

# Methodischer Ansatz zur vergleichenden Analyse lang dauernder Sanierungsprojekte am Beispiel von Grundwassersanierungen mit Pump-and-Treat-Maßnahmen (P&T)

*M. Sc. Uwe Boester, Dr. Michael Altenbockum, Prof. Dr. Thomas R. Rüde, Aachen*

## Inhaltübersicht

		<b>Rdnr.</b>
1	Einleitung	1 – 6
2	Methodische Vorgehensweise bei der Projektauswertung	7 – 17
2.1	Die Abfragetabellen	8 – 11
2.2	Die Projektverlaufspläne	12 – 16
2.3	Bedeutung der P&T-Sanierungsmaßnahmen	17
3	Vergleichende Bewertung der Projekte	18 – 36
3.1	Auswerteergebnis einer Abfragetabelle: Beispiel Hydrogeologie	18 – 22
3.2	Ergebnisse der Projektverlaufspläne	23 – 36
3.2.1	Gemeinsamer Verlaufsplan 01, 04, 05, 08, 24	23 – 32
3.2.2	Gemeinsamer Verlaufsplan 06, 07, 16	33 – 36
4	Interpretation der Untersuchungsergebnisse	37 – 46
5	Zusammenfassung	47 – 52
6	Literatur	

## Schlagwortübersicht nach Rdnr.

Abfrageparameter 8 – 10	LCKW 1
Abfragetabellen 8 – 11	Methodische Projektauswertung 7
Auswerteergebnisse 37 – 46	Öffentlich-rechtliche Verträge 28 f.
Beispielhafter Projektverlaufsplan 12	Projektgruppe 1, 4 – 8, 16, 23 – 36
Darstellung des Sanierungserfolgs 44 – 46	Projektsignaturen 18
Erkundung-Kosten-Diagramm 40	Projektträger 2
Fachliche Bearbeitung der Sanierungsprojekte 20 – 22	Projektverlaufspläne 12, 24 – 36
Investitionsphasen 40 – 44	Pump-and-Treat Sanierungen 1, 8 – 11, 23 – 36, 44 – 46
	Sanierungsplanung 12, 23 – 36

## 1 Einleitung

- 1 Die in dieser Studie betrachteten Grundwassersanierungsmaßnahmen befinden sich nahezu ausschließlich auf Flächen oder Teilflächen ehemaliger Firmenstandorte, die mit leichtflüchtigen, chlorierten Kohlenwasserstoffen (LCKW) kontaminiert sind. Generell stehen zur Reinigung von mit LCKW belastetem Grundwasser verschiedene Verfahren zur Verfügung. Pump-and-Treat-Maßnahmen (P&T-Maßnahmen) werden in der Altlastenbearbeitung seit Langem zur Grundwassersanierung eingesetzt und sind als erprobtes Verfahren kostengünstig sowie schnell zu erstellen. Auch in den hier untersuchten Sanierungsprojekten sind jeweils P&T-Maßnahmen eingesetzt worden, die in den hier beschriebenen Sanierungen auch nach Wechsel des Sanierungsverfahrens (z. B. Bodenaushub) zur Sicherung und Unterstützung der anderen Sanierungsverfahren weiterbetrieben wurden. Aufgrund der Eigenschaften von LCKWs, sich an die Bodenmatrix oder das Aquifermaterial binden zu können (Tone, Organik, etc.), dauert es im Falle von P&T-Sanierungen oftmals sehr lange, bis das gewünschte Sanierungsziel erreicht ist. Im Extremfall kann das angestrebte Ziel der Sanierung mit P&T-Verfahren allein überhaupt nicht erreicht werden (Fetter 2008; ITVA 1999; US EPA 1996).
- 2 Die hier vorgestellte Studie behandelt acht, langlaufende Grundwassersanierungsprojekte, die hier anonymisiert behandelt werden. Die Projektdaten und -unterlagen wurden vom Verband für Flächenrecycling und Altlastensanierung Nordrhein-Westfalen (AAV) zur Verfügung gestellt. Der AAV (im Folgenden Projektträger genannt) ist ein Zusammenschluss von Land, Wirtschaft und Kommunen zur Sanierung von Altlasten. Durch die Maßnahmenträgerschaft des AAV bei Sanierungsuntersuchungen, Sanierungsplanungen und Sanierungsmaßnahmen entstand beim Verband ein umfangreiches Archiv, das alle wichtigen Unterlagen zu den jeweiligen Sanierungsprojekten umfasst. Zu allen Projekten liegen Unterlagen bis zum Ende der Projektträgerschaft des Verbands vor. Bei den betrachteten Projekten handelt es sich um Grundwassersanierungen im Verantwortungsbereich der jeweiligen Kommune und der Verantwortliche für die Kontamination des Standorts kann entweder nicht mehr zur Sanierung herangezogen werden oder ist finanziell nicht leistungsfähig (AAV 2013). Dann muss die Allgemeinheit die Bearbeitung eines solchen Schadens übernehmen. Die ausgewählten acht Projekte stellen einen Ausschnitt solcher Sanierungsprojekte über eine Zeitspanne von ca. 25 Jahren von 1989/90 bis 2013/14 dar.

Um die Sanierungsprojekte auswerten zu können, wurde zunächst ein umfangreicher Projektsteckbrief erstellt, der alle wesentlichen Informationen zu den Sanierungsprojekten im Hinblick auf die Sanierungsverfahren und im Speziellen die jeweilige Grundwassersanierungsmaßnahme beinhaltet. Die so aufgearbeiteten Basisdaten zu den Grundwassersanierungsprojekten ermöglichen die Entwicklung von Abfragetabellen, mit denen die zusammengestellten Basisdaten weitergehend analysiert werden können. Fachlich wurden die Projekte vor und nach Übernahme durch einen neuen (externen) Projektträger verglichen, sodass an diesem Zeitpunkt, unter Zuhilfenahme der Abfragetabellen eine „Vorher-Nachher-Einschätzung“ möglich ist. 3

Für diese Einschätzung werden die Ergebnisse der sieben Abfragetabellen mit den dazugehörigen Parametergruppen genutzt, die eine fachliche Bewertung der Grundwassersanierung bzw. der Projekte ermöglichen (Hydrogeologie, Hydrochemie, etc.). Die Auswahl der jeweiligen Parametergruppen orientiert sich an bestehenden Veröffentlichungen, die zur Bemessung von Grundwassersanierungsanlagen solche Standortinformationen bestimmten (HLUG 2014; Kirfel und Altenbockum 2010; Bayer und Finkel 2006). Zur Erweiterung der Auswertung um die strategische Ebene (Organisation/Administration) und zur Einordnung aller Informationen in eine zeitliche Abfolge wurden Projektverlaufspläne erstellt. Diese bringen die fachliche und strategische Ebene der Sanierungsprojekte entlang der Zeitachse in einen Projektzusammenhang. Dadurch werden die Meilensteine in der Projektbearbeitung erkennbar und die gegenseitige Wechselwirkung zwischen fachlicher Projektbearbeitung und Sanierungsstrategie sichtbar. Durch Einführung der Zeitachse kann die Abfolge von Erkundung sowie der weiteren Sanierungsschritte in den Projekten projektspezifisch und projektübergreifend bewertet werden. 4

Bei unerwartet langen Sanierungsmaßnahmen stellt sich die Frage, ob die generelle Vorgehensweise in den Sanierungsprojekten adäquat gewählt und insbesondere die Erkundung der Grundlagendaten des jeweiligen Standortes vollumfänglich durchgeführt wurde sowie die daraus abgeleiteten Planungsentscheidungen zielführend waren. Die beschriebene Verfahrenskombination zur methodischen Auswertung der Grundwassersanierungsprojekte lässt sich dreistufig darstellen: 5

1. Sammlung der Archivdaten und Zusammenfassung der einzelnen Projektsteckbriefe zu einer Projektsteckbrieftabelle (Gesamtdatengrundlage)
2. Abfragetabellen der erkundeten Parametergruppen bei Projektträgerwechsel

### 3. Projektverlaufspläne mit zeitlicher Einordnung der Organisationsstrukturwechsel und fachlichen Bearbeitungsschritte

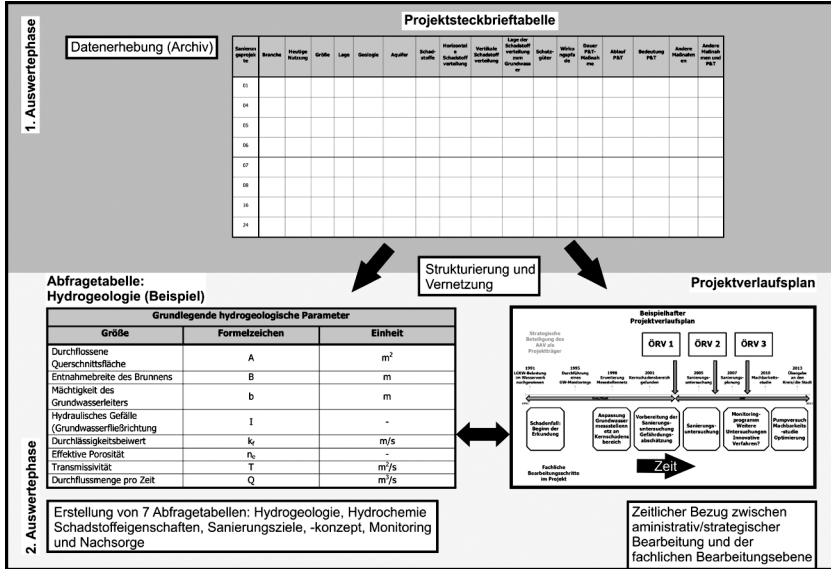
Dieser methodische Ansatz wurde gewählt, um den Zusammenhang zwischen Ersterkundung und Dauer der Grundwassersanierung analysieren zu können, ohne wesentliche Charakteristiken der individuellen Sanierungsprojekte zu verlieren. Bei vielen üblichen Ansätzen zur Projektauswahl gehen beispielsweise oft entscheidende Basisinformationen durch Parametrisierungen verloren (Saaty 2004; Chang 1996; Kaplan und Norton 1996).

- 6 Die vorliegenden Auswertungen zeigen Parallelen und Unterschiede zwischen den einzelnen Sanierungsprojekten und ihre zeitliche Entwicklung. Basierend auf dieser Analyse werden Möglichkeiten aufgezeigt, die oftmals sehr langen Sanierungslaufzeiten von P&T-Maßnahmen bis zur Zielerreichung mit Hilfe von Verfahrensoptimierungen zu verkürzen. Bei der Begutachtung zeigt sich, dass die zu Beginn einer Maßnahme aufgestellten Prognosen zur Sanierungsdauer sehr deutlich, teilweise um ein Vielfaches, unterschätzt wurden. Die tatsächlich erforderliche Sanierungszeit ist meist erheblich länger (bei vorliegenden Projekten Faktor 2,5 – 5 und mehr). Dies ist verbunden mit auffällig höheren laufenden Kosten bei der Sanierungsmaßnahme als sie allgemein für P&T-Maßnahmen in der Literatur beschrieben sind. Es zeigt sich, dass dies sogar für gut erkundete Porengrundwasserleiter gilt, deren Eigenschaften ausreichend bekannt sind (Fetter 2008; Appelo und Postma 2005; Stupp et al. 2005; LUA NRW 2003c; Alloway et al. 1996).

## 2 Methodische Vorgehensweise bei der Projektauswertung

- 7 Zur Beurteilung von Grundwassersanierungsmaßnahmen mit P&T-Verfahren und deren Sanierungsverlauf, wurde ein Projektsteckbrief erstellt, der alle relevanten Informationen zu den Standortbedingungen, der Geologie und Hydrogeologie, Hydrochemie sowie des Schadstoffinventars eines jeden Sanierungsprojektes in einer Tabelle zusammenfasst. Darüber hinaus enthält er Informationen zur Historie der Schadensfälle, den Grundstücken und ehemaligen Flächennutzungen, die aus den Archivunterlagen zu den Sanierungsprojekten zusammengetragen wurden. Die einzelnen Sanierungen wurden auf zwei verschiedenen Ebenen betrachtet und ausgewertet (**Abb. 1**):
- Thematische Tabellen zur Abfrage der Untersuchung verschiedener Parameter (Abfragetabellen)
  - Zeitlich eingeordnete Projektverlaufspläne wichtiger Bearbeitungsschritte (Projektverlaufspläne)

Abb. 1: Methodische Vorgehensweise zur Analyse der Sanierungsprojekte mit Projektsteckbrief, Abfragetabelle und Projektverlaufsplan



2.1 Die Abfragetabellen

Generell müssen für die Durchführung einer Pump-and-Treat Maßnahme verschiedene Informationen vorliegen, wie z. B. die Eigenschaften des Grundwasserleiters, der Schadstoffumfang (Art, Konzentration, Fracht, etc.), das entsprechende Ausbreitungsverhalten und die Ausdehnung der Kontamination, damit eine standortangepasste Auslegung des Sanierungsverfahrens und Bemessung der Sanierungsanlagen vorgenommen werden kann. Bei der Ersterkundung des Standorts sollen diese Basisdaten ermittelt werden. Sie sind somit ein wesentlicher Bestandteil der Gefährdungsabschätzung eines Standortes. Die Gefährdungsabschätzung bildet in der Regel die Abschätzungsgrundlage zur Auswahl des jeweils optimalen Sanierungsverfahrens. Meist führt jedoch die unmittelbare Gefährdung (z. B. Trinkwasser) zur Umsetzung einer Sofortmaßnahme. Bei den analysierten Projekten wurde zur Grundwassersanierung zunächst die übliche hydraulische Sicherung geplant und umgesetzt. Zur Bemessung der notwendigen Förderbrunnen und ihrer Positionierung müssen Grundlagen

informationen zur Hydrogeologie, Hydrochemie und den Schadstoffeigenschaften vorliegen. **Tab. 1** zeigt beispielhaft eine zusammenfassende Übersicht über die zu erkundenden hydrogeologischen Parameter (HLUG 2013; ITVA 2012; Hölting und Coldewey 2009; Kirfel und Altenbockum 2010; LA-BO 2009; Appelo und Postma 2005; Mathews 2003; Balke 2000).

**Tab. 1:** Zusammenfassung grundlegender hydrogeologischer Parameter (Blomquist 2005)

Grundlegende hydrogeologische Parameter		
Größe	Formelzeichen	Einheit
Durchflossene Querschnittsfläche	A	m <sup>2</sup>
Entnahmebreite des Brunnens	B	m
Wassererfüllte Mächtigkeit des Grundwasserleiters	b	m
Hydraulisches Gefälle (Grundwasserfließrichtung)	I	-
Durchlässigkeitsbeiwert	k <sub>f</sub>	m/s
Effektive Porosität	n <sub>e</sub>	-
Transmissivität	T	m <sup>2</sup> /s
Durchflussmenge pro Zeit	Q	m <sup>3</sup> /s

- 9 Auswahl und Umfang der Parameter basieren auf den in der Fachliteratur vorliegenden Projektvergleichen und Arbeitshilfen zur Altlastenbearbeitung in NRW. Die Projektsteckbrieftabelle baut auf den Informationen zu den beschriebenen Parametern auf. Projektspezifisch wurden solche Abfragetabellen für sieben verschiedene Fragestellungen bzw. Zeitabschnitte in der Projektbearbeitung erstellt (LUBW 2010; LANUV NRW 2009; UBA 2007; Großmann 2004; LUA NRW 2003b).
- 10 Analog zur Abfrage der hydrogeologischen Erkundung (**Abb. 1**) sind die sechs weiteren Tabellen in den Kategorien Hydrochemie, Schadstoffe und Ausbreitungsverhalten, Sanierungskonzept, Sanierungsziele, Monitoring und Nachsorge erstellt worden. Diese beziehen sich stets auf einen Zeitpunkt, sodass für den vergleichenden methodischen Ansatz die Auswertungen in den Projekten jeweils vor und nach dem Eintritt des neuen Pro-

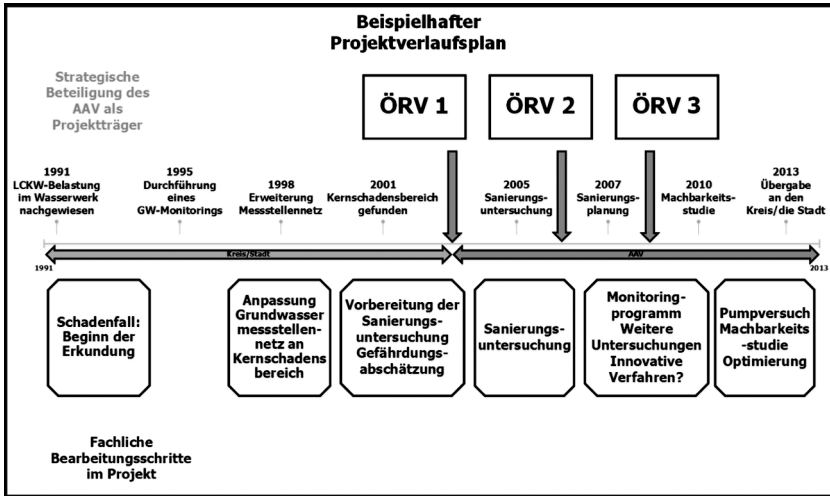
jektträgers durchgeführt wurden, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Altlastenerkundung darzustellen.

Die Informationsabfragetabellen sind außerdem zum Verständnis des Sanierungsverlaufs der Projekte und für die Einschätzung der Projekte aus fachlicher Sicht notwendig. Weiterhin ist im Hinblick auf die Abfrage des Monitorings und der Nachsorge von Bedeutung, ob die Daten zu Erkundungen archiviert sind und dem Projektträger vorliegen. Deshalb wird die Güte der Dokumentation der Sanierungsprojekte als Arbeitsgrundlage betrachtet und wirkt sich zusätzlich indirekt auf alle Abfragetabellen aus. Für die hier ausgewerteten Sanierungsprojekte mit P&T-Maßnahmen liegen umfangreiche Daten vor. Daher wird davon ausgegangen, dass die Datengrundlage eine hinreichend genaue Analyse der Projekte ermöglicht (LUA NRW 2006, 2003a; ITVA 1999, 1997). 11

## 2.2 Die Projektverlaufspläne

In Anlehnung an die im Projektmanagement erprobten Methoden, die zur Darstellung von Zeitplänen, Arbeitspaketen und Projektfortschritten genutzt werden (GANTT-Diagramme, Fishbone/Ishikawa-Diagramme, etc.) wurde zur zeitlichen Einordnung der fachlichen und strategischen Meilensteine für jedes Sanierungsprojekt jeweils ein Projektverlaufsplan nach eigenem Format erstellt (**Abb. 2**). Über die visuelle Darstellung der einzelnen Projektschritte entlang des Projektbearbeitungsverlaufs entsteht intuitiv eine vergleichende Vernetzung von organisatorischer und fachlicher Ebene. Ein Gesamtüberblick zu dem jeweiligen Sanierungsprojekt, dem Teilprojekt Grundwassersanierung (P&T) und dessen Bearbeitungsverlauf wird in der Graphik ebenfalls visualisiert. **Abb. 2** zeigt beispielhaft den in den Projekten ermittelten Verlauf der Sanierung mit idealisierten Beispielmeilensteinen (Kern 2008; Biethahn et al. 2004). 12

Abb. 2: Beispielhafter Projektverlaufsplan



- 13 Durch die zeitliche Einordnung werden die strategische Herangehensweise des Projektträgers und die fachliche Projektbearbeitung für jeden beliebigen Zeitpunkt der Sanierung einander gegenübergestellt. Es ist daraus ersichtlich, ob die Abfolge der fachlichen Bearbeitungsabschnitte folgerichtig ist oder gegebenenfalls verschiedene Untersuchungen wiederholt werden müssen. Diese Methode ermöglicht darüber hinaus den Vergleich und die zeitliche Einordnung der Abfragetabellen.
- 14 Weiterhin ermöglicht die Projektverlaufsauswertung eine Generalisierung der Projektverläufe, aufgrund derer es möglich ist, entlang eines Zeitstrahls die acht betrachteten Projekte miteinander zu vergleichen. Aus den Gemeinsamkeiten und Unterschieden der Projektverläufe können über die acht vorliegenden Grundwassersanierungen hinausgehende Annahmen getroffen werden. An entscheidenden Steuerungspunkten wird auf die Projektsteckbrieftabelle und die Abfragetabellen zurückgegriffen, um die Sanierungsprojekte miteinander konkret abzugleichen und die fachliche Vorgehensweise zu analysieren.
- 15 **Abb. 2** stellt generalisiert den Ablauf von Sanierungsmaßnahmen dar. Die Start- und Endzeitpunkte geben den Zeitrahmen der Projekte wieder. Oberhalb des Zahlenstrahls ist die strategische Ebene verortet, die den idealisierten Ablauf drei aufeinander folgender öffentlich-rechtlicher Verträge zeigt.



Unterhalb des Zeitstrahls sind in den Verlaufsplänen jeweils die fachlichen Bearbeitungsschritte der Grundwassersanierungsprojekte dargestellt. Die Rolle der Grundwassersanierung mit P&T im Bezug zum Gesamtsanierungsprojekt zeigt sich auf diese Weise. Insgesamt umfasst diese Beschreibung die Sanierung von der Erkundung des Schadensfalls über erste Sicherungsmaßnahmen bis zur Verfahrensoptimierung sowie die Einrichtung der P&T-Dauerbetriebsmaßnahme und die anschließende Übergabe an die zuständigen Behörden vor Ort (BBodSchV 1999; BBodSchG 1998).

Die in **Abb. 2** gewählten Meilensteine charakterisieren generell wichtige Bearbeitungsschritte einer Sanierung. Die fachlichen Sanierungsschritte in der unteren Hälfte der Graphik beziehen sich auf die für die P&T-Maßnahme wichtigen Veränderungen bei der Sanierung und der Grundwassersanierungsmaßnahme. Gelegentliche Anpassungen im Sanierungskonzept werden ebenfalls dargestellt. Der letzte in der Abbildung gezeigte Arbeitsschritt im Projekt ist in der Regel die Übergabe an die Wasserbehörde. **16**

### 2.3 Bedeutung der P&T-Sanierungsmaßnahmen

Von den laufenden oder abgeschlossenen Sanierungen in Nordrhein-Westfalen, der insgesamt 3.719 im Bundesland gemeldeten Maßnahmen, sind 11,9 % hydraulische Sanierungsmaßnahmen. Hydraulische Sicherungsverfahren finden bei 61 von 1.235 Sanierungsfällen auf Altablagerungen und Altstandorten Anwendung (5 %) und stellen bei den Dekontaminationsverfahren 441 (40,4 %) von 1.091 Fällen dar. Von diesen werden in 399 Fällen P&T-Verfahren zur Dekontamination des Schadherdes angewendet. Bezogen auf die genannten Zahlen machen die P&T-Maßnahmen bei der Dekontamination von Altlasten also einen Anteil von 36,5 % aller angewendeten Dekontaminationsverfahren aus und entsprechen 90,5 % der hydraulischen Maßnahmen zur Dekontamination (MUNLV NRW 2004). **17**

## 3 Vergleichende Bewertung der Projekte

### 3.1 Auswertergebnis einer Abfragetabelle: Beispiel Hydrogeologie

**Tab. 2** zeigt die fachspezifische Abfragetabelle für die Hydrogeologie. Den einzelnen Sanierungsprojekten (01, 04, 05, 06, 07, 08, 16 und 24) werden über eine „Plus-Minus-Signatur“ Erkundungsdaten zu dem jeweiligen Parameter zugeordnet. Durch „+“ bzw. „-“ wird dargestellt, ob der jeweilige Grundlagenparameter zur hydrogeologischen Bemessung erkundet wurde oder nicht (+ ist positiv, - negativ). Die Farbe der Signaturen beschreibt zusätzlich eine Zeitlichkeit im Erkundungsablauf bzw. im Vorliegen der jewei- **18**

ligen Information. Als Zeitpunkt für eine Vorher-Nachher-Betrachtung wurde die Übernahme der Projektträgerschaft durch den Verband gewählt. Dadurch ist es möglich, den Unterschied zwischen den bis zu dieser Zeit gewonnenen Informationen (im Wesentlichen durch die Ersterkundung) und den weiteren Untersuchungen der Standorte durch den neuen Projektträger aufzuzeigen. Schwarz (obere Signatur) steht für die Zeit vor der Projektträgerschaft des Verbands und Rot (untere Signatur) für die nach der Übernahme des Projekts erkundeten Standortinformationen. Für den Fall, dass wichtige qualitative Informationen nicht mit dieser Signatur dargestellt werden können, wurde auf beschreibende Begriffe in der Tabelle zurückgegriffen. Das ist insbesondere für die eher qualitativen Kategorien wie Nachsorge, Monitoring oder Sanierungsstrategie von Bedeutung.

- 19 In **Tab. 2** sind die Ergebnisse der hydrogeologischen Erkundungen in den untersuchten Sanierungsprojekten zusammengefasst. In der Auswahl der fachlich notwendigen Parameter bestehen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Messgrößen und den genutzten Erkundungsverfahren. In einem Pumpversuch werden beispielsweise sowohl die Transmissivität ( $T$ ) als auch der hydraulische Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ ) am Versuchsstandort für den GWL bestimmt. Je nach Messung werden daher mehrere Parameter in einem Arbeitsschritt erkundet. Ob dann eine weitere Auswertung nach bekannten Verfahren stattfand und in Gutachten zur Sanierung vorliegt, ist die entscheidende Frage für die weitere Erkundung. Dieser fachliche Zusammenhang zwischen den einzelnen Parametern wurde hier nicht ausgewertet.
- 20 Als erkundet gilt ein Parameter in der Tabelle, wenn er explizit in der Datengrundlage (Gutachten, Berichte, etc.) zu finden und die Bestimmungsmethode nachvollziehbar dargestellt ist. Die Annahme, dass eine Eigenschaft des Grundwasserleiters erkundet worden sei, da dies zur Durchführung der umgesetzten Maßnahme notwendig ist, reicht nicht aus (Blomquist 2005; Kirfel und Altenbockum 2010; ITVA 2012; Kirfel und Altenbockum 2010; Neumaier und Weber 1996).
- 21 Zu Beginn der Projekte werden die Daten überwiegend aus Rammkernsondierungen, Brunnen- bzw. Messstellenausbauprofilen und der Literatur gewonnen bzw. abgeleitet. Die Auswertung weist nach, dass der Grundwasserleitertyp in allen Projekten bekannt ist. Gleiches gilt für die Grundwasserfließrichtung und die Grundwassermächtigkeit. Ausnahmen bilden die Sanierungsprojekte 04 (b) und 16 (Fließrichtung). In allen Fällen, außer den Projekten 16 und 24, ist der Grundwassergradient erkundet. Erst mit zusätz-

lichen Erkundungen (im Projektverlauf nach der Einrichtung der Maßnahme) stehen in allen Projekten die für die Dimensionierung von Sanierungsbrunnen notwendigen Grundinformationen zur Verfügung. Das zeigen die roten Kreuze an. Diese sind jedoch für die Einschätzung der Wirksamkeit anderer Sanierungsverfahren (außer P&T), einer Abschätzung der Sanierungsdauer und weiterer Bearbeitungsschritte (Herdsanierung etc.) essenziell (ITVA 2010).

**Tab. 2:** Vergleich der Erkundung hydrogeologischer Parameter bis zum Ende der Projektträgerschaft

Sanierungsprojekte	Hydrogeologie/Grundwasserhydraulik							
	GWL-Typ	Grundwasserfließrichtung	b	i	k <sub>r</sub>	T	n <sub>e</sub>	B
01	Quartäre Talfüllung; Poren-GWL	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	- -	- -
04	Niederterrasse; Poren-GWL	+ +	- +	+ +	+ +	+ +	- -	- -
05	Quartäre Sedimente und Kreidefestgestein; Poren- und Kluff-GWL	+ +	+ -	+ +	+ -	+ -	+ -	+ -
06	Rheinterrasse; Poren-GWL	+ +	+ +	+ -	+ -	+ -	- -	- -
07	Quartäre Sedimente; Poren-GWL	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	- -	+ -
08	Untere Mittelterrasse; Poren-GWL	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	- +	- +
16	Devonsandstein; Kluff-GWL	- +	+ +	- +	+ +	- +	- -	- +
24	Mittelterrasse; Poren-GWL	+ +	+ +	- +	- +	- +	- -	- +

Die häufige Dopplung der Kreuze in **Tab. 2** gibt zudem an, dass viele Parameter im Laufe der Sanierung mehrfach und an mehreren Stellen des Untersuchungsgebietes bestimmt wurden. In diesen „Doppelarbeiten“ liegt viel Einsparpotential in den Projekten, oft sind diese erneuten Untersuchungen aber grundsätzlich notwendig (Verfahrens Anpassungen, Kontrolle, etc.) Die

22

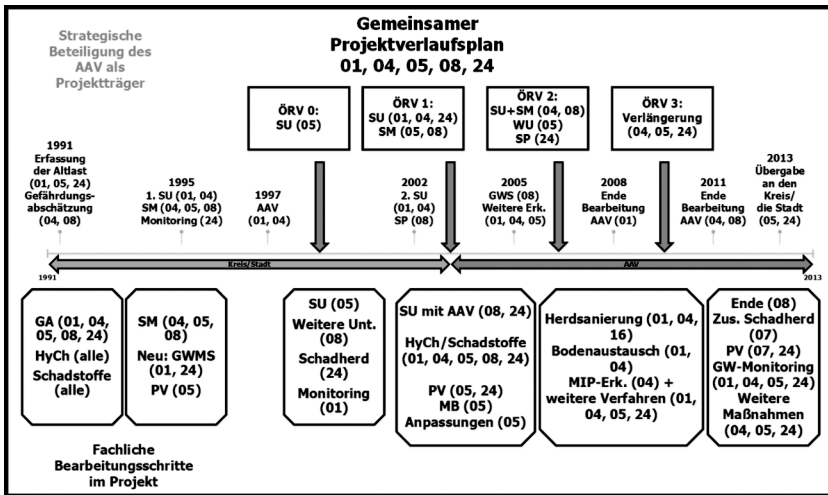
Summe aller Tabellenauswertungen bildet die Grundlage für die Bewertung der fachlichen Altlastenbearbeitung. Durch die vereinfachte, übersichtlichere Darstellung ist es möglich, die Projektdetails auf ein vergleichbares Maß zu vereinfachen, sodass übergeordnete Ähnlichkeiten und Unterschiede der Projekte herausgearbeitet werden. Als Werkzeug zum Vergleich der fachlichen Altlastenbearbeitung mit und ohne externen Projektträger haben sich die Abfragetabellen bewährt.

### 3.2 Ergebnisse der Projektverlaufspläne

#### 3.2.1 Gemeinsamer Verlaufsplan 01, 04, 05, 08, 24

- 23 Für jedes der acht Sanierungsprojekte wurde jeweils ein spezifischer Projektverlaufsplan mit allen wichtigen fachlichen und organisatorischen Meilensteinen erstellt. Damit wird der historischen Entwicklung, der fachlichen Bearbeitung sowie den individuellen Standortgegebenheiten Rechnung getragen. Die Projektverlaufspläne zeigen, dass diese Darstellung als zentrales Werkzeug zum Vergleich der Bearbeitungszeiten, der Interaktion von fachlicher Bearbeitung, strategischen Entscheidungen und Einbindung der Akteure in die Sanierung, sehr gut geeignet für eine Projektbeschreibung sowie deren Auswertung ist.
- 24 Auf Basis der herausgearbeiteten Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Projektverläufen, konnten die Sanierungsprojekte zu zwei Gruppen zusammengefasst werden. Die Gruppen verbindet jeweils ein ähnlicher Bearbeitungsverlauf auf fachlicher und strategischer Ebene. Wesentlicher Unterschied der beiden Gruppen ist eine ausgedehnte Phase ohne Bearbeitungsfortschritt in bestimmten Projekten (06, 07 und 16). Dies verdeutlicht der Vergleich der **Abb. 3** und **4**.

Abb. 3: Projektverlaufsplan 01, 04, 05, 08 und 24



Wie Abb. 3 für die Projekte 01, 04, 05, 08 und 24 zeigt, können die wesentlichen Punkte der zeitlichen Auswertung erkannt und den einzelnen Projekten über die Projektsignatur zugewiesen werden (Zahlencode). Entscheidende Zeitpunkte im Projektverlauf wie Beginn, einzelne Untersuchungen und Sanierungsmaßnahmen sowie das Sanierungsende sind markiert. Abkürzungen und Stichworte stehen für wichtige Bearbeitungsschritte. Das Projektkürzel in Klammern hinter der Beschreibung der Maßnahme, bezieht diese auf die entsprechenden Sanierungen. Das gilt sowohl für die fachliche als auch für die strategische Auswertungsebene für bestimmte Teile der Altlastensanierung. 25

Der Start der Sanierungsprojekte beginnt bei den Sanierungsprojekten 01, 05 und 24 mit der Erfassung der Altlast, bei 04 sowie 08 mit der Gefährdungsabschätzung (GA), die nach bestehender Rechtslage immer vor der Sanierung durchzuführen ist. Oftmals beginnt die Grundwassersanierung als Sofortmaßnahme (Sicherung). 26

Die Auswertung zeigt, dass auf der strategischen Ebene die Projekte 01 und 04 eine Beteiligung des Projektträgers vor 2002 aufweisen. Die Vorgehensweise des Projektträgers in Bezug auf Sanierungsprojekte änderte sich ebenfalls 2002, sodass danach für alle weiteren Bearbeitungen die typische Abfolge an öffentlich-rechtlichen Verträgen sichtbar ist, die zur Strukturierung 27

zung von Sanierungsvorhaben zwischen Projekträger und den sanierungspflichtigen Kommunen geschlossen werden. In diesen Verträgen werden die fachlichen Bearbeitungsschritte und die Ziele der nächsten Sanierungsschritte jeweils festgehalten und vorgegeben (Änderung AAVG 2013; LANUV NRW 2009; LUA NRW 2003c).

- 28 Der Projekträger versucht eine standardisierte Abfolge aus drei ÖRV zu Sanierungsuntersuchung (SU), Sanierungsplanung (SP) und Sanierungsmaßnahme (SM) zu realisieren. Diese Abfolge von Verträgen nimmt in den Sanierungsprojekten die Rolle eines Steuerungsmittels zur Vereinheitlichung der Bearbeitungsabläufe ein. Abfolge und Vorgehen sind an Handreichungen der Behörden und den idealisierten Sanierungsabläufen, der Fachliteratur entsprechend, angelehnt. Es ergibt sich eine Abfolge an Teilschritten der Bearbeitung, die die ÖRV widerspiegeln sollen. Das generelle Konzept, über die angesprochenen drei Kernschritte der Sanierung jeweils einen ÖRV zu schließen, ist trotz Abweichungen aufgrund der Projekthistorie in manchen Sanierungsvorhaben (01, 04 und 05), erkennbar. Ein striktes Einhalten dieser Regel ist nicht in allen Projekten möglich und wäre auch nicht zielführend, da ein Projekträger zu unterschiedlichen Zeitpunkten in das Sanierungsprojekt eintreten kann (01, 04 und 05) und im Verlauf eines Sanierungsverfahrens über die langen Laufzeiten sich sowohl die erkundete Schadstoffsituation am Standort, als auch die technischen Möglichkeiten zur Sanierung ändern können.
- 29 Abweichungen vom Standardablauf (Abfolge der ÖRV bzw. der Bearbeitungsschritte) sind im Sanierungsprojekt 05 (**Abb. 3**) erkennbar, das zur SU einen ÖRV aufweist. Dadurch wurde in diesem Projekt ein zusätzlicher ÖRV abgeschlossen. An der Abfolge der Verträge zeigt sich, in welchem Sanierungsschritt der Projekträger hinzukam und durch die nachfolgende fachliche Bearbeitung, wo Erkundungsdefizite in den Sanierungsprojekten vorlagen.
- 30 In Projekt 08 wurde beispielsweise nach einem Vertrag zur SM später nochmals eine SU und SM durchgeführt. Dies zeigt, dass – obwohl der Projekträger ein bereits laufendes und umfassend erkundetes Sanierungsprojekt vorfand – trotzdem aufgrund von Defiziten in der Standorterkundung oder fehlender Dokumentation weitere Untersuchungen notwendig waren. Es ergaben sich durch diese weiteren Untersuchungen auch die Notwendigkeit der Sanierung weiterer Flächen, die eine erneute SU erforderten.

Bereits vorhandene Daten und zum Zeitpunkt der Übernahme durch einen Projektträger durchgeführte Untersuchungen prägen den weiteren Projektverlauf und das weitere Vorgehen des Projektträgers. Vorliegende Untersuchungen werden dabei überprüft und als Grundlage für die weitere Bearbeitung angesehen. Im Falle von Projekt 04 beispielsweise, wurde die Altlast nach einer SU, SM und Verlängerung der SM weiter untersucht, da sich neue Schadherde zeigten. Ebenso stellt die Verlängerung von Projekt 24 mit Weiterführung der SP durch die darauf aufbauende SM einen längeren Bearbeitungszeitraum, als zunächst vorgesehen war, dar. 31

Trotz vieler Vorgaben in verschiedenen fachlichen Arbeitshilfen sowie in Beschreibungen von P&T-Verfahren in der Fachliteratur liegen bei den betrachteten Projekten große Unterschiede in der Datengrundlage sowie den fachlichen Bearbeitungsabläufen vor (LANUV NRW 2009; LUA NRW 2003c). Die Hydrochemie (HyCh) und das Schadstoffspektrum sind in den vorliegenden Projekten zwar erkundet, es gibt jedoch deutliche Qualitätsunterschiede im Erkundungsumfang und der Dateninterpretation. Dadurch wurde es stets notwendig, im Projektverlauf die Erkundung weiterzuführen und die Maßnahme an die daraus resultierenden, neuen Ergebnissen anzupassen. Dies wurde beispielsweise durch den Bau weiterer Grundwassermessstellen (GWMS, 01, 24) oder Pumpversuche (PV) umgesetzt. 32

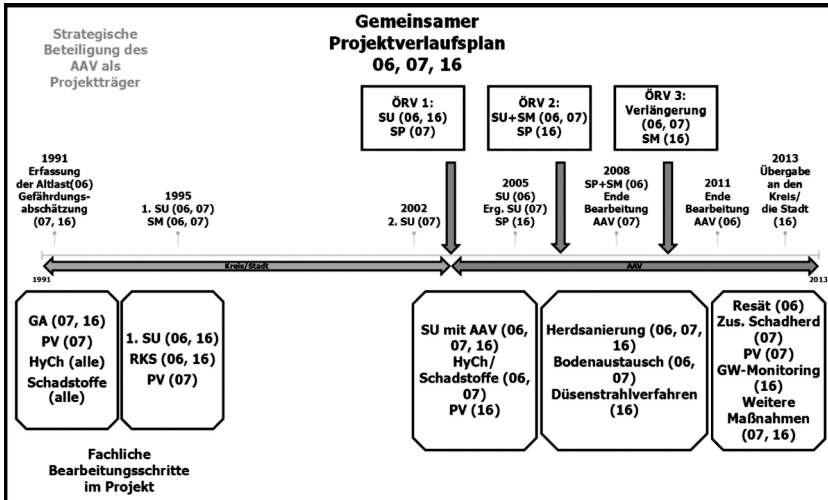
### 3.2.2 Gemeinsamer Verlaufsplan 06, 07, 16

Die strategischen Ebenen der beiden gemeinsamen Verlaufspläne der zugeordneten Projektgruppen unterscheiden sich kaum voneinander. Ein Vergleich von **Abb. 3** und **4** zeigt deutlich, dass die gleichbleibende Vorgehensweise bei der Projektsteuerung aus SU, SP und SM über alle betrachteten Sanierungen hinweg erkennbar ist. Diese Abfolge ist in den Projekten 06, 07 und 16 lediglich etwas eindeutiger umgesetzt. Dies wiederum hängt mit dem Zeitpunkt der Übernahme der Projektträgerschaft zusammen. Es ist entscheidend, welche Projektschritte zuvor durch Kreis oder die Kommune bearbeitet wurden. 33

Fachlich zeigen 06, 07 und 16 ebenfalls die in Bezug auf die GA, HyCh und Schadstoffe festgestellten Defizite. Eine weitere Erkundung durch Rammkernsondierungen (RKS) ist ein in vielen Projekten und zu jeder Bearbeitungszeit genutztes Verfahren, um Wissenslücken zu schließen. Erst die Zusammenfassung der Projektträgerschaft in einer Hand strukturiert die Bearbeitung und es werden die fehlenden Untersuchungen nachgeholt (Nacherkundung von Parametern). Ab diesem Zeitpunkt gleichen sich die 34

Bearbeitungsverläufe aller betrachteten Sanierungsprojekte an, wobei Projekt 06 eine Besonderheit aufweist. Die bestehende Residualsättigung (Resät) kann fachlich nicht (Kenntnisstand im Projekt) mit verhältnismäßigem Aufwand entfernt werden, die Grundwasserkonzentrationen liegen aber im Konzentrationsbereich der Sanierungsziele. Aus diesen Gründen wird in Projekt 06 die Sanierung trotz einer Restbelastung beendet (LABO 2009; LUA NRW 2003c, LfUG SN 2003a, 2003b).

Abb. 4: Sanierungsprojekte 06, 07 und 16; Projektverlaufsdarstellung



- 35 Am Ende der Bearbeitung des Projektträgers steht die Rückgabe der Sanierungsprojekte an Kreis bzw. Kommune. Dies geschieht auf Basis der in den ÖRV festgelegten Kriterien und ist in allen vorliegenden Sanierungsprojekten gleich. Für die P&T-Maßnahme bedeutet das nicht immer ein Abschalten der Brunnen, da insbesondere bei schwierigen Standortbedingungen, die eine lange Laufzeit der Sanierung benötigen, die Sanierungsziele noch nicht vollständig erreicht wurden. Gründe für diese Langzeitnotwendigkeit können in den Standorteigenschaften wie der Feinfraktionsverteilung im Untergrund u. ä. angelegt sein. Beispielsweise können sehr heterogene GWL (04, 05, 07, 16) höhere Schadstoffmassen in geringer durchlässigen Bereichen halten und auch nach einer Herdsanierung noch hohe Grundwasserbelastungen aufweisen (LANUV NRW 2009; Fetter 2008).



Sind die festgelegten, meist qualitativen Sanierungsziele nach Vertragslaufzeit (ÖRV) noch nicht sicher auf lange Sicht erreicht, wird das Sanierungsverfahren überprüft und eine Verbesserung durch neue Maßnahmen und eine erweiterte Erkundung angestrebt. Da während einer langfristig erforderlichen Sanierungsmaßnahme gegebenenfalls bei Eintritt des Projektträgers neue rechtliche und wissenschaftliche Erfordernisse zu berücksichtigen sind oder neuartige Methoden zur Verfügung stehen, werden diese in die laufenden Projekte integriert. 36

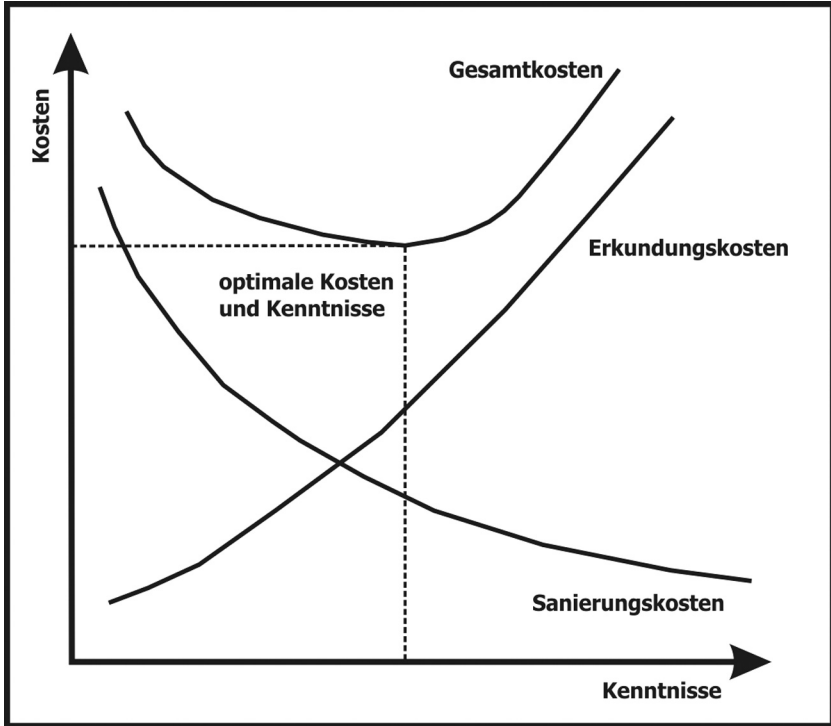
#### 4 Interpretation der Untersuchungsergebnisse

Bei Übernahme der Projektträgerschaft ändert sich in nahezu allen Sanierungsprojekten das Konzept der Sanierung. In fünf von acht Projekten (62,5 %) wird von einer Sicherung oder teilweise auch Dekontamination mittels P&T zu einer Herdsanierung übergegangen. Durch die Beteiligung einer neuen, zentralen Steuerung mit Hilfe des Projektträgers werden die Projektverlaufspläne angepasst (siehe **Abb. 3** und **4**). In der Regel werden weitere Untersuchungen oder erstmalig eine SU durchgeführt und damit die festgestellten Defizite in der fachlichen Bearbeitung behoben und Informationslücken geschlossen. Je nach Projektstand werden auch ganz grundlegende Anpassungen der P&T-Maßnahme (Brunnenpositionierung: 08, 24), ein neues Messstellennetz oder eine generelle Machbarkeitsstudie (MB, 05) notwendig. Häufig werden zudem weitere Untersuchungen und Analysemethoden zur Anpassung der Altlastensanierung wie PV, MIP-Sondierungen, hydrochemische Analysen, Eluatversuche, Isotopenanalyse und Grundwassermodelle erstellt bzw. durchgeführt. Dies hängt von einer gegebenenfalls neuen Zielsetzung im Sanierungsverfahren ab, die mit den notwendigen Kenntnissen (Parameter) am Standort zu erforderlichen Anpassungen oder einem erfolgreichen Verfahrenswechsel führen kann. 37

Die fachliche Seite der Projektverlaufspläne veranschaulicht die Umsetzung neuer Untersuchungen und den Wechsel von einer Grundwassersanierung hin zur Herdsanierung. Die dazu notwendigen zusätzlichen Erkundungen stellen den Kern der Nacherkundung dar. Durch die Herdsanierung soll in den Projekten die Laufzeit der Sanierung gegenüber einer kontinuierlich betriebenen Grundwassersanierung mit P&T-Maßnahme verkürzt werden. Dieser Wechsel ist folgerichtig, da eine Dekontamination über P&T generell lange Zeiträume beansprucht und bei Übernahme durch den Projektträger bereits aktiv war. Zudem entspricht die Sicherung mittels P&T eher einer Behandlung des Symptoms als der Krankheit (LUBW 2012a, 2012b; LANUV NRW 2009; Stupp et al. 2005; US EPA 1996; Macdonald und Kavanaugh 1994). 38

- 39 Bei Übernahme des Sanierungsprojektes beginnt der Projektträger meist mit einer weitergehenden Untersuchung bzw. einer ergänzenden Sanierungsuntersuchung (01, 04, 05, 08) (LUA NRW 2003c, 2000). Das spricht für ein Informationsdefizit, dass entweder in einer unzureichenden Ersterkundung oder im Fortschritt der Sanierung begründet sein kann. Die höchste Daten- bzw. Informationsdichte liegt bei den Altlastensanierungsprojekten entsprechend immer am Ende der Sanierung vor. Mit zunehmender Bearbeitungsdauer steigt die Informationsdichte am Sanierungsstandort kontinuierlich an.
- 40 Mit dem neuen Projektträger beginnt für ein Sanierungsprojekt auch eine weitere Investitionsphase. Folglich besteht allem Anschein nach und nach Auswertung der acht vorliegenden Sanierungsprojekte ein Zusammenhang zwischen der finanziellen Ausstattung der jeweiligen Erkundung zu verschiedenen Zeitpunkten im Projekt und der erreichbaren Sanierungsqualität. So sind in den betrachteten Sanierungen nach der Herdsanierung (d. h. in der Regel Bodenaustausch) eine Überprüfung des Sanierungserfolgs und eine weitere Überwachung der Altlast bis zum Erreichen der Sanierungsziele notwendig. Je nach eingesetztem Verfahren für den Bodenaustausch (Bodenaushub, Düsenstrahlverfahren, etc.) kann auch nach der Sanierung eine Analyse der Schadstoffkonzentration in den betroffenen Bereichen als weitere Erkundung durchgeführt werden. Oftmals soll mit einer Kombination aus P&T-Maßnahme und innovativen Verfahren die Restbelastung beseitigt werden (01, 04, 05, 06, 07, 16 und 24).

**Abb. 5:** Verhältnis Kenntnisgewinn zu Kosten; Kurvenverlauf angepasst nach Toussaint et al. (1998)



Nachdem längere Zeit ein bestimmtes Verfahren zur Sanierung eingesetzt wurde, kann eine Neubewertung und/oder erweiterte Erkundung des Schadensfalls zweckdienlich sein. Dazu werden ergänzende Untersuchungen notwendig, die zu einer Verfahrensänderungen bzw. Verfahrensanpassung führen. Wie sich diese zusätzlichen Arbeiten auf die Gesamtkosten einer Sanierung auswirken und wie das finanziert wird, ist nicht einfach zu beantworten, da eine verkürzte Sanierungsdauer gleichzeitig zu geringeren Gesamtkosten führen kann. Der Zusammenhang (vgl. **Abb. 5**) zwischen steigenden Erkundungskosten bei sinkenden Sanierungskosten ist in der Praxis lange bekannt, aber oft schwer umsetzbar, da dem Finanzbudget gerade in der Anfangsphase einer Sanierung Grenzen gesetzt sind. Bei der Entdeckung eines Grundwasserschadens fehlt oftmals die Zeit zu einer um-

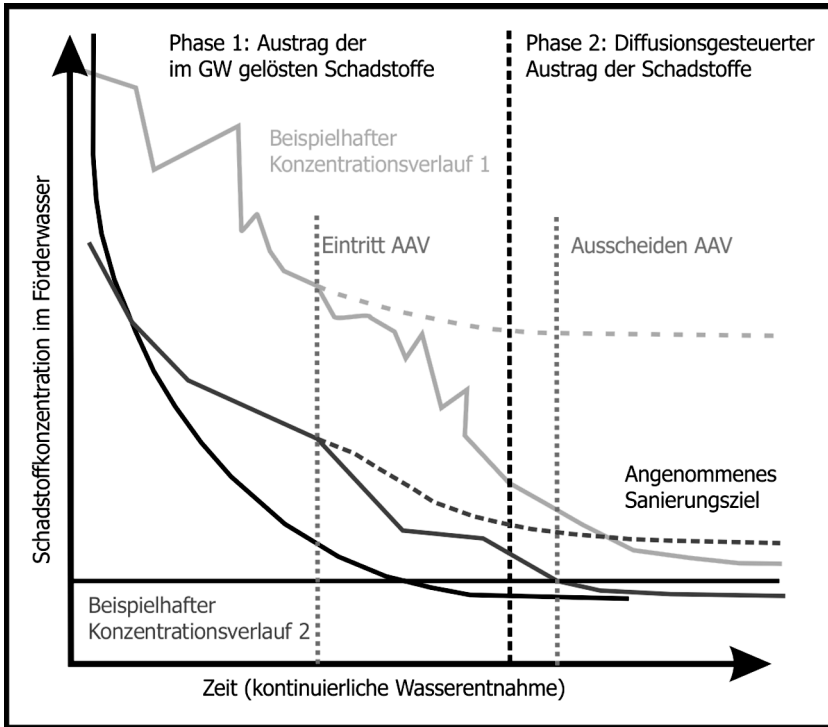
fassenden Ersterkundung, weil umgehender Handlungsbedarf zur Vermeidung weiterer Schäden beispielsweise wegen der Trinkwasserversorgung, besteht (Zeisberger 2015; Zeisberger et al. 2009; Wabbels et al. 2008; Russel und Rabideau 2000).

- 42 Die Auswertung ergab, dass für die Sofortmaßnahmen in den vorliegenden Sanierungsprojekten ein einfaches und lange bekanntes Verfahren eingesetzt wurde, im Allgemeinen das P&T-Verfahren. Ebenso entwickeln sich die Messstellennetze und Analyse von Messdaten in den Projekten erst in deren Verlauf, sodass erkennbar wird, welche Anpassungen an die jeweilige Altlast notwendig sind (Zeisberger et al. 2009; US EPA 2002; Godin et al. 2004; US EPA 1996). Dabei wurde ein großer Unterschied in der Bearbeitungsqualität verschiedener Gutachter und Bearbeiter festgestellt. So weisen manche Gutachterbüros sehr genau aus, welche Verfahren zur Berechnung unterschiedlicher Parameter genutzt wurden, aber nicht alle Gutachten belegen ihre Berechnungen und andere Auswertungen nachvollziehbar. Eine übersichtliche, logische und klar erkennbare Aufarbeitung der gewonnenen Daten hätte in den betrachteten Projekten allerdings zu weniger Aufwand bei Projektübernahme geführt (Bewertung der vorliegenden Daten, Prüfung der Anlagendimensionierung, etc.). Beispielsweise wurden in einem Fall die Angaben zur Schadstoffkonzentration in der falschen Größenordnung aufgeführt.
- 43 Generell ist die Dokumentation der Untersuchungsergebnisse während des Projektverlaufs problematisch. Die Erfassung der Altlast und die erste Gefährdungsabschätzung liegen zwar vor, sind aber häufig nicht in allen Untersuchungsschritten nachvollziehbar. So liegen beispielsweise Messdaten, die die Datenbasis darstellen, auf deren Grundlage die Gutachten erstellt wurden, meist nicht vor. Bei Übernahme durch den Projektträger ist dieser jedoch auf die Qualität und den vollen Umfang der Gutachten und Berichte angewiesen. Allerdings können der fachliche Inhalt und die Schlussfolgerungen der Bearbeiter nicht immer lückenlos nachvollzogen werden. Der Informationsumfang von Gutachten ist häufig ein Grund für einen Gutachterwechsel bei Projektübernahmen. Gerade bei einem Projektträgerwechsel wären aber auch die umfassende Kenntnis der fachlichen Bearbeitungsabläufe bzw. weitere Informationen zum Vorgehen hilfreich. Eine Bewertung der frühen Projektphase zur Umsetzung der Sofortmaßnahme und der weitergehenden Sanierung ist wegen der sehr unterschiedlichen Gutachtenqualitäten schwierig und kann nicht bis ins Detail bewertet werden. Gegen Ende der Projektträgerschaft werden tendenziell eher passive Verfahren (z. B. MNA, Reaktive Wände) genutzt, die als wesentlich kostengünstiger

angesehen werden. Dies ist allerdings verfahrensabhängig und kann bei mehrfacher Wiederholung solcher Maßnahmen wie beispielsweise zur Unterstützung des natürlichen Schadstoffabbaus sich als sehr kostenintensiv herausstellen. In der überwiegenden Zahl der Projekte erfolgt eine Adaption der Sanierung an veränderte Standortparameter bzw. Sanierungsergebnisse (Meise 2014; LUBW 2014; Bayer et al. 2004; Langguth und Voigt 2004).

Klar erkennbar ist in den Entwicklungen der Grundwasserschäden über alle ausgewerteten Projekte hinweg, dass sich mit Wechsel der Projektträgerschaft der Sanierungsverlauf ändert (**Abb. 6**). In der Grafik zeigen der obere und der untere Beispielkonzentrationsverlauf der Schadstoffkonzentrationen typische, in den betrachteten Projekten beobachtete Entwicklungen (gezackte Kurve). Nach Eintritt des Projektträgers zeigen beide Ganglinien (Konzentrationsverlauf 1 und 2) steilere Abnahmen der Schadstoffkonzentration. Diese Schadstoffentwicklung geht im Wesentlichen auf die erfolgten Anpassungen im Sanierungsverfahren, insbesondere die Herdsanierungen zurück. Die gestrichelten Kurvenverläufe (Konzentrationsverlauf 1 und 2) zeigen ein angenommenes Schadensniveau bei unveränderter Altlastensanierung mit Fortführung der vor Eintritt des Projektträgers genutzten Verfahren. Die obere Konzentrationsverlaufskurve zeigt, dass, die Beteiligung des Projektträgers, entsprechend der Vorgaben aus den ÖRV, auch vor Erreichen des Sanierungsziels enden kann (horizontale Linie). 44

Abb. 6: Beispielsituationen des Sanierungsstandes bei Ausscheiden des AAV nach der Datenlage der vorliegenden Sanierungsprojekte



- 45 Im ersten Beispiel (Konzentrationsverlauf 1) ist eine Sanierung mit deutlich schwankenden Sanierungsergebnissen dargestellt. Teilweise mussten mehrere Sanierungsanpassungen durchgeführt werden, um das Sanierungsziels zu erreichen. Der Projektträger führt in den meisten Fällen (bezogen auf die betrachteten Projekte) zum Ende seiner Beteiligung nochmals eine Verfahrensanpassung durch, um den Kommunen ein geordnetes Sanierungsprojekt mit einer Abschlussperspektive zu übergeben. Im zweiten Fall (Konzentrationsverlauf 2) sinkt die Schadstoffkonzentration bereits in der Bearbeitungszeit des Projektträgers unter das vorgegebene Sanierungsziel. Die Altlast wird als saniert angesehen und die Nachsorgephase mit Überwachung der Nachhaltigkeit der Sanierung kann eingeleitet werden.

Die typischen Sanierungsverläufe in **Abb. 6** beinhalten fachlich eine gewisse Unsicherheit, die auch in der Praxis eine Nachsorge für jedes Sanierungsprojekt notwendig macht. Denkbar ist beispielsweise, dass sich die Schadstoffkonzentration asymptotisch an den gesetzten Zielwert annähert, ihn aber nicht erreicht. Informationen über die Ursache dafür liegen in den betrachteten Projekten gar nicht oder nur partiell vor. Zur Klärung, ob die Schadstoffkonzentrationen in Zukunft auf dem in **Abb. 6** angedeuteten niedrigen Niveau verbleiben, wäre ein Abschaltversuch notwendig. In der Bearbeitungshistorie der Sanierungsprojekte ist kein iterativer Brunnenbetrieb zu erkennen (Stammdaten). Vor Ende der Altlastensanierung müssten die Sanierungsbrunnen folglich probeweise abgeschaltet werden, was aber das Risiko einer erneuten Verlängerung der Sanierungszeit beinhaltet. Aus Gesprächen mit den Projektleitern und Bearbeitern der betrachteten Sanierungsprojekte geht hervor, dass im Übergang zu der Nachsorge die Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser wieder ansteigen können und die Sanierung fortgesetzt werden muss. 46

## 5 Zusammenfassung

Die Art und Ausprägung der Bindung des jeweiligen Schadstoffes an die Bodenmatrix beeinflusst die Schadstofffracht im Förderstrom einer P&T-Grundwassersanierung. Neben den Verteilungskoeffizienten stellt die Förderrate der Grundwassersanierungssysteme bzw. das entnommene Wasservolumen pro Zeit den zweiten wesentlichen Parameter bei der Dimensionierung einer Sanierungsanlage dar. Mögliche Entnahmeraten über Brunnen hängen von den hydrogeologischen Grundlagendaten ab, die zur Bemessung von Vertikalfilterbrunnen bekannt sein müssen. Des Weiteren beeinflusst die Hydrochemie des Grundwasserleiters (GWL) zum einen das Schadstoffverhalten und zum anderen die Lebensdauer eines Vertikalfilterbrunnens, sodass auch diese Parameter untersucht werden sollten. Neben fachlichen Aspekten bestimmen insbesondere die Faktoren der Projekthistorie (Stand der Technik, prognostizierte Laufzeit, Änderungen von Gesetzen, Normen und Vorgaben) die jeweilige Sanierung einer Altlast im Allgemeinen und auch die eines ausgewählten Sanierungsprojektes im Einzelfall. 47

In einem Projektsteckbrief sind zunächst alle wichtigen Informationen zu den Projektstandorten, wie z. B. die GWL-Eigenschaften, die Hydrochemie, der Projektverlauf, die Bedeutung der P&T-Maßnahme im Projekt und die Projektüberwachung, zusammengefasst worden. Aus dieser tabellarischen Zusammenfassung der Gesamtprojekte konnten gezielte Abfragen zu den einzelnen Sanierungsverfahren, Abfolgen in der Projektbearbeitung oder 48

zur Ermittlung der Grundlagenparameter gemacht werden. Darüber hinaus wurde der gesamte Sanierungsverlauf der betrachteten Grundwassersanierungsprojekte nachvollziehbar und konnte in ausführlichen Projektverlaufsplänen dargestellt werden. Diese Auswertung ermöglicht es, die einzelnen Projektschritte sichtbar zu machen und über die Projektgrenzen hinweg miteinander zu vergleichen. Fachlich basiert die Bewertung der Erkundung auf Auswertetabellen, die die Bereiche Hydrogeologie, Hydrochemie, Schadstoffausbreitung/Schadstoffeigenschaften, Sanierungsziele, Sanierungskonzept, Monitoring und Nachsorge umfassen. Die Projektverlaufspläne dienen, neben der zeitlichen Einordnung und dem generellen Vergleich der Projektverläufe, der Darstellung des Zusammenwirkens von fachlicher und organisatorischer Projektebene.

- 49 Die Auswertung der Projektverläufe ergab, dass sich die Projekte nach den Bearbeitungsschritten zu zwei verschiedenen Projektverlaufgruppen zusammenfassen lassen. Im Wesentlichen besteht das Unterscheidungskriterium in einer über die ganze Projektlaufzeit kontinuierlichen Bearbeitung, die für andere Grundwassersanierungen, die längere Lücken in der Bearbeitungskontinuität aufweisen, nicht gegeben ist. Durch die Darstellung der Projektverlaufspläne in einem gemeinsamen Diagramm wird der Zusammenhang zwischen strategischer und fachlicher Projektbearbeitung klar erkennbar. So ändert sich mit der neuen Projektträgerschaft in allen ausgewerteten Projekten auch die fachliche Ausrichtung der Grundwassersanierungsmethode bzw. der Sanierung generell. Deshalb beziehen sich die Auswertetabellen zum einen auf die Erkundung vor der organisatorischen Übernahme der Projekte durch den Projektträger und zum anderen auf die durch diesen eingeleiteten Nacherkundungen.
- 50 Im Ergebnis wird die Altlast durch den neuen Projektträger umfassender untersucht, um erkannte Wissenslücken zu beheben, die die weitere Sanierung behindern. Die nacherkundeten Informationen ermöglichen es, bestehende Sanierungstechniken zu optimieren und neue Sanierungsverfahren zu etablieren. Dies entspricht dem erklärten Ziel eines Trägerwechsels zur Untersuchung alternativer Sanierungsverfahren in den einzelnen Grundwassersanierungsprojekten. Das Ergebnis der neuerlichen Untersuchungen verändert das bisherige Sanierungskonzept, meist zu einer Herdsanierung hin. Beim Ausscheiden des Projektträgers bzw. kurz davor, ist oftmals eine erneute Anpassung zu innovativen Sanierungsverfahren feststellbar. Neben der Sanierungsanpassung beeinflusst der Projektträgerwechsel auch den Monitoringprozess im jeweiligen Sanierungsprojekt. Der Umfang und die Auswertung der Überwachungsergebnisse werden stan-



dardisiert und in den Archivunterlagen nachvollziehbar. Ein Problem stellt weiterhin die Dokumentation der Monitoringdaten und deren Übergabe an die Kommunen bzw. von diesen an den neuen Projektträger dar. Die vorliegenden Projektinformationen deuten darauf hin, dass bei jedem Wechsel umfangreiche Datensätze verloren gehen, die für eine Synopse bei den bearbeitenden Ingenieurbüros oder den Projektträgern jedoch vorliegen müssten.

Indem ein neuer Projektträger die Sanierung restrukturiert und den Erkenntnisumfang zur konkreten Altlast deutlich erhöht, kann er die Sanierung fachlich voran bringen. Das zeigen die Sanierungsentwicklungen aller Projekte. Zudem werden im Zuge der Neuerung Wissenslücken geschlossen und die kostenintensiven P&T-Maßnahmen dadurch optimiert. Die Projektverlaufspläne zeigen, dass aufgrund des strategischen Einsatzes der öffentlich-rechtlichen Verträge ein fachlicher Bearbeitungsfortschritt entsteht. Bei mehreren betrachteten Sanierungsprojekten werden beispielsweise aufgrund der Anpassung der Sanierungsbrunnen kleinere, bisher übersehene Schadensherde miterfasst oder die Reinigungsleistung erhöht. 51

Dies unterstreicht noch einmal die große Bedeutung der Ersterkundung und des daraus resultierenden Projektlaufzeit. So gelingen dem Projektträger mitunter innerhalb weniger Jahre deutliche Fortschritte bei der Sanierung, die vorher nicht realisierbar waren. Der sich in den betrachteten Sanierungen einstellende Sanierungserfolg (Schadstoffaustrag, Konzentrationsreduktion, etc.) übersteigt im Regelfall die bis dahin erreichten. Die Dokumentation der Nacherkundungsergebnisse und der erreichten Sanierungserfolge ist jedoch kritisch zu betrachten, da eine zentrale Datenbank für jedes Sanierungsprojekt mit allen relevanten Gutachten, Berichten und Messergebnissen bisher fehlt.

Auf Basis der Ergebnisse ist zu fordern, dass künftig die Ersterkundung finanziell besser ausgestattet werden sollte, da wichtige Grundlagenparameter dann nicht zu einem späteren Zeitpunkt deutlich teurer ermittelt oder überprüft werden müssten. Dadurch könnten bereits zu Beginn der Sanierung optimale Sanierungsverfahren ausgewählt werden. Die strukturierte Herangehensweise des Verbandes als Projektträger ist sehr zielführend. In diesem Zusammenhang sollte über eine Ausweitung der (finanziellen) Möglichkeiten nachgedacht werden, sodass er grundsätzlich bereits zu Beginn bei staatlich sanierten Altlasten tätig werden kann. Darüber hinaus würde eine Verpflichtung aller Beteiligten, ihre Daten an einem zentralen Ort zu hinterlegen, vieles in der Bearbeitung vereinfachen. Eine umfang- 52

reichere Analyse von vergleichbaren Projekten würde zudem eine statistische Auswertung z. B. hinsichtlich Mitteleinsatz in Relation zum Sanierungsziel ermöglichen. Generell sollte eine Literaturlauswertung stärker anhand von Standortfaktoren gruppiert werden, da nur bei einer ausreichenden Anzahl vergleichbarer Projekte eine statistische Auswertung erfolgen kann, die so bisher leider noch nicht möglich ist. Die resultierenden Projektgruppen müssten zusätzlich eine ausreichende Anzahl an Sanierungen für eine valide statistische Auswertung beinhalten.

## 6 Literatur

- AAV (Hg.) (2013): Jahresbreicht 2013. – Zukunftsaufgabe Flächenrecycling. – Jahresbericht, Verband für Flächenrecycling und Altlastensanierung. – 79 S.; Hattingen.
- Alloway, B. J., Ayres, D. C. und Förstner, U. (1996): Schadstoffe in der Umwelt. – Chemische Grundlagen zur Beurteilung von Luft-, Wasser- und Bodenverschmutzungen. – Spektrum-Lehrbuch. – 382 S.; Heidelberg (Spektrum Akad. Verl.).
- Appelo, C. A. J. & Postma, D. (2005): Geochemistry, groundwater and pollution.- 2. Aufl., 649 S.; Leiden (Balkema).
- Balke, K.-D. (2000): Grundwassererschließung. – Grundlagen, Brunnenbau, Grundwasserschutz, Wasserrecht. – Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 4. – 740 S., 81 Tab.; Berlin (Borntraeger).
- Bayer, P. & Finkel, M. (2006): Life cycle assessment of active and passive groundwater remediation technologies. – Journal of contaminant hydrology, 83 (3–4): 171–199; Amsterdam (Elsevier).
- Bayer, P., Finkel, M. und Teutsch, G. (2004): Kombinierte „Pump-and-treat“-Barrieren-Systeme, Teil I: Minimierung der Grundwasserentnahmerate durch hydraulische Zusatzmaßnahmen. – Grundwasser, 9 (3): 173–180.
- Bayer, P., Finkel, M. und Teutsch, G. (2005): Cost-optimal contaminant plume management with a combination of pump-and-treat and physical barrier systems. – Groundwater Monitoring & Remediation, 25 (2): 96–106; Hoboken (Wiley-Blackwell).
- Biethahn, J., Mucksch, H., & Ruf, W. (2004): Ganzheitliches Informationsmanagement – Grundlagen, Bd 1. – 488 S., München (De Gruyter Oldenbourg).

- Blomquist, K. (2005): Erforderliche Planungsgrundlagen und aktueller Stand und Grenzen von Verfahren der Grundwassersanierung. – 37 S., Bd. 45. In: FRANZIUS, V., ALTENBOCKUM, M. und GEROLD, T.: Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement (HdA); Berlin (C. F. Müller).
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), BGBl. I S. 212, zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 31 vom 24.02.2012 (BGBl. I S. 1554).
- Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), BGBl. I S. 502, zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212).
- Chang, D. Y. (1996): Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. – European journal of operational research, 95 (3): 649–655.
- Fetter, C. (2008): Contaminant hydrogeology, 2. Aufl. – 500 S.; Long Grove (Waveland).
- Gesetz zur Änderung des Altlastensanierungs- und Altlastenaufbereitungsverbandsgesetzes – AAVG und zur Änderung wasserverbandlicher Vorschriften (Änderung AAVG), GV. NRW. 2013 S. 148 vom 21.03.2013.
- Godin, J., Ménard, J.-F., Hains, S., Deschênes, L. und Samson, R. (2004): Combined Use of Life Cycle Assessment and Groundwater Transport Modeling to Support Contaminated Site Management. – Human and Ecological Risk Assessment, 10 (6): 1099–1116; Abingdon (Taylor & Francis).
- Goßmann, J. (2004): Grundwassersanierung in Deutschland – eine aktuelle Auswertung bundesweiter Sanierungsmaßnahmen. – AAV Fachtagung Grundwassersanierung; Hattingen, 11.11.2004.
- HLUG (Hg.) (2005a): Arbeitshilfe zu überwachten natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen im Grundwasser (monitored natural attenuation MNA). – Handbuch Altlasten, Nr. 8.1, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. – 40 S.; Wiesbaden.
- HLUG (Hg.) (2005b): Arbeitshilfen zur Überwachung und Nachsorge von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten. – Handbuch Altlasten, Nr. 8.2, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. – 138 S.; Wiesbaden.
- HLUG (Hg.) (2013): Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen. – Handbuch Altlasten, Nr. 3.7, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. – 58 S.; Wiesbaden.

- HLOG (Hg.) (2014a): Erfassung von Altstandorten in Hessen. – Ein Leitfaden zur Ersterfassung und Standortprüfung. – Handbuch Altlasten, Nr. 2.2, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. – 30 S.; Wiesbaden.
- ITVA (Hg.) (1997): Sanierungsuntersuchung. – ITVA-Arbeitshilfe: H1, Nr. 5, Ingenieurtechnischer Verband Altlasten. – 25 S.; Berlin.
- ITVA (Hg.) (1999): Hydraulische Maßnahmen. – ITVA-Arbeitshilfe: H1, Nr. 10, Ingenieurtechnischer Verband Altlasten. – 26 S.; Berlin.
- ITVA (Hg.) (2003): Nachsorge und Überwachung von sanierten Altlasten. – ITVA-Arbeitshilfe: H1, Nr. 1, Ingenieurtechnischer Verband Altlasten. – 71 S.; Berlin.
- ITVA (Hg.) (2010): Innovative In-situ-Sanierungsverfahren. – ITVA-Arbeitshilfe: H1, Nr. 13, ITVA. – 122 S.; Berlin.
- ITVA (Hg.) (2012): Grundwasseraufbereitung. – ITVA-Arbeitshilfe: H1, Nr. 14, Ingenieurtechnischer Verband Altlasten. – 110 S.; Berlin.
- Kaplan, R. S. und Norton, D. P. (1996). Translating strategy into action – The Balanced Scorecard. – 336 S; Harvard Business Press.
- Kern, J. (2008): Ishikawa Diagramme. Ursache-Wirkungs-Diagramme als Qualitätswerkzeuge, München, GRIN Verlag, <http://www.grin.com/de/e-book/123385/ishikawa-diagramme-ursache-wirkungs-diagramme-als-qualitaetswerkzeuge>.
- Kirfel, N. & Aaltenbockum, M. (2010): Datenanalyse, Risiko- und Potentialabschätzung zur Vermeidung von Verblockung und Verockerung bei Grundwassersanierungsanlagen zur Aufbereitung altlastenrelevanter Grundwasserschäden. – 37 S., Bd. 61. In: FRANZIUS, V., ALTENBOCKUM, M. und GEROLD, T.: Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement (HdA); Berlin (C. F. Müller).
- LABO (Hg.) (2009): Berücksichtigung der natürlichen Schadstoffminderung bei der Altlastenbearbeitung. – Positionspapier, Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) – Altlastenausschuss (ALA). – 33 S.; Dresden.
- Langguth, H. R. & Voigt, R. (2004): Hydrogeologische Methoden, 2. Aufl. – 1005 S., 304 Abb.; Berlin (Springer).
- LANUV NRW (Hg.) (2009): Hinweise zur Sanierungsentscheidung für Herdsanierungsmaßnahmen bei Altlasten im Hinblick auf den Grundwasserpfad. – Erkenntnisse und Empfehlungen aus einer Recherche durchgeführter Herdsanierungsmaßnahmen, LANUV Arbeitsblatt 10. –

- Arbeitsblatt, Nr. 10, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. – 36 S.; Recklinghausen.
- LfUG SN (Hg.) (2003a): Handbuch zur Altlastenbehandlung. – Teil 7: Detailuntersuchung. – Handbuch zur Altlastenbehandlung, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. – 374 S.; Dresden.
  - LfUG SN (Hg.) (2003b): Handbuch zur Altlastenbehandlung. – Teil 8: Sanierungsuntersuchung. – Handbuch zur Altlastenbehandlung, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. – 117 S.; Dresden.
  - LUA NRW (Hg.) (2000): Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzen-Kosten-Aspekten. – Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Nr. 11, Landesumweltamt NRW. – 261 S.; Essen.
  - LUA NRW (Hg.) (2003a): Analysenverfahren und Parameter zur Untersuchung von Abfällen, Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen. – Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Nr. 38, Landesumweltamt NRW (LUA NRW). – 161; Essen.
  - LUA NRW (Hg.) (2003b): Fallrecherche NRW – Bundeseinheitliche Behandlung von GW-Verunreinigungen. – Bericht im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen, unveröffentlicht, Landesumweltamt NRW.
  - LUA NRW (Hg.) (2003c): Vollzugshilfe zur Gefährdungsabschätzung „Boden-Grundwasser“. – Hinweise zur Untersuchung und Bewertung von Grundwassergefährdungen durch Altlasten nach Bodenschutzrecht. – Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Nr. 17, Landesumweltamt NRW. – 189 S.; Essen.
  - LUA NRW (Hg.) (2006): Überwachung, Nachsorge und Eigenkontrolle bei der Altlastenbearbeitung. – Ein Leitfaden für die praktische Arbeit in Nordrhein-Westfalen. – Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Nr. 24, Landesumweltamt NRW. – 218 S.; Essen.
  - LUBW (Hg.) (2010): Prüfung und Bewertung langlaufender Pump-and-Treat-Sanierungen. – Handlungsempfehlung, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. – 32 S.; Stuttgart.
  - LUBW (Hg.) (2012a): Altlastenbewertung. – Priorisierungs- und Bewertungsverfahren Baden-Württemberg. – Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Nr. 43, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. – 118 S.; Stuttgart.

- LUBW (Hg.) (2012b): Ermittlung fachtechnischer Grundlagen zur Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung von langlaufenden Pump-and-Treat-Maßnahmen. – Entwicklung einer standardisierten Vorgehensweise. – Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Nr. 44, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. – 80 S.; Stuttgart.
- LUBW (Hg.) (2014): Integrales Altlastenmanagement. – Leitfaden und Handlungshilfe zur integralen Untersuchung und Sanierung von Altlasten. – Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. – 90 S.; Karlsruhe.
- Macdonald, J. A. & Kavanaugh, M. C. (1994): Restoring Contaminated Groundwater: An Achievable Goal? – Environmental Science Technology, 8 (28); Washington (ACS Publications).
- Mathews, T. (2003): Gefährdungsabschätzung nach den Vorgaben der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. – 39 S., Bd. 33. In: FRANZIUS, V., ALTENBOCKUM, M. und GEROLD, T.: Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement (HdA); Berlin (C. F. Müller).
- Meiners, H. G. (2004): Möglichkeiten der Optimierung von laufenden Grundwassersanierungsmaßnahmen. – Fachtagung Grundwassersanierung; Hattingen, 05.11.2004.
- Meise, B. (2014b): Kostenreduzierung bei Grundwassersanierungen. – Auf der Suche nach Einsparmöglichkeiten. – Altlasten-annual, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. – 132 S; Wiesbaden.
- MUNLV NRW (Hg.) (2004): Altlastensanierung in Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Umwelt, Natur, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW. – 115 S.; Düsseldorf.
- Neumaier, H. & Weber, H. H. (1996): Altlasten. – Erkennen, Bewerten, Sanieren, 3. Aufl. – 519 S., 144 Abb.; Berlin (Springer).
- Odenaß, M., Roth, A. und Simon, S. (2003): Überwachung, Eigenkontrolle und Nachsorge nach BBodSchV. – 30 S., Bd. 35. In: FRANZIUS, V., ALTENBOCKUM, M. und GEROLD, T.: Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement (HdA); Berlin (C. F. Müller).
- Russel, K. T. & Rabideau, A. J. (2000): Decision Analysis for Pump-and-Treat Design. – Groundwater Monitoring & Remediation: 159–168; Hoboken (Wiley-Blackwell).

- Saaty, T. L. (2004): Decision making – the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). – Journal of systems science and systems engineering, 13 (1): 1–35.
- Stupp, H. D., Bakenhus, A., Stauffer, R. und Lorenz, D. (2005): Sanierungsoptimierung von CKW-Grundwasserschäden – Möglichkeiten zur Reduzierung der Sanierungskosten-. – altlasten spektrum (6): 313–322; Berlin (Erich Schmidt Verlag).
- UBA (Hg.) (2007): GWKON – Eine Auswertung von durchgeführten Grundwassersanierungen der Länder und Ansätze zur Optimierung zukünftiger Maßnahmen, Umweltbundesamt (UBA). – 279; Dessau.
- US EPA (Hg.) (2002): Elements for Effective Management of Operating Pump and Treat Systems, US EPA. – 22 S.; Cincinnati.
- US EPA (Hg.) (1996): Pump-and-Treat Ground-Water Remediation. – A Guide for Decision Makers and Practitioners, United States Environmental Protection Agency (US EPA). – 90 S.; Washington.
- Wabbels, D., Teutsch, G. und Themenverbund V1 (2008): Natürliche Schadstoffminderungsprozesse bei mineralölkontaminierten Standorten. – Methoden, Empfehlungen und Hinweise zur Untersuchung und Beurteilung, Leitfaden, KORÄ. – 238 S., Universität Tübingen und DE-CHEMA (Hg.); Tübingen.
- Zeisberger, V. (2015): Sanierungsende in Sicht? – Gefahrenlage und Verhältnismäßigkeit bei langlaufenden hydraulischen Grundwassersanierungen. – WLB – Wasser, Luft und Boden, Terra Tech (2): 2–5; Mainz (Ver-einigte Fachverlage).
- Zeisberger, V., Bernhardt, W., Feldmann, M.-A., Meise, B., Strömmer, H. und Wolf, M. (2009): Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen in Hessen. – 26 S., Bd. 58. In: FRANZIUS, V., ALTEN-BOCKUM, M. und GEROLD, T.: Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement (HdA); Berlin (C. F. Müller).