

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)  
Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO)

**Grundsätze des  
nachsorgenden Grundwasserschutzes  
bei punktuellen Schadstoffquellen**

**Erarbeitet vom gemeinsamen Unterausschuss „Gefahrenabwehr bei Grundwasser-  
verunreinigungen und Grundwassergefährdungen“ der Ständigen Ausschüsse  
„Grundwasser und Wasserversorgung“ der LAWA und „Altlasten“ der LABO**

Susanna Börner (Obfrau)	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
Wolf-Dietrich Bertges	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
Dr. Verena Brill	Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein
Klaus Häfner	Regierungspräsidium Leipzig
Dr. Jürgen Höß	Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg
Dr. Uwe Kallert	Niedersächsisches Umweltministerium
Lutz Keppner	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Gabriela Kluge	Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt
Brigitte Moll	Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg
Dr. Sybille Pawlowski	Ministerium für Umweltschutz, Landwirtschaft und Verbraucher- schutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Dr. Günther Siegert	Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Ellen Six	Umweltbundesamt
Dr. Hana Slama	Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Andre Wünsch	Landesumweltamt Brandenburg

# **Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen**

1. Problemstellung und Auftrag .....	4
2. Geltungsbereich .....	5
3. Begriffe .....	6
4. Fallgestaltungen .....	8
5. Untersuchung .....	10
5.1 Hinweise auf Gefahren für das Grundwasser .....	10
5.2 Feststellung einer Grundwasserverunreinigung .....	10
5.3 Untersuchungsstufen.....	10
5.4 Bewertung festgestellter Gefahren für das Grundwasser .....	12
6. Bewertungshilfen .....	14
6.1 Stoffeintrag aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser .....	14
6.1.1. Lokal begrenzt erhöhte Schadstoffkonzentrationen .....	14
6.1.2. Geringe Stofffrachten .....	15
6.1.3. Auf Dauer .....	17
6.2 Ausmaß von Grundwasserverunreinigungen bei abgeschlossenem Stoffeintrag aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser.....	17
6.3 Anwendung der Bewertungshilfen.....	19
7. Sanierungsziele .....	20
7.1 Allgemeine Vorgaben .....	20
7.2 Bodensanierung im ungesättigten Bereich .....	20
7.3 Sanierung von Grundwasserverunreinigungen .....	21
8. Literatur .....	22

## 1. Problemstellung und Auftrag

In 1994 veröffentlichte die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) die "Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden" [1]. Mit Inkrafttreten von BBodSchG und BBodSchV haben sich die einschlägigen gesetzlichen Vorschriften geändert. Außerdem ist die Entwicklung auch in der praktischen Behandlung von Altlasten schnell fortgeschritten.

Dem trug der ständige LAWA-Ausschuss "Grundwasser und Wasserversorgung" (LAWA AG) auf seiner 39. Sitzung im November 2002 mit dem Beschluss Rechnung, einen Unterausschuss zu gründen, „... der definieren soll, welche angemessenen Maßnahmen bei Überschreitung der Geringfügigkeitsschwellenwerte im Nachsorgebereich getroffen werden müssen und der den Auftrag hat, unter Beteiligung der LABO das LAWA-Papier 'Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden' aus dem Jahr 1994 zu überarbeiten." Auf der 42. Sitzung des LAWA AG wurde der Überarbeitung der "Empfehlungen ..." in Form eines Grundsatzpapiers zugestimmt sowie der erste Teil des o.g. Arbeitsauftrages dahingehend präzisiert, "... dass für den Nachsorgebereich unter Bezug auf die Geringfügigkeitsschwellen eine Empfehlung zur Bewertung von GW-Verunreinigungen zu erarbeiten ist sowie als weitere Vollzugshilfe die unbestimmten Rechtsbegriffe 'geringe Schadstofffrachten', 'auf Dauer' und 'lokal begrenzt' aus § 4 Abs. 7 BBodSchV zu erklären sind."

Wesentliche inhaltliche Voraussetzung waren dabei neben den geltenden bodenschutz- und wasserrechtlichen Regelungen die „Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser (GFS-Bericht gemäß UMK-Umlaufbeschluss 20/2004 vom 30.11.2004)" [2] sowie die vom Geltungsbereich unabhängigen Kernaussagen zu den Geringfügigkeitsschwellen in den 2002 beschlossenen "Grundsätzen des vorsorgenden Grundwasserschutzes bei Abfallverwertung und Produkteinsatz (GAP 2002, gemäß ACK-Beschluss vom 17.05.2002)" [3].

## **2. Geltungsbereich**

Die nachfolgenden Grundsätze gelten ausschließlich für durch punktuelle Schadstoffquellen (z.B. Leckagen, aktuelle Schadensfälle, Altlasten) verursachte, anthropogen bedingte Grundwassergefährdungen und -verunreinigungen. Flächenhafte Schadstoffeinträge - z.B. atmosphärische Deposition, landwirtschaftliche Düngung - werden nicht behandelt. Die Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf die Nachsorge bei bestehenden Grundwasserverunreinigungen sowie bei Fällen, in denen die Ursache für eine künftige GW-Verunreinigung bereits existiert und die Folgen für das Grundwasser abzuwehren sind.

Bei dem vorliegenden Papier handelt es sich um ein fachliches Papier, das rechtliche Aussagen nur insoweit enthält, als dies unbedingt erforderlich ist. Zur vollständigen Darstellung der rechtlichen und Verfahrensaspekte der Untersuchungen und Sanierungen von Grundwasserverunreinigungen, deren Ursachen im Boden liegt, ist daher insbesondere auf die Papiere "Abgrenzung zwischen Bundes-Bodenschutzgesetz und Wasserrecht", Teil 1 (LABO/LAWA Sept. 2000 [4]) und Teil 2 (LABO/LAWA Sept. 2005 [5]) zu verweisen.

### **3. Begriffe**

#### *Grundwasserverunreinigung*

Eine Grundwasserverunreinigung liegt dann vor, wenn im Grundwasser die Geringfügigkeitsschwelle überschritten wird.

Die Geringfügigkeitsschwelle bildet die Grenze zwischen einer geringfügigen Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer schädlichen Verunreinigung (GFS-Bericht 2004 [2]). Die mit der Geringfügigkeitsschwellen-Überschreitung definierte Grundwasserverunreinigung ist synonym zu dem Begriff „nachteilige Veränderung der Eigenschaften des Grundwassers“ des WHG. Denn „Vom Verunreinigungsbegriff [wird] nicht schon jede ganz geringfügige und belanglose Beeinträchtigung erfasst“ (Czychowski/Reinhardt 2003) [6]. Gleichfalls synonym zu verwenden ist der Begriff „Grundwasserschaden“. Zur Vereinfachung wird im Weiteren nur noch der Begriff „Grundwasserverunreinigung“ benutzt.

Liegen Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser im Bereich unterhalb der GFS und über der geogenen Hintergrundbelastung, dann ist die chemische Beschaffenheit des Grundwassers nur unerheblich verändert (GAP 2002 [3]).

#### *Grundwassergefährdung*

Eine Grundwassergefährdung liegt vor, wenn bei ungehindertem Ablauf des Geschehens mit hinreichender Wahrscheinlichkeit in absehbarer Zeit eine Grundwasserverunreinigung und damit eine Störung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung eintreten wird.

#### *Gefahr für das Grundwasser*

"Gefahr für das Grundwasser" wird als Oberbegriff für die Begriffe "Grundwasserverunreinigung" und "Grundwassergefährdung" verwendet.

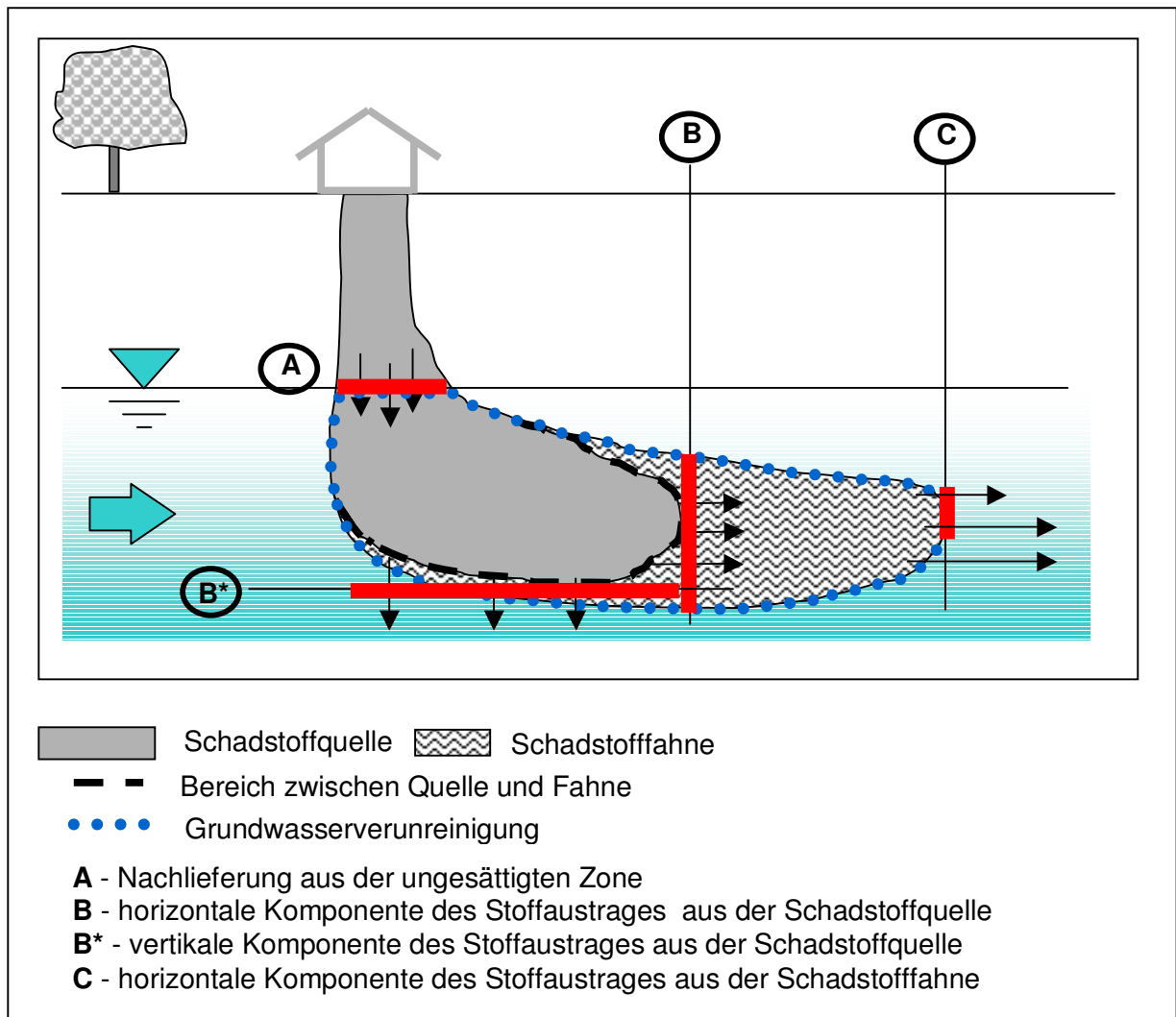
Dieser Begriff wird eingeführt, weil im Polizei- und Ordnungsrecht der Länder der Begriff Gefahrenabwehr unterschiedlich verwendet wird: Einige Landesgesetze unterscheiden zwischen der Gefahrenabwehr als Abwehr noch nicht eingetretener Störungen und der Beseitigung der eingetretenen Störung. Andere Länder hingegen verstehen unter Gefahrenabwehr sowohl die Abwehr drohender als auch die bereits eingetretener Störungen der öffentlichen Sicherheit und Ordnung.

#### *Schadstofffahne im Grundwasser:*

Die Schadstofffahne ist der Teil einer Grundwasserverunreinigung, in dem die Schadstoffe vorwiegend gelöst vorliegen (Abbildung 1).

*Schadstoffquelle:*

Als Schadstoffquelle werden in der Bodenmatrix gebundene Schadstoffe, residual gesättigte Bereiche und Phasenkörper in gesättigter oder ungesättigter Zone bezeichnet. Im Grundwasser ist die Grenze zwischen Schadstoffquelle und -fahne im Allgemeinen an einer deutlichen Änderung des Verhältnisses zwischen Gesamtstoffgehalten und gelösten Anteilen erkennbar. Liegt die Schadstoffquelle im Grundwasser und verursacht eine Grundwasserverunreinigung, so ist sie Teil derselben (Abbildung 1).



**Abbildung 1: Schematische Darstellung der Stoffausbreitung**

#### **4. Fallgestaltungen**

Nachfolgend werden schematisch die wesentlichen Fallgestaltungen dargestellt (Abbildung 2). Diese Fälle können als unterschiedliche Entwicklungsstadien der Schadstoffausbreitung gesehen werden.

##### ***Fall I:***

Die Schadstoffquelle befindet sich ausschließlich in der ungesättigten Zone. Derzeit werden die Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser nicht überschritten und es ist noch keine Grundwasserverunreinigung eingetreten. Die Beurteilung, ob eine Grundwasserverunreinigung zu erwarten ist, erfolgt nach BBodSchV am Übergang zwischen ungesättigter und gesättigter Bodenzone (Ort der Beurteilung nach § 4 Abs. 3 Satz 3 BBodSchV). Beurteilungskriterium sind die Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser nach Anh. 2 Ziff. 3 BBodSchV.

##### ***Fall II – IV:***

Fälle II – IV beschreiben verschiedene Konstellationen, in denen bei unterschiedlicher Lage der Schadstoffquelle eine Grundwasserverunreinigung bereits eingetreten ist.

In Fall II gelangen die Schadstoffe mit dem Sickerwasser, in dem sie gelöst sind, in das Grundwasser, in Fall III und IV befindet sich die Schadstoffquelle selbst (Fall III: teilweise) in der gesättigten Zone. Stoffeinträge aus der ungesättigten Zone sind nach Bodenschutzrecht anhand der Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser am Ort der Beurteilung nach BBodSchV zu beurteilen. Die Situation für das Grundwasser ist in dreierlei Hinsicht zu beurteilen: hinsichtlich des Ausmaßes der Grundwasserverunreinigung selbst, der Stoffnachlieferung aus der Schadstoffquelle in das verunreinigte Grundwasser sowie der Verlagerung und Ausbreitung der Grundwasserverunreinigung. Beurteilungskriterium für die Stoffkonzentration im Grundwasser ist die Geringfügigkeitsschwelle.

##### ***Fall V:***

Bei nicht ermittelbarer Schadstoffquelle bzw. beendeter Emission aus der Schadstoffquelle ist nur die Grundwasserverunreinigung bekannt. Sie selbst sowie die von ihr für das noch nicht verunreinigte Grundwasser ausgehende Gefährdung ist anhand der Geringfügigkeitsschwelle und der Stofffrachten zu beurteilen.



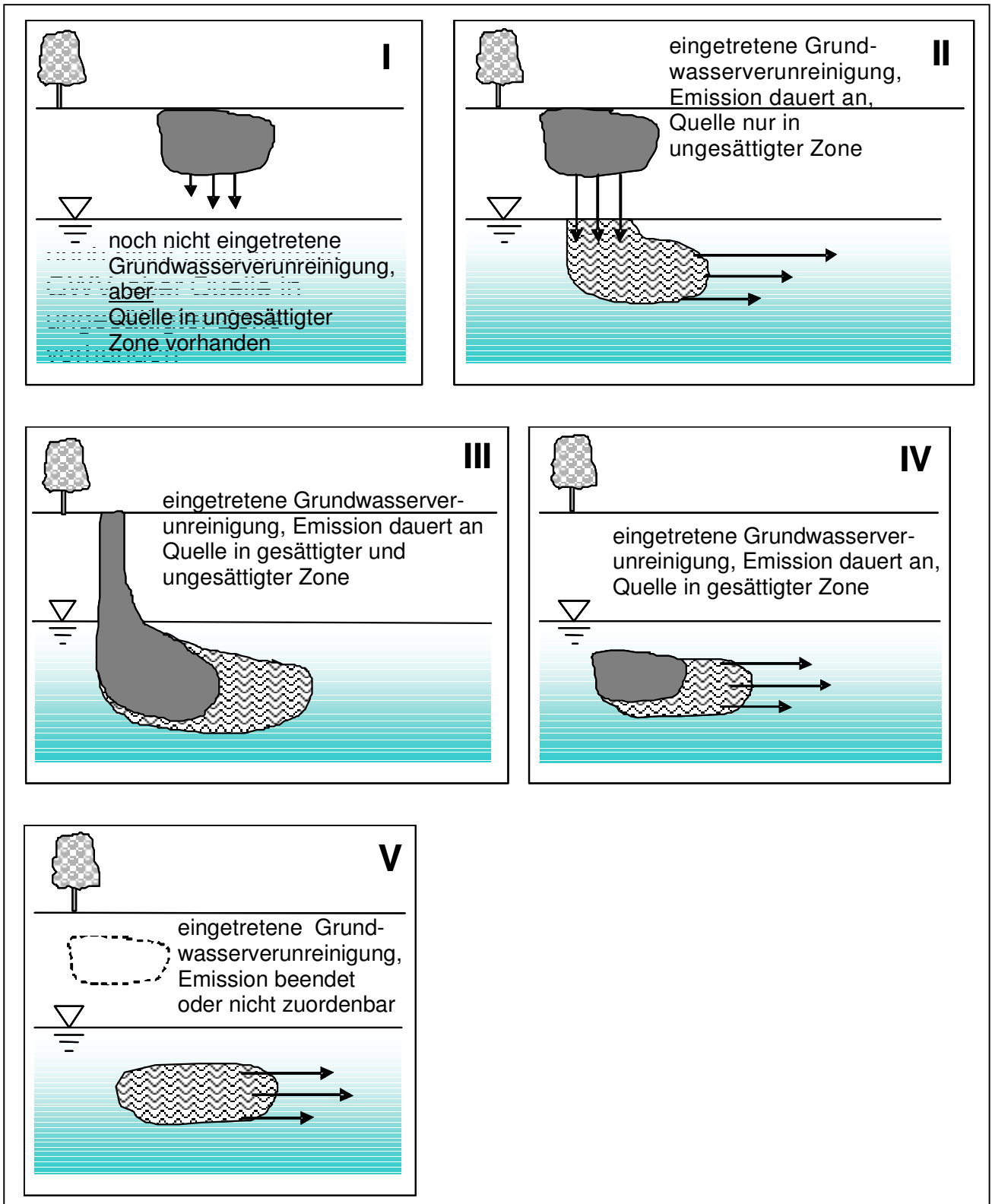


Abbildung 2: Fallkonstellationen der Nachsorge

## **5. Untersuchung**

### **5.1 Hinweise auf Gefahren für das Grundwasser**

Die in § 3 BBodSchV genannten Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast bzw. schädlichen Bodenveränderung sind sowohl Hinweise auf eine Grundwasserverunreinigung als auch gleichzeitig auf eine Grundwassergefährdung. Darüber hinaus liegen Hinweise für eine Gefahr für das Grundwasser vor, wenn im Grundwasser Stoffkonzentrationswerte gemessen werden, die die regionalen, geogenen Hintergrundkonzentrationen überschreiten, oder wenn andere Verdachtsmomente zu verzeichnen sind, die sich u.a. aus Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen der Wasserbehörden ergeben können (z.B. Kontrollen der Gewässeraufsicht). Außerdem können signifikante Konzentrationsdifferenzen zwischen Messstellen auf eine Grundwassergefährdung durch eine dazwischenliegende Schadstoffquelle hinweisen.

### **5.2 Feststellung einer Grundwasserverunreinigung**

Liegen Messergebnisse aus Grundwasseruntersuchungen vor, ist durch Vergleich der Messwerte mit den Geringfügigkeitsschwellen festzustellen, ob eine Grundwasserverunreinigung vorliegt: Überschreitet die Stoffkonzentration in einer qualifiziert gewonnenen Grundwasserprobe die Geringfügigkeitsschwelle, dann gilt eine Grundwasserverunreinigung für den durch die Messungen repräsentierten Grundwasserbereich als festgestellt. Dies trifft schon für das Ergebnis einer repräsentativen Messung an einem Messpunkt zu. Es besteht insoweit bei der Feststellung der Grundwasserverunreinigung kein Ermessensspielraum für die Behörde. Es handelt sich allerdings zunächst nur um eine Feststellung dem Grunde nach, der regelmäßig eine Ermittlung von Art und Ausmaß der Grundwasserverunreinigung zu folgen hat.

Die Probennahme muss sich nach den fachlichen Handlungsempfehlungen richten (z.B. Mat. ALA-AG QS mit weiteren Literaturstellen [7] und entsprechende Länderempfehlungen). Die Feststellung der Grundwasserverunreinigung ist zu verbinden mit einer Einschätzung der Zuverlässigkeit des Nachweises und räumlichen Repräsentativität der Messung.

Bei eingetretener Grundwasserverunreinigung ist immer auch vom Vorliegen einer Gefährdung für das umgebende, noch nicht verunreinigte Grundwasser auszugehen.

Die Entwicklung der Grundwasserverunreinigung und damit das Ausmaß der Gefahr ist anhand einer Sickerwasserprognose zu beschreiben.

### **5.3 Untersuchungsstufen**

Für zweckgerichtete und effiziente Untersuchungen hat sich in der Praxis ein schrittweiser Ablauf bewährt, der in der ersten Stufe darauf ausgerichtet ist, belastbare Erkenntnisse für die Entscheidung zu erhalten, ob weitere Untersuchungen erforderlich sind. Darauf aufbauend wer-

den die Ergebnisse zur Festlegung von Art und Umfang der weiteren Untersuchungsmaßnahmen verwendet. Einen solchen Ablauf gibt die BBodSchV mit der Stufung in „Orientierende Untersuchung“ und „Detailuntersuchung“ vor. Diese gestufte Vorgehensweise bietet sich zweckmäßigerweise auch bei der allein auf das Wasserrecht gestützten Vorgehensweise an. Im Folgenden werden also für orientierende und Detailuntersuchung die grundlegenden Schritte für ein Verfahren jeweils nach Bodenschutzrecht und nach Wasserrecht dargelegt.

### *Orientierende Untersuchung*

Liegen der Behörde für die betreffende Fläche Anhaltspunkte i. S. d. § 9 Abs. 1 Satz 1 BBodSchG vor, soll sie darüber befinden, welche Untersuchungen und sonstigen Maßnahmen notwendig sind, um den Verdacht einer Altlast oder schädlichen Bodenveränderung entweder auszuräumen oder die Verdachtslage im Sinne des § 9 Abs. 2 Satz 1 BBodSchG hinreichend zu erhärten. Diese Untersuchungen sind gleichbedeutend mit der in § 2 Nr. 3 BBodSchV definierten „Orientierenden Untersuchung“. Die orientierende Untersuchung für den Wirkungspfad „Boden – Grundwasser“ umfasst die Sachverhaltsermittlung bis zum Ausschluss oder der Erhärtung des Verdachts (ggf. auch schon des Nachweises) einer Grundwassergefährdung oder Grundwasserverunreinigung auf der Basis vorliegender Hinweise (Abschnitt 5.2). Dazu ist der gegenwärtige und zukünftige Stoffeintrag in das Grundwasser daraufhin zu bewerten, "inwieweit zu erwarten ist, dass die Schadstoffkonzentration im Sickerwasser den Prüfwert am Ort der Beurteilung überschreitet" (§ 4 Abs. 3 BBodSchV).

Bei der auf Wasserrecht gestützten ersten Untersuchungsstufe ist zu ermitteln, ob sich der aus Hinweisen resultierende Verdacht auf eine Grundwasserverunreinigung bestätigt oder ausgeräumt werden kann. Wird eine Grundwasserverunreinigung festgestellt, ist die Ermittlung der Schadstoffquelle bzw. der Ursache der Grundwasserverunreinigung Bestandteil der orientierenden Untersuchung.

Der Inhalt orientierender Untersuchungen kann nicht im Sinne eines fachlichen Standardprogramms vorgeben werden, sondern ist auf die Erkenntnisse des Einzelfalles abzustellen.

### *Detailuntersuchung*

Nach § 9 BBodSchG und § 2 Nr. 4 BBodSchV sind im Rahmen der Detailuntersuchung "vertiefte weitere Untersuchungen zur abschließenden Gefährdungsabschätzung, insbesondere der Feststellung von Menge und räumlicher Verteilung von Schadstoffen, ..." durchzuführen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Prognose des Stoffeintrages aus der ungesättigten Zone in das Grundwasser sowie die Ermittlung und Prognose der Ausbreitung von Schadstoffen im Grundwasser (z.B. Frachtbetrachtungen). Des Weiteren ist im Ergebnis der Detailuntersuchung nach § 4 Abs. 4 BBodSchV auch zu entscheiden, ob Sanierungsmaßnahmen

men nach § 2 Abs. 7 BBodSchG oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen nach § 2 Abs. 8 BBodSchG zur Gefahrenabwehr erforderlich sind. Für diese behördliche Entscheidung muss die Detailuntersuchung eine ausreichende Grundlage liefern.

Auch bei der auf Wasserrecht gestützten Detailuntersuchung sind in Analogie Art und Ausmaß von Grundwasserverunreinigungen und sich daraus ergebende Grundwassergefährdungen zu ermitteln und zu prognostizieren. Die Untersuchungsergebnisse dienen als Grundlage für die Behörde, über die grundsätzliche Notwendigkeit von (Sanierungs-) Maßnahmen zu entscheiden sowie ggf. vorläufige Sanierungsziele und -zielwerte festzulegen.

Hinsichtlich der Anforderungen an die Sachverhaltsermittlung einschließlich der einzusetzenden Instrumente und Verfahren wird auf die in der Altlastenbehandlung für den Wirkungspfad Boden - Grundwasser erarbeiteten bzw. noch in Bearbeitung befindlichen Materialien aus Bund-Länder-Arbeitsgruppen, der Bundesländer sowie einschlägige Fachliteratur verwiesen.

#### **5.4 Bewertung festgestellter Gefahren für das Grundwasser**

Da bei der Feststellung einer bestehenden Gefahr für das Grundwasser kein behördlicher Ermessensspielraum besteht, muss bei der Festlegung von Maßnahmen deren Verhältnismäßigkeit geprüft werden. Die Maßnahmen (u.a. auch weitere vertiefende Untersuchungen) müssen nach den konkreten Umständen des Einzelfalls und unter den lokalen Randbedingungen geeignet, erforderlich und angemessen sein. Wesentlich ist dabei, dass der Sachverhalt so weit ermittelt wurde, wie es für die jeweilige Entscheidung erforderlich ist.

Die Höhe der Stoffkonzentrationen im Grundwasser, räumliche Ausdehnung und zeitliche Entwicklung der Grundwasserverunreinigung sowie der Eintrag der Stofffrachten aus der Schadstoffquelle in das Grundwasser sind als wesentliche Untersuchungsergebnisse zu berücksichtigen. Bewertungshilfen dafür werden im folgenden Abschnitt 6 gegeben. Sie sollen dem Vollzug eine Hilfestellung zur Beurteilung des Stoffeintrages aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser gemäß § 4 Abs. 7 BBodSchV und des Ausmaßes von Grundwasserverunreinigungen geben. Sie sollen und können aber keinesfalls die notwendige Auseinandersetzung mit den Besonderheiten des Einzelfalles ersetzen.

Zur Beurteilung eines konkreten Einzelfalles sind darüber hinaus Kriterien zu prüfen wie:

- Charakterisierung des Grundwasserleiters,
- wasserwirtschaftliche Bedeutung des Grundwasserleiters,
- chemische Hintergrundbeschaffenheit des Grundwassers und ggf. des Bodens (§ 4 Abs. 8 BBodSchV),
- Ausdehnung der Grundwasserverunreinigung (Status und Prognose),
- nachgewiesene natürliche Schadstoffminderungsprozesse (ggf. Status und Prognose),

- Schadstoffeinträge aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser,
- Schadstoffeinträge aus der gesättigten Bodenzone in das Grundwasser,
- Schadstoffbild einschließlich der stoffspezifischen Charakterisierung
- durch die Grundwasserverunreinigung betroffene Schutzgüter,
- durch die Grundwasserverunreinigung gefährdete Nutzungen im Schadensbereich und seiner Umgebung.

Diese Kriterien sind in der Anlage näher ausgeführt und mit Erläuterungen versehen.

## 6. Bewertungshilfen

### 6.1 Stoffeintrag aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser

Schädliche Bodenveränderungen und Altlasten sind nach § 4 Abs. 3 Satz 1 BBodSchG grundsätzlich so zu sanieren, dass dauerhaft keine Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen. Das beinhaltet, dass Grundwasserverunreinigungen grundsätzlich verhindert und beseitigt werden müssen. Ob und welche Maßnahmen durchzuführen sind, hängt davon ab, ob sie nach den konkreten Umständen des Einzelfalls verhältnismäßig sind. Die Verhältnismäßigkeit einer Maßnahme hängt von so vielen, einzelfallspezifischen Faktoren ab, dass sie nicht abschließend dargestellt werden kann. Die BBodSchV greift in § 4 Abs. 7 drei dieser Faktoren auf: : *"Wenn erhöhte Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser oder andere Schadstoffausträge auf Dauer nur geringe Schadstofffrachten und nur lokal begrenzt erhöhte Schadstoffkonzentrationen in Gewässern erwarten lassen, ist dieser Sachverhalt bei der Prüfung der Verhältnismäßigkeit von Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen."* Dabei bedeuten "erhöhte Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser", dass der Prüfwert zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser oder ein entsprechend abgeleiteter Wert überschritten ist, "erhöhte Schadstoffkonzentrationen in Gewässern" bedeuten für das Grundwasser eine Überschreitung der Geringfügigkeitsschwelle im Grundwasser und unter "andere Schadstoffausträge" ist z.B. der Schadstofftransport "in Phase" zu verstehen.

Was konkret "geringe Schadstofffrachten", " lokal begrenzt erhöhte Schadstoffkonzentrationen" sowie "auf Dauer" bedeuten, regelt die BBodSchV nicht.

**Die Und-Verknüpfung im Gesetzestext impliziert, dass diese drei Kriterien gleichzeitig eingehalten werden müssen. Wenn diese drei Kriterien eingehalten werden, wird im Regelfall eine Maßnahme unverhältnismäßig sein. Wenn nur einzelne Kriterien eingehalten sind, sind weitere Ausführungen erforderlich, dass Maßnahmen unverhältnismäßig sind.**

#### 6.1.1. Lokal begrenzt erhöhte Schadstoffkonzentrationen

Der Grundgedanke bei der Festlegung des Ortes der Beurteilung und der dort geltenden Prüfwerte in der BBodSchV besteht darin, dass Sickerwasser an der Grundwasseroberfläche Teil des Grundwassers ist. Die mit dem Sickerwasserstrom eingetragenen Schadstoffe werden mit dem zuströmenden, unbelasteten Grundwasser vermischt, möglicherweise auch abgebaut. Der Begriff „lokal begrenzt“ soll sicherstellen, dass die Zone, innerhalb derer die Geringfügigkeitsschwelle überschritten wird, minimiert wird. Im Folgenden wird dargestellt, wie ihre Größe bei der Nachsorge festgelegt werden kann:

Solange die Fläche der Grundwasserverunreinigung in der Größenordnung der Schadstoffeintragsfläche liegt, wird sie als lokal begrenzt angesehen. Das verunreinigte Grundwasservolumen wird also als (projizierte) Fläche beurteilt. Dies entspricht nicht den realen Vorgängen im Grundwasserleiter, wo neben der horizontalen Ausbreitungskomponente auch eine vertikale Komponente auftritt. Da aber die horizontale die vertikale i.d.R. überwiegt, erscheint die Begrenzung der horizontalen Ausdehnung für die Entscheidung über die Verhältnismäßigkeit weiterer Untersuchungen oder einer Sanierung i.A. ausreichend. Bei Festgesteins-Grundwasserleitern sowie besonderen geologischen oder hydraulischen Verhältnissen und Schadstoffen kann aber auch die Betrachtung der Vertikalen von Bedeutung sein. Ist daher eine Grundwasserverunreinigung nicht auf ein Grundwasserstockwerk beschränkt, so ist sie nicht mehr lokal begrenzt. Die horizontale Ausdehnung der Bodenverunreinigung kann stark variieren (z.B. undichter kleiner Tank oder aber großes Tanklager). Dies würde dazu führen, dass bei größeren Schadstoffquellen auch größere Grundwasserverunreinigungen toleriert werden würden. Aus der Erfahrung der Altlastenbearbeitung in der Vergangenheit erscheint daher eine Obergrenze von 1000 m<sup>2</sup> für die Zone verunreinigten Grundwassers sinnvoll und praktikabel. Zusammenfassend liegen also gemäß § 4 Abs. 7 BBodSchV "lokal begrenzt erhöhte Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser" dann vor, wenn folgende Kriterien gleichzeitig erfüllt sind:

- Der zu beurteilende Bereich, bei dem Konzentrationen über der Geringfügigkeitsschwelle gemessen werden, liegt in der Größenordnung der horizontalen Ausdehnung der Schadstoffquelle in der ungesättigten Bodenzone. Er sollte aber 1000 m<sup>2</sup> in der Regel unterschreiten.
- Die vertikale Ausbreitung der Verunreinigung ist auf ein Grundwasserstockwerk beschränkt.

### **6.1.2. Geringe Stofffrachten**

Geringe Schadstofffrachten liegen dann vor, wenn durch den Eintrag von Stoffen aus dem Boden in das Grundwasser über einen bestimmten Zeitraum die Stoffkonzentration in einem definierten Vergleichsvolumen maximal die Geringfügigkeitsschwelle (GFS) erreicht.

Als Volumen wird diejenige Grundwassermenge vorgeschlagen, die sich unter Annahme einer vom Einzelfall unabhängigen Grundwasserneubildungsrate für eine ebenso vom Einzelfall unabhängige grundwasserbildende Bezugsfläche  $F_{\text{Bezug}}$  ergibt.

Die "geringe Fracht" ergibt sich dann nach:

$$Fr_{\text{gering}} = F_{\text{Bezug}} * GWN_{\text{Bezug}} * GFS$$

- $Fr_{\text{gering}}$  = Geringe Fracht [Masse/Zeit]
- $F_{\text{Bezug}}$  = Einzelfallunabhängige Grundwasserneubildungsfläche [Fläche]
- $GWN_{\text{Bezug}}$  = Einzelfallunabhängige Grundwasserneubildung [Volumen/(Fläche\*Zeit)]
- $GFS$  = Geringfügigkeitsschwelle [Masse/Volumen]

Mit diesem Wert können die für den Einzelfall ermittelten Emissionen E verglichen und in die nach § 4 Abs. 7 BBodSchV geforderte Prüfung einbezogen werden.

$$E = Q_{\text{SiWa}} * c_{\text{SiWa}}$$

- $E$  = Einzelfallbezogene Emission [Masse/Zeit]
- $Q_{\text{SiWa}}$  = Sickerwasserstrom [Volumen/Zeit]
- $c_{\text{SiWa}}$  = Stoffkonzentration des Sickerwassers [Masse/Volumen]

Ergibt die Prüfung, dass eine Sanierung wegen geringer Frachten ( $E$  in der Größenordnung  $Fr_{\text{gering}}$ ) unverhältnismäßig ist, wird zwar die Entstehung bzw. die Existenz einer Grundwasser-  
verunreinigung toleriert, durch die Begrenzung der Fracht und die Verknüpfung mit den Kriterien nach Kapitel 6.1.1 und 6.1.3 wird aber ihr Ausmaß begrenzt. Für Grundwasserleiter mit geringen Ergiebigkeiten werden bei ungenügendem Stoffabbau Schadstofffahnen nicht lokal begrenzt im Sinne von Kapitel 6.1.1 bleiben.

Die Faktoren zur Berechnung der einzelfallunabhängigen geringen Fracht  $Fr_{\text{gering}}$  können nicht einheitlich festgelegt werden. Sie müssen landesspezifisch, den jeweiligen natürlichen Gegebenheiten entsprechend, vorgegeben werden.

Eine mit einer Bezugsfläche von 1 km<sup>2</sup> berechnete geringe Fracht stellt unter Berücksichtigung der Vollzugserfahrungen einiger Länder eine praktikable Größe dar. Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft unter dieser Annahme berechnete geringe Frachten (Annahme:  $GWN_{\text{Bezug}} = 172$  mm/a (75. Perzentil der Grundwasserneubildung in Deutschland))

<b>Stoff(gruppe)</b>	<b>GFS</b>	<b>Fracht</b>
Quecksilber (Hg)	0,2 µg/l	0,094 g/d
Cyanid (CN-)	50 µg/l	24 g/d
Σ PAK und Einzelstoffe	0,2 µg/l	0,094 g/d
Σ LHKW und Einzelstoffe	20 µg/l	9,4 g/d



### **6.1.3. Auf Dauer**

In BBodSchG und BBodSchV spielen Dauerhaftigkeit und Langzeitwirkung an verschiedenen Stellen und mit unterschiedlicher Bedeutung eine Rolle:

- im Bereich des vorsorgenden Bodenschutzes (§ 12 Abs. 5 BBodSchV)
- bei der dauerhaften Gefahrenabwehr als Ziel von Sanierungsmaßnahmen (§ 4 Abs. 3 BBodSchG, §§ 5 Abs. 3, 6 Abs. 2 BBodSchV)
- bei der Kontrolle von Sicherungsmaßnahmen (§ 5 Abs. 3 BBodSchV)
- bei der Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen (§ 4 Abs. 7 BBodSchV)

Im Folgenden geht es nur um die Dauerhaftigkeit im Zusammenhang mit dem in § 4 Abs. 7 Satz 2 BBodSchV behandelten Aspekt der Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen.

Dauerhaft heißt in diesem Zusammenhang, dass davon auszugehen ist, dass sich der Sachverhalt - geringer Frachteintrag und lokal begrenzt erhöhte Schadstoffkonzentrationen, gleichbedeutend mit stationärer und lokal begrenzter Schadstofffahne - nicht nachteilig ändern wird. Voraussetzung dafür sind entsprechende Stoffumwandlungs- und -abbauprozesse unter in der Summe verschiedener Einflussfaktoren konstant wirkenden Randbedingungen (z.B. gleichbleibende Grundwasserstände). Diese Abhängigkeit des stationären Zustands von den Randbedingungen kann deren Beobachtung bedingen. Eine Begrenzung des Zeitraumes auf ein bestimmtes, endliches Intervall würde spätere, infolge geänderter Randbedingungen ggf. erhöhte Stoffeinträge außer Acht lassen und die dann mögliche Zunahme der in das Grundwasser eingetragenen Schadstoffmenge bei der Bewertung ausklammern.

Daher muss in diesem Zusammenhang der Begriff "auf Dauer" mit "aus heutigem Kenntnisstand zeitlich unbegrenzt" gleichgesetzt werden.

### **6.2 Ausmaß von Grundwasserverunreinigungen bei abgeschlossenem Stoffeintrag aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser**

Liegt eine Grundwasserverunreinigung vor, ist grundsätzlich über Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu entscheiden. Die Festlegung von Art, Umfang und Dringlichkeit von Maßnahmen erfordert eine Verhältnismäßigkeitsprüfung. Bei der Ausübung des Ermessens ist die Größe der Grundwasserverunreinigung ein wichtiges Kriterium. Daher wird nachfolgend eine „kleine Grundwasserverunreinigung“ definiert. Diese Definition gilt aber nur dann, wenn der Schadstoffeintrag über das Sickerwasser in das Grundwasser abgeschlossen und ein zusätzlicher Stoffeintrag nicht zu erwarten ist (Fallgruppen IV und V). Das Ausmaß einer Grundwasserverunreinigung wird anhand der Konzentration und der Geringfügigkeitsschwelle des maßgeblichen Schadstoffes sowie des Volumens der Grundwasserverunreinigung abgeschätzt.

Von einer gerade noch kleinen Grundwasserverunreinigung wird nach den Vollzugserfahrungen einiger Länder gesprochen, wenn das verunreinigte Volumen die Größenordnung von 100.000 m<sup>3</sup> (Vergleichsvolumen) nicht überschreitet und die Belastung mit einem Schadstoff im Mittel nicht größer als die 10-fache Konzentration der GFS ist:

$$(V_{\text{Quelle}} \cdot c_{\text{Quelle}} + V_{\text{Fahne}} \cdot c_{\text{Fahne}}) \leq V_{\text{Vergleich}} \cdot (10 \cdot \text{GFS})$$

$$\frac{V_{\text{Quelle}} \cdot c_{\text{Quelle}} + V_{\text{Fahne}} \cdot c_{\text{Fahne}}}{V_{\text{Vergleich}} \cdot (10 \cdot \text{GFS})} \leq 1$$

$V_{\text{Quelle}}$  = Volumen der Schadstoffquelle in der gesättigten Zone (Grundwasser und Boden)

$V_{\text{Fahne}}$  = Volumen der Schadstofffahne in der gesättigten Zone (Grundwasser und Boden)

$V_{\text{Vergleich}}$  = Vergleichsvolumen (100.000 m<sup>3</sup>)

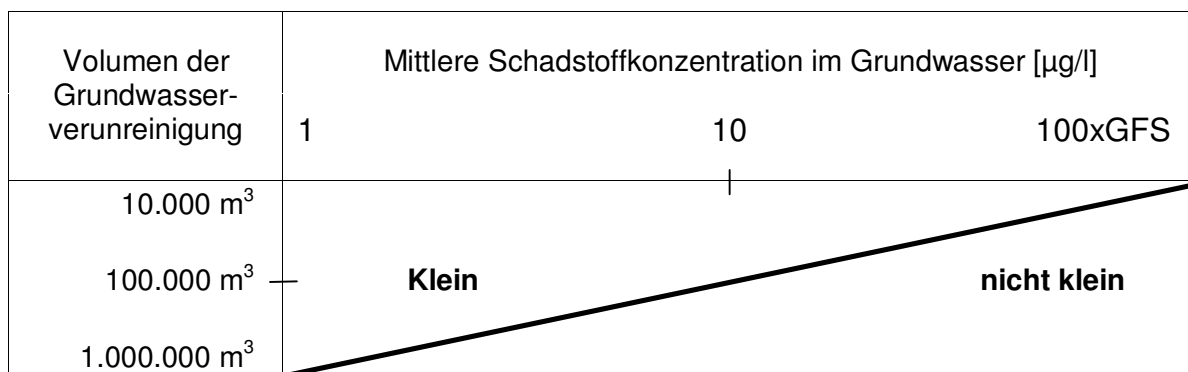
$c_{\text{Quelle}}$  = Mittlere Schadstoffkonzentration in der Schadstoffquelle

$c_{\text{Fahne}}$  = Mittlere Schadstoffkonzentration in der Schadstofffahne

GFS = Geringfügigkeitsschwelle des maßgebenden Schadstoffes

Damit ist letztlich die Schadstoffmenge das Bewertungskriterium. Es handelt sich auch dann noch um eine kleine Grundwasserverunreinigung, wenn die Geringfügigkeitsschwelle um mehr als das 10-fache überschritten ist, das betroffene Volumen aber entsprechend kleiner ist als das Vergleichsvolumen (vgl. Abbildung 3). Weiter ist zu berücksichtigen, ob das Grundwasser durch mehrere Schadstoffe verunreinigt ist.

Grundlage für die Berechnung ist die Detailuntersuchung; ggf. ist bereits zu einem früheren Zeitpunkt eine Abschätzung möglich, z. B. aufgrund der ausgelaufenen Schadstoffmenge nach einem Unfall. Mit verhältnismäßigem Aufwand können Schadensfälle auch nach der Detailuntersuchung nur unscharf abgegrenzt und die Schadstoffverteilung nicht exakt ermittelt werden. Aus diesem Grunde wird das gesamte verunreinigte Volumen (Grundwasser einschließlich Gesteinsmatrix) für die Beurteilung herangezogen.



**Abbildung 3: Einstufung von Grundwasserverunreinigungen**

Beispielhaft ergeben sich für Grundwasserverunreinigungen mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (GFS = 20 µg/l) und Mineralölkohlenwasserstoffen (GFS = 100 µg/l) folgende Schadstoffmengen:

Gruppierung	Schadstoffmenge	
	leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe GFS $\Sigma$ LHKW = 20 µg/l	Mineralöl - Kohlenwasserstoffe GFS $\Sigma$ KW = 100 µg/l
Klein	≤ 20 kg	≤ 100 kg
Nicht klein	> 20 kg	> 100 kg

### 6.3 Anwendung der Bewertungshilfen

Die Bewertung einer Altlast / altlastverdächtigen Fläche / schädlichen Bodenveränderung / Verdachtsfläche richtet sich nach den gesetzlichen Vorschriften von BBodSchG / BBodSchV. Zentraler Punkt bezüglich des Schutzgutes Grundwasser ist dabei die Bewertung anhand von Prüfwerten für den Wirkungspfad Boden - Grundwasser nach §§ 8 und 9 BBodSchG und §§ 3 Abs. 4 und 4 IV BBodSchV. Im Rahmen der Prüfung der Verhältnismäßigkeit behördlicher Entscheidungen hinsichtlich der Notwendigkeit von Untersuchungen und Maßnahmen spielen weitere Aspekte eine Rolle. Die vorstehenden Bewertungshilfen betreffen wiederum nur Teilaspekte davon, die aber für das Schutzgut Grundwasser von besonderer Bedeutung sind.

Zur Beurteilung des Stoffeintrages aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser im Rahmen der Verhältnismäßigkeitsprüfung gibt § 4 Abs. 7 BBodSchV Hinweise. Die Bewertungshilfen in Kapitel 6.1 bieten Unterstützung bei der Interpretation der darin enthaltenen unbestimmten Rechtsbegriffe. Sie beschreiben den Zustand, in dem dauerhaft trotz geringer Stoffeinträge in das Grundwasser nur lokal begrenzte Grundwasserverunreinigungen entstehen. Dabei ist es zwingend, dass alle drei Kriterien gemeinsam und gleichzeitig eingehalten werden. Die Beschaffenheit des Grundwassers im Umfeld des betrachteten Falls und auch das Vorhandensein weiterer Schadstoffquellen im Nahbereich darf nicht vernachlässigt werden.

Für die Beurteilung des Ausmaßes von vorhandenen Grundwasserverunreinigungen im Hinblick auf die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen und Maßnahmen bei abgeschlossenem Stoffeintrag aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser gibt Kapitel 6.2 eine Bewertungshilfe.

Mit den Bewertungshilfen werden in diesem Papier keine Handlungsempfehlungen verknüpft, denn die Notwendigkeit von Maßnahmen hängt von vielen weiteren Faktoren ab.

## **7. Sanierungsziele**

### **7.1 Allgemeine Vorgaben**

Wird bei der Bewertung der Detailuntersuchung festgestellt, dass Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich sind, sind vor Durchführung von Sanierungsmaßnahmen nach § 2 Abs. 7 BBodSchG geeignete Sanierungsziele festzulegen. Gemäß § 4 Abs. 3 BBodSchG sind *"Boden und Altlasten sowie durch schädliche Bodenveränderungen verursachte Verunreinigungen von Gewässern so zu sanieren, dass dauerhaft keine Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen"*.

Für die Sanierung von Böden hinsichtlich des Wirkungspfadens Boden-Gewässer gilt das Bodenschutzrecht. Die inhaltlich (materielle Anforderungen) bei der Sanierung von Gewässern zu erfüllenden Maßstäbe (Sanierungsziele) ergeben sich aus dem Wasserrecht (§ 4 Abs. 3 BBodSchG). Die Sanierung einer Grundwasserverunreinigung, die nicht vom Boden ausgeht (Fallgestaltung V), wird ausschließlich im Wasserrecht, in der Regel nach Landesrecht, geregelt.

Grundsätzlich besteht das wasserrechtliche Ziel einer Grundwassersanierung in der Wiederherstellung der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit. Bei punktuellen Schadstoffeinträgen erstreckt sich die Sanierungspflicht jedoch nicht auf eine geogene Vorbelastung im Anstrom der einzelnen Schadstoffquelle.

Als Sanierungszielwerte werden in der Regel Konzentrationen oder Frachten für die Schadstoffe vorgegeben, die an definierten Messpunkten erreicht werden müssen. Sie werden unter Berücksichtigung der Schadstoffart, der Konzentration und Fracht der bereits vorhandenen oder in überschaubarer Zukunft im Grundwasser zu erwartenden Schadstoffe sowie ihres Ausbreitungsverhaltens in der ungesättigten und gesättigten Zone entwickelt.

Die Sanierung der ungesättigten und gesättigten Zone stehen im engen Zusammenhang. Deshalb dürfen Ziele und Zielwerte für beide Bereiche nicht voneinander unabhängig festgelegt werden.

Neben den Vorgaben des allgemeinen Boden- und Grundwasserschutzes ist der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen (Geeignetheit, Erforderlichkeit und Angemessenheit) zu berücksichtigen.

### **7.2 Bodensanierung im ungesättigten Bereich**

Ziel der Sanierung einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast hinsichtlich des Wirkungspfadens Boden - Grundwasser ist es, Stoffeinträge so weit abzuwehren, dass dauerhaft keine Gefahren für das Grundwasser entstehen (§ 4 Abs. 3 Satz 1 BBodSchG).

Dieses gilt hinsichtlich des Wirkungspfadens Boden - Grundwasser grundsätzlich als erreicht,

wenn die gemessene oder prognostizierte Stoffkonzentration im Sickerwasser am Ort der Beurteilung dauerhaft den Prüfwert zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser unterschreitet. Da das aber in der Praxis oftmals mit verhältnismäßigen Mitteln nicht erreichbar ist, ist bei Abwägung im Einzelfall über Umfang, Dringlichkeit und Dauer von Maßnahmen möglichst sicher zu stellen, dass dauerhaft die Schadstofffrachten gering sind und die dadurch verursachte Grundwasserverunreinigung lokal begrenzt bleibt (siehe Kap. 6.1).

### **7.3 Sanierung von Grundwasserverunreinigungen**

Eine Grundwasserverunreinigung ist grundsätzlich so zu sanieren, dass die Geringfügigkeitsschwellen im Grundwasser dauerhaft unterschritten werden. Dieses Ziel wird in der Regel nur mit einer Dekontamination der gesamten Grundwasserverunreinigung (Schadstoffquelle und Schadstofffahne) erreicht. Wenn die Geringfügigkeitsschwellen unterschritten sind, wird davon ausgegangen, dass sich langfristig die natürliche Grundwasserbeschaffenheit wieder einstellt.

Bei der Verhältnismäßigkeitsprüfung sowie Festlegung der Sanierungsziele und -maßnahmen ist die Größe der Grundwasserverunreinigung (Kapitel 6.2) ein wesentliches Kriterium. Weitere bei dieser Prüfung zu beachtende Kriterien sind in der Anlage aufgelistet.

Ist die Sanierung der Schadstofffahne unverhältnismäßig, muss wenigstens die Schadstoffquelle dekontaminiert bzw. gesichert werden, um die weitere Schadstoffnachlieferung zu unterbinden und damit das Ausmaß der verbleibenden Grundwasserverunreinigung zumindest konstant zu halten.

Generell können nur verhältnismäßige Maßnahmen festgesetzt werden. Das kann auch dazu führen, dass Sanierungszielwerte die Geringfügigkeitsschwellen überschreiten.

Solange eine Grundwasserverunreinigung nicht vollständig saniert ist, ist die Notwendigkeit von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen wie Nutzungsbeschränkungen / Nutzungsverbote oder aber der Sicherung im Abstrom gelegener Schutzgüter zu prüfen. Dies kann z.B. bei großräumigen und komplexen Grundwasserverunreinigungen der Fall sein.

## 8. Literatur

- [1] LAWA 1994: Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden
- [2] LAWA 2004: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser
- [3] LAWA 2002: Grundsätze des vorsorgenden Grundwasserschutzes bei Abfallverwertung und Produkteinsatz (GAP-Papier)
- [4] LABO/LAWA 2000: Abgrenzung zwischen Bundes-Bodenschutzgesetz und Wasserrecht (1. Teil)
- [5] LABO/LAWA 2005: Abgrenzung zwischen Bundes-Bodenschutzgesetz und Wasserrecht (2. Teil)
- [6] Czychowski, Reinhardt: Wasserhaushaltsgesetz (WHG) - Kommentar, § 34 Rn. 7, 8. Auflage, C.H. Beck, München 2003
- [7] LABO 2002: Arbeitshilfe für die Qualitätssicherung bei der Altlastenbearbeitung

**Abbildungen:** Abb. 1: Schematische Darstellung der Stoffausbreitung  
Abb. 2: Fallkonstellationen der Nachsorge  
Abb. 3: Einstufung von Grundwasserverunreinigungen

**Anlagen:** Fachliche Kriterien für die Einzelfallabwägung

**Anlage: Fachliche Kriterien für die Einzelfallabwägung**

<i>Kriterien</i>	<i>Präzisierung</i>
(1) Charakterisierung des <b>Grundwasserleiters</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundwasserleitertyp → Poren- / Kluft- / Karstgrundwasserleiter → Hauptgrundwasserleiter / Schichtgrundwasserleiter → Druckverhältnisse</li> <li>• Verbreitung und Mächtigkeit</li> <li>• Hydraulische Verbindungen mit anderen Grundwasserleitern im Bereich der Grundwasserverunreinigung</li> <li>• Hydraulische Anbindung an ein Oberflächengewässer</li> <li>• Milieuverhältnisse im nicht kontaminierten und im kontaminierten Bereich → Milieuparameter wie Redoxpotenzial (<math>E_h</math>) / pH - Wert, Temperatur, Sauerstoff-, Eisen-, Mangan-, Sulfatgehalt</li> <li>• Retentions-/ Retardationsvermögen der gesättigten Bodenzone → Feinkorn-, Tonmineral-, organische Anteile</li> <li>• Hydraulische Durchlässigkeit</li> <li>• Hydraulischer Gradient</li> <li>• Abstandsgeschwindigkeit</li> </ul>
(2) Wasserwirtschaftliche Bedeutung des <b>Grundwasserleiters</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewirtschaftungsfähigkeit → öffentliche und nicht öffentliche Trink- und Brauchwassernutzung</li> </ul>
(3) Chemische Hintergrundbeschaffenheit des <b>Grundwassers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geogene Hintergrundkonzentration</li> <li>• Anthropogene Hintergrundbelastung</li> </ul>
(4) Ausdehnung der <b>Grundwasserverunreinigung</b> (Status und Prognose)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verhältnis zwischen kontaminiertem und nicht kontaminiertem Grundwasservolumen des Grundwasserleiters</li> <li>• Ausdehnung der Grundwasserverunreinigung in tiefere Grundwasserstockwerke</li> <li>• Verhältnis der vertikalen Ausbreitung der Grundwasserverunreinigung zur Mächtigkeit des Grundwasserleiters</li> <li>• Verhältnis der Fahnenlänge zum Abstand Fahnen spitze–Rezeptor</li> <li>• Prognostische Entwicklung der Schadstofffahne</li> </ul>

<i>Kriterien</i>	<i>Präzisierung</i>
(5) <b>Schadstoffeinträge aus der ungesättigten Bodenzone</b> in das Grundwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorhandensein von (punktuellen, linearen oder diffusen) Schadstoffquellen in der ungesättigten Bodenzone</li> <li>• Inventar und Menge der mobilisierbaren Schadstoffe (Schadstoffnachlieferungspotenzial)</li> <li>• Eigenschaften der ungesättigten Bodenzone → Mächtigkeit (insbesondere bindiger Deckschichten), Aufbau, Durchlässigkeit, Sorptionsfähigkeit, ...</li> <li>• Oberflächenbeschaffenheit → Abdeckung, Schutzbarrieren, Bewuchs, ...</li> <li>• Grundwasserneubildung über der betreffenden Fläche</li> <li>• Überflutungsgefahr des Gebietes</li> </ul>
(6) <b>Schadstoffeinträge aus der gesättigten Bodenzone</b> in das Grundwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorhandensein von Schadstoffquellen in der gesättigten Bodenzone</li> <li>• Inventar und Menge der löslichen Schadstoffe</li> <li>• Zustrom verunreinigten Grundwassers, das als eigenständiger Quellterm wirkt</li> </ul>
(7) <b>Schadstoffbild</b> einschließlich der stoffspezifischen Charakterisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Art und Anzahl der vorhandenen Schadstoffe</li> <li>• Humantoxische <u>und</u> ökotoxische Toxizität der Schadstoffe, für die <u>keine</u> Geringfügigkeitsschwelle / kein Prüfwert vorliegt</li> <li>• Bioakkumulationspotenzial der Schadstoffe</li> <li>• Vorhandensein von Lösungsvermittlern</li> <li>• Ausbreitungsverhalten der Schadstoffe → Phasenbildung (LNAPL oder DNAPL) → Fahnenbildung</li> <li>• Stoffeigenschaften, die Mobilität eines Schadstoffs in der gesättigten Bodenzone bestimmen → Wasserlöslichkeit → Sorptionsneigung (Oktanol-Kohlenstoff-Verteilungskoeffizient)</li> <li>• Stoffeigenschaften, die Mobilität eines Schadstoffs beim Übergang aus der gesättigten in die ungesättigte Bodenzone (Ausgasung) bestimmen → Dampfdruck → Luft-Wasser-Verteilungskoeffizient (Henry-Konstante)</li> <li>• Biotische / abiotische Abbaubarkeit der Schadstoffe</li> <li>• Bildung toxischer Metaboliten</li> </ul>



<i>Kriterien</i>	<i>Präzisierung</i>
(8) Durch die Grundwasser- verunreinigung <b>betroffene Schutzgüter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menschliche Gesundheit → Ausgasungseffekte: Im Zusammenhang mit der Nutzung von Flächen im Wirkungsbereich der GW-Verunreinigung (Wohnbebauung / Produktionsstandorte) → Beeinträchtigung der Qualität von Badeseen</li> <li>• Wasserwirtschaftliche Schutz- und Vorranggebiete → festgesetzte oder im Entwurf geplante Trinkwasserschutzgebiete, -vorranggebiete oder -schongebiete → festgesetzte oder im Entwurf geplante Heilquellenschutzgebiete</li> <li>• Grundwasser im Abstrom (insbes. wenn noch nicht verunreinigt und unabhängig von seiner Nutzung)</li> <li>• Oberirdische Gewässer im Abstrom</li> <li>• Biotische Umwelt in benachbarten Ökosystemen</li> </ul>
(9) Durch die Grundwasser- verunreinigung gefährdete <b>Nutzungen</b> im Schadensbereich und seiner Umgebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trinkwasserversorgung, Heilquellennutzung</li> <li>• Brauchwasserversorgung</li> <li>• Notwasserversorgung nach dem Wassersicherstellungsgesetz</li> <li>• Genehmigungsfreie (ggf. anzeigepflichtige) Grundwassernutzungen</li> <li>• Empfindliche industriell-gewerbliche Nutzungen → Ausgasungseffekte, z.B. im Zusammenhang mit der Flächennutzung (z.B. Pharmawerk)</li> </ul>