


Integrales Altlastenmanagement

 Leitfaden und Handlungshilfe zur integralen Untersuchung und Sanierung von Altlasten

Integrales Altlastenmanagement

 Leitfaden und Handlungshilfe zur integralen Untersuchung und Sanierung von Altlasten



HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	HPC AG Bernadette Bohnert, Dr. Uwe Hekel, Thomas Osberghaus, Thomas Schöndorf LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Dr. Iris Blankenhorn, Cosima Hillmert, Dr.-Ing. Wolfgang Kohler, Michael Weiller Referat 22 – Boden, Altlasten Landeshauptstadt Stuttgart Hermann-Josef Kirchholtes, Prof. Dr. Wolfgang Ufrecht, Dr. Sandra Vasin, Prof. Dr. Gerd Wolff, Amt für Umweltschutz
GEFÖRDERT	Mit Unterstützung des Finanzierungsinstrumentes LIFE der Europäischen Gemeinschaft www.sauberes-grundwasser-stuttgart.de (LIFE08 ENV/D/000021)
REDAKTION	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 22
BEZUG	Diese Broschüre ist kostenlos gedruckt oder als Download im pdf-Format erhältlich bei der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe unter: http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/
ISSN	1437-0158
ISBN	978-3-88251-382-0
STAND	November 2014, 1. Auflage
GESTALTUNG	Petra Dobusch Zeichenbüro Dobusch, 74392 Freudental
BILDNACHWEIS	Titelbild Mitte rechts: © Thomas Zörlein, Zuckerfabrik Fotodesign Titelbild links: © Landeshauptstadt Stuttgart, Stadtmessungsamt

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

1	ZUSAMMENFASSUNG	5
2	EINFÜHRUNG	7
TEIL 1 LEITFADEN INTEGRALE UNTERSUCHUNG		9
3	GRUNDLAGEN	9
3.1	Voraussetzungen und Ziele	9
3.2	Begriffsdefinitionen	11
3.3	Rechtsgrundlagen, verwaltungstechnisches Vorgehen, Finanzierung	12
3.4	Projektorganisation und Qualitätsanforderungen	16
3.5	Öffentlichkeitsarbeit	18
4	VORGEHENSWEISE DER INTEGRALEN UNTERSUCHUNG	20
5	ANALYSE DER BESTANDSDATEN	22
5.1	Datensammlung und -verarbeitung	22
5.2	Datenvisualisierung und Analyse	23
6	ENTWICKLUNG VON MODELLEN	26
6.1	Hydrogeologisches Modell	26
6.2	Numerische Modelle	31
7	UNTERSUCHUNG UND AUSWERTUNG	37
7.1	Strategische Planung und Methodenauswahl	37
7.2	Immissionspumpversuche	39
7.3	Direct-push-Methoden	45
7.4	Methoden der tiefendifferenzierten Probenahme	49
7.5	Forensische Methoden	50
7.6	Innovative Methoden der integrierenden Probenahme	53
8	GESAMTSCHAULICHE AUSWERTUNG	55
8.1	Ermittlung von Schadstofffahnen, Frachten und Schadstoffherden	55
8.2	Ergebnissynopse	56
9	GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG UND PRIORISIERUNG	59
TEIL 2 HANDLUNGSHILFE WEITERFÜHRENDE KONZEPTE		60
10	INTEGRALE GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG UND PRIORISIERUNG	60

11	INTEGRALE SANIERUNG	64
11.1	Festlegen von Sanierungszielen	67
11.2	Werkzeuge der integralen Sanierung	67
11.3	Schnittstellen zur Stadt- und Bauleitplanung – Flächenrecycling	72
12	PERSPEKTIVEN UND CHANCEN DES INTEGRALEN ANSATZES	74
ANHANG		75
I	Abbildungsverzeichnis	75
II	Tabellenverzeichnis	76
III	Quellen- und Literaturverzeichnis	77
IV	Abkürzungsverzeichnis	82
ANLAGE PROJEKT-STECKBRIEFE		85
1	Neckartal/INCORE	85
2	MAGIC/FOKS	86
3	Ravensburg	87
4	Laupheim	88
5	Neu-Isenburg	89
6	Düsseldorf	90

1 Zusammenfassung

In urbanen Räumen stößt die Einzelfallbearbeitung von Altlasten und altlastverdächtigen Flächen vielfach an ihre Grenzen. Eine Zuordnung von Belastungen im Grundwasser zu Schadstoffherden ist aufgrund der räumlichen und zeitlichen Gemengelagen oft nicht möglich. Leitfaden und Handlungshilfe „Integrales Altlastenmanagement“ bieten den Verwaltungsbehörden und Kommunen eine Anleitung/Handreichung zur Umsetzung integraler Altlastenuntersuchungen und -sanierungen. Zudem enthält das Werk Informationen und Hinweise für Ingenieurbüros und Betroffene zur praktischen Umsetzung. Es werden Chancen und Möglichkeiten für ein optimiertes Vorgehen vorgestellt, damit die vorhandenen knappen Mittel möglichst effizient eingesetzt werden können. Leitfaden und Handlungshilfe „Integrales Altlastenmanagement“ wurden im Rahmen des EU-LIFE+ Projekts MAGPlan (Management plan to prevent threats from point sources on the good chemical status of groundwater in urban areas) erstellt. Die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg hatte dabei als assoziierter Projektpartner der Landeshauptstadt Stuttgart (LHS) die Aufgabe, das Projekt fachlich zu begleiten und eine landesweite Übertragbarkeit und Verbreitung der Erkenntnisse zu fördern.

Teil 1 „Leitfaden Integrale Untersuchung“ beschreibt die Vorgehensweise bei der Planung und Umsetzung integraler Altlastenuntersuchungen und fasst Grundlagen, Techniken und Erfahrungen zusammen, die bisher gesammelt und erfolgreich angewendet wurden. Teil 1 ist wie folgt aufgebaut: **Kapitel 3** erläutert die Grundlagen der integralen Altlastenbearbeitung. Neben den Voraussetzungen und Zielen einer integralen Herangehensweise sowie Begriffsdefinitionen finden sich hier Ausführungen zu den Rechtsgrundlagen, dem verwaltungstechnischen Vorgehen und den Finanzierungsmöglichkeiten. Des Weiteren sind Anforderungen an die Projektorganisation und Qualitätssicherung sowie Empfehlungen zur Öffentlichkeitsarbeit beschrieben. **Kapitel 4** gibt eine Übersicht über die Vorgehensweise beim integralen Altlastenmanagement mit den verschiedenen Arbeitsschritten der Untersuchung, Auswertung und Priorisierung, die in den nachfolgenden Kapiteln vertieft beschrieben werden. In **Kapitel 5** werden Datensammlung und -verarbeitung sowie die Datenvisualisierung und Analyse betrachtet. **Kapitel 6** beschäftigt sich mit der Entwicklung von Modellen, dazu zählt das Hydrogeologische Modell mit dem konzeptionellen Aquifer- und Stoffmodell sowie numerische Modelle, die in komplexen Fällen zusätzlich zum Einsatz kommen. **Kapitel 7** enthält eine Auswahl an Untersuchungsmethoden und Auswerteverfahren, die bei integralen Untersuchungen von besonderem Interesse sind. In **Kapitel 8** wird die gesamtschauliche Auswertung aller Informationen erläutert mit dem Ziel, Grundwasserbelastungen den verantwortlichen Schadstoffherden zuzuordnen. Ist diese Zuordnung erfolgt, kann gemäß **Kapitel 9** eine Gefährdungsabschätzung und Priorisierung von Untersuchungs- und/oder Sanierungsmaßnahmen erfolgen. Ein Rahmensanierungskonzept kann hierbei Sanierungsziele definieren und alle Sanierungsmaßnahmen an relevanten Einzelstandorten beschreiben.

Teil 2 enthält die „Handlungshilfe Weiterführende Konzepte“. **Kapitel 10** thematisiert integrale Gefährdungsabschätzungen und Priorisierungsmethoden, **Kapitel 11** integrale Sanierungsstrategien. Beide Ansätze bilden eine sinnvolle Fortführung der integralen Untersuchung, u.a. an den Schnittstellen zur Stadt- und Bauleitplanung bzw. zum Flächenrecycling. Als innovatives Planungswerkzeug wird der

Grundwasser-Managementplan (GW-MagPlan) vorgestellt. Er ist ein Ansatz für Kommunen, durch Erarbeiten eines Rahmensanierungskonzepts mit großräumigen und komplexen Grundwasserbelastungen umzugehen und deren Untersuchung und Sanierung vorzubereiten. Perspektiven und Chancen des integralen Ansatzes sowie der vorgestellten Priorisierungsansätze und Werkzeuge, die sich in der Praxis noch etablieren müssen, sind in **Kapitel 12** zusammengefasst.

2 Einführung

ANLASS

In urbanen Räumen mit langjähriger gewerblich-industrieller Nutzung stößt die klassische Altlastenbearbeitung einzelner Grundstücke vielfach an ihre Grenzen. Eine **Zuordnung von Schadstoffbelastungen im Grundwasser zu Schadstoffherden** ist aufgrund eines mangelnden Gesamtverständnisses der hydrogeologischen Situation sowie der räumlichen und zeitlichen Gemengelagen oft nicht möglich.

HISTORISCHE ENTWICKLUNG

In den 1990er Jahren wurden im Stuttgarter Neckartal Konzepte zur gesamtchauischen Altlastenuntersuchung entwickelt. Die Ursprünge liegen in der integralen Grundwasseruntersuchung mittels Immissionspumpversuchen. Über 15 Jahre hinweg wurden Methoden und Werkzeuge entwickelt und erweitert, die zur Untersuchung, Auswertung, Modellierung und Bewertung der Schadstoffsituation in einem größeren Betrachtungsgebiet zur Verfügung stehen.

Der erfolgreiche Ansatz wurde auf andere Städte übertragen. Ravensburg und Albstadt führten als Pilotprojekte des Landes Baden-Württemberg integrale Altlastenuntersuchungen durch. Es folgten Kommunen wie Laupheim und Reutlingen. Parallel dazu wurden die integralen Methoden aufgrund ihrer guten Effizienz und Tauglichkeit auch bei der Untersuchung privater Flächen eingesetzt.

Diese Projekterfahrungen bilden die Grundlage der vorliegenden Handlungshilfe.

INTENTION/ZIELGRUPPEN

Leitfaden und Handlungshilfe „Integrales Altlastenmanagement“ dienen als Anregung, Orientierung und Entscheidungshilfe u.a. für Verwaltungsbehörden und Kommunen zur Planung und Umsetzung integraler Altlastenunter-

suchungen und -sanierungen für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser. Sie soll einen effizienten Mitteleinsatz zur Verbesserung der Grundwassersituation unterstützen sowie Chancen und Möglichkeiten aufzeigen. Zudem enthält sie Informationen und Hinweise für Ingenieurbüros und Betroffene zur praktischen Umsetzung.

PROJEKTHINTERGRUND

Leitfaden und Handlungshilfe wurde im Rahmen des EU-LIFE+ Projekts MAGPlan erstellt. Die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg ist assoziierter Projektpartner der Landeshauptstadt Stuttgart mit der Aufgabe, das Projekt fachlich zu begleiten und eine landesweite Übertragbarkeit und Verbreitung der Erkenntnisse zu fördern.

Der Entwurf von Leitfaden und Handlungshilfe wurde im Rahmen zweier Workshops mit Experten verschiedener Bodenschutz- und Altlastenbehörden der Landratsämter und Stadtkreise in Baden-Württemberg, Vertretern mehrerer Landesumweltämter, sowie Vertretern aus der Wirtschaft und der Wissenschaft diskutiert, die ihre Erfahrungen mit integralen Untersuchungen und Sanierungen zur Verfügung gestellt haben.

INHALT

Der integrale Ansatz umfasst neben der Untersuchung auch die Sanierung. Während die integrale Untersuchung vor allem im Rahmen der behördlichen Altlastenbearbeitung von Interesse ist, ermöglichen integrale Sanierungen auch im größeren Rahmen der Stadtentwicklung und Bauleitplanung Synergien und Kooperationen. Verdachtsflächen in Gemengelage stellen im Hinblick auf die Sanierung eine besondere Herausforderung dar, welche durch eine integrale Untersuchung aufgelöst werden kann. Die Behörde verfolgt i.d.R. die Sanierung von Einzelfällen durch den Pflichten. Im Zusammenhang der Stadtentwicklung und

Bauleitplanung oder durch Kooperation der Pflichtigen ist auch eine Fortführung des integralen Ansatzes und damit eine integrale Sanierung möglich.

DAS VORLIEGENDE WERK GLIEDERT SICH IN ZWEI TEILE:

Teil 1 „Leitfaden Integrale Untersuchung“ fasst Grundlagen, Techniken und Erfahrungen zusammen, die in integralen Untersuchungen bisher gesammelt und erfolgreich angewendet wurden.

Teil 2 „Handlungshilfe Weiterführende Konzepte“ enthält Ansätze für integrale Bewertungsmethoden und Sanierungsstrategien, die eine sinnvolle Fortführung der integralen Untersuchung ermöglichen. Hierfür gibt es bis jetzt nur wenige Praxisbeispiele.

BAUKASTENPRINZIP

Inhaltlich werden sowohl einfache als auch komplexe Fragestellungen und Rahmenbedingungen behandelt, die Handlungshilfe umfasst daher eine Vielzahl von Methoden und Werkzeugen. Für den konkreten Fall einer integralen Untersuchung können aus diesem „Baukasten“ maßgeschneiderte Konzepte zusammengestellt werden.

Wesentliche Aussagen oder Hinweise und Anmerkungen sind in gelben Kästen hervorgehoben.

Teil 1 Leitfaden Integrale Untersuchung

3 Grundlagen

3.1 VORAUSSETZUNGEN UND ZIELE

AUSGANGSSITUATION

In Baden-Württemberg ist die Ersterfassung von Verdachtsflächen im Rahmen der historischen Erhebung abgeschlossen und bis heute teilweise mehrfach aktualisiert. Viele relevante Flächen wurden bereits zumindest orientierend untersucht.

Stillgelegte Gewerbe- und Industriestandorte unterliegen vor allem im innerstädtischen Bereich einem Strukturwandel hin zu neuen Gewerbe- oder Wohngebieten. Notwendige Altlastenuntersuchungen liefern jedoch nicht immer konkrete Hinweise auf Schadstoffeinträge und Grundwasserunreinigungen können oft keiner konkreten Fläche zugeordnet werden. Tiefere Schadstoffherde werden beispielsweise nicht erkannt und Verdachtsflächen deshalb lediglich als entsorgungsrelevant bewertet. Sanierungsmaßnahmen können trotz hoher Grundwasserunreinigungen im Abstrom der Flächen weder gefordert noch zielführend durchgeführt werden.

Um dem Ziel näher zu kommen, die vorhandenen Gemengelagen aufzulösen und die Grundwasserunreinigungen konkreten Flächen und damit potenziellen Verursachern zuzuordnen, bietet sich der Einstieg in die integrale Altlastenuntersuchung an.

Die Entscheidung für eine integrale Altlastenuntersuchung ist einzelfallabhängig und wird von den lokalen Rahmenbedingungen und den zu erwartenden Kosten für die Untersuchung beeinflusst. Um diese Kosten belastbar ermitteln zu können, sind Vorarbeiten wie erste Auswertungen der vorhandenen Datenbestände notwendig.

VORAUSSETZUNGEN

Unabhängig vom Stand der Altlastenbearbeitung müssen die nachfolgend genannten Voraussetzungen für eine integrale Altlastenuntersuchung gegeben sein:

- anstehendes Grundwasser als räumlich und zeitlich integrierendes Medium
- Altlastenverdacht mit potenziell grundwassergefährdenden Stoffen, die Fahnen ausbilden können
- Grundkenntnisse der örtlichen Hydrogeologie und der Grundwasserströmung
- Grundkenntnisse zur Belastungssituation
- Kenntnisse der Bewirtschaftungssituation des Grundwassers (z.B. dauerhafte Wasserentnahmen).

Die Entscheidung für die integrale Herangehensweise ist im weiteren Verlauf nach jedem Arbeitsschritt zu überprüfen, wenn sich die Rahmenbedingungen oder Kosten im Vergleich zu ursprünglichen Annahmen verändern.

Abbildung 3-1 nennt Kriterien bzw. typische Ausgangssituationen für integrale Untersuchungen sowie Ziele, die damit erreicht werden können.

VORARBEITEN

Die Ausgangslage und die vorhandenen Kenntnisse über ein zu untersuchendes Gebiet (z.B. aus HISTE, Grundwasseruntersuchungen) sollten frühzeitig mit Vertretern der Fachbehörden diskutiert werden. Dies ist insbesondere im Hinblick auf eine evtl. Förderung der Maßnahmen empfehlenswert.

Die integrale Untersuchung verfolgt konkrete strategische Aufgaben und Ziele. Hier sind als aufeinander aufbauende Aufgaben zu nennen:

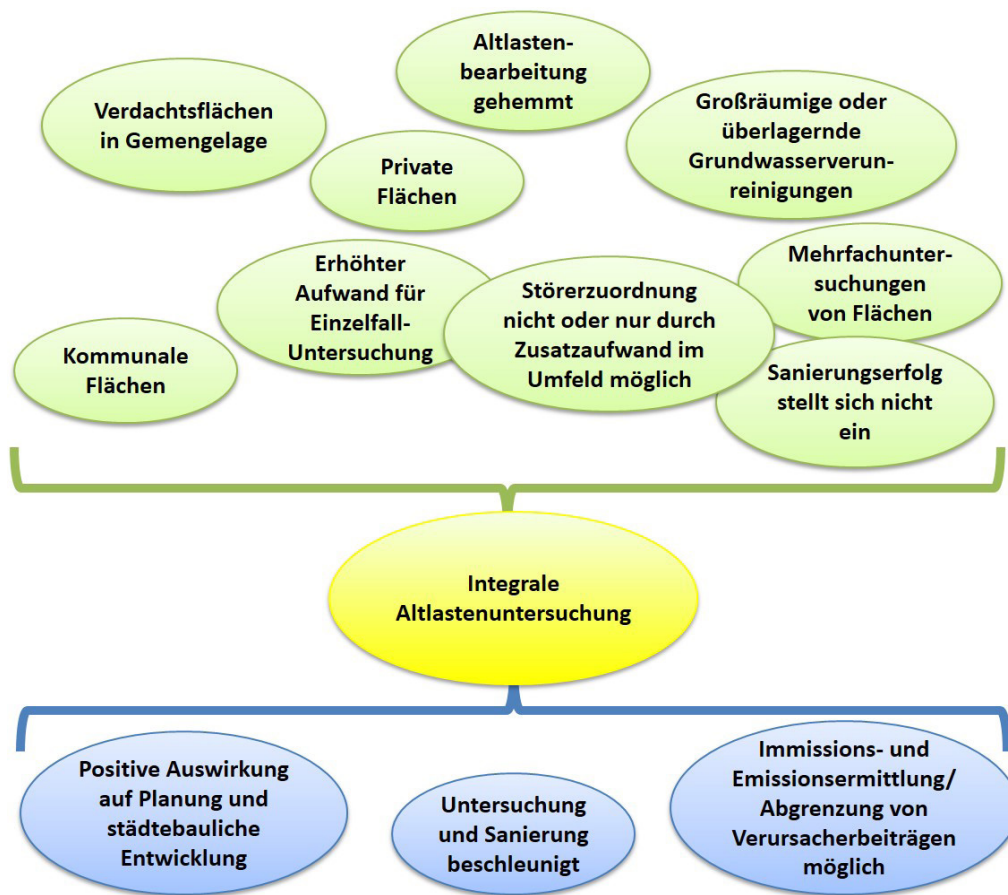


Abbildung 3-1: Ausgangslage und Ziele der integralen Altlastenuntersuchung

- systematische Zusammenführung und synoptische Auswertung von Datenbeständen
- Erfassung des Grundwasserzustands (qualitativ und quantitativ)
- Entwicklung einer Modellvorstellung der räumlich zeitlichen Systemzusammenhänge (4-dimensional)
- Identifizierung, Lokalisierung und Quantifizierung von Schadstoffherden
- Ermittlung der Herd-Fahne-Beziehungen
- räumliche Auflösung von Schadstoffgemengungen im Grundwasser
- Priorisierung von Maßnahmen
- ggf. Sanierungsdurchführung/-optimierung.

ZIELE

Oberstes Ziel ist die Sicherstellung einer guten Grundwasserqualität insbesondere für die Trinkwasserversorgung

sowie der optimale Fördermitteleinsatz des Landes in der Altlastenuntersuchung und Sanierung.

Betroffene Kommunen verfolgen darüber hinaus die Ziele:

- Planungssicherheit beim Brachflächenrecycling und in der Stadtentwicklung für eine nachhaltige Innenentwicklung
- Förderung des Grundstücks- und Immobilienmarktes
- Sicherheit im Hinblick auf das Grundwassermanagement bei Bauvorhaben.

Als Initiative von Kommune und/oder unterer Verwaltungsbehörde (Landratsämter und Stadtkreise) ergeben sich gegenüber der Einzelfallbearbeitung folgende Vorteile:

- Gesamtüberblick über den Grundwasserzustand und ablaufende Prozesse

- Identifizierung von Schadstoffherden, Abgrenzung von Verursacherbeiträgen
- Initiierung/Beschleunigung von Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen
- Gleichzeitige und einheitliche Untersuchung des Betrachtungsgebiets
- qualifiziertes Wissen über relevante Schadstoffherde und -fahnen
- bessere Kosteneffizienz bzw. Mehrfachnutzen und höhere Qualität im Vergleich zu einzelnen Standortuntersuchungen
- Risikoklärung und Rechtssicherheit für Eigentümer
- klare Randbedingungen/Auflagen für die Genehmigung von Neu-/Baumaßnahmen.

Nachteile können im Gegenzug sein:

- anfänglich höhere Kosten für Kommune/Behörde
- Bündelung und Fokussierung der Finanzmittel in einem einzigen Projekt über mehrere Jahre
- ggf. lange Laufzeit der Gesamtmaßnahme
- Personalaufwand für Vorbereitung und Steuerung/Lenkung durch Behörde
- Heranziehung Pflichtiger erst in einem späteren Stadium.

3.2 BEGRIFFSDEFINITIONEN

INTEGRALES ALTLASTENMANAGEMENT

Gesamtschaulicher Ansatz mit Loslösung von standortbezogener Vorgehensweise zur gemeinsamen Bearbeitung (Untersuchung und Sanierung) mehrerer, ggf. benachbarter Grundstücke oder sich überlagernder Kontaminationen.

BETRACHTUNGSGEBIET

Bereich mit möglichen Schadstoffherden für eine Grundwasserverunreinigung; die Festlegung ist der erste Schritt einer integralen Altlastenuntersuchung und orientiert sich an hydrogeologischen Gegebenheiten, insbesondere an der Grundwasserfließrichtung und der Aquifergliederung.

INTEGRALE UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Methoden, die in Bezug auf räumliche und/oder zeitliche Dimensionen einen integrierenden Ansatz verfolgen (zeitlich z.B. Passivsammler, räumlich z.B. Immissionspumpversuche); parallel existieren Methoden, schadstoff-integrierend die Wirkung auf Rezeptoren zu untersuchen (z.B. Ökotoxizitätstests, vgl. Kapitel 11.1).

INTEGRALE (ALTLASTEN-)UNTERSUCHUNG

Spezielle Form der Altlastenuntersuchung, um Ausmaß, Entwicklung und Auswirkung von Grundwasserverunreinigungen zu erkunden und anhand der Konzentrationen und Schadstofffrachten zu beurteilen; Untersuchung erfolgt im Unterschied zu einzelnen Standortuntersuchungen „rückwärts“ von der Grundwasserverunreinigung zum Schadstoffherd.

RAHMENSANIERUNGSKONZEPT

Sanierungsvariantenstudie und Ermittlung von Sanierungszielen für das gesamte Betrachtungsgebiet, womit folgende Aspekte einzeln oder kombiniert verfolgt werden:

1. Priorisierung von Schäden mit erheblichen Schadstofffrachten, um eine nachhaltige Schadstoffreduktion bei effizientem Mitteleinsatz zu erreichen
2. Auswahl von Verfahren oder Verfahrenskombinationen, die großräumig und ggf. ohne konkrete Bindung an einzelne Grundstücke eingesetzt werden können.

SANIERUNGSKONZEPT

Ergebnis der Sanierungsuntersuchung und Sanierungsvariantenstudie für einen Standort; grober, nicht bis ins Detail ausgearbeiteter Plan in einem frühen Entwurfsstadium

RAHMENSANIERUNGSPLAN

Genehmigungsplanung für integrale Sanierung bzw. behördlicher Rahmensanierungsplan, der durch Sanierungspläne für einzelne Vorhaben präzisiert wird.

INTEGRALE SANIERUNG

Umsetzung der optimalen Sanierungsvariante(n) des Rahmensanierungskonzepts entweder durch Fokussierung auf relevante Einzelschäden oder durch großräumige Maßnahmen und ggf. ohne konkrete Bindung an einzelne Grundstücke.

3.3 RECHTSGRUNDLAGEN, VERWALTUNGSTECHNISCHES VORGEHEN, FINANZIERUNG

RECHTSGRUNDLAGEN

Die Bearbeitung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten auf der Grundlage des Bundes-Bodenschutzgesetzes vom 17. März 1998 (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BBodSchV) erfolgt bislang überwiegend einzelfallbezogen. Mit dem integralen Untersuchungsansatz wurde in Baden-Württemberg Neuland beschritten und die Verfahrensweise daher rechtlich überprüft [VETTER 2002].

Das Bundes-Bodenschutzgesetz geht vom Ansatz einzelfallbezogener Maßnahmen aus, ermöglicht aber auch ein standortübergreifendes behördliches Vorgehen im Rahmen der orientierenden Untersuchung (§ 9 Abs. 1 BBodSchG) und in der Phase der Sanierungsplanerstellung (§ 14 BBodSchG).

Die behördliche Ermittlungspflicht nach § 9 Abs. 1 BBodSchG erstreckt sich auch auf Verunreinigungen des Grundwassers, sofern Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass diese durch Altlasten oder schädliche Bodenveränderungen (SBV) verursacht sind.

Sofern Grundwasserverunreinigungen noch keiner schädlichen Bodenveränderung oder Altlast zugerechnet werden können, sind i.d.R. die Voraussetzungen für behördliche Ermittlungen nach § 9 Abs. 1 BBodSchG nicht gegeben. Ausgangspunkt der integralen orientierenden Untersuchung ist in diesem Fall regelmäßig § 100 Wasserhaushaltsgesetz (WHG), § 75 Abs. 1 Wassergesetz (WG)

i. V. m. § 8 Polizeigesetz (PolG). § 9 Abs. 1 BBodSchG wird jedoch in dem Moment zur Grundlage der behördlichen Ermittlungsmaßnahmen, in dem Anhaltspunkte einer schädlichen Bodenveränderung oder eine Altlast und Anhaltspunkte für eine Zurechnung der Gewässerverunreinigung zu einer bestimmten schädlichen Bodenveränderung oder Altlast vorliegen.

Die Maßnahmen der integralen Untersuchung können auf der Grundlage von § 9 Abs. 1, Satz 2 BBodSchG soweit ausgedehnt werden, dass eine gesicherte Ermittlung der Emittenten sowie deren Verursacherbeiträge ermöglicht wird.

Die orientierende Untersuchung muss für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser das Beweinsniveau 2 erreichen, also die grundstücksbezogene Aussage, ob ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer Altlast besteht.

Bei großflächigen Verunreinigungen des Grundwassers oder des Bodens können Ermessensabwägungen dazu führen, dass die behördliche Ermittlungstätigkeit fortgesetzt wird, obwohl bereits konkrete Anhaltspunkte für eine Altlast oder schädliche Bodenveränderung vorliegen.

Der hinreichende Verdacht entspricht einer Mindestschwelle für eine Anordnung gegenüber Pflichtigen. Die Behörde kann auch nach der Ermittlung eines hinreichenden Altlastenverdachts im Rahmen der Amtsermittlung weitere Untersuchungen durchführen, um einen Pflichtigen zu ermitteln, wenn zum Beispiel mehrere Verursacher infrage kommen.

Die Kosten für behördliche Untersuchungsmaßnahmen nach § 9 Abs. 1 BBodSchG verbleiben bei der Behörde.

Aus dem Landesrecht ergeben sich **Duldungs- und Mitwirkungspflichten** für (private) Eigentümer (§ 3 LBodSchAG).

VERWALTUNGSTECHNISCHES VORGEHEN

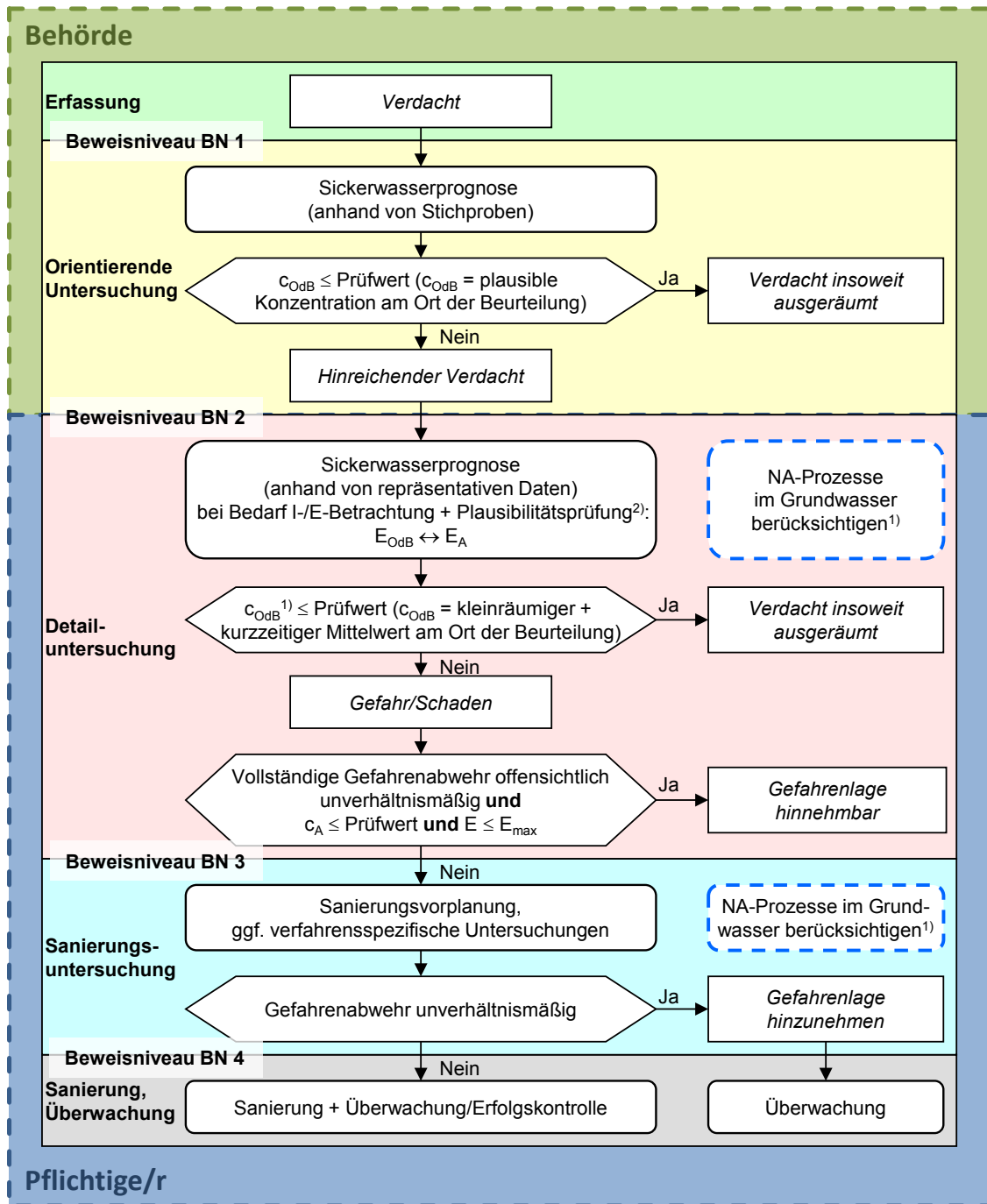
Die Entscheidung für eine integrale Untersuchungsstrategie trifft die Verwaltungsbehörde, welche die notwendigen Mittel genehmigt. Von Seiten eines Pflichtigen besteht kein Anspruch darauf, dass integrale Altlastenuntersuchungen durchgeführt werden.

Die stufenweise Altlastenuntersuchung für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser ist in Baden-Württemberg in der Untersuchungsstrategie Grundwasser [LUBW 2008] beschrieben. Abbildung 3-2 verdeutlicht das Vorgehen bei einem Einzelfall. Ab der Detailuntersuchung erfolgt die Bearbeitung durch den/die Pflichtigen. Erfahrungsgemäß wird das stufenweise Vorgehen in privaten Fällen oft nicht eingehalten. Dies ist ein Grund dafür, dass für die einzelnen Standorte in einem Betrachtungsgebiet die Ausgangssituation in Abhängigkeit vorangegangener oder paralleler privater Maßnahmen sehr unterschiedlich ist. Für viele Flächen bestehen unterschiedliche Bearbeitungsstände. Untersuchungsergebnisse liegen nicht zeitgleich vor und werden unterschiedlich interpretiert und bewertet. Ein generell gültiges Ablaufschema für die integrale Untersuchung ist deshalb nicht generierbar.

Das integrale Vorgehen hat sowohl für die Behörde als auch die Pflichtigen Vorteile. Für das Grundwasser bzw. die Schadstoffherde und -fahnen wird der jeweilige Sachstand ermittelt, ggf. vervollständigt und vereinheitlicht. Dadurch wird eine Bewertung der einzelnen Standorte im Gesamtzusammenhang möglich. Die Bearbeitung von Einzelfällen kann parallel weiter erfolgen. Untersuchungsergebnisse werden sinnvollerweise jeweils einbezogen.

Einige Besonderheiten der integralen Untersuchung im Vergleich zu einzelnen Standortuntersuchungen sind zu beachten:

- Die integrale Untersuchung liefert zunächst Aussagen zum Grundwasser bzw. zur Schadstofffahne (vergleichbar einer Detailuntersuchung) und weniger zum Schadstoffherd.
 - Die Sickerwasserprognose, vgl. Abbildung 3-2, erfolgt nicht vom Schadstoffherd zum Ort der Beurteilung (OdB), d.h. „vorwärts“, sondern durch Rückrechnung von der Immission im Grundwasserabstrom auf die Emission im Schadstoffherd.
- Die Bewertung der integralen Untersuchung erfolgt für die einzelnen Flächen in Kombination mit vorhandenen Standortinformationen auf Beweisniveau BN 2. Je nach Datenlage sind eventuell weitere Untersuchungen notwendig, um das Beweisniveau für den Standort bzw. Schadstoffherd zu erreichen.
- Nachfolgend werden einige Beispiele dargestellt, bei denen die integrale Untersuchung zu einer Änderung der Bewertung geführt hat, weil eine bessere Datenbasis zur Verfügung stand, im Gesamtzusammenhang Informationslücken geschlossen werden konnten oder neue Erkenntnisse hinzugewonnen wurden.
- Beispiel „OU ausgelöst“:
Eine chemische Reinigung wurde auf BN 1 als unverdächtig erfasst. Im Rahmen der integralen Untersuchung wurde eine schmale Schadstofffahne festgestellt, die einen hinreichenden Verdacht begründete und zu gezielten Standortuntersuchungen führte, die ergaben, dass ein Sanierungsbedarf besteht.
 - Beispiel „andere Bewertung“:
Eine Altablagerung wurde im Rahmen der Einzelfalluntersuchung auf BN 2 mit der Notwendigkeit für eine Detailuntersuchung bewertet. Durch die Ergebnisse der integralen Untersuchung konnte dieser Verdacht ausgeräumt werden, weil die Altablagerung nicht zur Grundwasserbelastung beiträgt.
 - Beispiel „Neubewertung Sanierung“:
Für ein Bahngelände wurden von privater Seite die Historie recherchiert und in Teilbereichen Untersuchungen sowie eine Sanierungsmaßnahme bzgl. LHKW durchgeführt, die später in eine Überwa-



¹⁾ identifizieren + quantifizieren

²⁾ wenn sowohl E_{OdB} als auch E_A bekannt ist

Untersuchung/Maßnahmen

Leitfrage

Bewertung durch die Behörde

c = Konzentration, OdB = Ort der Beurteilung, I = Immission, E = Emission, A = Abstrom

Abbildung 3-2: Stufenprogramm für die Altlastenbearbeitung (Einzelfall) [LUBW 2008]

chung überführt wurde. Erst die integrale Untersuchung lieferte über den Grundwasserabstrom belastbare Hinweise auf einen konkreten Belastungsbereich.

Die anschließende Detail- und Sanierungsuntersuchung erstreckte sich integral über mehrere Flurstücke. Dabei konnte ein überlagernder MKW-Schaden

ermittelt werden, der ebenfalls sanierungsbedürftig ist. Die absehbare Sanierung bietet die Möglichkeit, beide Schäden auch integral zu sanieren.

Der Einsatzbereich der integralen Untersuchung ist begrenzt auf das Grundwasser. Sie ermittelt bestehende Schäden, nicht jedoch Gefahren, die sich aus Bodenkontaminationen ergeben und die sich dem Grundwasser noch nicht mitgeteilt haben.

Die Untersuchung weiterer Wirkungspfade wie z.B. Boden-Mensch auf einzelnen Standorten muss unabhängig erfolgen.

FINANZIERUNG

Die Finanzierung einer integralen Untersuchung hängt von der Ausgangskonstellation der betroffenen Flächen ab. Grundsätzlich können drei Konstellationen unterschieden werden:

- **Private Standorte**
Liegen in einem Untersuchungsgebiet Anhaltspunkte für Altlasten oder schädliche Bodenveränderungen ausschließlich für private Standorte vor, so ist deren orientierende, integrale Untersuchung im Wege der **Amtsermittlung** von der Unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörde durchzuführen. Die **Kosten trägt die Behörde**. Liegt im Einzelfall auch erhebliches **privates Interesse an der Klärung** des Altlastenverdachts vor, zum Beispiel bei eiligen und/oder größeren Bauvorhaben, besteht seitens der Grundstückseigentümer oder der Investoren in der Regel auch eine **Bereitschaft zur finanziellen Beteiligung oder Gesamtfinanzierung**.
- **Kommunale Standorte**
Die Pflicht der Unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörde zur **Amtsermittlung und Kostentragung** besteht grundsätzlich auch für Untersuchungsgebiete, in denen der Anfangsverdacht auf schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten allein von kommunalen Standorten ausgeht. In diesen Fällen ist eine Förde-

rung der integralen Untersuchungsmaßnahmen zu 100 % mit Mitteln des Altlastenfonds Baden-Württemberg möglich. Grundlage ist Nr. 6.2 der Förderrichtlinien Altlasten (FrAl) vom 25.03.2014, die bestimmt, dass „mehrere in engem räumlichen Zusammenhang stehende kommunale altlastenverdächtige Flächen als ein Projekt gefördert werden können, falls dies insbesondere aus fachlicher Sicht geboten ist (Integrales Altlastenmanagement)“. Zuwendungsberechtigt und damit Antragsteller sind sowohl die Gemeinden als auch Landkreise. Bewilligungsstellen sind die Regierungspräsidien. Über die Förderung von integralen Untersuchungsmaßnahmen, deren Zuwendung 500.000,- € übersteigt, entscheidet der Verteilungsausschuss beim Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, siehe Nr. 10.1 und 10.2 FrAl.

- **Gemengelage kommunaler und privater Standorte**
Sofern das Untersuchungsgebiet durch eine Gemengelage geprägt ist und sich kommunale und private Verdachtsflächen überlagern, ist eine Förderung der integralen Untersuchungsmaßnahmen mit Mitteln des Altlastenfonds nur in **begründeten Einzelfällen möglich**. Die Fördervoraussetzungen können gegeben sein, wenn die **überwiegende Anzahl der einbezogenen Standorte kommunal** ist und wenn **allein eine integrale Vorgehensweise** die für die nachfolgende ordnungsrechtliche Abarbeitung der Altlastenproblematik zwingend erforderliche, **eindeutige Abgrenzung** der kommunalen und privaten Verursachungsbeiträge **gewährleistet**.

Bei der Förderung von Maßnahmen, die der Innenentwicklung dienen, werden neben Flächen im Rahmen der Aufstellung und Änderung eines Bebauungsplans auch Gebiete nach § 34 BauGB (unbeplanter Innenbereich) und Flächen im Rahmen einer vorbereitenden Untersuchung vor Festlegung eines Sanierungsgebiets nach §§ 141, 165 Abs. 4 BauGB im Rahmen von orientierenden Untersuchungen gefördert.

FÖRDERANTRAG

Im Vorfeld der Antragstellung sind auf das Untersuchungsgebiet bezogene, intensive Recherchen und **Vorarbeiten** erforderlich. Von zentraler Bedeutung ist hierbei die Aktualisierung der Ergebnisse der Erfassung altlastverdächtiger Flächen unter besonderer Berücksichtigung der Förderrichtlinien und deren Regelungen bei der **Kommunalisierung von Standorten**. Diese bestimmen, dass die Untersuchung einer von der Kommune vor dem Stichtag 01.01.2001 erworbenen, ehemals privaten Verdachtsfläche förderfähig wird (FrAl vom 25.03.2014, Nr. 7.2). Sollten Maßnahmen auf kommunalen Flächen im **unmittelbaren Zusammenhang mit der Förderung der städtebaulichen Sanierung und Entwicklung** nach den Städtebauförderungsrichtlinien (StBauFR) oder Förderung nach dem **Entwicklungsprogramm Ländlicher Raum (ELR)** nach Nr. 7.3 FrAl durchgeführt werden, sind diese unabhängig vom Zeitpunkt des Grunderwerbs grundsätzlich förderfähig, sofern kein Handlungsstörer herangezogen werden kann.

Für die **Vorarbeiten**, vgl. auch Kapitel 5 und Abbildung 5-1, stehen **keine Fördermittel** zur Verfügung, die Kosten sind vom Auftraggeber zu übernehmen. Informationen können aber als Ergebnis der kontinuierlichen Erfassung altlastverdächtiger Flächen in der Regie der Unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörde anfallen.

Weitere Informationen zur Kostentragung siehe auch [LUBW 2011].

Im Rahmen der unmittelbaren Ausführung können dem Störer die Kosten für die Störersuche im Nachhinein auferlegt werden. Im Rahmen der Gefahrenabwehr können Kosten ebenfalls von den Pflichtigen eingefordert werden.

3.4 PROJEKTORGANISATION UND QUALITÄTSANFORDERUNGEN

PROJEKTORGANISATION

Entscheidet sich eine Kommune oder Behörde für eine integrale Untersuchung, müssen nachfolgend aufgeführte organisatorische Rahmenbedingungen erfüllt sein:

- Festlegen des Betrachtungsgebiets
- Festlegung/Formulierung der Aufgabenstellung
- Projektantrag und Finanzierung
- Personalressourcen
- Verfahren zur Ausschreibung/Vergabe der Ingenieurleistungen (nach VOF oder in Anlehnung an die VOF)
- Zusammensetzung des Projektteams und fachlicher Berater
- Zeitplanung.

Die **Abgrenzung des Betrachtungsgebiets** erfolgt auf Basis fachtechnischer Überlegungen bereits im Rahmen der Vorarbeiten. Eine formale Festsetzung ist nicht erforderlich.

Neben der **Eigenleistung der Verwaltung** hat sich bereits in der Vorbereitung und Planung die **Unterstützung von erfahreneren Ingenieurbüros/Sachverständigen und der Mitglieder der Bewertungskommission** bewährt. Die Mitwirkung von wissenschaftlichen Einrichtungen ist je nach Komplexität der Fragestellungen zu empfehlen, z.B. wenn komplexe hydrogeologische Randbedingungen zu beachten sind. Auch im Hinblick auf die Finanzierung ist eine frühzeitige Abstimmung aller Beteiligten sinnvoll, vgl. Kapitel 3.3.

Bei größeren Projekten haben sich drei Funktionen bei der **Projektorganisation**, vgl. Abbildung 3-3, bewährt:

- Projektleitung
- ausführende Unternehmen und Sachverständige
- fachlicher Projektbeirat (z.B. Behörden, Universitäten und Forschungseinrichtungen).

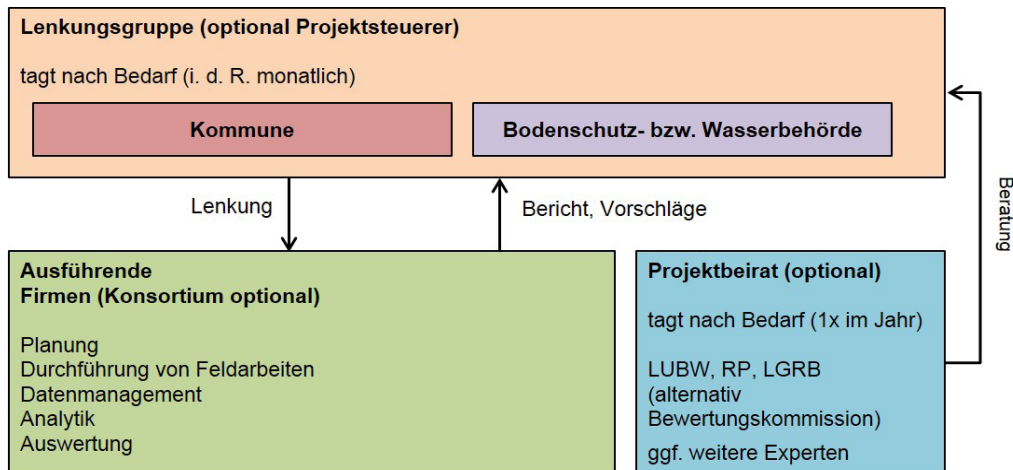


Abbildung 3-3: Beispiel für eine Organisationsstruktur

Ein wesentlicher Aspekt ist die **Zeitplanung**. Erfahrungen zeigen, dass eine Bearbeitungszeit von mindestens zwei bis fünf Jahren für Gebiete mit – im Landesvergleich – gängigen Problemstellungen anzunehmen ist. Komplexere und größere Projekte können ggf. auch längere Bearbeitungszeiten erfordern.

Integrale Altlastenuntersuchungen bewirken für die städtische Entwicklung einen wichtigen Informationsgewinn und leisten damit einen Beitrag zur Planungssicherheit. Hier können ggf. frühzeitig Synergien berücksichtigt werden.

QUALITÄTSANFORDERUNGEN

Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind schon in einem frühen Stadium ratsam. Bereits das erste Konzept kann den Sachverstand von Ingenieurbüros einbeziehen und durch die LUBW, das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) sowie das zuständige Regierungspräsidium (RP) unterstützt werden. Im weiteren Verlauf erfolgt – begünstigt durch eine gute Projektorganisation – eine permanente Kontrolle von der Vergabe über den Untersuchungsprozess bis zu den Ergebnissen.

Der Vergabeprozess trägt wesentlich zur Qualitätssicherung bei und soll die **Eignung der Wettbewerber** gewährleisten. In Abhängigkeit der Schwellenwerte ist eine

beschränkte Ausschreibung oder die Vergabe nach VOF möglich. In beiden Fällen erhält der Auftraggeber verschiedene Vorschläge, aus denen er die Lösung auswählen kann, die für ihn – zum Zeitpunkt der Vergabe – am besten das Erreichen der Projektziele garantiert.

Die **fachliche Eignung** der ausführenden Ingenieurbüros soll neben dem Preis besonders hoch gewichtet werden, durch:

- klar definierte Anforderungen an Bieter
- Präqualifikation
- aussagekräftige Referenzen
- Qualifikationen des Unternehmens und der Beschäftigten
- Erfahrungen mit vergleichbaren Aufgabenstellungen und lokalen Besonderheiten.

Eine **stufenweise Vergabe** einzelner Projektphasen ist vorteilhaft und erhöht die Flexibilität. Ingenieurleistungen und Untersuchungskonzepte können iterativ-adaptiv an die jeweils vorliegenden Erkenntnisse angepasst werden (z.B. Anordnung von Kontrollebenen).

Ein Projekt kann z.B. aufgeteilt werden in:

- Erhebungs- und Planungsphase
- Feldarbeiten, ggf. in mehreren Phasen mit Zwischenauswertung und Überprüfung der Planung
- Auswertungs- und Dokumentationsphase.

Eine weitere wichtige Qualitätsanforderung ist die laufende Sicherung der **Prozess- und Ergebnisqualität**. Wesentliche Bausteine hierfür sind idealerweise:

- **Projektmanagement:** Zeit-, Ablauf- und Kostenpläne mit wechselseitigen Abhängigkeiten, definierte Meilensteine (z.B. fachliche Untersuchungsziele), Verantwortlichkeiten, K.-o.-Kriterien und Szenarien bei Nicht-Erreichen von Meilensteinen bzw. Überschreiten von Zeit- oder Kostenvorgaben
- **Methodenstandards und Qualitätskriterien** für die eingesetzten Untersuchungs- und Auswertemethoden
- **Schulung der Projektbeteiligten** (z.B. Profilsprache, Probenahme, Software)
- **Kontroll-/Korrekturinstanzen** für alle Projektphasen sowohl fachlich als auch organisatorisch (Kosten-/Zeitplankontrolle, Qualitätskontrolle durch 4-Augen-Prinzip, Zweitgutachter, Experten-Feedback)
- „**Jour-fixe**“-Besprechungen des Projektteams (z.B. Lenkungsgruppe und ausführende Firmen monatlich)
- **regelmäßige Weiterentwicklung und Darstellung/Präsentation** der konzeptionellen Modellvorstellung mit aktuellen Daten und Ergebnissen
- **Feedback von Beirat/Gremien/Experten** zu Planungen, Methodik, Fachfragen oder Meilensteinen (z.B. Workshops nach jeder Projektphase)
- **Prüfung von Hypothesen und/oder Ergebnissen** durch (mindestens zwei) unterschiedliche Methoden und/oder Gutachter (ggf. auch Gutachterkonsortium) – duale/multiple Beweisführung.

Die Qualitätssicherung benötigt organisatorisch festgelegte Zuständigkeiten und ein eigenständiges Budget im Rahmen der Gesamtbearbeitung.

3.5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Ungeachtet dessen, dass die verantwortliche Wasser- und Bodenschutzbehörde die zur Gefahrenerkundung und -abwehr notwendigen Entscheidungen in eigener Zuständigkeit trifft und Sanierungsziele festlegt, ist eine aktive

Öffentlichkeitsarbeit bei der Durchführung integraler Projekte i.d.R. hilfreich. Sie ist optional und hat sich bisher v.a. bei größeren Projekten bewährt.

Ziel ist es, Informationen zu aktuellen Erkundungsergebnissen und der daraus ableitbaren Gefahrenlage sowie zu den möglichen Maßnahmen zur spontanen Gefahrenabwehr und/oder der Sanierung zu vermitteln. Umgekehrt können konstruktive Hinweise und Anregungen von Seiten der Öffentlichkeit die Projektarbeit unterstützen.

Erfahrungsgemäß ist ein Informationsaustausch mit folgenden Zielgruppen besonders empfehlenswert:

Kommunale Gremien, die oft maßgebliche Entscheidungen zur Mitfinanzierung und Vergabe der Erkundungs- und Sanierungsarbeiten treffen müssen, haben einen vorrangigen Informationsbedarf. In der Regel ist eine frühzeitige projektbegleitende Unterrichtung über Sinn und Zweck geplanter Maßnahmen sowie zu projektierten Zeitplänen und Zielen einer Förderung des Problembewusstseins und der Akzeptanz hinsichtlich notwendiger Schritte besonders dienlich.

Die **Betroffenen** als Öffentlichkeit im engeren Sinn sind Eigentümer und Nutzer von Grundstücken im Betrachtungsgebiet, in deren Nachbarschaft Altlastverdacht herrscht oder Maßnahmen durchgeführt werden sollen oder müssen. Hinzu kommen Anwohner, die indirekt (z.B. durch baubedingte Verkehrsbehinderungen, Lärm der Bohrarbeiten) betroffen sein können. Ein frühzeitiger Dialog mit dieser Zielgruppe baut Widerstände ab, weil berechnete Interessen bei der Projektplanung und -durchführung berücksichtigt werden können. Zur Information der Betroffenen bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- **Flyer zum Projekt** mit Informationen zu Absicht, Zeitplan, Ziele sowie Akteure und Ansprechpartner (verständliche grafische Aufbereitung der Sachverhalte)
- **(Rund-)Schreiben** mit Erläuterung der geplanten Maßnahmen und Bitte um Verständnis oder gezielte Mitwirkung, Flyer als Beilage

- Ortstermine mit Akteuren und Betroffenen bzw. Anwohnern
- Informationsschreiben oder -veranstaltungen zu Projektablaufen und zu Untersuchungsergebnissen.

Externe Fachleute und Fachverbände/-organisationen haben ein großes Wissens- und Erfahrungspotenzial das sich im Rahmen von Informationsveranstaltungen und -dialogen projektfördernd nutzen lässt.

Sofern gezielt städtebauliche Entwicklungen verfolgt werden, ist die frühzeitige Information und Einbindung von Grundstückseigentümern, Stadtplanern und (potenziellen) Investoren besonders sachdienlich (vgl. Teil 2 „Handlungshilfe Weiterführende Konzepte“).

Ganz allgemein trägt eine proaktive Kommunikation zur Akzeptanz und zur reibungslosen Abwicklung der Gesamtmaßnahme bei. Je nach Komplexität und Sensibilität der Umstände ist es sinnvoll, neben erfahrenen Sachverständigen und Kommunalvertretern bzw. kommunalen Aufgabenträgern ggf. auch professionelle Kommunikationsexperten bei entsprechenden Informationsdialogen einzubinden. Als weitere Informationsplattformen, mit denen eine breite Öffentlichkeit erreicht werden kann, dienen ferner

- lokale Pressemitteilungen zum Sachstand bzw. Ankündigung von Untersuchungsmaßnahmen und (öffentlichen) Veranstaltungen sowie
- eine Projekt-Homepage ggf. mit Kontakt- und Downloadfunktion (z.B. Vorträge, Flyer).

4 Vorgehensweise der integralen Untersuchung

Bei der Konzeption einer integralen Untersuchung sollten gemäß Kapitel 3 idealerweise bereits Fachbehörden und erfahrene Ingenieurbüros beteiligt werden, sodass ein „maßgeschneidertes“ Vorgehen für den jeweiligen Einzelfall möglich ist.

Kapitel 4 enthält einen Überblick über die Arbeitsschritte der integralen Untersuchung. Es bildet den Rahmen für die nachfolgenden Kapitel, in denen die Arbeitsschritte einzeln detailliert beschrieben werden. Die Vorgehensweise und Abfolge der Arbeitsschritte ist mit Verweisen auf die jeweiligen Kapitel in **Abbildung 4-1** skizziert. Die integrale Altlastenuntersuchung umfasst demnach:

- Datensammlung und -verarbeitung
- Hydrogeologisches Modell
- ggf. Numerische Modelle
- Untersuchung und Auswertung
- gesamtschauliche Auswertung
- Gefährdungsabschätzung und Priorisierung.

Die integrale Herangehensweise führt mit jedem Arbeitsschritt zu einem **Kenntniszuwachs**. Durch ein **iterativ-adaptives Vorgehen** muss das Ergebnis jeweils **plausibilisiert** und ggf. eine **Bearbeitungsstufe** wiederholt oder eine **alternative Methode** gewählt werden. Bei ausreichender **Informationslage** ist auf jeder Stufe ein **Ausstieg** aus der integralen Vorgehensweise und die **Rückkehr zur Einzelfallbearbeitung** möglich und ggf. **vorteilhafter**.

Bei jedem Arbeitsschritt werden die Hydrogeologie und die stoffliche Situation betrachtet. Dieser Dualismus kommt im Diagramm durch die in Blau und Orange dargestellten Teilaufgaben innerhalb der Arbeitsschritte zum Ausdruck.

Über die Arbeitsschritte der **Datensammlung**, der **Datenanalyse** und die Entwicklung von qualitativ beschreibenden **konzeptionellen Modellen** bis zum quantitativ überprüfbareren **Hydrogeologischen Modell** findet eine

Interpretation und Abstrahierung der Daten und Informationen zu Hydrogeologie und Stoffausbreitung statt. Ziel ist es, für das Betrachtungsgebiet ein umfassendes System- und Prozessverständnis zu entwickeln.

In der **Bilanz- und Defizitanalyse** werden die **Arbeitshypothesen** des Hydrogeologischen Modells mithilfe vergleichender Auswertungen von Grundwasserströmung und Schadstofftransport entweder widerspruchsfrei bestätigt oder widerlegt. Hieraus werden Empfehlungen für weitere Untersuchungen entwickelt, auf deren Grundlage das Hydrogeologische Modell entsprechend modifiziert bzw. weiterentwickelt werden kann.

Zeigt sich beim Aufbau des Hydrogeologischen Modells, dass das Aquifersystem und die Stoffausbreitung einfach zu verstehen bzw. zu erfassen sind, so können Untersuchungsmaßnahmen unmittelbar auf Grundlage des Hydrogeologischen Modells geplant und ausgewertet werden (blaue Pfeile in **Abbildung 4-1**).

Bei **komplexen Problemstellungen** ist i.d.R. eine weitere Abstrahierung in Form von numerischen Modellen erforderlich (rote Pfeile in **Abbildung 4-1**). Dies kann der Fall sein bei

- unklarer oder unübersichtlicher Grundwasserströmungssituation oder Stoffausbreitung
- großem bzw. nicht flächendeckend zu untersuchendem Betrachtungsgebiet.

In der **strategischen Planung** wird festgelegt, mit welchen Untersuchungsmethoden die Defizite der konzeptionellen bzw. numerischen Modelle behoben werden können. Dies umfasst die **Untersuchung** der betroffenen Aquifere mit ihren hydrogeologischen Parametern sowie die Erfassung der Schadstoffbelastung. Je nach den gegebenen Voraussetzungen und Gebietsgrößen können Parameter und Schadstoffbelastung dabei entlang von Kontrollebenen lückelos erfasst oder nur punktuell untersucht werden.

In der gesamt-schaulichen Auswertung werden aus den entlang von Kontrollebenen oder punktuell gewonnenen Ergebnissen flächendeckende Interpretationen der Parameterverteilungen und Schadstofffrachten vorgenommen. Darauf aufbauend können Schadstofffrachten berechnet und die zugehörigen Schadstoffherde ermittelt werden.

Mit der gesamt-schaulichen Auswertung ist auch zu überprüfen, ob alle systembestimmenden Defizite der hydrogeologischen Modellvorstellung geklärt sind. Bei Lücken

oder gar Widersprüchen sind die konzeptionellen Modellvorstellungen und ggf. die numerischen Modelle entsprechend zu modifizieren bzw. durch weitere Untersuchungen zu verifizieren.

Auf Grundlage der nach der gesamt-schaulichen Auswertung vorliegenden flächendeckenden Informationen erfolgt die formale Bewertung und Gefährdungsabschätzung der Verdachtsflächen bzw. Schadstoffherde sowie die Priorisierung von weiteren Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen.

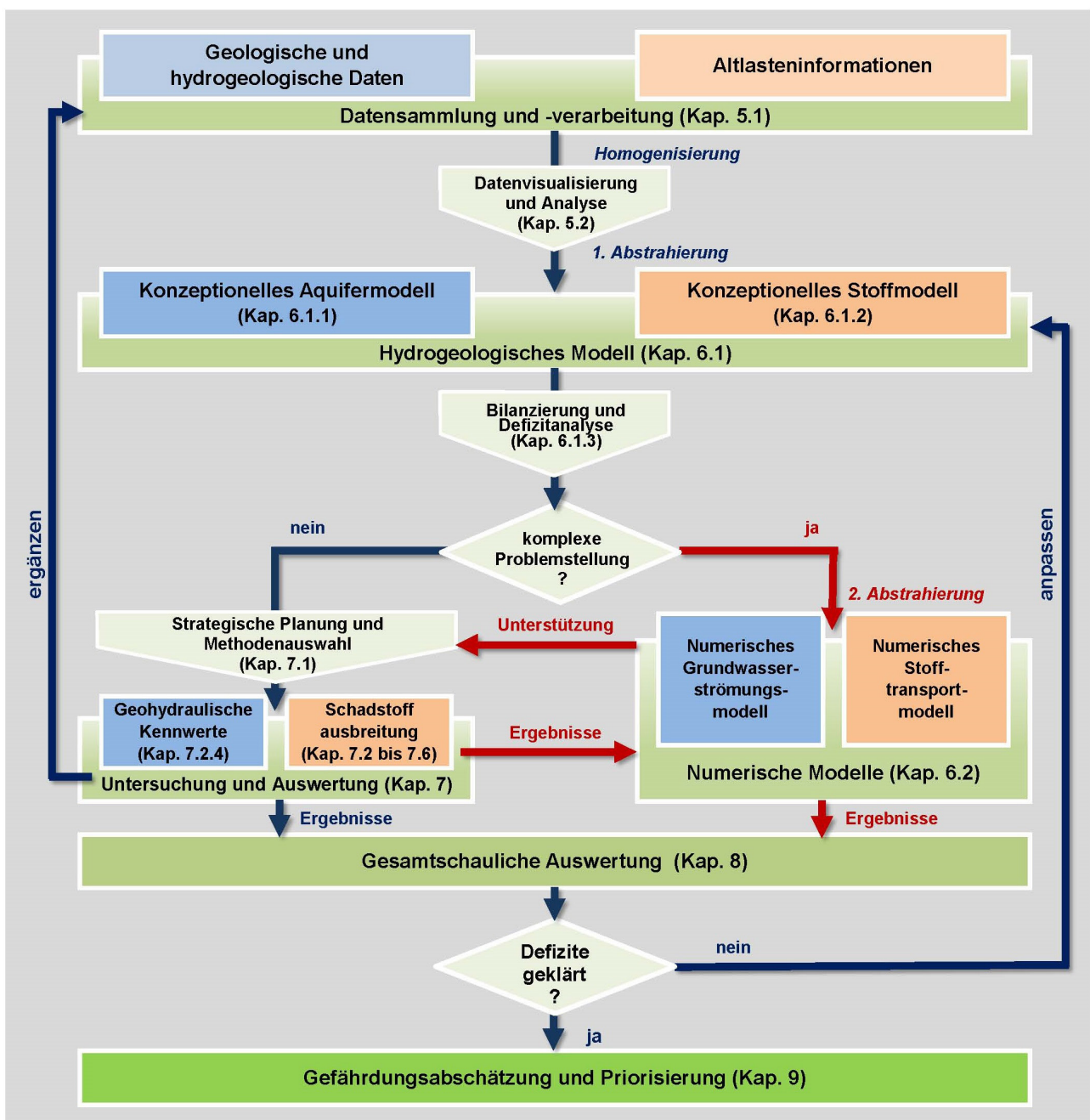
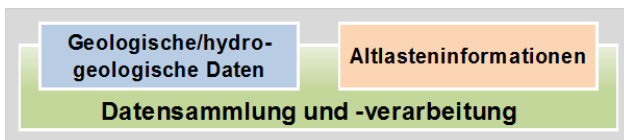


Abbildung 4-1: Iterativ-adaptive Vorgehensweise der integralen Untersuchung

5 Analyse der Bestandsdaten

Ein wesentlicher Bestandteil der integralen Altlastenbearbeitung ist die Sammlung, Aufarbeitung und Analyse sämtlicher Bestandsdaten des Betrachtungsgebiets. Die gesamtanschauliche Datenanalyse ist die Grundlage für das System- und Prozessverständnis und die zielgerichtete Konzeption integraler Untersuchungen.

5.1 DATENSAMMLUNG UND -VERARBEITUNG



Im Zuge der Datensammlung und -verarbeitung werden sämtliche vorhandene Daten zur Geologie und Hydrogeologie sowie altlastenrelevante Informationen des Betrachtungsgebiets (z.B. HISTE) zusammengetragen und aufbereitet. Hierbei ist zu beachten, dass für das Verständnis der hydrogeologischen Zusammenhänge Daten aus einem größeren Raum benötigt werden, der i.d.R. weit über das eigentliche Betrachtungsgebiet der Altlastenbearbeitung hinausgeht. Im Hinblick auf eine konsistente Erfassung und die weitere aquiferbezogene Verarbeitung ist es sinnvoll, die Daten mittels Datenbank-Systemen zu erfassen.

DATENSAMMLUNG

Die Datensammlung umfasst die Schritte:

1. Auswertung von Altlasten-, Bau- und sonstigen Projekten in Archiven der Behörden und ggf. privater Eigentümer
2. Qualitätsprüfung und Datenerfassung
3. Plausibilitätsprüfung mit vorhandenen Informationen
4. (Defizit-)Analyse
5. kontinuierliche Pflege und Erweiterung der Datenbestände.

In jedem Projektstadium ist ein aktueller und vollständiger Datenbestand Schlüsselement für die Qualität von Darstellungen, Planungen und Ergebnissen.

DATENVERARBEITUNG

Für die umfangreichen Datenbestände sind EDV-technische Erfassungs- und Auswertungs-Module, i.d.R. Datenbanken, erforderlich. Sachdaten müssen darin konsistent erfasst werden, um eine eindeutige Zuordnung zu gewährleisten. Dabei findet – soweit möglich – auch eine Homogenisierung der Datenbestände statt, beispielsweise der Höhenbezüge auf dasselbe Bezugsniveau, der Schichtansprachen auf ein einheitliches System oder der Schadstoffe auf eine einheitliche Nomenklatur und Einheiten.

Neben dem Bodenschutz- und Altlastenkataster (BAK), welches Flächeninformationen enthält, und der Grundwasser-Datenbank des Landes (WIBAS-Fachanwendungen) sind Systeme hilfreich, die raumbezogene punktuelle Daten von Messstellen und Untersuchungsbefunde verarbeiten.

Ergänzend zu den Objektinformationen, z.B. des BAK, wie

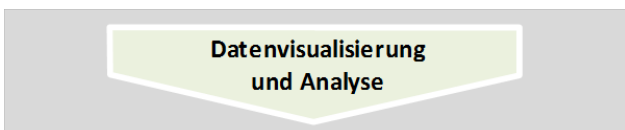
- Stammdaten eines Objekts (Objektnummer, Name, Flächentyp etc.)
- Informationen zur Lage, Ausdehnung und Schadstoff-situation
- fachliche Bewertung und resultierender Handlungsbedarf
- Standortbeschreibungen
- Geologie/Hydrogeologie
- Historie
- Ortsbegehungen
- gutachterliche Stellungnahmen

sind wesentliche Punktinformationen von Bohrungen und Grundwassermessstellen zu erfassen:

- Stammdaten (Benennung, Aufschlusstyp, Koordinaten, Ausbauspezifikationen, Qualitätsbeschreibung – verwendbar ja/nein)
- laborchemische Befunde aller Medien
- Bodenansprachen
- geologische Kenndaten (Schichtverzeichnisse, hydrogeologische Einheiten)
- Wasserstände (auch Oberflächengewässer)
- Kenndaten von Pumpversuchen (Datum, Schüttung, kf-Werte)
- verlinkte Dokumente wie Bohr- und Ausbauprofile.

Zum Einsatz kommen bisher sowohl kommerziell verfügbare als auch speziell entwickelte Datenbanksysteme [KUNZE & SCHÜNKE 2014]. Welches System eingesetzt wird, hängt von den Anforderungen des Einzelfalls ab, generell ist die Nutzung einer Datenbank jedoch zu empfehlen.

5.2 DATENVISUALISIERUNG UND ANALYSE



Die Datenvisualisierung und Analyse stellt oft die erstmalige vom Einzelfall losgelöste gesamtschauliche Auswertung des Datenbestands im Betrachtungsgebiet dar. Die Verschneidung der Informationen zu Stoffkonzentrationen, Prüfwertüberschreitungen, Stoffverteilungsmustern mit hydrogeologischen Informationen und Grundwassergleichen gibt erste Hinweise auf Schadstofffahnen und Altlastenverdachtsbereiche. Sie bildet damit die Grundlage für die Entwicklung einer konzeptionellen Modellvorstellung und die Planung weiterführender Untersuchungen.

Zur Visualisierung der Sachinformationen werden die hydrogeologischen und altlastenrelevanten Daten raumbezogen dargestellt. I.d.R. erfolgt dies durch ein Geoinformationssystem (GIS), das mit dem Datenbestand verknüpft wird. Über das GIS werden die Informationen über geeignetes Kartenmaterial wie ALK-Daten, Luftbilder oder topografische und geologische Karten projiziert.

Mit Datenbank-/GIS-Systemen, ggf. unterstützt durch Interpolationsprogramme sind auch weiterführende räumliche Datenanalysen im Hinblick auf die Entwicklung konzeptioneller Modellvorstellungen sowie zur Planung von Untersuchungsmaßnahmen möglich. Hierzu einsetzbare Auswahl-, Klassifizierungs- und Interpolationsfunktionen werden nachfolgend anhand von vier Beispielen umrissen:

1. ANALYSE VON ABLAGERUNGSBEREICHEN

Zur genauen Abgrenzung von anthropogenen Auffüllungen als potenzielle Schadstoffherde hat sich die Verschneidung von Höhendaten bewährt. Abbildung 5-1 zeigt beispielhaft das Ergebnis der Höhenverschneidung für das Gebiet der integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg, dargestellt als Auffüllmächtigkeit. Grundlage war eine Höhenebene, die aus historischen Höhenflurkarten aus dem Jahr 1903 interpoliert und von der Höhenebene einer Laserscanvermessung aus dem Jahr 2001 subtrahiert wurde.

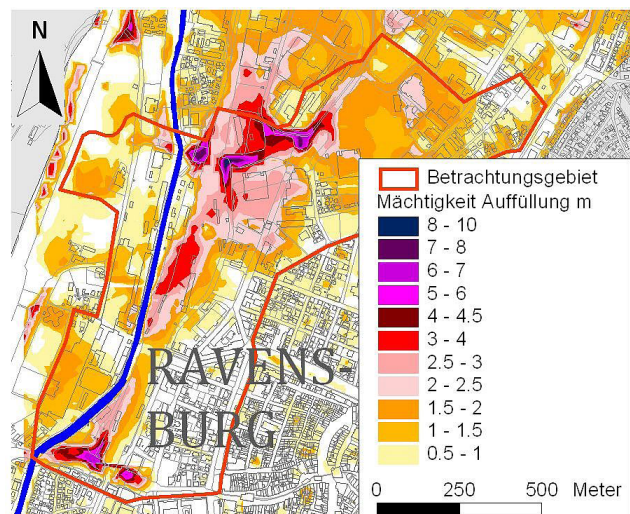


Abbildung 5-1: Auffüllmächtigkeiten als Ergebnis einer Höhenverschneidung [EICHELMANN et al. 2014]

2. ANALYSE DER GRUNDWASSERSTRÖMUNG

Eine erste Übersicht der Grundwasserströmung liefern einfache räumliche Interpolationen der Daten zu Grundwasserhöhen für ausgewählte Stichtage. Die Entwicklung belastbarer Grundwassergleichenpläne erfordert jedoch eine eindeutige Aquiferzuordnung der Messstellen sowie eine Interpretation und Anpassung der Höhengleichen an den hydrogeologischen Aufbau sowie Randbedingungen wie z.B. Vorfluter. Abbildung 5-2 zeigt als Beispiel einen ersten Grundwassergleichenplan nach der Überprüfung des Messstellenbestands und der Zuordnung zu Grundwasserleitern. Um Fehlinterpretationen z.B. an Schichtgrenzen zu vermeiden, ist neben der reinen Darstellung der Messdaten immer auch eine fachlich fundierte hydrogeologische Interpretation erforderlich.

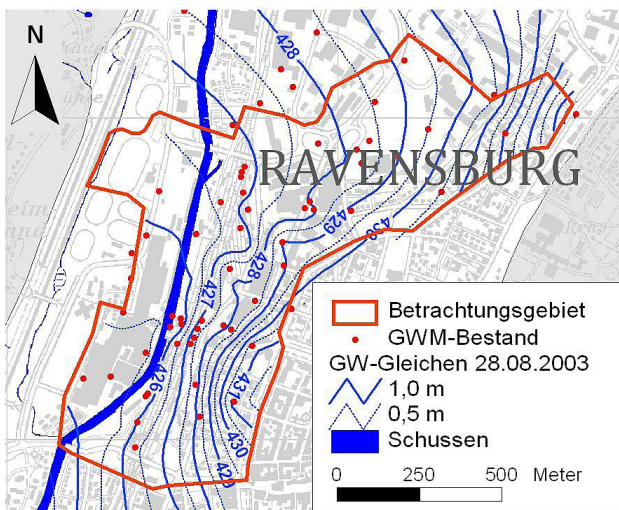


Abbildung 5-2: Interpolierte Grundwasserhöhen [HEKEL et al. 2014]

3. ANALYSE VON STOFFVERTEILUNGEN

Die räumliche Analyse von Stoffkonzentrationen, z.B. anhand von Prüfwertüberschreitungen im Grundwasser (Abbildung 5-3), kann in Verbindung mit Grundwassergleichen ein Bild möglicher Beiträge vorhandener Altlastenverdachtsflächen sowie der Stoffausbreitung im Grundwasser vermitteln.

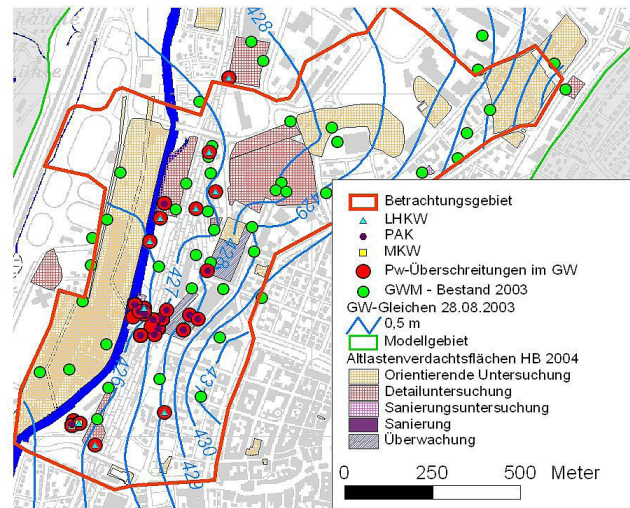


Abbildung 5-3: Messstellen mit Prüfwertüberschreitungen im Grundwasser [HEKEL et al. 2014]

4. ANALYSE VON STOFFAUSBREITUNG UND ABBAUPROZESSEN

Bei Stoffgruppen wie LHKW, die beim Abbau Metabolite ausbilden, geben z.B. einfache Darstellungen in Form von Tortendiagrammen einen guten Überblick der Summenkonzentrationen und der Verhältnisse der Einzelstoffe. Damit sind oft erste Rückschlüsse auf die Stoffausbreitung und einen eventuellen Abbau möglich (Abbildung 5-4). Es bietet sich die Darstellung in unterschiedlich großen Kreisen (Summenkonzentration hier von $< 10 \mu\text{g/l}$ bis $> 10.000 \mu\text{g/l}$, blaue Punkte $< \text{BG}$) und unterschiedlichen Farben (Stoffzusammensetzung) an. Im Beispiel ändert sich die Stoffzusammensetzung mit der Fließstrecke.

Bei der Analyse von Schadstoffausbreitungen sollten neben den relevanten Schadstoffkomponenten charakteristische Abbauprodukte und Redoxindikatoren berücksichtigt werden.

Für weitergehende räumliche Datenanalysen zu einem möglichen LHKW-Abbau ist die Datenauswertung und Darstellung in Form von PCE-Äquivalentkonzentrationen und -frachten sinnvoll, um Quellen und Senken für Schadstoffe korrekt zu erfassen. Eine Bilanzierung in Molkonzentrationen verhindert, dass aus einem reinen Massenverlust

durch Transformation (PCE ist schwerer als TCE etc.) auf einen Verlust von Schadstoffmolekülen z.B. durch vollständigen Abbau geschlossen wird. Die Unterschiede sind erheblich und müssen möglichst exakt abgegrenzt werden von tatsächlichen – eventuell unvollständigen – Abbauvorgängen.

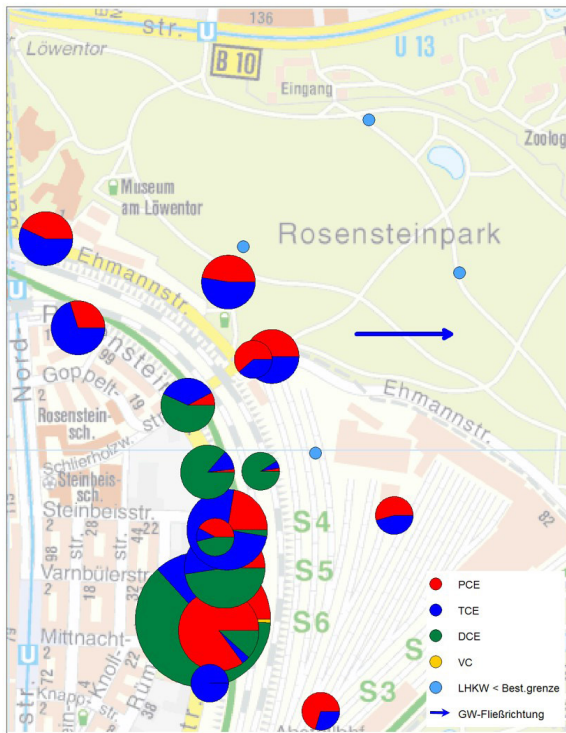


Abbildung 5-4: Beispiel LHKW-Verteilung [Ausschnitt aus UFRICHT, SPITZBERG 2012]

6 Entwicklung von Modellen

6.1 HYDROGEOLOGISCHES MODELL



Die Entwicklung von konzeptionellen Modellvorstellungen bis hin zu einem quantitativen und damit überprüfbaren Hydrogeologischen Modell ist Voraussetzung für eine zielgerichtete und erfolgreiche integrale Altlastenuntersuchung. Bestandteile des Hydrogeologischen Modells sind ein konzeptionelles Aquifermodell und ein konzeptionelles Stoffmodell. Im resultierenden Hydrogeologischen Modell werden die konzeptionellen Modellvorstellungen in Bezug auf die Volumen- und Massenumsätze bilanziert und überprüft.

Das Hydrogeologische Modell bildet auch die Grundlage und Voraussetzung für ein (optionales) numerisches Grundwasserströmungs- bzw. Stofftransportmodell. Ausführlichere Hinweise zur Erstellung eines Hydrogeologischen Modells sind den Leitfäden „Hydrogeologische Modelle“ der Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft (Hefte 10, 24 und 70) zu entnehmen.

Aus der Defizitanalyse bei der Überprüfung des Hydrogeologischen Modells leitet sich der weitere Untersuchungsbedarf ab. In komplexen Fällen unterstützt eine numerische Modellierung (Kapitel 6.2) durch weitere Abstrahierung und mathematische Plausibilisierung die Überprüfung der Hypothesen des Hydrogeologischen Modells.

Die konzeptionellen Modellvorstellungen basieren auf der Datensammlung und -analyse, wobei für eine Entwicklung eines plausiblen Gesamtverständnisses eine Interpretation und Abstrahierung der vielfältigen und oft unübersichtlichen Informationen und Daten vorgenommen werden muss. Jeder Untersuchungsschritt führt zu einem Kenntniszuwachs und damit zu einer Verbesserung des Hydrogeologischen Modells. Die Abfolge aus

der Weiterentwicklung des Hydrogeologischen Modells und ggf. numerischer Modelle, der Überprüfung und der Defizitanalyse mit resultierenden notwendigen Untersuchungsschritten wird so oft durchlaufen, bis die Modellvorstellung in ausreichendem Maß verifiziert und eine ausreichende Kenntnis der räumlichen Schadstoffverteilung und der Transportprozesse erreicht ist.

6.1.1 KONZEPTIONELLES AQUIFERMODELL

BILANZ- UND MODELLRAUM

Voraussetzung für die Abgrenzung des Bilanz- und Modellraums ist das Verständnis der regional-hydrogeologischen Situation. Nach Möglichkeit erfolgt die Abgrenzung für den Grundwasserumsatz entlang hydrologisch-hydrogeologischer Grenzen wie Wasserscheiden und Vorfluter. Der Modellraum muss innerhalb des Bilanzraums liegen und so bemessen sein, dass er die Abgrenzung der relevanten Aquifere und Grundwasserumsätze im Betrachtungsgebiet ermöglicht. Somit richtet sich auch die Abgrenzung des Modellraums i.d.R. nach hydrogeologischen Rändern wie Vorflutern oder Aquiferrändern. Abbildung 6-1 zeigt die räumlichen Beziehungen von Bilanz-, Modell- und Betrachtungsgebiet am Beispiel der integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg.

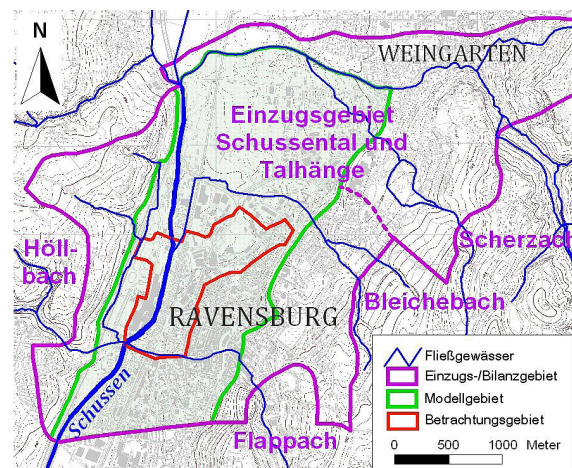


Abbildung 6-1: Bilanz- und Modellgebiet der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg [HEKEL et al. 2014]

HYDROSTRATIGRAFISCHE EINHEITEN

(„VERTIKALE STRUKTURIERUNG“)

Die Definition der hydrostratigrafischen Einheiten basiert auf einer Interpretation sämtlicher geologisch-hydrogeologischer Daten. Die vielfältigen Informationen, z.B. aus Schichtbeschreibungen, müssen dabei abstrahiert und vereinfacht werden. Typisch hierfür ist, dass z.B. Abfolgen von Kies-, Sand- und Schlufflagen entsprechend ihrer hydraulischen Eigenschaften zu Grundwasserleitern oder vorwiegend schluffig-tonige Abfolgen zu Grundwasserhemmern zusammengefasst werden. Wichtigste Werkzeuge zur Unterstützung der räumlichen Interpretation und Abstrahierung sind:

- 2D-Darstellungen als Flächen-Lageplan, z.B. Schichtlagerungskarten
- 2D-Darstellungen als Schnitt
- Perspektivische Darstellung von Schnitten.

Abbildung 6-2 zeigt am Beispiel der hydrogeologischen Gliederung des Untergrunds in Ravensburg, wie detaillierte Schichtaufnahmen aus Bohrprofilen abstrahiert und vereinfacht werden.

Abbildung 6-3 zeigt ein Beispiel für die Darstellung der Aquifergeometrie. Grundlage für die Interpretation der Aquiferbasis waren hier mehr als 500 Bohr- und Aufschlusspunkte, die die quartären Bach- und Flussablagerungen im Stadtgebiet von Ravensburg erfassen.

Komplexere Aquiferstrukturen können anhand von Profilschnitten bzw. perspektivischen Schnitten interpretiert werden. Abbildung 6-4 zeigt einen perspektivischen Schnitt durch das Nesenbachtal als Hilfsmittel zur Entwicklung der hydrogeologischen Modellvorstellung im Projekt MAGPlan Stuttgart.

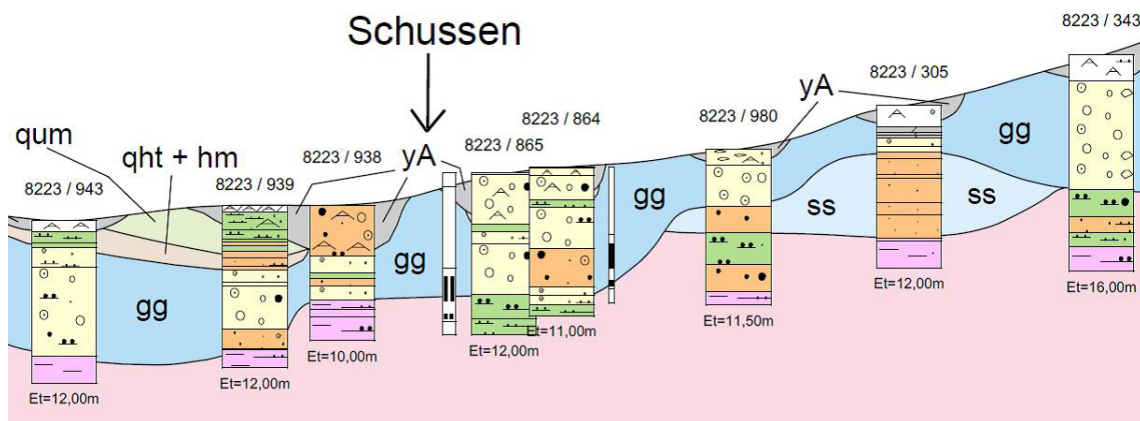


Abbildung 6-2: Hydrogeologische Gliederung des Untergrunds [Ausschnitt aus Profilschnitt, ELLWANGER et al. 2000]

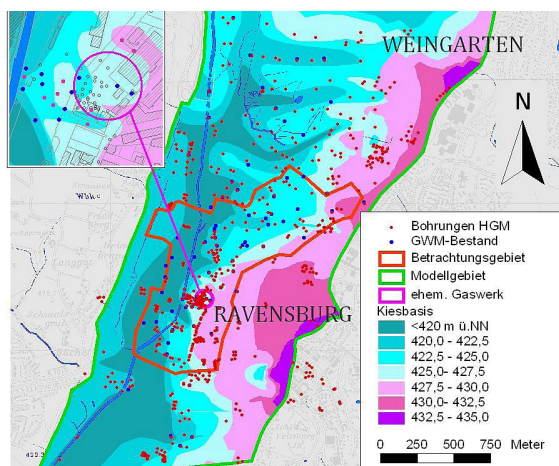


Abbildung 6-3: Basis der quartären Bach- und Flussablagerungen [ELLWANGER et al. 2000]

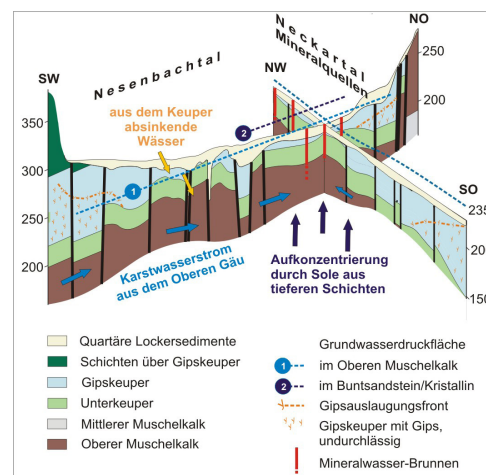


Abbildung 6-4: Perspektivischer Schnitt Nesenbachtal [UFRECHT 2004]

RÄUMLICHE VERTEILUNG VON AQUIFERKENNWERTEN

(„LATERALE STRUKTURIERUNG“)

Für eine rein interpolative räumliche Verteilung wie auch für die Abgrenzung von Homogenbereichen anhand von Aquiferkennwerten ist die Datengrundlage meist unzureichend. Grundlage einer sinnvollen räumlichen Verteilung der Aquiferkennwerte ist daher die Abgrenzung von Homogenbereichen innerhalb der hydrostratigrafischen Einheiten, basierend auf dem geologisch-hydrogeologischen Vorwissen und Prozessverständnis. Auswirkungen auf die Durchlässigkeitsverteilung haben beispielsweise folgende Faktoren der Aquifergenese:

- Faziesverteilung bzw. Lithologie
- tektonische Strukturen
- Verkarstung
- Verwitterung und Gebirgsauflockerung.

Abbildung 6-5 zeigt am Beispiel der Entwicklung des Hydrogeologischen Modells in Ravensburg die Abgrenzung von Homogenbereichen für die Durchlässigkeitsverteilung anhand der Zonierung des Aquifers in Kies- und Schwemmfächerbereiche. Innerhalb dieser Zonen erfolgte die weitere Strukturierung auf Grundlage der Verteilung der Aquiferbasis sowie einer bereichsweisen Interpolation der Messwerte.

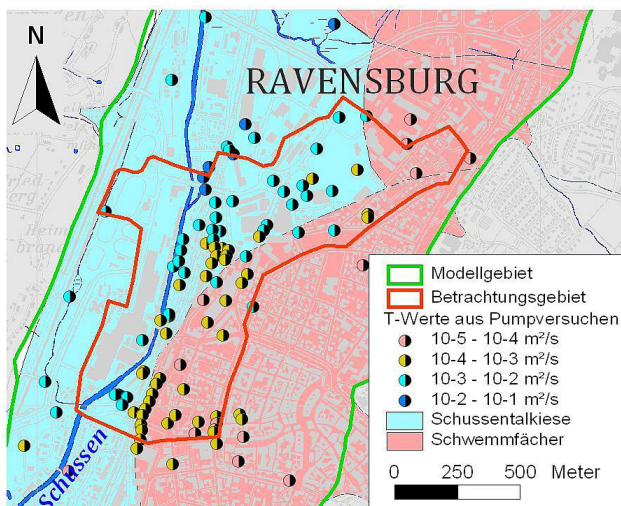


Abbildung 6-5: Verteilung der Durchlässigkeitswerte anhand der Zonierung des Aquifers in Kies- und Schwemmfächerablagerungen [HEKEL et al. 2014]

GRUNDWASSERSTRÖMUNG

Das Verständnis der Grundwasserströmung ist ein wichtiger Baustein bei der Entwicklung des Hydrogeologischen Modells und Grundlage für die Ableitung von Volumenströmen und Randbedingungen, die i.d.R. nicht direkt gemessen werden können. Die Grundwasserströmung korreliert mit der räumlichen Verteilung von Aquiferkennwerten und bietet somit die Möglichkeit, die angenommene Strukturierung des konzeptionellen Aquifermodells zu überprüfen.

Die Bestimmung der Grundwasserströmung basiert auf Messhöhen der Grundwasserstände. Wichtig sind verlässliche Bezugshöhen, funktionsfähige (überprüfte) Messstellen sowie eine eindeutige Zuordnung der Messstellen zu den hydrostratigrafischen Einheiten. Die Interpolation der Messhöhen liefert allenfalls ein groborientierendes Bild der Grundwasserfließrichtung. Interpolationsverfahren sind nicht in der Lage, Einflüsse der hydrostratigrafischen Struktur, der Verteilung von Aquiferkennwerten sowie von Aquiferrändern zu berücksichtigen. Zutreffende Gleichenpläne und damit Abbilder der Grundwasserströmung erhält man nur unter Einbeziehung dieser Faktoren bei der Interpretation der Grundwasserhöhenverteilung. Die zeitliche Variabilität der Grundwasserströmung ist über Grundwasserganglinien und ggf. Gleichenpläne für verschiedene, definierte Zustände (z.B. Grundwasserhochstand, Niedrigstand) darzustellen.

RANDBEDINGUNGEN

Für das Modellgebiet müssen Randbedingungen festgelegt werden, die den Wasseraustausch mit der Umgebung definieren, z.B.:

- seitliche Grundwasserzu- und abflüsse über die Ränder des Modellgebiets (z.B. aus der Grundwasserneubildung angrenzender Flächen des Bilanzgebiets)
- Ränder ohne Wasseraustausch (Trennstromlinien)
- vertikale Grundwasserzu- und abflüsse (Grundwasserneubildung, Austausch mit über- bzw. unterlagerten Aquiferen)
- Wasseraustausch mit Oberflächengewässern
- Grundwasserentnahmen und Infiltrationen.

Die Mengen der Zu- bzw. Abflüsse basieren entweder auf Messwerten, auf Abschätzungen oder sind Ergebnis überschlägiger hydrogeologischer Berechnungsverfahren, wie z.B. der Ermittlung der Grundwasserneubildung oder hydrochemischen Bestimmung von Uferfiltratanteilen. Sie dienen zur Dimensionierung der Größenordnungen.

6.1.2 KONZEPTIONELLES STOFFMODELL

Das konzeptionelle Stoffmodell ist Teil des Hydrogeologischen Modells und umfasst die dreidimensionale Vorstellung der Verteilung von Schadstoffen und milieucharakterisierenden Inhaltsstoffen des Grundwassers (z.B. Nitrat). Ihre zeitliche Entwicklung ist ein weiterer Aspekt, ebenso wie ggf. Wechselwirkungen von Stoffen und das Verständnis ablaufender Prozesse [UFRECHT, SPITZBERG 2012].

Alle vorhandenen Informationen zu Stoffflüssen und Prozessen gehen in die Modellvorstellung ein. Dazu gehören neben bekannten Schadstoffherden, auf die nachfolgend näher eingegangen wird, auch Messwerte in Grundwasseraufschlüssen außerhalb von Verdachtsbereichen, z.B. in Bauwasserhaltungen, in Trink- und in Brauchwasserbrunnen sowohl im öffentlichen als auch im privaten Raum.

Zur Auswahl und Darstellung der erwartungsgemäß maßgeblichen Einzelfälle, vgl. Kapitel 5, müssen folgende Schadenscharakteristika berücksichtigt werden [CARLE et al. 2013]:

- Schadenshistorie
- Schadstoffpotenzial
- relevante Schadstoffe und Metabolite
- Redoxmilieu und Abbauprozesse
- Prozessverständnis
- zeitliche Entwicklung
- räumliche Ausbreitung
- Sanierungsmaßnahmen
- Frachtbilanz.

Alle diese Daten werden für das Betrachtungsgebiet in Steckbriefen zusammengestellt und mit der Charakterisierung des/der Grundwasserleiter/s, vgl. Kapitel 6.1.1, kombiniert. Ein erstes Ergebnis ist beispielsweise ein Grund-

wassergleichenplan mit Prüfwertüberschreitungen, vgl. Abbildung 5-3, aus dem eine konzeptionelle Vorstellung zur Stoffverteilung, zu möglichen Schadstoffherden und zu Ausbreitungspfaden entsteht.

Aus dieser statischen Vorstellung (z.B. Stoffverteilung zu unterschiedlichen Zeitpunkten) entwickelt sich unter Berücksichtigung der Grundwasserströmung ein Bild des Stofftransports über die Zeit. Die zeitliche Entwicklung wird durch viele Faktoren beeinflusst, die sowohl den Aquifer betreffen als auch die Stoffe, wenn diese sich nicht wie ein idealer Tracer verhalten. Relevante Informationen für den Stofftransport im Aquifer sind [FH-DGG 2002a], [FH-DGG 2002b]:

- hydrodynamische Eigenschaften (Dispersivität)
- hydrochemische Eigenschaften
- langfristige Elektronenakzeptor-Kapazität
- Stoffsenken (z.B. Sorption)
- Grundwasseralter und Verweilzeiten
- ggf. Informationen aus forensischen Untersuchungen.

Zur Stoffcharakterisierung sind folgende Informationen wichtig:

- Stoffgruppen und Einzelstoffe
- chem.-physikalische Eigenschaften (LNAPL/DNAPL, Sorption, Retardation)
- biol. Abbaubarkeit, Metabolite
- Zusammensetzung der Einzelstoffe
- räumliche Verteilung der Einzelstoffe
- zeitliche Entwicklung der Einzelstoffe
- Wechselwirkungen von Stoffen.

Wesentliche Schritte zum Verständnis von Zusammenhängen und Prozessen sind **Abstrahierung und Plausibilisierung von Daten** im Gesamtzusammenhang. Aus abstrahierten und vereinfachenden Darstellungen, vgl. Kapitel 5.2, entstehen modellhafte Vorstellungen zu:

- **Konzentrationsverteilungen** im gesamten Modellraum, auch zwischen den Messpunkten (ggf. 3D-Vorstellung, wenn mehrere oder mächtige Aquifere betroffen sind)
- **Frachten**, die sich durch den Modellraum bewegen (Relation zur Grundwasserströmung)

- Fahngeometrien und ihren Veränderungen mit der Zeit (4D-Vorstellung – z.B. in-/stationär, retrograd)
- Wechselwirkungen und Abbauvorgängen (ggf. verantwortlich für unplausible Daten).

Im Rahmen des konzeptionellen Stoffmodells werden Hinweise auf natürliche Abbauvorgänge erfasst und zunächst qualitativ interpretiert. Dies umfasst z.B. Metabolite, zeitliche Veränderungen und Konzentrations- bzw. Frachtrückgänge.

Abbildung 6-6 zeigt die konzeptionelle Vorstellung eines Schadstoffherds und seiner Ausbreitungswege in verschiedenen Aquiferen.

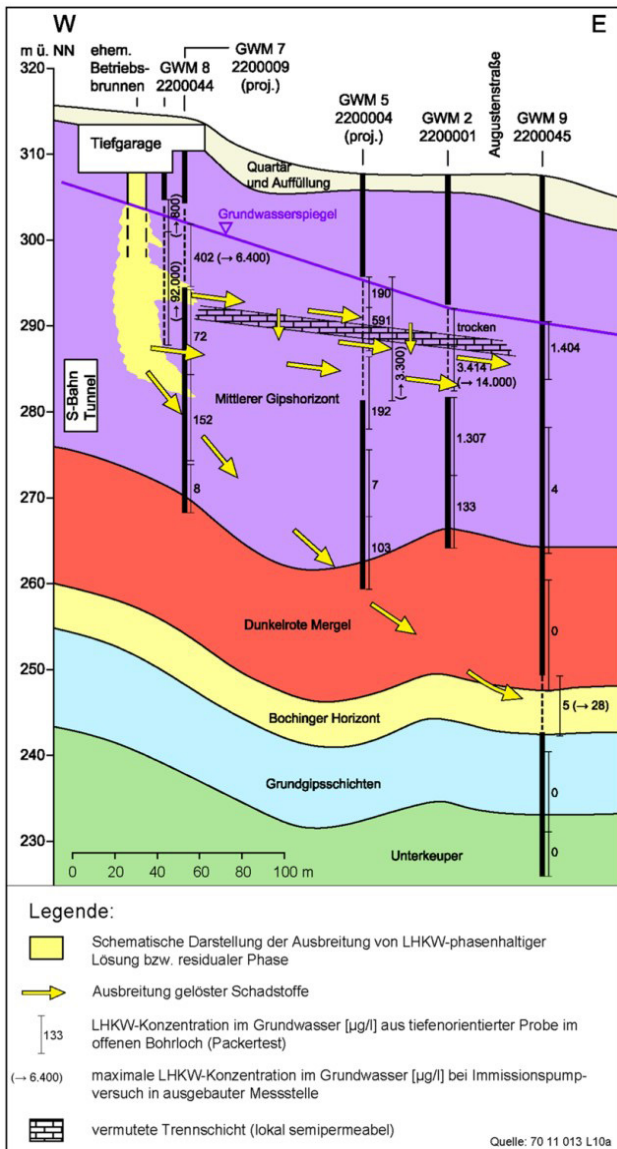


Abbildung 6-6: Beispiel Schadstoffausbreitung (nach Spitzberg 2013)

Der Versuch einer Visualisierung findet sich in Form eines Films auf der Homepage des MAGPlan-Projekts.

Die integrale Untersuchung erstellt und bewertet eine Momentaufnahme des Grundwasserszustands. Eine Rückverfolgung von Entwicklungen und Zusammenhängen sowie Transformationsprozessen in die Vergangenheit kann z.B. erfolgen, wenn ältere Stichtagsbeprobungen vorliegen. Die Prognose in die Zukunft oder Rückverfolgung über Stichtagsaufnahmen hinaus erfordert i.d.R. ein numerisches Modell.

Für die weitere Nutzung der Daten in numerischen Modellen ist die einheitliche Datenaufbereitung in Steckbriefen oder standardisierten Ausgabeprotokollen der Datenbanken sinnvoll.

6.1.3 BILANZIERUNG UND DEFIZITANALYSE

Das aus den konzeptionellen Modellvorstellungen entwickelte Hydrogeologische Modell enthält die Aquifergeometrie, die Verteilung der Aquiferkennwerte, die Grundwasserströmung, Randbedingungen sowie Informationen zu Wasserinhaltsstoffen als quantitative Größen bzw. Verteilungen. Auf dieser Grundlage können Wasser- und Stoffbilanzen erstellt und auf ihre Schlüssigkeit überprüft werden. Aus der Defizitanalyse werden Kenntnislücken und der Untersuchungsbedarf abgeleitet.

WASSERBILANZ

Die Wasserbilanz enthält sämtliche Zu- und Abflusskomponenten des Modellgebiets, deren Summen sich unter stationären Bedingungen entsprechen sollten. Eine unstimme Wasserbilanz ist ein deutlicher Indikator für Defizite in der hydrogeologischen Systemvorstellung.

Für die Überprüfung des Hydrogeologischen Modells werden insbesondere auch Volumenströme aus der Wasserbilanz mit berechneten Volumenströmen auf Grundlage der Modellannahmen verglichen. So weisen z.B. Abweichun-

gen zwischen dem Grundwasservolumenstrom, der mit den Annahmen des Modells für Fließgradient, Durchlässigkeit und Aquifermächtigkeit berechnet wurde, und dem Volumenstrom, der auf der Betrachtung der zugehörigen Einzugsgebietsfläche und deren Neubildungsrate bestimmt wurde, auf Defizite der Modellannahmen hin.

STOFFBILANZ

Für eine vollständige Stoffbilanz ist die Kenntnis der Stoffmenge erforderlich, die in das System eingetragen wurde. Solche Informationen liegen i.d.R. nur als Schätzungen vor. Innerhalb des Betrachtungsgebiets können aber insbesondere Frachtbilanzen Hinweise auf Quellen, Senken oder mögliche Abbauvorgänge geben. Im Rahmen der konzeptionellen Modellvorstellungen sind diese lediglich orientierend und können erst in späteren Untersuchungsstadien verfeinert werden. Aus der Bilanzierung von natürlichen Wasserinhaltsstoffen (z.B. Nitrat) können ebenfalls Rückschlüsse auf veränderte Milieubedingungen und Transformationsprozesse gezogen werden.

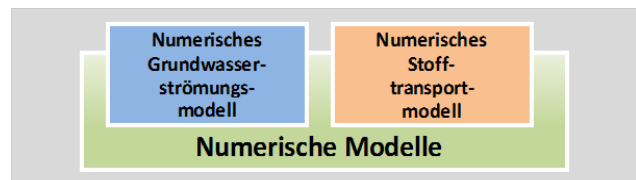
DEFIZITANALYSE

In der Defizitanalyse werden Unstimmigkeiten und Defizite der Wasser- und Stoffbilanzen analysiert. Unstimmigkeiten können z.B. bei der Bilanzierung von Uferfiltrat zwischen der mengenmäßigen Wasserbilanz und einer Stoffbilanz auftreten. Fehlerhafte Bilanzgrößen und unzureichend verstandene Bereiche bedingen weiterführende Untersuchungen. In komplexen Fällen wird die Bilanz und Defizitanalyse sowie die Planung von Untersuchungen durch numerische Modelle unterstützt (Kapitel 6.2). Der weitere Untersuchungsbedarf resultiert z.B. aus:

- erforderlichen Überprüfungen wesentlicher Annahmen der konzeptionellen Modelle
- räumlichen/zeitlichen Defiziten der hydrogeologischen Informationen, der Aquiferkennwerte sowie der Grundwasserströmung
- räumlichen/zeitlichen Defiziten der Kenntnis zu (Schad-)Stoffverteilungen sowie ggf. Transportparametern und Prozessen

- ggf. zusätzlich erforderlichen hydrogeologischen Parametern für den Aufbau eines numerischen Grundwasserströmungsmodells
- ggf. zusätzlich erforderlichen Transportparametern für den Aufbau eines numerischen Stofftransportmodells als Bestandteil des Strömungsmodells
- ggf. zusätzlich erforderlicher Verdichtung von hydrogeologischen Daten und Stoffdaten für lokale Modelle mit einer Feinauflösung.

6.2 NUMERISCHE MODELLE



Numerische Modelle können die integrale Altlastenuntersuchung insbesondere bei komplexen Problemstellungen unterstützen. Für folgende Aufgaben und Arbeitsschritte kann ein numerisches Modell eingesetzt werden:

- Überprüfung des Hydrogeologischen Modells (z.B. Verifizierung von Randbedingungen, Grundwasserumsatz, Durchlässigkeitsverteilung, Austausch zwischen Aquiferen)
- Defizitanalyse Hydrogeologisches Modell (Fehler/Schwächen/Lücken, vgl. Kapitel 6.1.3)
- Planung von Untersuchungen (z.B. Kontrollebenen und Untersuchungspunkte, Methodenauswahl, vgl. Kapitel 7.1)
- Auswertung von Untersuchungen (z.B. IPV unter komplexen hydrogeologischen Bedingungen, Kapitel 7.2.3)
- Berechnung flächiger Stoffausbreitung unter Berücksichtigung von punkt- oder lückenhafter Informationen (s. Kapitel 8.1)
- Identifizierung von NA-Prozessen (Massenbilanzen, Reaktionen)
- Identifizierung von Schadstoffherden (z.B. korrespondierende Menge und Ort zu ermittelter Schadstoffausbreitung)

- Prognosen zur Stoffausbreitung (ggf. unter Berücksichtigung von NA-Prozessen)
- Planung von Sanierungsmaßnahmen oder Prognosen für MNA-Konzepte.

Die Vertrauenswürdigkeit des Modellergebnisses basiert auf der Qualität des Hydrogeologischen Modells. Die Umsetzung des Hydrogeologischen Modells in ein numerisches Modell verlangt eine lückenlose Belegung sämtlicher Modellzellen mit der hydrogeologischen Parameterverteilung. Aus den quantitativen Annahmen zu den Randbedingungen, kombiniert mit den angenommenen Verteilungen sämtlicher Parameter im Modellnetz, werden die Grundwasserhöhen- bzw. Konzentrationsverteilungen im Modellgebiet berechnet. Je lückenhafter die Kenntnis zum Aquiferaufbau ist und je mehr Parameter unbekannt sind oder in ihrer räumlichen Verteilung größere Bestimmungslücken aufweisen, desto weniger kann das Modell als Planungswerkzeug eingesetzt werden. Es kann dann nur noch prinziphaft die Verhältnisse abbilden [DVGW 2004].

Numerische Modelle stellen hohe fachliche Anforderungen und beanspruchen einen relativ großen Mittel- und Zeitaufwand. Daher ist in jedem Einzelfall zu prüfen, ob und in welchem Umfang die Entwicklung numerischer Modelle auf Grundlage der bestehenden konzeptionellen Modellvorstellungen und im Hinblick auf die Aufgabenstellungen hilfreich ist.

Grundsätzliche Anforderung an ein numerisches Modell ist eine vollständige Dokumentation der Modellierung, damit diese nachvollzogen und im Anschluss weitergenutzt und fortgeführt werden kann.

Eine grundlegende Einführung in die numerische Grundwassermodellierung geben KINZELBACH, RAUSCH [1995]. Einen Überblick über Transportmodelle und die verfügbaren Computer-Programme geben RAUSCH et al. [2002]. Mit dem Arbeitsblatt W 107 [DVGW 2004] ist eine technische Regel vorhanden.

EINGESETZTE MODELLTYPEN

Grundwasserströmungsmodelle enthalten die hydrogeologischen Randbedingungen und die Verteilung der Aquiferparameter (u.a. Basishöhe und Mächtigkeit des Aquifers, Durchlässigkeit, Speicherkoeffizient). Auf dieser Grundlage wird der Grundwasserumsatz zwischen den Modellzellen im Modellgebiet berechnet. Aus dieser Berechnung resultiert eine Grundwasserhöhen- und Geschwindigkeitsverteilung. In der Modellkalibrierung wird eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserhöhen angestrebt. Hierzu werden die hydraulischen Parametergrößen (Durchlässigkeiten, Speicherkoeffizienten und Leakagefaktoren) und deren räumliche Verteilung iterativ verbessert. Wird keine befriedigende Anpassung der im Modell berechneten Größen mit den gemessenen Größen erreicht, so ist dies oft ein Hinweis auf eine nicht zutreffende konzeptionelle Modellvorstellung wie z.B. eine falsche Aquifergeometrie. Auf Grundlage kalibrierter Strömungsmodelle können Prognosen für die Grundwasserströmung durchgeführt werden (Strömungsrichtung, Strömungsgeschwindigkeit, Volumenstrom).

Grundwasser-Transportmodelle basieren auf einem kalibrierten Strömungsmodell und enthalten zusätzlich die für den Stoffumsatz maßgeblichen Randbedingungen und Transportparameter (u.a. Porosität, stoffspezifische Sorptions-, Abbau- und Dispersionsparameter). Das Transportmodell sollte so erstellt werden, dass der Stoffeintrag bis zur aktuellen Situation nachgebildet werden kann. In der Modellkalibrierung werden die Transportparameter insbesondere im engeren Betrachtungsbereich angepasst, bis eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Stoffkonzentrationen erreicht ist. In diesem Prozess wird neben dem konzeptionellen Stoffmodell auch das zugrundeliegende Strömungsmodell verifiziert. Neben der Schadstoffverteilung können hierzu auch natürliche Grundwasserinhaltsstoffe und Umwelttracer dienen. Mit kalibrierten Transportmodellen können Prognosen für die Stoffausbreitung berechnet werden (s. Abbildung 6-7). Damit ist es auch möglich, die aus angenommenen Schadstoffherden resultierende Stoffausbreitung bestmöglich

mit gemessenen Konzentrationen in Übereinstimmung zu bringen und somit Schadstoffherde zu identifizieren.

Mit der **particle-tracking**-Methode können auf dem berechneten Strömungsfeld die Bewegungen einzelner Wasserteilchen berechnet und somit Fließwege dargestellt werden. Diese entsprechen der Ausbreitung von Schadstoffteilchen, die keinen Dispersions-, Sorptions- oder Abbauvorgängen unterliegen. Zur Betrachtung der Herkunftsgebiete von Wasserteilchen wird die **backtracking**-Methode eingesetzt, mit der sich Wasserteilchen auf Grundlage des Strömungsfelds zurückverfolgen lassen, z.B. um Schadstoffherde einzugrenzen oder Einzugsgebiete berechneter Pumpmaßnahmen darzustellen.

Reaktive Transportmodelle und **reaktive Multi-Spezies-Modelle** enthalten neben den o.g. Transportparametern zusätzliche Definitionen für den Stoffabbau (z.B. Zerfall, mikrobieller Abbau) bzw. für Multispezies-Reaktionen (z.B. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, Kationenaustausch, mikrobiell katalysierte Redoxreaktionen, Umwandlungsprozesse innerhalb von Stoffgruppen). Auf diese Weise ist es möglich, chemische Reaktionen abzubilden,

an denen mehrere Komponenten beteiligt sind. Ein Beispiel für den Einsatz eines reaktiven Multi-Spezies-Modells ist das Projekt **MAGPlan Stuttgart**, wo die Transportsimulation mit einem reaktiven Multi-Spezies-Modell durchgeführt wurde, um sowohl die anaerobe Dechlorierung als auch die Mineralisierung der LHKW-Komponenten abzubilden: Damit war es möglich, die LHKW-Herkunft im Stuttgarter Talkessel sowie die LHKW-Ausbreitung zu den Heil- und Mineralquellen differenziert nachzuvollziehen.

EINGESETZTE SOFTWARE

In den betrachteten Referenzprojekten (vgl. Kapitel 2 bzw. Steckbriefe in der Anlage) wurden z.B. die Softwarelösungen **MODFLOW/MT3D** mit dem Preprocessor „Processing MODFLOW“ sowie „**FEFLOW**“ eingesetzt. Hinsichtlich der Lösung der Differenzialgleichungen nach der Finite-Differenzen- (MODFLOW) bzw. Finite-Elemente-Methode (FEFLOW) sind beide Systeme als gleichwertig anzusehen. Entscheidend für die Softwareauswahl ist neben der Erfahrung des Modellierers die bestmögliche Abbildung der relevanten Prozesse für die jeweilige Fragestellung. Bei der Strömung ist die Problematik der freien Oberfläche, der

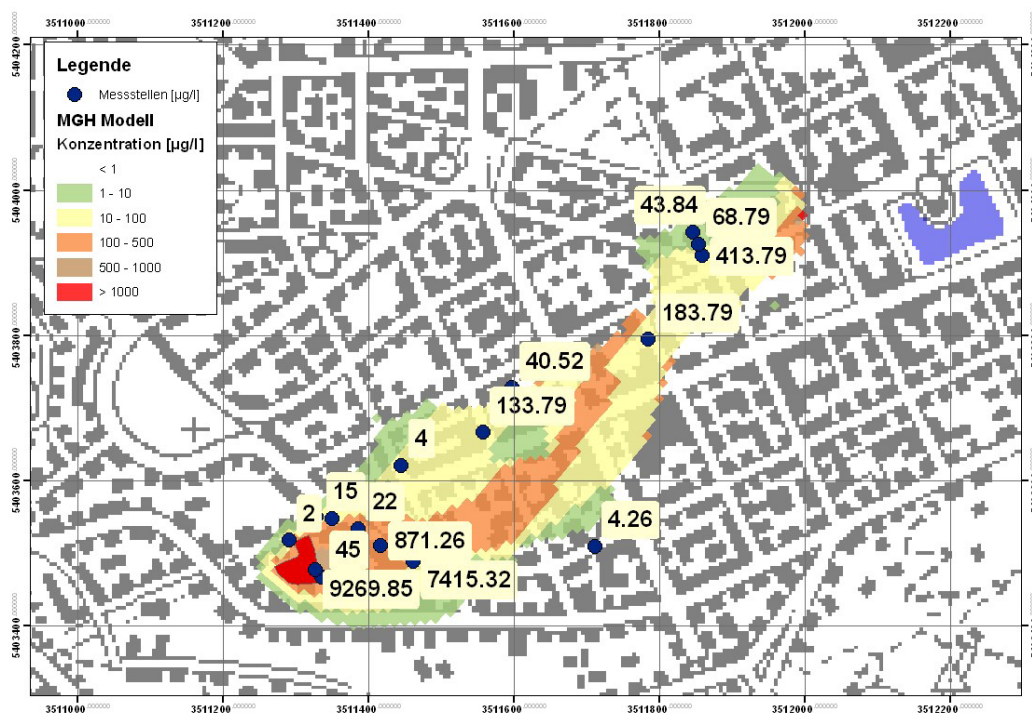


Abbildung 6-7: Beispiel für eine Transportsimulation von Schadstofffahnen (MAGPlan-Projekt)

ungesättigten Zone und trockener Aquiferbereiche zu beachten. Bei der Transportmodellierung spielen die Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Ab- und Umbauprozesse, die notwendige Struktur eines Multispezies-Modells und weitere transportrelevante Prozesse wie der Dichteinfluss eine Rolle bei der Softwareauswahl. Zusätzlich kann aber auch die Möglichkeit der Schnittstellen zu GIS, Datenbanken oder WEB-Tools ein wichtiges Entscheidungskriterium sein.

ZEITLICHE DIMENSION

Bei Strömungsmodellen ist zu entscheiden, ob sich das System mit einem stationären mittleren Zustand abbilden lässt, oder ob zeitlich variable Fließzustände durch eine entsprechende instationäre Modellierung betrachtet werden müssen. Bei Transportmodellen ist zumeist eine instationäre Berechnung erforderlich, mit der die zeitliche Entwicklung der Stoffverteilung betrachtet wird.

RÄUMLICHE DIMENSION

Bereits bei der Entwicklung der konzeptionellen Modellvorstellungen ist zu entscheiden, ob eine vereinfachte **2-D-Betrachtung** der Problemstellung möglich oder eine **3-D-Betrachtung** erforderlich ist. 2-D-horizontalebene Modelle können z.B. ausreichen, wenn nur ein Grundwasserleiter mit relativ geringer Mächtigkeit zu betrachten ist und die Schadstoffverteilung über die Aquifermächtigkeit als konstant angenommen werden kann. 2-D-Vertikalschnitte können zum Einsatz kommen, wenn die Vertikalverlagerung an einem Standort untersucht werden soll. Ein System aus mehreren Grundwasserstockwerken oder mächtigere Grundwasserleiter, in denen vertikale Fließkomponenten auftreten oder Schadstoffe nicht gleichmäßig über die gesamte Aquifermächtigkeit transportiert oder ggf. abgebaut werden, müssen in aufwendigeren drei-dimensionalen Modellen betrachtet werden.

RÄUMLICHE DISKRETISIERUNG

Die räumliche Diskretisierung oder lokale Auflösung ist abhängig vom Strömungsfeld und der Abbildung der

Schadstoffausbreitung. Falls scharfe Schadstofffronten abgebildet werden müssen, ist meist eine feine horizontale Auflösung erforderlich. Dies gilt auch in vertikaler Richtung. Hier kann insbesondere die Nachbildung des Eindringens von Stoffen in gering durchlässige Einheiten eine hohe Anzahl an Modellschichten erfordern. Die Notwendigkeit einer hohen horizontalen und auch vertikalen Auflösung kann bei großräumigen Betrachtungen zu einer zu großen Anzahl an Modellzellen führen. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, lokale Modelle in das großräumige Modell einzuhängen (nested models). Ein Hineinzoomen in das bestehende großräumige Modell reicht dabei i.d.R. nicht aus. Lokale Modelle verlangen eine eigenständige Konzeption, entsprechend feine Diskretisierung und Datenerhebung. Der Aufwand für die verfeinerte Modellierung lokaler Teilausschnitte des Gesamtmodells ist erheblich und darf nicht unterschätzt werden.

DARSTELLUNG NUMERISCHER MODELLERGEBNISSE

Zur Nachbildung der modellierten Strömungs- und Schadstoffverhältnisse sowie zur Verbesserung des Prozessverständnisses und zur Szenarienbetrachtung ist es notwendig, die Modellierungsergebnisse, die i.d.R. aus extrem großen Datenmengen bestehen, anschaulich und handhabbar darzustellen. Im Rahmen des MAGPlan-Projekts hat sich der Einsatz der Google Maps bewährt.

Die Daten werden dazu auf einem Google-Server gespeichert und durch ein Kennwort geschützt. Sie sind über das Internet für alle Projektpartner zugänglich. Die leichte Bedienbarkeit erlaubt auch nicht versierten Nutzern eine schnelle Orientierung und Information. Insbesondere beim interdisziplinären Daten- und Informationsaustausch z.B. zwischen Projektpartnern ist damit eine unkomplizierte Vermittlung der Sachlage und eine gemeinsame Nutzung der Daten möglich.

Google Maps erlaubt eine konsistente Visualisierung der Strömungs- und Transportprozesse und die Darstellung sowohl berechneter als auch gemessener Informationen. Dadurch werden die Überprüfung des numerischen Modells und das Verständnis der Prozesse unterstützt. Verfügbar sind alle Funktionen von Google Maps (z.B. Stadtplan

mit Straßennamen, Zoomfunktion usw.), die die Orientierung vereinfachen. Die von den Nutzern darstellbaren Daten können z.B. Folgendes umfassen:

- Berechnete Konzentrationen verschiedener Komponenten
- Messstellen/Messwerte
- Schadensfälle
- Schichtlagerungen, Störungen
- Grundwasserhöhen, Geschwindigkeiten
- Durchlässigkeiten
- Abbauverteilungen.

Die Darstellung der Ergebnisse kann individuell unter Verwendung einer eigenständigen Programmierung erfolgen. Es können dabei die von Google angebotenen Funktionen verwendet werden.

Neben der reinen Darstellung von Daten und der Erstellung einer gemeinsamen Datenbasis in einem Projekt erlaubt Google auch eine individuelle Auswertung mit kombinierter Darstellung mehrerer Parameter und vertikaler

Schnitte. Die Simulationsergebnisse oder Parameterverteilungen werden vor dem Hintergrund des Lageplans oder eines Satellitenbilds angezeigt.

Abbildung 6-8 zeigt die horizontale Stoffausbreitung für einen Grundwasserschaden sowie einen im Verlauf der Schadstofffahne manuell ausgewählten vertikalen Schnitt im Abstrom des Schadstoffherds durch die Fahne. Dabei können auch gemessene Informationen mit Simulationsergebnissen verglichen werden, vergleiche Abbildung 6-9. Durch Anklicken eines Messpunktes öffnet sich eine Box mit den als Punkten dargestellten Messwerten und den als Linien dargestellten berechneten Werten. Durch diese Visualisierung kann die zeitliche Entwicklung der Schadstoffkonzentration überprüft werden. Durch Anklicken eines Punktes in der berechneten Schadstofffahne wird das Simulationsergebnis als Zahlenwert dargestellt, siehe Abbildung 6-9.

Die Schadstoffausdehnung und Intensität wird in ihrer zeitlichen Entwicklung in Abbildung 6-10 veranschaulicht.

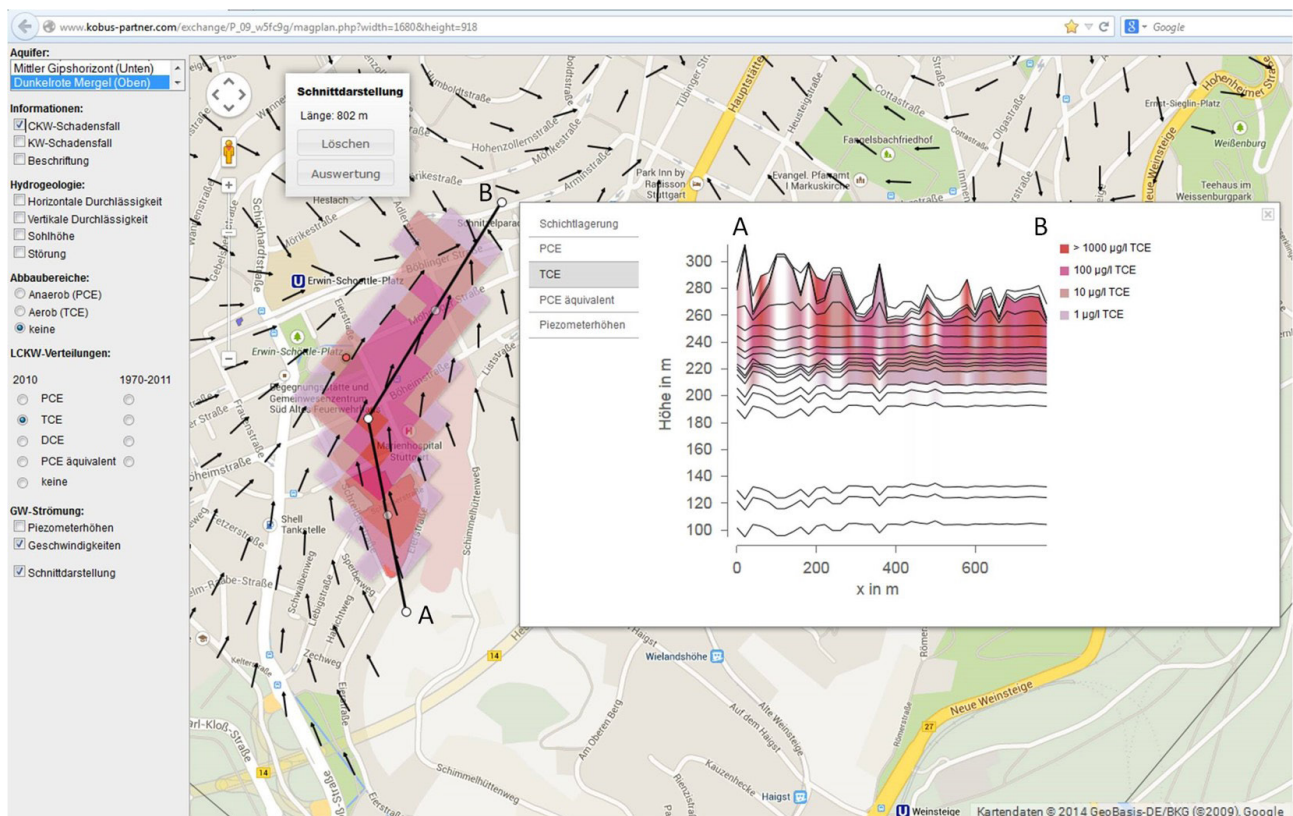


Abbildung 6-8: Darstellungsbeispiel für die Stoffausbreitung eines Schadstoffherds in den Dunkelroten Mergeln mit einer vertikalen Schadstoffverlagerung durch eine Fahne in Google Maps (MAGPlan-Projekt)

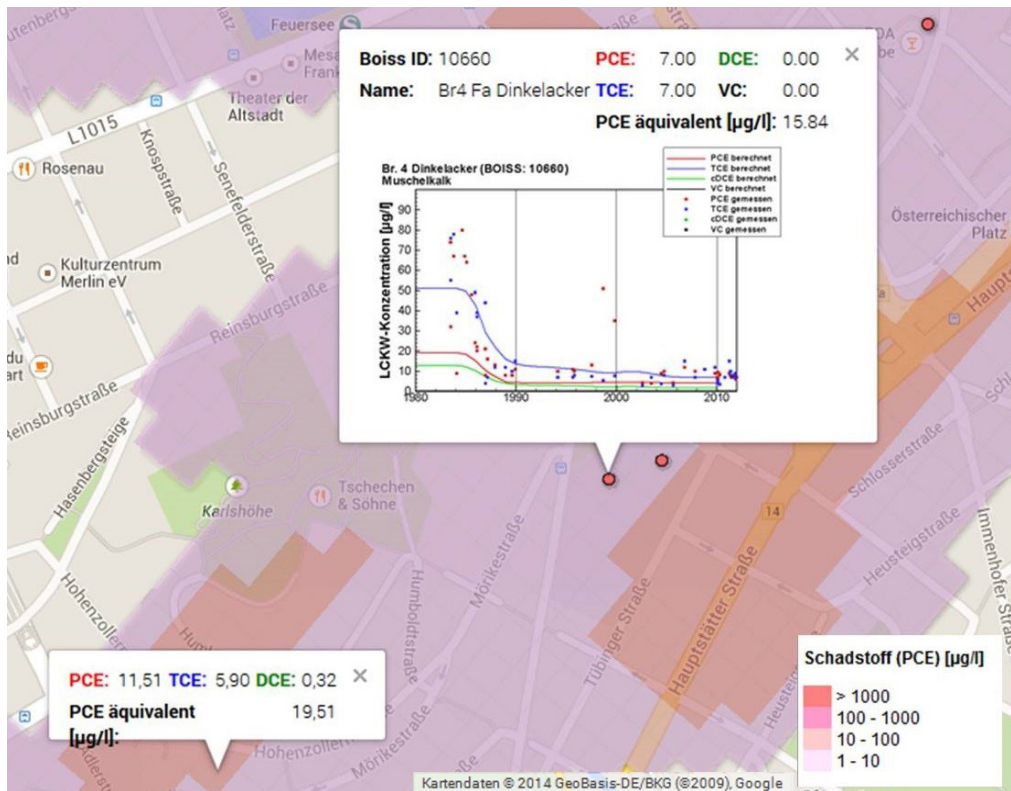


Abbildung 6-9: Bereitstellung von Informationen (in Boxen) durch Anklicken des gewünschten Elements in Google Maps (MAGPlan-Projekt)

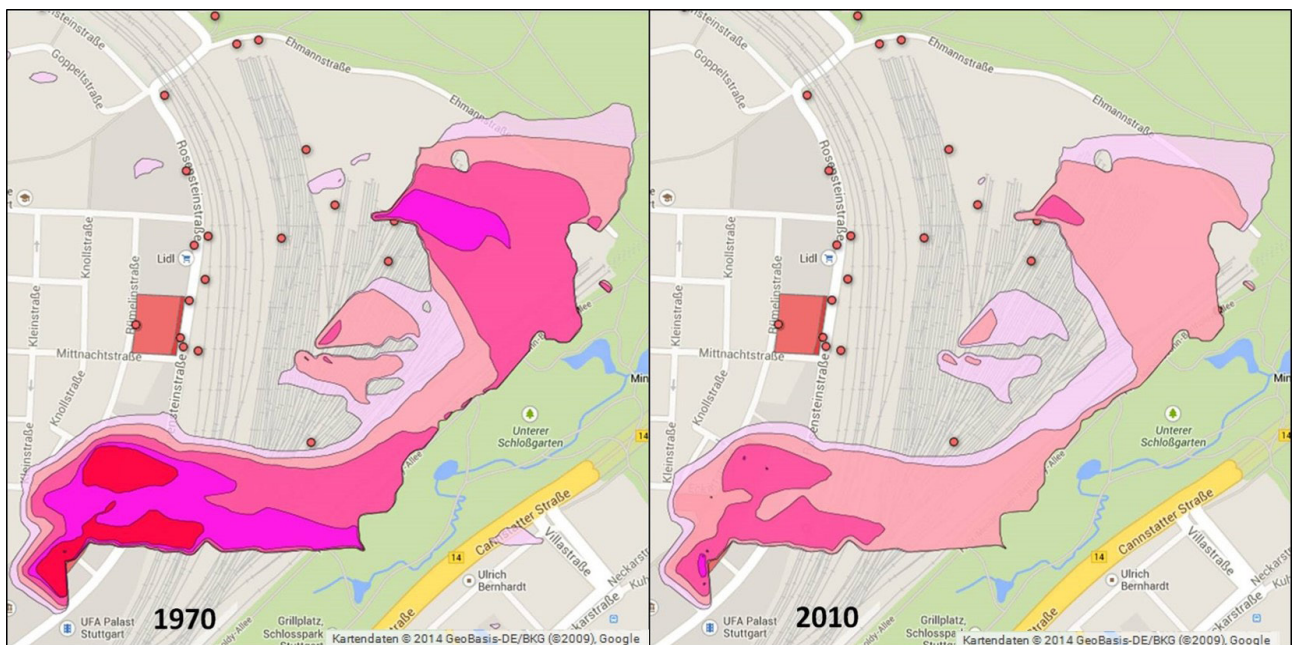
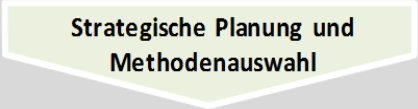


Abbildung 6-10: Ausbreitung der Schadstofffahne im Verlauf der Zeit (MAGPlan-Projekt)

7 Untersuchung und Auswertung

7.1 STRATEGISCHE PLANUNG UND METHODENAUSWAHL



Strategische Planung und Methodenauswahl

Die integrale Untersuchung strebt eine flächenhafte Erfassung der Schadstoffimmission im Grundwasserabstrom an. Geeignete Untersuchungsmethoden sind Immissionspumpversuche (Kapitel 7.2), Direct-push-Methoden (Kapitel 7.3), tiefendifferenzierte Probenahmen (Kapitel 7.4), forensische Verfahren (Kapitel 7.5) sowie innovative integrierende Methoden (Kapitel 7.6). Für die Probenahme extrem leichtflüchtiger Stoffe, z.B. Ethen, wird in diesem Zusammenhang auf [DORGERLOH et al. 2009] verwiesen. In den folgenden Kapiteln wird eine Methodenauswahl vorgestellt, die für die integrale Untersuchung von besonderer Bedeutung ist. Auf weiterführende Literatur wird verwiesen.

STRATEGISCHE PLANUNG - KONTROLLEBENEN ODER NICHT?

Eine häufig eingesetzte Strategie der integralen Untersuchung ist, die Schadstoffimmission als Massenfluss entlang sog. **Kontrollebenen** möglichst lückenlos zu erfassen. Bei großflächigen Untersuchungsgebieten, problematischen Eigentums- und Zugangsbedingungen sowie durch einschränkende hydrogeologische Bedingungen und letztlich auch durch die entstehenden Kosten kann die lückenlose Untersuchung entlang von Kontrollebenen rasch an ihre Grenzen stoßen. In diesen Fällen stellt die Auswertung von **punktuellen Untersuchungen** mithilfe eines numerischen Transportmodells als integrierende Methode eine alternative Strategie dar (vgl. Kapitel 6.2). Die beiden strategischen Ansätze kommen meist in Kombination zur Anwendung.

PLANUNG VON KONTROLLEBENEN

Für Fälle, in denen eine lückenlose Untersuchung möglich ist bzw. angestrebt wird, wird hier die strategische Vorgehensweise bei der Planung von Kontrollebenen erläutert.

Die typische Ausgangssituation einer integralen Untersuchung ist – wie in Abbildung 7-1 skizziert – eine dichte Bebauung mit einer intensiven gewerblich-industriellen Nutzung aus verschiedenen Epochen. Anlass für eine integrale Altlastenuntersuchung geben oft Prüfwertüberschreitungen für Schadstoffe in vorhandenen Grundwassermessstellen oder das Auftreten von Schadstoffen in Quell- oder Trinkwasserfassungen. Obwohl die Grundwasserströmungsrichtung meist schon in etwa bekannt ist, können die Grundwasserbelastungen aufgrund der räumlichen und zeitlichen Gemengelage nicht eindeutig einem Schadstoffherd zugeordnet werden.

Die Festlegung der im betroffenen Aquifer quer zur Grundwasserfließrichtung anzulegenden Kontrollebenen erfordert bereits ein grundlegendes hydrogeologisches Systemverständnis. Im Hinblick auf den Abstand der Kontrollebenen ist auch zu beachten, welche Fahnenlängen die relevanten Schadstoffe ausbilden können. Für die Abschätzung stehen Excel-Tools (z.B. NAFLA) zur analytischen Abschätzung von Schadstofffahnenlängen zur Verfügung [KUMMAR YADAV et al. 2013].

Die Einrichtung der Kontrollebenen sollte iterativ-adaptiv vorgenommen werden, beginnend mit einer Kontrollebene, für die positive Schadstoffbefunde wahrscheinlich sind. Weitere Kontrollebenen sollten sukzessive entsprechend der Lage der Verdachtsflächen und der sich stetig verbessernden Kenntnis der Schadstoffimmission und hydrogeologischen Modellvorstellung eingerichtet werden.

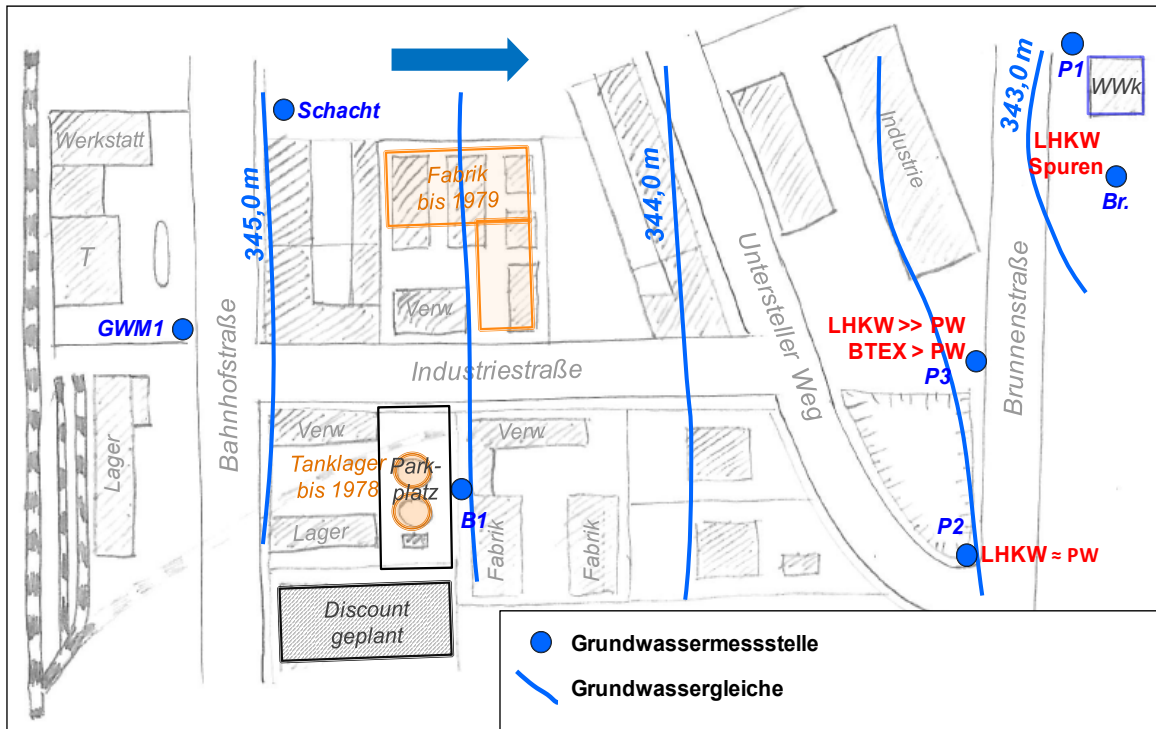


Abbildung 7-1: Typische Ausgangssituation einer Integralen Altlastenuntersuchung: Dichter gewerblich/industrieller Besatz aus verschiedenen Epochen, Prüfwertüberschreitungen im Grundwasser, aufgrund der Gemengelage nicht eindeutig einem Schadstoffherd zuzuordnen

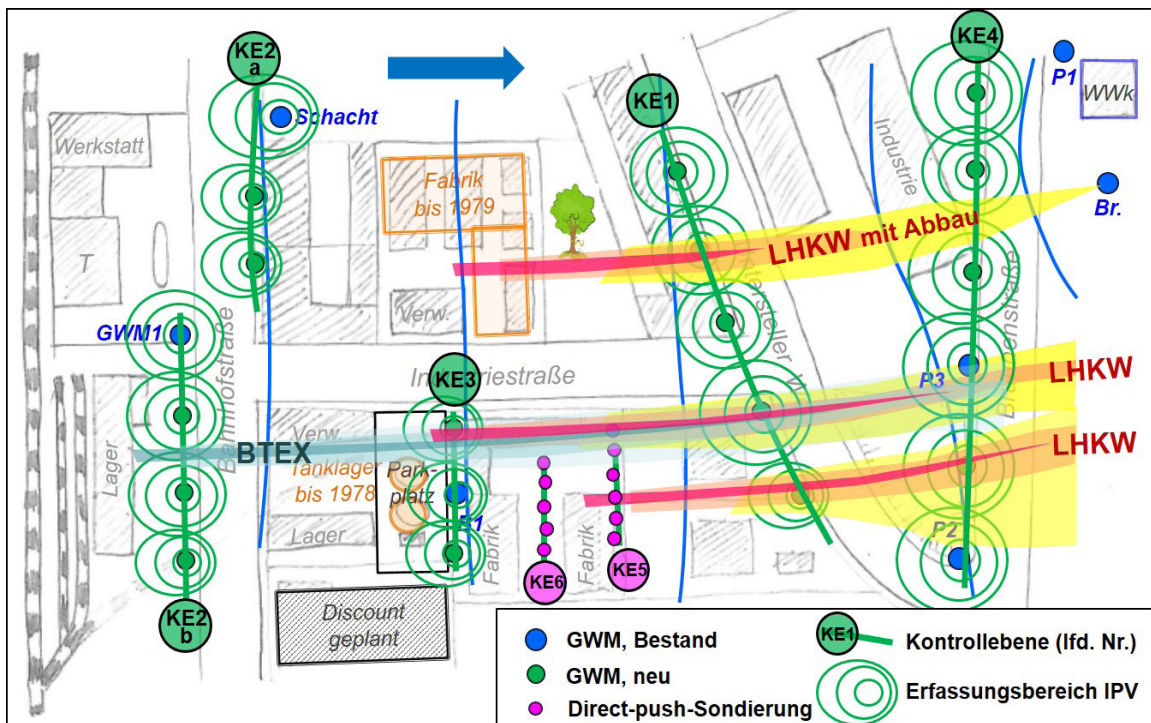
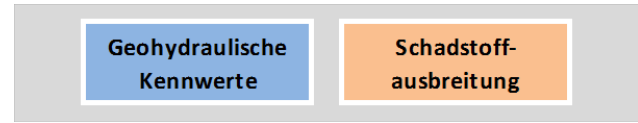


Abbildung 7-2: Strategie der Integralen Altlastenuntersuchung: Entlang von Kontrolllebenen im Abstrom der Verdachtsflächen wird die Schadstoffimmission im Grundwasser mittels IPV oder Direct-push-Methoden lückenlos erfasst und die ermittelten Schadstoffzonen einem Herd zugeordnet

Eine typische Vorgehensweise zur Planung von Kontrollebenen ist in Abbildung 7-2 skizziert: Die gezeigte Strategie zielt auf die Abgrenzung der mutmaßlichen Schadstoffherden und ihre Zuordnung zu Schadstoffherden ab.

7.2 IMMISSIONSPUMPVERSUCHE



METHODENAUSWAHL

Unter den integrierenden Methoden zur Untersuchung des Grundwassers bzw. der Schadstoffbelastung im Grundwasser sind **Immissionspumpversuche** und **Direct-push-Methoden** von Bedeutung. Anwendungsbedingungen und Eignung der beiden Methoden unterscheiden sich deutlich. Eine vergleichende Übersicht der hauptsächlich Anwendungsbereiche, der Anwendungsbedingungen sowie der Auswahlkriterien in Bezug auf die Erfassung der räumlichen Schadstoffkonzentration und Schadstofffracht enthält Tabelle 7-1.

Weitere Hinweise zu Anwendungsbedingungen sind in Kapitel 7.2 bzw. Kapitel 7.3 aufgeführt.

Immissionspumpversuche (IPV) haben sich zum gebräuchlichsten Werkzeug der integralen Untersuchung entwickelt, mit dem Schadstoffimmissionen und Massenflüsse entlang von Kontrollebenen bestimmt werden. Aufgrund ihres großen Erfassungsbereichs liefern sie darüber hinaus auch repräsentative geohydraulische Kennwerte (Kapitel 7.2.4).

Aus der mehr als 10-jährigen Praxiserfahrung können Hinweise zu Anwendungsbereich, Kosten-Wirksamkeit und Entwicklung der Planungs- und Auswertemethoden abgeleitet werden.

Tabelle 7-1: Auswahlkriterien der IPV- und Direct-push-Methodik. Grün unterlegt sind Vorteile des jeweiligen Verfahrens, rot unterlegt sind Nachteile bzw. Einschränkungen

	IPV-Verfahren	Direct-push-Verfahren
hauptsächlicher Anwendungsbereich	Untersuchung zur Bewertung der Immissions-/ Emissionsverhältnisse im Sinne der BBodSchV	Untersuchung zur räumlichen Abgrenzung von Schadensherden (lateral und in der Tiefe) für die Sanierungsuntersuchung bzw. -planung
Anwendungsbedingungen	relativ wenige Untersuchungspunkte erforderlich	relativ viele Untersuchungspunkte erforderlich
	Erfassung auch unter Gebäuden möglich	Erfassung i.d.R. durch Gebäude unterbrochen
	relativ hoher Aufwand je Untersuchungspunkt	relativ geringer Aufwand je Untersuchungspunkt
	für Locker- und Festgesteine	nur für durchdringbare Lockersedimente
	für flache und tiefe Aquifere	i.d.R. begrenzt auf flache Aquifere
	ggf. hoher Aufwand für Abwasser	kein Abwasser
	ggf. Risiko von Setzungsschäden	keine Setzungsproblematik
Räumliche Schadstoffkonzentration (Immission)	die Bestimmung ist Ergebnis einer Berechnung deren Qualität abhängig ist von den Verfahrensannahmen, insbesondere in Bezug auf die Homogenität des Aquifers	robuste Bestimmung durch Probenahme an definierten Punkten
	i.d.R. nur tiefengemittelte Ergebnisse (2D)	jedoch Gefahr der vertikalen Schadstoffverschleppung bei der Sondierung
	integrale Bestimmung, keine Interpolation erforderlich	durch horizontierte Proben auch tiefendifferenzierte Ergebnisse möglich (3D)
Schadstofffracht (Emission)	robuste und lückenlose Bestimmung aus den integralen Größen Transmissivität und Mischkonzentration im Erfassungsbereich	interpolative Bestimmung aus Punktwerten für Aquifermächtigkeit, Durchlässigkeit und Konzentration; Qualität ist abhängig von Datendichte und Interpolationsverfahren

Nachteile bzw. Einschränkungen und Fehlerquellen

Vorteile bzw. bevorzugte Anwendungsbedingungen

7.2.1 PRINZIP

Das Prinzip von Immissionspumpversuchen basiert darauf, dass sich Schadstoffbelastungen im Erfassungsbereich in der Konzentrationsganglinie des gepumpten Wassers widerspiegeln (s. Abbildung 7-3).

In Verbindung mit den Parametern Pumprate, Pumpzeit, Aquifermächtigkeit, Porosität, Durchlässigkeit und Gefälle, welche die Geometrie des Erfassungsbereichs (Isochronen) zu den einzelnen Probenahmezeitpunkten bestimmen, bildet die während eines Pumpversuchs durch Probenahmen ermittelte Konzentrationsganglinie die Grundlage zur Berechnung der Konzentrationsverteilung und Schadstofffracht [TEUTSCH et al. 2000].

Immissionspumpversuche stellen eine Reihe von Anforderungen, die über „normale“ Pumpversuche hinausgehen. Sie setzen eine sorgfältige Prüfung der Anwendungsbedingungen und Planung voraus. Der Stand der Technik für Planung, Durchführung und Auswertung ist in PTAK et al. [2013] dargestellt.

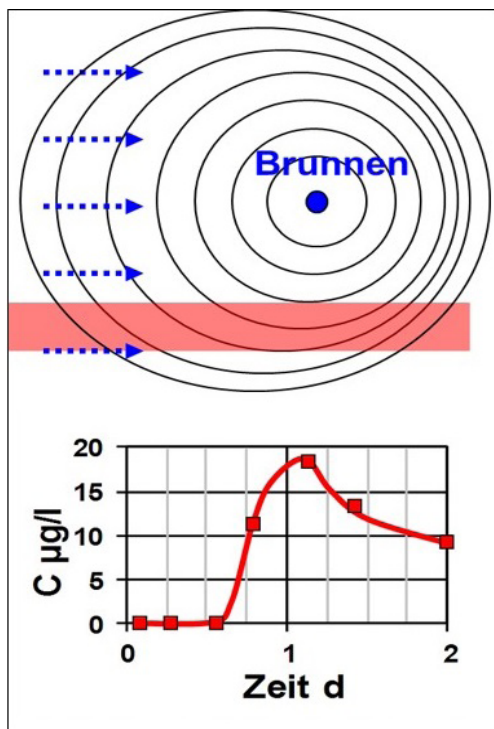


Abbildung 7-3: Erfassungsbereich und korrespondierende Konzentrationsganglinie eines Immissionspumpversuchs

7.2.2 ANWENDUNGSEMPFEHLUNGEN

ANWENDUNGSBEDINGUNGEN

Auf Grundlage bisheriger Projekterfahrungen wurden wesentliche zu prüfende Kriterien für die Anwendung von Immissionspumpversuchen in Tabelle 7-2 in Bezug auf den Aquifer, die Schadstoffe, die Geländebedingungen sowie ggf. zu verwendende Brunnen zusammengestellt.

Anwendungsgrenzen von Immissionspumpversuchen sind insbesondere gegeben bei:

- zu geringer oder zu hoher Ergiebigkeit
- nicht wasserlöslichen oder nicht fahnenbildenden Schadstoffen.

Außerdem ist zu bedenken, dass die Planbarkeit bzw. Auswertbarkeit von IPV in unbekanntem oder stark heterogenen Aquiferen stark eingeschränkt ist.

ERFAHRUNGEN ZUR KOSTENEFFIZIENZ

Die Kosteneffizienz von IPV korreliert in hohem Maße mit der Pumprate [HEKEL et al. 2014]: Je höher die maximal mögliche Pumprate, desto geringer sind die Aufwendungen bezogen auf den erfassten Abstromquerschnitt. Diese Abhängigkeit spiegelt sich in einer Häufigkeitsanalyse von IPV-Pumpraten wider (Abbildung 7-4): Oberhalb von 0,1 bis 0,3 l/s werden IPV zunehmend häufiger eingesetzt. Dies ist ein Indikator dafür, dass die Kostenwirksamkeit von Immissionspumpversuchen bei Pumpraten über 0,3 l/s eher als günstig, darunter als ungünstig beurteilt wird. Oberhalb von 10 l/s sind IPV oft technische Grenzen gesetzt (Ausbaudurchmesser, Pumpe, Abwasser).

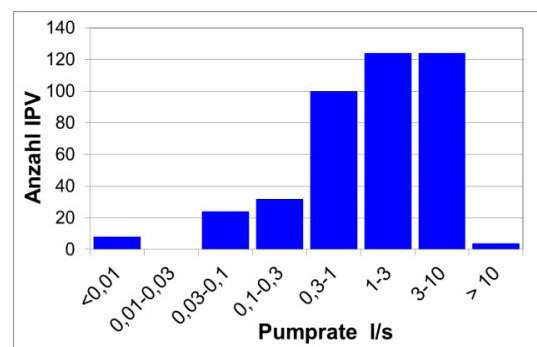


Abbildung 7-4: Häufigkeit der Pumpraten von 104 IPV aus neun Projekten

Tabelle 7-2: Anwendungsbedingungen für Immissionspumpversuche

Kriterium	IPV geeignet	IPV eher nicht geeignet	Erläuterungen
Aquifer	Porengrundwasserleiter oder Klufftgrundwasserleiter, wenn Erfassungsbereich > REV	Klufftgrundwasserleiter, wenn IPV-Erfassungsbereich < REV	REV: Repräsentatives Elementarvolumen; Mindestvolumen, ab dem sich kleinräumige Parameterschwankungen nicht mehr auswirken
	Aquifer(-mächtigkeit) bekannt und vollkommen erschließbar	Aquiferbasis unbekannt oder nicht (wirtschaftlich) erschließbar <i>oder:</i> Aquifer zu geringmächtig	zur vollständigen Erfassung eines Abstromquerschnitts muss der Aquifer auch vollkommen erschlossen sein; für die Planung (Erfassungsbereiche, Kosten) und Auswertung muss die Aquifermächtigkeit bekannt sein; eine zu geringe Aquifermächtigkeit hat i.d.R. einen nur kleinen möglichen Erfassungsbereich zur Folge
	zumindest einigermaßen ergiebig (mögl. Pumpraten > 0,3 l/s)	zu gering ergiebig (mögl. Pumprate < 0,1 l/s) <i>oder:</i> zu hoch ergiebig (mögl. Pumprate > 10 l/s)	Ist die max. mögliche Pumprate zu gering oder kann eine hohe mögliche Pumprate technisch gar nicht erreicht werden, so sind die erzielbaren Erfassungsbereiche relativ klein und das Kosten/Nutzen-Verhältnis von IPV damit ungünstig. Bei hohen Pumpraten gewinnt auch die Abwasserentsorgung an Bedeutung
	homogen <i>oder:</i> heterogen, räumliche Varianz der Aquiferparameter im Erfassungsbereich bekannt	heterogen, wobei räumliche Varianz der Aquiferparameter unbekannt	bekannte Heterogenitäten der Aquiferparameter im Erfassungsbereich eines IPV können bei der Auswertung berücksichtigt werden; i.d.R. sollte 2D-Betrachtung möglich sein, Mehrschicht- oder echte 3D-Probleme erfordern einen höheren Aufwand bei Planung, Durchführung und Auswertung
	Grundwasserströmung (Richtung, Gradient) bekannt oder ermittelbar	Grundwasserströmung nicht bekannt oder nicht genau ermittelbar <i>oder:</i> Gradient zu hoch	für die Kontrollebenen- und IPV-Planung sowie für die IPV-Auswertung und Rückführung von Grundwasserbelastungen auf die Quelle muss die Grundwasserströmung bekannt und darstellbar sein, hohe Gradienten schränken die mögliche Erfassungsbreite ein
Schadstoffe	wasserlöslich	nicht wasserlöslich	die Kriterien "wasserlöslich" und "nicht sorbierend" entscheiden darüber, ob (längere) Fahnen ausgebildet und mittels IPV erfasst werden können. I.d.R. ist dies z.B. bei LHKW, BTEX der Fall, bei MKW und PAK eingeschränkt. Außerdem kann eine stärkere Retardierung beim IPV den Schadstofftransport zum Brunnen verzögern
	Retardierung vernachlässigbar	stark sorbierend	
	Mischkonzentration beim IPV oberhalb Bestimmungsgrenze	Mischkonzentration beim IPV unterhalb Bestimmungsgrenze	
	konstante Schadstoffkonzentration über die betrachtete Aquifermächtigkeit	variable Konzentrationsverteilungen in vertikaler Richtung erfordern einen erhöhten Aufwand	variable Konzentrationsverteilungen in vertikaler Richtung können z.B. durch eine Multilevel-Beprobung und aufwendigere Auswertung aufgelöst werden
	keine Schadstoffquelle im Erfassungsbereich des IPV	Schadstoffquelle liegt im Erfassungsbereich des IPV	falsche Ergebnisse für Immission und Emission, insbesondere wenn Schadstoffphase erfasst wird
Geländebedingungen und Bebauung	erforderliche Brunnen(reihe) und IPV möglich	erforderliche Brunnen(reihe) und IPV nicht möglich	zu prüfen bzw. klären sind u.a. Ausschlussgründe wie: - Bebauung und Verkehrsflächen - Leitungsverläufe - Eigentumsverhältnisse und Zugänglichkeit
ggf. vorhandene Brunnen/GWM	ausreichende Wassersäule	zu geringe Wassersäule	Pumpversuche setzen eine ausreichend absenkbare Wassersäule voraus, i.d.R. > 1 m
	hydraulisch funktionsfähig	hydraulisch nicht funktionsfähig	Brunnenverluste durch Brunnenalterung (Beläge, Kolmation der Filterstrecke, Sediment) schränken die Funktion ein
	keine Beeinflussung der Schadstoffe (Ausbaumaterial inert, keine Ablagerungen)	Schadstoff reagiert oder sorbiert am Ausbaumaterial oder an Ablagerungen im Brunnen	bestimmte Schadstoffe können an bestimmten Materialien zersetzt (z. B. LHKW an Eisen) oder sorbiert werden

ASPEKTE DER PLANUNG EINZELNER IPV

Bei der Versuchsplanung wird mit einem geeigneten Verfahren (Kapitel 7.2.3) der Erfassungsbereich des IPV bestimmt und sinnvolle Probenahmezeitpunkte festgelegt. Sie sollen mit einem möglichst konstanten Zuwachs der Entnahmebreite einhergehen und somit eine Immissions- und Frachtbestimmung in Stromstreifen gleicher Breite ermöglichen. Die Qualität der Planung (wie auch später der Auswertung und des Ergebnisses) hängt von der Qualität der Eingangsparameter und dabei i.W. von den Fehlern des am schlechtesten bestimmten Parameters ab. Die relevanten Parameter für die Bestimmung des Erfassungsbereichs bzw. der Isochronen sind neben der Pumprate und der Pumpzeit

- die Aquifermächtigkeit
- die Porosität
- der Drchlässigkeitsbeiwert
- das Grundwassergefälle.

Ggf. sind heterogene Parameterverteilungen zu berücksichtigen.

Bei der Planung ist zu berücksichtigen, ob die Immissionspumpversuche bzw. zugehörigen Grundwassermessstellen im Gelände umsetzbar sind. Dies umfasst u.a. die Klärung der Baustelleneinrichtung im Detail (Betretung, Abspernung, Verkehrsführung, Leitungen, Genehmigungen) sowie möglicher Setzungsrisiken für Bauwerke durch die Pumpversuche.

ASPEKTE DER PLANUNG, DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG VON IPV-SERIEN ENTLANG VON KONTROLLEBENEN

Entlang von Kontrollebenen wird angestrebt, eine Reihe von Immissionspumpversuchen mit überlappenden Einzugsbereichen durchzuführen. Die Planung der Erfassungsbereiche und damit verbunden der erforderlichen Anzahl und Positionen der Kontrollbrunnen ist ein iterativer Prozess. Durch die Variation der Anzahl bzw. der Positionen und der Pumpzeiten gilt es, eine optimale Planungsgrundlage im Hinblick auf die Untersuchungskosten und Durch-

führungsbedingungen zu finden. Dabei sind auch Einflüsse auf die Fahnenlage durch vorausgehende oder gleichzeitige IPV in Nachbarmessstellen zu berücksichtigen [HEKEL 2012].

Die Auswertung der einzelnen Immissionspumpversuche liefert die den Probenahmezeitpunkten entsprechenden Isochronen und **Konzentrationswerte der Stromstreifen** (vgl. Abbildung 7-5). Bei der Bestimmung von Immission und Fracht über die Kontrollebene müssen die hinsichtlich ihrer Symmetrie häufig mehrdeutigen **Konzentrationsverteilungen** möglichst widerspruchsfrei zueinander und zu bestehenden Informationen über Schadstoffgehalte im Grundwasser bzw. wahrscheinliche und unwahrscheinliche Emittenten kombiniert werden.

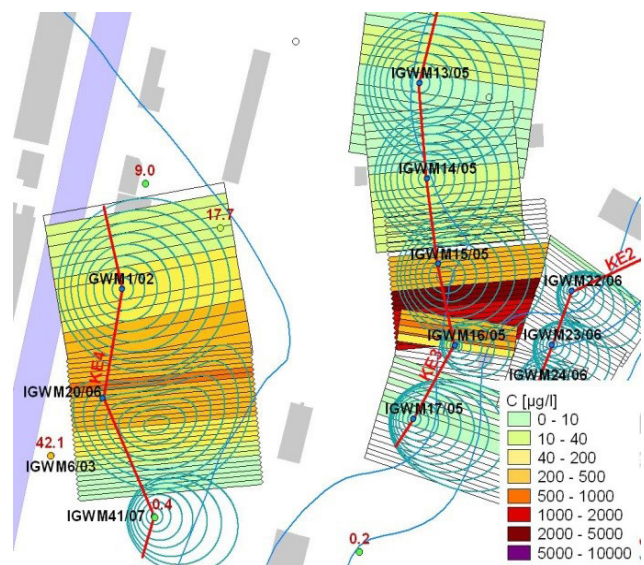


Abbildung 7-5: Isochronen und Stromstreifenkonzentrationen der analytischen Auswertung von IPV [HEKEL et al. 2014]

Zur Ermittlung der Schadstofffracht über eine Kontrollebene werden die einzelnen Stromstreifenkonzentrationen – multipliziert mit der Stromstreifenbreite, der Transmissivität (aus der hydraulischen Auswertung des IPV) sowie dem hydraulischen Gefälle im Bereich des IPV – aufsummiert.

7.2.3 ÜBERSICHT DER VERFAHREN ZUR PLANUNG UND AUSWERTUNG

Für die Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen gibt es eine ganze Reihe von Berechnungsverfahren für verschiedenste Anwendungsbedingungen. In einer Vergleichsstudie [HEKEL 2012] wurden die frei verfügbaren Verfahren „IPV-TOOL“, „Magic-Software Tool“, „C-SET“ sowie „CStream“ im Hinblick auf Anwendungsbedingungen, Handhabung, Aufwand und Fehleranfälligkeit unter verschiedenen Aquifer- und Versuchsrandbedingungen untersucht. Aufbauend auf die Ergebnisse der Vergleichsstudie wurde eine Auswahlmatrix für die Berechnungsverfahren aufgestellt (Tabelle 7-3). Wesentliches Kriterium für die Auswahl eines geeigneten Auswertetools ist die Übereinstimmung der Aquifer- und Versuchsbedingungen des betrachteten Immissionspumpversuchs mit den Anwendungsbedingungen des Verfahrens. Passen diese nicht zusammen, resultieren daraus Fehler in der berechneten Konzentrationsverteilung und Schadstofffracht. Weitere Auswahlkriterien können die Verfügbarkeit sowie die Handhabung des Tools bei der Dateneingabe und beim Berechnungsverfahren sein. Auch die verschiedenen Möglichkeiten der Ergebnisausgabe als Tabellen, Grafiken, pdf-Bericht oder raumbezogene Dateien für Isochronen oder Stromstreifenkonzentrationen können die Auswahl des Tools beeinflussen.

7.2.4 GEOHYDRAULISCHE KENNWERTE

Ein Vorteil der Immissionspumpversuche ist, dass sie neben einem großen Beprobungsvolumen in Verbindung mit einer kontinuierlichen Messung der Wasserspiegelabsenkung und des Wiederanstiegs eine sehr gute Datengrundlage zur Bestimmung geohydraulischer Kennwerte bieten. Diese Kennwerte repräsentieren i.d.R. einen entsprechend großen Erfassungsbereich und bieten damit eine belastbare Grundlage zur Berechnung von Grundwasservolumenströmen bzw. Schadstofffrachten. Darüber hinaus liefern die Messdaten Informationen zur Überprüfung bzw. Weiterentwicklung der hydrogeologischen Modellvorstellung.

Die geohydraulische Auswertung von Immissionspumpversuchen gelingt am besten, wenn die Versuchsdurchführung mit konstanter Rate erfolgt und die Wasserspiegelabsenkung bzw. der Wiederanstieg kontinuierlich mittels entsprechender Sonden und Logger gemessen werden. Die sog. diagnostische Auftragung der Daten aus Absenk- und Wiederanstiegsphase liefert Informationen über den Aquiferaufbau und die Grundwasserströmungsverhältnisse. Hieraus lassen sich ggf. Rückschlüsse auf Leckagen aus überlagernden Aquiferen oder die Wirksamkeit von Klüften ziehen. Weiterhin ist es möglich, einen oder ggf. mehrere Aquiferränder zu erkennen und festzustellen, ob es sich um dichte Ränder oder Zuflussränder handelt. Damit ergibt sich ein analytisches Aquifermodell, dessen Parameter mit entsprechenden instationären Typkurvenverfahren bestimmt werden können. Grundlegender Parameter ist die **Transmissivität** bzw. der **Durchlässigkeitsbeiwert** als Quotient aus Transmissivität und Aquifermächtigkeit. Ggf. können weitere Parameter, wie **Speicherkoeffizient**, **Leckagekoeffizient** bzw. **vertikaler Durchlässigkeitsbeiwert** sowie **Randabstände** beziffert werden [WITT 2009], [ERTEL, SCHOLLENBERGER 2008].

In Verbindung mit der Eingabe von Markierungsstoffen im Einzugsgebiet des Immissionspumpversuchs ist eine direkte Bestimmung der **durchflusswirksamen (effektiven) Porosität** möglich. Diese ist ein wesentlicher Parameter für den Stofftransport. Die Kenntnis der durchflusswirksamen Porosität ist maßgebend für die Größe des Erfassungsbereichs und damit für deren Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen. Bei der Integralen Untersuchung in Ravensburg wurde die Erfahrung gewonnen, dass in situ ermittelte Werte ohne Weiteres um den Faktor 2 von Literaturwerten abweichen können. Im Gegensatz zu den hohen Genauigkeitsanforderungen an o.a. geohydraulische Parameter wird eine genauere Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität i.d.R. vernachlässigt. Zur Bestimmung der Porosität wird während des IPV über eine im Einzugsgebiet liegende Grundwassermessstelle oder mittels Direct-push-Verfahren ein nicht sorbierender

Tabelle 7-3: Anwendungsbedingungen von Tools zur IPV-Planung und Auswertung [nach PTAK et al. 2013, erweitert]

Kriterien für die Anwendung der IPV-Auswertetools		IPV-Tool (Excel)	MAGIC Software Tool	C-SET	CSTREAM analytisch	CSTREAM numerisch	
Beschaffung	Autor(en)	[ROTHSCHINK 2007]	[ERTEL, SCHOLLENBERGER, 2008]	[HUSS 2012]	[BAYER-RAICH et al. 2003] [BAYER-RAICH, 2004]		
	Erforderliche Zusatzprogramme	Excel			Surfer	Modflow96 Modpath3.0 Surfer	
	Bezugsquelle	http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/47957/	http://www.magic-cadses.com/index.php?id_mnu=4	http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/229895/	weitere Informationen: http://www.ufz.de/task/index.php?de=21130		
Aquifer + Versuchsbedingungen	1	Aquifer 2D homogen geringe Grundströmung (Isochronen annähernd kreisrund) konstante Pumprate	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	
	2	wie 1, jedoch auch stärkere Grundströmung möglich (Isochronen annähernd elliptisch)	nicht geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	
	3	wie 2, jedoch stärkere Änderungen der Pumprate oder längere Unterbrechungen möglich	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	nicht geeignet	geeignet
	4	wie 2, jedoch Einflüsse durch vorab oder zeitgleich betriebene Nachbarbrunnen möglich	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	nicht geeignet	geeignet
	5	wie 2, jedoch zusätzlich stoffspezifische Retardierung möglich	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	geeignet
	6	Aquifer 2D heterogen sämtliche Aquifer- und Versuchsbedingungen aus 2-5 möglich	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet
Möglichkeiten des Tools	Eingabeart der Aquifer- und Versuchsparameter	Excel	Menu	Menu	Ascii-Datei	Modflow Ascii-Datei	
	erforderliche Eingabeparameter	Pumprate Porosität kf-Wert Mächtigkeit hydr. Gefälle	Pumprate Porosität kf-Wert Mächtigkeit Gradient	Pumprate Porosität kf-Wert Mächtigkeit Gradient	Pumprate Porosität kf-Wert Mächtigkeit Gradient	Verteilung der hydrogeolog. Parameter über Modflow-Modell	
	Raumbezug	ohne	ja	ja	ja	ja	
	mögliche Eingabeparameter	(nur 1 Brunnen) (nur konst. Rate)	(nur 1 Brunnen) (nur konst. Rate)	bis 100 Brunnen mit variabl. Raten in 100 Zeitperioden	Retardierung (nur 1 Brunnen) (nur konst. Rate)	beliebige Brunnen mit variabl. Raten in 10 Zeitperioden	
	mögliche Probenanzahl	10	praktisch unbegrenzt	praktisch unbegrenzt	praktisch unbegrenzt	praktisch unbegrenzt	
	Berechnungsverfahren für die Konzentrationsverteilung auf der Kontrollebene	Inversion; automatische Berechnung einseitiger und beidseitiger Verteilungen	Inversion; automatische Berechnung einseitiger und beidseitiger Verteilungen	automatische o. manuelle Anpassung gerechneter/gemessener Durchgang	Inversion; automatische Berechnung links-rechtsseitiger und symmetrischer Verteilung	automatische Berechnung links-rechtsseitiger und symmetrischer Verteilung über Modflow	
Aufwand für eine IPV-Berechnung	gering	gering	gering	gering	hoch		

Kriterien für die Anwendung der IPV-Auswertetools	IPV-Tool (Excel)	MAGIC Software Tool	C-SET	CSTREAM analytisch	CSTREAM numerisch
Möglichkeiten des Tools Ausgabe wichtiger Ergebniswerte	Bildschirm-Anzeige: Vol.strom mittl. Konz. Fracht	Bildschirm-Anzeige: Vol.strom mittl. Konz. Fracht	Bildschirm-Anzeige und pdf-Bericht: Vol.strom mittl. Konz. Fracht	Ascii-Datei: Vol.strom mittl. Konz. Fracht	Ascii-Datei: Vol.strom mittl. Konz. Fracht mittl. Gradient mittl. k-Wert
Ausgabe der Konzentrationsverteilungen auf der Kontrollebene	Excelgrafik Excel-Tabelle	Bildschirmgrafik Excel-Tabelle	Bildschirmgrafik Excel-Tabelle pdf-Bericht	Ascii-Tabelle	Ascii-Tabelle
Ausgabe von Isochronen	keine	Bildschirm Esri shp-Datei	Bildschirm pdf-Bericht; Esri shp-Datei	Surfer bln-Datei	Surfer bln-Datei
Ausgabe von Stomstreifen-Konzentrationen	keine	Esri shp-Datei (nur einseitig)	pdf-Bericht Esri shp-Datei	Ascii-Tabelle	Surfer grd-Datei

Salz- oder Fluoreszenztracer injiziert. Der Durchgang des Tracers wird im Pumpbrunnen erfasst, im einfachsten Fall anhand einer Leitfähigkeitsmessung oder mit einem Feldfluorimeter. Die durchflusswirksame Porosität bestimmt sich aus der Signallaufzeit [PTAK et al. 2013], [ERTEL, SCHOLLENBERGER 2008], [HEKEL et al. 2014].

Vergleichende Tracerversuche mit einem nicht sorbierenden Tracer sowie einem Schadstofftracer geben Aufschluss über die **schadstoffspezifische Retardierung**. Diese bewirkt eine Verzögerung des Stofftransports gegenüber der Grundwasserströmung, was sowohl bei der Stofftransportmodellierungen als auch bei der Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen berücksichtigt werden muss. Die Retardierung ist maßstabsabhängig. Zur Abschätzung der im Betrachtungsmaßstab von Immissionspumpversuchen wirksamen Retardierung wurden im Rahmen bisheriger Integraler Untersuchungen Säulenversuche im Labor durchgeführt. Hierbei wurde das eingebaute Aquifermaterial mit Grundwasser entsprechend der (mittleren) Fließgeschwindigkeit beim Immissionspumpversuch durchströmt. Der Retardierungsfaktor ergibt sich als Verhältnis der Durchgangsgeschwindigkeit von Wasser (bzw. einem nicht sorbierenden Tracer) zur Durchgangsgeschwindigkeit des sorbierenden Stoffs [HEKEL et al. 2014].

7.3 DIRECT-PUSH-METHODEN



Direct-push(DP)-Verfahren wurden entwickelt, um Untergrundkontaminationen direkt im Gelände zu bestimmen und damit insbesondere Schadstoffherde schneller eingrenzen zu können. Der Leitfaden geht darauf ein, weil unter bestimmten Voraussetzungen DP-Verfahren in geeigneter Kombination zur integralen Quantifizierung von Schadstoffimmissionen und Massenflüssen entlang von Kontrollebenen eingesetzt werden können [TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN 2008], [HEKEL et al. 2014], vgl. Tabelle 7.1.

7.3.1 PRINZIP

Unter dem Begriff „Direct-push“ werden alle Techniken zusammengefasst, deren Mess- und Probenahmesonden über ein Sondiergestänge in den Untergrund getrieben werden [LEVEN et al. 2010]. Grundsätzlich kann zwischen statischem und dynamischem Vortrieb unterschieden werden. Beim statischen Vortrieb wird über hydraulische

Druckvorrichtungen das Bohrgestänge gleichmäßig in den Untergrund gedrückt. Die Druckvorrichtungen können auf Fahrzeugen fixiert sein, wobei hierbei das Fahrzeuggewicht zusätzlich auf das Gestänge wirkt. Der dynamische Vortrieb erfolgt vibrierend oder schlagend.

7.3.2 ÜBERSICHT DER VERFAHREN UND TECHNIKEN

Mit Messsonden zur direkten Parametererfassung lassen sich während des Vortriebs geotechnische und geohydraulische Parameter sowie Schadstoffe detektieren. Durch DP-Messstellen oder Probenahmesonden können tiefenorientiert Boden, Bodenluft- und Grundwasserproben gewonnen werden.

DIREKTE MESSUNG GEOTECHNISCHER PARAMETER

Zur Messung geotechnischer Parameter werden i.W. folgende Sonden eingesetzt:

- Cone Penetration Test (mit CPT-Sonde) zur Ermittlung von Mantelreibung und Spitzendruck bzw. des Reibungsverhältnisses dient zur Klassifizierung der Bodenarten
- Leitfähigkeitssonden (EC-Log) zur Ermittlung der elektrischen Gesteinsleitfähigkeit (Electrical Conductivity). Auch hiermit ist in vielen Fällen eine Differenzierung bindiger und nicht-bindiger Bodenarten und damit eine Aquiferabgrenzung möglich
- Direct-push Injection Logging (DPIL-) zur Bestimmung der relativen Durchlässigkeitsverteilung und Identifizierung der durchlässigen, für den Schadstoffmassenfluss relevanten Horizonte
- Direct-push Slug Test (DPST-) Ermittlung tiefenhorizontierter Durchlässigkeitsbeiwerte im direkten Umfeld der Sondierung.

Bei entsprechenden Vorkenntnissen zum Aquiferaufbau oder bei vorliegenden Referenzbohrungen ist anhand der geotechnischen Parameter bei entsprechend geeigneten geologischen Verhältnissen eine genauere Aquiferabgrenzung möglich.

SCHADSTOFFDETEKTIERENDE SONDEN

Die gebräuchlichsten schadstoffdetektierenden Sonden sind die Membrane Interface Probe (MIP-) und Laser Induced Fluorescence (LIF-) Sonden:

- MIP-Sonden werden für den Nachweis von leicht- bis mittelflüchtigen Substanzen wie BTEX, LHKW, niedrigsiedende MKW eingesetzt
- LIF-Sonden werden zum Nachweis von Treibstoff-, Mineralöl- und Teerkontaminationen verwendet.

Genauere Konzentrationsbestimmungen im Grundwasser gem. BBodSchV sind mit schadstoffdetektierenden Sonden nicht möglich. Auch sind die gegenüber Laborverfahren höheren **Bestimmungsgrenzen** zu beachten, die z.B. für LHKW bei mehr als dem 10-fachen Prüfwert liegen können.

DP-MESSSTELLEN UND DP-GRUNDWASSERSONDIERUNGEN

Für die Entnahme von Grundwasserproben wurden zahlreiche Techniken entwickelt, mit denen Messstellen bzw. Probenahmeeinrichtungen durch das Sondiergestänge in den Untergrund gebracht werden können.

Für die Errichtung von DP-Messstellen (DP-GWM) können durch das Sondiergestänge Filter- und Vollrohrstrecken mit kleinem Durchmesser eingebaut werden. Neben Ausbaudurchmessern von 1, 1,5 oder 2 Zoll sind inzwischen 0,5-Zoll HDPE-Rohre marktverfügbar, mit denen sich auch durch ein kleinkalibriges Sondiergestänge sog. Micromessstellen einrichten lassen. Nach dem Ziehen des Hohlsondiergestänges mit verlorener Spitze verbleibt der Messstellenausbau im Untergrund und bietet die Möglichkeit einer dauerhaften Grundwassermessung und -beprobung (s. Abbildung 7-6).

Bei Grundwassersondierungen (DP-GWS) wird mit dem Sondiergestänge ein durch den Sondenkörper geschütztes Filterelement in den Untergrund eingebracht (s. Abbildung 7-7). Beim Anziehen des Sondiergestänges wird das

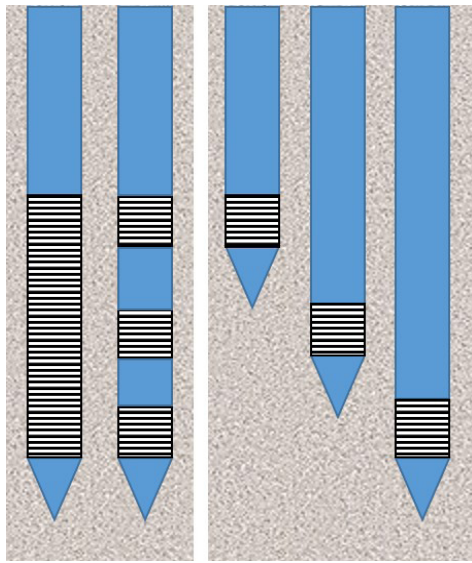


Abbildung 7-6: DP-Messstellen mit verschiedenen Anordnungen der Filterstrecke

Filterelement freigelegt. Filterelement und Holgestänge bilden somit eine temporäre Messstelle, aus der eine horizontalisierte Wasserprobe gezogen werden kann. Zu beachten ist, dass es beim Einbringen der Sonden zu Schadstoffverschleppungen aus höher liegenden Bereichen kommen kann. Zur Entnahme von Grundwasserproben in den DP-Aufschlüssen wurden spezielle Probenahmesysteme und „Low-Flow“-Pumpentechniken für kleine Rohrdurchmesser bzw. kleine Raten entwickelt. Der Pumpentyp wird in Abhängigkeit vom Ausbau- bzw. Sondendurchmesser, der

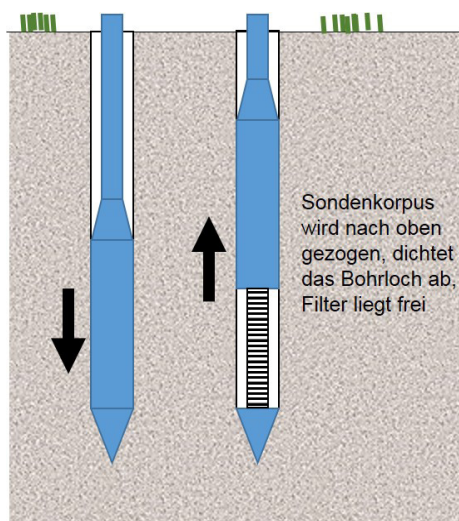


Abbildung 7-7: DP-Grundwassersondierung mit geschütztem Filterelement

Ergiebigkeit, der Förderhöhe, und den Anforderungen an die Probenqualität (trübstofffrei, leichtflüchtige Schadstoffe, anoxisch etc.) gewählt. Beispiele für häufig eingesetzte Pumpentechniken sind Saugpumpe, Mini-Tauchpumpe, Fußventilpumpe und pneumatische Pumpe [LEVEN et al. 2010].

7.3.3 ANWENDUNGSBEISPIEL

Für die Untersuchung des Grundwasserabstroms entlang einer Kontrollebene wird beispielhaft die bisher einmalige Vorgehensweise bei der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg skizziert. Hierbei wurden Direct-push-Techniken so kombiniert, dass Aussagen zum relevanten Grundwasserleiter, der Schadstoffimmission sowie zur Schadstofffracht getroffen werden können (Abbildung 7-8).

Zunächst wurde zur Erfassung einer vermuteten LHKW-Belastung im Grundwasser eine ca. 100 m breite Kontrollebene im Abstrom einer Verdachtsfläche konzipiert. Mit insgesamt 26 Sondierpunkten wurde eine laterale Auflösung der geotechnischen Parameter und Schadstoffindikatoren bzw. -konzentrationen in einem 4-m-Raster erreicht. Die Mess- und Interpolationsergebnisse der durchgeführten Sondierungen, Probenahmen und Tests sind in Abbildung 7-8 für einen Ausschnitt der untersuchten Kontrollebene dargestellt, der zwölf Sondierpunkte umfasst.

Zur Identifizierung und Abgrenzung des Aquifers wurden CPT und Leitfähigkeitssondierungen durchgeführt. Dem statischen Vortrieb der CPT-Sondierungen waren durch die dichte Lagerung der Kiese Grenzen gesetzt. Durch vorgebohrte Sondierkanäle konnte die Aquifersohle in ca. 10 m Tiefe in den meisten Fällen erreicht werden. Die CPT-Sondierung ermöglichte eine detaillierte Ansprache der Bodenarten und damit exakte Abgrenzung des Aquifers aus sandigen Kiesen gegenüber den liegenden Beckentonen und hangenden bindigen Deckschichten und Auffüllungen. Da diese Materialien einen ausreichenden Leitfähigkeitskontrast aufweisen, wäre das dynamisch vortreibende Leitfähigkeitslog für die Aquiferabgrenzung bereits ausreichend gewesen.

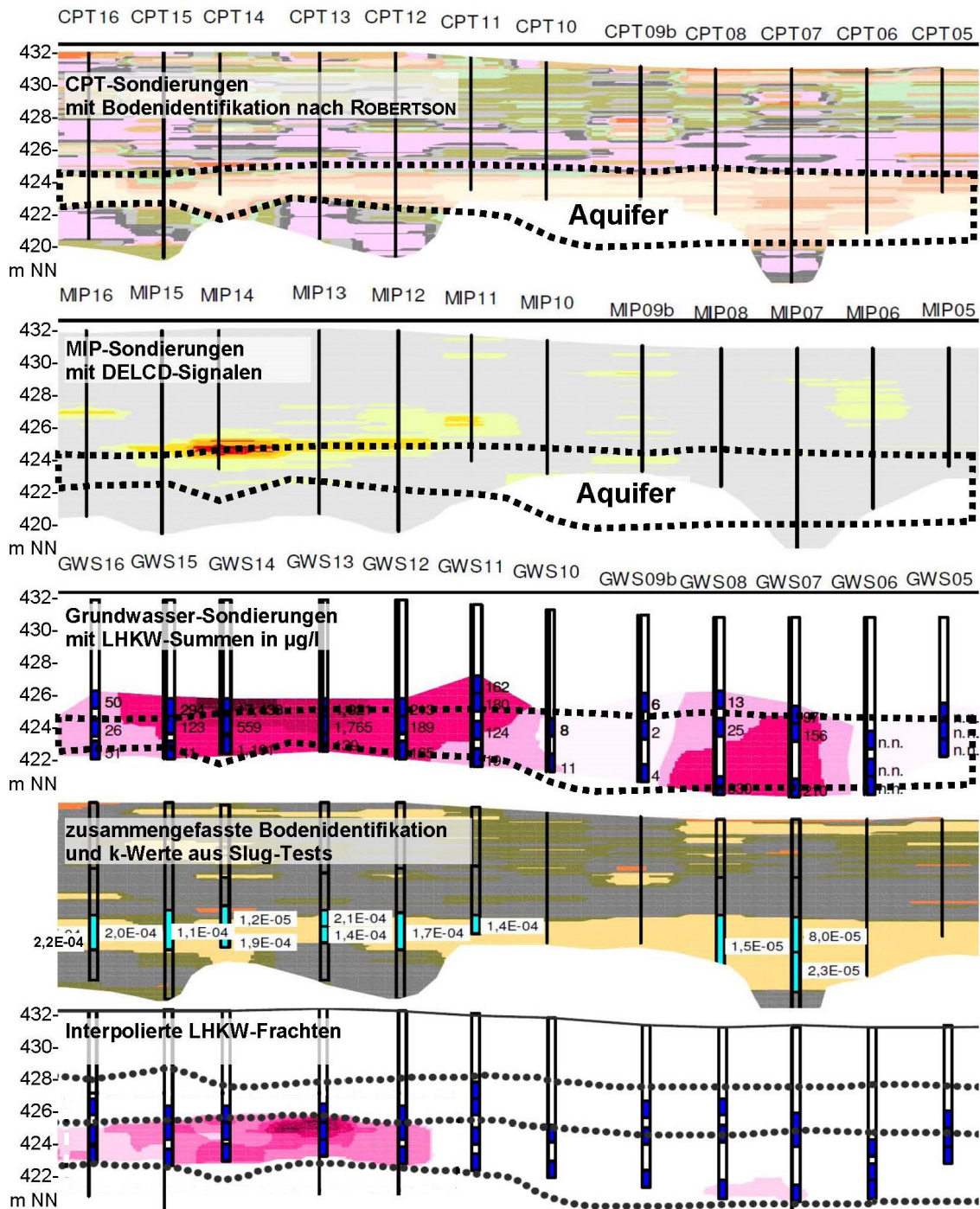


Abbildung 7-8: Typische Abfolge von Direct-push-Messungen zur Identifizierung des Aquifers und Erfassung von Schadstoffmission, Durchlässigkeit und Fracht entlang einer Kontrollebene [HEKEL et al. 2014]

In Verbindung mit den CPT-Sondierungen wurden MIP-Messungen durchgeführt. Die DELCD-Signale ergaben dabei Hinweise auf Bereiche mit höheren LHKW-Konzen-

trationen in den bindigen Deckschichten. Eine Identifizierung der Schadstoffbelastungen im Grundwasser analog zu den anschließend durchgeführten Grundwassersondierun-

gen scheiterte jedoch an der mangelnden Empfindlichkeit und der Bestimmungsgrenze des DELCD-Signals, das erst bei LHKW-Konzentrationen über ca. 0,3 mg/l im Grundwasser ansprach.

Mittels **Grundwassersondierungen** und **Low-Flow-Probenahmen** konnte ein detailliertes Bild der Konzentrationsverteilung ermittelt werden. Neben der lateralen Bestimmung der Konzentrationsverteilung ermöglichen die Grundwassersondierungen im Prinzip auch eine gute tiefengestufte Auflösung. Am Sondierpunkt 14 wurden jedoch im tieferen Aquifer mit über 1.000 µg/l höhere Schadstoffbelastungen festgestellt, die sich durch einen Pumpversuch in einer 1 m entfernten Grundwassermessstelle nicht ansatzweise verifizieren ließen. Damit deutet sich als generelles Problem von Grundwassersondierungen eine mögliche vertikale Verschleppung von Schadstoffbelastungen beim Eindringen der Sonde an.

DP-Slugtests lieferten die für die Frachtenbestimmung erforderlichen Durchlässigkeitsbeiwerte.

Im Gegensatz zur integrierenden Erfassung von Schadstoffimmission und -fracht durch Immissionspumpversuche liefern Direct-push-Methoden nur punktuelle Ergebnisse. Ein „integrierender“ Ansatz wird daraus, wenn die Sondierungen in einem ausreichend engen Raster gesetzt werden, das eine rechnerische Interpolation der gemessenen Parameter und Schadstoffkonzentrationen erlaubt.

Zur **Ermittlung der Schadstofffracht** werden die in unterschiedlicher räumlicher Auflösung bestimmten Parameter Konzentration, Durchlässigkeit und hydraulisches Gefälle auf ein einheitliches Grid interpoliert. Im gezeigten Beispiel (Abbildung 7-8) wurde hierzu das inverse distance-Verfahren in einer Zellauflösung von 0,6 m x 0,1 m verwendet. Damit wurde die Gesamtfracht für den relevanten Aquiferquerschnitt als Summe der Einzelfrachten jeder Zelle mit 5 g/d berechnet. Mit einem anderen Interpolationsverfahren wurden 8 g/d ermittelt, womit sich eine gewisse Abhängigkeit der Frachtbestimmung vom Interpolationsverfahren zeigt.

7.4 METHODEN DER TIEFENDIFFERENZIIERTEN PROBENAHME



Tiefendifferenzierte Probenahmen kommen zum Einsatz, wenn Schadstoffkontaminationen im Grundwasserleiter auch in der Tiefe abgegrenzt werden sollen. Sollten keine tiefendifferenziert ausgebauten Messstellen vorhanden sein, so gibt es neben Direct-push-Verfahren auch für durchgehend verfiltrierte Grundwassermessstellen Methoden, die bei entsprechenden Voraussetzungen tiefengenaue Probenahmen und damit tiefendifferenzierte Aussagen zur Schadstoffbelastung ermöglichen. Aus den Projekten der integralen Grundwasseruntersuchung liegen Erfahrungen mit Packersystemen und Multilevelpumpen vor.

PACKERSYSTEME

Packersysteme ermöglichen eine Abtrennung verschiedener Zuflussbereiche in Bohrlöchern oder Messstellen. Voraussetzung für eine vollständige Abdichtung ist, dass die Packer in dichten Bohrlochbereichen oder abgedichteten Vollrohrstrecken gesetzt werden. In durchgehend verfiltrierten Messstellen kann über die Ringraumfüllung hinter dem Filter auch Grundwasser von außerhalb des abgepackerten Bereichs angezogen werden. Mit **Schlauch-** oder **Scheibenpackern** können bei geringen Förderraten bzw. geringen Entnahmemengen zumindest qualitative Trends der vertikalen Konzentrationsverteilung ermittelt werden.

MULTILEVELPUMPEN

Multilevelpumpensysteme ermöglichen die gleichzeitige Entnahme von Wasserproben aus verschiedenen Tiefen. Hierzu werden z.B. Low-Flow-Doppelventilpumpen mit kleiner Förderleistung eingesetzt (Abbildung 7-9) [LUBW 2008]. Mit einer möglichst flach eingebauten Förderpumpe werden sämtliche Zuflüsse in die Messstelle angeregt. Durch eine Flowmetermessung (z.B. Thermo-Flowmeter) wird zunächst der Volumenstrom über die Tiefe bestimmt.

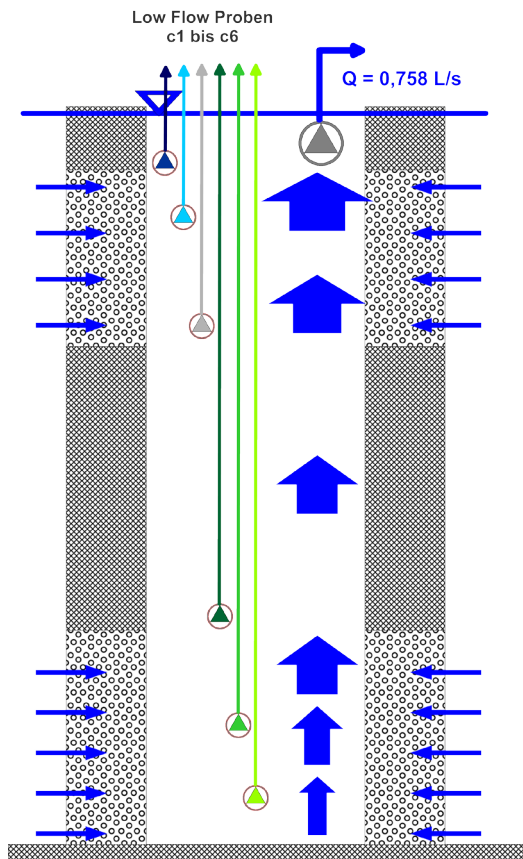


Abbildung 7-9: Schemaskizze zum Einsatz von Low-Flow-Doppelventilpumpen zur horizontalen Grundwasserbeprobung [HALLA 2013]

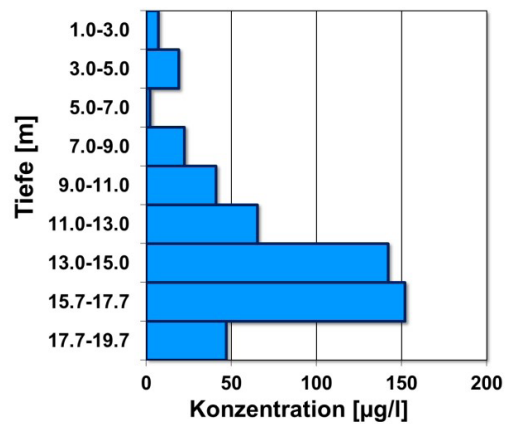


Abbildung 7-10: Ergebnisse einer tiefenhorizontierten LHKW-Beprobung mit dem Multilevel-pumpen/Thermo-Flowmeter-Verfahren

7.5 FORENSISCHE METHODEN



Die über die Multilevelpumpen entnommenen Proben geben Aufschluss über die Mischkonzentrationen in den jeweiligen Entnahmetiefen. Auf Grundlage der Volumenströme und Mischkonzentrationen in den einzelnen Probenahmehorizonten lassen sich die Schadstofffrachten sowie Konzentrationen der einzelnen Zuflusshorizonte berechnen (Abbildung 7-10).

Grundsätzlich ist diese Methode auch mit einem längeren Immissionspumpversuch kombinierbar. Dies ermöglicht über die übliche zweidimensionale Bestimmung der Schadstoffimmission im Erfassungsbereich auch horizontbezogene Aussagen zur Schadstoffsituation im Grundwasser [PTAK et al. 2013].

Forensische Methoden sind wichtige Bausteine der integralen Untersuchungen. Ergänzend zu Strömungs- und Schadstoffuntersuchungen liefern sie – unabhängig von Verdünnungs- oder Adsorptionseffekten – weitere Informationen, z.B. zum Nachweis von Abbauprozessen und von Herd-Fahne-Beziehungen, zur Plausibilisierung von konventionell oder mit anderen Isotopenmethoden ermittelten Ergebnissen oder zur dualen Beweisführung und tragen so zur Auflösung von Gemengelagen bei. Aus der Vielzahl der forensischen Techniken werden Isotopen- und Spurenstoffuntersuchungen näher vorgestellt, die sich bei der integralen Untersuchung bewährt haben.

7.5.1 PRINZIP

Das Prinzip von Isotopenuntersuchungen basiert auf der unterschiedlichen Isotopensignatur von Stoffen verschiedener Herkunft (Verhältnis von leichten und schweren Isotopen, z.B. Kohlenstoff ^{12}C , ^{13}C). Allein durch die Bestimmung dieser Signaturen können z.B. LHKW

im Grundwasser differenziert und ggf. verschiedenen Schäden zugeordnet werden. Hinzu kommt, dass durch Abbau- oder Alterungsprozesse die Signatur verändert wird. Die leichten Isotope werden bevorzugt umgesetzt, deshalb ist der verbleibende Schadstoff angereichert mit schweren Isotopen, während die gebildeten Metabolite abgereichert bzw. isotopisch leichter sind vgl. Abbildung 7-11.

Durch **Spurenstoffuntersuchungen**, d.h. durch die Analyse von gering konzentrierten natürlichen oder künstlichen Substanzen, sog. Tracern, können Transport- und Systemprozesse sichtbar gemacht werden. Dazu zählen z.B. die Ermittlung des Grundwasseralters oder die Bilanzierung von Grundwasseranteilen, was für die Entwicklung der hydrogeologischen Modellvorstellungen im Rahmen der integralen Untersuchung wichtig ist. Spurenstoffe können aber auch als Nebenbestandteil von Schadstoffen Aussagen zu deren Ursprung und Alter liefern.

7.5.2 WICHTIGE ISOTOPEN-METHODEN

BESTIMMUNG DER ISOTOPENSIGNATUR

Der Vergleich der Signaturen eines Reinprodukts bzw. von Stoffen im Schadstoffherd mit den Signaturen einer oder mehrerer Grundwasserproben im Abstrom erlaubt Rückschlüsse auf die **stoffliche oder räumliche Herkunft** des Schadens [LHS 2003]. Bei Übereinstimmung der Signaturen ist dann eine stoffliche und/oder räumliche **Versacherzuordnung** möglich. Kommen für eine Schadstofffahne mehrere Schadstoffherde in Betracht, kann der

Vergleich der Isotopensignatur aus der Fahne mit denen der möglichen Schadstoffherde zu einer **Quellendifferenzierung bzw. -identifizierung** führen.

ISOTOPEN-VERTEILUNGSMUSTER

Durch Änderungen im räumlichen oder zeitlichen Verteilungsmuster der Isotopensignaturen (bei LHKW z.B. der jeweiligen Einzelkomponenten) ergeben sich **Hinweise auf Umbau, Abbau oder Einflüsse weiterer Schadstoffherde**. Die Isotopensignaturen werden dabei nicht nur untereinander verglichen, sondern auch den absoluten Konzentrationswerten der Einzelstoffe sowie der relativen Zusammensetzung der Stoffgruppe gegenübergestellt (vgl. Abbildung 5-4 und Kapitel 5.2) [ERTEL et al. 2009].

KINETISCHE ISOTOPENFRAKTIONIERUNG

Mikrobiologischer Abbau führt zur Verschiebung der Signatur mit zunehmender Fließstrecke (vgl. Abbildung 7-11), aber auch mit zunehmender Zeit am jeweiligen Messpunkt. Sofern mehrere Isotopendatensätze entlang der Fließstrecke innerhalb einer Fahne oder aus einer Zeitreihe vorliegen, kann überprüft werden, ob ein Abbau stattfindet. Ein Abbau ist qualitativ belegt, wenn die Isotopenanreicherung entlang der Fließstrecke oder der Zeitreihe mindestens +2 ‰ beträgt oder wenn die $\delta^{13}\text{C}$ -Summensignatur (molgewichteter Mittelwert der Einzelsignaturen) schwerer (positiver) als -20 ‰ ist. Über ein Rayleigh-Modell lässt sich mithilfe des stoff-, enzym- und milieuspezifischen Anreicherungs-faktors auch eine quantitative Abschätzung der

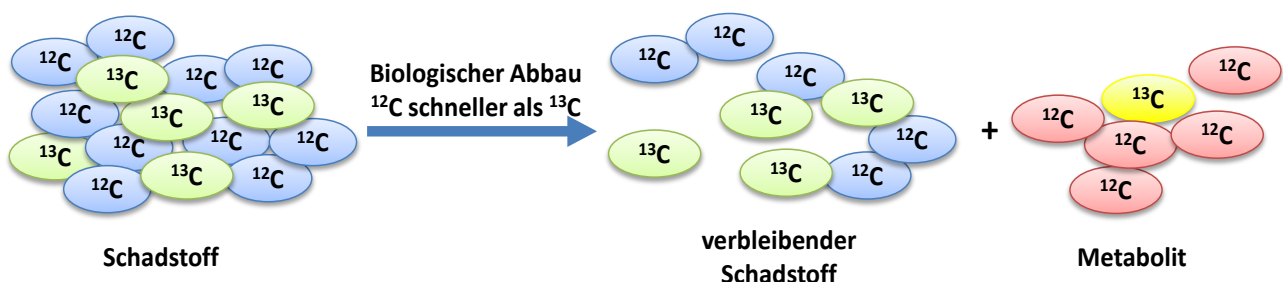


Abbildung 7-11: Prinzip der Isotopenfraktionierung

Abbauraten durchführen. Der Anreicherungsfaktor hierfür kann z.B. in Laborversuchen oder als grobe Näherung anhand von Literaturdaten ermittelt werden. Auch der Abbau zu nicht chlorierten Produkten (NCP) lässt sich quantitativ berechnen.

MEHRDIMENSIONALE ISOTOPENANALYSE

Neben den stabilen Isotopen von Kohlenstoff (^{12}C , ^{13}C – Bestimmungsgrenze $\text{BG} < 2 \mu\text{g/l}$) können weitere Elemente wie Wasserstoff (^1H , ^2H $\text{BG} \sim 200 \mu\text{g/l}$)- und Chlor (^{35}Cl , ^{37}Cl $\text{BG} \sim 30 \mu\text{g/l}$)- Isotopen untersucht werden. Solch eine mehrdimensionale Isotopenanalyse verbessert die Quelledifferenzierung und damit die Verursachenzuordnung ebenso wie die Quantifizierung des Abbaus und führt günstigenfalls dazu, dass zwischen verschiedenen Abbauwegen differenziert werden kann [AEPPLI et al. 2011a], [AEPPLI et al. 2011b], [ERTL et al. 2014], [WIEGERT et al. 2012].

7.5.3 WICHTIGE SPURENSTOFF-METHODEN

Neben o.g. forensischen Methoden aus dem Bereich der Schadstoff-Isotopenuntersuchung sind stabile Umweltisotope sowie Spurenstoffe geeignet, um Transport- und Systemprozesse der Strömungssituation zu untersuchen.

STABILE UMWELTISOTOPE

Mithilfe der Isotopen Sauerstoff-18 (^{18}O) und Deuterium (^2H) lassen sich Informationen über die **Bildung und Herkunft von Grundwasser** gewinnen. Der Vergleich von Konzentrationen dieser Isotope in verschiedenen Grundwasserproben erlaubt z.B. eine Differenzierung und ggf. auch Quantifizierung von Grundwasserströmen sowie Anteilen von Oberflächenwasser im Aquifer. Auch Interaktionen von Grundwasser und verschiedenen Gesteinsschichten werden erkennbar und machen so den Transportweg des Grundwassers nachvollziehbar [PLÜMACHER, UFRECHT 2000], [UFZ 1997].

RADIOAKTIVE TRACER

Zur **Grundwasserdatierung** wird das bei Bombentests in den 1960er Jahren emittierte Tritium (^3H) herangezogen. Tritium (^3H) und auch Krypton (^{85}Kr) können anhand ihrer bekannten Zerfallskinetik bzw. Halbwertszeit und dem so berechenbaren Abbau bis zum Messzeitpunkt zur **Altersbestimmung** genutzt werden. Für genauere Untersuchungen über Zeitskalen von einigen Monaten bis Jahrzehnten wird neben Tritium auch das Zerfallsprodukt Helium (^3He) bestimmt, wodurch sich in Kombination mit Schadstoff-Isotopenuntersuchungen Abbauraten von z.B. LHKW bestimmen lassen [AEPPLI et al. 2011a], [AEPPLI et al. 2011b].

CHEMISCHE UMWELTRACER

Anthropogen eingetragene Umweltchemikalien wie Schwefelhexafluorid (SF_6), FCKW oder sonstige Xenobiotika wie Pestizide, Arzneimittelrückstände und hormonähnliche Wirkstoffe erfahren in der Umwelt keinen oder nur sehr geringen Abbau, weshalb sie als Markierungsstoffe zur **Bestimmung der Strömungsverhältnisse** dienen können [KIRCHHOLTES et al. 2012]. SF_6 und FCKW werden außerdem über ihre bekannten Eintragsfunktionen als Zeitmarker zur Grundwasserdatierung und damit ggf. auch der **Altersbestimmung von Schadstoffeinträgen** genutzt. Sie erlauben im Idealfall die Eingrenzung potenzieller Handlungsstörer im Verlauf der Nutzungsgeschichte einer kontaminierten Fläche.

SCHADSTOFFSPEZIFISCHE VERTEILUNGSMUSTER

Charakteristische Muster der Einzelstoff-Zusammensetzung einer Schadstoffklasse wie z.B. LHKW, PAK, PCB, BTEX, MKW liefern Informationen über Art, Herkunft und Alter. Auswertungen von Verteilungsmustern (Fingerprinting) erfolgen häufig, da die Daten in vielen Fällen hierfür nicht gesondert erhoben werden müssen. Insbesondere für LHKW sind molare Konzentrationseinheiten anstelle von Masseinheiten zu berücksichtigen, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

SPURENSTOFFE UND ADDITIVE

Klassische Spurenstoffe und Additive (Biomarker wie Sterane, Terpene, Farbstoffe, Benzin-Blei, MTBE) in Mineralölprodukten sind ein charakteristisches Merkmal für das Ursprungsprodukt. Sie können für das Fingerprinting zur Ermittlung der **Herkunft und des Alters** des Stoffs genutzt werden [UFRECHT, SPITZBERG 2012], [LHS 2003]. Die Untersuchung von Spurenstoffen und Additiven erlaubt für Mineralölschäden ggf. eine stoffliche und zeitliche Verursacherzuordnung.

7.5.4 ANWENDUNGSEMPFEHLUNGEN

Wesentliche Einsatzzwecke forensischer Untersuchungsmethoden sind die **stoffliche, räumliche und zeitliche Zuordnung von Kontaminationen zu Schadstoffherden und Identifizierung** sowie ggf. **Quantifizierung eines Schadstoffabbaus**. Auch wenn Strömungs- und Schadstoffverhältnisse bereits bekannt sind, erlauben forensische Ergebnisse eine Plausibilisierung und Bestätigung oder andernfalls Neubewertung der Sachlage. Für eine Gefährdungsabschätzung und letztlich die Heranziehung von Pflichtigen für weitere Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen ist die eindeutige Zuordnung eine Voraussetzung.

Forensische Methoden können für **verschiedene Fragestellungen der integralen Untersuchung** unterschiedlich gut eingesetzt werden, was in Tabelle 7-4 deutlich wird.

Tabelle 7-4: Anwendungsmöglichkeiten forensischer Methoden [ERTEL et al. 2009]

	MKW/ BTEX	PAK	LHKW	Metalle	MTBE
Alter	+	^	o	o	-
Räumliche Herkunft	+	^	+	+	o
Stoffliche Herkunft	+	+	-	+	-
Abbau (NA)	+	+	+	-	+

- + Anwendung möglich
- Anwendung nicht möglich
- o in Einzelfällen möglich
- ^ i.d.R. nicht relevant

Insbesondere die Methoden der mehrdimensionalen Isotopenanalyse befinden sich derzeit noch im Forschungsstadium, lassen aber bereits jetzt auf ein großes Potenzial schließen.

Chlorisotopen-Untersuchungen können ggf. nicht eindeutige Ergebnisse der Kohlenstoffisotope präzisieren oder den entscheidenden Erkenntnisgewinn liefern. Mit dieser Methode liegen aber insgesamt noch wenige Erfahrungen vor. Für die Identifizierung von speziellen Abbaumechanismen sind Chlorisotope besser geeignet als Kohlenstoffisotope.

Für die Identifizierung von Schadstoffherden sind Verteilungsmuster (Fingerprinting einschl. Spurenstoffe) sowie schadstoffspezifische Isotopenanalysen (Isotopensignatur und -verteilungsmuster) zu empfehlen. Wenn komplexe oder unklare Strömungsverhältnisse vorliegen und für die konzeptionellen oder numerischen Modelle weitere Informationen benötigt werden, sind Untersuchungen von chemischen Umwelttracern, stabilen Umweltisotopen und radioaktiven Tracern angezeigt. Auch widersprüchliche oder nicht plausible Ergebnisse sind generell Anhaltspunkte für den zusätzlichen Einsatz forensischer Untersuchungsmethoden.

7.6 INNOVATIVE METHODEN DER INTEGRIERENDEN PROBEENTNAHME



Innovative integrierende Techniken wurden in Einzelfällen bereits eingesetzt, nicht aber im Rahmen der integralen Untersuchung. Interessante Ansätze werden dennoch vorgestellt.

PHYTOSCREENING UND DENDROFORENSIK

Beim **Phytoscreening** nutzt man Bäume, die durch ihre Wurzeln Grundwasser und gelöste Schadstoffe aufnehmen.

Mit einem Zuwachsbohrer wird ein Bohrkern aus dem Stamm entnommen und analysiert. Ermitteln kann man Boden- und Grundwasserverunreinigungen sowie Fahnenverläufe und -entwicklungen [SCHÖNDORF et al. 2010], [HOLM, ROTARD 2011]. Vorteile der Methode sind:

- schnelle Identifikation von Belastungen
- oberirdische Beprobung, gering invasiv, geeignet für kampfmittelverdächtige oder schlecht zugängliche Bereiche
- geringer Zeit- und Kostenaufwand.

Das Verfahren ist beschränkt auf oberflächennahe Bereiche und das Grundwasser sowie Schadstoffe, die gut wasserlöslich, schlecht abbaubar und nicht zu flüchtig sind (z.B. LHKW). Es ist semiquantitativ und liefert keine Konzentrationen. Baumart, Jahreszeit usw. beeinflussen die Ergebnisse. Referenzproben werden für die Beurteilung der Hintergrundbelastung oder Schadstoffaufnahme aus der Luft benötigt.

Die **Dendroforensik** untersucht Jahresringe von Holzproben auf Schadstoffe. Neben dem Verlauf der Belastung kann so auch der Zeitpunkt von Einträgen bestimmt oder mehrere Einträge differenziert werden.

PASSIVSAMMLER/DOSIMETER

In einem Behältnis mit einer Sammelphase werden Schadstoffe aus Wasser oder Bodenluft akkumuliert. Je nach Sammlertyp und Untersuchungsziel kann die Probenahme Wochen oder Monate umfassen [BOPP et al. 2004], [LUGV 2010]. Der Schadstoffursprung bleibt unklar. Auch der Strömungseinfluss kann nicht differenziert werden. Integriert wird die Zeit und nicht der Raum. Man unterscheidet **Gleichgewichtssammler** (über mehrere Wochen = momentane Konzentration) und **Nicht-Gleichgewichtssammler** (über mehrere Monate = zeitintegrierende Messung). Aus den mittleren Konzentrationen und Grundwasservolumenströmen können jeweils Frachten ermittelt werden. Vorteile des Verfahrens sind:

- wenig Aufwand für Probenhandhabung
- keine elektrische Energie, kein schweres Gerät oder umfangreiches Material notwendig
- kein Sorptionsverlust oder Verlust leichtflüchtiger Substanzen
- Anreicherung von Spurenverunreinigungen
- keine Beeinflussung des Strömungsfelds
- keine Entsorgung kontaminierten Wassers
- Mittelung von Konzentrationsspitzen.

Im Passivsammler kann biologischer Abbau stattfinden. Schadstoffdotierte Mikrokosmen (Bactraps) nutzen diesen Effekt - in Kontrollebenen ermöglichen sie räumlich differenzierend sowie zeitlich integrierend Rückschlüsse auf Abbauprozesse.

8 Gesamtschauliche Auswertung

Gesamtschauliche Auswertung

Die gesamtschauliche Auswertung dient der Ermittlung von Schadstoffherden, welche für Grundwasserverunreinigungen verantwortlich sind.

Aus den Ergebnissen der Grundwasseruntersuchungen werden Schadstofffahnen ermittelt, ihre Schadstofffrachten bestimmt und die Fahnen zu Schadstoffherden zurückverfolgt, vgl. Kapitel 8.1. Wenn die Lokalisierung von Schadstoffherden nicht eindeutig möglich ist, kommt der synoptischen Betrachtung von Ergebnissen unterschiedlicher Methoden eine besondere Bedeutung zu, vgl. Kapitel 8.2.

8.1 ERMITTLUNG VON SCHADSTOFFFAHNEN, FRACHTEN UND SCHADSTOFFHERDEN

8.1.1 INTERPRETATION OHNE NUMERISCHES MODELL

Wurde die Schadstoffverteilung entlang von Kontrollebenen ermittelt, so kann in übersichtlichen Fällen die Lage und Konzentration der Schadstofffahne zwischen den Kontrollebenen unter Berücksichtigung der Grundwasserströmung grafisch interpoliert werden. Abbildung 8-1 zeigt ein Beispiel für eine solche „nach Augenmaß“ ausgeführte Interpolation entsprechend der in Abbildung 7-5 dargestellten Stromstreifenkonzentrationen einer analytischen Auswertung von IPV.

Die Schadstofffracht einer Fahne errechnet sich als Summenprodukt der Stromstreifenkonzentrationen mit dem Volumenstrom des Stromstreifens (vgl. Kapitel 7.2.2). Die ungefähre Lage des Schadstoffherds kann durch eine Rückprojektion der ermittelten Fahne auf Grundlage eines Grundwassergleichenplans eingegrenzt werden. Unter Berücksichtigung möglicher Variationen der Strömungsrichtung

erhält man einen Sektor, in dem die Verdachtsfläche durch zustromige Kontrollebenen oder weitere Verdachtskriterien identifiziert werden kann. Im dargestellten Beispiel ist die Verdachtsfläche in Verlängerung der Fahnenachse zwischen der zweiten und dritten Kontrollebene zu lokalisieren.

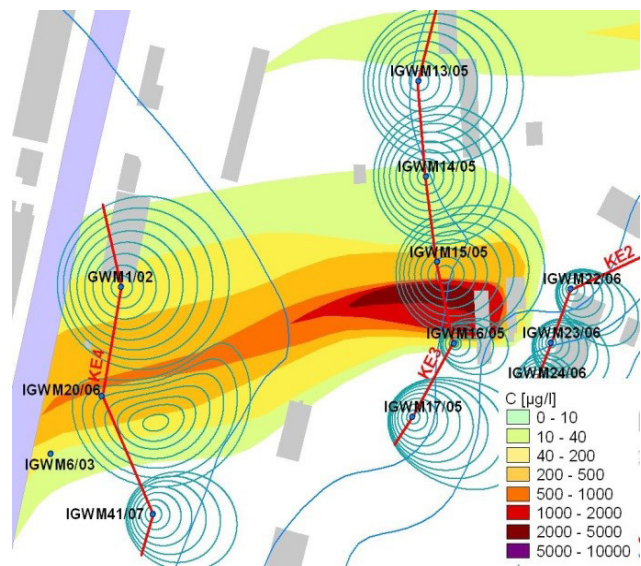


Abbildung 8-1: Interpretation von Schadstofffahnen auf Grundlage der Konzentrationsverteilungen entlang von Kontrollebenen [HEKEL et al. 2014]

8.1.2 BERECHNUNGEN MITTELS NUMERISCHEM GRUNDWASSERMODELL

FAHNEN UND SCHADSTOFFHERDE

Über Kontrollebenen ermittelte Schadstoffverteilungen können zur Berechnung von Schadstofffahnen mittels numerischen Transportmodellen dienen. Dabei wird die Konzentrationsverteilung einer oberstromigen Kontrollebene als Startkonzentrationsverteilung angesetzt (Abbildung 8-2). An den abstromig gelegenen Kontrollebenen werden die berechneten Fahnenkonzentrationen mit der tatsächlichen Konzentrationsverteilung verglichen. Abweichungen in der Fahnenlage können auf Defizite der Parameterannahmen hindeuten oder auf eine zeitliche Variation der Grundwasserfließrichtung zurückzuführen sein.

Mit einem Grundwassermodell können Schadstofffahnen auch auf Grundlage lückenhafter bzw. punktueller Konzentrationsbefunde berechnet werden. Hierzu werden z.B. Schadstoffherde angenommen und in ihrer Lage, Ausdehnung und Quellstärke solange variiert, bis die berechnete Konzentrationsverteilung bestmöglich mit den Messwerten übereinstimmt. Die am besten angepasste ist dann die wahrscheinlichste Schadstofffahne, der im Modell angeetzte Herd eine mögliche Eintragsstelle. Weitere mögliche Eintragsstellen können auch durch particle-tracking-Verfahren oder eine Rückwärtsrechnung von Konzentrationsbefunden mit dem Transportmodell eingegrenzt werden (vgl. Kapitel 6.2). Die entstehenden Konzentrationsverteilungen können als „Wahrscheinlichkeitsverteilung“ für Schadstoffeinträge und damit als mögliche Schadstoffherde interpretiert werden.

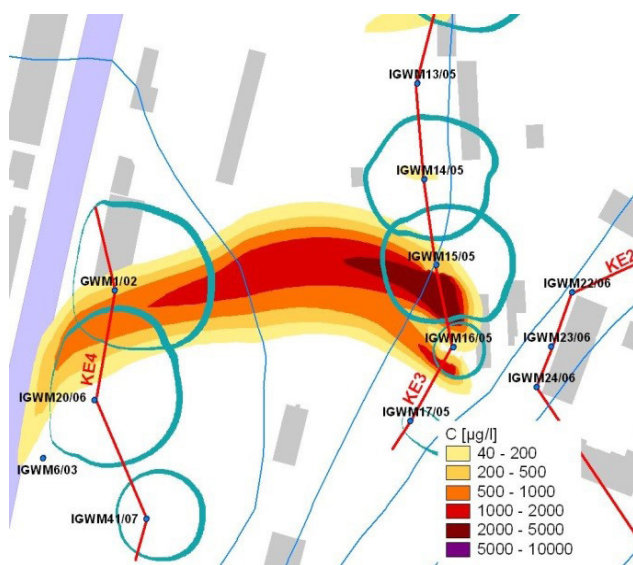


Abbildung 8-2: Berechnung von Schadstofffahnen mittels Transportmodell [Hekel et al. 2014]

SCHADSTOFFFRACHT

Mit dem numerischen Schadstofftransportmodell kann die Schadstofffracht an beliebigen, frei wählbaren Querschnitten berechnet werden.

RÜCKSCHLÜSSE AUF SCHADSTOFFABBAU

Wenn gemessene Konzentrationen in abstromigen Messstellen bzw. Kontrollebenen deutlich geringer sind, als mit

dem Transportmodell berechnet, kann dies auf unverstandene Strömungs- und Transportvorgänge oder auf Schadstoffabbau hindeuten. Auch die Reduzierung der Schadstofffrachten oder die Veränderung der Isotopensignaturen von einer Kontrollebene zur nächsten kann auf mögliche Abbauprozesse hinweisen.

Erkenntnisse zu natürlichen Abbauprozessen gewinnen mit jeder Untersuchungsstufe an Bedeutung. Sollen belastbare Aussagen getroffen werden, sind fundierte Kenntnisse der Fahngeometrie und Prozesse erforderlich. Diese Kenntnisse zu erlangen, ist i.d.R. mit einem erhöhten Untersuchungs- und Auswertungsaufwand verbunden. Für den Nachweis von Abbauprozessen ist es erforderlich, Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen einzubeziehen (z.B. Nachweis von Metaboliten, Isotopenuntersuchungen). Auf dieser Grundlage ist ein Prozessverständnis zu entwickeln und mit einem entsprechenden reaktiven Transportmodell quantitativ zu belegen.

8.2 ERGEBNISSYNOPSE

Die Untersuchungsergebnisse werden in die bestehenden Datensammlungen und Modelle integriert, vgl. Kapitel 5 und 6. Erkenntnisse verschiedener Methoden sind wechselseitig zu plausibilisieren und zu einem Gesamtbild zusammenzufügen. Durch den Abgleich der Ergebnisse werden Widersprüche und Defizite aufgedeckt. Wenn die konzeptionellen Modellvorstellungen nicht verifiziert werden können (vgl. Ablaufschema Abbildung 4-1), sind die Ursachen zu prüfen.

Untersuchungsergebnisse sollten durch verschiedene Methoden bestätigt werden (duale/multiple Beweisführung). Aussagen zum natürlichen Abbau können z.B. über Kontrollebenen getroffen und durch Isotopenuntersuchungen bestätigt werden. In Zweifelsfällen wird die Prüfung von Hypothesen durch einen Zweitgutachter empfohlen.

Das Vorgehen wird anhand des Beispiels zweier PCE-Schäden von chemischen Reinigungen (Rotebühlstraße und

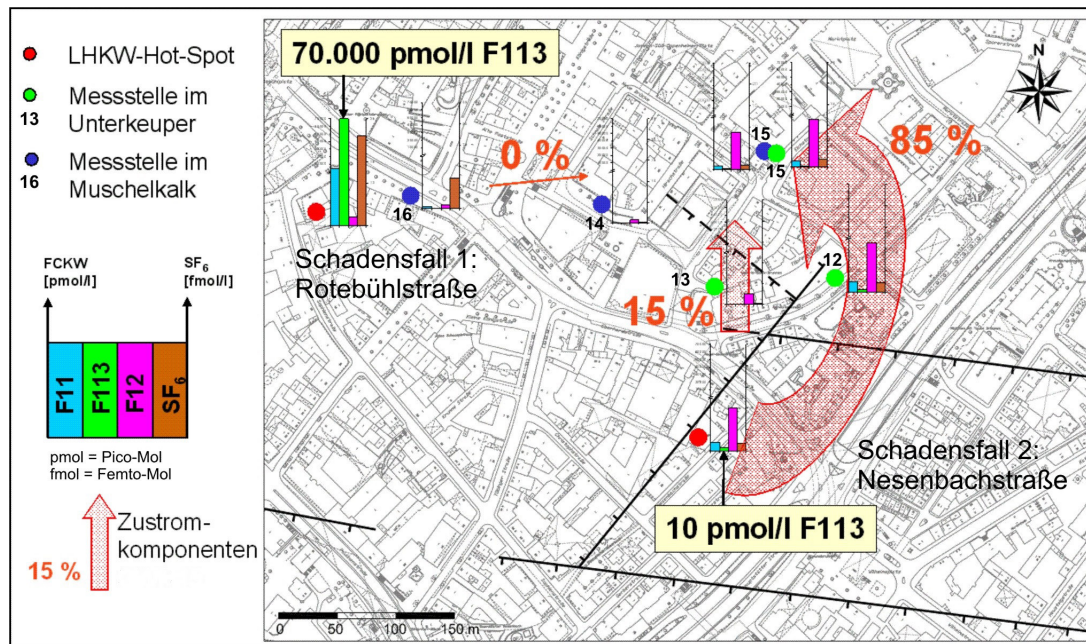


Abbildung 8-3: Synoptische Betrachtung forensischer Ergebnisse [LHS 2006]

Nesenbachstraße) erläutert [LHS 2006]. Abbildung 8-3 zeigt bei Messstelle 15 (grüner/blauer Punkt am Ende der Pfeile) eine PCE Belastung. Der Schadstoffursprung und die Abstromverhältnisse waren zu klären.

Mit LHKW-Isotopenuntersuchungen alleine gelang dies nicht, da beide Standorte ausschließlich PCE verwendeten und auch im Abstrom (aerobes Milieu) kein Abbau erfolgt. Die Isotopensignaturen der Herde und des Abstroms unterschieden sich nicht signifikant.

FCKW und SF₆ wurden im Spurenbereich von Picomol (pmol/l, FCKW) bis Femtomol (fmol/l, SF₆) detektiert. Die Verteilungsmuster und die Werte des FCKWs F113 in den Herden unterschieden sich deutlich. So war über weitere Messstellen im Abstrom eine klare Schadenszuordnung der PCE-Belastung in Messstelle 15 zum Herd in der Nesenbachstraße möglich.

Wenn die vorliegenden Daten und Untersuchungen noch keine Zuordnung erlauben, können zur Identifizierung relevanter Schadstoffherde und Abschätzung ihres Beitrags zur Grundwasserbelastung in Einzelfällen auch weitergehende Recherchen notwendig werden. In solchen Fällen ist eine vertiefte historische Recherche in Kombination

mit den Ergebnissen der integralen Untersuchung hilfreich.

An einem weiteren Beispiel, vgl. Tabelle 8-1, wird deutlich, wie unterschiedliche Kontaminationsquellen (Altstandorte und ein ehem. Industriegleis) in Form einer Matrix verglichen werden können, um die Ursache der Belastung in einer nahegelegenen Messstelle (P954) zu ermitteln.

Die Ergebnisse waren zunächst in sich widersprüchlich. Neben den Konzentrations- und Frachtdaten aus der Grundwasseruntersuchung gehen in die Matrix auch vertiefte historische Erkenntnisse und forensische Ergebnisse ein (Kriterien in der linken Spalte).

Aus allen Informationen wird über ein Punktesystem die Quelle mit dem wahrscheinlichsten Beitrag ermittelt. Das Punktesystem vergibt für einen Standort jeweils einen Punkt, wenn ein Kriterium zutrifft, einen halben Punkt, wenn es nur teilweise zutrifft und keinen Punkt, wenn das Kriterium nicht zutrifft. Je nach Relevanz des Kriteriums werden die Punkte zusätzlich gewichtet (multipliziert): hohe Relevanz – Faktor 3, mittlere Relevanz – Faktor 2, geringe Relevanz – Faktor 1. Die Matrix führt zur Identifizierung eines bis dato nicht berücksichtigten Schadstoffherds, nämlich des ehem. Industriegleises.

Tabelle 8-1: Identifizierungsmatrix in Feuerbach [KIRCHHOLTES et al. 2012]

Potenzielle Verursacher der LHKW-Verunreinigung in P954	Gewichtung	Altstandort ISAS 2430	Altstandort ISAS 2370	Altstandort ISAS 4204	Altstandort ISAS 2593	ehem. Industriegleis
	Faktor	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte
Umgang mit LHKW aktenkundig oder zumindest wahrscheinlich?	1	1	1	0,5	0	0,5
Lage im hydraulischen Oberstrom bzw. im EZG der P954 bei Mittelwasser/Niedrigwasser	3	1,5	3	1,5	3	3
Schadstoffpotenzial (Konzentrationshöhe) ausreichend?	3	1,5	1,5	0	0	3
Ist das LHKW-Konzentrationsniveau weitgehend unabhängig von größeren Schwankungen (max. 50 %)?	1	0,5	0	0,5	0	0,5
Weitere LHKW vertreten (1,1,1-TCA, T-DCE, 1,1,-DCE)	2	0	0	2	1	2
Spektrum der Chlorierten Ethene übereinstimmend bei ähnlichen prozentualen Anteilen?	2	0	0	1	0	2
PCE-Isotopensignatur ähnlich (± 1 ‰)?	1	0	0	0	0,5	1
FCKW-Spurentracer (F12, F11, F113) in ähnlichem Konzentrationsbereich und -verteilung vertreten?	2	0	0	0	0	2
Schwefelhexafluorid ähnlich ($\pm 0,5$ fmol/l)?	1	0	0	0,5	0,5	0
Punktesumme		4,5	5,5	6	5	14

9 Gefährdungsabschätzung und Priorisierung

Gefährdungsabschätzung und Priorisierung

Nach der gesamtschaulichen Auswertung und Identifizierung von Schadstoffherden erfolgt das weitere Vorgehen i.d.R. einzelfallspezifisch. Zur Gefährdungsabschätzung und Priorisierung weiterer Maßnahmen für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser werden die Erkenntnisse aus der integralen Untersuchung für die jeweiligen Einzelfälle aufgearbeitet. Der Kenntnisstand bzgl. der Situation des Grundwassers ist im Vergleich zu Standortuntersuchungen auf BN 2 meist deutlich besser.

Die ermittelten Flächen werden gemäß der stufenweisen Vorgehensweise in Baden-Württemberg auf BN 2 durch die zuständigen Behörden formal bewertet.

GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

Auf der Stufe der orientierenden Untersuchung, vgl. Kapitel 3.3, Abbildung 3-2, ist für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser zu klären, ob die Konzentration am Ort der Beurteilung derzeit oder zukünftig überschritten wird.

Bestehen nach der gesamtschaulichen Auswertung Kenntnislücken in Bezug auf Schadstoffherde und deren Emissionsentwicklung, sodass keine Aussage zur Konzentration und/oder Konzentrationsentwicklung am Ort der Beurteilung getroffen werden kann (Beweisniveau 2 nicht erreicht), müssen weitere Standortuntersuchungen im Rahmen einer „klassischen“ OU folgen.

Wird der Standort genutzt, sind im Rahmen der OU weitere wirkungspfadbezogene Untersuchungen erforderlich.

Falls konkrete Anhaltspunkte für Prüfwertüberschreitungen am Ort der Beurteilung vorliegen und der hinreichende Verdacht einer SBV/Altlast begründet ist, schließt sich i.d.R. eine einzelfallbezogene Detailuntersuchung an, welche neben den Konzentrationen und Frachten aus der integralen Untersuchung, vgl. Kapitel 8.1, auch Untersuchungen zum Schadstoffherd (horizontale und vertikale Abgrenzung) sowie – bei anderen Wirkungspfaden – im Schutzgut beinhaltet.

Die weitere Bearbeitung (Detail-, Sanierungsuntersuchung und ggf. Sanierungsplanung und Sanierung) erfolgt einzelfallbezogen durch den Pflichtenigen. Ein integrales Vorgehen kann ab der Detailuntersuchung sinnvoll sein. Weiterführende Konzepte hierzu enthält der zweite Teil der Handlungshilfe.

PRIORISIERUNG

Die Priorisierung erfolgt in Baden-Württemberg zumindest für kommunale Standorte gemäß Leitfaden Altlastenbewertung [LUBW 2012a] mit dem Software-Tool XUMA-B. Dabei wird für den Einzelfall ein prioritätssetzendes Risiko ermittelt, welches bestimmt, mit welcher Priorität bzw. in welcher Reihenfolge Standorte weiter untersucht und saniert werden. Sollen in einem Betrachtungsgebiet kommunale und private Standorte priorisiert werden, so müssen alle Standorte mit XUMA-B bewertet werden.

Teil 2 Handlungshilfe Weiterführende Konzepte

Der zweite Teil des vorliegenden Werks enthält weiterführende Konzepte, für die es bisher keine standardisierten Vorgehensweisen oder Regelwerke gibt. Die logische Fortführung der integralen Untersuchung ist die integrale

Gefährdungsabschätzung und Priorisierung von Maßnahmen, vgl. Kapitel 10. Die Entwicklung und Umsetzung integraler Sanierungsstrategien, vgl. Kapitel 11, baut darauf auf.

10 Integrale Gefährdungsabschätzung und Priorisierung

WIRKUNGSORIENTIERTE BEWERTUNG

Die integrale Altlastenbearbeitung bietet die Möglichkeit, analog zur Priorisierung von Einzelfällen (mit XUMA-B, vgl. Kapitel 9), weitere Kriterien zu berücksichtigen. Hier sind z.B. die wirkungsorientierten Aspekte zu nennen, die im Rahmen der Verhältnismäßigkeitsprüfung und bei der Prüfung von MNA-Konzepten bereits Anwendung finden. Diese sind für die Verhältnismäßigkeitsprüfung z.B. [LFU 1994], [LUBW 2012b]:

- Prognose der Schadstoffausbreitung
- Prüfung und Prognose der zukünftigen Beeinflussung von Schutzgütern und Belangen Dritter, die bei Hin-nahme einer Grundwasserverunreinigung betroffen sind
- Festlegung von Kriterien für eine aktive Sanierung, sofern sich die Prognose nicht bestätigt und die tatsächliche Gefährdung größer ist als die prognostizierte und diese zukünftig nicht hinnehmbar ist

und für ein MNA-Konzept [LABO 2009]:

- Identifizierung von NA-Prozessen
- Quantifizierung von NA-Prozessen
- stationäre oder rückläufige Schadstofffahne
- Langzeitprognose stabiler und irreversibler Prozesse
- dauerhaftes Monitoring
- Rückfalloption/Sanierungsmaßnahme
- Duldung eines räumlich und zeitlich begrenzten Grundwasserschadens.

Die Erweiterung der Bewertungskriterien führt dazu, die effizientesten Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers innerhalb eines Betrachtungsgebiets zu ermitteln, die eine größtmögliche positive Wirkung bei optimalem Mitteleinsatz erzielen. Der Fokus liegt dann weniger auf dem Potenzial im Schadstoffherd, sondern auf den Auswirkungen im Grundwasser sowie auf (ggf. abgerissenen) Schadstoff-fahnen.

Von mehreren Dutzend LHKW-Grundwasserschäden in einem Stadtgebiet tragen mitunter nur einige wenige maßgeblich zur gesamten Grundwasserbelastung bei. Allein die prioritäre Sanierung dieser wenigen Standorte würde zu einem zufriedenstellenden Gesamtwirkungsgrad in Bezug auf die Reduzierung der Gesamtschadstofffracht führen. Die Einhaltung der einzelfallbezogenen Mindestanforderung für die übrigen Schäden wäre dann, unter Berücksichtigung der Aspekte zur Verhältnismäßigkeit und zu MNA, zweitrangig.

Voraussetzung ist, dass zeitgleich für alle relevanten Einzelschäden und Fahnen ein ähnlicher Kenntnisstand erreicht ist. Dies kann entweder durch vollständige Untersuchung aller Einzelschäden oder durch eine integrale Untersuchung erfolgen.

Nachfolgend werden Verfahren aufgeführt und beispielhaft gezeigt, wie sich Priorisierungen im Vergleich zur klassi-

schen Einzelfallbewertung ändern, wenn neben Konzentration und Fracht weitere Kriterien in die Priorisierung einfließen, z.B.:

- Fahngeometrie (Fahnenlänge und/oder -fläche ggf. über mehrere Grundwasserstockwerke)
- Schadstoffpotenzial (ggf. in Relation zu Austrags- und Abbauraten)
- Synergieeffekte durch mögliche Nutzungs- und Expositionsszenarien (z.B. Priorisierung anhand der Gesamtkobilanz bei Kombination einer Sanierung mit geothermischer Nutzung o.Ä.).

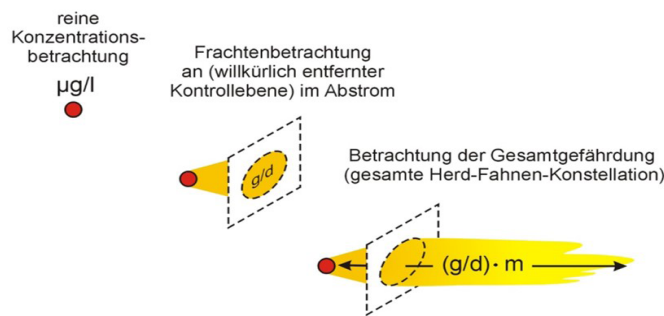
Abbildung 10-1 erläutert das Prinzip erweiterter Bewertungskriterien. Die gesamte Herd-Fahne-Konstellation wird dabei berücksichtigt und rechnerisch durch Multiplikation von Fracht und Fahnenlänge erfasst. Die Gegenüberstellung zeigt exemplarisch Bewertungen, die einmal nur anhand der Fracht erfolgten, einmal zusätzlich anhand der Fahnenlänge. Die unterschiedlichen Farben verdeutlichen, wie sich die Priorisierung für Sanierungsmaßnahmen dadurch ändert.

Bei der integralen Gefährdungsabschätzung kann zudem eine Wechselwirkung von Schäden berücksichtigt werden,

z.B. in Form von eher negativer Lösungsvermittlung oder eher positiver Begünstigung des Abbaus, z.B. bei Überlagerung von LHKW und MKW- oder BTEX-Schäden.

STATISTISCHE STRUKTURANALYSE

Bei ausreichender Datenlage können statistische Verfahren helfen, prioritäre Schadstoffherde zu identifizieren. Das Verfahren ist prinzipiell vergleichbar mit der Identifizierungsmatrix, s. Kapitel 8.2. In Bitterfeld wurde z.B. eine hydrochemische Charakterisierung mit dem Ziel durchgeführt, Kontaminationsfaktoren, Verteilungsmuster und Leitparameter zu ermitteln. Die Kenntnis von Eintrags-, Transport- und Transformationsprozessen ermöglichte großräumig Rückschlüsse auf relevante Schadstoffherde. Neben der räumlichen Identifizierung der Herde kann gleichzeitig eine Priorisierung der Sanierungsrelevanz anhand statistisch ausgewerteter Kontaminationsfaktoren wie Konzentration, Fracht, Abbauraten usw. erfolgen. Das Verfahren ist vor allem dann übertragbar, wenn im regionalen Maßstab Kontaminationen mit mehreren Stoffgruppen vorliegen, die sich u.U. gegenseitig beeinflussen. Nähere Informationen finden sich in [THIEKEN 2001].



Basis Fracht

Rang	Fracht [g PCE/d]	Fahnenlänge [m]	Gesamtrisiko [g PCE/d]*m
1	43,0	10	430
2	35,9	230	8247
3	34,4	10	344
4	34,4	1000	34422
5	25,8	400	10327
6	22,9	10	229
7	21,5	590	12693
8	20,1	970	19477
9	17,2	10	172
10	16,5	1450	23916

Basis Fracht + Fahnenlänge

Rang	Fracht [g PCE/d]	Fahnenlänge [m]	Gesamtrisiko [g PCE/d]*m
4	34,4	1000	34422
10	16,5	1450	23916
8	20,1	970	19477
7	21,5	590	12693
5	25,8	400	10327
2	35,9	230	8247
1	43,0	10	430
3	34,4	10	344
6	22,9	10	229
9	17,2	10	172

Abbildung 10-1: Priorisierung unter Berücksichtigung der Fahnenlänge [LHS 2009]

FESTLEGUNG VON SANIERUNGSPRIORITÄTEN ANHAND DER WIRKUNG

Sind verschiedene Wasserkörper betroffen (z.B. mehrere Aquifere, Oberflächengewässer) ist es sinnvoll, Sanierungsprioritäten festzulegen, um Schäden mit Gefährdungspotenzial für diese Schutzgüter vorrangig zu sanieren. Andere Schäden können nachrangig bearbeitet werden, obwohl ihre Konzentration, Fracht oder Fahngeometrie erheblicher ist. In Feuerbach, vgl. Abbildung 10-2, wird eine Differenzierung in drei prioritäre Sanierungsziele vorgeschlagen. Oberste Priorität hat der Schutz des tieferen Mineralwasser-Aquifers. Es folgt der Schutz des Oberflächengewässers und erst an dritter Stelle steht der obere Grundwasserleiter.

Das Kriterium der Wirkung, welches für die Festlegung von Sanierungsprioritäten aufgegriffen wird, ist in XUMA-B bereits integriert in den Elementen Wirkung mIII/ Bedeutung Schutzgut mIV (z.B. Trinkwasserschutzgebiet), vgl. Abbildung 10-3, und findet auch im Sonderfall des nicht-nutzungswürdigen Grundwasserleiters Anwendung [LUBW 2008].

In komplexen Fällen kann die zusätzliche Berücksichtigung der Nutzung und des damit verbundenen Risikos zweckmäßig sein. Bei der Bewertung von Schäden und der Priorisierung von Maßnahmen kann die Wirkung auf eine Nutzung oder eine Nicht-Nutzung – wenn dies gerechtfertigt ist – auch höher gewichtet werden als Potenzial und Quellstärke.

Voraussetzung ist ein umfassendes Prozessverständnis vom Schadstoffherd bis zum Schutzgut. Der Kenntnisstand sollte dem Niveau einer Sanierungsuntersuchung entsprechen, um im Rahmen der Verhältnismäßigkeitsprüfung und vergleichbar mit der Prüfung von MNA-Konzepten, vgl. Kapitel 9, zuverlässige Prognosen zur weiteren Entwicklung treffen zu können.

Die Auswahl geeigneter Priorisierungsverfahren und -kriterien hängt stark von den Rahmenbedingungen und Zielsetzungen des jeweiligen Betrachtungsgebiets ab (z.B. Grundwasser-/Heilquellenschutz oder Flächenrevitalisierung). Es handelt sich daher immer um Konzepte, die im Einzelfall einer Anpassung bedürfen.

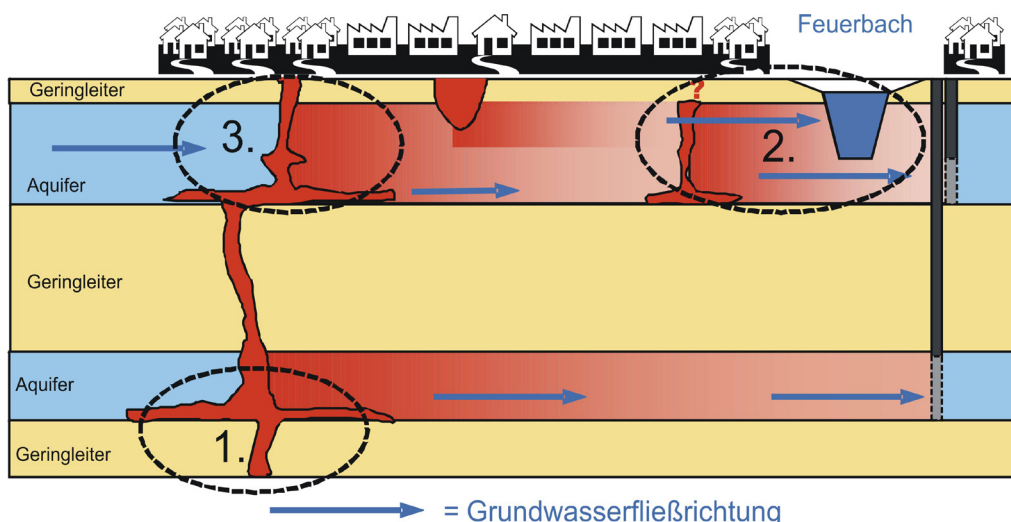


Abbildung 10-2: Sanierungsprioritäten im konzeptionellen Sanierungsmodell Stuttgart-Feuerbach [KIRCHHOLTES et al. 2012]

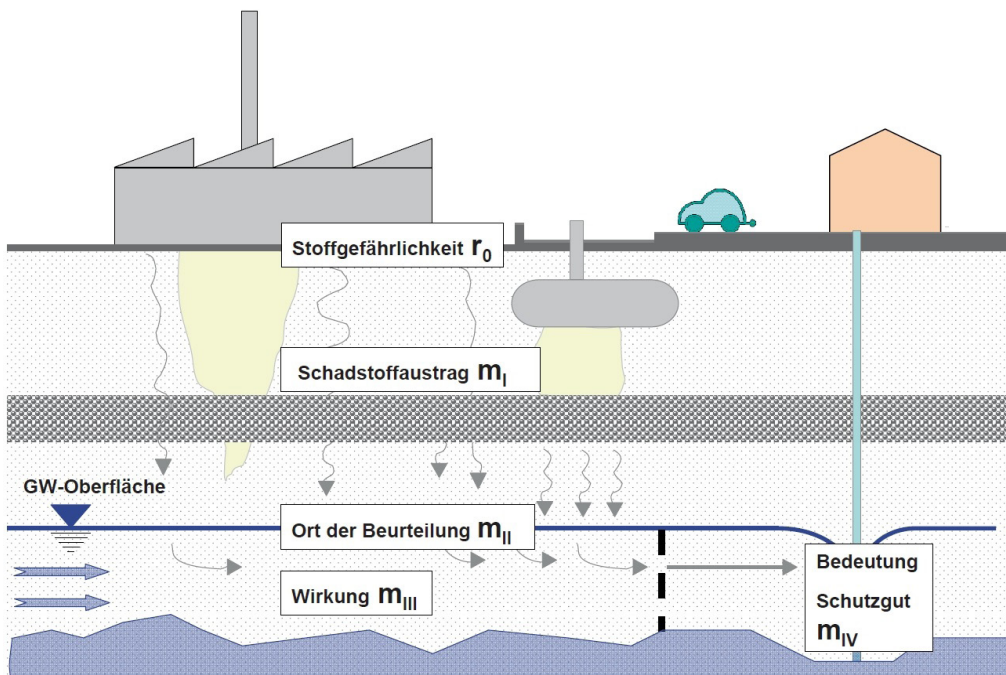


Abbildung 10-3: Priorisierungsmerkmale Wirkungspfad Boden-Grundwasser [LUBW 2012a]

11 Integrale Sanierung

Voraussetzung für die Sanierung ist, dass nach der integralen Untersuchung entweder eine **Detail- und Sanierungsuntersuchung** koordiniert weitergeführt wurde oder **Einzeluntersuchungen** vollständig vorliegen.

Es können zwei Fälle unterschieden werden, vgl. Abbildung 11-1:

1. wurden relevante Einzelschäden identifiziert, folgt die gezielte Sanierung dieser Einzelschäden gemäß eines Rahmensanierungskonzepts
2. ist eine Sanierung von Einzelschäden technisch (oder wirtschaftlich) nicht sinnvoll, können die Voraussetzungen für eine integrale Sanierung auf freiwillig-kooperativer Basis gegeben sein.

Im ersten Fall können die relevanten Schäden detailliert untersucht und nach einem optimalen Rahmensanierungskonzept saniert werden (integrale Priorisierung von Maßnahmen, vgl. Kapitel 10). Die einzelnen Maßnahmen sind gegenüber den Pflichtigen ordnungsrechtlich durchzusetzen. Durch Informationsaustausch von Altlastensanierung und städtebaulicher Sanierung sind im Rahmen des Einzelfalls Synergien nutzbar.

Im zweiten Fall kann durch private Initiativen (z.B. Investoren) eine integrale Sanierung mehrerer Flächen erfolgen z.B. mit dem Ziel des Flächenrecyclings oder einer Wertsteigerung der Grundstücke. Der Vorteil der integralen Sanierung ist dann eine schnellere, vollständige und koordinierte Vorgehensweise, die durch Synergien in der Umsetzung auch monetär interessant sein kann.

Die integrale Sanierung (zweiter Fall) erfordert einen höheren organisatorischen Aufwand. Durch die Beteiligung weiterer Interessensgruppen vergrößern sich aber auch die finanziellen Möglichkeiten und damit die Chancen, neben der reinen Sanierung eine Aufwertung von Flächen zu erreichen. Voraussetzung, um diese Chancen nutzen zu können, ist der **Informationsaustausch** zwischen oft unabhängigen Initiativen. Notwendig ist zudem, dass die erforderlichen Kenntnisse für die Planung rechtzeitig vorliegen.

Im Unterschied zur Einzelfallsanierung können bei der integralen Sanierung auch **gemeinsame Verfahren** für mehrere Schäden (z.B. optimale Lage von Brunnen) sowie **Wechselwirkungen der Schäden und Synergien** (Brauchwasserentnahmen, geothermische Nutzungen) berücksich-

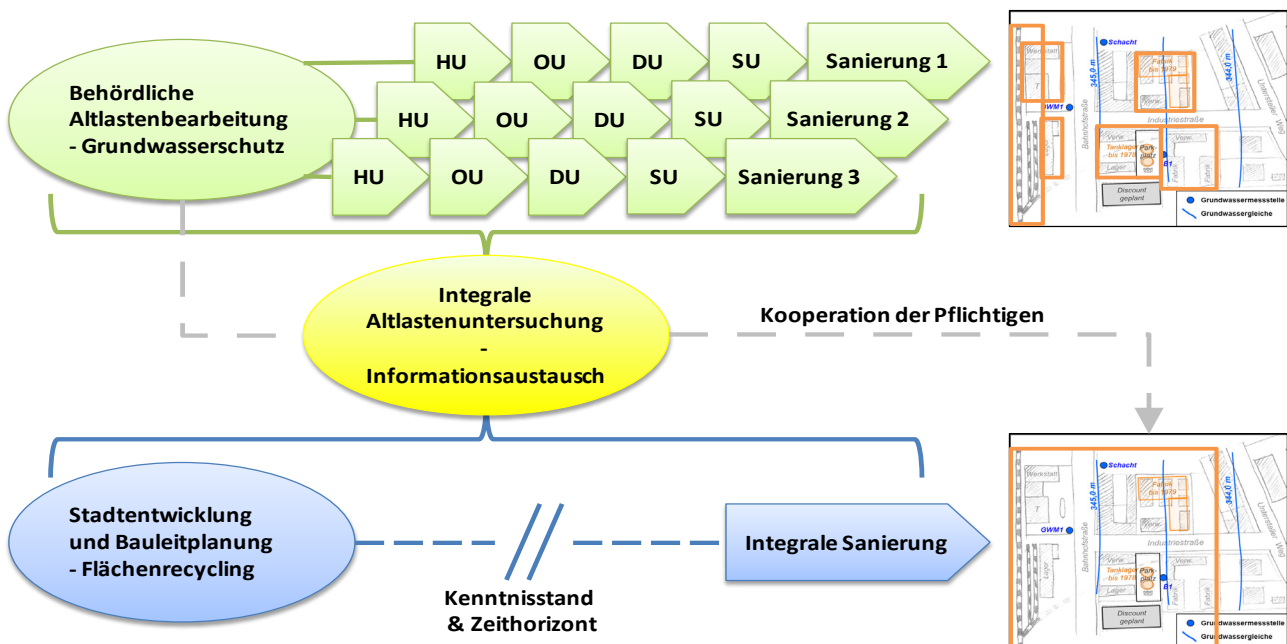


Abbildung 11-1: Interessensgruppen und Zielsetzung der integralen Sanierung

tigt werden. Durch die planerische Einbeziehung der Flächennutzung können neben den ökologischen dann auch ökonomische und soziale Aspekte der Nachhaltigkeit eine Rolle spielen.

Ein integrales Vorgehen bei der Sanierung ist durch allseitige **Kommunikation**, umfassende und gemeinsame **Daten- und Informationsgrundlagen** und frühzeitige, **gemeinsame Initiativen** aller Interessensgruppen, vgl. Kapitel 3.5, möglich. Die Altlastenbehörde ist dabei mitunter nicht Hauptakteur, sondern wird z.B. aus eigener Initiative als Moderatorin aktiv.

Für integrale Sanierungen gibt es nur wenige Beispiele, da eine freiwillige Kooperation aller Beteiligten nur sehr selten erreicht wird. Durch ein hohes Engagement von Seiten der Behörde oder öffentliche Mittel zur Finanzierung wird eine Realisierung wahrscheinlicher. Nachfolgend werden Ansätze aus Düsseldorf und Utrecht vorgestellt.

Die **Stadt Düsseldorf** betreibt seit 1989 konzeptionell abgestimmte öffentliche und private Grundwassersanierungen v.a. für LHKW- (addierte Länge aller Fahnen rund 47 km), aber auch Chrombelastungen. Auf Grundlage ordnungsbehördlicher Prioritäten werden Grundwassersanierungsmaßnahmen im Einzelfall durchgeführt, vgl. Abbildung 11-2.

Ziel war es, eine Einigung unter Einbeziehung aller Beteiligten herbeizuführen. Wichtige Leitgedanken dabei waren:

- Leistungsfähigkeit und Zumutbarkeit berücksichtigen
- Grenzen der ordnungsbehördlichen Inanspruchnahmen regeln
- Durchführung hydraulischer Sicherungen, Quellen- und Fahnenanierung
- Definition von Sanierungszielen
- Verbindliche Regelung in einem öffentlich-rechtlichen Vertrag mit Sanierungsplan
- Insolvenzen vermeiden.

Abbildung 11-2 zeigt beispielhaft, wie eine relevante LHKW-Verunreinigung sowohl im Schadstoffherd saniert wird als auch in fünf Abschnitten der Fahne. An der Fahnen spitze, in direkter Nähe zu einer Wasserfassung, stellten sich innerhalb weniger Jahre rückläufige Schadstoffkonzentrationen und Abbaueffekte ein. Die Wechselwirkungen der verschiedenen Aktivitäten werden regelmäßig überwacht, ausgewertet, bewertet und das Förderregime bei Bedarf angepasst, z.B. durch Gegenwasserhaltungen während Baumaßnahmen mit Grundwasserabsenkung.

Die **Finanzierung** erfolgt mit Mitteln der Stadt, des Landes Nordrhein-Westfalen, des AAV (Altlastensanierungs- u. Altlastenaufbereitungsverband NRW) und der Pflichtigen.

Auch **Ersatzvornahmen** waren erforderlich. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die gründliche und zuverlässige Ermittlung der **Leistungsfähigkeit** eines Pflichtigen. Für die Ableistung der zumutbaren Inanspruchnahme wurden verschiedene Möglichkeiten umgesetzt [SCHELLARTZ 2004], u.a.:

- Einmalzahlung
- Ratenzahlung
- Abführen von Betriebsgewinnen
- Immobilienübernahmen
- Pfändungen, z.B. Lebensversicherung.

Nach Bundes-Bodenschutzgesetz sind „Altlasten und davon ausgehende Grundwasserverunreinigungen zu sanieren“. Eine eigenständige Fahnenanierung ist jedoch ein wesentlicher Beitrag zur Schadstoffentfrachtung und Beschleunigung des Sanierungserfolgs im Gebietsmaßstab. Sie darf nicht verwechselt werden mit einer „Sanierung im Wasserwerk“. Diese ist ausschließlich kurzzeitig als Sofortmaßnahme im Rahmen der Gefahrenabwehr denkbar.

Einen strategisch gänzlich anderen Sanierungsansatz verfolgt die **Stadt Utrecht** [DE VRIES 2013]. Hier wurden einzelne Schadensbereiche zusammengefasst und eine Sanierungs-idee für ein ganzes Stadtgebiet entwickelt. Bei

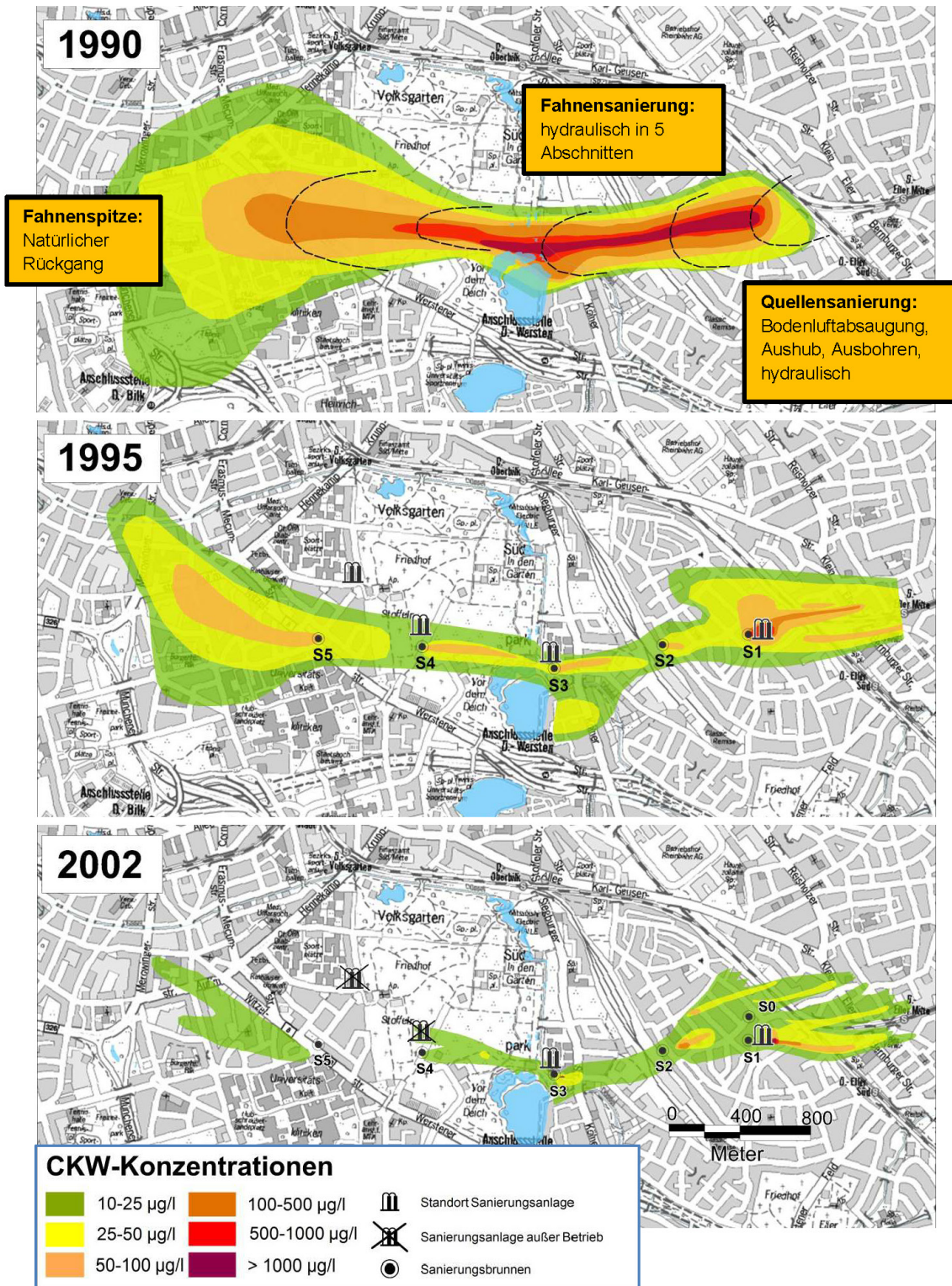


Abbildung 11-2: Entwicklung der Schadstoffsituation eines prioritären Schadens in Düsseldorf [SCHELLARTZ 2004]

dieser Vorgehensweise werden Einzelschäden nicht mehr priorisiert und zielgerichtet saniert, sondern man verlässt den Einzelfall und wirft sprichwörtlich alle Schäden in einen Topf bzw. in einen Reaktionsraum, vgl. Abbil-

dung 11-3. Durch eine Vielzahl geothermischer Nutzungen (ATES-Systeme) innerhalb des Reaktionsraums, die zu einer Erwärmung und Vermischung des Grundwassers führen, werden natürliche Abbauprozesse stimuliert („Bio-

Waschmaschine“). Diese Vorgehensweise ist mit deutschem Recht nicht vereinbar.

11.1 FESTLEGEN VON SANIERUNGSZIELEN

Voraussetzung der integralen Sanierung ist die Definition von Sanierungszielen als verbindliche und rechtssichere Planungsgrundlage.

Qualitative und quantitative Ziele müssen dabei sämtliche Besonderheiten des Einzelfalls und des Betrachtungsgebiets berücksichtigen. Sie müssen grundsätzlich den öffentlich-rechtlichen Sanierungsanforderungen folgen, die von der zuständigen Behörde festgelegt werden. Hiervon kann in begründeten Einzelfällen abgewichen werden, wenn z.B. die Prüfwerte der BBodSchV nicht mit verhältnismäßigen Mitteln erreicht werden können [NUSSER 2013]. In diesen Fällen kommen in Betracht:

- Wirkungsbezogene Ziele (z.B. durch Unterschreiten oder Halten bestimmter Konzentrationen an einer betroffenen Wasserfassung im Abstrom oder Einhalten ökotoxikologischer Zielwerte für Wasserorganismen, die die Gesamtwirkung aller Schadstoffe integrieren)

- Räumliche Ziele (Stagnation oder Trendumkehr der Schadstoffausbreitung)
- Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung (erzielter/erzielbarer Wirkungsgrad, Prognose der zukünftigen Entwicklung)
- Entfrachtung, Reduzierung des Schadstoffpotenzials (z.B. als absolute Jahresmasse oder Prozentsatz des E_{\max} -Werts bzw. vermuteten Schadstoffrestpotenzials).

Auch ein integrales Sanierungsziel (= „Gebietssanierungsziel“ für das gesamte Betrachtungsgebiet oder differenziert für Teilbereiche) kann für den einzelnen Kooperationspartner Rechtssicherheit bieten. Maßgeblich ist die vertragliche Gestaltung. Letztlich entscheidend ist in jedem Fall die öffentlich-rechtliche Sanierungsanforderung der zuständigen Behörde.

11.2 WERKZEUGE DER INTEGRALEN SANIERUNG

In den verschiedenen Stadien einer integralen Sanierung müssen kommunikative, technische und rechtliche Herausforderungen bewältigt werden. Geeignete Hilfsmittel können bei der Abstimmung des Rahmensanierungskonzepts sowie der rechtssicheren Vertragsgestaltung unterstützen.

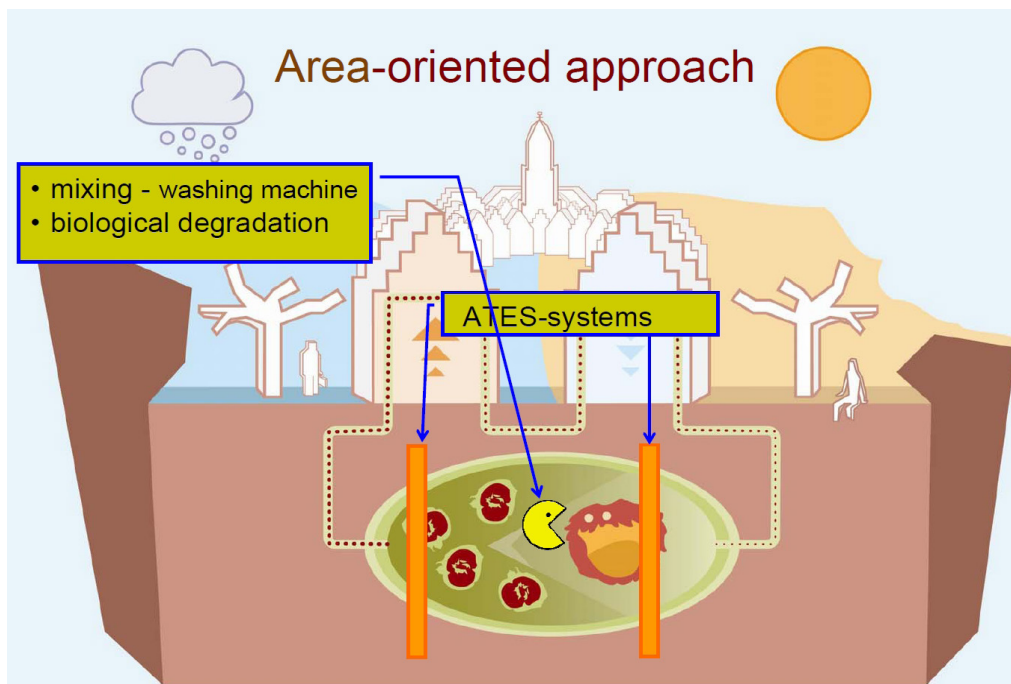


Abbildung 11-3: Prinzip des ATESSystems [DE VRIES 2013]

Vorgestellt wird eine unvollständige Auswahl sowohl innovativer als auch aus der Einzelfallbearbeitung bewährter Instrumente. Sie werden nachfolgend kurz aufgeführt und im Anschluss einzeln näher vorgestellt.

- Grundwasser-Managementplan – innovatives Planungswerkzeug

Der Grundwasser-Managementplan ist ein Ansatz für Kommunen, durch Erarbeiten eines Rahmensanierungskonzepts mit großräumigen und komplexen Grundwasserbelastungen umzugehen und deren Untersuchung und Sanierung weitgehend unabhängig von der Mitwirkungsbereitschaft der Pflichtigen vorzubereiten [KIRCHHOLTES, UFRICHT 2015].

- Megasite Management System – innovatives Kommunikationswerkzeug

Vor allem für die Auswahl des optimalen Sanierungskonzepts, für erste Kostenschätzungen und für die Abstimmung mit vielen Beteiligten, z.B. im Zusammenhang mit Flächenrecyclinginitiativen entwickeltes Planungs- und Visualisierungswerkzeug, das die verschiedenen Sanierungsvarianten schnell vergleichbar macht sowie verständlich darstellt und die Kommunikation auch mit Nicht-Fachleuten vereinfacht.

- Altlastenrisikofonds – innovatives Werkzeug für Finanzierung/Planungssicherheit

Der Fonds kann die Finanzierungsrisiken für integrale Sanierungen abdecken, vergleichbar einer Versicherungspolice. Er kann als Ergänzung zu bewährten Instrumenten wie öffentlich-rechtlichen Verträgen gesehen werden. Fragen der Finanzierung sind i.d.R. nicht Gegenstand solcher Verträge und bedürfen gesonderter (privatrechtlicher) Regelungen.

- Pool-Lösungen – innovatives Werkzeug für privatrechtliche Regelung der Finanzierung

Integrale Sanierungen werden hier durch einen Pool finanziert, in den alle Pflichtigen anteilig einzahlen. In Hessen wurden solche Pools bereits umgesetzt und haben sich bewährt.

Für die rechtssichere Gestaltung von integralen Sanierungen im Zusammenspiel von Behörde und Pflichtigen kann auf bewährte Instrumente zurückgegriffen werden:

- Rahmensanierungsplan – regelt, beschleunigt und vereinfacht behördliche Vorgänge hinsichtlich der technischen Planung für ein Betrachtungsgebiet bzw. durch konkretisierende Sanierungspläne für den Einzelfall
- öffentlich-rechtlicher Vertrag – regelt behördliche Anforderungen und eingegangene Verpflichtungen der Beteiligten – oft ist der Sanierungsplan Bestandteil des Vertrags.

GRUNDWASSER-MANAGEMENTPLAN

Im Rahmen des MAGPlan-Projekts wird ein Grundwasser-Managementplan (GW-MagPlan) aufgestellt, in dem Empfehlungen und Leitlinien für die künftige qualitative Grundwasserbewirtschaftung im Projektgebiet zusammengestellt sind. Auf der Grundlage einer zusammenfassenden Darstellung der Ausgangssituation wird ein Rahmensanierungskonzept zur nachhaltigen Verbesserung der Grundwasserqualität beschrieben. Es wird erläutert, durch welche Sanierungsmaßnahmen in den sanierungsbedürftigen Schadensschwerpunkten die notwendigen Verbesserungen der Grundwasserqualität erzielt werden können. Um die Sanierungsziele abzusichern, wird ein Monitoringprogramm vorgeschlagen.

Je nach lokaler Bedeutung der Maßnahmen kann der GW-MagPlan im Rahmen einer angemessenen Öffentlichkeitsarbeit bekannt gegeben und für seine Umsetzung geworben werden.

Die Inhalte des GW-MagPlans werden aus den Ergebnissen der integralen Untersuchung entwickelt. Der Umfang ist einzelfallspezifisch festzulegen. Beim GW-MagPlan Stuttgart Nesenbachtal sind insbesondere von Bedeutung:

1. Beschreibung des Betrachtungsgebiets, der hydrogeologischen Situation, der Grundwasserströmung und des Grundwasserzustands bzw. der aquiferspezifischen Schadstoffsituation. Die Beschreibung des Ausgangszustands ergibt sich aus der gesamt-schaulichen Auswertung (Kapitel 8). Die komprimierte Zusammenstellung der großräumigen Schadstoffströme unter Berücksichtigung des natürlichen Abbaus erleichtert das Verständnis des Sanierungsrahmenkonzeptes.
2. Beschreibung des Beitrags der Einzelstandorte. Als ein Ergebnis des numerischen Stofftransportmodells (Kapitel 6.2) wird der Beitrag jedes relevanten Einzelstandortes bzw. Schadstoffherdes zum gesamten Schadensbild quantifiziert.
3. Das Rahmensanierungskonzept. Es besteht aus der Sanierungszieldefinition und einer Beschreibung aller Sanierungsmaßnahmen an relevanten Einzelstandorten, ggf. ergänzt durch Sicherungsmaßnahmen in den Schadstoffzonen.
4. Simulation der Sanierungsszenarien. Mithilfe des numerischen Stofftransportmodells wird durch „Ausblendung“ der Schadstoffeinträge von Einzelstandorten ermittelt, wie sich das großräumige Schadensbild bei erfolgreicher Sanierung ändert. Der GW-MagPlan dokumentiert die Ergebnisse möglicher Sanierungsszenarien. Wenn sich eine Schadstoffherdsanierung (Dekontaminierung und/oder Sicherung) im Einzelfall als technisch unverhältnismäßig herausstellt, so müssen die Sanierungsziele entsprechend angepasst werden.
5. Monitoringkonzept zur Kontrolle der Zielerreichung. Ob sich der im Stofftransportmodell berechnete Sanierungserfolg tatsächlich einstellt, muss durch ein geeignetes Netz von GW-Monitoring-Messstellen überprüft werden. Dazu wird ein GW-Monitoring-Programm als unverzichtbarer Teil des GW-MagPlans aufgestellt.
6. Die Beschreibung der Kosten der Sanierungs- und Monitoringmaßnahmen. Um die Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen sicherzustellen, werden die auf die einzelnen Standorte bezogenen Kosten ermittelt und angegeben. Dabei wird insgesamt eine Kostenminimierung analog zur Sanierungsuntersuchung mit dem Ziel eines optimalen Kosten/Nutzen-Verhältnisses angestrebt.
7. Beschreibung von Maßnahmen zur Vorbereitung der Umsetzung. Beschrieben werden geeignete Maßnahmen, z.B. Stellungnahmen der zuständigen Behörde, Verhandlungen mit privaten Sanierungszuständigen und, im Falle öffentlicher Sanierungszuständigkeit, Finanzierungsbeschlüsse der zuständigen Gremien. Als Ziel soll ein möglichst hohes Maß an Verbindlichkeit hergestellt werden, um die Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen abzusichern.

Als Grundlagen für den Grundwasser-Managementplan können im Bodenschutzrecht der Sanierungsplan und im Wasserrecht das Maßnahmenprogramm herangezogen werden. Der Begriff „Managementplan“ wird im deutschen Recht in der FFH-Richtlinie verwendet. Da der grundsätzliche Aufbau des Managementplans mit Zustandsbeschreibung, Entwicklungszielen und Entwicklungsmaßnahmen auch für das Grundwassermanagement geeignet ist, wird der Begriff „Managementplan“ verwendet. Die fachliche Vorgehensweise bei der Erstellung des GW-MagPlans und seine fachlichen Inhalte unterscheiden sich jedoch wesentlich von denen des Managementplans nach FFH-Richtlinie.

MEGASITE MANAGEMENT TOOLSUITE (MMT)

Für die Überplanung von Standorten mit großräumigen oder komplexen Verunreinigungen (sog. Megasites), wurde die Megasite Management Toolsuite (MMT) entwickelt [UFZ 2012]. Es vereinfacht EDV-gestützt die Kommunikation von Behörden, Planern und Investoren und kann mit verhältnismäßig geringem Aufwand auf bestehenden Datenbanksystemen (z.B. aus der integralen Untersuchung) aufbauen. Über die Verschneidung von Karten vorhandener Boden- und Grundwasserverunreinigungen mit nutzungsspezifischen Sanierungszielwertkarten werden Konfliktflächen ermittelt (vgl. Abbildung 11-4).

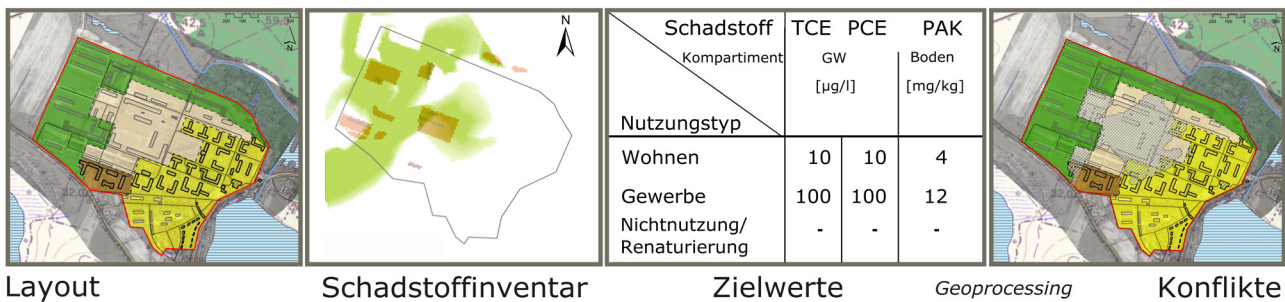


Abbildung 11-4: Bewertungsschema der Megasite Management Toolsuite [UFZ 2012]

Mittels flächenbezogenen Sanierungsstandardkosten und Bodenrichtwerten und entsprechenden Visualisierungsmöglichkeiten ermöglicht das Programm die integrierte Bewertung von Nachnutzungsvarianten („Nutzungs-Layouts“).

Gemeinsam können die Beteiligten so **schrittweise Sanierungskonzepte für die Flächen(neu)nutzung** entwickeln. Die MMT unterstützt insbesondere

- die Entwicklung/Berechnung von Varianten,
- die Machbarkeitsbewertung (wirtschaftlich), sowie
- die Ermittlung der optimalen Variante (effizientester Mitteleinsatz).

Das Tool wurde an ehemaligen Industriestandorten in Deutschland, Polen und Rumänien erfolgreich getestet [z.B. SCHÄDLER et al. 2013].

ALTLASTENRISIKOFONDS – RESTRISIKOABSICHERUNG

Neben technischen Aspekten ist für Pflichtige und weitere Akteure wie Investoren die Plaungs- und Rechtssicherheit v.a. in finanzieller Hinsicht wichtig. Ohne belastbare Kalkulationsgrundlagen und definitiv festgelegte Rahmenbedingungen scheitern Projekte an den nicht absehbaren Restrisiken.

In Nordrhein-Westfalen wurde Anfang 2013 ein Gesetzentwurf zur Änderung des Altlastensanierungs- und Altlastenaufbereitungsverbandsgesetzes (AAVG) eingebracht, u.a. um das Restrisiko bei Altlasten zu regeln:

„Um die Vermarktung sanierter [und zu sanierender] Flächen zu unterstützen, kann der Verband geeignete Maß-

nahmen ergreifen, insbesondere **Bürgschaften oder Garantien** übernehmen oder **Zuschüsse** zu sonstigen Maßnahmen gewähren, soweit er dafür zweckgebundene Rücklagen gebildet hat (Altlastenrisikofonds)“.

Der Risikofonds greift, wenn durch unvorhersehbare Entwicklungen oder Erkenntnisse ein Mehraufwand oder nicht leistbarer Aufwand für den Pflichtigen entsteht. Diesen Mehraufwand bzw. dieses Restrisiko kann der Pflichtige ähnlich einer Versicherungspolice durch den Restrisikoträger absichern. Durch verschiedene bereits jetzt kooperativ betriebene Fonds, Verbände und Entwicklungsgesellschaften unterstützen das Land, die Kommunen und die Wirtschaft in NRW die Revitalisierung und Sanierung von Altlasten- und Brachflächen. Der Altlastenrisikofonds wäre eine Ergänzung dieser Maßnahmen [SONDERMANN 2013].

POOL-LÖSUNGEN

Zur Finanzierung von integralen Sanierungen kommen vor allem bei hydraulischen Maßnahmen Pool-Lösungen in Betracht. Ein Beispiel ist Neu-Isenburg, vgl. Steckbrief als Anlage [GERDES et al. 1998]. Hier bestanden in einem Industriegebiet eine Reihe von LHKW-Schäden, die sich in mehreren, teils sich vereinigenden Fahnen in Richtung einer Trinkwasserfassung verlagerten. Bereits in den 1980er Jahren wurde deshalb eine hydraulische Sicherung über eine Brunnengalerie vor der eigentlichen Wasserfassung eingerichtet. Die Verursacherbeiträge wurden mit einem Grundwassermodell ermittelt. Die Pflichtigen beteiligen sich seither anteilig an der Gesamtmaßnahme, ebenso wie das Land und die Wasserwerke.

Veränderungen der Rahmenbedingungen müssen bei der vertraglichen Regelung berücksichtigt werden, z.B. wenn sich Verursacherbeiträge an der Grundwasserbelastung ändern oder Eigentümerwechsel stattfinden.

Initiatoren von Sanierungspools können auch regionale Verbände oder kommunale Kooperationen (z.B. Grundstücksfonds) sein. Die Wertsteigerung sanierter Grundstücke wirkt sich positiv auf das gesamte Umfeld aus.

Pool-Lösungen sind vor allem dann geeignet, wenn private Finanzmittel zur Sanierung selbst bzw. mitverursachter Schäden eingesetzt werden und durch die Beteiligung eine Verbesserung der Situation auf dem eigenen Grundstück erfolgt.

RAHMEN-/SANIERUNGSPLAN

Bisher kann ein Sanierungsplan nach § 13 BBodSchG von der Behörde gefordert werden, wenn z.B. besonders komplexe Sachverhalte vorliegen. Der Pflichtige kann einen Sanierungsplan aber auch freiwillig vorlegen, um die damit verbundenen Vorteile in der behördlichen Bearbeitung zu nutzen:

- Bündelungswirkung für beteiligte Behörden
- Verfahrensbeschleunigung
- Verbindlicherklärung statt Anordnung
- einvernehmliche, unbürokratische Lösung
- Rechtssicherheit
- Zusammenspiel von Sanierungsplan und rechtlichen sowie planerischen Instrumenten der Stadtplanung
- kooperatives Instrument des Flächenrecyclings
- ggf. Nutzen in der Öffentlichkeitsarbeit.

Als Pflichtiger tritt z.B. ein Investor für die Sanierung ein. Die Behörde kann im Rahmen des integralen Altlastenmanagements als Angebotsplanung einen **Rahmensanierungsplan** erstellen, der durch Einzelfall-Sanierungspläne präzisiert wird. Es ist aber auch ein gemeinsamer Sanierungsplan für das Betrachtungsgebiet mit allen Einzelmaßnahmen möglich.

Abbildung 11-5 zeigt den Rahmensanierungsplan Ravensburg Nord [GRIMSKI, KÖNIG 2010], der Fragen des Bodenmanagements, der Entsorgungsrelevanz und indirekt des Grundwasserschutzes beinhaltet.

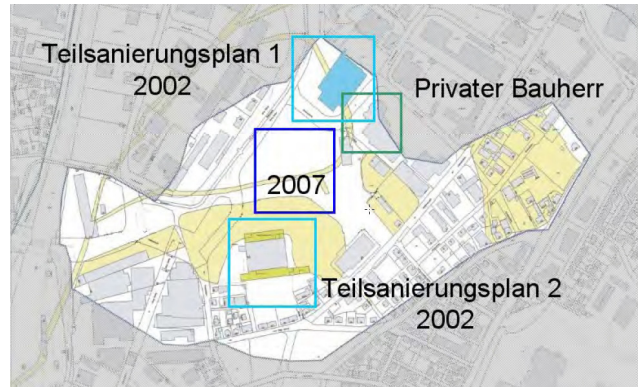


Abbildung 11-5: Geltungsbereiche Rahmensanierungsplan und Teilsanierungspläne in Ravensburg [GRIMSKI, KÖNIG 2010]

Ein weiteres Beispiel ist der Rahmensanierungsplan Offenbach, der neben Bodensanierungen auch Grundwasser-sanierungsmaßnahmen regelt [RÖSER et al. 2011]. Vorausgegangen ist ihm eine integrale Altlastenuntersuchung über sämtliche relevanten Wirkungspfade. Die Datenaufarbeitung umfasste neben Grundwasserdaten auch Informationen zum Boden und zur ungesättigten Zone.

ÖFFENTLICH-RECHTLICHER VERTRAG

Ein öffentlich-rechtlicher Vertrag kann alle Belange von Behörde/n und Pflichtigem/n regeln, die im Zusammenhang mit dem Sanierungsvorhaben stehen. Dies betrifft Art und Umfang notwendiger Maßnahmen sowie Sanierungsziele, Verantwortlichkeiten, Unterwerfungsklauseln usw. In Ausnahmefällen können finanzielle Obergrenzen oder Teil-Sanierungsziele definiert werden, bei deren Erreichen in Abhängigkeit einer erneuten Verhältnismäßigkeitsprüfung weitere Inanspruchnahmen ausgeschlossen werden.

Bei der Verhältnismäßigkeitsprüfung integraler Maßnahmen können weniger relevante Schäden zugunsten besonders relevanter Schäden hingenommen werden. Wenn Pflichtige nachrangiger Schäden sich an Finanzierungspools

beteiligen, entsteht trotz Verbesserung der Gesamtsituation auf dem betreffenden (nicht sanierten) Grundstück u.U. ein Nachteil aus dem nicht gesteigerten Grundstückswert. Dies muss entweder bei der Berechnung des Finanzierungsanteils berücksichtigt oder im öffentlich-rechtlichen Vertrag anderweitig geregelt werden, um entsprechende **Inanspruchnahmerisiken** für den Pflichtigen auszuschließen. **Investitionshemmnisse** müssen darüber hinaus im privatrechtlichen Bereich zusätzlich berücksichtigt werden.

11.3 SCHNITTSTELLEN ZUR STADT- UND BAULEITPLANUNG – FLÄCHENRECYCLING

Städtebauliche Innenentwicklungen auf kontaminierten Flächen erfordern ordnungsrechtlich korrekte Altlastensanierungen. Davon können sowohl die Umweltqualität wie auch der Städtebau profitieren. Eine gute Zusammenarbeit aller Beteiligten ist für beide Seiten vorteilhaft (Win-Win-Situation). Wichtige und notwendige Voraussetzung dabei ist jedoch, dass die Umweltbehörde zum Zeitpunkt der Bauplanung klare Vorstellungen von den zu erreichenden Sanierungszielen hat. Diese Sanierungsziele sind ein Ergebnis der integralen Altlastenuntersuchung. Werden im Verlauf der Planung und Realisierung von Bauprojekten Anpassungen oder Modifizierungen der Altlastensanierungskonzepte erforderlich, so kann die Umweltbehörde auf der Grundlage integraler Altlastenuntersuchungen flexibel reagieren.

Ein Beispiel für dieses „Managen und Sanieren“ ist die Revitalisierung des Hafens in Offenbach [RÖSER et al. 2011]. Die Stadt hat das gesamte Gelände erworben und durch die Mainviertel Offenbach GmbH & Co. KG, eine eigens gegründete Gesellschaft, die Revitalisierung betrieben. Von Anfang an wurden Altlastenuntersuchungen und Planungen für die Sanierung bzw. nachfolgende Neunutzung aufeinander abgestimmt. Ein Rahmensanierungsplan regelte die Sanierung des Grundwassers und des Bodens im Zuge von Bauvorhaben. Investoren haben mittlerweile mit der Vermarktung der neuen Wohnanlagen am Wasser begonnen.

Voraussetzungen von Seiten der Altlastenbehörde, um solche Synergien mit Stadt- und Bauleitplanung zu nutzen, sind:

- abgeschlossene Untersuchung der Ist-Situation
- Kennzeichnung von Altlasten (BAK)
- Vorgabe von Sanierungszielen
- Information und Kommunikation.

Hierzu zählt z.B., dass in **Bebauungspläne** Kennzeichnungen und Hinweise zum Untersuchungsstand und zum Untersuchungs- und Sanierungsbedarf von Altlasten aufgenommen werden. In **baurechtliche Genehmigungen** sind Bedingungen und Auflagen zu integrieren. Stehen **Untersuchungsergebnisse** und **Sanierungsziele** bereits fest, so kann im Fall einer Umnutzung oder eines Entwicklungsprojekts darauf aufgebaut und das entstehende **Zeitfenster für Sanierungsmaßnahmen** genutzt werden [KERTH 2013].

In Abbildung 11-6 ist schematisch dargestellt, wie die verschiedenen Schritte der Altlastensanierung und des Flächenrecyclings ineinandergreifen können [GRIMSKI, KÖNIG 2010].

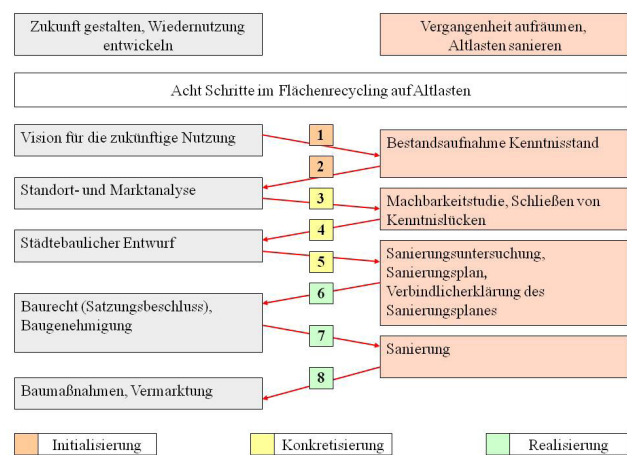


Abbildung 11-6: Flächenrecycling auf Altlasten [GRIMSKI, KÖNIG 2010]

Der optimale Zeitpunkt für eine Sanierung ist gegeben, wenn eine Neubebauung realisiert werden soll. Wenn diese Entwicklungsphasen für die Sanierung genutzt wer-

den können, sind oft auch die Kosten in den Gesamtrahmen integrierbar. Davon unabhängig muss bei Gefahr im Verzug unmittelbar gehandelt werden.

Sanierungsziele für das Grundwasser sind unabhängig von Stadtplanung und Entwicklungsprojekten festzulegen.

Die Stadtplanung braucht Informationen und konkrete Vorgaben, wenn sie Maßnahmen zur Erreichung der Sanierungsziele im Rahmen der Bauleitplanung angemessen berücksichtigen soll. Im Baurecht können konkrete Maßnahmen zum Erreichen der Sanierungsziele vorgegeben werden. Investoren und Eigentümer sind interessiert, Sanierungsverpflichtungen zu regeln bzw. Sanierungen abzuschließen. Zukünftige Nutzer bevorzugen i.d.R. altlastenfreie Flächen, weshalb eine grundsätzliche Bereitschaft zur Kooperation bestehen sollte.

Informationsplattformen, die von allen Beteiligten genutzt werden, unterstützen die Schnittstellenkoordination. Die weiterführende Nutzung und Pflege eines Grundwassermodells sowie der Datenbestände und die Visualisierung des vorhandenen Wissens (vgl. Kapitel 6.2 und 11.2) fördern die Zusammenarbeit.

Abbildung 11-7 veranschaulicht die Vorteile einer kooperativen Strategie, die auch bei zunächst gegensätzlichen Zielen und unlösbar erscheinenden Herausforderungen zu einer für alle Beteiligten sinnvollen Lösung führen kann. Ein kooperatives Vorgehen bedeutet, dass sich die Beteiligten inhaltlich und zeitlich an Eckpunkten der Alt-

lastenuntersuchung und -sanierung orientieren und weitergehende Interessen mit diesen Belangen harmonisiert werden. Die Altlastensanierung wird zum „Trittbrettfahrer“ von Entwicklungsprojekten und muss dafür alle notwendigen Informationen und Untersuchungsergebnisse bereithalten.

Damit kurzfristige Interessen z.B. von Investoren nicht dazu führen, dass mittel- und langfristige Chancen zur Altlastensanierung und Stadtentwicklung ungenutzt bleiben, ist eine nachhaltige und kooperative Herangehensweise aller Beteiligten gefragt.

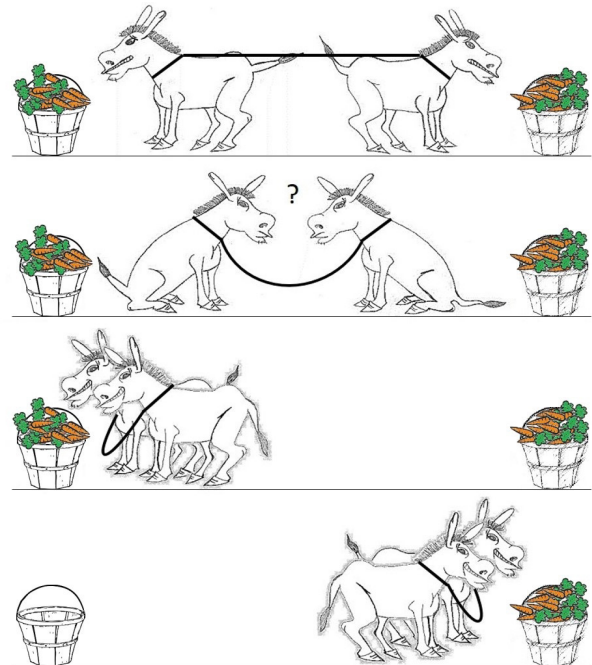


Abbildung 11-7: Vorteile einer kooperativen Strategie

12 Perspektiven und Chancen des integralen Ansatzes

Der integrale Ansatz wird v.a. bei der Grundwasseruntersuchung verfolgt. Rahmensanierungskonzepte und die integrale Priorisierung zeigen Möglichkeiten auf, durch einen effizienten Mitteleinsatz die größtmögliche Verbesserung der Gesamtsituation im Grundwasser zu erreichen. Die grundstücksübergreifende Sanierung bietet vielfältige, auch ökonomisch interessante Möglichkeiten (Synergieeffekte) von der Nutzung von Wechselwirkungen benachbarter Schäden über die Anwendung gemeinsamer effizienterer Sanierungsanlagen bis hin zur optimalen Lage von Sanierungsbrunnen. Die bisher vorliegenden Erfahrungen mit integralen Sanierungen sind positiv. Wesentliche Rahmenbedingungen, die die Perspektiven und Chancen der integralen Sanierung fördern würden, sind nachfolgend zusammengefasst.

Voraussetzung für integrale Sanierungsmaßnahmen ist die Festlegung von Sanierungszielen. Wenn absolute Zielwerte nicht erreicht werden können, eröffnet eine integrale Sanierung auch die Möglichkeit, halbquantitative und/oder qualitative Sanierungsziele zu definieren, z.B. ökotoxikologische Zieldefinitionen. Für das gesamte Betrachtungsgebiet sind „Gebietssanierungsziele“ möglich.

Bei der integralen Sanierung stellt sich die Frage nach der Verhältnismäßigkeit einzelner Maßnahmen in Relation zu anderen Schäden im Betrachtungsgebiet. Bisher wurden Maßnahmen für eine zeitlich gestufte Abarbeitung priorisiert. Es gibt kein Beispiel, wonach zugunsten besonders effizienter Maßnahmen auf andere, grundsätzlich verhältnismäßige Maßnahmen, verzichtet wurde. Im Rahmen einer integralen Sanierung könnten solch effiziente Sanierungskonzepte umgesetzt werden. Als weiterer Aspekt müssen wechselseitige Ansprüche geregelt werden, da die optimale Sanierungsvariante für die Gesamtsituation im Betrachtungsgebiet oft nicht die optimale Variante für einzelne Standorte darstellt.

Im Rahmen von öffentlich-rechtlichen Verträgen können (finanzielle) Ausgleichsmaßnahmen und/oder Inanspruchnahmerisiken geregelt werden. Aktuell gibt es keine Beispiele für Beteiligungen an Maßnahmen auf fremden Grundstücken. Analog zu anderen umweltrelevanten Eingriffs- und Ausgleichsregelungen ist aber auch für integrale Altlastensanierungen eine Art „Ökokonto“ oder „Emissionshandel“ denkbar. Zur Weiterentwicklung von Finanzierungsinstrumenten bei der Altlastensanierung auf großen Arealen sollte versucht werden, das integrale Altlastenmanagement im Zuge der Revitalisierung durch vertragliche Vereinbarungen mit den Investoren zu verankern. Ziel ist es, die monetäre Wertsteigerung nicht sanierungsbedürftiger Grundstücksteile zweckgebunden zur Identifizierung und Sanierung stark verunreinigter Teilflächen zu nutzen.

Benachbarte Grundstücke profitieren von der Sanierung der verunreinigten Parzellen. Dabei können die Instrumente „Rahmensanierungskonzept“ und „Rahmensanierungsplan“ wertvolle Beiträge liefern. Auf diesem Wege könnte zur Stärkung der Innenentwicklung ein Finanzierungsinstrument für das integrale Altlastenmanagement geschaffen werden.

Generelle Voraussetzung ist die Rechtssicherheit für alle Beteiligten. Für Pflichtige ist entscheidend, dass keine weiteren Forderungen mehr erhoben werden, wenn die Beteiligung an einer integralen Sanierung erfolgte. Dies kann die Behörde im Rahmen eines öffentlich-rechtlichen Vertrags nur dann zusichern, wenn entsprechende Voraussetzungen (z.B. vollständige Untersuchung, Erreichen von Sanierungszielen, Umsetzung der im Sanierungsplan festgelegten Maßnahmen, Beteiligung im Rahmen der finanziellen Leistungsfähigkeit) erfüllt sind.

Anhang I: Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Ausgangslage und Ziele der integralen Altlastenuntersuchung	10
Abbildung 3-2:	Stufenprogramm für die Altlastenbearbeitung (Einzelfall) [LUBW 2008]	14
Abbildung 3-3:	Beispiel für eine Organisationsstruktur	17
Abbildung 4-1:	Iterativ-adaptive Vorgehensweise der integralen Untersuchung	21
Abbildung 5-1:	Auffüllmächtigkeiten als Ergebnis einer Höhenverschneidung [EICHELMANN et al. 2014]	23
Abbildung 5-2:	Interpolierte Grundwasserhöhen [HEKEL et al. 2014]	24
Abbildung 5-3:	Messstellen mit Prüfwertüberschreitungen im Grundwasser [HEKEL et al. 2014]	24
Abbildung 5-4:	Beispiel LHKW-Verteilung [Ausschnitt aus UFRICHT, SPITZBERG 2012]	25
Abbildung 6-1:	Bilanz- und Modellgebiet der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg [HEKEL et al. 2014]	26
Abbildung 6-2:	Hydrogeologische Gliederung des Untergrunds [Ausschnitt aus Profilschnitt, ELLWANGER et al. 2000]	27
Abbildung 6-3:	Basis der quartären Bach- und Flussablagerungen [ELLWANGER et al. 2000]	27
Abbildung 6-4:	Perspektivischer Schnitt Nesenbachtal [UFRICHT 2004]	27
Abbildung 6-5:	Verteilung der Durchlässigkeitswerte anhand der Zonierung des Aquifers in Kies- und Schwemmfächerablagerungen [HEKEL et al. 2014]	28
Abbildung 6-6:	Beispiel Schadstoffausbreitung (nach Spitzberg 2013)	30
Abbildung 6-7:	Beispiel für eine Transportsimulation von Schadstofffahnen (MAGPlan-Projekt)	33
Abbildung 6-8:	Darstellungsbeispiel für die Stoffausbreitung eines Schadstoffherds in den Dunkelroten Mergeln mit einer vertikalen Schadstoffverlagerung durch eine Fahne in Google Maps (MAGPlan-Projekt)	35
Abbildung 6-9:	Bereitstellung von Informationen (in Boxen) durch Anklicken des gewünschten Elements in Google Maps (MAGPlan-Projekt)	36
Abbildung 6-10:	Ausbreitung der Schadstofffahne im Verlauf der Zeit (MAGPlan-Projekt)	36
Abbildung 7-1:	Typische Ausgangssituation einer Integralen Altlastenuntersuchung: Dichter gewerblich/ industrieller Besitz aus verschiedenen Epochen, Prüfwertüberschreitungen im Grundwasser, aufgrund der Gemengelage nicht eindeutig einem Schadstoffherd zuzuordnen	38
Abbildung 7-2:	Strategie der Integralen Altlastenuntersuchung: Entlang von Kontrollebenen im Abstrom der Verdachtsflächen werden die Schadstoffimmission im Grundwasser mittels IPV oder Direct-push-Methoden lückenlos erfasst und die ermittelten Schadstofffahnen einem Herd zugeordnet	38
Abbildung 7-3:	Erfassungsbereich und korrespondierende Konzentrationsganglinie eines Immissionspumpversuchs	40
Abbildung 7-4:	Häufigkeit der Pumpraten von 104 IPV aus neun Projekten	40
Abbildung 7-5:	Isochronen und Stromstreifenkonzentrationen der analytischen Auswertung von IPV [HEKEL et al. 2014]	42
Abbildung 7-6:	DP-Messstellen mit verschiedenen Anordnungen der Filterstrecke	47
Abbildung 7-7:	DP-Grundwassersondierung mit geschütztem Filterelement	47
Abbildung 7-8:	Typische Abfolge von Direct-push-Messungen zur Identifizierung des Aquifers und Erfassung von Schadstoffimmission, Durchlässigkeit und Fracht entlang einer Kontrollebene [HEKEL et al. 2014]	48
Abbildung 7-9:	Schemaskizze zum Einsatz von Low-Flow-Doppelventilpumpen zur horizontalen Grundwasserbeprobung [HALLA 2013]	50

Abbildung 7-10:	Ergebnisse einer tiefenhorizontierten LHKW-Beprobung mit dem Multilevelpumpen/ Thermo-Flowmeter-Verfahren	50
Abbildung 7-11:	Prinzip der Isotopenfraktionierung	51
Abbildung 8-1:	Interpretation von Schadstofffahnen auf Grundlage der Konzentrationsverteilungen entlang von Kontrollebenen [HEKEL et al. 2014]	55
Abbildung 8-2:	Berechnung von Schadstofffahnen mittels Transportmodell [Hekel et al. 2014]	56
Abbildung 8-3:	Synoptische Betrachtung forensischer Ergebnisse [LHS 2006]	57
Abbildung 10-1:	Priorisierung unter Berücksichtigung der Fahnenlänge [LHS 2009]	61
Abbildung 10-2:	Sanierungsprioritäten im konzeptionellen Sanierungsmodell Stuttgart-Feuerbach [KIRCHHOLTES et al. 2012]	62
Abbildung 10-3:	Priorisierungsmerkmale Wirkungspfad Boden-Grundwasser [LUBW 2012a]	63
Abbildung 11-1:	Interessensgruppen und Zielsetzung der integralen Sanierung	64
Abbildung 11-2:	Entwicklung der Schadstoffsituation eines prioritären Schadens in Düsseldorf [SCHELLARTZ 2004]	66
Abbildung 11-3:	Prinzip des ATES-Systems [DE VRIES 2013]	67
Abbildung 11-4:	Bewertungsschema der Megasite Management Toolsuite [UFZ 2012]	70
Abbildung 11-5:	Geltungsbereiche Rahmensanierungsplan und Teilsanierungspläne in Ravensburg [GRIMSKI, KÖNIG 2010]	71
Abbildung 11-6:	Flächenrecycling auf Altlasten [GRIMSKI, KÖNIG 2010]	72
Abbildung 11-7:	Vorteile einer kooperativen Strategie	73

Anhang II: Tabellenverzeichnis

Tabelle 7-1:	Auswahlkriterien der IPV- und Direct-push-Methodik. Grün unterlegt sind Vorteile des jeweiligen Verfahrens, rot unterlegt sind Nachteile bzw. Einschränkungen	39
Tabelle 7-2:	Anwendungsbedingungen für Immissionspumpversuche	41
Tabelle 7-3:	Anwendungsbedingungen von Tools zur IPV-Planung und Auswertung [nach PTAK et al. 2013, erweitert]	44
Tabelle 7-4:	Anwendungsmöglichkeiten forensischer Methoden [ERTEL et al. 2009]	53
Tabelle 8-1:	Identifizierungsmatrix in Feuerbach [KIRCHHOLTES et al. 2012]	58

Anhang III: Quellen- und Literaturverzeichnis

AEPPLI, C., H. I. F. AMARAL, C. WERMEILLE, C. WENGER, R. KIPFER & M. BERG (2011a): Beurteilung des Abbauverhaltens von CKWs an Altlastenstandorten mittels Einzelstoff – Isotopenanalyse (CSIA) und Grundwasserdatierung Teil 1: Grundlage. *altlasten spektrum* 4/2011, S. 105-110.

AEPPLI, C., H. I. F. AMARAL, C. WERMEILLE, C. WENGER, R. KIPFER & M. BERG (2011b): Beurteilung des Abbauverhaltens von CKWs an Altlastenstandorten mittels Einzelstoff – Isotopenanalyse (CSIA) und Grundwasserdatierung Teil 2: Fallstudien. *altlasten spektrum* 4/2011, S. 161-171.

BAYER-RAICH, M., J. JARSJÖ, T. HOLDER & T. PTAK (2003): Numerical estimations of contaminant concentration and mass flow in aquifers from time dependent pumping wells. *Model Care 2002: A Few Steps Closer to Reality*. IAHS Publication No. 277. S. 10-16.

BAYER-RAICH, M. (2004): Integral pumping tests for the characterization of groundwater contamination. Ph. D. Thesis, University of Tübingen, Center for Applied Geoscience, Germany. Tübingen. 112 S.

BOPP, S., H. WEIß, M. SCHIRMER, P. GRATHWOHL & K. SCHIRMER (2004): Passive Probennahme in Grund- und Oberflächenwasser – Ein Überblick. *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie* 2/2004, S. 109-118.

CARLE, A., A. SCHÖNIGER, U. SCHOLLENBERGER & W. UFRICHT (2013): Konzeptionelle Modelle für Altstandorte („Steckbriefe“) als Bestandteil der räumlich integralen Grundwasseruntersuchung. *altlasten spektrum* 5/2013. S. 181-188.

DE VRIES, A. (2013): Case study: Area-oriented approach & the urban development in Station area of Utrecht. http://www.citychlor.eu/sites/default/files/20130517_02_albert_de_vries_the_area-oriented_approach_in_the_utrecht_station_area.pdf, 30.06.2014

DORGERLOH, U., H. THEIßEN, R. BECKER, A. WEHRHAN & T. WIN (2009): „Ableitung validierter Probenahme- und Analysenmethoden für Zwischen- und Endprodukte der anaeroben Stoffverwertungsprozesse von Leichtflüchtigen Chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW) im Grundwasser im Rahmen von Altlastenuntersuchungen“ des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“ (LFP Projekt-Nr. B2.08) Abschlussbericht 30.08.2009. Berlin. 78 S.

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (2004): Technische Regel Arbeitsblatt W 107 Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten. Bonn. 20 S. zzgl. Anhang.

EICHELMANN, C., U. HEKEL & A. BENDER (2014): Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg – Daten-Atlas: digitale, browsergestützte Zusammenstellung der gesamtschaulichen Projektergebnisse. Stadt Ravensburg.

ELLWANGER, D., M. HEIß, R. WEINSZIEHR & G. WIRSING (2000): Geologisch-hydrogeologische Gliederung des Untergrunds im Stadtbereich Ravensburg. – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium, Freiburg (<http://www.lgwb-bw.de>), genehmigt unter Az. 2851.3//14-7007. 20 S.

ERTEL, T. & U. SCHOLLENBERGER, Eds. (2008): Handbook for Integral Groundwater Investigation. MAGIC – Management of Groundwater at Industrially Contaminated Sites. - Polish Geological Institute, Warsaw. 58 S.

ERTEL, T., H. DÖRR, M. BLESSING, H. HANSEL, R. PHILIPPS, M. REBEL & T. SCHÖNDORF (2009): Forensische Verfahren in der Altlastenbearbeitung. Altlastenforum Baden-Württemberg e.V., Schriftenreihe, Heft 14. 40 S.

ERTL, S., M. HEIDINGER, K. SAKAGUCHI-SÖDER, A. THIEM, K. SCHMIDT, I. KRANZIOCH & F. EICHINGER (2014): Neue Isotopenmethoden Chlor-, Kohlenstoff- und Wasserstoff-Isotopie bei der Bearbeitung von CKW-Schäden. TerraTech 1/2014. S. 12 – 16.

FH-DGG Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft (2002a): Das Hydrogeologische Modell als Basis für die Bewertung von Monitored Natural Attenuation bei der Altlastenbearbeitung - Ein Leitfaden für Auftraggeber, Ingenieurbüros und Fachbehörden. Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 23. Hannover. 29 S.

FH-DGG (2002b): Hydrogeologische Modelle - Ein Leitfaden mit Fallbeispielen. Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 24. Hannover. 120 S.

GERDES, H., S. DASCALESCU & D. LEINWEBER (1998): Grundwasserschadensfälle in Neu-Isenburg Zuordnung von Schadensanteilen. Darmstadt. 33 S.

GRIMSKI, D. & M. KÖNIG (2010): Sanierungspläne im Flächenrecycling, Ein Instrument für die Bauleitplanung. Dessau & Freiburg. 35 S.

HALLA, P. (2013): Anwendungsbericht Umweltengineering Thermo-Flowmeter Messung vertikaler Grundwasserströme, Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH & Co. KG Firmenprospekt. Tübingen. 6 S.

HEKEL, U. (2012): Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg - Vergleichsstudie „Aufwand-/Qualitätsverhältnis von Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche“. Ravensburg. 54 S. zzgl. Anhang.

HEKEL, U., C. EICHELMANN & P. SONNTAG (2014): Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg - Strategie und Methoden einer integralen Untersuchung flacher Porengrundwasserleiter im urbanen Raum. Ravensburg. 154 S.

HOLM, O. & W. ROTARD (2011): Effect of Radial Directional Dependences and Rainwater Influence on CVOC Concentrations in Tree Core and Birch Sap Samples Taken for Phytoscreening Using HS-SPME-GC/MS. American Chemical Society (ACS) Publications, Environmental Science & Technology, Band 45, S. 9604-9610.

HUSS, A. (2012): Immissionspumpversuche mit gegenseitiger Beeinflussung – Anforderungen und Chancen. Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement (HdA). Hrsg.: FRANZIUS, V., M. ALTENBOCKUM & T. GERHOLD. Müller-Verlag. Heidelberg. 67. Ergänzungslieferung.

KERTH, M. (2013): Nachhaltige Sanierung von Teerölaltlasten – ohne (teilweise) Dekontamination möglich? altlastenspektrum 6/2013, S. 231-237.

KINZELBACH, W. & R. RAUSCH (1995): Grundwassermodellierung - Eine Einführung mit Übungen. Bornträger, Stuttgart, Berlin. 283 S.

KIRCHHOLTES, H. J., P. VON SCHNAKENBURG, T. ERTEL, U. SCHOLLENBERGER, S. SPITZBERG & W. SCHÄFFER (2012): FOKS – Focus on Key Sources Abschluss der Integralen Grundwasseruntersuchung Stuttgart-Feuerbach Störerauswahl und Einbindung der Einzelfallbearbeitung in eine übergeordnete Sanierungsstrategie für den ganzen Stadtteil. *altlasten spektrum* 3/2012, S. 101-109.

KIRCHHOLTES, H. J., W. UFRECHT, (Hrsg.) (2015): Chlorierte Kohlenwasserstoffe im Grundwasser – Ein Managementplan für Stuttgart. Springer Vieweg, Wiesbaden. 250 S., in Vorbereitung.

KUNZE, T. & M. SCHÜNKE (2014): Integrale Altlastenuntersuchung Albstadt-Ebingen Abschlussbericht. Albstadt. 232 S. zzgl. Anhang.

KUMMAR YADAV, P., F. HÄNDEL, C. MÜLLER, R. LIEDL & P. DIETRICH (2013): NAFLA – Ein Simulationswerkzeug zur analytischen Abschätzung von Schadstofffahnenlängen. *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*, Ausgabe 18/2013. S. 47-53

LABO Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2009): Berücksichtigung der natürlichen Schadstoffminderung bei der Altlastenbearbeitung Positionspapier. Saarbrücken. 57 S.

LEVEN, C., H. WEIß, H.-P. KOSCHITZKY, P. BLUM, T. PTAK & P. DIETRICH (2010): Direct-Push-Verfahren. *Altlastenforum Baden-Württemberg e.V., Schriftenreihe, Heft 15*. Stuttgart. 36 S.

LfU Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1994): Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E3-4). Karlsruhe. 59 S.

LHS Landeshauptstadt Stuttgart (1999): Integrale Altlastenerkundung im Neckartal Stuttgart. *Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, Heft 4/1999*. Stuttgart. 192 S.

LHS (2003): INCORE - Integriertes Konzept zur Grundwassersanierung Abschlussbericht. Stuttgart. 28 S.

LHS (2006): Schadstofftransfer im System Keuper – Muschelkalk in der Stuttgarter Innenstadt – Hydrogeologie des Stuttgarter Mineralwassersystems. *Schriftreihe des Amtes für Umweltschutz, Heft 3/2006*. Stuttgart. 152 S.

LHS (2009): Integrale Grundwasseruntersuchung in Stuttgart-Feuerbach. *Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, Heft 4/2009*. Stuttgart. 169 S.

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2008): Untersuchungsstrategie Grundwasser Leitfaden zur Untersuchung bei belasteten Standorten. *Altlasten und Grundwasserschadensfälle* 42. Karlsruhe. 59 S.

LUBW (2011): Arbeitshilfe zum Umgang mit großflächig erhöhten Schadstoffgehalten im Boden. Karlsruhe. 76 S.

LUBW (2012a): Altlastenbewertung. Karlsruhe. 115 S.

LUBW (2012b): Ermittlung fachtechnischer Grundlagen zur Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung von langlaufenden Pump-and-Treat-Maßnahmen. Karlsruhe. 78 S.

LUGV Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (2010): Qualitätssicherungsmaßnahmen bei innovativen direkten/indirekten Probennahmeverfahren Anhang 4 Typenblätter. Fachinformation des LUGV Brandenburg, Nr. 18. Potsdam. 181 S.

NUSSER, J. (2013): Rechtsprechungsreport – Altlastenmanagement (3. VGH Mannheim, Urt. vom 08.03.2013 – 10 S 1190/09 – Zur Rechtmäßigkeit von Sanierungszielwerten und der Verhältnismäßigkeit der finanziellen Inanspruchnahme des Zustandsstörers bei Teilsanierungen). *altlasten spektrum* 5/2013, S. 214-216.

PTAK, T., H. J. KIRCHHOLTES, T. ERTEL, E. HIESL, H.-P. BEER, T. HOLDER, P. ROTHSCHINK, U. HEKEL, H.-P. KOSCHITZKY & M. HEROLD (2013): Grundwasserabstromerkundung mittels Immissionspumpversuchen. Stand der Technik, Planung, Implementierung, Anwendungsstrategien. - Schriftenreihe *altlastenforum Baden-Württemberg e.V.*, Heft 16. Stuttgart. 48 S.

PLÜMACHER, J. & W. UFRECHT (2000): Erkundung der regionalen Grundwasserströmung im Muschelkalk Mittelwürttembergs mit stabilen Umweltisotopen. *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*, Band 1, S. 3-8.

RAUSCH, R., W. SCHÄFER & C. WAGNER (2002): Einführung in die Transportmodellierung im Grundwasser. Bornträger, Stuttgart, Berlin. 183 S.

RÖSER, R., V. BUGGLE, V. SCHRENK & D. MATHA (2011): Leben am Main – das neue Hafenquartier in Offenbach. *altlasten spektrum* 6/2011, S. 257-263.

ROTHSCHINK, P. (2007): IPV-Tool, Programmbeschreibung. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/47957/>). Karlsruhe. 14 S.

SCHÄDLER, S., M. MAIER, M. MORIO, S. BARTKE, A. BLEICHER, A. BIELKE, S. GRABS, M. FREYGANG & M. FINKEL (2013): Planung und vergleichende Bewertung von Nutzungsoptionen auf Brachflächen mit der Megasite Management Toolsuite (MMT). *altlasten spektrum* 4/2013, S. 145-153.

SCHELLARTZ, G. (2004): Vortrag „20 Jahre Grundwassersanierung – weiter so?“, Juni 2004.

SCHÖNDORF, T., G. KOBBERGER & K. TÜRK (2010): Phytoscreening und Dendrochemische Forensik. *Altlastenforum Info* 1/2010, S. 24-26.

SONDERMANN, W. D. (2013): Brachflächenrecycling und Altlastenrisikofonds – Diskussionsbeitrag zur Restrisikoabsicherung in Nordrhein-Westfalen. *altlasten spektrum* 2/2013, S. 52-59.

- TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN (2008): KORA – LEITFADEN natürliche Schadstoffminderung bei Teer-ölasten. KORA-Themenverband 2, Gaswerke, Kokereien, Teerverarbeitung, (Holz-)Imprägnierung. Dresden. 244 S.
- TEUTSCH, G., T. PTAK, R. SCHWARZ & T. HOLDER (2000): Ein neues integrales Verfahren zur Quantifizierung der Grundwasserimmission, Teil I: Beschreibung der Grundlagen. Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, Band 5, Heft 4, S.170-175.
- THIEKEN, A. H. (2001): Schadstoffmuster in der regionalen Grundwasserkontamination der mitteldeutschen Industrie- und Bergbauregion Bitterfeld-Wolfen. Halle (Saale). 154 S. zzgl. Anhang.
- UFRECHT, W. (2004): Das Stuttgarter Mineralwasser – Herkunft und Entstehung. - Broschüre Kur- und Bäderbetriebe Stuttgart. Stuttgart. 32 S.
- UFRECHT, W. & S. SPITZBERG (2012): MAGPlan – Abschlussbericht WP2 (<http://www.magplan-life.eu>). Stuttgart. 26 S. zzgl. Anhang.
- UFZ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (1997): Sanierungsforschung in regional kontaminierten Aquiferen (SAFIRA) Bericht zur Machbarkeitsstudie für den Modellstandort Bitterfeld. UFZ-Bericht 27/1997. Leipzig. 205 S. zzgl. Anhang.
- UFZ (2012): Die Megasite Management Toolsuite (<http://www.ufz.de/mmt-guideline-de/>). Leipzig. 29 S.
- VETTER, A. (2002): Rechtsgutachten Juristische Fragen der Integralen Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg. Stuttgart. 198 S.
- WIEGERT, C., C. AEPPLI, T. KNOWLES, H. HOLMSTRAND, R. EVERSLED, R. D. PANCOST, J. MACHÁCKOVA & Ö. GUSTAFSSON (2012): Dual Carbon-Chlorine Stable Isotope Investigation of Sources and Fate of Chlorinated Ethenes in Contaminated Groundwater. American Chemical Society (ACS) Publications, Environmental Science & Technology, Band 46, S. 10918-10925.
- WITT, K. J. (Hrsg.) (2009): Grundbau-Taschenbuch Teil 2: Geotechnische Verfahren. Berlin. 939 S.

Anhang IV: Abkürzungsverzeichnis

A	Abstrom
Abs.	Absatz
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ATES	Aquifer Thermal Energy Storage
BAK	Bodenschutz- und Altlastenkataster
BauGB	Baugesetzbuch
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung
BG	Bestimmungsgrenze
BN	Beweisniveau
BTEX	aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX-Aromaten)
cDCE	Cis-1.2-Dichlorethen
c	Konzentration
C	Kohlenstoff
cA	Konzentration im Abstrom
CKW	Chlorkohlenwasserstoffe
Cl	Chlor
cOdB	Konzentration am Ort der Beurteilung
CPT	Cone Penetration Test
CSIA	Compound Specific Isotope Analysis
D	Dimension
DCE	Dichlorethen
DELCD	Dry Electrolytic Conductivity Detector
DNAPL	Dense Non-Aqueous Phase Liquid
DP	Direct-push
DU	Detailuntersuchung
E	Emission
EA	Emission im Abstrom
EC	Electrical Conductivity
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
E _{max}	maximale Emission
EOdB	Emission am Ort der Beurteilung
ET	Endtiefe
EU	Europäische Union
EZG	Einzugsgebiet
F11	Freon 11, Trichlorfluormethan
F12	Freon 12, Dichlordifluormethan
F113	Freon 113, 1,1,2-Trichlor-1,2,2-trifluorethan
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FFH	Fauna-Flora-Habitat
fmol	Femt mol, 1.0E-15 mol

FrAl	Förderrichtlinien Altlasten
gg	Flussschotter und -kiese
GIS	Geoinformations-System
GW	Grundwasser
GWM	Grundwassermessstelle
GW-MagPlan	Grundwasser-Managementplan
GWS	Grundwassersondierung
H	Wasserstoff
2H	Deuterium
HB	Handlungsbedarf
HDPE	Polyethylen mit hoher Dichte
HGM	Hydrogeologisches Modell
HISTE	historische Erhebung
hm	Altwassersedimente
HU	historische Untersuchung
I	Immission
IGWM	Integrale GWM
IPV	Immissionspumpversuch
KE	Kontrollebene
kf-Wert	Durchlässigkeitsbeiwert
KORA	Kontrollierter natürlicher Rückhalt und Abbau [...] (BMBF Förderschwerpunkt)
KW (GC)	Kohlenwasserstoffe (Gaschromatograph)
LBodSchAG	Landes-Bodenschutz- und Altlastengesetz
LHKW	Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe
LIF	Laser Induced Fluorescence
LNAPL	Light Non-Aqueous Phase Liquid
m ü. NN	Meter über Normalnull
MGH	Mittlerer Gipschizont
MIP	Membrane Interface Probe
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MNA	Monitored Natural Attenuation
MTBE	Methyl-Tertiär-Butylether
NA	Natural Attenuation
NO	Nordost
NRW	Nordrhein-Westfalen
NW	Nordwest
O	Sauerstoff
OdB	Ort der Beurteilung
OU	orientierende Untersuchung
Q	Pumprate
qht	Moorbildungen
qum	Umlagerungssedimente
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PCB	polychlorierte Biphenyle
PCE	Tetrachlorethen
pmol	Picomol, 1.0E-12 mol
PW/P _w	Prüfwert
REV	repräsentatives Elementarvolumen
SBV	schädliche Bodenveränderung
SF ₆	Schwefelhexafluorid
ss	Flusssande
SU	Sanierungsuntersuchung
SW	Südwest
T-Wert	Transmissivitätswert
TCA	Trichlorethan
TCE	Trichlorethen
T-DCE	Trans-1,2-Dichlorethen
VC	Vinylchlorid
VOF	Vergabeordnung für freiberufliche Leistungen
WIBAS	Informationssystem Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz

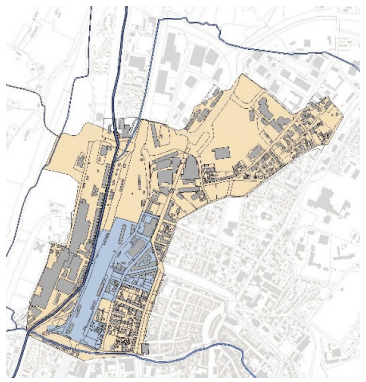
Anlage 1: Projektsteckbrief Neckartal/INCORE

<p>Projekt</p> <p>Neckartal (1996 – 2001) (Landeshauptstadt Stuttgart Amt für Umweltschutz)</p> <p>INCORE (2000 – 2003) (Landeshauptstadt Stuttgart Amt für Umweltschutz)</p> <p>[LHS 1999] http://www.stuttgart.de/item/show/9467/1/publ/19067 http://www.stuttgart.de/item/show/9467/1/publ/3258</p>		
Lage/Umfeld/ Bebauung	Stuttgarter Neckartal, östlich des Stadtzentrums Verkehrsfläche (33%); Gewerbe, Industrie/Lagerflächen (29%); Erholung (12%)	
Gesamtfläche	5,2 km ²	
Nutzungshistorie	1845 Eisenbahnstrecke zwischen Untertürkheim und Cannstatt, um 1870 begann die industrielle Nutzung ab 1921 wurde der Neckar hochwassersicher ausgebaut und damit wurden angrenzende Flächen industriell nutzbar	
Einzelschäden Projekt Neckartal	160 kontaminierte und kontaminationsverdächtige Flächen 129 Altstandorte, 51 Flächen in Gemengelage, 15 Altablagerungen	
Einzelschäden Projekt INCORE	189 Kontaminationsverdachtsflächen Altablagerungen (kommunal): unkontrollierte Auffüllungen ehemaliger Kiesgruben und alter Neckararme Altstandorte (privat): ehemalige Industrieflächen, unterschiedliche Branchen, breites Schadstoffspektrum	
Geologie	1-5 m Auffüllung, 0,5-5 m Auelehm, darunter quartäre Kiese und Sande, unterlagert von Gipskeuper als Basis des quartären Aquifers)	
Hydrogeologie	oberster Grundwasserleiter nicht zur Trinkwasserversorgung genutzt Projektgebiet im Quellenschutzgebiet für das Mineralwasservorkommen	
Schadstoffe	MKW (vor allem), PAK inkl. Naphthalin, BTEX inkl. Benzol, CKW und Ammonium	
Untersuchungskonzept Projekt Neckartal	<ul style="list-style-type: none"> ■ Datenerfassung Grundwasseranalytik, Vor-Ort-Analysen, Markierungsversuche ■ Aufbau des Standortmodells 2-dimensionales numerisches Strömungs- und Transportmodell ■ Integrale Untersuchung an sieben Kontrollquerschnitten und Auswertung der Ergebnisse Auswertung von IPV mit numerischem, instationärem Inversionsalgorithmus sowie analytischer Lösung ■ Eingrenzung potenzieller Schadstoffquellen 	
Untersuchungskonzept Projekt INCORE	<ul style="list-style-type: none"> ■ Datenaufbereitung ■ 5 Standorte mittels neuartiger Vor-Ort-Analysen untersucht ■ Numerisches Grundwassermodell fortgeschrieben ■ 70.000 Datensätze mittels GIS verwaltet und bearbeitet ■ Integrale Grundwasseruntersuchung und Auswertung, Ergebnisse von IPV wurden mit entwickeltem instationärem Inversionsalgorithmus ausgewertet ■ Lokalisierung und Identifikation der Schadstoffherde, tlw. durch Isotopenanalysen unterstützt ■ Neues Verfahren zur integralen Gefährdungsabschätzung, Berechnung der schadstoffbezogenen Risikokonzentrationen für die Schutzgüter Grundwasser, Boden und Mensch unter Einbeziehung von Abbauprodukten, Metaboliten und Additiven ■ Natürliche Abbauvorgänge von CKW wurden untersucht ■ Weiterentwicklung administrativer Konzepte zur Sanierungsplanung 	


Anlage 2: Projektsteckbrief MAGIC/FOKS

<p>Projekt</p> <p>MAGIC (2005 – 2008) (Landeshauptstadt Stuttgart Amt für Umweltschutz)</p> <p>FOKS (2008 – 2011) (Landeshauptstadt Stuttgart Amt für Umweltschutz)</p> <p>http://www.magic-cadses.com/ http://projectfoks.zuova.cz/home/introduction/</p>		
Lage/Umfeld/ Bebauung	im Norden Stuttgarts (oberirdisches Einzugsgebiet des Feuersbachs)	
Gesamtfläche	ca. 5,3 km ²	
Nutzungshistorie	lange und intensive industrielle Nutzung	
Einzel Schäden	204 CKW-Verdachtsflächen	
Geologie	schichtig gegliederter Kluftgrundwasserleiter im Gipskeuper, wird von Unterkeuper und Muschelkalk unterlagert, am Hangfuss und in der Talniederung sind die Festgesteine mit Quartärsedimenten bedeckt, oberflächennah künstliche Auffüllung	
Hydrogeologie	fünf Grundwasserleiter: ein quartärer Grundwasserleiter und vier Kluftgrundwasserleiter Grundwasserfließrichtung kann lokal und in Abhängigkeit saisonaler Schwankungen um mehr als 90° variieren	
Schadstoffe	CKW	
Untersuchungskonzept Projekt MAGIC	<ul style="list-style-type: none"> ■ Untersuchung der LCKW-Kontamination mit IPV in Kontrollebenen kombiniert mit Einzelmessungen ■ Aufbau und Kalibrierung eines dreidimensionalen numerischen Strömungs- und Transportmodells ■ Integrale Grundwasseruntersuchung und Auswertung, Ergebnisse der IPV wurden mit MAGIC Software Tool, IPV-Tool, der vereinfachten analytischen Lösung (ROTHSCHINK 2007) und CSTREAM (analytisch-numerische Lösung) ausgewertet 	
Untersuchungskonzept Projekt FOKS	<ul style="list-style-type: none"> ■ Isotopenanalytik, Untersuchung von Redoxbedingungen, Spurenstoffanalytik mit FCKW und SF₆, Verteilungsmuster der CKW-Einzelstoffe, IPV und Frachtberechnung ■ Weiterentwicklung des numerischen Transportmodells, MODFLOW (Strömung), MT3DMS (Transport) ■ Rückverfolgung, Beschreibung von Quelle-Pfad-Rezeptor-Beziehungen ■ Identifizierung relevanter Schadstoffherde 	
Sanierungskonzept Projekt FOKS	<ul style="list-style-type: none"> ■ Quantifizierung der Wirksamkeit natürlicher Schadstoffminderungsprozesse im Untersuchungsraum ■ Quantifizierung der Emissionen von Schadstoffquellen im Hinblick auf unterschiedliche Rezeptoren und Gefährdungsabschätzung ■ Festlegen von Sanierungsprioritäten in einem konzeptionellen Sanierungsmodell 	

Anlage 3: Projektsteckbrief Ravensburg

<p>Projekt</p> <p>Ravensburg (2003-2013) (Stadt Ravensburg)</p> <p>http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/110846/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=161&OBJECT=110846&MODE=METADATA</p>	
<p>Lage/Umfeld/ Bebauung</p>	<p>Projektgebiet westlich der Ravensburger Altstadt</p>
<p>Gesamtfläche</p>	<p>0,95 km²</p>
<p>Nutzungshistorie</p>	<p>Industrielle und gewerbliche Tätigkeiten/Nutzungen wie Maschinenbau, Metallverarbeitung, chemische Industrie, Gaswerk, Tankstellen, Tanklager, Chemikalienlager, Kesselwagenreinigung, chemische Reinigungen usw.</p>
<p>Einzelschäden</p>	<p>25 Gefahrverdachtsflächen (7 Altablagerungen, 16 Altstandorte, 2 Unfälle/Störfälle)</p>
<p>Geologie</p>	<p>Alpenvorland, Molassebecken, glazialüberformter Tertiär – Untergrund, sehr variable Quartär – Überdeckung: jungpleistozäne Beckenlandschaft des Rheingletschers nördlich des Bodensees</p>
<p>Hydrogeologie</p>	<p>Grundwasserleiter wird durch fluviatilen Kies (Schussenkies) gebildet, Mächtigkeit von 2 bis ca. 10 m, Fließrichtung des Grundwassers erfolgt von den Talhängen zur Schussen auf der westlichen Talseite</p>
<p>Schadstoffe</p>	<p>LHKW, PAK, BTEX, MKW, Phenol, Cyanid, Schwermetalle</p>
<p>Untersuchungskonzept</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Datensammlung und Visualisierung im Betrachtungsraum, Erhebung und Auswertung von Bestandsdaten mittels Datenbanksystemen ■ Identifizierung und Abgrenzung von Ablagerungsbereichen mittels Höhenverschneidung ■ Ermittlung von Strömungs- und Transportparametern ■ Integrale Grundwasseruntersuchung mittels Kontrollebenen und 51 Immissionspumpversuchen (IPV) ■ IPV wurden mit Inversionsrechnung, CStream (analytische und numerische Inversionen), C-SET sowie numerischem Transportmodell ausgewertet; Vergleichende Kosten/Wirksamkeitsbetrachtung von IPV-Auswerteverfahren ■ Vergleichsstudie IPV - Direct-push ■ Quellzuordnung der Fahnen mit numerischem Grundwasserströmungs- und Transportmodell ■ Gefährdungsabschätzung und Bewertung/Priorisierung

Anlage 4: Projektsteckbrief Laupheim

<p>Projekt</p> <p>Orientierende Gesamtschauische Erkundung Innenstadtgebiet Laupheim (2005 – 2007)</p>		
Lage/Umfeld/ Bebauung	Stadtgebiet von Laupheim	
Gesamtfläche	2,1 km ²	
Nutzungshistorie	langjährige industriell-gewerbliche Nutzung	
Einzel Schäden	28 Altlastenverdachtsflächen, davon 5 Altablagerungen	
Geologie	glazial überprägtes Gebiet der randalpinen Becken- und Seenlandschaft, im Stadtbereich anthropogene Aufschüttung, darunter quartäre Sedimente, Tertiär nur an einzelnen Stellen in Hanglagen	
Hydrogeologie	Torfe und feinkörnige Auenlehme der jungen Talfüllung als Deckschicht, die Haslach Schotter, die Kiese des Jungriß sowie die Kiese und Sande der jungen Talfüllung sind Grundwasserleiter, die obere Süßwassermolasse und obere Meeressmolasse sind Grundwassernichtleiter; Grundwasserfließrichtung allgemein nach Westen, lokal aber stark abweichend	
Schadstoffe	Großflächige LCKW-Verunreinigungen im Grundwasser	
Untersuchungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> ■ Datenrecherche: Datenbanksystem ALTIS, Stichtagsmessungen, Kurzpumpversuche an 5 Grundwassermessstellen ■ Klärung der Herkunft von LCKW-Kontaminationen im Grundwasser: Isotopenuntersuchungen an 8 Grundwassermessstellen ■ Numerisches Grundwassermodell: Strömungsmodell mit MODFLOW 2000, Berechnung der Bahnlinien mit MODPATH, Kalibrierung des Modells von Hand und durch PEST ■ Ermittlung der Einzelbeiträge (Schadstofffrachten) zur Belastungssituation im Grundwasser mit dem Hydrologischen Modell (Fließrichtung und Volumenströme) und der datenbankgestützten Auswertung (max. Konzentration und Abstrombreite) 	
Sanierungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sanierungen an einigen Standorten, Sanierungsmaßnahmen mittels Aushub von Bodenmaterial und hydraulischer Sicherung. 	

Anlage 5: Projektsteckbrief Neu-Isenburg

<p>Projekt</p> <p>Neu-Isenburg (1982 – ca. 2027)</p>	
<p>Lage/Umfeld/ Bebauung</p>	<p>Gewerbegebiet Neu-Isenburg</p>
<p>Gesamtfläche</p>	<p>ca. 90 ha.</p>
<p>Nutzungshistorie</p>	<p>langjährige industriell-gewerbliche Nutzung</p>
<p>Einzel Schäden</p>	<p>16 maßgebliche Schadensfälle</p>
<p>Geologie</p>	<p>Grundwasserleiter besteht aus pliozänen Sedimenten und pleistozäne Sedimente bilden die Grundwasserüberdeckung</p>
<p>Hydrogeologie</p>	<p>Flurabstände liegen bei 20-25 m; Durchlässigkeit nimmt von Westen nach Osten zu; Strömung im Allgemeinen westlich gerichtet auf Sanierungs- und Trinkwasserbrunnen</p>
<p>Schadstoffe</p>	<p>LHKW, Tri- und Tetrachlorethen dominiert</p>
<p>Untersuchungskonzept</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1982 Rohwasseruntersuchungen auf LHKW, 10 von 11 Brunnen positiv ■ Bau von 42 Grundwassermessstellen, Bodenluftuntersuchungen, Kanaluntersuchungen ■ Numerisches Grundwassermodell
<p>Sanierungskonzept</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1984 bis heute (2014) Abschöpfmaßnahmen und hydraulische Sicherung ■ Errichtung von zwei Grundwassersanierungsanlagen und Beendigung der Bodenluftsanierung ■ Stationäre Strömungs- und Transportberechnungen als Grundlage für Sanierungskonzept ■ Verteilung der Kosten jedes Sanierungsbrunnens auf die Verursacher, Klassifizierung der Einzelschäden je nach Belastungen; Wichtung der Schadensklassen; Zuordnung der Schäden zu den Sanierungsbrunnen; Relative Wichtung der Einzelschäden in Bezug auf die Sanierungsbrunnen ■ Hydraulische Maßnahmen in Zukunft erforderlich, Finanzierungskonzept max. bis 2027
<p>Besonderheiten</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Jahrzehnte andauernde Rechtsstreits
<p>Veröffentlichung</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Meise, Nebel „Kooperationsmodell bei der Sanierung von GW-Verunreinigungen – dargestellt am Beispiel Neu-Isenburg“ HLUG, Altlasten-annual 2002, S. 113 ff.

Anlage 6: Projektsteckbrief Düsseldorf

<p>Projekt</p> <p>Sanierung großflächiger Grundwasserverunreinigungen in Düsseldorf (1989 - 2008)</p> <p>https://www.duesseldorf.de/umweltamt/altlast/grundwassersanierung/index.shtml</p>	
Lage/Umfeld/Bebauung	Stadtgebiet Düsseldorf
Gesamtfläche	217 km ²
Nutzungshistorie	35 % der Stadtfläche sind Wasserschutzgebiet; Grundwasser wird seit jeher intensiv genutzt; neben öffentlicher Wasserversorgung rund 500 private Entnahmen, andererseits intensive gewerblich-industrielle Nutzung über bis zu 100 Jahre; > 20 großflächige Grundwasserverunreinigungen
Geologie	ca. 2 m mächtige, lehmige Deckschicht und bis zu 25 m mächtiges sandig-kiesiges Quartär, das von tertiären, tonig-schluffigen Feinsanden unterlagert wird
Hydrogeologie	Niederterrasse des Rheins, gut durchlässige quartäre Kiese und Sande, große Ergiebigkeit, mittlere Grundwassergeschwindigkeit im Quartär 1 bis 3 Meter pro Tag, Fließrichtung von Osten nach Westen zum Rhein, geringer Grundwasserflurabstand von < 1 m bis ca. 8 m, natürliche Deckschichten nur noch teilweise vorhanden
Schadstoffe	Vielzahl großflächiger CKW-Grundwasserverunreinigungen, weiterhin Chromat, Pestizide, Cyanide, BTEX und PAK
Untersuchungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nutzungsrecherche und Gefährdungsabschätzung mit Sondierbohrungen und tiefenhorizontierten Probenahmen ■ Einrichtung von Grundwassermessstellen/Kontrollebenen ■ Ermittlung von Längen- und Breitenausdehnung der Grundwasserverunreinigungen
Sanierungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sanierung der Grundwasserverunreinigungen nach Prioritäten seit 1989 ■ Hydraulische Abschirmung der Eintragsstelle(n) ■ Sanierung der Fahne(n) tlw. in mehreren Abschnitten; Grundwasser wird abgepumpt und weit überwiegend über Nassadsorptionsanlagen gereinigt ■ Berücksichtigung mikrobiologischer Abbauprozesse ■ Sanierung der Eintragsstelle(n); Bodenluftabsaugung, Auskoffnung, Überwachung

