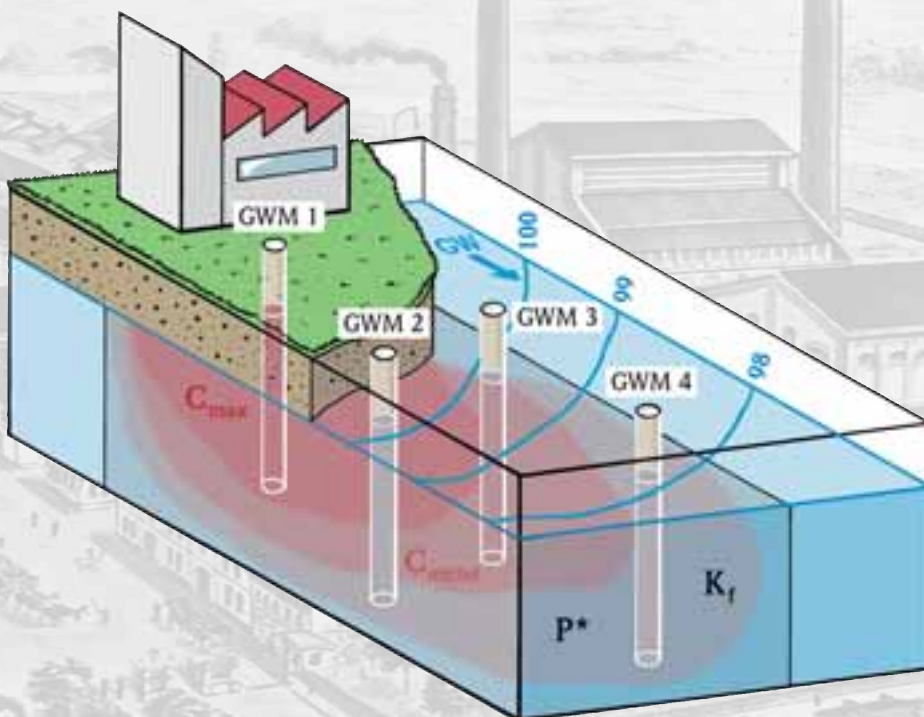




Handbuch Altlasten

# Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen

Band 3, Teil 7



Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 7

# Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen

Wiesbaden 2008

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

## Impressum

Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 7

ISBN 978-3-89026-814-9

### Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen

Die Erarbeitung dieser Arbeitshilfe wurde von einer Arbeitsgruppe begleitet, der folgende Mitglieder angehörten:

Wolfgang Bernhardt	Regierungspräsidium Darmstadt
Marie-Anne Feldmann	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Thomas Golla	Kreisausschuss des Hochtaunuskreises
Werner Görisch	Regierungspräsidium Darmstadt
Fritjof Grimm	Regierungspräsidium Darmstadt
Jörg Hartmann	Regierungspräsidium Kassel
Dr. Klaus Haeckel	Regierungspräsidium Darmstadt
Dr. Dieter Kämmerer	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Berthold Meise	Regierungspräsidium Darmstadt
Tilman Oerter	Regierungspräsidium Gießen
Holger Strömmer	Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Michael Wolf	Regierungspräsidium Darmstadt
Volker Zeisberger	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Obmann)

Hintergrundbild: Heddernheimer Kupferwerk und Süddeutsche Kabelwerke AG  
Bildnachweis: Denkmalamt Stadt Frankfurt am Main

Grafik: Schadstofffahne im Grundwasser mit Parametern zur Einstufung der Grundwasserverunreinigung  
Idee: Michael Wolf; Umsetzung: Grafikdesign Julia Beltz

Herausgeber, © und Vertrieb:  
Hessisches Landesamt  
für Umwelt und Geologie  
Rheingaustraße 186  
65203 Wiesbaden

Telefax: 0611 6939113  
E-Mail: [vertrieb@hlug.de](mailto:vertrieb@hlug.de)  
Internet: [www.hlug.de](http://www.hlug.de)

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

# Inhalt

Vorwort .....	4
1 Einleitung .....	7
2 Rechtsgrundlagen der Grundwassersanierung .....	9
3 Schädliche Grundwasserverunreinigung .....	10
3.1 Allgemeines .....	10
3.2 Bewertungskriterien .....	13
3.2.1 Gelöste Menge im Grundwasser .....	13
3.2.2 Fracht im Grundwasser .....	17
3.2.3 Bewertungsmatrix .....	20
3.3 Weitere Kriterien .....	21
3.4 Prüfschema als Entscheidungshilfe für Grundwassersanierungen .....	23
3.5 Anwendungsbeispiel .....	25
4 Verhältnismäßigkeitsprüfung bei Sanierungen .....	29
5 Sanierungsziel .....	31
6 Optimierung von Grundwassersanierungen .....	32
7 Beendigung von Grundwassersanierungen .....	33
8 Fallbeispiele .....	35
Anhänge	
Anhang 1 Kriterien zur Beurteilung einer schädlichen Grundwasserverunreinigung .....	39
Anhang 2 EXCEL-Arbeitsblatt .....	41
Anhang 3 Erläuterungen zum EXCEL-Arbeitsblatt von Anhang 2 .....	42
Anhang 4 Hinweise zur Anordnung von Stromröhren .....	44
Anhang 5 Grafische Auswertung von 35 Praxisfällen .....	48
Anhang 6 Stand der Technik bei der Grundwasserreinigung .....	49
Anhang 7 Einleitung von Hilfsstoffen in das Grundwasser bei In-situ-Sanierungen .....	50
Anhang 8 Ableitung von Grundwasser – Wiederversickerung, Einleitung in Abwasseranlagen und oberirdische Gewässer .....	51
Anhang 9 Geringfügigkeitsschwellenwerte der GWS-VwV .....	54
Literatur .....	57

## Vorwort



Die Bewahrung der natürlichen Lebensgrundlagen, die schonende Nutzung der natürlichen Ressourcen und der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen sind wichtige umweltpolitische Ziele. Einen großen Beitrag, die Ressource Boden vor zunehmender Inanspruchnahme zu schützen, können sowohl die Sanierung als auch die Wiedernutzung von Altflächen und Altlasten leisten. Diesen Anforderungen wird im Bundes-Bodenschutzgesetz, dem Hessischen Altlasten- und Bodenschutzgesetz sowie dem Hessischen Wassergesetz umfassend Rechnung getragen.

Sauberes Grundwasser ist wesentlich für die öffentliche Wasserversorgung, für uns alle hat es eine überragende Bedeutung. Vorhandene Schadensfälle sind daher nach Möglichkeit so zu sanieren, dass von ihnen keine Gefahr mehr ausgeht. Wichtige Regelungen hierzu enthält die (hessische) Verwaltungsvorschrift zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen (GWS-VwV).

Um diese fachlich zu konkretisieren und ihre praktische Umsetzung zu optimieren, wurde eine behördeninterne Arbeitsgruppe eingerichtet. Mit dieser Arbeitshilfe liegt nun das fundierte und, wie ich meine, auch ausgesprochen praxistaugliche Ergebnis der Arbeitsgruppe vor. Hilfreich erscheint mir beispielsweise, dass dort die vielfältigen Kriterien zur Bewertung eines Grundwasserschadens übersichtlich zusammengestellt und erläutert werden. Auch die in der Praxis zum Teil kontrovers diskutierte Frage, ob eine Sanierung trotz Nichterreichens eines Sanierungsziels abgeschlossen werden kann, wird umfassend behandelt.

Bei jeder Grundwasserverunreinigung ist im Einzelfall zu entscheiden, ob ein Sanierungsbedarf besteht. Wesentliche Kriterien hierfür sind die „Gelöste Schadstoffmenge im Grundwasser“ und die „Fracht im Grundwasser“. Beide Kriterien fließen in eine Bewertungsmatrix ein, mit der Grundwasserverunreinigungen fachlich beurteilt werden können. Die Bewertungsmatrix, die ggf. noch durch weitere einzelfallspezifische Kriterien ergänzt werden muss, unterstützt die Behörde bei ihrer Einzelfallentscheidung über den erforderlichen Handlungsbedarf.

Ich freue mich, Ihnen die Arbeitshilfe vorstellen zu können, die in der Reihe „Handbuch Altlasten“ vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie herausgegeben wird. Sie soll in erster Linie für die Mitarbeiter der hessischen Umweltverwaltung, aber auch für die mit der Bearbeitung von Schadensfällen befassten Sachverständigen eine nützliche Hilfe sein.

Ich danke den Mitgliedern der Arbeitsgruppe und bin überzeugt, dass die Arbeitshilfe nicht nur in Hessen einen festen Platz bei der Bearbeitung von Grundwasserschadensfällen einnehmen wird.

A handwritten signature in blue ink that reads "W. Dietzel". The signature is fluid and cursive.

Wilhelm Dietzel  
Hessischer Minister für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz

## Vorwort



Bodenverunreinigungen, wie sie für Altstandorte und Altablagerungen typisch sind, führen häufig auch zu einer Verunreinigung des Grundwassers. Einerseits genießt der Schutz des Grundwassers in Deutschland einen sehr hohen Stellenwert. Andererseits ist die Sanierung von verunreinigtem Grundwasser oftmals sehr aufwändig und mit hohen Kosten verbunden. Den Behörden stellen sich daher zwei wichtige Fragen: Liegt eine schädliche Grundwasserunreinigung vor, und muss das Grundwasser deshalb saniert werden?

Bei der Beurteilung von Grundwasserschäden lag das Augenmerk in der Vergangenheit vor allem auf den Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser. Weitere wichtige Aspekte wie die abströmende Schadstofffracht und die im Grundwasser und Boden vorhandene Schadstoffmenge wurden oft nicht berücksichtigt, da hierzu keine konkreten Regelungen vorlagen.

Mit der vorliegenden Arbeitshilfe wird ein neuer Weg beschritten, bei dem Schadstoffmenge und -fracht bei der Beurteilung eines Grundwasserschadens im Vordergrund stehen. Die Arbeitshilfe wurde von einer Arbeitsgruppe unter Federführung des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie im Zusammenwirken mit den Vollzugsbehörden erstellt. Die Praxistauglichkeit der Arbeitshilfe konnte durch deren Anwendung bei 35 hessischen Grundwasserschäden bestätigt werden. Den Vollzugsbehörden und Sachverständigen steht damit ein Instrument zur Verfügung, mit dem Größe und Sanierungsbedarf von Grundwasserschäden beurteilt werden können. Aussagen zu Sanierungszielen, der Optimierung und Beendigung von Sanierungen sowie zur Ableitung des gereinigten Grundwassers runden die Arbeitshilfe ab.



Dr. Thomas Schmid  
Präsident des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie

# 1 Einleitung

Ziel des Grundwasserschutzes ist die Reinhaltung des Grundwassers. Das Grundwasser ist als Bestandteil des Naturhaushalts und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu sichern (§ 1a WHG). Nach einer Entscheidung des Bundesverfassungsgerichts hat das Grundwasser eine kaum zu überschätzende Bedeutung für die öffentliche Wasserversorgung, es ist als knappes Gut für die Allgemeinheit von lebenswichtiger Bedeutung.

**Grundwasserschutz**

Wenn durch den unsachgemäßen Umgang mit wassergefährdenden Stoffen eine Grundwasserverunreinigung eingetreten ist, gelten für die Entscheidung über eine Grundwassersanierung die Vorgaben der Verwaltungsvorschrift zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen (GWS-VwV) [1].

**Geltungsbereich der GWS-VwV**

Ziel der vorliegenden Arbeitshilfe ist die Erläuterung und fachliche Konkretisierung der in der GWS-VwV genannten Ausführungen zu schädlichen Grundwasserverunreinigungen und Sanierungen bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Grundwasserschadensfällen.

**Ziel der Arbeitshilfe**

Der Schwerpunkt der Arbeitshilfe liegt bei den Fragestellungen

**Inhalt**

- Liegt eine schädliche Grundwasserverunreinigung (= Grundwasserschaden) vor?
- Ist die Sanierung einer schädlichen Grundwasserverunreinigung erforderlich?

Weiterhin werden in der Arbeitshilfe folgende Themen kurz behandelt:

- Sanierungsziele
- Optimierung und Beendigung von Sanierungen
- Stand der Technik
- Einleitung von Hilfsstoffen in das Grundwasser bei In-situ-Sanierungen
- Ableitung von Grundwasser in Abwasseranlagen und oberirdische Gewässer.

Bei der Prüfung, ob bei einer Altlast, einer schädlichen Bodenveränderung oder einer schädlichen Grundwasserverunreinigung ein Sanierungsbedarf besteht, sind vor allem die im Grundwasser gelöste Schadstoffmenge und die mit dem Grundwasser transportierte Schadstofffracht relevant. Die im Boden vorhandene Schadstoffmenge wird in dieser Arbeitshilfe nicht näher behandelt (s. Anhang 1, S. 39, unten). Die in der Arbeitshilfe beschriebenen Bewertungsmaßstäbe für die Schadstoffmenge und -fracht wurden anhand von 35 hessischen Schadensfällen auf Plausibilität geprüft. Die endgültige Entscheidung über den Handlungsbedarf bleibt stets eine Einzelfallentscheidung.

**Bewertungskriterien**

Die Arbeitshilfe richtet sich an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Behörden und Ingenieurbüros, die bei der Sanierung von schädlichen Grundwasserverunreinigungen beteiligt sind. Sie wurde von einer Arbeitsgruppe mit Vertretern des Umweltministeriums, der Regierungspräsidien und unteren Wasserbehörden sowie des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) erarbeitet.

**Adressaten des Handbuchs**

Bei aktuellen Schadensfällen, insbesondere Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen, ist die Arbeitshilfe nicht anwendbar. In diesen Fällen ist eine rasche Prüfung erforderlich, ob die Entstehung einer schädlichen Boden- oder Grundwasserverunreinigung zu befürchten ist. Falls ja, sind Sanierungsmaßnahmen (z. B. Bodenaushub) durchzuführen, bevor eine schädliche Grundwasserverunreinigung eingetreten ist.

**Hinweise zum Anwendungsbereich**

## Einleitung

Bei Kluftgrundwasserleitern ist die Anwendung der in der Arbeitshilfe beschriebenen Bewertungskriterien oft nicht möglich, da wichtige Informationen nicht oder nur unter hohem Aufwand ermittelbar sind. In diesen Fällen hat die Einzelfallbetrachtung ein noch höheres Gewicht.



## 2 Rechtsgrundlagen der Grundwassersanierung

Die Rechtsgrundlagen für die Sanierung des Grundwassers ergeben sich aus dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), dem Hessischen Altlasten- und Bodenschutzgesetz (HAltBodSchG), dem Hessischen Wassergesetz (HWG) und der Verwaltungsvorschrift zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen (GWS-VwV) [1–5].

**Regelwerke**

Zwischen Belastungen des Bodens und des Grundwassers besteht ein enger Zusammenhang. Vor In-Kraft-Treten des BBodSchG war die Bodensanierung im Wirkungspfad Boden–Grundwasser Teil des wasserrechtlichen Verfahrens, soweit es nicht nach § 13 Abs. 1 des früheren Hessischen Altlastengesetzes zur Altlastensanierung zählte. Seit In-Kraft-Treten des BBodSchG ist die Sanierung des Grundwassers Teil des bodenschutzrechtlichen Verfahrens. Das BBodSchG erweitert die Sanierung auf die Wirkungspfade Boden–Mensch und Boden–Nutzpflanze, die keine Bedeutung für das Grundwasser haben.

**Wirkungspfad  
Boden–Grundwasser**

Das BBodSchG ist nur auf den Boden (einschließlich der Bodenluft und der Bodenlösung) anwendbar, nicht aber auf das Grundwasser (§ 2 Abs. 1 BBodSchG). Für die Sanierung des Grundwassers gelten deshalb die Anforderungen des Wasserrechts (§ 4 Abs. 4 BBodSchG), in Hessen das HWG und die GWS-VwV. Die Anwendbarkeit der BBodSchV endet am Ort der Beurteilung (§ 4 Abs. 3 BBodSchV), bei der Beurteilung von Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers bleiben wasserrechtliche Vorschriften deshalb unberührt (§ 4 Abs. 7 BBodSchV).

**Abgrenzung von  
Bodenschutz- und  
Wasserrecht**

Wenn die Belastung des Grundwassers auf eine Verunreinigung des Bodens zurückzuführen ist (Bodenpassage), ergibt sich die Verpflichtung zur Sanierung aber aus dem BBodSchG (§ 4 Abs. 3 Satz 1: „... sind verpflichtet, den Boden und Altlasten sowie durch schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten verursachte Verunreinigungen von Gewässern so zu sanieren, dass ...“). Das Sanierungsverfahren mit der orientierenden Untersuchung und der Detailuntersuchung, die Sanierungsplanung, die Sanierungspflicht und die Nachsorge sind im BBodSchG und in der BBodSchV geregelt. Deshalb ergibt sich nach § 48 HWG die Sanierungspflicht für die Sanierung des Grundwassers nur soweit aus dem Wasserrecht, wie diese nicht bereits im Bodenschutzrecht geregelt ist.

Der § 48 HWG und die GWS-VwV bestimmen die wasserrechtlichen Anforderungen an die Grundwassersanierung (Nr. 1 GWS-VwV). Mit § 48 HWG hat das Wasserrecht sich an das System der Prüfwerte des BBodSchG angelehnt (§ 8 BBodSchG, § 4 BBodSchV mit Anhang 2). Nach Nr. 2 GWS-VwV ist bei einer Überschreitung der Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) eine Prüfung im Einzelfall durchzuführen, ob eine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt. Eine bloße Überschreitung der GFS ist danach, anders als im Papier „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“ der LAWA/LABO [8], noch nicht als schädliche Grundwasserverunreinigung anzusehen. Kriterien für diese im Einzelfall vorzunehmende Prüfung sind in Nr. 4 GWS-VwV genannt und werden in Anhang 1 dieser Arbeitshilfe kurz erläutert.

**wasserrechtliche  
Anforderungen**

Soweit eine Schädigung der Gewässer im Sinne des Umweltschadengesetzes [7] vorliegt, ist § 22a WHG zu beachten.

**Umweltschadens-  
gesetz**

## 3 Schädliche Grundwasserverunreinigung

### 3.1 Allgemeines

#### Anwendungsbereich der GWS-VwV

Die Kriterien, ob eine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt, ergeben sich aus Nr. 4 der GWS-VwV [1]. Die Kriterien der GWS-VwV sind in Anhang 1 aufgeführt und kurz erläutert. In der GWS-VwV und in dieser Arbeitshilfe werden durch menschliche Tätigkeiten verursachte (anthropogene) Grundwasserbelastungen betrachtet. Die GWS-VwV gilt nach Nr. 1 Abs. 2 nicht für rein geogene Belastungen sowie Belastungen aus diffusen Quellen; ob und inwieweit in solchen Fällen Maßnahmen zu treffen sind, ist im Einzelfall zu entscheiden.

#### schädliche GW-Verunreinigung

Falls im Grundwasser der Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS) eines Schadstoffes überschritten wird, liegt eine Grundwasserverunreinigung vor. Dann ist im Einzelfall zu prüfen, ob die Grundwasserverunreinigung „schädlich“ oder nur „gering“ ist. Bei Vorliegen einer schädlichen Grundwasserverunreinigung besteht vom Grundsatz her Sanierungsbedarf. Bei der Entscheidung über Sanierungsmaßnahmen ist der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz zu beachten (GWS-VwV Nr. 5 Abs. 1).

Die Einzelfallprüfung, ob eine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt, soll sich nicht auf die Betrachtung der Schadstoffkonzentration im Grundwasser beschränken. Auch eine deutliche Überschreitung eines GFS muss nicht zwingend als schädliche Grundwasserverunreinigung bewertet werden, beispielsweise wenn die Überschreitung nur in einem kleinen Volumen des Grundwassers auftritt.

#### Bewertungskriterien

Um ein aussagekräftiges Schadensbild zu erhalten, sind zwei Bewertungskriterien von besonderer Bedeutung:

- Gelöste Menge von Schadstoffen im Grundwasser (Kap. 3.2.1)
- Schadstofffracht im Grundwasser (Kap. 3.2.2).

#### Poren- und Kluftgrundwasserleiter

Bei Kluftgrundwasserleitern ist die Ermittlung der beiden Bewertungskriterien i. d. R. wesentlich schwieriger als bei Porengrundwasserleitern. Daher ist bei Kluftgrundwasserleitern die Vorgehensweise nach Kapitel 3 häufig nicht möglich. Die Beurteilung, ob eine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt, muss bei Kluftgrundwasserleitern noch stärker auf einer Einzelfallbetrachtung beruhen.

Hinweise zur Anwendung der Bewertungskriterien

#### Metabolite

Die Bewertungskriterien „Gelöste Menge im Grundwasser“ und „Fracht im Grundwasser“ sind für jeden Stoff bzw. jede Stoffgruppe getrennt zu ermitteln. Dies gilt auch für Metabolite, die sich infolge eines unvollständigen biologischen Abbaus in der Fahne anreichern, z. B. Vinylchlorid (VC) bei der unvollständigen reduktiven Dechlorierung von Tetrachlorethen (PER) oder Trichlorethen (TRI).

In beide Bewertungskriterien fließen stoffspezifische und hydrogeologische Kenngrößen ein (Abb. 1).

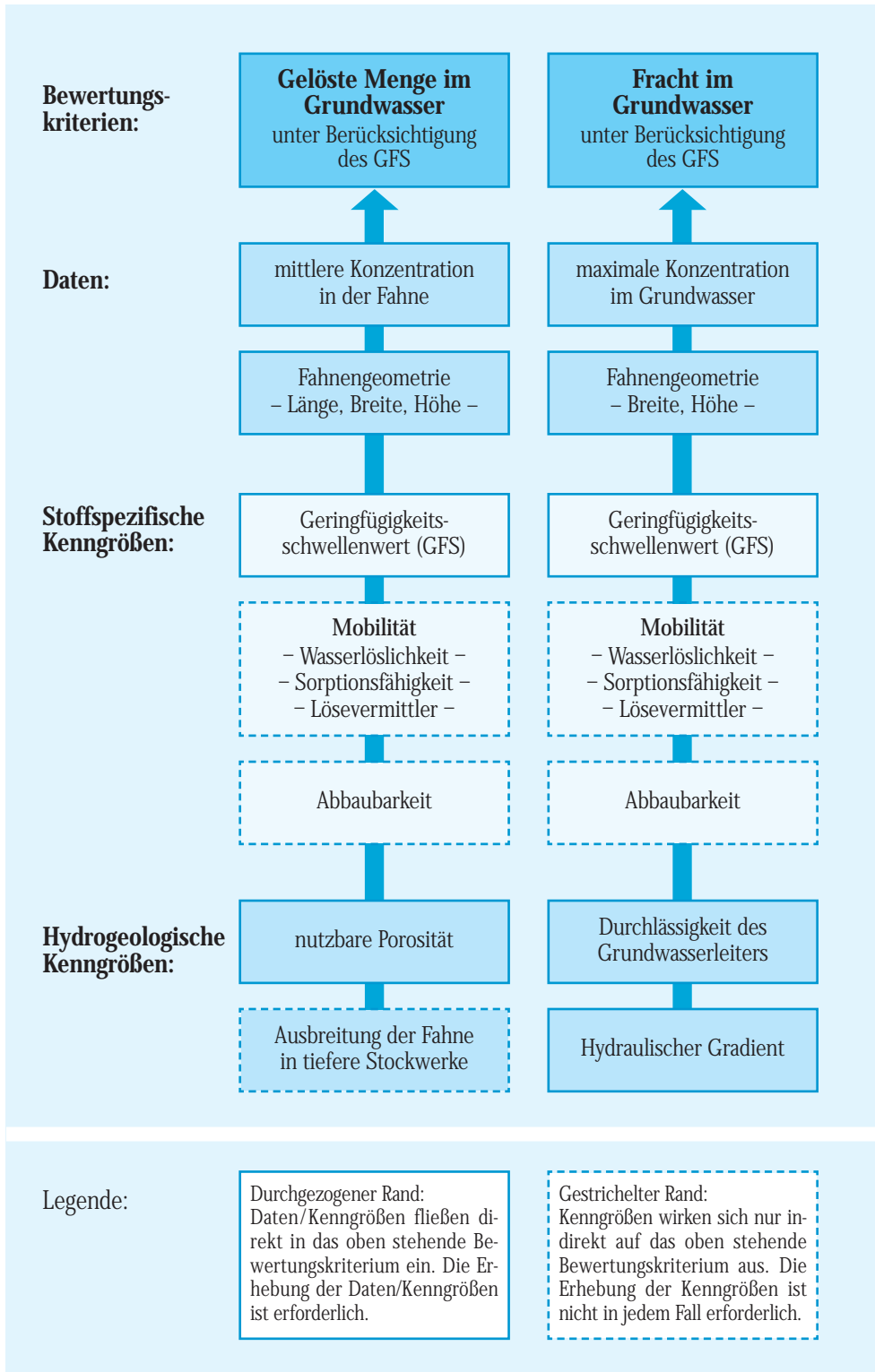
#### direkte Kenngrößen

- Kenngrößen, die direkt in ein Bewertungskriterium einfließen:

Um das Bewertungskriterium anwenden zu können, müssen diese Kenngrößen ermittelt werden. Sie sind in Abb. 1 als Kästchen mit durchgezogenem Rand dargestellt.

Beispiel: Für die Bewertung, ob die „Gelöste Menge im Grundwasser“ groß, mit-

tel, klein oder sehr klein ist, müssen die mittlere Konzentration eines Schadstoffes in der Schadstofffahne, die Fahngeometrie, der GFS eines Schadstoffes und die nutzbare Porosität des Grundwasserleiters bekannt sein.



**Abb. 1:** Bewertungskriterien für die Fragestellung „Liegt eine schädliche Grundwasserverunreinigung vor?“ mit den dazugehörigen Daten und Kenngrößen.

**indirekte Kenngrößen**

- Kenngrößen, die nicht direkt in ein Bewertungskriterium einfließen, sondern über ihre Wirkung auf ein Bewertungskriterium berücksichtigt werden:  
Diese Kenngrößen sind in Abb. 1 als Kästchen mit gestricheltem Rand dargestellt. Erläuterungen zu diesen Kenngrößen gibt Kapitel 3.3. Die Erhebung dieser Kenngrößen ist nicht zwingend erforderlich, sie sollte aber dennoch erfolgen, um ein abgerundetes Bild bei der Beurteilung einer Grundwasserverunreinigung zu erhalten.  
Beispiel: Hat ein Schadstoff eine hohe Wasserlöslichkeit und eine geringe Neigung zur Sorption, ist zu erwarten, dass sowohl die „Gelöste Menge im Grundwasser“ als auch die „Fracht im Grundwasser“ vergleichsweise hoch ist.

**Informationslücken**

In der Regel müssen beide Bewertungskriterien (gelöste Menge, Fracht) bekannt sein, um die Entscheidung über den Sanierungsbedarf treffen zu können. Ansonsten sind weitere Untersuchungen erforderlich, um Informationslücken schließen zu können. Ist beispielsweise die Länge der Schadstofffahne nicht bekannt und nicht ausreichend abschätzbar, ist die Anwendung des Kriteriums „Gelöste Menge im Grundwasser“ nicht möglich. Dann sind Untersuchungen zur Ermittlung bzw. Abschätzung der Fahnenlänge durchzuführen<sup>1</sup>.

**erforderliche Daten und Kenngrößen**

In Tab. 1 sind alle Daten und Kenngrößen aufgeführt, die für die Ermittlung der beiden Bewertungskriterien benötigt werden. Nähere Erläuterungen geben die Kapitel 3.2.1 und 3.2.2.

**Tab. 1:** Daten/Kenngrößen zur Ermittlung der Bewertungskriterien „Gelöste Menge im Grundwasser“ und „Fracht im Grundwasser“

Daten/Kenngrößen	Kürzel	Einheit	Erläuterung
mittlere Konzentration	$c_{\text{mittel}}$	$\mu\text{g/l}$	mittlere Konzentration eines Schadstoffes in der Fahne bzw. in einer Stromröhre
maximale Konzentration	$c_{\text{max}}$	$\mu\text{g/l}$	maximale Konzentration eines Schadstoffes in der Fahne bzw. in einer Stromröhre
Länge der Fahne/Stromröhre	L	m	erforderlich zur Berechnung des Fahnenvolumens
Breite der Fahne/Stromröhre	B	m	erforderlich zur Berechnung des Fahnenvolumens
Höhe der Fahne/Stromröhre	H	m	vertikale Ausdehnung, erforderlich zur Berechnung des Fahnenvolumens
Geringfügigkeitsschwellenwert	GFS	$\mu\text{g/l}$	GFS des Schadstoffes
nutzbare Porosität	$P^*$	%	nutzbare Porosität des Grundwasserleiters
Durchlässigkeitsbeiwert	$k_f$	m/s	Durchlässigkeitsbeiwert im Bereich der Fahne bzw. Stromröhre
hydraulischer Gradient	I	–	hydraulischer Gradient (Grundwassergefälle) im Bereich der Fahne bzw. Stromröhre

<sup>1</sup> Bei Altlasten/Grundwasserschadensfällen, die in der Nähe eines oberirdischen Gewässers liegen, ist die Ermittlung und Anwendung des Bewertungskriteriums „Gelöste Menge im Grundwasser“ nicht sinnvoll, wenn die Schadstofffahne im Grundwasser durch das Gewässer „abgeschnitten“ wird.

Für die Ermittlung und Einstufung der beiden Bewertungskriterien „Gelöste Menge im Grundwasser“ und „Fracht im Grundwasser“ steht ein EXCEL-Arbeitsblatt zur Verfügung (Anhang 2). Dieses ist auf der Internetseite des HLUG abrufbar:

[www.hlug.de/medien/altlasten/altlastenbearbeitung/grundwassersanierung.htm](http://www.hlug.de/medien/altlasten/altlastenbearbeitung/grundwassersanierung.htm)

**EXCEL-Arbeitsblatt**

## 3.2 Bewertungskriterien

### 3.2.1 Gelöste Menge im Grundwasser

Das Bewertungskriterium „Gelöste Menge im Grundwasser“ berücksichtigt das Volumen einer Schadstofffahne im Grundwasser und die mittlere Konzentration eines Schadstoffes innerhalb der Fahne. Es beschreibt somit den Ist-Zustand der Fahne. Das Bewertungskriterium kann dann angewendet werden, wenn die Fahne mittels Grundwassermessstellen ausreichend erkundet und abgegrenzt ist. Nur derjenige Anteil des Schadstoffes ist zu berücksichtigen, der im Grundwasser in gelöster Form vorliegt.

**Ist-Zustand der Fahne**

Die Tab. 2 zeigt die erforderlichen Daten und Kenngrößen, die für die Ermittlung und Bewertung des Kriteriums „Gelöste Menge im Grundwasser“ erforderlich sind. Bei einer ausreichenden Zahl von Messstellen ist die Unterteilung der Fahne in Stromröhren sinnvoll, die parallel zur Grundwasserfließrichtung angeordnet sind. Die Anordnung von Stromröhren ist in Anhang 4 anhand von Beispielen erläutert. Weitere Hinweise gibt [9]. Das EXCEL-Arbeitsblatt in Anhang 2 bietet die Möglichkeit, bis zu drei Stromröhren zu bilden.

**Stromröhren**

**Tab. 2:** Daten/Kenngrößen zur Ermittlung und Einstufung des Kriteriums „Gelöste Menge im Grundwasser ( $M_{\text{gelöst}}$ )“

Daten/Kenngrößen	Kürzel	Einheit	Erläuterung
gelöste Menge im Grundwasser	$M_{\text{gelöst}}$	mg kg	Zielgröße in [mg] bzw. [kg] zu errechnen mittels Gleichung (1)
mittlere Konzentration	$c_{\text{mittel}}$	µg/l	mittlere Konzentration eines Schadstoffes in der Fahne bzw. in einer Stromröhre
Länge der Fahne/Stromröhre	L	m	erforderlich zur Berechnung des Fahnavolumens
Breite der Fahne/Stromröhre	B	m	erforderlich zur Berechnung des Fahnavolumens
Höhe der Fahne/Stromröhre	H	m	vertikale Ausdehnung, erforderlich zur Berechnung des Fahnavolumens
Geringfügigkeitsschwellenwert	GFS	µg/l	GFS des Schadstoffes
nutzbare Porosität	$P^*$	%	nutzbare Porosität des Grundwasserleiters

Die Berechnungsformel zur Bestimmung der gelösten Stoffmenge  $M_{\text{gelöst}}$  in der Fahne bzw. in einer Stromröhre ist in Gleichung (1) dargestellt. Als Ergebnis erhält man die Stoffmenge in der Einheit [mg]. Nach Division durch den Faktor 1 000 000 mg/kg ergibt sich die Stoffmenge in der praktikableren Einheit [kg]. Die Formelzeichen für die Gleichung sind in Tab. 2 erläutert.

**Berechnung der gelösten Menge**

$$M_{\text{gelöst}} = c_{\text{mittel}} \cdot L \cdot B \cdot H \cdot P^*/100 \quad \text{Gleichung (1)}$$

### Herkunft und Qualität der Daten

Die Berechnung der gelösten Schadstoffmenge kann anhand des EXCEL-Arbeitsblattes in Anhang 2 erfolgen. Dabei ist darauf zu achten, dass im Textfeld „Quelle der Daten“ Angaben zur Herkunft der Daten gemacht werden. Weiterhin soll im Textfeld „Gutachterliche Beurteilung des Sachverhaltes“ die Qualität der Eingangsdaten beurteilt und die Genauigkeit des Berechnungsergebnisses abgeschätzt werden.

### Beeinträchtigung tieferer GW-Stockwerke

Wenn Schadstoffe in tiefere Grundwasserstockwerke vorgedrungen sind und dort Schadstofffahnen ausbilden, ist dieser Sachverhalt gesondert zu betrachten. Hinweise zur Schadstoffverlagerung in tiefere Stockwerke gibt Kapitel 3.3.

Nachfolgend werden diejenigen Daten und Kenngrößen beschrieben, die einen direkten Einfluss auf das Kriterium „Gelöste Menge im Grundwasser“ haben.

Mittlere Konzentration eines Schadstoffes im Grundwasser

### Erläuterungen zu Daten/Kenngrößen

Abzuschätzen ist die mittlere Konzentration  $c_{\text{mittel}}$  in der Fahne bzw. in einer Stromröhre. Die mittlere Konzentration fließt nach Gleichung (1) direkt in das Bewertungskriterium „Gelöste Menge im Grundwasser“ ein. Liegen in einer Fahne bzw. Stromröhre mehrere Messstellen vor, ist i. d. R. die Mittelwertbildung der Konzentrationen der einzelnen Messstellen sinnvoll (siehe Hinweise in Anhang 4).

Zur Ermittlung der Schadstoffkonzentration im Grundwasser sind geeignete Grundwassermessstellen, Probennahmetechniken und Analysenverfahren erforderlich. Der Parameterumfang bei einer Grundwasseruntersuchung muss so gewählt werden, dass die relevanten Schadstoffe erfasst werden. Hinweise für den Parameterumfang bei Boden- und Grundwasseruntersuchungen gibt das Handbuch Altlasten „Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen“ [10], weiterhin sind Erkenntnisse aus der Historischen Erkundung und Erfahrungen aus vergleichbaren Schadensfällen heranzuziehen. Analysenverfahren sind in der GWS-VwV als Anlage 2.1 und 2.2 aufgeführt [1]. Gemäß der GWS-VwV Nr. 2 können auch gleichwertige Analysenverfahren eingesetzt werden.

Fahngeometrie

Die Fahngeometrie beschreibt das Volumen der Schadstofffahne; die Länge, Breite und Höhe der Fahne bzw. der Stromröhre fließen direkt in das Bewertungskriterium „Gelöste Menge im Grundwasser“ ein, siehe Gleichung (1). Hinweise zur Festlegung der Geometrie einer Fahne bzw. Stromröhre gibt Anhang 4.

Geringfügigkeitsschwellenwert

Das Gefährdungspotenzial eines Schadstoffes für den Menschen und das Ökosystem Grundwasser kann anhand des Geringfügigkeitsschwellenwertes (GFS) beurteilt werden. Die GFS sind in Anlage 1 der GWS-VwV [1] sowie in Anhang 9 dieser Arbeitshilfe aufgeführt. Informationen zur Ableitung der GFS gibt eine Veröffentlichung der LAWA [11]. Je niedriger der GFS ist, desto höher ist das Gefährdungspotenzial eines Stoffes. Die GFS sind für die Einstufung relevant, ob die gelöst vorliegende Stoffmenge groß, mittel, klein oder sehr klein ist, siehe Tab. 4. Bei Stoffen, die in der GWS-VwV nicht aufgeführt sind, können die Qualitätsziele gem. § 2 Abs. 1 der Qualitätszielverordnung vom 2. Oktober 2006 [12] oder vergleichbare Werte als GFS verwendet werden (GWS-VwV Nr. 2).

Nutzbare Porosität

Als Gesamtporosität (Hohlraumanteil) bezeichnet man den Quotienten aus dem Volumen aller Hohlräume eines Gesteinskörpers und dessen Gesamtvolumen. Die nutzbare Porosität (durchflusswirksamer Hohlraumanteil) beschreibt hingegen den Quotienten aus dem Volumen der vom Grundwasser durchfließbaren Hohlräume eines Gesteinskörpers und dessen Gesamtvolumen (DIN 4049, Teil 3) [27]. Damit Gesteinshohlräume vom Grundwasser durchflossen werden können, müssen sie miteinander in Verbindung stehen und zudem aufgrund ihrer Größe Grundwasserbewegungen erlauben. Bei sehr kleinen Hohlräumen, bzw. großen Kornoberflächen, wird der Grundwasserdurchfluss aufgrund hoher Adhäsionskräfte vermindert oder gar unterbunden. Daher ist die nutzbare Porosität immer kleiner als die Gesamtporosität eines Porengrundwasserleiters.

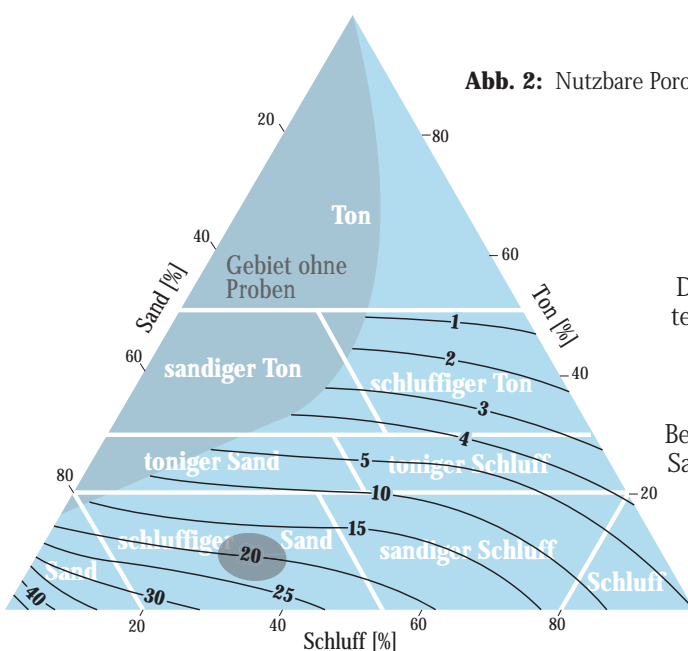
Defintionen

In der Tab. 3 sind die Größenordnungen von Gesamtporosität und nutzbarer Porosität für verschiedene Korngrößenklassen dargestellt. Es handelt sich hierbei um das zusammenfassende Ergebnis einer Literaturrecherche. In der Natur sind nur aus einer homogenen Korngrößenfraktion bestehende Lockergesteine die Ausnahme, meist sind Korngrößengemische anzutreffen. Zudem wird die Porosität auch von der Korn-

Abschätzung der Porosität

**Tab. 3:** Gesamtporositäten und nutzbare Porositäten [%] in Abhängigkeit der Korngrößen von Sedimenten

	Korngrößen	Gesamtporosität	nutzbare Porosität
<b>Ton</b>	≤ 0,002 mm	> 50 %	< 5 %
<b>Schluff</b>	0,002–0,063 mm	50 – 45 %	5 – 15 %
<b>Sand</b>	0,063 – 2,0 mm	45 – 40 %	15 – 35 %
<b>Kies</b>	2,0 – 63,0 mm	40 – 30 %	35 – 20 %
<b>Steine</b>	> 63,0 mm	< 30 %	< 20 %



**Abb. 2:** Nutzbare Porosität [%] von Korngemischen [28].

Die im Diagramm eingezeichneten Isolinien geben die nutzbare Porosität in % an.

Beispiel:  
Bei einem Korngemisch aus 60 % Sand, 30 % Schluff und 10 % Ton (schluffiger Sand) beträgt die nutzbare Porosität ca. 20 %.

form und der Kornanordnung beeinflusst. Die Angaben der Tabelle können daher nur zur groben Orientierung, bzw. zur Plausibilitätsprüfung von Angaben zur Porosität genutzt werden. Einen praxisbezogenen Überblick bietet Abb. 2, aus der Angaben zur nutzbaren Porosität für Korngemische aus Ton, Schluff und Sand abgelesen werden können.

#### Einstufung der „Gelösten Menge im Grundwasser“

#### Berücksichtigung der GFS

Für die Einstufung der „Gelösten Menge im Grundwasser“ wird die im konkreten Schadensfall ermittelte gelöste Menge [kg] mit Kennzahlen verglichen. Die Kennzahlen für die Einstufung in groß, mittel, klein und sehr klein ergeben sich aus dem Zahlenwert des GFS eines Schadstoffes und einem Faktor. Die Einstufungen sind in Tab. 4 aufgeführt<sup>2</sup>. Die Plausibilität der Einstufungen wurde anhand von 35 hessischen Praxisfällen überprüft.

Die „Gelöste Menge im Grundwasser“ kann als groß angesehen werden, wenn der Zahlenwert in der Einheit [kg] größer ist als der Zahlenwert der GFS [ $\mu\text{g/l}$ ] multipliziert mit dem Faktor 0,1. Die „Gelöste Menge im Grundwasser“ kann als sehr klein angesehen werden, wenn der Zahlenwert in der Einheit [kg] kleiner ist als der Zahlenwert der GFS [ $\mu\text{g/l}$ ] multipliziert mit 0,003.

Algorithmus	Einstufung
$M_{\text{gelöst}} \geq 0,1 \cdot \text{GFS}$	<b>groß</b>
$M_{\text{gelöst}} < 0,1 \cdot \text{GFS}$ und $\geq 0,03 \text{ GFS}$	<b>mittel</b>
$M_{\text{gelöst}} < 0,03 \cdot \text{GFS}$ und $\geq 0,003 \text{ GFS}$	<b>klein</b>
$M_{\text{gelöst}} < 0,003 \cdot \text{GFS}$	<b>sehr klein</b>

**Tab. 4:** Einstufung des Kriteriums „Gelöste Menge im Grundwasser“ ( $M_{\text{gelöst}}$  [kg], GFS [ $\mu\text{g/l}$ ])

#### Beispiele

##### Beispiel 1:

Der GFS von Naphthalin ist 1  $\mu\text{g/l}$ . Wenn die ermittelte „Gelöste Menge im Grundwasser“ größer als  $0,1 \cdot 1 = 0,1$  [kg] ist, erfolgt die Einstufung in **groß**. Bei Werten zwischen 0,1 und 0,03 kg erfolgt die Einstufung in **mittel**. Bei Werten zwischen 0,03 und 0,003 kg erfolgt die Einstufung in **klein**. Bei kleineren Werten als 0,003 kg ergibt sich die Einstufung **sehr klein**.

##### Beispiel 2:

Der GFS von leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen (LHKW) ist 20  $\mu\text{g/l}$ . Wenn die „Gelöste Menge im Grundwasser“ größer als  $0,1 \cdot 20 = 2$  [kg] ist, erfolgt die Einstufung in **groß**. Bei Werten zwischen 2 und 0,6 kg erfolgt die Einstufung in **mittel**. Bei Werten zwischen 0,6 und 0,06 kg erfolgt die Einstufung in **klein**. Bei kleineren Werten als 0,06 kg ergibt sich die Einstufung **sehr klein**.

#### Einstufung einer idealisierten Fahne

Die Einstufungen der „Gelösten Menge im Grundwasser“ in Tab. 4 beruhen auf folgender Überlegung: Für die Unterscheidung, ob eine gelöste Menge groß oder mittel ist, wird eine idealisierte Fahne zugrunde gelegt. In dieser idealisierten Fahne beträgt die durchschnittliche Schadstoffkonzentration das 10fache des GFS. Die Fahnengeo-

<sup>2</sup> Die Multiplikation des GFS mit einem Zahlenfaktor wurde anhand von 35 hessischen Praxisfällen hergeleitet und soll eine praktikable Einstufung ermöglichen.



metrie ist 100 m Länge, 40 m Breite und 10 m Höhe. Der Grundwasserleiter weist eine nutzbare Porosität von 25 % auf, dies ist ein typischer Wert für Grobsand. Die gelöste Schadstoffmenge in dieser idealisierten Fahne entspricht dann der Grenze zwischen groß und mittel.

### 3.2.2 Fracht im Grundwasser

Als Fracht wird die im Grundwasser transportierte Schadstoffmasse pro Zeiteinheit bezeichnet. Die Fracht wird häufig in der Einheit Gramm pro Tag [g/d] angegeben. Das Bewertungskriterium „Fracht im Grundwasser“ beschreibt die Ausbreitung eines Schadstoffes mit dem fließenden Grundwasser. Das Bewertungskriterium kann dann angewendet werden, wenn geeignete Grundwassermessstellen vorhanden und die hydrogeologischen Standortgegebenheiten bekannt sind.

Die Schadstofffracht ist i. d. R. abhängig von der Entfernung zur Quelle. Am höchsten ist die Fracht innerhalb der Schadstoffquelle bzw. dicht am abstromigen Rand der Schadstoffquelle, also im nahen Abstrom der Schadstoffquelle. Im weiteren Abstrom nimmt die Schadstofffracht ab, da Abbau- und Rückhalteprozesse wirksam werden [9]. Für die in der Arbeitshilfe beschriebene Frachteinstufung soll die Fracht nach Möglichkeit im nahen Abstrom der Schadstoffquelle bestimmt werden, um die maximale Fracht ermitteln zu können.

Die Tab. 5 zeigt die erforderlichen Daten und Kenngrößen, die für die Ermittlung und Einstufung des Kriteriums „Fracht im Grundwasser“ erforderlich sind. Bei einer ausreichenden Zahl von Messstellen ist die Unterteilung der Fahne in Stromröhren sinnvoll, die parallel zur Grundwasserfließrichtung angeordnet sind. Die Anordnung von Stromröhren ist in Anhang 4 anhand von Beispielen erläutert. Weitere Hinweise gibt [9]. Das EXCEL-Arbeitsblatt in Anhang 2 bietet die Möglichkeit, bis zu drei Stromröhren zu bearbeiten.

**Ausbreitung der Schadstoffe im GW**

**maximale Fracht**

**Stromröhren**

**Tab. 5:** Daten/Kenngrößen zur Ermittlung und Einstufung des Kriteriums „Fracht im Grundwasser (E)“

Daten/Kenngrößen	Kürzel	Einheit	Erläuterung
Fracht im Grundwasser	E	mg/s g/d	Zielgröße in [mg/s] oder [g/d] zu errechnen mittels Gleichung (2)
maximale Konzentration	$c_{max}$	µg/l	maximale Konzentration eines Schadstoffes in der Fahne bzw. in einer Stromröhre
Breite der Fahne/Stromröhre	B	m	Hinweise gibt Anhang 4
Höhe der Fahne/Stromröhre	H	m	vertikale Ausdehnung der Fahne/Stromröhre
Geringfügigkeitsschwellenwert	GFS	µg/l	GFS des Schadstoffes
Durchlässigkeitsbeiwert	$k_f$	m/s	Durchlässigkeitsbeiwert im Bereich der Fahne bzw. Stromröhre
hydraulischer Gradient	I	–	hydraulischer Gradient (Grundwassergefälle) im Bereich der Fahne bzw. Stromröhre

**Berechnung der Fracht**

Die Berechnung der Schadstofffracht erfolgt nach Gleichung (2). Die Formelzeichen sind in Tab. 5 erläutert. Als Ergebnis erhält man die Fracht in der Einheit [mg/s]. Nach Multiplikation mit dem Faktor 86,4 ergibt sich die Fracht in der praktikableren Einheit [g/d]. Eine Fracht von 1 mg/s entspricht einer Fracht von 86,4 g/d.

$$E = k_f \cdot I \cdot B \cdot H \cdot c_{\max}$$

Gleichung (2)

**Herkunft und Qualität der Daten**

Die Berechnung der Schadstofffracht kann anhand des EXCEL-Arbeitsblattes in Anhang 2 erfolgen. Dabei ist darauf zu achten, dass im Textfeld „Quelle der Daten“ Angaben zur Herkunft der Daten gemacht werden. Weiterhin soll im Textfeld „Gutachterliche Beurteilung des Sachverhaltes“ die Qualität der Eingangsdaten beurteilt und die Genauigkeit des Berechnungsergebnisses abgeschätzt werden.

**Erläuterungen zu Daten/Kenngrößen**

Nachfolgend werden diejenigen Daten und Kenngrößen beschrieben, die einen direkten Einfluss auf das Kriterium „Fracht im Grundwasser“ haben.

**Maximale Konzentration eines Schadstoffes im Grundwasser**

Zur Ermittlung der Schadstofffracht, die aus der Quelle abströmt, wird die maximale Konzentration eines Schadstoffes in der Fahne bzw. in einer Stromröhre verwendet. Die maximale Konzentration eines Schadstoffes tritt i.d.R. an Messstellen auf, die dicht an der Schadstoffquelle positioniert sind (naher Abstrom). Hinweise hierzu gibt Anhang 4.

Die maximale Schadstoffkonzentration fließt nach Gleichung (2) direkt in das Bewertungskriterium „Fracht im Grundwasser“ ein. Hinweise zum Parameterumfang bei einer Grundwasseruntersuchung und zu Analyseverfahren gibt Kapitel 3.2.1.

**Fahnengeometrie**

Die Breite und Höhe der Schadstofffahne bzw. Stromröhre beschreiben deren Querschnitt (vertikaler Schnitt) quer zur Grundwasserfließrichtung. Sie fließen direkt in das Bewertungskriterium „Fracht im Grundwasser“ ein, siehe Gleichung (2). Hinweise zur Festlegung der Geometrie einer Fahne bzw. Stromröhre gibt Anhang 4.

**Geringfügigkeitsschwellenwert**

Der GFS eines Schadstoffes ist für die Einstufung relevant, ob die Fracht groß, mittel, klein oder sehr klein ist, siehe Tab. 6. Bei einem Schadstoff, der einen relativ hohen GFS aufweist, können höhere Frachten toleriert werden als bei einem Stoff mit niedrigem GFS. Weitere Hinweise zu den GFS gibt Kapitel 3.2.1.

**Durchlässigkeit des Grundwasserleiters**

Für den Grundwasserleiter bzw. jede Stromröhre ist der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  in [m/s] anzugeben. Die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts kann auf mehreren Wegen erfolgen. Vorzuziehen ist die Ermittlung mittels Pumpversuchen. Die Bestimmung durch Laborversuche ist weniger geeignet [13].

### Hydraulischer Gradient des Grundwassers

Für den Grundwasserleiter bzw. jede Stromröhre ist der hydraulische Gradient (= Grundwassergefälle) anzugeben. Für die Ermittlung des Grundwassergefälles sind mindestens drei, möglichst in Form eines gleichseitigen Dreiecks angeordnete Messstellen erforderlich (Hydrologisches Dreieck). Mit Hilfe von Stichtagsmessungen der Grundwasserstände lassen sich über Grundwassergleichen das Grundwassergefälle und die Grundwasserfließrichtung bestimmen.

Bei Kenntnis des Durchlässigkeitsbeiwertes und des hydraulischen Gradienten sowie der nutzbaren Porosität (Kap. 3.2.1) kann die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers (Grundwasserfließgeschwindigkeit) errechnet werden [13]. Die Abstandsgeschwindigkeit ist eine wichtige Information bei der Gefährdungsabschätzung, sie wird daher im EXCEL-Arbeitsblatt in Anhang 2 angegeben. Je höher die Abstandsgeschwindigkeit ist, desto rascher können sich Schadstoffe mit dem Grundwasser ausbreiten.

**Abstands-  
geschwindigkeit**

### Einstufung der „Fracht im Grundwasser“

Für die Einstufung der „Fracht im Grundwasser“ wird die im konkreten Schadensfall ermittelte Fracht [g/d] mit Kennzahlen verglichen. Die Kennzahlen für die Einstufung in groß, mittel, klein und sehr klein ergeben sich aus dem Zahlenwert des GFS eines Schadstoffes und einem Faktor. Die Einstufungen sind in Tab. 6 aufgeführt. Die Plausibilität der Einstufungen wurde anhand von 35 hessischen Praxisfällen bestätigt.

**Berücksichtigung  
der GFS**

Die „Fracht im Grundwasser“ kann als groß angesehen werden, wenn der Zahlenwert in der Einheit [g/d] größer ist als der Zahlenwert der GFS [ $\mu\text{g/l}$ ] multipliziert mit dem Faktor 0,5. Die „Fracht im Grundwasser“ kann als sehr klein angesehen werden, wenn der Zahlenwert in der Einheit [g/d] kleiner ist als der Zahlenwert der GFS [ $\mu\text{g/l}$ ] multipliziert mit 0,02.

Algorithmus	Einstufung
Fracht $\geq 0,5 \cdot \text{GFS}$	<b>groß</b>
Fracht $< 0,5 \cdot \text{GFS}$ und $\geq 0,2 \text{ GFS}$	<b>mittel</b>
Fracht $< 0,2 \cdot \text{GFS}$ und $\geq 0,02 \text{ GFS}$	<b>klein</b>
Fracht $< 0,02 \cdot \text{GFS}$	<b>sehr klein</b>

**Tab. 6:**  
Einstufung des Kriteriums  
„Fracht im Grundwasser“  
(Fracht [g/d], GFS [ $\mu\text{g/l}$ ])

Beispiel:

Der GFS von Naphthalin ist  $1 \mu\text{g/l}$ . Wenn die ermittelte „Fracht im Grundwasser“ größer als  $0,5 \cdot 1 = 0,5 \text{ [g/d]}$  ist, erfolgt die Einstufung in **groß**. Bei Werten zwischen 0,5 und 0,2 g/d erfolgt die Einstufung in **mittel**. Bei Werten zwischen 0,2 und 0,02 g/d erfolgt die Einstufung in **klein**. Bei kleineren Werten als 0,02 g/d ergibt sich die Einstufung **sehr klein**.

**Beispiel**

Die Einstufung der „Fracht im Grundwasser“ in Tab. 6 beruht auf folgender Überlegung: Für die Unterscheidung, ob eine Grundwasserfracht groß oder mittel ist, wird eine idealisierte Fahne zugrunde gelegt. In dieser Fahne – sie entspricht der idealisierten Fahne aus Kapitel 3.2.1 – beträgt die Schadstoffkonzentration das 10fache

**Einstufung einer  
idealisierten Fahne**

des GFS. Die Fahnengeometrie zur Ermittlung des Fahnenquerschnitts beträgt 40 m Breite und 10 m Höhe. Der Grundwasserleiter weist eine nutzbare Porosität von 25 % auf. Die Abstandsgeschwindigkeit beträgt 0,5 m/d, dies ist typisch für Porengrundwasserleiter im Hessischen Ried. Die Schadstofffracht in dieser idealisierten Fahne entspricht dann der Grenze zwischen groß und mittel.

### 3.2.3 Bewertungsmatrix

Die beiden Kriterien „Gelöste Menge im Grundwasser“ und „Fracht im Grundwasser“ können jeweils in groß, mittel, klein und sehr klein eingestuft werden (Kap. 3.2.1 und 3.2.2).

#### Schädlichkeit der GW-Verunreinigung

Sind bei einem Schadensfall beide Bewertungskriterien bekannt, kann mittels einer Bewertungsmatrix abgeschätzt werden, ob keine schädliche Grundwasserverunreinigung oder ob eine geringe, mittlere oder große schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt. Der sich daraus ergebende Handlungsbedarf ist in der rechten Spalte der Tab. 7 beschrieben.

#### Handlungsbedarf

**Tab. 7:** Bewertungsmatrix zur Einstufung einer schädlichen Grundwasserverunreinigung

Einstufung „Gelöste Menge im Grundwasser“ (Kap. 3.2.1)	Einstufung „Fracht im Grundwasser“ (Kap. 3.2.2)	schädliche Grundwasserverunreinigung	Handlungsbedarf
sehr klein	sehr klein	<b>keine</b>	Keine weiteren Maßnahmen erforderlich
sehr klein	klein		
klein	sehr klein		
klein	klein	<b>geringe</b>	Zwar liegt eine schädliche Grundwasserverunreinigung vor, jedoch sind Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen i. d. R. unverhältnismäßig.
sehr klein	mittel		
mittel	sehr klein		
klein	mittel	<b>mittlere</b>	Weitere Prüfschritte sind erforderlich, um entscheiden zu können, ob bzw. welche Maßnahmen erforderlich sind, z. B. – Sanierungsmaßnahmen, – Überwachungsmaßnahmen – Überwachung natürlicher Abbau- und Rückhalteprozesse (MNA) Nähere Hinweise gibt Kapitel 3.3.
mittel	klein		
mittel	mittel		
sehr klein	groß		
groß	sehr klein		
klein	groß		
groß	klein	<b>große</b>	I. d. R. sind Sanierungsmaßnahmen erforderlich.
mittel	groß		
groß	mittel		
groß	groß		

Im Falle der Einstufung „mittlere schädliche Grundwasserverunreinigung“ sind weitere Prüfschritte erforderlich, die in Kapitel 3.3 beschrieben sind. Bei der Entscheidung über Maßnahmen ist stets der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu berücksichtigen, wie in Kapitel 4 erläutert. In Abb. 3 in Kapitel 3.4 wird die Anwendung der Bewertungsmatrix als Teil eines Fließbildes (Prüfschema) dargestellt.

### 3.3 Weitere Kriterien

Im vorangegangenen Kapitel 3.2.3 wird erläutert, wie man mit Hilfe der Bewertungskriterien „gelöste Menge“ und „Fracht“ die Schädlichkeit einer Grundwasserverunreinigung ermitteln kann. Insbesondere bei einer „mittleren schädlichen Grundwasserverunreinigung“ bedarf es weiterer Bewertungsschritte, um festzustellen, welche Maßnahmen angemessen sind. Hierbei können weitere Kriterien betrachtet werden, von denen die Wichtigsten nachfolgend näher beleuchtet werden.

**Vorgehensweise  
bei mittelgroßer  
GW-Verunreinigung**

#### Fahnenentwicklung

Beim Kriterium „Fahnenentwicklung“ ist relevant, wie eine Schadstofffahne im Grundwasser sich zukünftig verhalten wird. Die Einschätzung sollte auf einer langjährigen Grundwasseruntersuchung oder einer Prognose der Fahnenentwicklung basieren. Eine Prognose ist aufgrund von folgenden Kriterien möglich: Alter und Emissionsdauer der Quelle, Grundwasserfließgeschwindigkeit, Stärke der Rückhalte- und Abbauprozesse im Grundwasser.

Folgende Fahnenentwicklungen können unterschieden werden:

**Szenarien**

- **expandierende Fahne**  
Die Freisetzungsprozesse aus der Schadstoffquelle überwiegen die Abbau- und Rückhalteprozesse im Grundwasser. Dies ist der Fall, wenn die Schadstoffe nicht oder schwer abbaubar sind, die Quelle relativ jung ist und aufgrund einer hohen Schadstoffmenge in der Quelle eine lange Emissionsdauer zu erwarten ist.
- **quasi-stationäre Fahne**  
Die Ausdehnung der Fahne erscheint stabil. Die Freisetzung von Schadstoffen aus der Quelle ist ähnlich groß wie der Abbau und Rückhalt im Grundwasser. Quasi-stationäre Fahnen treten vor allem bei gut abbaubaren Stoffen und lange emittierenden Quellen auf.
- **rückläufige Fahne**  
Die Freisetzung aus der Schadstoffquelle ist geringer als der Abbau und Rückhalt im Grundwasser. Rückläufige Fahnen treten insbesondere auf, wenn die Schadstoffquelle weitgehend erschöpft ist.
- **abgerissene Fahne**  
Wenn die Schadstoffquelle saniert wurde, nicht jedoch die Schadstofffahne, können sogenannte „abgerissene“ Fahnen auftreten. Dann steht die Fahne nicht mehr in direktem Kontakt mit der Quelle. Abgerissene Fahnen können expandierend, quasi-stationär oder rückläufig sein (s. o.).

Bei expandierenden Fahnen sind Grundwasserbereiche gefährdet, die bisher noch unbelastet sind. Daher sind expandierende Fahnen wesentlich kritischer anzusehen als quasi-stationäre oder rückläufige Fahnen.

#### Mobilität eines Schadstoffes

Die Mobilität von Schadstoffen im Grundwasser hängt vor allem von den chemisch-physikalischen Stoffeigenschaften ab (Wasserlöslichkeit, Adsorbierbarkeit an organischem Kohlenstoff, Viskosität, Dichte). Generell erhöht sich die Beweglichkeit eines Stoffes bei steigender Wasserlöslichkeit und abnehmender Adsorbierbarkeit an organi-

**chemisch-  
physikalische  
Stoffeigenschaften**

### Lösevermittler

schem Kohlenstoff ( $K_{OC}$ )<sup>3</sup>. Die Viskosität (Zähigkeit) und Dichte eines Stoffes spielen eine Rolle, wenn dieser Stoff als flüssige, mit Wasser nicht mischbare Phase vorliegt (non-aqueous-phase-liquid, NAPL). Je geringer die Viskosität und je höher die Dichte einer NAPL ist, desto höher ist die Mobilität. Lösevermittler können die Mobilität eines Stoffes deutlich erhöhen, z. B. können Leichtflüchtige Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX) bei Teeröl-Schadensfällen zu einer verstärkten Freisetzung von PAK führen.

### Einstufung der Mobilität

Nach Handbuch Altlasten „Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser (Sickerwasserprognose)“ [14] kann die Mobilität einer Reihe von altlastentypischen Schadstoffen wie folgt eingeteilt werden:

- Hohe Mobilität: LHKW, MTBE, Benzol, Toluol
- Mittlere Mobilität: Kerosin, Diesel, Heizöl; C<sub>2</sub>-Aromaten (Xylole, Ethylbenzol), C<sub>3</sub>-, C<sub>4</sub>-Aromaten; Naphthalin, 3-Ring-PAK
- Geringe Mobilität: PAK mit mehr als 3 Ringen, Schmieröl, PCB.

Stoffe mit hoher Mobilität sind ungünstiger zu beurteilen als Stoffe mit geringer Mobilität.

Biologische Abbaubarkeit eines Schadstoffes

### Mineralölprodukte

Die mikrobiologische Abbaubarkeit ist bei vielen organischen Schadstoffen relevant, vor allem bei Mineralölprodukten wie Benzin, Diesel und Heizöl mit den Inhaltsstoffen BTEX und MKW (Mineralölkohlenwasserstoffe). Finden Abbauprozesse statt, hat dies Auswirkungen auf die Fahnenlänge, das Volumen der Fahne und die Schadstoffkonzentration in der Fahne. Zu beachten: Beim mikrobiologischen Abbau<sup>4</sup> von Schadstoffen können toxische Metabolite auftreten, z. B. Vinylchlorid (VC) bei der reduktiven Dechlorierung von Tetrachlorethen (PER) und Trichlorethen (TRI).

### toxische Metabolite

### aerober/anaerober Abbau

Die Abbaubarkeit eines Schadstoffes hängt auch von Grundwassermilieu und der Anwesenheit geeigneter Mikroorganismen ab. Unter aeroben Bedingungen (im Grundwasser liegt gelöster Sauerstoff vor) sind die meisten mineralölbürtigen Schadstoffe gut abbaubar, dagegen sind hochchlorierte Verbindungen unter aeroben Bedingungen oft stabil. Hinweise zur Abbaubarkeit von Schadstoffen unter anaeroben Milieubedingungen gibt das Handbuch Altlasten „Arbeitshilfe zu überwachten natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen im Grundwasser (Monitored Natural Attenuation MNA)“ [15]. Unter den vorherrschenden Milieubedingungen gut abbaubare Stoffe sind günstiger zu werten als schwer abbaubare Stoffe.

Hydrochemisches Milieu

### Schwer- und Halbmetalle

Das hydrochemische Milieu im Grundwasser beeinflusst die Mobilität von Schadstoffen sowie die Abbau- und Rückhalteprozesse. Bei Schwer- und Halbmetallen ist die

<sup>3</sup> Der  $K_{OC}$  ist definiert als Adsorptionskonstante, normiert auf den Kohlenstoffgehalt eines Bodens. Die Einheit ist [l/kg]. Der  $K_{OC}$  beschreibt die Fähigkeit zur Adsorption eines Stoffes insbesondere an Huminstoffe in Böden. Ein hoher  $K_{OC}$  bedeutet, dass der untersuchte Stoff in Böden bzw. Grundwasserleitern gut adsorbierbar ist und daher wenig mobil ist.

<sup>4</sup> Der vollständige Abbau eines Stoffes in anorganische Komponenten (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ...) wird als Mineralisation bezeichnet. Der (unvollständige) Abbau zu organischen Metaboliten/Zwischenprodukten wird als Metabolisierung oder Teilabbau bezeichnet.

Wasserlöslichkeit pH-abhängig. Bei Schwer- und Halbmetallen, die in verschiedenen Oxidationsstufen auftreten können, beeinflusst das Redoxpotenzial die Löslichkeit (z. B. bei Chrom und Arsen). Die Anwesenheit bestimmter Anionen (z. B. Sulfid  $S^{2-}$ ) kann die Löslichkeit von Schwer- und Halbmetallen stark vermindern und zu Ausfällungen führen.

Bei organischen Stoffen ist von Bedeutung, ob geeignete Abbaubedingungen vorliegen. Beispielsweise müssen für den Abbau von MKW, BTEX und PAK geeignete Elektronenakzeptoren vorhanden sein (z. B. Sauerstoff, Nitrat, Sulfat). Dagegen müssen bei der reduktiven Dechlorierung von LHKW geeignete Elektronendonatoren (gut abbaubare organische Verbindungen) im Grundwasser vorhanden sein. Hinweise hierzu geben die beiden Handbücher „Arbeitshilfe zu überwachten natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen im Grundwasser (Monitored Natural Attenuation MNA)“ und „Arbeitshilfen zur Überwachung und Nachsorge von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten“ [15,16].

**organische Stoffe**

Ausbreitung der Fahne in tiefere Stockwerke

Bei Grundwasserschadensfällen ist i. d. R. das oberste Grundwasserstockwerk am stärksten betroffen. Aus Sicht des Grundwasserschutzes ist eine Verlagerung von Schadstoffen in tiefere Grundwasserstockwerke im Hinblick auf die Schadensfolgen und den Sanierungsaufwand als sehr schwerwiegend zu beurteilen:

- Tiefere Grundwasserstockwerke sind häufig von besonderer wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Bereits geringe Verunreinigungen können große Auswirkungen auf die Nutzbarkeit des Grundwassers haben.
- Die Erkundung tieferer Grundwasserstockwerke ist i. d. R. mit hohem Aufwand verbunden.
- Bei der Sanierung tieferer Grundwasserstockwerke sind häufig hohe Wassermengen mit relativ geringer Schadstoffkonzentration zu behandeln.

**Folgen der  
Schadstoff-  
verlagerung**

Bei einer Verschleppung von Schadstoffen in tiefere Grundwasserleiter ist i. d. R. von einer erhöhten Sanierungsnotwendigkeit für den oberen Grundwasserleiter auszugehen.

**erhöhter  
Sanierungsbedarf**

### 3.4 Prüfschema als Entscheidungshilfe für Grundwassersanierungen

Das folgende Prüfschema basiert auf den Ausführungen der vorangegangenen Kapitel 3.1 bis 3.3. Anhand der ersten Prüfschritte kann hier rasch abgeschätzt werden, ob eine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt oder nicht. Weitere Prüfschritte sollen eine Entscheidungshilfe für die durchzuführenden Maßnahmen bei einer Grundwasserverunreinigung geben:

**Prüfschritte**

- I) Im ersten Schritt ist zu überprüfen, ob die **Überschreitung** eines **GFS** durch eine **anthropogene** Beeinflussung des Grundwasserkörpers hervorgerufen wurde. Wenn die Prüfwertüberschreitung dagegen auf diffuse oder geogene Quellen zurückzuführen ist, findet die GWS-VwV keine Anwendung.
- II a) Bei Überschreitung eines GFS sind die **gelöste Menge** und **Fracht** im Grundwasser zu berechnen und gemäß der Erläuterungen zu II a) einzustufen in

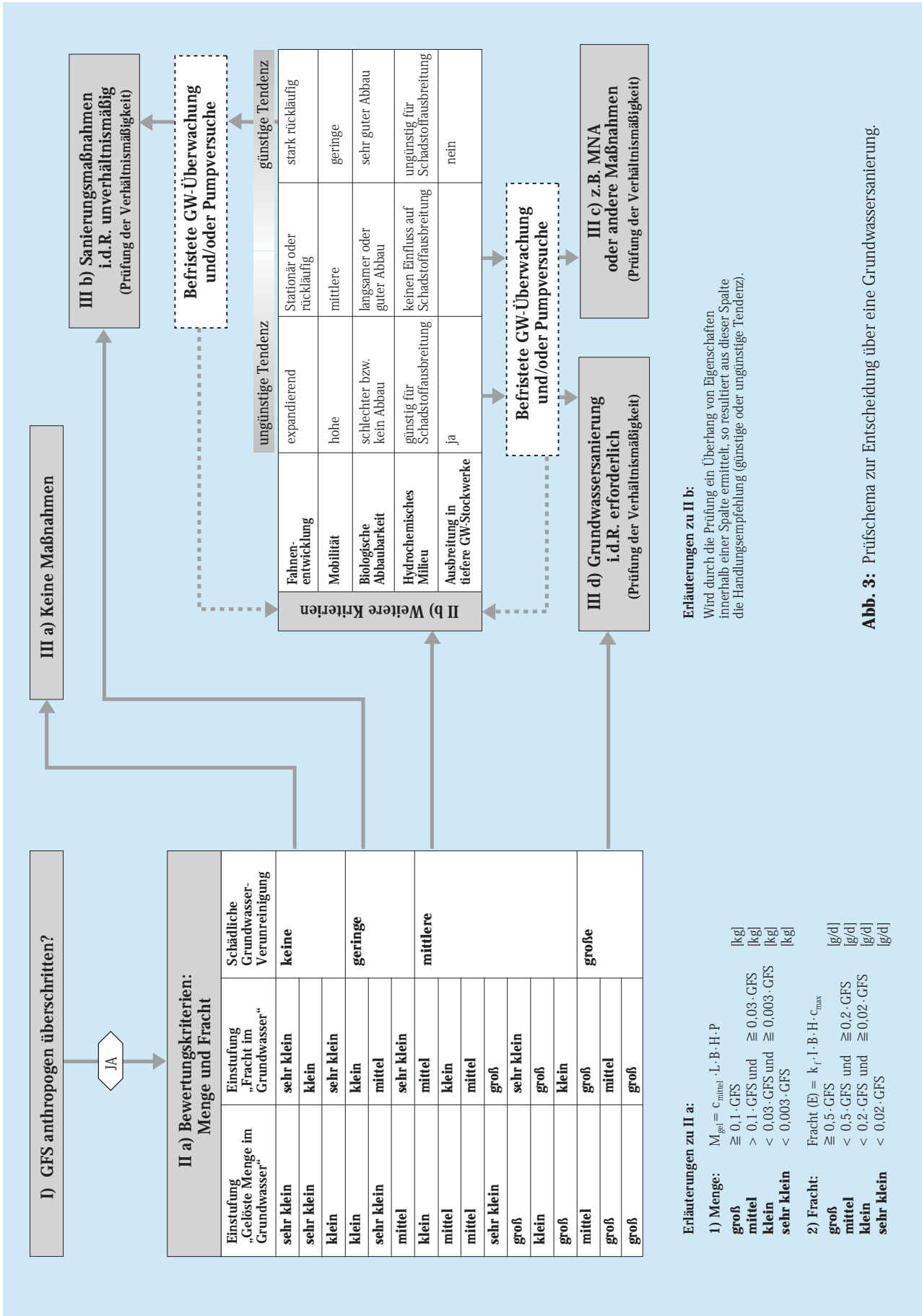


Abb. 3: Prüfschema zur Entscheidung über eine Grundwasseranierung.



**sehr klein, klein, mittel** oder **groß**. Aus der Kombination der beiden Kriterien ergibt sich, ob **keine**, eine **geringe**, eine **mittlere** oder eine **große schädliche Grundwasserverunreinigung** vorliegt (rechte Spalte).

- II b) Ergibt sich aus II a) eine **mittlere schädliche Grundwasserverunreinigung**, sind **weitere Kriterien** nach II b) abzuprüfen, z. B. Fahnenentwicklung und Mobilität der Schadstoffe. In Abhängigkeit von diesen Kriterien ergibt sich die weitere Vorgehensweise. Grundsätzlich kann vor einer endgültigen Entscheidung noch eine **befristete Grundwasserüberwachung** und/oder ein **Pumpversuch** durchgeführt werden, um eine Prognose über die zukünftige Schadstoffentwicklung ableiten zu können.
- III a) Liegt nach II a) **keine schädliche Grundwasserverunreinigung** vor, so sind **keine Maßnahmen** zu ergreifen.
- III b) Liegt nach II a) nur eine **geringe schädliche Grundwasserverunreinigung** vor, so sind **Sanierungsmaßnahmen i. d. R. unverhältnismäßig**. Dies gilt ebenso, wenn die in der rechten Spalte von II b) genannten günstigen Gegebenheiten zutreffen, d. h. eine günstige Tendenz vorliegt.
- III c) Fällt die Tendenz nach II b) weder günstig noch ungünstig aus, so ist zu erwägen, ob eine alternative Methode zu Sanierungsmaßnahmen das geeignete Mittel ist (z. B. MNA, Grundwasserüberwachung).
- III d) Liegt nach II a) eine **große schädliche Grundwasserverunreinigung** vor oder nach II b) eine ungünstige Tendenz, so ist i. d. R. eine **Grundwassersanierung** erforderlich.
- III b-d) Die **Verhältnismäßigkeit** einer Maßnahme ist grundsätzlich zu prüfen.

### 3.5 Anwendungsbeispiel

Die Anwendung des „Prüfschemas zur Entscheidung über eine Grundwassersanierung“ aus Kapitel 3.4 wird nachfolgend anhand eines Beispiels erläutert. Die fachlichen Grundlagen sind in den Kapiteln 3.2 und 3.3 beschrieben.

- I) GFS anthropogen überschritten?

Das Anwendungsbeispiel ist ein LHKW-Schadensfall auf einem Altstandort. Im Grundwasser dominieren Tetrachlorethen (PER) und Trichlorethen (TRI), untergeordnet tritt cis-1,2-Dichlorethen (CIS) auf. Der GFS für die Summe aus PER und TRI beträgt 10 µg/l. In der Schadstofffahne treten maximal 500 µg/l auf, so dass der GFS deutlich überschritten wird. Die LHKW sind anthropogenen Ursprungs. Es geht weiter mit Schritt II a) des Prüfschemas.

- II a) Bewertungskriterien Menge und Fracht

Für die Ermittlung der Bewertungskriterien „Gelöste Menge im Grundwasser“ und „Fracht im Grundwasser“ ist keine Unterteilung der Fahne in mehrere Stromröhren erforderlich, d. h. eine Stromröhre ist ausreichend (vgl. Beispiel A in Anhang 4). Tab. 8 zeigt die Daten und Kenngrößen des Anwendungsbeispiels:

**Beispiel zur  
Anwendung des  
Prüfschemas**

**anthropogen/  
geogen verursachte  
GW-Verunreinigung**

**Ermittlung der  
Bewertungskriterien**

Daten/Kenngrößen		
Bezeichnung des Schadensfalls		MUSTER-Werke
Schadstoff		$\Sigma$ PER + TRI
Anzahl der Stromröhren		1
mittlere LHKW-Konzentration	$c_{\text{mittel}}$	300 $\mu\text{g/l}$
maximale LHKW-Konzentration	$c_{\text{max}}$	500 $\mu\text{g/l}$
Länge der Fahne	L	75 m
Breite der Fahne	B	10 m
Höhe der Fahne	H	4 m
Geringfügigkeitsschwellenwert	GFS	10 $\mu\text{g/l}$
nutzbare Porosität	$P^*$	30 %
Durchlässigkeitsbeiwert	$k_f$	$5 \cdot 10^{-4}$ m/s
hydraulischer Gradient	I	0,005

**Tab. 8:**

Daten/Kenngrößen zur Ermittlung der Bewertungskriterien „Gelöste Menge im Grundwasser“ und „Fracht im Grundwasser“ für ein Anwendungsbeispiel.

## Berechnungen

Die „gelöste Menge im Grundwasser“ ergibt sich aus Gleichung (1):

$$\begin{aligned}
 M_{\text{gelöst}} &= c_{\text{mittel}} \cdot L \cdot B \cdot H \cdot P^*/100 \\
 &= 300 \mu\text{g/l} \cdot 75 \text{ m} \cdot 10 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} \cdot 30/100 = 270\,000 \text{ mg} = 0,27 \text{ kg} \approx 0,3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Nach Tab. 4 in Kapitel 3.2.1 ist die „gelöste Menge im Grundwasser“ klein, wenn sie zwischen  $0,03 \cdot \text{GFS}$  und  $0,003 \cdot \text{GFS}$  liegt. Für einen PER/TRI-Schadensfall mit einem GFS von 10  $\mu\text{g/l}$  entspricht dies dem Bereich zwischen 0,3 und 0,03 kg LHKW. Im Beispiel beträgt die gelöste Menge ca. 0,27 kg LHKW. Daher ist die Einstufung klein zutreffend, jedoch mit deutlicher Tendenz zu mittel.

Die „Fracht im Grundwasser“ ergibt sich aus Gleichung (2):

$$\begin{aligned}
 \text{Fracht (E)} &= k_f \cdot I \cdot B \cdot H \cdot c_{\text{max}} \\
 &= 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \cdot 0,005 \cdot 10 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} \cdot 500 \mu\text{g/l} = 0,05 \text{ mg/s} = 4,3 \text{ g/d}
 \end{aligned}$$

Nach Tab. 6 in Kapitel 3.2.2 ist die „Fracht im Grundwasser“ mittel, wenn sie zwischen  $0,5 \cdot \text{GFS}$  und  $0,2 \cdot \text{GFS}$  liegt. Für einen PER/TRI-Schadensfall mit einem GFS von 10  $\mu\text{g/l}$  entspricht dies dem Bereich zwischen 5 und 2 g/d LHKW. Im Beispiel beträgt die Fracht 4,3 g/d LHKW, daher ist die Einstufung in **mittel** zutreffend.

## EXCEL-Arbeitsblatt

Die Berechnung der „Gelösten Menge im Grundwasser“ und „Fracht im Grundwasser“ vereinfacht sich bei Anwendung des EXCEL-Arbeitsblattes aus Anhang 2. Die Abb. 4 zeigt das EXCEL-Arbeitsblatt des Anwendungsbeispiels:

## Mengen- und Frachtbewertung "Schadstoffe im Grundwasser" Stand 2008

Anhang 2 des Handbuchs Altlasten "Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen"

Eingabedaten sind gelb hinterlegt

Wichtige Endergebnisse sind blau hinterlegt

Bezeichnung des Schadensfalls			Muster-Werke			
Schadstoff			PER, TRI			
Geringfügigkeitsschwellenwert	GFS	µg/l	10			
Stromröhre Nr.			①	②	③	
Bezeichnung der Stromröhre/Messstelle						Quelle der Daten
Mittlere Konzentration in der Stromröhre	$c_{\text{mittel}}$	µg/l	300			Gutachten Büro xy, 2.1.07, S. 23
Max.-Konzentration in der Stromröhre	$c_{\text{max}}$	µg/l	500			Gutachten Büro xy, 2.1.07, S. 23
Breite der Stromröhre / Fahne	B	m	10			Gutachten Büro xy, 2.1.07, S. 29
Höhe der Stromröhre / Fahne	H	m	4			Gutachten Büro xy, 2.1.07, S. 30
Länge der Stromröhre / Fahne	L	m	75			Gutachten Büro xy, 2.1.07, S. 31
Durchlässigkeitsbeiwert	$k_f$	m/s	5,0E-04			Gutachten Büro xy, 2.1.07, S. 31
hydraulischer Gradient	I	-	0,005			Gutachten Büro xy, 2.1.07, S. 32
nutzbare Porosität	P*	%	30			Gutachten Büro xy, 2.1.07, S. 31
Abstandsgeschwindigkeit	$v_a$	m/d	0,7	0,0	0,0	

<b>gelöste Menge im Grundwasser</b>	$M_{\text{gelöst}}$	<b>kg</b>	<b>0,3</b>	<b>klein</b>	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.1)
<b>Fracht im Grundwasser</b>	$E_{\text{ab}}$	<b>g/d</b>	<b>4,3</b>	<b>mittel</b>	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.2)

### Gutachterliche Beurteilung des Sachverhaltes

Die Qualität der vorliegenden Daten (Gutachten des Büros xy) ist ausreichend hoch, da mehrere Messreihen und ein Pumpversuch durchgeführt wurden. Die Ausdehnung der Schadstofffahne konnte durch insgesamt 7 Messstellen eingegrenzt werden.

Abb. 4: Anwendung des EXCEL-Arbeitsblattes aus Anhang 2 mit dem Anwendungsbeispiel.

## Anwendung der Bewertungsmatrix

Im nächsten Schritt wird die Bewertungsmatrix herangezogen, entweder Tab. 7 in Kapitel 3.2.3 oder die gleichlautende Tab. II a) in Abb. 3. Die Kombination „kleine gelöste Menge im Grundwasser“ und „mittlere Fracht im Grundwasser“ ergibt, dass eine „mittlere schädliche Grundwasserverunreinigung“ vorliegt (Tab. 9).

II a) Bewertungskriterien: Menge und Fracht		
Einstufung „Gelöste Menge im Grundwasser“	Einstufung „Fracht im Grundwasser“	Schädliche Grundwasser- Verunreinigung
sehr klein	sehr klein	keine
sehr klein	klein	
klein	sehr klein	
klein	klein	geringe
sehr klein	mittel	
mittel	sehr klein	
klein	mittel	mittlere
mittel	klein	große
mittel	mittel	
sehr klein	groß	
groß	sehr klein	
klein	groß	
groß	klein	
mittel	groß	
groß	mittel	
groß	groß	

**Tab. 9:**

Bewertungsmatrix IIa) aus Abb. 3; blau hervorgehoben sind die für das Anwendungsbeispiel geltenden Einstufungen.

### II b) Weitere Kriterien

#### weitere Prüfkriterien

Aufgrund der Einstufung „mittlere schädliche Grundwasserverunreinigung“ sind weitere Prüfschritte erforderlich, um entscheiden zu können, ob bzw. welche Maßnahmen erforderlich sind. Hierzu werden die in Kapitel 3.3 genannten Kriterien geprüft.

#### Fahnenentwicklung:

Grundwassermessungen der letzten zwei Jahre haben keinen eindeutigen Trend gezeigt, ob die Fahne expandierend, quasi-stationär oder rückläufig ist. Da in der Schadstoffquelle noch größere Mengen an LHKW vorliegen (ca. 100 kg), ist von einer langen Emissionsdauer der Quelle auszugehen. Da die biologische Abbaubarkeit der LHKW unter den vorherrschenden Milieubedingungen gering ist, wird eine expandierende Fahnenentwicklung angenommen. Dies ist als ungünstig zu werten.

#### Mobilität der LHKW:

Bei LHKW wird von einer hohen Mobilität ausgegangen [14]. Dies ist als ungünstig zu werten.

#### Biologische Abbaubarkeit der LHKW und Hydrochemisches Milieu:

Da im Grundwasser Sauerstoff vorhanden ist, liegt ein aerobes Milieu vor. In der gesamten Fahne dominieren PER und TRI. Im weiteren Abstrom tritt zwar der Metabolit cis-1,2-Dichlorethen (CIS) auf, jedoch in wesentlich geringen Konzentrationen als die Ausgangsstoffe PER und TRI. Die Abbaubarkeit von PER und TRI ist unter den vorherrschenden Milieubedingungen gering. Dies ist als ungünstig zu werten.

### **Verlagerung in tiefe Grundwasserstockwerke:**

Aufgrund eines mächtigen Stauhorizontes besteht keine Gefahr für eine Schadstoffverlagerung in tiefere Grundwasserstockwerke. Dies ist als günstig zu werten.

### III d) Grundwassersanierung i. d. R. erforderlich

Aufgrund der überwiegend ungünstigen Tendenz der weiteren Kriterien nach II b) wäre eine Grundwassersanierung erforderlich. Bei der Entscheidung, welche Maßnahmen zu Sanierung des Grundwassers zu treffen sind, ist die Prüfung der Verhältnismäßigkeit durchzuführen (s. Kap. 4). Ergänzend kann es sinnvoll sein, eine befristete Grundwasserüberwachung und/oder einen Pumpversuch durchzuführen (gestricheltes Kästchen zwischen III b) und III d) in Abb. 3).

**Entscheidung über Handlungsbedarf**

## 4 Verhältnismäßigkeitsprüfung bei Sanierungen

Für die Frage, ob eine schädliche Grundwasserverunreinigung nach Nr. 4 GWS-VwV vorliegt, spielt der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit noch keine Rolle<sup>5</sup>. Auch wenn eine schädliche Grundwasserverunreinigung nicht mit einem verhältnismäßigen Aufwand saniert werden kann, bleibt sie doch eine schädliche Grundwasserverunreinigung. Der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit ist vielmehr erst beachtlich für die Frage, welche Sanierungsmaßnahmen zu treffen sind (Nr. 5 GWS-VwV).

**Anwendungsbereich**

Die Sanierung des Grundwassers ist nach Nr. 5 Abs. 2 GWS-VwV mit verhältnismäßigen Maßnahmen durchzuführen. Die Anwendung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit setzt eine nachvollziehbare fachliche und rechtliche Prüfung voraus, die undifferenzierte Behauptung der „Unwirtschaftlichkeit“ von Maßnahmen reicht nicht aus.

**Nachvollziehbarkeit der Prüfschritte**

<sup>5</sup> Nach dem Papier von LAWA/LABO „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“ [8] werden einige Elemente, die in Hessen bei der Prüfung der Schädlichkeit einer Grundwasserverunreinigung nach Nr. 2 und 4 GWS-VwV berücksichtigt sind, erst später berücksichtigt, nämlich bei der Prüfung, ob und inwieweit Sanierungsmaßnahmen nach dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz gefordert werden können. Es wird also jede Überschreitung der GFS als Verunreinigung angesehen. Damit zählen auch Bagatellfälle als grundsätzlich sanierungsbedürftig, die Sanierung aber häufig als unverhältnismäßig.

Die GWS-VwV lehnt sich mit dem Begriff der „schädlichen Grundwasserverunreinigung“ an die bodenschutzrechtliche Terminologie („schädliche Bodenveränderung“) an, während das LAWA/LABO-Papier den Begriff der Schädlichkeit nicht benutzt.

Der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit ist ein aus dem Verfassungsrecht abgeleiteter Maßstab, der im gesamten öffentlichen Recht gilt. Er gilt deshalb auch im Bodenschutz- und Wasserrecht. Nach § 4 Abs. 3 Satz 3 BBodSchG dürfen Sanierungsmaßnahmen nicht „unzumutbar“ sein, nach § 4 Abs. 7 BBodSchV sind bestimmte Kriterien bei der Prüfung der „Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen“ zu berücksichtigen.

### **drei Elemente der Verhältnismäßigkeit**

Der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit besteht aus den drei Begriffselementen Geeignetheit, Erforderlichkeit und Angemessenheit.

- **Geeignetheit:**  
Nach diesem Grundsatz muss eine Maßnahme das mit ihr verfolgte Ziel fördern. Nach § 5 BBodSchV sind bestimmte Anforderungen an die Eignung von Sanierungsmaßnahmen zu stellen.
- **Erforderlichkeit:**  
Eine Maßnahme ist erforderlich, wenn kein anderes, ebenso wirksames, aber den Sanierungspflichtigen weniger belastendes (milderer) Mittel gewählt werden kann. In §§ 9 Abs. 2, 10 BBodSchG ist von „notwendigen“ Untersuchungen und Maßnahmen die Rede. Dieser Grundsatz spielt eine besondere Rolle bei der Entscheidung, ob auf eine aktive Sanierungsmaßnahme zugunsten von MNA (Überwachung der natürlichen Abbau- und Rückhalteprozesse) verzichtet werden kann.
- **Angemessenheit:**  
Die Angemessenheit (Verhältnismäßigkeit im engeren Sinne) verlangt eine Abwägung zwischen der Schwere des Eingriffs und dem Gewicht und der Dringlichkeit der diesen Eingriff rechtfertigenden Gründe oder der mit diesem Eingriff verfolgten Ziele. Die Kosten oder die sonstigen mit einer Sanierungsmaßnahme verbundenen Folgen dürfen den Sanierungspflichtigen im Verhältnis zu dem damit zu erreichenden Rechtsgüterschutz nicht unangemessen belasten („nicht mit Kanonen auf Spatzen schießen“). Für diese Abwägung kommt es auf die Wertigkeit des Rechtsgutes, das Ausmaß des drohenden Schadens, den Grad der Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts und den Zeit- und Problemdruck an.

### **Aufwand Erfolg**

Der finanzielle oder sonstige Aufwand für Maßnahmen ist im Einzelfall in eine Beziehung (Verhältnis) zu setzen zu deren Erfolg, und es ist die Frage zu beantworten, ob die Kosten von Maßnahmen außer Verhältnis stehen zu den Auswirkungen und Folgen von ohne diese Maßnahmen im Grundwasser verbleibenden Verunreinigungen.

### **Beendigung einer Sanierung**

Wenn eine Sanierung wegen der Unverhältnismäßigkeit weiterer Sanierungsmaßnahmen beendet wird, verbleiben ggf. in größerem Umfang Schadstoffe im Grundwasser. Die Folgen dieser Belastungen sind bei der Entscheidung über die Beendigung der Sanierung zu berücksichtigen. Zu den negativen Folgen dieser von der Sanierung nicht mehr erfassten Schadstoffe gehören die Verlagerung des Schadens in die Zukunft, verbunden mit einer möglichen Belastung der Allgemeinheit mit den Kosten später notwendig werdender Maßnahmen, sowie die Beeinträchtigung der Nutzung und damit auch des Wertes des Grundstücks.

## 5 Sanierungsziel

Nach der Einzelfallentscheidung, dass ein Sanierungsbedarf besteht, ist das Sanierungsziel festzulegen. Die GWS-VwV enthält keine konkrete Regelung zur Festlegung des Sanierungsziels. Das Sanierungsziel ist grundsätzlich dann erreicht, wenn nach einer erfolgten Sanierung keine schädliche Grundwasserverunreinigung mehr vorliegt.

1. In der Regel wird zur Konkretisierung eines Sanierungszieles ein Sanierungszielwert festgelegt, der einen dauerhaft zu unterschreitenden Konzentrationswert für einen Schadstoff nennt. Dies sind häufig die in der GWS-VwV aufgeführten Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS). Wenn die GFS dauerhaft unterschritten sind, kann behördlicherseits keine weitere Sanierung mehr gefordert werden, weil keine Grundwasserverunreinigung mehr besteht (Kap. 3.1). Eine weitere Bewertung ist dann nicht erforderlich.

Beispiel für einen Sanierungsbescheid:

*Die Grundwassersanierung ist so zu betreiben, bis die nachfolgend aufgeführten Sanierungszielwerte dauerhaft unterschritten werden und eine Zunahme der Belastung nicht zu erwarten ist:*

<b>Parameter</b>	<b>Sanierungszielwert</b>
$\Sigma$ LHKW	20 $\mu\text{g/l}$
Kohlenwasserstoffe	100 $\mu\text{g/l}$

2. Wenn im Sanierungsverlauf der Sanierungszielwert trotz Ausschöpfung von Optimierungsmöglichkeiten (Kap. 6) nicht unterschritten werden kann, stellt sich die Frage nach einer Anpassung des Sanierungszieles, das von dem im Bescheid festgelegten Sanierungszielwert abweicht. Dies setzt eine erneute Bewertung des noch vorhandenen Schadens und der noch vorhandenen Schadstoffe voraus. Dafür sind aber die bis zum Zeitpunkt der Erteilung eines Sanierungsbescheides vorliegenden Erkenntnisse oftmals nicht ausreichend. Daher sollte eine diesbezügliche „Öffnungsklausel“ aufgenommen werden:

Beispiel für einen Sanierungsbescheid:

*Werden während des Verlaufs der Sanierung neue Erkenntnisse gewonnen oder tritt eine Stagnation oberhalb der Sanierungszielwerte ein, kann das vorgegebene Sanierungsziel – auf Antrag – angepasst werden, wenn aufgrund des laufenden Sanierungsbetriebes ausreichende und aussagefähige Erfahrungswerte vorliegen. Zur Beurteilung sind neben der Konzentration der Schadstoffe auch Menge und Fracht zu berücksichtigen.*

**Festlegung eines Sanierungszielwerts**

**Anpassung des Sanierungsziels**

**Öffnungsklausel im Sanierungsbescheid**

## 6 Optimierung von Grundwassersanierungen

Bei einer laufenden Grundwassersanierung kann sich abzeichnen, dass das Sanierungsziel in absehbarer Zeit nicht erreicht wird, oder dass die Sanierungsmaßnahme mittlerweile ineffektiv ist. Dann stellt sich die Frage, ob bzw. wie die Sanierung optimiert werden kann.

### Optimierungsmöglichkeiten

In der Literatur gibt es Darstellungen insbesondere zur Sanierungsoptimierung von Pump & Treat-Maßnahmen bei LHKW-Schadensfällen, z. B. [17]. Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten Möglichkeiten zur Optimierung gegeben:

- Ersatz des angewendeten Sanierungsverfahrens durch ein zum jetzigen Zeitpunkt besser geeignetes bzw. wirtschaftlicheres Sanierungsverfahren (z. B. Umstellung einer Pump & Treat-Maßnahme auf eine biologische In-situ-Sanierung bei organischen Schadstoffen),
- Ersatz von Anlagenkomponenten durch solche mit geringeren Betriebskosten (z. B. Austausch einer Strippanlage gegen einen Aktivkohlefilter),
- Optimierung von Anlagenkomponenten (z. B. Dosierung von Chemikalien, Luft-Wasser-Verhältnis bei Strippanlagen),
- Reduzierung der zu behandelnden Grundwassermenge (Optimierung der Grundwasserentnahme, z. B. auf Grundlage eines numerisches Strömungsmodells oder nach Auswertung von Pumpversuchen),
- Optimierung des begleitenden Monitoring-Programms zur Überwachung des Grundwassers (z. B. Probennahmestellen, Probennahmeintervalle, Analysenumfang).

Das Fallbeispiel 1 in Kapitel 8 beschreibt eine Sanierungsoptimierung.



## 7 Beendigung von Grundwassersanierungen

Die Sanierung kann beendet werden, wenn der Sanierungszielwert dauerhaft unterschritten wird (Kap. 5).

Im Übrigen orientiert sich die Entscheidung über die Beendigung einer Grundwassersanierung zunächst an den gleichen Kriterien, die auch für den Beginn der Sanierung maßgeblich waren. Es wird zuerst geprüft, ob die noch vorhandene Grundwasserverunreinigung sanierungsbedürftig ist (Kap. 3.2.3, Anwendung der Bewertungsmatrix). Dann werden Maßnahmen und deren Verhältnismäßigkeit überprüft (Kap. 4). Es wird ermittelt, ob die laufenden Sanierungsmaßnahmen noch verhältnismäßig sind im Verhältnis zum noch vorhandenen Schaden und zu den noch vorhandenen Schadstoffen und deren Auswirkungen auf die Umwelt.

**Anwendung der  
Bewertungsmatrix**

**Prüfung der  
Verhältnismäßigkeit**

Liegen die Schadstoffkonzentrationen nach einer angemessenen Sanierungsdauer noch über den festgelegten Sanierungszielen (Sanierungszielwerten), kann - in der Regel auf Antrag des Sanierungspflichtigen - eine neue behördliche Entscheidung notwendig werden.

Die Behörde kann ein abweichendes Sanierungsziel bestimmen, wenn aufgrund der örtlichen Verhältnisse eine Beseitigung der schädlichen Grundwasserverunreinigung mit verhältnismäßigen Maßnahmen nicht zu erwarten ist (Nr. 5 Abs. 2 GWS-VwV). Ein abweichendes Sanierungsziel ist ein Ziel, das man mit verhältnismäßigem Aufwand erreichen kann; Schadstoffe sind somit noch im Grundwasser vorhanden. Deshalb spricht die GWS-VwV im Weiteren von den mit diesen Reststoffen verbundenen „verbleibenden Gefahren“ und regelt den Umgang mit diesen. Zur Gefahrenabwehr kommen in erster Linie „sonstige Maßnahmen“ (Optimierung) in Betracht. Wenn diese nicht greifen, kommen in einer weiteren Stufe der Prüfung der Verhältnismäßigkeit auch sogenannte Sicherungsmaßnahmen in Frage, deren Wirkung die folgenden Kriterien erfüllen müssen:

**abweichendes  
Sanierungsziel**

- keine Ausbreitung der Schadstoffe im Grundwasser (stationäre Schadstofffahne),
- keine Gefahren für oberirdische Gewässer und
- keine Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit.

**Sicherungs-  
maßnahmen**

Diese mit „und“ verknüpften Kriterien müssen alle vorliegen, wenn die Entscheidung darüber getroffen wird, dass keine Sanierungsmaßnahmen mehr verlangt werden. Sollten die genannten Kriterien auch ohne weitere Maßnahmen erfüllt werden, kann die Sanierung beendet werden.

**Voraussetzungen für  
das Sanierungsende**

### Anwendung der Bewertungsmatrix

Auch bei der Entscheidung über eine Beendigung der Sanierung kann die Bewertungsmatrix angewandt werden (Tab. 7 auf S. 20). Die aktuell ermittelten Werte für „gelöste Menge im Grundwasser“ und „Fracht im Grundwasser“ werden an die Bewertungsmatrix angelegt. Wenn daraus folgend „keine schädliche Grundwasserverunreinigung“ vorliegt, kann die Grundwassersanierung beendet werden. Wenn eine „geringe schädliche Grundwasserverunreinigung“ vorliegt, kann die Grundwassersanierung i. d. R. ebenfalls beendet werden, es sei denn, ein sehr empfindliches Schutzgut ist betroffen, so dass eine Fortsetzung der Sanierung verhältnismäßig erscheint.

**geringe  
GW-Verunreinigung**

### mittlere und große GW-Verunreinigung

In der Praxis kann bzgl. der Beendigung der Sanierung auch der Fall auftreten, dass nach Anwendung der Bewertungsmatrix noch eine mittlere oder sogar eine große schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt. Die Gefährdung oder Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit ist erneut zu beurteilen, und die Prognose für den weiteren Verlauf der Sanierung zu erstellen. Die Leitfragen für eine solche Beurteilung lauten:

- Geht vom Standort noch eine Gefährdung aus?
- Wäre es sinnvoll/ notwendig, bei der aktuellen Konzentration, Menge und Fracht eine Grundwassersanierung zu beginnen?
- Ist es verhältnismäßig, die Maßnahme weiter zu führen?
- Was geschieht, wenn die Sanierung eingestellt wird?

### verbesserter Kenntnisstand

Während der bisherigen Sanierungsmaßnahme hat sich der Kenntnisstand über den Schadensfall i. d. R. wesentlich verbessert. Der Zeitraum seit Beginn der Maßnahme ist deshalb auszuwerten und in die Entscheidung einzubeziehen. Dabei sind u. a. die nachfolgenden Punkte abzuarbeiten:

- Bilanzierung des bisherigen Sanierungsverlaufes: Entwicklung von Schadstoffkonzentration, -menge und -fracht sowie der Schadstofffahne im Grundwasser (insbesondere Entwicklung der Emission aus der Schadensquelle, des gesamten Schadstoffinventars sowie der Fahnenlänge)
- Prognose der weiteren Schadensentwicklung bei Vergleich der beiden Szenarien: 1. Fortsetzung der bisherigen Maßnahmen oder 2. Abbruch
- Beurteilung der Auswirkungen von Restbelastungen nach Beendigung der Sanierungsmaßnahme auf Schutzgüter
- Überprüfung der Situation von Nutzungsmöglichkeiten der Liegenschaft und Schutzbedürftigkeit
- Prüfung der Optimierung der Sanierung
- Verhältnismäßigkeitsprüfung (s. u.)

#### Verhältnismäßigkeitsprüfung der Maßnahmen

### erneute Prüfung der Verhältnismäßigkeit

Im Laufe der Sanierung ist es sinnvoll, immer wieder die aktuelle Situation zu hinterfragen. Dazu gehört auch, die Verhältnismäßigkeit zu überprüfen. Diese Prüfung kann ergeben, dass die derzeitigen Maßnahmen nicht mehr verhältnismäßig sind. Dann ist als erster Schritt zu prüfen, ob die Sanierung optimiert werden kann (siehe Kap. 6). Wenn das nicht möglich ist, weil das Optimierungspotenzial ausgeschöpft ist, dann kann die Behörde Sicherungsmaßnahmen zulassen (vgl. Nr. 5 Abs. 2 GWS-VwV).

Eine Prüfung, ob die aktuellen oder andere Maßnahmen verhältnismäßig sind, ist im Rahmen einer Einzelfallprüfung zwingend erforderlich. In diesen Fällen kann folgende „Öffnungsklausel“ in den Änderungs- oder Ergänzungsbescheid aufgenommen werden:

### Öffnungsklausel für das Sanierungsende

*„Abweichend von den Sanierungszielwerten kann – auf Antrag – eine Beendigung der Sanierungsmaßnahmen auch dann erfolgen, wenn eine weitere Abnahme der Schadstoffkonzentrationen mit verhältnismäßigen Mitteln nicht erreichbar ist.“*

## 8 Fallbeispiele

### Fallbeispiel 1 „Optimierung einer Sanierung – Anwendung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit“

Ein sehr ausgeprägter Grundwasserschaden mit Mineralölkohlenwasserstoffen, insbesondere mit aromatischen Kohlenwasserstoffen, wird seit über 25 Jahren hydraulisch saniert, seit ca. 15 Jahren zusätzlich durch Zugabe von Nährstoffen (In-situ-Sanierung). Die damals zuständige Wasserbehörde hatte noch keine Sanierungsziele vorgegeben.

#### MKW-Schadensfall

Erst nach Vorgabe von Sanierungszielen (Entwurf einer Verbindlichkeitserklärung nach § 13 BBodSchG) mit einer Öffnungsklausel (Kap. 5 Punkt 2) durch das Regierungspräsidium hat der Sanierungspflichtige weitere Sanierungsvarianten – unter Einbeziehung von Monitored Natural Attenuation (MNA) – geprüft und Maßnahmen unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit im Hinblick auf ihre technische, ökologische und ökonomische Effizienz sowie die Ergebnissicherheit bewertet. Der Sanierungspflichtige hielt die vorgegebenen Sanierungszielwerte für zu niedrig und für nicht erreichbar.

#### Prüfung von Sanierungsvarianten

Der Sanierungspflichtige prognostizierte die Kosten der In-situ-Sanierung bei einer Fortsetzung um weitere 50 Jahre bis zur Erreichung der vorgegebenen Sanierungszielwerte auf 30 Mio. € (Investitions- und Betriebskosten). Die tatsächliche Beseitigungsrate der Schadstoffe (Schadstoffabbau und -entnahme pro Jahr) ist im Laufe der 10-jährigen In-situ-Sanierung (1990 bis 2000) von ca. 100 t/a auf 10 t/a um den Faktor 10 zurückgegangen. Modellrechnungen ergaben, dass die Beseitigungsrate in einigen Jahrzehnten voraussichtlich unter 10 kg/a zurückgehen wird.

Das Regierungspräsidium hat auf die Festlegung von Sanierungszielwerten verzichtet und nach einer weiteren Variantenbetrachtung der Beendigung der In-situ-Sanierung und der Durchführung einer hydraulischen Maßnahme (Pump & Treat) mit sich anschließendem Monitored Natural Attenuation (MNA) zugestimmt. Die Sanierungsdauer wird sich dadurch von 50 Jahren (In-situ-Sanierung) auf ca. 100 Jahre verlängern. Auch die zukünftige Sanierung soll sicherstellen, dass der Vorfluter durch die Schadstoffe nicht beeinträchtigt wird (hydraulische Abschirmung). Bei dem sich anschließenden MNA gelten diesbezüglich die gleichen Anforderungen.

#### Prognose der Sanierungsdauer

Eine Kostenschätzung für die Variante hydraulische Sanierung mit anschließendem MNA ergab einen Betrag von 15 Mio. € für die Fortsetzung der Sanierung und damit einen deutlich geringeren Betrag als bei der Fortführung der In-situ-Sanierung bei Erreichen eines gleichwertigen Ziels. Die weitere Prüfung ergab, dass der Verlängerung der Sanierungsdauer aus wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten zugestimmt werden konnte. Beispielsweise war keine Trinkwassergewinnung betroffen.

#### Kostenschätzung

Bei einer angenommenen Sanierungsdauer von etwa 100 Jahren konnten keine verbindlichen Sanierungsziele festgelegt werden, denn die dafür erforderlichen Grundlagen – wie das Vorhandensein von Sanierungstechniken und deren Kosten – fehlen oder werden sich in einem so langen Zeitraum in einem Maße geändert haben, dass heutige Festsetzungen keinen Bestand haben werden. Die Entscheidung war deshalb nur im Hinblick darauf zu treffen, mit welcher Sanierungsvariante die Sanierung fortgesetzt wird. Das Regierungspräsidium hat nach dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit dem Antrag des Sanierungspflichtigen auf eine Hydraulische Sanierung mit

anschließendem MNA zugestimmt, ohne Sanierungszielwerte verbindlich festzulegen.

### behördliche Entscheidung

Nach Auffassung des Regierungspräsidiums war die Fortführung der In-situ-Sanierung nicht mit dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit – Geeignetheit, Erforderlichkeit und Angemessenheit – vereinbar.

Das Kriterium „Geeignetheit“ war bei beiden Varianten erfüllt, denn beide sind geeignet, ein Sanierungsziel zu erreichen. Die mit der In-situ-Sanierung erreichbare Verkürzung der Sanierungsdauer von 100 auf 50 Jahre konnte aber den dafür erforderlichen erheblichen finanziellen Mehraufwand nicht rechtfertigen. Hier ergaben sich bereits Zweifel an der „Erforderlichkeit“ dieser Variante; der Zeitgewinn von 50 Jahren fiel hier nicht ins Gewicht, denn damit war kein wesentlicher Vorteil verbunden. Jedenfalls war der Aufwand nicht als „angemessen“ anzusehen, denn die Mehrkosten von 15 Mio. € standen in diesem Fall „außer Verhältnis“ zu dem damit zu gewinnenden Erfolg der Verkürzung der Sanierungsdauer, weil die Sanierung nicht als dringlich anzusehen war. Das Sanierungsgebiet liegt am Ufer eines großen Vorfluters, eine wasserwirtschaftliche Nutzung des Grundwassers ist nicht zu erwarten; es gibt keine Einschränkung der baulichen Nutzung des Geländes durch die Belastung des Grundwassers. Auch sind keine anderen Nachteile mit der längeren Sanierungsdauer verbunden. Bei einer Änderung der Rahmenbedingungen ist eine Anpassung an die geänderten Verhältnisse immer möglich.

### Fallbeispiel 2 „Abschluss einer Sanierung“

### LHKW-Schaden

Ein lokal begrenzter Grundwasserschaden mit LHKW, überwiegend Tetrachlorethen, wurde seit 12 Jahren hydraulisch saniert. Die Grundwassersanierung begann 1993 bei LHKW-Konzentrationen von über 1800 µg/l. Im Jahr 2003 wurden Werte von 150 µg/l erreicht, die Abreinigungsleistung betrug durchschnittlich 7,7 Gramm pro Tag. Das Regierungspräsidium Darmstadt gab 1993 als Sanierungsziel die Reduzierung der Grundwasserverunreinigung auf Summenwerte für LHKW < 20 µg/l vor.

### erneute Gefährdungs- abschätzung

Da die Sanierungsziele nicht erreicht wurden, wurde eine Gefährdungsabschätzung dahin gehend durchgeführt, ob von den verbleibenden Restbelastungen noch eine Gefährdung ausgeht. Es wurde vereinbart, die Grundwassersanierungsanlage versuchsweise außer Betrieb zu nehmen und die Konzentrationsänderungen über einen Zeitraum von 9 Monaten im unbeeinflussten Grundwasserleiter anhand eines monatlichen Monitorings zu beobachten. Die Bandbreite der im Monitoring gemessenen LHKW-Konzentrationen lag zwischen 97 µg/l und 140 µg/l.

### Fracht

Zur Bewertung des verbleibenden Gefährdungspotenzials wurde eine Frachtbetrachtung erstellt. Die Schadstoffe verlassen den Schadensherd auf einer Breite von 12 m bei einer Grundwassermächtigkeit von 3 m. Bei einer standorttypischen Durchlässigkeit von  $1,3 \cdot 10^{-3}$  m/s und einem hydraulischen Gradienten von 0,0014 ergibt sich eine Fracht von maximal 0,77 g/d.

Das Monitoring ergab, dass sich ein dauerhaftes Konzentrationsgleichgewicht im Grundwasser eingestellt und sich eine stationäre Schadstofffahne ausgebildet hat. Deren Zentrum wies lediglich auf einer Fläche von 75 m<sup>2</sup> Konzentrationen von > 50

µg/l auf. Alle übrigen Kontrollmessstellen zeigten Konzentrationen < 10 µg/l. Es verließen täglich deutlich weniger als 1 Gramm Schadstoffe die Schadstoffquelle. Daher wurde der verbliebene Grundwasserschaden als nicht (mehr) sanierungsbedürftig eingestuft.

Das Regierungspräsidium hat deshalb im Jahr 2003 nach dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit dem Antrag des Sanierungspflichtigen auf Einstellung der Hydraulischen Sanierung ohne Erreichung der Sanierungszielwerte zugestimmt.

Werden die bekannten Sachverhalte nach der vorliegenden Arbeitshilfe bewertet, führt dies zu vergleichbaren Ergebnissen: Die gelöste Menge LHKW im Grundwasser beträgt 0,01 kg. Die LHKW-Fracht im Grundwasser beträgt 0,8 g/d. Die Einstufung nach Arbeitshilfe Kapitel 3 wertet die gelöste Menge im Grundwasser als sehr klein und die Fracht als klein. Das Prüfschema zur Entscheidung über eine Grundwasser-sanierung kommt zu dem Ergebnis, dass keine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt und bestätigt damit die behördliche Entscheidung aus dem Jahr 2003.

**behördliche  
Entscheidung**

**Anwendung der  
Arbeitshilfe**

## Anhänge

- Anhang 1 Kriterien zur Beurteilung einer schädlichen Grundwasserverunreinigung
- Anhang 2 EXCEL-Arbeitsblatt
- Anhang 3 Erläuterungen zum EXCEL-Arbeitsblatt von Anhang 2
- Anhang 4 Hinweise zur Anordnung von Stromröhren
- Anhang 5 Grafische Auswertung von 35 Praxisfällen
- Anhang 6 Stand der Technik bei der Grundwasserreinigung
- Anhang 7 Einleitung von Hilfsstoffen in das Grundwasser  
bei In-situ-Sanierungen
- Anhang 8 Ableitung von Grundwasser - Wiederversickerung, Einleitung in Abwasseranlagen und  
oberirdische Gewässer
- Anhang 9 Geringfügigkeitsschwellenwerte der GWS-VwV

## Anhang 1 Kriterien zur Beurteilung einer schädlichen Grundwasserverunreinigung

Für die Beurteilung, ob eine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt, gelten die Kriterien nach Nr. 4 der GWS-VwV. In der nachfolgenden Tabelle sind diese Kriterien aufgeführt und erläutert. Querverweise auf die vorliegende Arbeitshilfe stehen in der rechten Spalte. Die Tabelle bildet damit das Bindeglied zwischen der GWS-VwV und der vorliegenden Arbeitshilfe.

Kriterien nach Nr. 4 der GWS-VwV	Erläuterungen	Verweis auf Arbeitshilfe
<b>Gefährlichkeit der Schadstoffe</b>		
Geringfügigkeits-schwellenwert (GFS)	<p>Je geringer der GFS eines Schadstoffes ist, desto höher ist die Gefährlichkeit des Stoffes für das Grundwasser.</p> <p>Die Höhe des GFS hat Auswirkungen auf die Bewertung der</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– im Grundwasser vorhandenen Schadstoffmenge</li> <li>– Schadstofffracht im Grundwasser.</li> </ul> <p>Zur Bewertung von Schadstoffmenge und -fracht werden diese mit dem Zahlenwert der GFS verglichen. Damit können Schadensfälle mit unterschiedlichen Schadstoffen (und unterschiedlichen GFS) vergleichbar bewertet werden.</p>	Kap. 3.2.1 Kap. 3.2.2
Abbaubarkeit	<p>Schadstoffe, die unter den im Grundwasser vorliegenden Milieubedingungen gut abbaubar sind, verursachen eine vergleichsweise geringe Grundwassergefährdung.</p> <p>Die Abbaubarkeit eines Schadstoffes hat Auswirkungen insbesondere auf die</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– im Grundwasser vorhandene Schadstoffmenge</li> <li>– Schadstofffracht im Grundwasser (im weiteren Abstrom)</li> <li>– Fahnenlänge und -entwicklung.</li> </ul>	Kap. 3.2.1 Kap. 3.2.2 Kap. 3.3
Beweglichkeit (Mobilität)	<p>Je mobiler ein Schadstoff ist, desto leichter erfolgen die Schadstofffreisetzung aus der Quelle und die Ausbreitung im Grundwasser.</p> <p>Die Mobilität eines Schadstoffes ist abhängig insbesondere von der <i>Wasserlöslichkeit</i> und <i>Sorptionsfähigkeit</i> des Stoffes. <i>Lösevermittler</i> können die Beweglichkeit erhöhen.</p> <p>Die Mobilität eines Schadstoffes hat Auswirkungen insbesondere auf die</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– im Grundwasser vorhandene Schadstoffmenge</li> <li>– Schadstofffracht im Grundwasser</li> <li>– Fahnenlänge und -entwicklung</li> </ul>	Kap. 3.2.1 Kap. 3.2.2 Kap. 3.3
<b>Räumliche Verteilung und Menge der Schadstoffe</b>		
im Grundwasser vorhandene Schadstoffmenge	<p>Je höher die zum aktuellen Zeitpunkt im Grundwasser gelöste Schadstoffmenge ist, desto eher liegt eine schädliche Grundwasserverunreinigung vor.</p>	Kap. 3.2.1
im Boden vorhandene Schadstoffmenge	<p>Kontaminierte Böden stellen eine Schadstoffquelle dar und können eine lang anhaltende Schadstofffreisetzung in das Grundwasser verursachen.</p> <p>Die Schadstoffmenge im Boden ist bei der Verhältnismäßigkeitsprüfung einer Sanierungsmaßnahme relevant, nicht jedoch bei der Bewertung, ob aktuell eine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt.</p>	Kap. 4
Schadstofffracht im Grundwasser	<p>Je höher die Schadstofffracht im Abstrom einer Schadstoffquelle ist, desto eher liegt eine schädliche Grundwasserverunreinigung vor. Eine etwaige Schadstofffracht im Zustrom ist zu berücksichtigen (Fracht aus Schadensherd = Fracht im Abstrom minus Fracht im Zustrom).</p>	Kap. 3.2.2

Fortsetzung nächste Seite

Kriterien nach Nr. 4 der GWS-VwV	Erläuterungen	Verweis auf Arbeitshilfe
<b>Örtliche Verhältnisse</b>		
hydrogeologische Gegebenheiten	<p>Zu den hydrogeologischen Gegebenheiten zählen insbesondere die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters, der hydraulische Gradient, die Porosität sowie der Ton- und <math>C_{org}</math>-Gehalt des Grundwasserleiters.</p> <p>Die hydrogeologischen Gegebenheiten sind zu berücksichtigen bei den Kriterien</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– im Grundwasser vorhandene Schadstoffmenge</li> <li>– Schadstofffracht im Grundwasser.</li> </ul>	Kap. 3.2.1 Kap. 3.2.2
Schutzbedürftigkeit	<p>Grundwasser ist grundsätzlich schutzbedürftig.</p> <p>Eine besondere Schutzbedürftigkeit des Grundwassers liegt insbesondere bei der Nutzung von Grundwasser vor.</p> <p>Die Schutzbedürftigkeit des Grundwassers ist relevant für die Eilbedürftigkeit bzw. Prioritätensetzung von evtl. erforderlichen Sanierungen, nicht jedoch bei der Bewertung, ob aktuell eine schädliche Grundwasserverunreinigung vorliegt.</p>	
eingetretene oder zu erwartende Beeinträchtigungen	<p>Liegt im Grundwasser eine Schadstofffahne vor, ist eine Beeinträchtigung des Grundwassers als Lebensraum und Ressource eingetreten.</p> <p>Die zukünftige Entwicklung der Fahne (expandierend/stationär/rückläufig) hat Auswirkungen auf die zu erwartende Beeinträchtigung des Grundwassers. Bei expandierender Fahne werden bislang unbelastete Grundwasserbereiche beeinträchtigt.</p>	Kap. 3.3
bereits vorhandene Belastungen	<p>Bei geogenen Vorbelastungen können die GFS entsprechend erhöht werden. Anthropogene Vorbelastungen sind bei der Entscheidung, ob eine schädliche Grundwasserverunreinigung verursacht wurde, zu berücksichtigen.</p>	



Anhang 2 EXCEL-Arbeitsblatt

**Mengen- und Frachtbewertung "Schadstoffe im Grundwasser"** Stand 2008

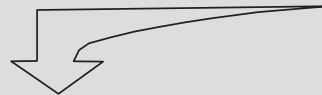
Anhang 2 des Handbuchs Altlasten "Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen"

Eingabedaten sind gelb hinterlegt

Wichtige Endergebnisse sind blau hinterlegt

**Bezeichnung des Schadensfalls**

Schadstoff						
Geringfügigkeitsschwellenwert	GFS	µg/l				
Stromröhre Nr.			①	②	③	
Bezeichnung der Stromröhre/Messstelle						Quelle der Daten
Mittlere Konzentration in der Stromröhre	$C_{\text{mittel}}$	µg/l				
Max.-Konzentration in der Stromröhre	$C_{\text{max}}$	µg/l				
Breite der Stromröhre / Fahne	B	m				
Höhe der Stromröhre / Fahne	H	m				
Länge der Stromröhre / Fahne	L	m				
Durchlässigkeitsbeiwert	$k_f$	m/s				
hydraulischer Gradient	I	-				
nutzbare Porosität	$P^*$	%				
Abstandsgeschwindigkeit	$v_a$	m/d	0,0	0,0	0,0	



<b>gelöste Menge im Grundwasser</b>	$M_{\text{gelöst}}$	<b>kg</b>	<b>0,00</b>	<b>groß</b>	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.1)
<b>Fracht im Grundwasser</b>	$E_{\text{ab}}$	<b>g/d</b>	<b>0,00</b>	<b>groß</b>	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.2)

**Gutachterliche Beurteilung des Sachverhaltes**

Das EXCEL-Arbeitsblatt ist unter folgender Adresse abrufbar:  
[www.hlug.de/medien/altlasten/altlastenbearbeitung/grundwassersanierung.htm](http://www.hlug.de/medien/altlasten/altlastenbearbeitung/grundwassersanierung.htm)

## Anhang 3 Erläuterungen zum EXCEL-Arbeitsblatt von Anhang 2

Die Berechnung der Schadstoffmenge und -fracht mit dem EXCEL-Blatt von Anhang 2 basiert auf der Modellvorstellung, dass eine Schadstofffahne in verschiedene Bereiche unterteilt werden kann, die als Stromröhren bezeichnet werden. Das EXCEL-Arbeitsblatt bietet die Möglichkeit, bis zu drei Stromröhren zu berechnen. Hinweise zur Anordnung von Stromröhren gibt Anhang 4.

**Bei der Dateneingabe sind die gelb hinterlegten Felder auszufüllen.** Mittels der **Tab-Taste** kann das jeweils nächste gelbe Eingabefeld angesteuert werden. Eingabefelder sind:

<b>Bezeichnung des Schadensfalls</b>	Hier sollte ein griffiger Name gewählt werden, um den Wiedererkennungseffekt zu erhöhen.
<b>Schadstoff</b>	z. B. „LHKW“ oder „Arsen“
<b>GFS</b>	Geringfügigkeitsschwellenwert der GWS-VwV in der Einheit $\mu\text{g/l}$ (die GFS sind in Anhang 9 aufgeführt)
<b>Quelle der Daten</b>	Angaben zur Herkunft der Daten, wie z. B. Name des Gutachtens, Datum, Seite im Gutachten
<b>Gutachterliche Beurteilung des Sachverhaltes</b>	Hier sollte die Qualität der Eingangsdaten beurteilt und die Genauigkeit des Berechnungsergebnisses abschätzt werden

Bei den weiteren Eingabefeldern können bis zu drei Stromröhren gebildet werden. Ist nur eine Stromröhre notwendig (nur eine Messstelle im „nahen Abstrom“ vorhanden, siehe Beispiele A und C in Anhang 4), bleiben die Felder der beiden anderen Stromröhren leer.

<b>Bezeichnung der Stromröhre/Messstelle</b>	Hier kann die Bezeichnung einer Messstelle, die sich „im nahen Abstrom“ befindet, eingegeben werden. In Beispiel B des Anhangs 4 ist es z. B. sinnvoll, bei Stromröhre ① die Bezeichnung „GWM 11“ einzutragen.
<b>Mittlere Konzentration in der Stromröhre</b>	Die mittlere Konzentration [ $\mu\text{g/l}$ ] in der Stromröhre ist anzugeben. Hierzu wird i. d. R. das arithmetische Mittel aus den Messwerten der einzelnen Messstellen einer Stromröhre gebildet. In Beispiel A des Anhangs 4 wird in GWM 1 eine Konzentration von $500 \mu\text{g/l}$ gemessen, in GWM 2 eine Konzentration von $100 \mu\text{g/l}$ . Als mittlere Konzentration wird bei Anwendung des arithmetischen Mittels eine mittlere Konzentration von $(500 + 100)/2 = 300 \mu\text{g/l}$ abgeschätzt. Ist in einer Stromröhre nur eine Messstelle vorhanden, ist die Konzentration in dieser Messstelle als mittlere Konzentration anzugeben.
<b>Maximale Konzentration in der Stromröhre</b>	Die gemessene Konzentration [ $\mu\text{g/l}$ ] in derjenigen Messstelle, die die Stromröhre repräsentiert (Messstelle im nahen Abstrom der Quelle), ist anzugeben. In Beispiel A des Anhangs 4 ist dies die Konzentration in der GWM 1, also $500 \mu\text{g/l}$ .
<b>Breite der Stromröhre/Fahne</b>	Die Breite der Stromröhre richtet sich i. d. R. nach der Breite der Schadstoffquelle und -fahne. Weitere Erläuterungen gibt Anhang 4.
<b>Höhe der Stromröhre/Fahne</b>	Die Höhe einer Stromröhre richtet sich einerseits nach der Grundwassermächtigkeit, andererseits nach der Verfilterung der Messstelle. Weitere Erläuterungen gibt Anhang 4.

<b>Länge der Stromröhre/Fahne</b>	Die Länge einer Stromröhre entspricht der Fahnenlänge. Weitere Erläuterungen gibt Anhang 4.
<b>Durchlässigkeitsbeiwert</b>	Für jede Stromröhre ist der Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ [m/s] anzugeben. In Gutachten wird $k_f$ meist in der Exponentialform angegeben, z. B. $5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Die Schreibweise für die Eingabe in das EXCEL-Blatt ist dann wahlweise 5,0E-04 oder 0,0005.
<b>Hydraulischer Gradient</b>	Für jede Stromröhre ist der hydraulische Gradient (= Grundwassergefälle) anzugeben. Der hydraulische Gradient $I$ hat keine Einheit, er ist als Dezimalzahl anzugeben. Wenn in einem Gutachten das Gefälle in Prozent angegeben ist, muss dieser Wert durch 100 geteilt und in das EXCEL-Blatt eingetragen werden. Beispiel: Ein Gefälle von 0,2 % entspricht 0,002. Wenn in einem Gutachten das Gefälle in Promille (‰) angegeben ist, muss dieser Wert durch 1000 geteilt und in das EXCEL-Blatt eingetragen werden. Beispiel: Ein Gefälle von 3 ‰ entspricht 0,003.
<b>Nutzbare Porosität</b>	Die nutzbare Porosität $P^*$ wird im EXCEL-Blatt in Prozent angegeben. Wenn in einem Gutachten die Porosität als Dezimalzahl, d. h. ohne Einheit, angegeben ist, muss dieser Wert mit 100 multipliziert werden. Beispiel: Eine Porosität von 0,3 entspricht 30 %. Hinweise zur Höhe der nutzbaren Porosität bei Kiesen und Sanden gibt Kap. 3.2.1.
<b>Abstandsgeschwindigkeit</b>	Die Abstandsgeschwindigkeit $v_a$ ist die Geschwindigkeit des strömenden Grundwassers, sie entspricht der Geschwindigkeit eines idealen Tracers im Grundwasser. Die Abstandsgeschwindigkeit dient als zusätzliche Information, sie wird aus den eingegebenen Daten nach folgender Gleichung errechnet: $v_a = k_f \cdot I \cdot 100/P^*$ . Im EXCEL-Blatt wird $v_a$ in der Einheit m/d angegeben.

Die Berechnungsergebnisse von „gelöste Menge im Grundwasser“ und „Fracht im Grundwasser“ erscheinen in den blau hinterlegten Feldern:

**Gelöste Menge im Grundwasser** Die gelösten Mengen [kg] der einzelnen Stromröhren werden addiert.

**Fracht im Grundwasser** Die Frachten [g/d] der einzelnen Stromröhren werden addiert.

Die **Einstufung** der berechneten Frachten und Mengen in **groß, mittel, klein** und **sehr klein** erfolgt automatisch und erscheint im EXCEL-Arbeitsblatt rechts neben den beiden Berechnungsergebnissen. Die fachlichen Grundlagen für die Einstufung sind in den Kapiteln 3.2.1 und 3.2.2 näher beschrieben.

Hinweis zur **Genauigkeit** der Ergebnisse: Die mittels des EXCEL-Blattes errechnete „gelöste Menge“ und „Fracht“ wird mit ein oder zwei Dezimalstellen hinter dem Komma angegeben. Dies bedeutet nicht, dass die Ermittlung von Menge und Fracht mit dieser Genauigkeit in jedem Fall möglich ist. Die erreichbare Genauigkeit soll im EXCEL-Arbeitsblatt im Eingabefeld „Gutachterliche Beurteilung des Sachverhalts“ diskutiert werden.

## Anhang 4 Hinweise zur Anordnung von Stromröhren

Die Berechnung der Schadstoffmenge und -fracht mit dem EXCEL-Blatt von Anhang 2 basiert auf der Modellvorstellung, dass eine Schadstofffahne in verschiedene Bereiche unterteilt werden kann, die als Stromröhren<sup>6</sup> bezeichnet werden. In dieser Arbeitshilfe verlaufen die Stromröhren parallel zur GW-Fließrichtung und besitzen einen rechteckigen Querschnitt. Die Stromröhren können sowohl nebeneinander als auch untereinander liegen.

Das EXCEL-Arbeitsblatt (Anhang 2) bietet die Möglichkeit, bis zu drei Stromröhren zu berechnen.

Hinweise zur Anordnung von Stromröhren:

Um die Lage und Abmessungen der Stromröhren festlegen zu können, muss die Schadstofffahne abgegrenzt sein. Hierzu ist eine ausreichende Anzahl von Grundwassermessstellen erforderlich, von denen einige innerhalb und einige außerhalb der Fahne liegen. In den Beispielen A bis D dieses Anhangs sind i. d. R. nur diejenigen Grundwassermessstellen dargestellt, die innerhalb der Fahne liegen.

Unter den vorhandenen Messstellen werden diejenigen ausgewählt (eine oder mehrere), die nahe an der vermuteten Schadensquelle (Ort des Schadstoffeintrags) liegen. Dort ist die Schadstoffkonzentration i. d. R. am höchsten. Die Messstellen können entweder direkt in der vermuteten Schadensquelle liegen oder im Abstrom der Schadensquelle. In dieser Arbeitshilfe werden die beiden Möglichkeiten unter dem Begriff „naher Abstrom“ zusammengefasst.

In Beispiel A liegt GWM 1 im nahen Abstrom, in Beispiel B sind es GWM 11 und GWM 12. Im Beispiel C liegt GWM 21 im nahen Abstrom, in Beispiel D sind es GWM 31 und GWM 32.

**Anzahl** der Stromröhren: Jede im nahen Abstrom liegende Messstelle ist Ausgangspunkt einer Stromröhre. Gibt es mehrere Messstellen im nahen Abstrom, werden ebenso viele parallel verlaufende Stromröhren gebildet. In den Beispielen B und D liegen jeweils zwei Messstellen im nahen Abstrom, so dass auch zwei Stromröhren gebildet werden.

Die **Breite** der Stromröhre richtet sich i. d. R. nach der Breite der Schadstoffquelle und -fahne. In Beispiel A entspricht die Stromröhren-Breite der vermuteten Fahnenbreite. In Beispiel B liegen zwei Stromröhren vor, so dass die Stromröhren-Breite etwa der halben Fahnenbreite entspricht.

Die **Länge** einer Stromröhre entspricht der Fahnenlänge. Die Fahnenlänge wird anhand vorhandener Messstellen abgeschätzt. In Beispiel A liegt GWM 2 noch innerhalb der Fahne, dagegen liegt GWM 3 außerhalb der Fahne. Die Fahne bzw. Stromröhre endet daher zwischen den beiden Messstellen GWM 2 und GWM 3.

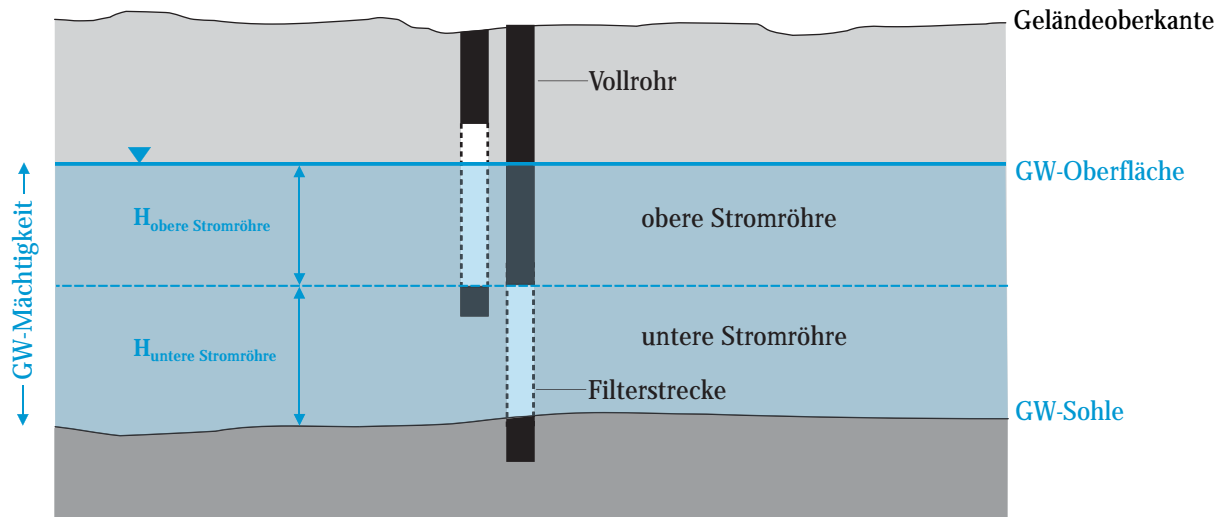
Die **Höhe** H einer Stromröhre richtet sich einerseits nach der Grundwassermächtigkeit, andererseits nach der Verfilterung der Messstelle. Folgende Fallkonstellationen sind möglich:

- Die Messstelle im nahen Abstrom ist eine vollkommene Messstelle, d. h. die Filterrohrstrecke reicht von der Grundwassersohle bis mindestens zur Grundwasseroberfläche. Dann ist als „Höhe der Stromröhre“ die Grundwassermächtigkeit anzugeben.
- Die Messstelle ist unvollkommen (siehe Abbildung). Dann ist als „Höhe der Stromröhre“ die Länge der Filterstrecke einer Messstelle anzugeben. Bei Messstellen, die im oberen Bereich des Grundwasserleiters verfiltert sind, ist nur der grundwassererfüllte Bereich der Filterstrecke anzugeben.

Ausnahme: Liegen Schadstoffphasen vor, die schwerer als Wasser sind (dense-non-aqueous-phase-liquid DNAPL wie LHKW- oder Teeröl-Phasen), können diese bis zur Sohle des Grundwasserleiters vorgedrungen

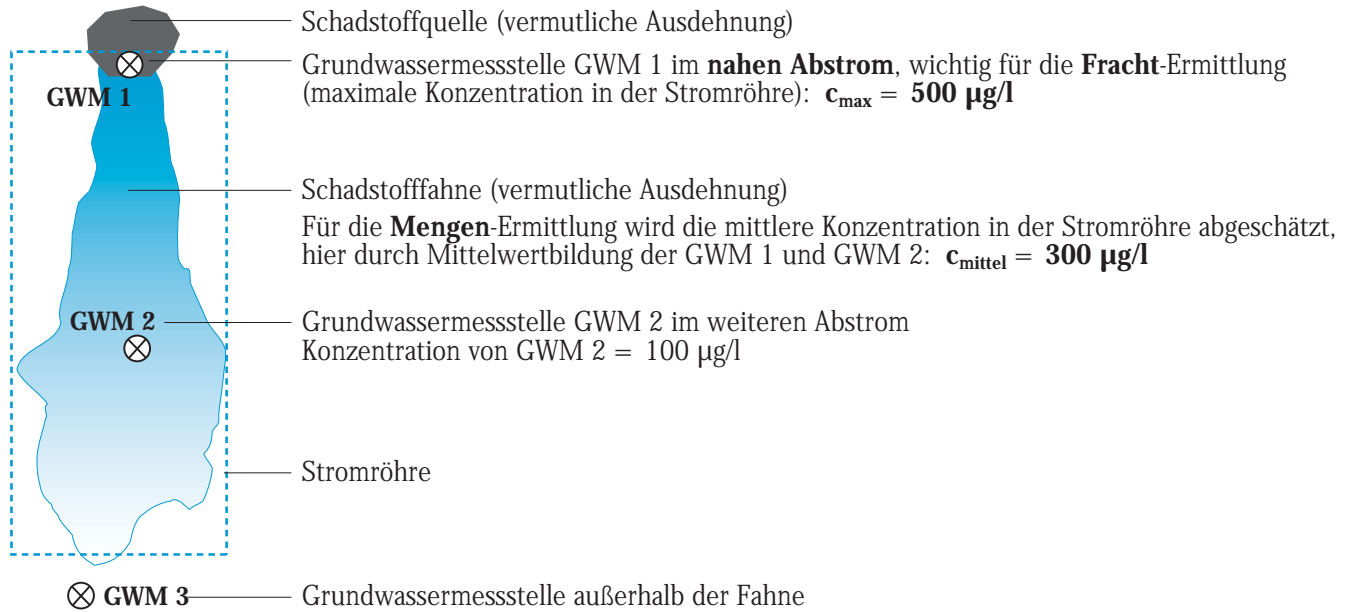
<sup>6</sup> Der Begriff „Stromröhre“ ist in der Geohydraulik/Hydrodynamik verbreitet [23], die dortige Definition unterscheidet sich jedoch von der Definition in dieser Arbeitshilfe. Die hier angewandte Modellvorstellung ist an [18] angelehnt.

sein. Bei unvollkommenen Messstellen, die im oberen Bereich des Grundwasserleiters verfiltert sind, wird die Schadstofffahne möglicherweise nur teilweise erfasst. Daher sollte bei Schadensfällen mit DNAPL die gesamte Grundwassermächtigkeit als „Höhe der Stromröhre“ angesetzt werden.

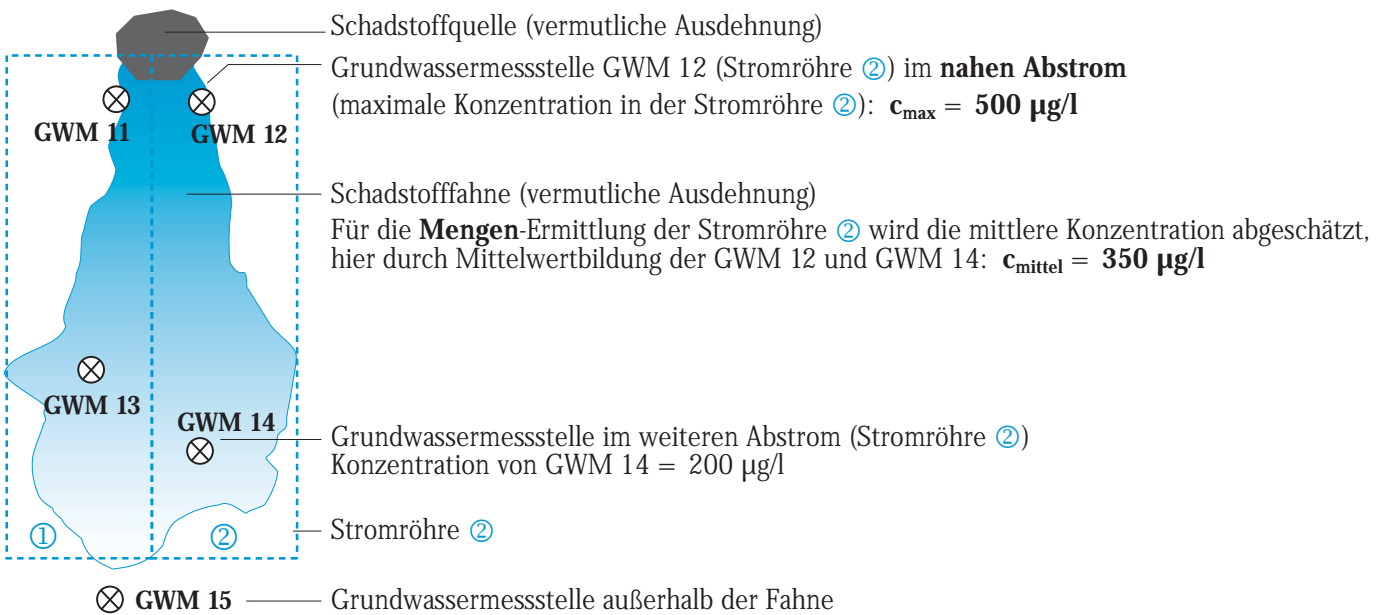


Beispiele für Stromröhren (Aufsicht)

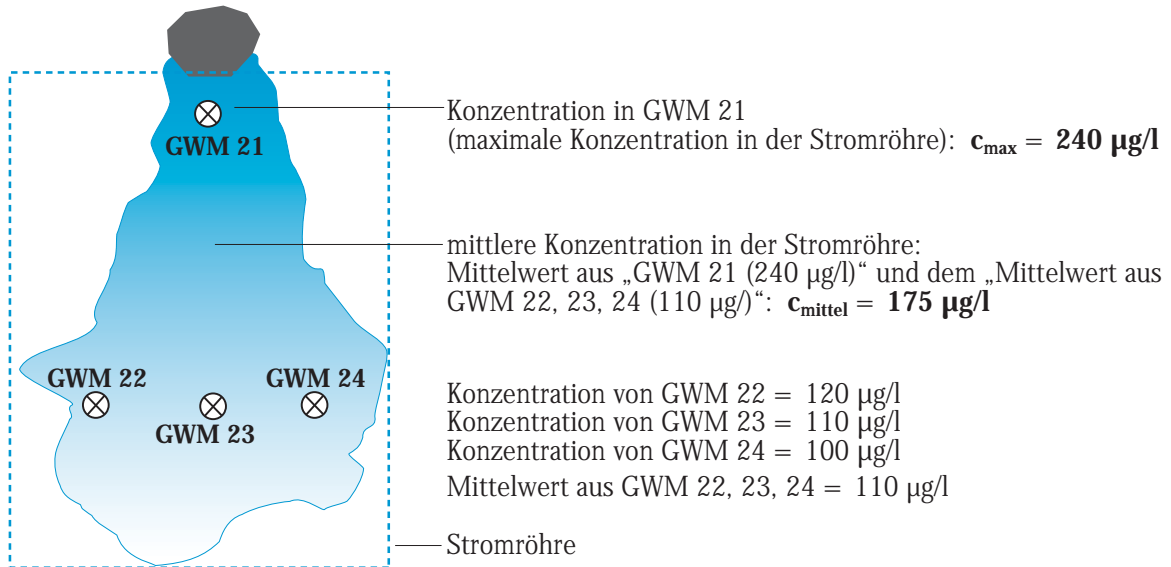
**Beispiel A: eine Stromröhre**



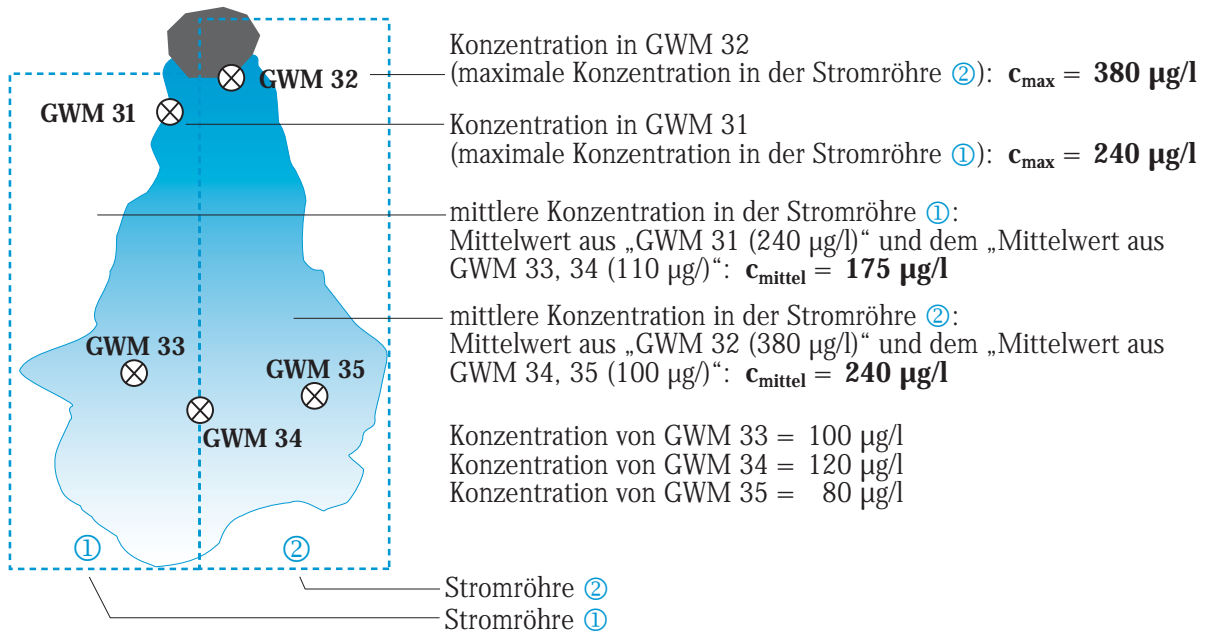
**Beispiel B: zwei Stromröhren**



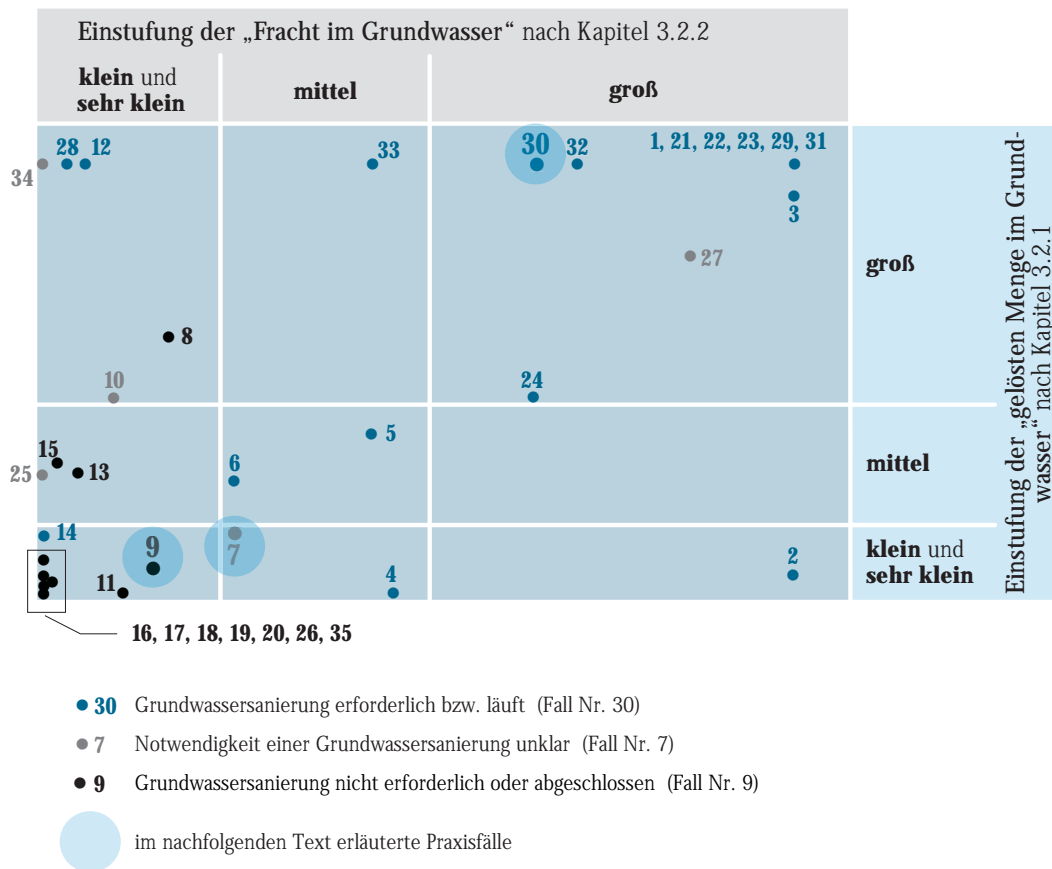
**Beispiel C: eine Stromröhre**



**Beispiel D: zwei Stromröhren**



## Anhang 5 Grafische Auswertung von 35 Praxisfällen



Erläuterungen:

Zur Plausibilitätsprüfung der in Kapitel 3 beschriebenen Vorgehensweise wurden 35 hessische Praxisfälle ausgewertet. Überwiegend handelte es sich um Schadensfälle mit LHKW, weiterhin um PAK- und BTEX-Schadensfälle sowie um Schadensfälle mit Schwer- und Halbmetallen (Chrom, Zink und Arsen). Es zeigte sich, dass die Fälle bei Anwendung dieser Arbeitshilfe plausibel waren. Dies soll an folgenden Beispielen erläutert werden.

Praxisfall 30: Es handelt sich um einen Chrom-VI-Schadensfall, der zurzeit saniert wird. Sowohl die „gelöste Menge im Grundwasser“ als auch die „Fracht im Grundwasser“ sind nach wie vor groß. Nach Tabelle 7 in Kapitel 3.2.3 bzw. dem Prüfschema aus Kapitel 3.4 ergibt sich, dass eine „große schädliche Grundwasserverunreinigung“ vorliegt. Der Weiterbetrieb der Sanierung ist also erforderlich, was auch der damaligen behördlichen Entscheidung entspricht.

Praxisfall 7: Es handelt sich um einen LHKW-Schadensfall. Die „gelöste Menge im Grundwasser“ ist klein, die „Fracht im Grundwasser“ ist mittel. Nach Tabelle 7 in Kapitel 3.2.3 ergibt sich eine „mittlere schädliche Grundwasserverunreinigung“. Ein Pumpversuch hat stattgefunden. Die Entscheidung der Bodenschutzbehörde, ob eine Sanierung erfolgen soll, ist noch nicht getroffen.

Praxisfall 9: Es handelt sich um einen LHKW-Schadensfall mit einer laufenden Grundwassersanierung (Pump & Treat). Zum jetzigen Zeitpunkt sind sowohl die verbliebene „gelöste Menge im Grundwasser“ als auch die entnommene „Fracht im Grundwasser“ klein. Nach Tabelle 7 in Kapitel 3.2.3 ergibt sich, dass zum jetzigen Zeitpunkt nur noch eine „geringe schädliche Grundwasserverunreinigung“ vorliegt. Die Sanierung kann beendet werden, was auch der behördlichen Entscheidung entspricht.

Die Fälle 16 bis 20, 26 und 35 sind sehr kleine Schadensfälle, die „links unten“ in der Abbildung liegen.



## Anhang 6 Stand der Technik bei der Grundwasserreinigung

In der GWS-VwV wird der Stand der Technik in Nr. 5 Abs. 1 Satz 3 „Sanierungsmaßnahmen müssen dem Stand der Technik ... entsprechen“ und Nr. 6 Abs. 2 „Vor dem Einleiten ... ist belastetes Grundwasser nach dem Stand der Technik zu reinigen ...“ genannt.

Der „Stand der Technik“ ist eine Technik Klausel und stellt die technischen Möglichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt, basierend auf gesicherten Erkenntnissen von Wissenschaft und Technik dar. Es handelt sich hier um einen dynamik- und fortschrittsorientierten Rechtsbegriff. Stand der Technik ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung der Maßnahme im Hinblick auf die angestrebten Ziele insgesamt gesichert erscheinen lässt.

Die Dynamikorientierung des „Standes der Technik“ lässt sich durch einen Vergleich mit den anderen deutschen Technikstandards „allgemein anerkannte Regeln der Technik“ und „Stand von Wissenschaft und Technik“ als mittleres Anforderungsprofil kennzeichnen. Der europäische Standard „beste verfügbare Techniken“ weicht trotz seines divergierenden Wortlauts inhaltlich nicht wesentlich vom „Stand der Technik“ ab.

Da der Stand der Technik ständig fortschreitet, ist es sinnvoll, sich die Kriterien, nach denen dieser zu beurteilen ist, in Erinnerung zu rufen. Eine grundsätzliche Regelung, auf die im Umweltbereich immer wieder Bezug genommen wird, findet sich im WHG [6]. Auch die Begründung zur GWS-VwV verweist auf § 7a und Anhang 2 WHG.

Kriterien zur Bestimmung des Standes der Technik nach Anhang 2 des WHG [6]

„Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen sowie des Grundsatzes der Vorsorge und der Vorbeugung, jeweils bezogen auf Anlagen einer bestimmten Art, insbesondere folgende Kriterien zu berücksichtigen:

1. Einsatz abfallarmer Technologie,
2. Einsatz weniger gefährlicher Stoffe,
3. Förderung der Rückgewinnung und Wiederverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle,
4. vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im Betrieb erprobt werden,
5. Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen,
6. Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen,
7. Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen,
8. für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit,
9. Verbrauch an Rohstoffen und die Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz,
10. Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für den Menschen und die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern,
11. Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für den Menschen und die Umwelt zu verringern,
12. Informationen, die von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften gemäß Artikel 16 Abs. 2 der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (ABl. EG Nr. L 257 S. 26) oder von internationalen Organisationen veröffentlicht werden.“

## Anhang 7 Einleitung von Hilfsstoffen in das Grundwasser bei In-situ-Sanierungen

Nach der GWS-VwV Nr. 5 Absatz 1 ist der Einsatz „neuartiger Verfahren“ möglich, die nicht dem Stand der Technik entsprechen. Hierzu zählen biologische und chemische In-situ-Sanierungsverfahren, bei denen Hilfsstoffe wie Nitrat, Melasse oder Wasserstoffperoxid in das Grundwasser eingeleitet werden. Eine Auswahl von In-situ-Sanierungsverfahren wird im Handbuch Altlasten „Arbeitshilfen zur Überwachung und Nachsorge von altlastenverdächtigen Flächen und Altlasten“ beschrieben [16].

Die Einleitung von Stoffen ins Grundwasser ist nach § 3 Abs. 1 Nr. 5 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) eine Gewässerbenutzung, die nach § 2 Abs. 1 WHG einer Erlaubnis bedarf [6]. Nach § 34 Abs. 1 WHG darf eine solche Erlaubnis nur erteilt werden, wenn eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder sonstige nachteilige Veränderungen seiner Eigenschaften nicht zu besorgen sind.

Sofern Stoffe zum Einsatz kommen, die in der Liste I oder II der Grundwasserverordnung vom 18. März 1997 genannt werden, sind die Regelungen dieser Verordnung zu beachten [19]. Nach § 3 Abs. 1 der Grundwasserverordnung darf für das Einleiten von Stoffen der Liste I in das Grundwasser eine Erlaubnis nicht erteilt werden. Diese Stoffe kommen für In-situ-Sanierungen nicht in Frage.

Das Einleiten von Stoffen der Liste II<sup>7</sup> in das Grundwasser darf nur erlaubt werden, wenn eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften durch die Stoffe nicht zu besorgen ist, insbesondere wenn durch den Eintrag der Stoffe nicht die menschliche Gesundheit oder die Wasserversorgung gefährdet, die lebenden Bestände und das Ökosystem der Gewässer geschädigt oder die rechtmäßige Nutzung der Gewässer behindert werden. Die Voraussetzungen sind somit mit denen nach WHG identisch. (Hinweis: In Zukunft wird dies durch die Umsetzung der Richtlinie 2006/118/EG zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (GWRL) vom 12. Dezember 2006 in deutsches Recht geregelt werden [20].)

Für die Beurteilung nach den genannten Zulassungsvoraussetzungen ist nicht die Bewertung der einzelnen Maßnahme entscheidend, sondern die räumliche und zeitliche Einbindung in den Vorgang der Sanierung insgesamt und deren Ergebnis. Dies bedeutet, dass im zeitlichen und räumlichen Verlauf der Sanierung erhöhte Belastungen des Grundwassers zugelassen werden können, wenn in der Summe ein Sanierungserfolg eintritt. Im Endergebnis darf jedoch kein neuer Sanierungsbedarf durch die eingebrachten Stoffe oder deren Abbauprodukte entstehen. Um dem Besorgnisgrundsatz insoweit gerecht zu werden, muss nach menschlichem Ermessen eine nachteilige Veränderung des Grundwassers außerhalb des Reaktionsraumes der In-situ-Sanierung ausgeschlossen werden können.

Die Geeignetheit einer Methode kann insbesondere mit folgenden Mitteln geprüft werden:

- Nachweis von Abbauprozessen
- Untersuchung hydrogeologischer Verhältnisse
- Machbarkeitsstudie
- Pilot-, Feldversuch.

Für die Genehmigungsfähigkeit sind außerdem weitere Gesichtspunkte relevant, wie beispielsweise:

- Abwägung der Vor- und Nachteile der Maßnahme ggf. auch im Hinblick auf Sanierungs-Alternativen
- Bisherige und zukünftige Nutzung, Inwertsetzung des Grundstückes.

Wenn die Geeignetheit der Methode nachgewiesen wurde und die weiteren Zulassungsvoraussetzungen vorliegen, kann grundsätzlich eine Erlaubnis zur Einleitung erteilt werden. Folgende Maßgaben sollten durch Nebenbestimmungen in der Zulassungsentscheidung festgelegt werden:

<sup>7</sup> Für Stoffe, die bei einer In-situ-Sanierung in Frage kommen, gilt folgender Punkt der Liste II der Grundwasserverordnung: „Stoffe, die eine für den Geschmack oder den Geruch des Grundwassers abträgliche Wirkung haben, sowie Verbindungen, die im Grundwasser zur Bildung solcher Stoffe führen und es für den menschlichen Gebrauch ungeeignet machen können“.

- Ein Notfallplan ist zu erstellen, mit Eingriffsszenarien für z. B. Abwehrmaßnahmen im Falle des Abströmens einer Schadstofffahne (z. B. Vorhandensein von Abwehrbrunnen).
- Detaillierte Organisationspläne für Überwachung und Monitoring in den relevanten Bereichen sind festzulegen.
- Die Kontrollierbarkeit der Gesamtmaßnahme muss stets gewährleistet sein.
- Es ist ein Aktionsrahmen zu definieren, d.h. der zeitliche und räumliche Rahmen der Sanierung (Reaktionsraum) ist festzulegen. Hinweis: Der Reaktionsraum kann größer sein als die aktuelle Belastung.
- Wenn Stoffe zum Einsatz kommen, die unter die Liste II der Grundwasserverordnung fallen, ist wegen des Inhalts der Erlaubnis auch § 6 der Grundwasserverordnung zu beachten.

Sofern die Zugabe von Stoffen über eine Bodenpassage erfolgt, müssen auch eventuell verbleibende Bodenbelastungen in die Betrachtung einbezogen werden.

## Anhang 8 Ableitung von Grundwasser - Wiederversickerung, Einleitung in Abwasseranlagen und oberirdische Gewässer

In diesem Anhang werden Hinweise zur Behandlung und Ableitung des bei der Sanierung entnommenen Grundwassers gegeben (Nr. 6 GWS-VwV). Die Wiederversickerung von gereinigtem Grundwasser hat Vorrang vor dem Einleiten in Abwasseranlagen und oberirdische Gewässer. Wenn die Wiederversickerung nicht sinnvoll oder möglich ist, kann der Einleitung in Abwasseranlagen oder oberirdische Gewässer zugestimmt werden, ggf. mit entsprechenden Auflagen.

Anhang 8.1 Wiederversickerung von gereinigtem Grundwasser

Anhang 8.2 Einleitung von gereinigtem Grundwasser in öffentliche Abwasseranlagen

Anhang 8.3 Einleitung von gereinigtem Grundwasser in oberirdische Gewässer

### 8.1 Wiederversickerung von gereinigtem Grundwasser

Schadstoffbelastetes Grundwasser, das bei einer Sanierungsmaßnahme gefördert wird, soll zunächst aufbereitet und im Regelfall im Oberstrom der Grundwasserverunreinigung versickert werden, so dass großräumig Grundwasserstand und Grundwasserfließrichtung nicht beeinträchtigt werden (Nr. 6 Abs. 1 GWS-VwV). Damit hat die Versickerung von gefördertem Grundwasser Vorrang vor dem Einleiten in Abwasseranlagen oder oberirdische Gewässer. Die Einleitung in das Grundwasser ist eine erlaubnispflichtige Gewässerbenutzung, die einer Vorbehandlung nach dem Stand der Technik bedarf. Die Reinhaltung des Grundwassers nach § 34 WHG in Verbindung mit den Bewirtschaftungszielen nach § 33a WHG und § 32 HWG sind dabei zu beachten [5, 6]. Soweit die GFS eingehalten werden, ist diese Voraussetzung gegeben. Im Einzelfall können die Grenzwerte für die Einleitung im Oberstrom schrittweise dem Sanierungsfortschritt angepasst werden.

Bei einer Versickerung im Unterstrom der Grundwasserverunreinigung sind die Einleitungsgrenzwerte an die Grundwasserbelastung des aufnehmenden Grundwasserkörpers anzupassen. Dabei können höhere Anforderungen zur Unterschreitung der GFS erforderlich werden, um dem Bewirtschaftungsziel nach § 33a Abs. 1 Nr. 1 WHG und § 32 HWG (Verschlechterungsverbot) gerecht zu werden.

### 8.2 Einleitung von gereinigtem Grundwasser in öffentliche Abwasseranlagen

Nach § 44 Abs. 1 HWG gelten die Bestimmungen des WHG und des HWG über die Benutzung der Gewässer auch für das Einleiten oder Einbringen von Grundwasser in öffentliche Abwasseranlagen (Indirekteinleitung), sofern es Stoffe enthält, die in einer Rechtsverordnung nach § 7a Abs. 1 Satz 3 WHG begrenzt sind. Daher be-

darf die Indirekteinleitung entsprechend verunreinigten Grundwassers grundsätzlich einer Erlaubnis durch die zuständige Wasserbehörde. (Zuständige Wasserbehörde wäre in diesen Fällen zwar an sich die untere Wasserbehörde (UWB), doch wird meist die Schwerpunkt-Regelung nach § 55 Abs. 2 Satz 3 HWG die Zuständigkeit der oberen Wasserbehörde (OWB) begründen, da nicht nur die Einleitung wasserrechtlich erlaubt wird, sondern auch die Entnahme des Grundwassers zum Zwecke der Sanierung.)

Nach § 44 Abs. 2 HWG kann durch Rechtsverordnung bestimmt werden, dass das Einleiten oder Einbringen von Stoffen in geringen Mengen, für die in einer Rechtsverordnung nach § 7a Abs. 1 Satz 3 WHG Anforderungen für den Ort des Anfalls oder vor seiner Vermischung festgelegt sind, in öffentliche Abwasseranlagen keiner Erlaubnis bedarf.

Für verunreinigtes Grundwasser wird diese gesetzlich geregelte Erlaubnisfreiheit in § 1 Abs. 1 Nr. 1 der auf § 44 Abs. 2 HWG gestützten **Indirekteinleiterverordnung** konkretisiert [21]. Danach ist von einer geringen Menge, und damit von einer Erlaubnisfreiheit, dann auszugehen, wenn bei der Einleitung in den Kanal die in der Anlage zur Indirekteinleiterverordnung genannten Schwellenwerte für Konzentration und Fracht nicht überschritten werden. Wenn also die in der Anlage genannten Werte von dem einzuleitenden Grundwasser hinsichtlich Konzentration und Fracht unterschritten werden, ist kein wasserrechtliches Verfahren erforderlich. Die Einleitung ist zulässig und muss sich im Übrigen allein an die Vorgaben der kommunalen Abwassersatzung halten.

Wird einer der Parameter hinsichtlich Konzentration oder Fracht überschritten, ist eine Einleitung nur mit Erlaubnis der Wasserbehörde zulässig. Das bei der Erteilung der Erlaubnis eröffnete wasserbehördliche Ermessen ist in diesen Fällen durch die Vorgaben der GWS-VwV gebunden, denn Nr. 6 Abs. 2 Satz 1 GWS-VwV sieht eine Vorbehandlung nach dem Stand der Technik vor. Ohne eine solche Vorbehandlung wäre daher im Regelfall keine Erlaubnisfähigkeit gegeben.

Die dem Stand der Technik entsprechenden Werte sind jeweils im Einzelfall festzulegen. In der Regel wird die Forderung nach Werten unterhalb der in der Anlage zu § 1 Abs. 1 Nr. 1 der Indirekteinleiterverordnung genannten Schwellenwerte unverhältnismäßig sein. Die Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlungsanlage kann nach Maßgabe von Nr. 6 Abs. 3 GWS-VwV berücksichtigt werden. Daneben sind auch in diesem Fall die Vorgaben der kommunalen Abwassersatzung zu beachten. Daher ist im Verfahren zur Erteilung der Erlaubnis die Kommune zu beteiligen.

### 8.3 Einleitung von gereinigtem Grundwasser in oberirdische Gewässer

Die Einleitung in ein oberirdisches Gewässer ist eine Gewässerbenutzung im Sinne des § 3 Abs. 1 Nr. 4 WHG, die einer Erlaubnis nach § 7 WHG bedarf (Direkteinleitererlaubnis).

Eine Aufbereitung des schadstoffbelasteten Grundwassers nach dem Stand der Technik ist Voraussetzung für die Einleitung in ein Gewässer, falls keine weitergehenden Anforderungen zu stellen sind. Die Festlegung der Grenzwerte für die Einleitung in oberirdische Gewässer sind Einzelfallentscheidungen (Nr. 6.2 GWS-VwV). Hierbei sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Art der Schadstoffe
- Konzentration und Fracht der Schadstoffe
- Beeinträchtigung von Qualitätszielen/Qualitätsnormen für das oberirdische Gewässer [12, 24, 25, 26]
- Einschränkungen von Gewässernutzungen (z. B. Trinkwassergewinnung)
- (Öko)Toxizität und Umweltverhalten der Stoffe
- Art des Gewässers

**Fließgewässer:**

Die Größe und Abflussverhältnisse des Gewässers sind von Bedeutung. Bei Kenntnis der Stoffkonzentration im behandelten Grundwasser, des anfallenden Grundwasservolumenstroms und des Niedrigwasserabflusses  $NQ$  [l/s] kann errechnet werden, welche Konzentration eines Stoffes bei  $NQ$  zu erwarten ist. Anschließend kann anhand vorliegender Qualitätsziele und Stoffdaten beurteilt werden, inwieweit das Gewässer bzw. die Gewässerbiozönose beeinträchtigt wird.

Falls unter diesen Abflussverhältnissen aquatische Toxizitäten bzw. Überschreitungen von Qualitätszielen/-normen zu erwarten sind, sind weitergehende Behandlungsmaßnahmen durchzuführen bzw. mittels wasserrechtlicher Auflagen entsprechende Gefahren auszuschließen.

**Stehende und langsam fließende Gewässer (Seen, gestaute Fließgewässer):**

Die Größe und Abflussverhältnisse eines Gewässers sind auch hier zu beachten. Zu beurteilen ist neben der akuten Toxizität der Stoffe insbesondere die Anreicherung von Stoffen im Sediment und in Wasserorganismen (chronische Toxizität). Das Einbringen erhöhter Mengen an pflanzlichen Nährstoffen wie Stickstoff und Phosphor ist aufgrund der Eutrophierungsgefahr zu vermeiden. Hier sind ggf. weitergehende Behandlungsmaßnahmen für das gefördertete Grundwasser erforderlich, um Stickstoff und Phosphor zu eliminieren.

## Anhang 9 Geringfügigkeitsschwellenwerte der GWS-VwV

Die nachfolgenden Tabellen mit „Geringfügigkeitsschwellenwerte für örtlich begrenzte Grundwasserverunreinigungen“ stammen aus der GWS-VwV, Anlagen 1.1 bis 1.3 [1]:

## Teil 1: Anorganische Parameter

Anorganische Parameter	Geringfügigkeitsschwellenwert [µg/l]	Basiswerte der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit <sup>1</sup> [µg/l]
Antimon (Sb)	5	0,4
Arsen (As)	10	2,6
Barium (Ba)	340	186
Blei (Pb)	7	3,9
Bor (B)	740	88
Cadmium (Cd)	0,5	0,3
Chrom <sup>2</sup>	7	2,4
Kobalt (Co)	8	5,7
Kupfer (Cu)	14	10,1
Molybdän (Mo)	35	
Nickel (Ni)	14	12,6
Quecksilber (Hg)	0,2	0,15
Selen (Se)	7	1,6
Thallium (Tl)	0,8	
Vanadium (V) <sup>3</sup>	4	
Zink (Zn)	58	49,8
Cyanid (CN <sup>-</sup> ) <sup>4</sup>	5	
Fluorid (F <sup>-</sup> )	750	270

<sup>1</sup> Die Basiswerte der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit beziehen sich auf Deutschland und beruhen auf dem flächengewichteten Mittel der 90-Perzentilwerte von 15 hydrogeologischen Bezugsräumen. Sind Basiswerte angegeben, sind vor Berücksichtigung der örtlichen geogenen Belastungen nach Nr. 2 Abs. 2 die Geringfügigkeitsschwellenwerte um den jeweiligen Basiswert zu verringern. Anschließend kann das Ergebnis um die örtliche geogene Belastung erhöht werden.

<sup>2</sup> Ist Chrom VI auszuschließen, kann der Wert der Trinkwasserverordnung von 50 µg/l verwendet werden.

<sup>3</sup> Der Geringfügigkeitsschwellenwert für Vanadium wird bis zum 31. Dezember 2007 ausgesetzt. Dieser Wert entspricht zwar dem aktuellen Wissen über die Humantoxizität von Vanadium und dem lebenslangen Schutz vor möglichen Wirkungen. Er beruht jedoch auch einer unvollständigen und nur strittig zu bewertenden Datenbasis. Mit der Aussetzung wird davon ausgegangen, dass die experimentelle Datenbasis zur Human- und Ökotoxizität ergänzt wird. Es wird vermutet, dass auf verbesserter Datenbasis der Geringfügigkeitsschwellenwert für Vanadium erhöht werden kann.

Mit Umlaufbeschluss der Umweltministerkonferenz Nr. 29/2007 wurde die Aussetzung des GFS für Vanadium um ein weiteres Jahr, also bis zum 31. Dez. 2008, verlängert. Mit Erlass des Hess. Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV) vom 18. Dez. 2007 wurden die zuständigen Landesbehörden entsprechend informiert; parallel wurden im Rahmen der Umweltallianz Hessen auch die hessischen Verbände und Unternehmen informiert.

<sup>4</sup> Liegt kein freies Cyanid vor, gilt als Geringfügigkeitsschwellenwert der Wert der Trinkwasserverordnung von 50 µg/l.

## Teil 2: Organische Parameter

Organische Parameter	Geringfügigkeits- schwellenwert [µg/l]
Summe PAK <sup>1</sup>	0,2
Anthracen, Benzo[a]pyren, Dibenz[a,h]anthracen	jeweils 0,01
Benzo[b]fluoranthen, Benzo[k]-fluoranthen, Benzo[ghi]perylen, Fluoranthen, Indeno[123-cd]pyren	jeweils 0,025
Summe Naphthalin u. Methylnaphthaline	1
Summe LHKW <sup>2</sup>	20
Summe Tri- und Tetrachlorethen	10
1,2-Dichlorethan	2
Chlorethen (Vinylchlorid)	0,5
Summe PCB und Einzelstoffe <sup>3</sup>	0,01
Kohlenwasserstoffe <sup>4</sup>	100
Summe alkylierte Benzole <sup>5</sup>	20
Benzol	1
MTBE	15
Phenol <sup>6</sup>	8
Nonylphenol	0,3
Summe Chlorphenole	1
Hexachlorbenzol	0,01
Summe Chlorbenzole	1
Epichlorhydrin	0,1

<sup>1</sup> Summe PAK: Summe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe ohne Naphthalin und Methylnaphthaline; in der Regel Bestimmung über die Summe von 15 Einzelsubstanzen gemäß Liste der US Environmental Protection Agency (EPA) ohne Naphthalin; ggf. unter Berücksichtigung weiterer maßgebender PAK (z. B. aromatische Heterocyclen wie Chinoline).

<sup>2</sup> Summe LHKW: Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe, d. h. Summe der halogenierten C<sub>1</sub>- und C<sub>2</sub>-Kohlenwasserstoffe; einschließlich Trihalogenmethane. Die Geringfügigkeitsschwellenwerte zu Tri- und Tetrachlorethen, Dichlorethan und Chlorethen sind zusätzlich zu berücksichtigen.

<sup>3</sup> Summe PCB und Einzelstoffe: Summe der polychlorierten Biphenyle; in der Regel Bestimmung über die sechs Kongeneren nach BALLSCHMITER gemäß Altölverordnung (DIN 51527) multipliziert mit 5; ggf. z. B. bei bekanntem Stoffspektrum einfache Summenbildung aller maßgebenden Einzelstoffe (DIN 38407F3), dann allerdings ohne Multiplikation.

<sup>4</sup> Bestimmung nach EN ISO 9377-2. Bei höheren Konzentrationen kann ggf. die Gravimetrie (nach ISO 9377-1-Entwurf) eingesetzt werden. Bei GC-Analyse bezieht sich der o. a. Wert auf die Kohlenwasserstoffsumme zwischen C<sub>10</sub> und C<sub>40</sub>.

<sup>5</sup> Einkernige Aromaten (BTEX), gesamt: Summe der Aromaten mit kurzer Seitenkette bis C<sub>3</sub>; der Geringfügigkeitsschwellenwert für Benzol ist wegen dessen Karzinogenität zusätzlich zu berücksichtigen.

<sup>6</sup> Derzeit steht für Phenol kein genormtes Verfahren zur Verfügung, dessen untere Anwendungsgrenze niedriger oder gleich dem Geringfügigkeitsschwellenwert ist. Es muss daher auf nicht genormte Verfahren zurückgegriffen werden, die nach den einschlägigen Regeln für Analysenverfahren zu validieren sind. Üblicherweise wird eine Bestimmung des Phenolindex durchgeführt. Bei positivem Befund ist eine Bestimmung der maßgebenden Einzelstoffe durchzuführen.

## Teil 3: Pflanzenschutzmittel, biozide Wirkstoffe sowie sprengstofftypische Verbindungen

<b>Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte (PSMBP)</b>	<b>Geringfügigkeits- schwellenwert [µg/l]</b>
Summe PSMBP	0,5
PSMBP Einzelstoff	jeweils 0,1
Aldrin, Azinphos-methyl, Dichlorvos, Dieldrin, Endosulfan, Etrimfos, Fenitrothion, Fenthion, Heptachlor, Heptachlor-epoxid, Parathion-ethyl	jeweils 0,01
Chlordan	0,003
Disulfoton	0,004
Diuron	0,05
Hexazinon	0,07
Malathion, Parathion-methyl	jeweils 0,02
Mevinphos	0,0002
Pentachlorphenol	0,1
Phoxim	0,008
Triazophos, Trifluralin	jeweils 0,03
Tributylzinn <sup>1</sup>	0,0001
Trichlorphon	0,002
Triphenylzinnverbindungen, Dibutylzinn-Verbindungen	0,01

<b>Sprengstofftypische Verbindungen</b>	<b>Geringfügigkeits- schwellenwert [µg/l]</b>
Nitropenta (PETN)	10
2-Nitrotoluol	1
3-Nitrotoluol	10
4-Nitrotoluol	3
2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	0,2
4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	0,2
2,4-Dinitrotoluol	0,05
2,6-Dinitrotoluol	0,05
2,4,6-Trinitrotoluol	0,2
Hexogen	1
2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure)	0,2
Nitrobenzol	0,7
1,3,5-Trinitrobenzol	100
1,3-Dinitrobenzol	0,3
Hexanitrodiphenylamin (Hexyl)	2
Tetryl	5
Octogen	175

<sup>1</sup> Derzeit steht kein genormtes Verfahren zur Verfügung, dessen untere Anwendungsgrenze niedriger oder gleich dem Geringfügigkeitsschwellenwert ist. Es muss daher auf nicht genormte Verfahren zurückgegriffen werden, die nach den einschlägigen Regeln für Analysenverfahren zu validieren sind.



## Literatur

- [1] Verwaltungsvorschrift zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen (GWS-VwV) vom 30. Oktober 2005, StAnz. 45/2005 S. 4243
- [2] Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) vom 17. März 1998, BGBl. I S. 502, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004, BGBl. I S. 3214
- [3] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999, BGBl. I S. 1554, geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 23. Dezember 2004, BGBl. I S. 3758
- [4] Hessisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes und zur Altlastensanierung (Hessisches Altlasten- und Bodenschutzgesetz – HAltBodSchG) vom 28. September 2007, GVBl. I S. 652
- [5] Hessisches Wassergesetz (HWG) vom 6. Mai 2005, GVBl. I S. 305, geändert durch Gesetz vom 19. November 2007, GVBl. I S. 792
- [6] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 19. August 2002, BGBl. I S. 3245, zuletzt geändert durch Gesetz vom 10. Mai 2007, BGBl. I S. 666
- [7] Umweltschadengesetz (USchadG) vom 10. Mai 2007, BGBl. I S. 666, geändert durch Gesetz vom 19. Juli 2007, BGBl. I S. 1462
- [8] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen, 2006, [http://www.lawa.de/pub/kostenlos/gw/Grundsaeetze\\_Nachsorge\\_.pdf](http://www.lawa.de/pub/kostenlos/gw/Grundsaeetze_Nachsorge_.pdf)
- [9] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Handbuch Altlasten Band 3 Teil 6, Ermittlung von Schadstofffrachten im Grund- und Sickerwasser, Veröffentlichung voraussichtlich Sommer 2008
- [10] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Handbuch Altlasten Band 3 Teil 2, Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen, 2002
- [11] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, 2004, <http://www.lawa.de/pub/kostenlos/gw/GFS-Bericht-DE.pdf>
- [12] Verordnung über Qualitätsziele für bestimmte gefährliche Stoffe und zur Verringerung der Gewässerverschmutzung durch Programme (Qualitätszielverordnung) vom 2. Oktober 2006, GVBl. I S. 526
- [13] B. HÖLTING: Hydrogeologie, 4. Auflage, 1996
- [14] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Handbuch Altlasten Band 3 Teil 3, Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser (Sickerwasserprognose), 2. Auflage, 2002
- [15] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Handbuch Altlasten Band 8 Teil 1, Arbeitshilfe zu überwachten natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen im Grundwasser (Monitored Natural Attenuation MNA), 2. Auflage 2005
- [16] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Handbuch Altlasten Band 8 Teil 2, Arbeitshilfen zur Überwachung und Nachsorge von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten, Teil „Biologische in-situ-Sanierungen“, 2005
- [17] H. D. STUPP, A. BAKENHUS, R. STAUFFER, D. LORENZ: Sanierungsoptimierung von CKW-Grundwasserschäden – Möglichkeiten zur Reduzierung der Sanierungskosten, altlasten spektrum 6/2005
- [18] Sozial- und Umweltministerium Baden-Württemberg, Verwaltungsvorschrift über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen einschließlich Erläuterungen (BW-VwV), Erlass vom 16. September 1993, Fassung vom 01. März 1998 (BW-VwV), [www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/alfaweb/index.html](http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/alfaweb/index.html)
- [19] Grundwasserverordnung vom 18. März 1997 (BGBl. I S. 542)
- [20] Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung – EG-Grundwasserrichtlinie (GWRL) – (ABl. L 372/19)
- [21] Indirekteinleiterverordnung (VGS) vom 13. Dezember 2006 (GVBl. I S. 684), Berichtigung vom 3. August 2007 (GVBl. I S. 527)
- [22] Durchführungserlass zur Grundwasserverordnung vom 11. März 1999 (StAnz. 1999 S. 925)
- [23] K.-F. BUSCH, L. LUCKNER, K. TIEMER: Lehrbuch der Hydrologie Band 3, Geohydraulik, 3. Auflage 1993, Gebrüder Borntraeger

## Literatur

- [24] Verordnung zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (VO-WRRL) vom 17. Mai 2005, GVBl. I S. 382
- [25] Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG vom 17. Juli 2006
- [26] Gemeinsame Ausarbeitung der LAWA-AO-Expertenkreise „Stoffe“ und „Biologisches Monitoring Fließgewässer und Interkalibrierung“ unter Beteiligung des AK „Fischereiliche Zustandsbewertung“ und des AO-EK „Seen“ und der AG „Physikalisch-chemische Messgrößen“ des BLMP, Stand: 7. März 2007
- [27] DIN 4049 Hydrologie Teil 3, Begriffe zur quantitativen Hydrologie, 1994
- [28] A.I. JOHNSON: Specific yield – Compilation of specific yields for various materials, Geol. Survey Water-Supply Paper 1662-D, Washington D.C., 1967