	3 - 8	1 - 3	
K_r-Wert	2 - 5,6*10 ⁻⁴ unterhalb des Mergels: 10 ⁻³ - 10 ⁻⁵	5*10 ⁻⁶ - 1*10 ⁻⁷ (aus Pumpversuchen)	1- 2*10 ⁻⁴ , bereichsweise 5*10 ⁻⁴ - 5*10 ⁻⁵	Spüldeponie: 2*10 ⁻⁵ - 9*10 ⁻⁷
Abstandsgeschwindigkeit	0,4 m/d	(Tracerversuch noch nicht ausgewertet)	0,05 bis 0,5 m/d in Bereichen bei mittlerer Stationarität	(instationäre Flutung)
Aquifermächtigkeit [m]	teilweise in Stockwerke gegliedert, > 70	mehrere 100 m	max. 12 m	Quartär: (3 m) Tertiär: GWL-Komplex (33 m) Buntsandstein: vier GW-Leiter
Belastungstiefe [m u.GOK]	ca. 30	40 bis 60	max. 12 m	
Untersuchungsraumgröße	20 km ²	70 km ²	5 km ²	Seefläche ca. 2,3 km ² , Umgebung ca. 30km ²

(Tabelle IV)	TV 4.1 Kladow-Gatow	TV 4.2 Weiden-West	TV 4.3 Monte Scherbelino	TV 4.4 Großkayna
Zahl genutzter Messstellen	30 von ca. 110 MS (14 MS-Gruppen)	81 MS im Untersuchungsgebiet, Sonderpegelnetz: 17 MS (7 MS-Gruppen)	MS aus verschiedenen Monitoringphasen, 85 von etwa 100 MS noch beprobbar, 14 tiefendifferenzierte MS	insgesamt ca. 50 MS im See, am Seegrund und im GW
Quellencharakterisierung (1)				
Untersuchungen im gesättigten Bereich des Schadensherdes	GW- und Bohrgut-Untersuchungen an einer GW-MS in Altablagerung 5, an übrigen Altablagerungen im aktuellen Projekt keine Untersuchungen der Schadstoffquellen	Grundwasseranalysen, Feststoffanalysen	1 GW-Messstelle auf der Deponie seit 1988	(Frühere Arbeiten: Erkundungsbohrungen), Beobachtung der Entwicklung der Schadstoffverteilung u. -Konzentrationen im subaquatischen Deponiekörper erfolgte nicht
Untersuchungen im ungesättigten Bereich des Schadensherdes		nein	keine aktuellen Untersuchungen, Altdaten zur Gaszusammensetzung	(kein ungesättigter Bereich)
Schadstoffmassenermittlung	keine Massenermittlung	keine Massenermittlung	keine Massenermittlung	erfolgte in Vorarbeiten
Frachtaustragsermittlung (Massenfracht pro Zeiteinheit in einem definierten Querschnitt)	Altablagerungen 1 bis 3 nicht durchgeführt, Altablagerung 5: wegen Mächtigkeit des GW-Leiters und der drei GW-Horizonte nur eingeschränkt möglich	nicht durchgeführt (sehr schwierig, da Transportpfade signifikante Vertikalgradienten besitzen und der GW-Leiter mehrere 100 m mächtig ist)	Vergleiche mit Literaturdaten zum Auslaugungsverhalten von Reaktordeponien, Frachtabschätzung anhand des Strömungsmodells: Wasserbudget und Konzentrationsmessungen voll verfilterter MS am Deponierand, seit Dichtwandbau ist der Stoffaustrag vollständig unterbunden	(Frühere Arbeiten: modellgestützte Frachtabschätzungen), Volumen- und Stoffstrommessungen an der Grenzfläche Deponie/ See mit Spezialbohrungen und Sammelbehältern (Hauben), Modellprognoseberechnungen
Fahnencharakterisierung (2)				
Horizontale und vertikale Abgrenzung	insgesamt 30 MS, 14 Messstellengruppen	insgesamt 17 MS (Sonderpegelnetz), davon 7 Messstellengruppen, Abgrenzung der Fahne schwierig, da Deponie im Bereich einer GW-Scheide, weitere Bohrarbeiten im GW-Schadensbereich durchgeführt	8 MS aktuell turnusmäßig beprobt im Monitoring, Altdaten: insgesamt 100 Bohrungen seit 1967, 18 tiefendifferenzierte MS mit 13 Simultanpumpenratenverfahren und 5 Rammsondierungen	insgesamt 4 MS im Wasserkörper, tiefendifferenzierte Probenahme

(Tabelle IV)	TV 4.1 Kladow-Gatow	TV 4.2 Weiden-West	TV 4.3 Monte Scherbelino	TV 4.4 Großkayna
Schadstofffrachten-ermittlung	Frachtaberschätzung über GW-Konzentrationen, Transport-Modellierung mit F12 als Tracer	Ermittlung der Sickerwassermenge (modellgestützt) und Bestimmung mittlerer Stoffkonzentrationen im Quellbereich	Frachtaberschätzung anhand des Strömungsmodells: Waserbudget und Konzentrationsmessungen voll verfilterter Messstellen im Abstrom, Ratio-Ansatz	Mit dem See wird eine Ausbreitung von Schadstoffen in den GW-Raum unterbunden, Modellprognoseberechnungen
Nachweis von NA-Prozessen (3)				
qualitativer Nachweis				
Zeitreihenanalysen	ja	ja	ja	ja
Metabolite	Ableitung standortspezifischer Hauptkontaminanten mit GC-MS-Screening (organische Schadstoffe, inkl. Metabolite)	Methan, CO ₂ , Nitrat, DOC	für Abbauprodukte von organischen Einzelstoffen liegen keine Daten vor, jedoch Summenparameter CSB, AOX, DOC, HCO ₃ ⁻	z.B. Nitrat
Redoxparameter, e⁻-Akzeptoren	ja	ja	ja	ja
molekularbiologische Untersuchungen	Untersuchung der mikrobiellen Besiedlung des GW, DNA-Fingerprints u. DAPI-Färbung	Dehydrogenaseaktivität, Esteraseaktivität, DNA-Gehalt, Zellzahlen	nein	nein
Batchansätze	nein	aerobe und anaerobe Abbauprobversuche mit Standortmaterial unter Zugabe von e ⁻ Akzeptoren	nein	(Frühere Arbeiten)
Säulenversuche	nein	Abbauprobversuche mit Standortmaterial unter Zugabe von e ⁻ Akzeptoren	nein	(Frühere Arbeiten: Langzeitsäulenversuche)
Sonstiges		Charakterisierung des TOC (UV-Vis und fluoreszenzspektroskopisch), C _{anorg} , sequentielle Feststoffextraktion	Ratio-Berechnungen: (breakthrough state analysis, BTSA)	-

(Tabelle IV)	TV 4.1 Kladow-Gatow	TV 4.2 Weiden-West	TV 4.3 Monte Scherbelino	TV 4.4 Großkayna
Indizien für NA	Veränderungen der Schadstoff-Konzentrationen und Redoxzonen entlang der Fahne, mikrobielle Besiedlung des GWs, DNA-fingerprints, DAPI, θ/θ_t -Verhältnisse, indirekt mittels F12	Abbauprodukte, erhöhte Dehydrogenaseaktivitäten, höhere Zellzahlen und erhöhter anorganischer Kohlenstoff (TOC-Abbau), erhöhte pH-Werte, Redoxverhältnisse, Ergebnisse der Laborversuche	Veränderung der K^+/Cl^- - und CSB/ Cl^- -Verhältnisse, zeitliche Änderung der analogen Ratios von TOC, NH_4^+ und AOX, Entwicklung redoxsensitiver Parameter (Fe^{2+} , SO_4^{2-} , NH_4^+ , CSB), temporärer pH-Abfall	Nitrifikation, phytotechnologischer Stoffabbau im Randbereich des Sees, stimulierter Stoffabbau durch Tiefenwasserbelüftung
quantitativer Nachweis				
Batchansätze	nein	Abbauversuche mit Standortmaterial und Zugabe von e^- -Akzeptoren und O_2	nein	(Frühere Arbeiten)
Säulenversuche	nein	Abbauversuche mit Standortmaterial und Zugabe von e^- -Akzeptoren und O_2	nein	(Frühere Arbeiten: Langzeitsäulenversuche)
Isotopenuntersuchungen	nein	nein	nein	nein
Sonstiges	keine Angaben	Feldversuch mit Prototyp-Injektionslanze	Ratio-Berechnungen: (breakthrough state analysis BTSA)	-
Quantifizierung / Bilanzierung	quantitative Trennung der Einzelprozesse nicht möglich, stofflich-räumlich-zeitlicher Vergleich der Emissionssituation	Bilanzierung der Stoffumsätze in Laborversuchen und im Versuchsareal des Feldversuchs, Prozessmodellierung	Auswertung von Konzentrations-Zeitreihen, BTSA-Ansatz (zeitliche und räumliche Änderung von Abminderungsfaktoren als Funktion konservativer und reaktiver Transportgrößen), numerisches Modell SPRING für Stofftransport konservativ, MODFLOW mit Stofftransportmodul RT3DMS für exemplarische Transportansätze, e^- -Umsatz über Bilanzierung von Oxidations- und Reduktionskapazitäten	Frachtabeschätzungen aus Stoffstrommessungen und Druckmessungen, Bilanzierung mit Strömungs- und Transportmodell (hydraulische Strömungsszenarien)

(Tabelle IV)	TV 4.1 Kladow-Gatow	TV 4.2 Weiden-West	TV 4.3 Monte Scherbelino	TV 4.4 Großkayna
Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen (4)				
Quellenmaßnahmen	Keine, (Altablagerung 3: Bodenluftabsaugung (Methan))	Oberflächenabdeckung (2006) als Maßnahme der Stilllegung	Abdeckung der Haldenoberfläche mit bindigem Material (1968-71), Oberflächenabdichtung (2003) als Maßnahme der Stilllegung	keine
Fahnenmaßnahmen	keine	Abfangdrainage seit 2003 (3 Vertikalfilterbrunnen, 3 l/s), ENA-O ₂ -Injektion geplant	Dichtwand um den gesamten ehem. Ablagerungsbereich 1994 (20 m tief, reicht in GW-Stauer hinein), hydraulische Sanierung an 2 Brunnen mit Aufbereitung von verunreinigtem GW seit 2003	drei Tiefenbelüfter, geschlossener Röhrichtgürtel (keine Fahne, sondern Wasserkörper)
Auswirkung der Maßnahmen	-	bisher noch offen bzw. noch nicht nachweisbar	Begrenzung der Schadstoffausbreitung	Begrenzung der Schadstoffausbreitung
Untersuchs- und Beurteilungs-Strategie (5)				
Ziele der Forschungsvorhaben	Charakterisierung und Bewertung von NA-Prozessen durch Vergleich von Altdaten mit aktuellen Daten, NA-Zonen-Nachweis, Molekulargenetischer Nachweis der NA-Aktivität	Untersuchung der Wirkung des gasförmigen Sauerstoffeintrags in den GW-Schadensbereich (ENA), Übertragbarkeit der Ergebnisse und der Durchführungsmethodik (ENA-Maßnahme) auf andere Altablagerungen	Aufbau eines modellgestützten Prognoseinstrumentes, das standortspezifisch die NA-Prozesse quantifiziert, Untersuchungen zur Sensitivität von Modellparametern und zur Prognosezuverlässigkeit	Entwicklung eines Prognose- und Steuerwerkzeuges, welches die Wechselwirkungen zwischen Deponie-, See- und GW-Körper mit Berücksichtigung der (E)NA-Prozesse (Tiefenbelüftung) abzubilden vermag
Untersuchungsstrategien	Einzelfallentscheidung, abhängig von Zielstellung, Standortgegebenheiten, Schadensart, Komplexität, betroffene Rezeptoren			

(Tabelle IV)	TV 4.1 Kladow-Gatow	TV 4.2 Weiden-West	TV 4.3 Monte Scherbelino	TV 4.4 Großkayna
Strategie (Vorgehensweise, z.B. gestuftes Vorgehen, Reihenfolge)	NA-Screening: parameterspezifischer NA- Nachweis, Herausrechnen der Verdünnung (θ/θ_t -Verhältnisse), DAPI- Färbung, Prognose	Nachweis der möglichen Wir- kungen von NA bzw. ENA (1. im Labor, 2. im Feld)	Aufbereitung und modellge- stützte Analyse der Daten des langjährigen Monitorings in Kombination mit der instatio- nären numerischen Modellie- rung der Grundwasserströ- mung und des Stofftransports, Sensitivitätsstudien, ergän- zend tiefenorientierte Proben- nahme, Nachbildung hydro- chemischer Prozesse mit Schwerpunkt Redoxverhalten und summarischem Umsatz organischer Substanzen	Anwendung eines Werkzeugs zur Überwachung der Tiefen- wasserbelüfter (Messung → Prognose → Steuerung → Messung)
Untersuchungsmethoden:				
direct push	ja	nein (Festgestein)	nein	nein
tiefendifferenzierte Probennahme	ja	ja	ja (simultane Pumpraten und modifizierte Rammsonden)	ja (GW + See)
Untersuchungen zur Hydrodynamik / Geohydraulik	Tracerversuche	geophysikalische Bohrlochmes- sungen (SAL, TEMP, GR, FEL, IL), Pumpversuche	deponiebürtiges Cl ⁻ als kon- servativer Tracer, Auswertung Altdaten, Pumpversuche, Kli- madaten, GW-Standsmes- sungen, Abflussmessungen Vorflut	neu entwickelte mobile Poren- wasserdrucksonde, Spezial- Haubenmessung zur Volu- men- und Stoffstrombestim- mung
Sonstiges	F12 als Emissions- und Reichweiten-Indikator	Untersuchung der oxidativen Schadstoffminderungsprozesse im Rahmen der Batch-, Säulen- und Feldversuche, Untersu- chung des Transportverhaltens mit Säulenversuchen	numerische Sensitivitätsstu- dien zum Stofftransport, hyd- rochemische Gleichgewichts- berechnungen mit PHREEQC, Bestimmung der gelösten re- aktiven Redoxpuffer, Auswer- tung von Zeitreihen gelöster Spezies zum Kationen-Aus- tausch	Redoxprozesse im Labor (frühere Arbeiten)

(Tabelle IV)	TV 4.1 Kladow-Gatow	TV 4.2 Weiden-West	TV 4.3 Monte Scherbelino	TV 4.4 Großkayna
Beurteilungsstrategien	Einzelfallentscheidung, abhängig von der Fragestellung			
Beurteilungsstrategie (Abfolge von Auswertungen nach bestimmten Kriterien)	Entwicklung einer schutzgutspezifischen Schadensfeststellung und Gefahrenbeurteilung	Durchführung eines Feldversuchs im Realmaßstab zur Erhöhung der Akzeptanz von ENA	1. numerisches GW-Strömungsmodell als Basis von Interpretationen, 2. Zeitreihenanalyse (Transportmodell mit kalibrierter Dispersion und Neubildung, hydrochemischer Berechnungen, BTSA, Redoxpufferbilanz, Sorption), Beschreibung und Abschätzung bisheriger (Epignose) und zukünftiger (Prognose) Entwicklung von stoffspezifischer NA-Kapazität	Anwendung eines Werkzeugs zur Überwachung der Tiefenwasser-Belüfter, (Messung → Prognose → Steuerung → Messung)
verzichtbare Untersuchungsmethoden	derzeit offen	derzeit keine	derzeit keine	derzeit keine
Prognose des Fahnenverhaltens (6)				
Modellgestützte Prognose	2D- und 3D-Grundwasserströmungs- und Transportmodell	Ertüchtigung des bestehenden 3D-Grundwasserströmungsmodells, Modellanpassung, Eichung, Kalibrierung, Zukunftsszenarien	GW-Modell mit instationären Transportberechnungen, 3D-Strömungsmodell SPRING reaktives Transportmodell RT3DMS	Modellsystem MODGLUE: Koppelung eines prognosefähigen 3D-GW-Strömungsmodells (MODMST) mit prognosefähigem 2½D-Seeströmungsmodell (CE-QUAL-W2), erweitert mit Dichteströmungs- und Redoxprozesse-(PHREEQC)-Bausteinen (Programmiersprache Python)

(Tabelle IV)	TV 4.1 Kladow-Gatow	TV 4.2 Weiden-West	TV 4.3 Monte Scherbelino	TV 4.4 Großkayna
Prozessmodellierung	Reaktives Transportmodell	Beschreibung des Feldversuchs und Beschreibung der NA-Prozesse, Beschreibung der GW- Strömungsverhältnisse im 3D-Raum mit Abbildung der Anisotropie der Festgesteine	modellgestützte Analyse von Ganglinien und Ratios, GW-Modellierung auch im 2D-Vertikalschnitt zur Untersuchung von Dichteeinflüssen, GW-Neubildung mit 1D-Bodenfeuchtesimulationsmodell HYDRUS, abbaulimitierende Faktoren mit Gleichgewichtsmodell PHREEQC, Inversmodellierung der Konzentrations-Ganglinien mit CXTfit	MODMST: heterogene chemische Reaktionen, Sorption + Dual porosity, Wärme- und Stofftransport, CEQUAL-W2: aerobe Respiration, Wachstum, PHREEQC: komplexe chemische Reaktionen
Quantifizierung der Unsicherheiten der Prognose	keine Angaben	Szenarienanalyse (Sensitivität) für Überprüfung der Ergebnisse auf Plausibilität	Szenarienanalyse (Sensitivität) für Überprüfung der Ergebnisse auf Plausibilität	Szenarienanalysen
Feldparameter und aus diesen abgeleitete Parameter				
Hydrogeologische Parameter	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss
Strömungsparameter	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient	Dichte, Hydraul. Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient
Transportparameter	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung, maximaler Emissionstransport mittels F12	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung, deponiebürtiges Chlorid als Tracer zur Bestimmung der Transportgrößen Advektion und Dispersion	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung
Geochemische Parameter	Redoxparameter, in situ-Parameter, Hydrogencarbonat, Σ -Parameter, gesamte Anorganik, GC-MS-Organik	Redoxparameter (gelöst), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential	Redoxparameter (gelöst), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential	Redoxparameter (gelöst), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential

(Tabelle IV)	TV 4.1 Kladow-Gatow	TV 4.2 Weiden-West	TV 4.3 Monte Scherbelino	TV 4.4 Großkayna
Schadstoffparameter	Emissions-Konzentrationen aller bestimmten Stoffe	Konzentrationen	Methodische Analyse von Durchbruchskuren mit BTSA zur Abschätzung der zeitlichen und räumlichen Entwicklung von Abbau und Retardation	Schadstoff-Konzentrationen und -Masse
Sonstiges	-	-	Ermittlung der Massenströme von Einzelstoffen	-
Parameter aus Laboruntersuchungen				
Hydrogeologische / Transportparameter	-	Gesamtporosität, Siebanalysen, Tracerversuche (n_{eff}), Stofftransportparameter aus Säulenversuchen	nein	(frühere Arbeiten)
Prozessparameter	-	Abbau in Abhängigkeit von O_2 und e^- -Akzeptoren	nein	Redoxparameter (frühere Arbeiten)
Parameter aus Literatur				
Hydrogeologische / Transportparameter	Porosität, Dispersion, Sorption	Porosität, Dispersion, Sorption	Altdaten: Pumpversuche, Bohrdaten; Prüfung der vertikalen Dispersion für numerisches Strömungs- und Transportmodell	-
Parameter des mikrobieller Abbau	-	-	-	Ratenkonstanten
Überwachung (Monitoring) (7)				
Umfang (Anzahl der Messstellen, Parameter)	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt, derzeit 21 MS, ca. 30 Parameter	noch nicht festgelegt, derzeit viertel-jährlich an 8 MS im Abstrom auf Haupt- An- und -Kationen, org. Summen- und Einzelparameter (AOX, LHKW, BTEX, CSB)	5 MS im See für Tiefenlogs, 1 MS für tiefenorientierte Wasserproben, mobile Systeme zur Messung an unterschiedlichen Punkten am Seeboden (Druckmessungen und Wasserprobenahme), ca. 40 GW-MS

(Tabelle IV)	TV 4.1 Kladow-Gatow	TV 4.2 Weiden-West	TV 4.3 Monte Scherbelino	TV 4.4 Großkayna
Häufigkeit	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt, derzeit vierteljährig	noch nicht festgelegt, jährlich geplant	derzeit 1 - 4 mal pro Jahr
Zeitraum	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt, ca. 50 Jahre	noch nicht festgelegt, ca. 100 Jahre
Sanierungszielwerte	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	org. Parameter: Anlage 1 §77 WHG bzw. Hintergrundwerte, anorg. Parameter: TVO- bzw. Hintergrundwerte	4mg Sauerstoff / Liter im Hy- polimnion (im Sanierungs- rahmenkonzept von 1997 festgelegt)
Abgleich mit Prognose	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	laufend
Konsequenzen bei Abweichung	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	Steuerung der Belüfter anpassen
Akzeptanz (8)				
Kriterien für MNA-Konzept (LABO) erfüllt?	soweit für Abfallablagerungen sinnvoll, erfüllt (Fahne breitet sich nicht weiter aus)	z.Z. keine Aussage	nicht erfüllt: Hauptminde- rungsprozesse sind Verdün- nung und Dispersion	hydr. Gleichgewicht nach Flu- tung wurde noch nicht erreicht
Behördenbeurteilung	steht aus	Akzeptanz vor dem Hinter- grund der Verhältnismäßigkeit vorhanden, abschließende Entscheidung noch nicht ge- fällt	Akzeptanz vorhanden, ab- schließende Entscheidung noch nicht gefällt (hydrauli- sche Sanierung soll noch 5 bis 10 Jahre laufen)	Akzeptanz für ENA zur Kos- ten- und Aufwandssenkung groß; das Vorhaben wird mit intensiver Behördenbeteili- gung realisiert
Maßnahmenträger- beurteilung	noch nicht festgelegt (aus Kostengründen nur Monitoring sinnvoll, entspricht de facto MNA)	großes Interesse an ENA zur Kostenreduktion (anstelle von pump & treat)	großes Interesse zur Abwä- gung des Erfordernisses der Fahnsanierung	Maßnahmenträger beteiligt sich finanziell am F&E- Projekt, Akzeptanz für ENA zur Kosten- und Aufwands- senkung groß, FuE- Ergeb- nisse werden zur Anlagen- steuerung verwendet

Tabelle V: Auswertung der Standortprojekte des TV 5

	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
Allgemeine Standortdaten (0)			
Schadstoffe	2,4,6-TNT, Umwandlungsprodukte (Amino-Dinitrotoluole, Nitro-Benzoensäuren, Amino-Nitro-Benzoensäuren), Nebenprodukte der TNT-Synthese (N-Toluolsulfonsäuren), Sickerwasser: TNT, 1,3,5-TNB, Nitro-Benzoensäuren	Boden: 2,4,6-TNT, 2-Mononitrotoluol (2NT) Grundwasser: Mononitrotoluole, 4-Amino-2,6-Dinitrotoluol, Hexogen, Sulfon-, Benzoensäuren	2,4,6-TNT, RDX, 2NT, 4NT, 2,4-DNT, 2,6-DNT GW zusätzlich: 2,4-DN- und 2,4,6-TN-Benzoensäuren, 2,4-DNT-Sulfonsäuren, 2,4,6-TN-Phenol, TN-Benzol
Eintragstellen	Belastungsschwerpunkte: Produktion (Tonsilerde-Anlage, Trinitrierung), Abfüllung, Uferbereiche der Pfauenteiche (Kalkschlämme), Brandplatz, diffuse, großflächige Belastungen; Im Oberflächenwasser: Eintrag aus den diffus verteilten Bodenbelastungen mit dem Niederschlag	multiple Kontaminationsschwerpunkte (Produktionsstätten, Lagerung, Altablagerungen, Brandplatz), diffuse, großflächige Belastungen	5 Bereiche: Brandplatzhalde/Brandplatz, Granatenabfüllbereich, Abwasseranlagen, Hexogenanlagen, Spreng-, Brand- und Schießplatz, diffuse sowie großflächige Belastungen
Fahnenlänge	Kluft-GW-Leiter, keine kartierbare Fahne, sehr geringe Ergiebigkeit des GW-Leiters	Auen-GW-Leiter: ca. 350 m, einzelne Fahnen im Festgesteinsaquifer aufgrund der komplizierten Hydrogeologie nicht kartierbar	mehrere Fahnen, nur zum Teil abgegrenzt, > 1500 m
Fahnenbreite	Kluft-GW-Leiter, keine kartierbare Fahne	Auen-GW-Leiter: ca. 80-100 m, einzelne Fahnen im Festgesteinsaquifer aufgrund der komplizierten Hydrogeologie nicht kartierbar	mehrere Fahnen, nur z.T. abgegrenzt, z.B. drei Abstromfahnen aus dem ehem. WASAG Gelände mit je 200 bis 400 m
Flurabstand	abhängig von strukturellen Gefügeelementen (Klüfte, Schieferflächen, Störung)	1 - 4 m in den Auen, 20 - 50 m im Festgestein	< 10 m
K_r-Wert	abhängig von strukturellen Gefügeelementen (Klüfte, Schieferflächen, Störung)	Aue: $6 \cdot 10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-6}$ m/s, im Festgestein abhängig von strukturellen Gefügeelementen (Klüfte), Sandstein: $1 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ m/s	10^{-3} m/s (kiesige Bereiche) bis $5 \cdot 10^{-6}$ m/s (Geschiebemergel)
Abstandsgeschwindigkeit	Angaben nicht möglich	Aue: 0,06 m/d, Festgestein: 6,4 - 36,5 m/d, Kluft-orientiert, daher anisotrop	obere Grundwasserleiter: 30 - 40 m/a unterer Grundwasserleiter: bis 300 m/a

(Tabelle V)	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
Aquifermächtigkeit	kein durchgehender GW-Leiter	Aue: 1 gespannter GW-Leiter, im Festgestein: 3 GW-Stockwerke, > 130 m	10 - 40 m, 3 quartäre GW-Leiter mit lokalem hydraulischen Kontakt
Belastungstiefe [m u.GOK]	nicht feststellbar	Aue: gesamter GW-Leiter, Festgestein: vorwiegend im 1. GW-Stockwerk, 0 - 60	0 - 40
Untersuchungsraumgröße	(Liegenschaft mit Beispielflächen, System Oberflächengewässer)	Aue: < 0,1 km ² , Festgestein: 60 km ²	ehemaliges WASAG Gelände ca. 6 km ² , Untersuchungsgebiet ca. 40 km ² ; im TV 5.3 ist nur die Brandplatzhalde und unmittelbare Umgebung Gegenstand der Untersuchung
Zahl genutzter Messstellen	(Keine GW-MS, keine sachgerechte GW-Probenahme über GW-MS wegen geringer Ergiebigkeit des GW-Leiters möglich, → Messwehre zur Probenahme im fließenden Oberflächenwasser)	139 von 168 MS	100 von insgesamt 350 MS
Quellencharakterisierung (1)			
Untersuchungen im gesättigten Bereich des Schadensherdes	Der eine Schadensherd existiert nicht, diffus verteilte Belastungen im Oberboden sowie in den Bereichen der Produktions- und Abfüllstellen, keine sachgerechte GW-Probenahme möglich (siehe oben)	frühere Arbeiten: rasterförmige Untersuchung mit 50x50m-Raster (2519 Bohrungen), standort-bezogene Untersuchungen (591 Bohrungen), Untersuchungen von 18 Altablagerungen (2021 Bohrungen), Pumpversuche, Packertests, Immissionspumpversuche	Kontaminierter Raum sehr groß, Lage der punktuell wirkenden Schadstoffquellen nicht überall abgrenzbar
Untersuchungen im ungesättigten Bereich des Schadensherdes	frühere Arbeiten: TNT-Schnelltest (Schotten-Baumann-Test) zur Kartierung der Belastungsschwerpunkte	Saugkerzen- und Sickerwasseruntersuchungen (frühere Arbeiten), Eluatuntersuchungen, Batch-Versuche	Eluat- und Feststoffuntersuchungen (Sedimente) zur Mobilisierbarkeit und zum Rückhalt der STV, Großlysimeter-Untersuchungen
Schadstoffmassenermittlung	im Rahmen des F&E-Vorhabens nicht durchgeführt, wurde von Eigentümerin veranlasst	GIS-basierte Bilanzierung mittels Thiesen-Polygonen: 29 t (nach Sanierung)	nicht durchgeführt (unverhältnismäßig)

(Tabelle V)	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
Frachtaustragsermittlung (Massenfracht pro Zeiteinheit in einem definierten Querschnitt)	im Rahmen des F&E-Vorhabens nicht durchgeführt, wurde von Eigentümerin veranlasst	GIS-gestützte Abschätzung mobilisierbarer Schadstoffanteile (Quellstärke) aus E-luat- (maximale Frachten) und Saugkerzenuntersuchungen (minimale Frachten), Transportprognose: Frachtreduzierung während des Transports durch die ungesättigte Zone, Immissionspumpversuche	Frachtabschätzung aus Ergebnissen der Lysimeter- und Säulenversuche geplant
Fahnencharakterisierung (2)			
Horizontale und vertikale Abgrenzung der Fahne	aufgrund der hydrogeologischen Verhältnisse (Kluft-GW-Leiter) ist eine Fahnenkartierung nicht möglich	frühere Arbeiten, einzelne Fahnen im Festgesteinsaquifer aufgrund der komplizierten Hydrogeologie nicht kartierbar, insgesamt 139 GW-MS, Packertests, 6 Multilevel-MS, 16 MS-Gruppen	insgesamt 350 GW-MS, (davon 9 zweifach-MS-Gruppen und 12 dreifach-MS-Gruppen)
Schadstofffrachten-ermittlung	Abschätzung von Frachten aus Schadstoffkonzentrations- und Durchfluss-Messungen an Wasserläufen und mit Passivsammlern	Stufenpumpversuche, Auswertung des langjährigen Betriebs der Sicherungsbrunnen und der Langzeitpumpversuche (Wasserwerk)	Ausgrenzung einer Strombahn, entlang deren Verlauf mit Pumpversuchen und GW-Analysen die Fracht abgeschätzt werden soll
Nachweis von NA-Prozessen (3)			
qualitativer Nachweis			
Zeitreihenanalysen	ja	ja	ja
Metabolite	Boden: Metabolite des TNT, isomere Amino-DNT Wasser: isomere Nitro-, Amino-Nitro-Benzoensäuren; umfassende Charakterisierung polarer STV mit HPLC-DAD, HPLC-MS und HPLC-NMR	Metabolite des TNT: Amino-DNT, Amino-NT, ... umfassende Charakterisierung polarer STV mit HPLC-DAD, HPLC-MS und HPLC-NMR	Metabolite des TNT und des Hexogens (RDX), umfassende Charakterisierung polarer STV mit HPLC-DAD, HPLC-MS und HPLC-NMR, Non-Target-Analyse
Redoxparameter, e⁻-Akzeptoren	ja	ja	ja
Isotopenuntersuchungen	Großlysimeter-Versuche mit ¹⁴ C-markiertem DNT und DNBS zur Aufklärung der Abbauege	Großlysimeter-Versuche mit ¹⁴ C-markiertem DNT und DNBS zur Aufklärung der Abbauege	Großlysimeter-Versuche mit ¹⁴ C-markiertem 2,4-DNT und DNBS zur Aufklärung der Abbauege

(Tabelle V)	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
molekularbiologische Untersuchungen	nein	Flaschenhalexperimente mit Boden und Grundwasser im Rahmen von Mikrokosmosuntersuchungen	Abbauversuche mit Referenzstämmen für 2-MNT und 4-MNT
Batchansätze	Abbauversuche mit Bodenlösungen aus Standortmaterial und Oberflächenwasser, Versuche zur photolytischen Transformation und zum Abbauvermögen von belastetem Oberflächenwasser mit ¹⁵ N-markiertem TNT	Batchversuche mit nativem Festgestein und nativem GW	Statische Batchversuche mit Grundwasser (Transformation) und Grundwasser + Sediment (Transformation, Sorption, Wechselwirkungen mit Mineralphase) unter unterschiedlichen Milieubedingungen (O ₂ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , S ²⁻ , Sonnenlicht, Fe(II), Fe(III), DOC)
Säulenversuche	Perkolations-Versuche zum Abbau- und Rückhaltepotential von unbelastetem Standortmaterial	Säulenversuche mit nativem Festgestein und nativem GW zur Transformation, zur Adsorption (Wechselwirkungen mit der Mineralphase) und zum Transport von Nitroaromaten unter unterschiedlichen Milieubedingungen: (O ₂ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , S ²⁻ , Sonnenlicht, Fe(II), Fe(III), DOC)	Dynamische Säulenversuche mit Standortmaterial (Transformation, Sorption, Transport) unter unterschiedlichen Milieubedingungen (O ₂ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₂ ⁻ , DOC)
Sonstiges	Großlysimeter mit belasteten Bodenkernen (Abbau und Festlegung, Transportverhalten) mit ¹⁴ C-markierten Verbindungen, Öko-Toxizitätstests während der Batchversuche mit Leuchtbakterien, Charakterisierung des Stoffspektrums mit Hilfe der HPLC-DAD, LC-NMR sowie weiterer off-line NMR- und MS-Techniken (Non-Target-Analytik), Untersuchungen zum NA-Vermögen von Altlastwäldern (Dendrotoleranz, ¹⁴ C-Tracer-Applikationen im Wurzelraum)	Großlysimeter-Untersuchungen mit belasteten Bodenkernen (Verhalten und Transformation verschiedener polarer Nitroaromaten), Literaturoswertung zur Transformation von polaren Nitroaromaten, Charakterisierung des Stoffspektrums mit Hilfe der HPLC-DAD, LC-NMR sowie weiterer off-line NMR- und MS-Techniken (Non-Target-Analytik)	Eluat-Untersuchungen an Standortmaterial zum Rückhaltevermögen der ungesättigten Zone für STV, (De-) Sorptionsversuche zum Verteilungsverhalten von STV zwischen Sediment und Wasser, Literaturoswertung zu Reaktionsmechanismen von STV, Charakterisierung des Stoffspektrums mit Hilfe der HPLC-DAD, LC-NMR sowie weiterer off-line NMR- und MS-Techniken (Non-Target-Analytik), ökotoxikologische Untersuchungen, Dendrotoleranzuntersuchungen

(Tabelle V)	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
Indizien für NA	Konzentrationsabnahme des TNT, Auftreten einer Vielzahl von Umwandlungsprodukten des TNT, Verschwinden von TNT und 1,3,5-TNB im Auslauf der Pfautenteiche	Metabolitenspektrum, biotische Transformation von 2-NT und 2,4-DNT, Rückgang von 2,6-DNT-Konzentrationen in den nativen Versuchen (im Gegensatz zu den vergifteten Versuchen), Sorption polarer und unpolarer Nitroaromaten	Transformationsprodukte auch von RDX, niedrige O ₂ -Konzentrationen bei hohen Schadstoffgehalten, Transformation in Licht-durchfluteten Oberflächengewässern
quantitativer Nachweis			
Batchansätze	Abbauversuche mit Bodenlösungen aus Standortmaterial und Oberflächenwasser, Versuche zum Abbauvermögen von belastetem Oberflächenwasser mit ¹⁵ N-markiertem TNT	Statische Batchversuche mit Grundwasser (Transformation) und Grundwasser + Sediment (Transformation, Sorption, Wechselwirkungen mit Mineralphase) unter unterschiedlichen Milieubedingungen (O ₂ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , S ²⁻ , Sonnenlicht, Fe, DOC), inverse Modellierung zur Prozessquantifizierung	Statische Batchversuche mit Grundwasser (Transformation) und Grundwasser + Sediment (Transformation, Sorption, Wechselwirkungen mit Mineralphase) unter unterschiedlichen Milieubedingungen (O ₂ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , S ²⁻ , Sonnenlicht, Fe(II), Fe(III), DOC), Identifizierung von Prozessen und Stützung der Parameterermittlung aus Säulenversuchen
Säulenversuche	Abbau- und Rückhaltepotential von unbelastetem Standortmaterial	Quantifizierung der Sorptions- und Transformationsprozesse mit nativem Festgestein und nativem GW unter standorttypischen Bedingungen mittels inverser Modellierung	Säulenversuche mit Standortmaterial (Transformation, Sorption, Transport) unter unterschiedlichen Milieubedingungen (O ₂ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₂ ⁻ , DOC), Parameterermittlung durch inverse Modellierung
Isotopenuntersuchungen	ja (Einsatz von ¹⁴ C- und ¹⁵ N-markierten Verbindungen)	ja (Einsatz radioaktiv markierter Verbindungen, vgl. oben)	ja (Einsatz radioaktiv markierter Verbindungen)
Sonstiges	Großlysimeter-Versuche mit belasteten Bodenkernen (Abbau und Festlegung, Transportverhalten) mit ¹⁴ C-markierten Verbindungen, Puls-Applikation von ¹⁴ C-TNT und ¹⁴ C-RDX zur Quantifizierung des NA-Vermögens von Altlastwäldern	Sorptionsuntersuchungen mit Nitroaromaten an gebrochenem Festgestein, Diffusionszellversuche zur Abschätzung der Matrixdiffusion, Großlysimeterversuche mit belasteten Bodenkernen (Abbau und Festlegung, Transportverhalten) mit ¹⁴ C-markiertem DNT und DNBS	Großlysimeter-Versuche mit belasteten Bodenkernen (Abbau und Festlegung, Transportverhalten) mit ¹⁴ C-markierten Verbindungen (vgl. oben)

(Tabelle V)	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
Quantifizierung / Bilanzierung	Quantifizierung und Bilanzierung der wesentlichen Transformations- und Verlagerungsprozesse durch Einsatz radioaktiv markierter Verbindungen (^{14}C -2,4-DNT, ^{14}C -2,4-DNBS) bei Säulen- und Großlysimeter-Versuchen, Bilanzierung der Puls-Applikationen von ^{14}C -TNT und ^{14}C -RDX zur Quantifizierung des Dendro-NA-Vermögens und zum Langzeitschicksal der aufgenommenen STV	Berechnung der Gesamtabminderung zwischen Quelle und Brunnen aus Differenz zwischen Schadstofffracht unterhalb der Quelle (Quellstärke) und GW-Fracht an den Brunnen, Abschätzung von NA in der ungesättigten (90%) und gesättigten Zone (10%) aus Isotopenuntersuchungen, Bilanzierung der Säulen- und Lysimeterversuche (Sorption-Transformation) durch Einsatz von ^{14}C -markierten Verbindungen, inverse Modellierung, Verifizierung mit reaktivem Transportmodell	Inverse Modellierung der Batch- und Säulenversuchsergebnisse zur Parameterermittlung, Quantifizierung und Bilanzierung der wesentlichen Transformations- und Verlagerungsprozesse durch Einsatz radioaktiv markierter Verbindungen (^{14}C -2,4-DNT, ^{14}C -2,4-DNBS) bei Säulen- und Großlysimeter-Versuchen
Sanierungsmaßnahmen (4)			
Quellensanierung	Sickerwasserreinigungsanlage mit Aktivkohle-Filtern für ca. 50% des belasteten Oberflächenwassers (seit 1995), Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen für einzelne Belastungsschwerpunkte teils durchgeführt, teils vorgesehen	Bodenaushub max. bis zur Festgesteinsgrenze (\varnothing ca. 3m): Entfernung von ca. 65 % der Schadstoffe, hydraulische Sicherung über mehrere Abschöpf- und Sicherungsbrunnen sowie Drainagen (hydraulische Barriere), Abreinigung des geförderten Wassers über Aktivkohleanlagen	MOST-Projekt: Drainwasseraufbereitung (1994), hydraulische Sicherung, Einhausung der Brandplatzhalde (1999), Sanierung der Brandplatzhalde (ab 2005), genaue Lage der wirkenden Schadstoffquellen bislang nicht bekannt, Kontaminationen weiträumiger Bereiche, aktive Maßnahmen nur eingeschränkt möglich
Fahnensanierung	keine Fahnen kartierbar (Kluft-GWL)	hydraulische Maßnahmen	-
Auswirkung der Maßnahmen	(werden durch Eigentümerin ausgewertet)	derzeit noch nicht messbar	(wird über Monitoring beobachtet)

(Tabelle V)	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
Untersuchungs- und Beurteilungs-Strategie (5)			
Ziele der Forschungsvorhaben	Aufklärung der Reaktionswege der aeroben TNT-Metabolisierung und der Reaktionswege der polaren Umwandlungsprodukte in anaeroben Bodenzonen / Sickerwasser, Untersuchungen zu Wechselwirkungen der polaren TNT-Metaboliten mit der organischen Bodenmatrix und zum Transportverhalten, Entwicklung geeigneter Analyseverfahren zur Überwachung dieser Prozesse, Untersuchung des Einflusses diskontinuierlicher Auswaschungsprozesse	Beschreibung und Quantifizierung von Reaktions- und Transportprozessen von ausgewählten STV und Metaboliten, Prognose der Schadstoffausbreitung mittels reaktivem Transportmodell, Handlungsempfehlungen für die hydraulische Sicherung, Entwicklung von Lösungsstrategien (MNA) für kontaminierte Bereiche außerhalb der hydraulisch gesicherten Bereiche, Aussagen zu Verbesserungsmöglichkeiten des Rückhalts und Abbaus unter Zugabe von Stimulanzen	Untersuchung der Reaktions- und Sorptionsmechanismen für die Hauptschadstoffe, Erhöhung der Prognosefähigkeit von in-situ-Transformationskonstanten unter verschiedenen Milieubedingungen für STV, Angabe von Transportparametern zur Einschätzung von NA-Prozessen von polaren Nitroaromaten, Methodenentwicklungen zur laborativen Quantifizierung von in-situ-Transformationsprozessen
Untersuchungsstrategien			
Strategie (Vorgehensweise, z.B. gestuftes Vorgehen, Reihenfolge)	Kombination von Versuchen mit kleinen Laborsäulen, Versuchen mit großen Säulen und Freilandlysometern mit gestörten und ungestörten Bodenkernen, Bilanzierung der wesentlichen Transformations- und Verlagerungsprozesse mit radioaktiv markierten Verbindungen	Aufklärung des Schadstoffspektrums über neu entwickelte Analysenmethode; Laborversuche (Batch und Säule) zur Aufklärung der Transportprozesse, Übertragung auf Standortverhältnisse (Großlysimeter), Entwicklung eines reaktiven Transportmodells	Erkundung, laborative Untersuchung der Reaktions- und Sorptionsmechanismen für die Hauptschadstoffe unter verschiedenen Milieubedingungen, Verifizierung durch Feldmessungen
Verwendete Untersuchungsmethoden:			
direct push	nein	nein	nein
tiefendifferenzierte Probennahme	nein	ja	ja
Isotopenuntersuchungen	Großlysimeter-Versuche mit ^{14}C -markierten Verbindungen und Versuche mit ^{15}N -markiertem TNT mit Standortwasser zur Untersuchung der Reaktionswege der Metabolisierung	Großlysimeter-Versuche mit ^{14}C -markiertem DNT und DNBS zur Untersuchung der Reaktionswege der Metabolisierung	^{14}C -markierte DNT und DNBS zur Aufklärung der Transformationswege

(Tabelle V)	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
Untersuchungen zur Hydrodynamik / Geohydraulik	nein, nicht Bestandteil des F&E-Vorhabens	Tracerversuche im Kluft-GW-Leiter, Diffusionszellenversuche zur Abschätzung des effektiven Diffusionskoeffizienten (Matrixdiffusion), Pumpversuche, Immissionspumpversuche, Isotopenmarkierung zur Ermittlung der Sickerwasserzeiten	Pumpversuche
Sonstiges	Oberflächenwassermessstellen mit GAI-ASAFE- Passivsammlern (Sickerwassermonitoring)	Isotopenuntersuchungen: ^3H , ^{85}Kr , ^{14}C zur Altersbestimmung der Grundwässer und Bestimmung der Mischungsanteile	Säulen- und Lysimeterversuche zur Untersuchung der STV-Festlegung an der Humusmatrix, ökotox. Untersuchungen
Beurteilungsstrategien			
Beurteilungsstrategie (Abfolge von Auswertungen nach bestimmten Kriterien)	Identifikation der Primär- und Sekundärkontaminanten sowie der Reaktionsmechanismen in den verschiedenen Medien, Beurteilung der maßgeblichen NA-Prozesse, Bewertung der entwickelten Mess- und Analysemethoden	Entwicklung eines MNA-Konzeptes, einschließlich Beurteilungskriterien, im Laufe des Forschungsvorhabens	Identifikation der Reaktionsmechanismen und maßgeb. NA-Prozesse, Prozessquantifizierung u. Bilanzierung durch Modellierung, Bestimmung von Transportparametern der STV, Übertragung ermittelter Parameter auf den Feldmaßstab
verzichtbare Untersuchungsmethoden	derzeit keine	derzeit keine, (evtl. biotische Transformationsuntersuchungen an verschiedenen Festgesteinen)	derzeit keine
Prognose des Fahnenverhaltens (6)			
Modellgestützte Prognose	Modellierung (Prognose) ist nicht Gegenstand des F&E-Vorhabens	3-D-Modellierung mit FEFLOW Version 5.2, Koppelung des hydraulischen Modells mit einem Stofftransportmodell	3-D-Modellierung mit FEFLOW
Prozessmodellierung	entfällt, vgl. oben	Abauraten im Rahmen der numerischen Transportmodellierung, inverse Parameterermittlung (z.B. Sorptionsparameter) mit PhreaqC im Rahmen der modellgestützten Säulenversuchsauswertungen	Retardations- und Transformationsprozesse durch inverse Modellierung der Laborergebnisse

(Tabelle V)	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
Quatifizierung der Unsicherheiten der Prognose	entfällt, vgl. oben	Szenarienanalysen, Darstellung der Varianten	Szenarienanalyse für geohydraul. und hydrol. Parameter, Simulationen der Schadstoffmigration für Hexogen (Tracer), 2,4,6-TNT und 2,6-DNT, inverse Parameterermittlung mit Simulationsmodell RICHY
Feldparameter und aus diesen abgeleitete Parameter			
Hydrogeologische Parameter	entfällt, vgl. oben	Lithologie, Stratigraphie, Klüfte, Störungen, Aquifertiefe, GW-Stand, GW-Neubildung, GW-Abfluss	Lithologie, Stratigraphie, Aquifertiefe, GW-Stand, Oberflächenwasserstände, GW-Neubildung, GW-Abfluss
Strömungsparameter	entfällt, vgl. oben	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient (aus Tracerversuchen)	Hydraulische Leitfähigkeit (K_f), Hydraulischer Gradient, Fördermengen in den Wasserfassungen
Transportparameter	entfällt, vgl. oben	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung	Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung
Geochemische Parameter	entfällt, vgl. oben	Redoxparameter (gelöst), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, Fe(II), Mn(II)	Redoxparameter (gelöst), Temperatur, pH-Wert, Alkalinität, Redoxpotential, Fe(II), Mn(II)
Schadstoffparameter	entfällt, vgl. oben	Schadstoff- und Metaboliten-Konzentrationen	Schadstoff- und Metaboliten-Konzentrationen, Festlegung von initialen Konzentrationen
Sonstige Parameter	entfällt, vgl. oben	double-porosity (Traceruntersuchungen)	-
Parameter aus Laboruntersuchungen			
Hydrogeologische / Transportparameter	entfällt, vgl. oben	Matrixdiffusion: effektive Diffusionskoeffizienten in Abhängigkeit von stoffspezifischer Diffusion, Porosität und Porengeometrien, relative Diffusivität (gesteinsabhängig)	-
Prozessparameter	entfällt, vgl. oben	Sorptionsparameter und Transformationskonstanten für alle Hauptschadstoffe aus Säulenversuchen	Retardations- und Transformationsparameter durch inverse Modellierung der Laborergebnisse sowie deren Randbedingungen

(Tabelle V)	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
Parameter aus Literatur			
Hydrogeologische / Transportparameter	entfällt, vgl. oben	Vergleich mit Laborwerten	- (standortspezifisch)
Parameter des mikrobiellen Abbaus	entfällt, vgl. oben	Vergleich mit Laborwerten	Vergleich mit standortspezifischen Parametern
Überwachung (Monitoring) (7)			
Umfang (Anzahl der Messstellen, Parameter)	noch nicht festgelegt, derzeit monatliches Messen von Nitroverbindungen (15 Parameter) an zwei Durchflusssmessstellen. Im Rahmen von KORA derzeit monatliches Monitoring mit Passivsammlern an 7 Messstellen, Parameterumfang: Hexogen; 2,4,6-TNT; 2,4-DNT; 2,6-DNT; 2-Amino-4,6-DNT, 4-Amino-2,6-DNT; 3,5-Dinitroanilin; 1,3,5-TNB; 2,4,6-TN-Benzoessäure; 2-A-4,6-DNBS; 4-A-2,6-DNBS; 2,4-DNT-Sulfonsäure-3; 2,4-DNT Sulfonsäure-5	derzeit jährliches Monitoring an 139 GW-, Sickerwasser-MS und Förderbrunnen, Vorschlag: vierteljährliches Monitoring an den Bilanzebenen B und C (10 MS, Tiefendrain, Schacht), Parameterumfang: 2-NT, 3-NT, 4-NT, 2,4-DNT, 2,6-DNT, 2,4,6-TNT, 4-Amino-2,6-DNT, 2-Amino-4,6-DNT, 2,4-DNT-Sulfonsäure-3, 2,4-DNT-Sulfonsäure-5, 4-Amino-2,6-DN-Benzoessäure, 2,4,6-TN-Benzoessäure, 2,4-DN-Benzoessäure, Hexogen, pH, LF, O ₂ , Fe, Mn, NO ₃ , SO ₄ , NH ₄ , P _{ges.} , DOC, TIC, TOC	noch nicht festgelegt, derzeit jährliches Monitoring an 75 GW-MS und fünfjähriges regionales Monitoring im gesamten Untersuchungsgebiet, Parameter: 2-NT, 3-NT, 4-NT, 2,4-DNT, 2,6-DNT, 2,4,6-TNT, 4-Amino-2,6-DNT, 2-Amino-4,6-DNT, 1,3-DN-Benzoessäure, 1,3,5-TN-Benzoessäure, Hexogen (RDX), Hexyl, Oktogen (HMX) wünschenswert: mind. 3 MS auf einer Strombahn, Einbindung relevanter polarer Nitroverbindungen
Häufigkeit	noch nicht festgelegt	derzeit jährlich, Vorschlag: vierteljährig	bislang jährlich an 75 MS, alle 5 Jahre an 100 MS
Zeitraum	noch nicht festgelegt	noch keine Aussage möglich	noch keine Aussage möglich
Sanierungszielwerte	schwer definierbar, da sehr geringe Ergiebigkeit, extreme hydraulische Gefälle, nicht an GW-MS überprüfbar, LK Goslar und Eigentümerin sind im Gespräch	noch nicht festgelegt, Orientierung voraussichtlich an Geringfügigkeitsschwellen	keine festgelegt
Abgleich mit Prognose	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt
Konsequenzen bei Abweichung	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt	noch nicht festgelegt

(Tabelle V)	TV 5.1 Clausthal-Zellerfeld	TV 5.2 Stadtallendorf	TV 5.3 Elsnig/Torgau
Akzeptanz (8)			
Kriterien für MNA-Konzept (LABO) erfüllt?	nicht erfüllt (Quellen nicht ausreichend charakterisiert, Fahnenverhalten unbestimmt, bislang keine Prognose möglich), Belastungen im Oberboden und Oberflächenwasser im LABO-Papier nicht berücksichtigt	für gesamten Standort nicht erfüllt (bisher nicht erkannte Quellen bei FB6 und FB8, Fahnenverhalten unbestimmt), für Teilbereiche erfüllt, abnehmende Schadstoffkonzentrationen erwartet, Kleinniederung in der Diskussion	nicht erfüllt (Quellen und Fahnen sind bislang nicht hinreichend abgegrenzt, Fahne der Brandplatzhalde breitet sich weiter aus)
Behördenbeurteilung	noch nicht diskutiert	noch nicht erfolgt	Für den Bereich Brandplatzhalde / Brandplatz MNA-Strategie nicht akzeptabel (Fahne dehnt sich aus)
Maßnahmenträgerbeurteilung	keine Angaben	Behörde ist Maßnahmenträger	keine Angaben