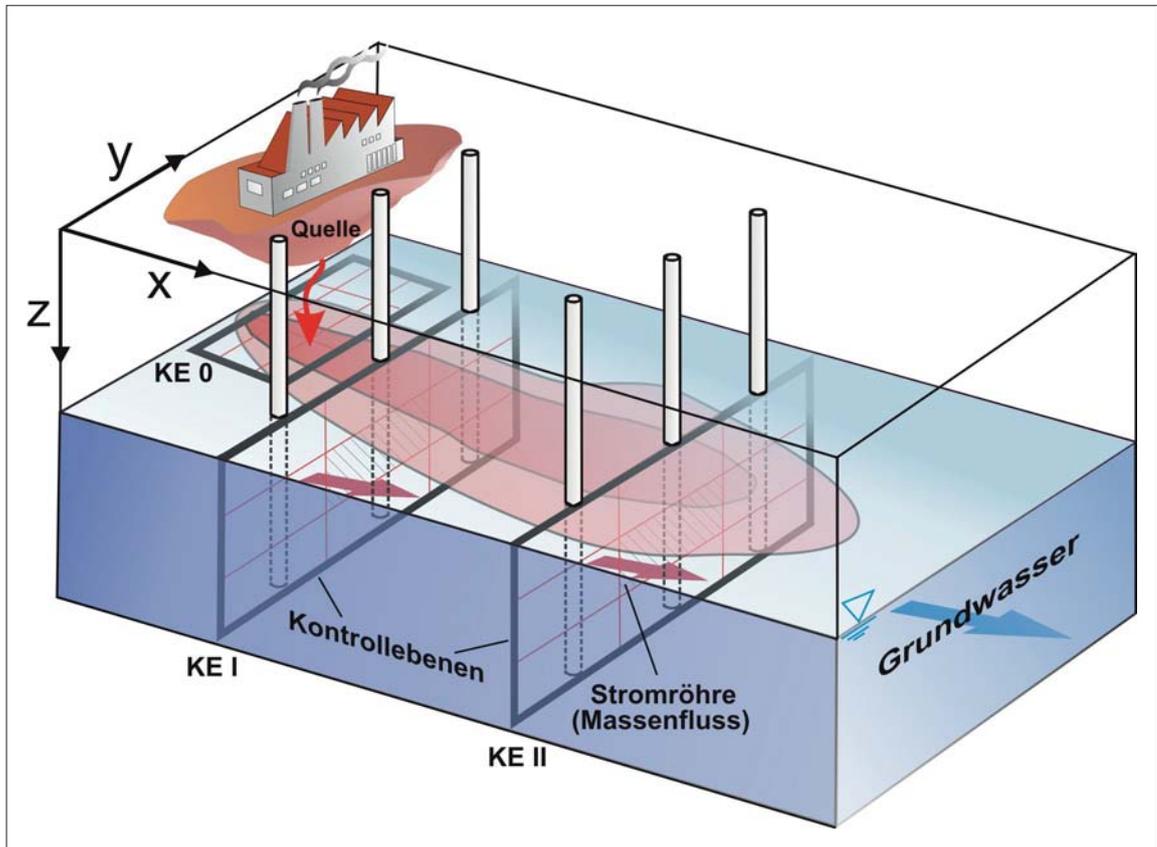


GeoBerichte 22



LANDESAMT FÜR
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE



Ermessensleitende Kriterien
bei der Bearbeitung
altlastbedingter
Grundwassergefahren und
-schäden



Niedersachsen



GeoBerichte 22

Landesamt für
Bergbau, Energie und Geologie

Ermessensleitende Kriterien bei
der Bearbeitung altlastbedingter
Grundwassergefahren und
-schäden

BERNHARD ENGESER

Hannover 2012

Die Arbeitshilfe wurde unter Mitwirkung einer vom Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz eingerichteten Arbeitsgruppe erstellt. Der Arbeitsgruppe gehörten folgende Mitglieder an:

Martin Ast	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
Jürgen Bauer	Landkreis Goslar
Jürgen Brunke	Landkreis Gifhorn
Rainer-Norman Bulitta	Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Braunschweig
Uwe Dölemeyer	Landkreis Oldenburg
Bernhard Engeser	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Leitung der AG)
Ingrid Foitzik	Stadt Osnabrück
Susanne Heuer	Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim
Dr. Uwe Kallert	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
Uwe Kaufmann	Region Hannover
Frank Lüdemann	Landkreis Diepholz
Jörg Niebuhr	Stadt Celle
Ulrich Wegener	Stadt Wilhelmshaven
Mareike Weinert	Stadt Osnabrück

Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Stilleweg 2
30655 Hannover
Tel. (0511) 643-0
Fax (0511) 643-2304

Download unter www.lbeg.niedersachsen.de

1. Auflage.

Version: 24.03.2016

Redaktion: Ricarda Nettelmann
e-mail: bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de

Titelbild: Ina Löffka, Bernhard Engeser (LBEG).

Comsol, Modflow und Excel sind eingetragene Warenzeichen.

ISSN 1864–6891 (Print)

ISSN 1864–7529 (digital)

DOI 10.48476/geober_22_2012

GeoBer.	22	S. 3 – 82	61 Abb.	9 Tab.	6 Anh.	Hannover 2012
---------	-----------	-----------	---------	--------	--------	---------------

Ermessensleitende Kriterien bei der Bearbeitung altlastbedingter Grundwassergefahren und -schäden

BERNHARD ENGESER

Kurzfassung

Bei Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast oder einer dadurch verursachten Gewässerverunreinigung besteht nach § 4 Abs. 3 BBodSchG eine Pflicht zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen. Nach § 9 Abs. 2 und § 10 Abs. 1 BBodSchG wird der zuständigen Behörde ein Ermessensspielraum bei der Anordnung von Maßnahmen eingeräumt. Mit Bezug auf diesen Ermessensspielraum werden in der vorliegenden Arbeitshilfe fachliche Kriterien abgeleitet, unter welchen Voraussetzungen bei altlastbedingten Grundwassergefahren oder -schäden auf Untersuchungs- oder Sanierungsmaßnahmen verzichtet werden kann (Ausscheidung von Bagatellfällen). Dabei wird zunächst eine Definition der wasserrechtlichen Begriffe Grundwassergefahr und Grundwasserschaden durch Einführung der Kriterien Gefahrenschwelle und Schadensschwelle vorgenommen. Darauf aufbauend erfolgt die Ableitung der Maßnahmenschwelle, bei deren Unterschreitung in der Regel auf aktive Sanierungsmaßnahmen verzichtet werden kann. Die Maßnahmenschwelle kann auch als Kriterium bei der Entscheidung über die Beendigung oder den Abbruch von Sanierungsmaßnahmen herangezogen werden. Bei der fachlichen Ableitung der Kriterien wird auf den Vorschlag von LABO und LAWA zur Berücksichtigung des Einmischprozesses beim Übergang von Sickerwasser in das Grundwasser (Rührkesselmodell) Bezug genommen. Die Einhaltung der Kriterien wird mit Hilfe von Kontrollebenen überprüft. Eine wichtige Voraussetzung ist dabei die Ermittlung von repräsentativen Konzentrationen und Frachten in den relevanten Kontrollebenen. Dafür wird das Stromröhrenmodell verwendet. Für die einfache Handhabung der Arbeitshilfe wurde ein Excel-Programm entwickelt, das von der Internetseite des LBEG (www.lbeg.de) heruntergeladen werden kann. Die Anwendung der Arbeitshilfe wird anhand von Fallbeispielen im Anhang erläutert.

Inhalt

1	Veranlassung und Auftrag	5
2	Zielsetzung und Anwendungsbereich	5
3	Rechtliche Grundlagen zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser	8
3.1	Bodenschutzrechtliche Vorgehensweise	8
3.2	Wasserrechtliche Maßstäbe	8
4	Fachliche Eckpunkte	9
4.1	Einmischprozess Sickerwasser – Grundwasser	9
4.2	Beschreibung der Schadstoffquelle	11
5	Bewertungssystematik	14
5.1	Gefahr/Schaden	14
5.1.1	Gefahrschwelle	15
5.1.2	Schadensschwelle	16
5.1.3	Schwellenfracht	17
5.2	Maßnahmen	18
5.2.1	Verhältnismäßigkeitskriterien	18
5.2.2	Maßnahmenschwelle	22
6	Anwendung	23
6.1	Gefahr (FG-I)	23
6.1.1	Gefahrschwelle	23
6.1.2	Maßnahmenschwelle (MS-G)	24
6.2	Schaden (FG-II)	25
6.2.1	Schadensschwelle	25
6.2.2	Maßnahmenschwelle (MS-S)	26
7	Quellen	27
8	Anhang	29
8.1	Anhang 1: Erläuterungen zur fachlichen Konzeption	29
8.1.1	Einmischprozess Sickerwasser – Grundwasser	29
8.1.2	Ableitung der Kleinräumigkeitsschwelle	33
8.1.3	Definition einer Punktquelle	34
8.2	Anhang 2: Kontrollebenenkonzept und Stromröhrenmodell	36
8.3	Anhang 3: Fallbeispiele	38
8.3.1	Fallbeispiel 1 (FG-I/Gefahr)	38
8.3.2	Fallbeispiel 2 (FG-II/Schaden)	47
8.3.3	Fallbeispiel 3 (FG-II/Schaden)	52
8.3.4	Fallbeispiel 4 (FG-II/Schaden)	59
8.4	Anhang 4: Abkürzungen und Symbole	64
8.4.1	Abkürzungsverzeichnis	64
8.4.2	Symbolverzeichnis	65
8.5	Anhang 5: Glossar	67
8.6	Anhang 6: Bedienungsanleitung EIKriBaG-x	68
8.6.1	Zielsetzung	68
8.6.2	Aufbau der Arbeitsmappe	68
8.6.3	Gefahr (FG-I)	70
8.6.4	Schaden (FG-II)	78

1 Veranlassung und Auftrag

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat im Jahr 1994 das Papier „Empfehlungen für Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden“ veröffentlicht (LAWA 1994). Diese Empfehlungen wurden in Niedersachsen mit Runderlass des Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz (MU) vom 31.08.1994 zur Anwendung im Vollzug eingeführt. Seit dem Inkrafttreten des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) 1998 bzw. 1999 werden altlastbedingte Grundwasserverunreinigungen nach bodenschutzrechtlichen Vorgaben bearbeitet, wobei sich die wasserrechtlichen Bewertungsmaßstäbe an den Prüfwerten für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser im Anhang 2 Nr. 3 der BBodSchV und den im Dezember 2004 von der LAWA veröffentlichten Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS) orientieren (LAWA 2004).

Auf Initiative des MU (MU 2005) wurde im August 2005 eine Arbeitsgruppe aus Vertretern des MU und der Vollzugsbehörden (Landkreise und Gewerbeaufsichtsämter) unter der Leitung des damaligen NLFb mit dem Auftrag eingerichtet, eine aktualisierte, den veränderten rechtlichen und fachlichen Rahmenbedingungen angepasste Vollzugshilfe für die Behandlung von Altlasten und Grundwasserschadensfällen zu erstellen (NLFb 2005). Mit Veröffentlichung des von einem gemeinsamen Unterausschuss von LAWA und LABO erstellten und von der Umweltministerkonferenz den Ländern zur Anwendung im Vollzug empfohlenen Papiers „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“ (LAWA/LABO 2006) und den beginnenden Arbeiten zur Novellierung der BBodSchV im Frühjahr 2006 wurden die Arbeiten an der niedersächsischen Arbeitshilfe zunächst unterbrochen.

Im März 2010 trat das neue Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und im November 2010 eine Novelle der Grundwasserverordnung (GrwV) in Kraft. Zudem hat die LABO im März 2010 einen auch von der LAWA unterstützten Vorschlag für eine Anwendungsregel (LABO 2010) zur Verwendung der GFS als Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser dem zu-

ständigen Bundesumweltministerium zur Berücksichtigung bei der geplanten Novellierung¹ der BBodSchV empfohlen. Auf der Grundlage dieser Anwendungsregel kann die beim Einmischprozess des Sickerwassers in das Grundwasser stattfindende Verdünnung in kontrollierter und begrenzter Weise im Rahmen des etablierten bodenschutzrechtlichen Bewertungsschemas berücksichtigt werden. Damit liegen im Vergleich mit der Situation 2006 bei Unterbrechung der Arbeiten an der niedersächsischen Arbeitshilfe deutlich überschaubarere rechtliche und fachliche Voraussetzungen für die Ableitung von ermessensleitenden Kriterien bei der Bearbeitung altlastbedingter Grundwassergefahren und -schäden vor.

2 Zielsetzung und Anwendungsbereich

Die etablierte bodenschutzrechtliche Bearbeitungssystematik von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten ist durch einen gestuften Ablauf mit aufeinander folgenden Untersuchungs- und Entscheidungsebenen charakterisiert (Abb. 1).

¹ Der Arbeitsentwurf des BMU für eine sogenannte Mantelverordnung (Änderung der GrwV und BBodSchV, Erlass einer ErsatzBV) vom 06.01.2011 war bekannt (BMU 2011).

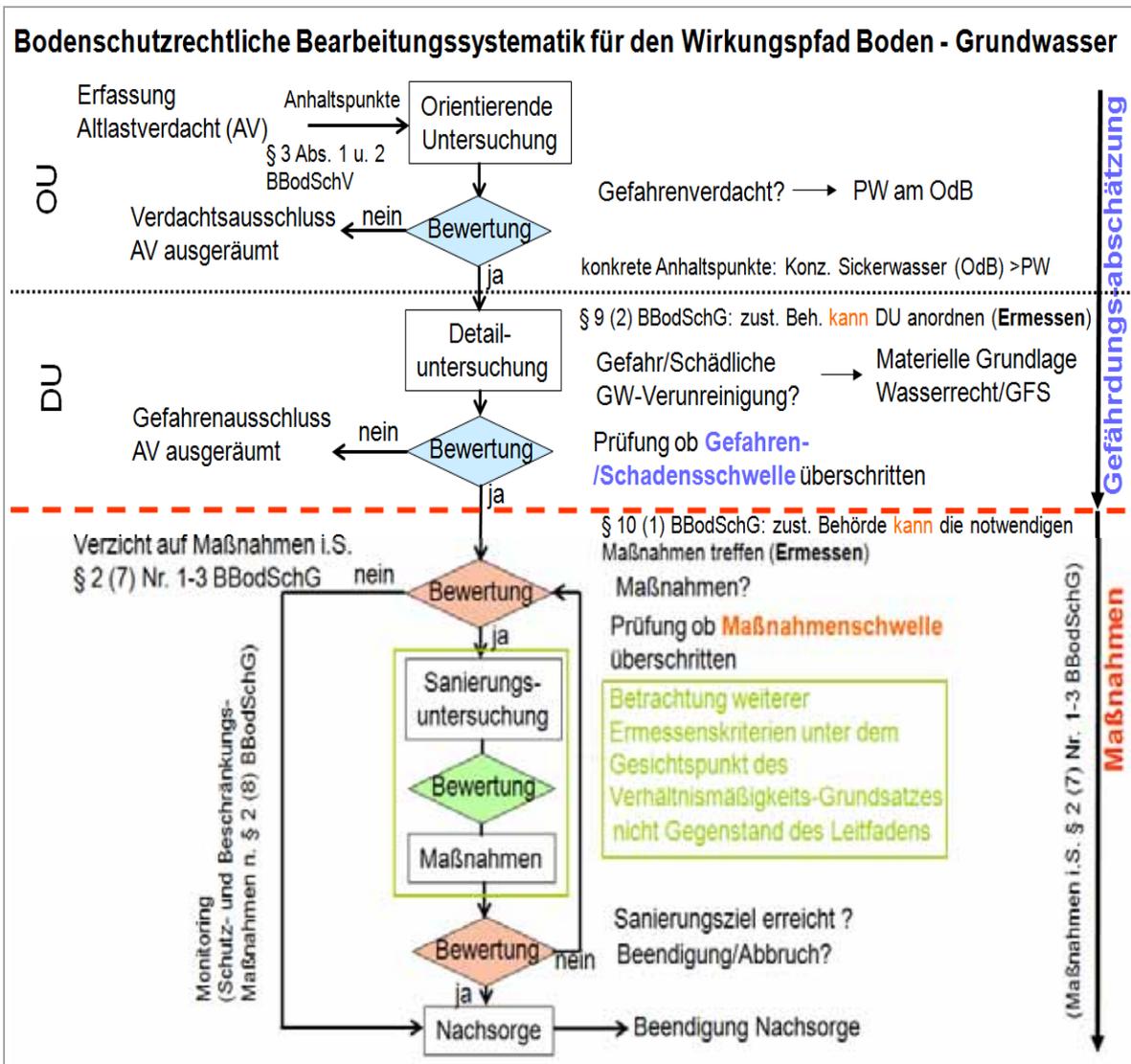


Abb. 1: Bodenschutzrechtliche Bearbeitungssystematik für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser.

Gemäß § 4 Abs. 3 BBodSchG besteht eine Pflicht zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen, wenn eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Altablagerungen oder Altstandorte eine Gefahr verursachen (§ 2 Abs. 3 u. 5 BBodSchG). Unter Sanierungsmaßnahmen werden hier Maßnahmen i. S. von § 2 (7) Nr. 1–3 BBodSchG verstanden, soweit sie den Wirkungspfad Boden – Grundwasser betreffen. Die Pflicht nach § 4 Abs. 3 BBodSchG ist durch Anordnungen nach § 10 Abs. 1 BBodSchG durchsetzbar (und soll regelmäßig durchgesetzt werden), allerdings nur dann,

wenn – unter Berücksichtigung der Gewichtung einer Gefahr bzw. Verunreinigung – die Sanierung verhältnismäßig ist. Kriterien zur Verhältnismäßigkeit bei der Bewertung von Gefahren für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser finden sich in § 4 Abs. 7 Satz 2 BBodSchV.

Im Rahmen der Gefährdungsabschätzung kann die Bodenschutzbehörde Untersuchungen verlangen und bei Vorliegen der Voraussetzungen anordnen (§ 9 Abs. 2 BBodSchG), durch die geklärt wird,

- ob eine Gefahr vorliegt und
- inwieweit die Gefahr bzw. Verunreinigung so gewichtig ist, dass sie unter Beachtung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes Maßnahmen nach § 4 Abs. 3 BBodSchG erfordert.

Die vorliegende Arbeitshilfe konkretisiert die in § 4 Abs. 7 Satz 2 BBodSchV aufgeführten, aber unbestimmten Begriffe unter Berücksichtigung der materiellen Maßstäbe des neuen Wasserrechts und der von der LABO vorgeschlagenen Anwendungsregel (LABO 2010). Sie enthält Kriterien, die bei Ermessensentscheidungen im Rahmen der Bearbeitung alltagsbedingter Grundwassergefahren und -schäden als Orientierung herangezogen werden können. Die Ableitung der Kriterien erfolgt mit dem Anspruch, auf fachlich-naturwissenschaftlicher Grundlage und mit Bezug auf einschlägige Rechtsnormen und bundesweit eingeführte Fachpapiere der betroffenen Länderarbeitsgemeinschaften (LABO, LAWA) eine möglichst transparente und nachvollziehbare Bewertungssystematik zu schaffen. Ein weiteres Ziel ist die möglichst einfache, mit überschaubarem zusätzlichem Erkundungs- und Untersuchungsaufwand ausführbare Handhabung.

Als fachliche Entscheidungshilfe wird auf der Ebene der Gefährdungsabschätzung der Begriff der „Gefahren-“ bzw. „Schadensschwelle“ und auf der Maßnahmenebene der Begriff der „Maßnahmenschwelle“ eingeführt (Abb. 1). Diese Begriffe können als Entscheidungskriterien herangezogen werden, um Fälle mit geringem oder vernachlässigbarem Gefahrenpotenzial („Bagatellfälle“) bereits auf den bodenschutzrechtlichen Bearbeitungsstufen der Orientierenden Untersuchung (OU) oder Detailuntersuchung (DU) aus der Bearbeitung auszuscheiden und so die knappen Ressourcen auf die bedeutenden Fälle zu konzentrieren. Die dafür relevante Standortsituation wird auch durch natürliche Schadstoffminderungsprozesse beeinflusst. Sofern dies durch Sickerwasser verursachte Stoffeinträge in das Grundwasser betrifft, sind diese gemäß Anhang 1 Nr. 3.3 BBodSchV bereits im Rahmen der Sickerwasserprognose zu berücksichtigen.

Ist eine Ausscheidung aufgrund dieser Kriterien nicht möglich und von daher die Anordnung von Sanierungsmaßnahmen geboten, ist in weiterer Folge unter Berücksichtigung des

Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes i. d. R. auf der Grundlage einer Sanierungsuntersuchung über Umfang und Art der Maßnahmen zu entscheiden. Diese Entscheidung erfordert eine vertiefte Auseinandersetzung mit weiteren Ermessenskriterien (z. B. Kosten, natürliche Schadstoffminderungsprozesse u. a.) und ist von daher nicht unmittelbar Gegenstand des vorliegenden Leitfadens (Abb. 1). Die bestehende Bearbeitungssystematik (auf der Grundlage von Kontrollebenen) kann allerdings bei Bedarf um zusätzliche Ermessenskriterien erweitert werden (z. B. bei der Ableitung von Akzeptanzkriterien für MNA-Maßnahmen).

Obwohl die Kriterien nicht unmittelbar zur Definition von Sanierungszielwerten vorgesehen sind, können sie orientierend auch als Abbruchkriterien bei der Entscheidung über die Beendigung laufender Sanierungsmaßnahmen herangezogen werden (Abb. 1). In Verbindung mit dem erstellten Excel-Programm EIKriBaG-x (s. Kap. 8.6) kann die dem Leitfaden zugrunde liegende Methodik auch für die Optimierung bei der Planung von Erkundungs- und Überwachungsmaßnahmen mit Hilfe von Szenarienanalysen herangezogen werden.

Die Arbeitshilfe soll unter Beachtung der Situation des Einzelfalls zu einer landesweit möglichst einheitlichen und nachvollziehbaren Ausübung des Ermessens beim Umgang mit alltagsbedingten Grundwassergefahren und -schäden beitragen. Ihre Anwendung ist auf Fälle beschränkt, bei denen Gefahren für das Grundwasser oder Grundwasserverunreinigungen durch punktuelle Schadstoffquellen (s. Kap. 8.1.3) verursacht werden. Sie ist daher nicht zur Beurteilung großflächiger Einträge geeignet.

3 Rechtliche Grundlagen zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser

3.1 Bodenschutzrechtliche Vorgehensweise

Die bodenschutzrechtliche Bewertung der von Schadstoffeinträgen mit dem Sickerwasser ausgehenden Gefahren für das Grundwasser erfolgt nach § 4 Abs. 3 der BBodSchV auf der Grundlage einer Sickerwasserprognose. Dabei erfolgt auf der Stufe der Orientierenden Untersuchung (OU) i. d. R. zunächst ein Vergleich der am Ort der Beurteilung gemessenen oder zu erwartenden Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser mit den im Anhang 2 Nr. 3 der BBodSchV aufgeführten Prüfwerten. Ort der Beurteilung (OdB) ist der Übergangsbereich von der ungesättigten in die gesättigte Zone. Aus der Überschreitung des Prüfwertes für das Sickerwasser am Ort der Beurteilung resultiert zunächst nur eine Bestätigung des Gefahrenverdachts. Ob sich daraus tatsächlich eine Gefahr für das Grundwasser ergibt, ist durch die abschließende Gefährdungsabschätzung im Rahmen einer Detailuntersuchung (DU) auch unter Berücksichtigung von Frachten zu klären (LABO/ALA 2006).

3.2 Wasserrechtliche Maßstäbe

Die Gefahr für das Grundwasser ist tatbestandsseitig an die nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit gemäß § 48 WHG geknüpft. Die LAWA hat 2004 die Geringfügigkeitsschwellenwerte (LAWA 2004) abgeleitet, die als Maßstab dafür dienen sollten, bis zu welchen Stoffkonzentrationen anthropogene, räumlich begrenzte Änderungen der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers als geringfügig einzustufen sind und ab welcher Konzentration eine Grundwasser-Verunreinigung (d. h. Grundwasserschaden) vorliegt. Die Geringfügigkeitsschwelle (GFS) bildet insofern die Grenze zwischen einer geringfügigen Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer schädlichen Verunreinigung.

Im Rahmen der abschließenden Gefahrenbeurteilung für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser ist daher zu klären, ob und in welchem Umfang bei einer Überschreitung der Prüfwerte für das Sickerwasser am OdB eine Überschreitung der GFS im Grundwasser resultiert.

4 Fachliche Eckpunkte

4.1 Einmischprozess Sickerwasser – Grundwasser

Konzeptionell geht die BBodSchV davon aus, dass Sickerwasser am Ort der Beurteilung unvermischt zu Grundwasser wird und damit bereits der Eintrag geringster Mengen verunreinigten Sickerwassers (Tropfenprinzip) zu einer Überschreitung der Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser führt (Abb. 2b).

In der Realität stellt sich jedoch beim Übertritt von Sickerwasser in das Grundwasser aufgrund advektiver, dispersiver und diffusiver Prozesse eine Vermischungszone mit einem kontinuierlichen Übergang von der Stoffkonzentration des Sickerwassers am Ort der Beurteilung auf die natürliche Konzentration des nicht verunreinigten Grundwassers ein (Abb. 2a).

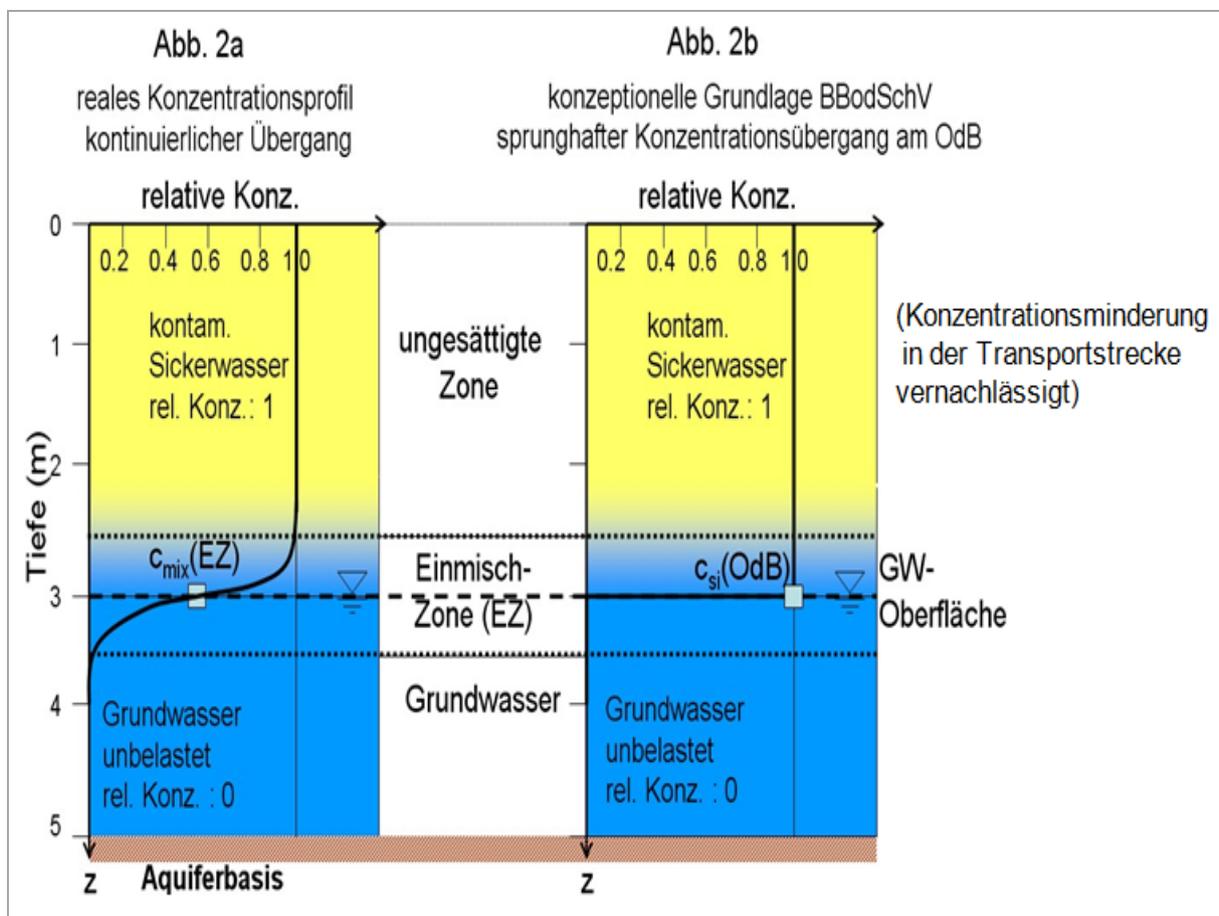


Abb. 2: Vertikales Konzentrationsprofil im Übergangsbereich ungesättigte/gesättigte Zone.

Beim Eintritt von Sickerwasser in das Grundwasser kommt es daher zur Ausbildung einer Einmischzone, in der sich das anströmende Grundwasser und das eintretende Sickerwasser vermischen (Abb. 3).

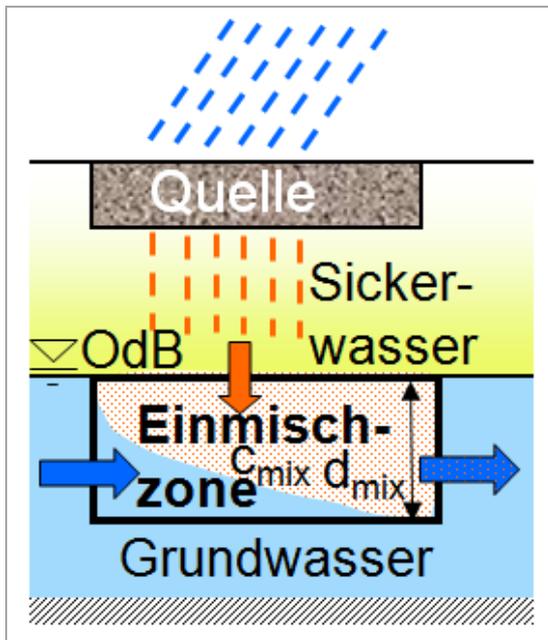


Abb. 3: Prinzipskizze zur Einmischzone.

Der Einmischprozess von Sickerwasser in das Grundwasser kann mit dem Modell der US-EPA (1996) beschrieben werden (s. Kap. 8.1.1.1). Danach ergibt sich die für die Berechnung der Mischkonzentration (c_{mix}) entscheidende Mächtigkeit der Einmischzone (d_{mix}) aus der Überlagerung der advektiven und dispersiven Komponente des Einmischprozesses. Für eine praktikable Berücksichtigung des Einmischprozesses im Vollzug hat die LABO ein vereinfachtes Modell vorgeschlagen. Das Modell (s. Kap. 8.1.1.2) beruht auf der Annahme einer maximal ein Meter mächtigen Einmischzone an der Grundwasseroberfläche, in der sich analog zu einem idealen Rührkessel eine komplette Vermischung des eintretenden Sickerwassers mit dem durchströmenden Grundwasser einstellt. Mit dem Modell kann die sich in der Einmischzone einstellende Mischkonzentration in Abhängigkeit der Eingangsparameter berechnet und damit die Konzentrationsminderung durch den Einmischprozess bei der Gefahrenbeurteilung berücksichtigt werden. Die LABO hat im März 2010 das zuständige Bundesumweltministerium gebeten, den Einmischprozess auf der Grundlage dieses Modells bei der Novellierung der BBodSchV zu berücksichtigen (LABO 2010).¹

¹ Der im Januar 2011 vom BMU vorgestellte Arbeitsentwurf der MV enthält in Artikel 3 bereits eine entsprechende Regelung (BMU 2011). Als Prüfwerte für das Sickerwasser am OdB (PW_{SW}) werden die auf Grundlage der GFS abgeleiteten Prüfwerte für das Grundwasser (PW_{GW}) verwendet.

4.2 Beschreibung der Schadstoffquelle

Entsprechend den in Abbildung 4 gezeigten Fallgestaltungen kann die Schadstoffquelle durch Einträge von verunreinigtem Sickerwasser aus einer schädlichen Bodenveränderung (SBV) in der ungesättigten Zone (Fall Q-I) oder durch Freisetzung von Schadstoffen aus einer in der gesättigten Zone befindlichen SBV (Fall Q-II) über das Kontaktgrundwasser gebildet werden.

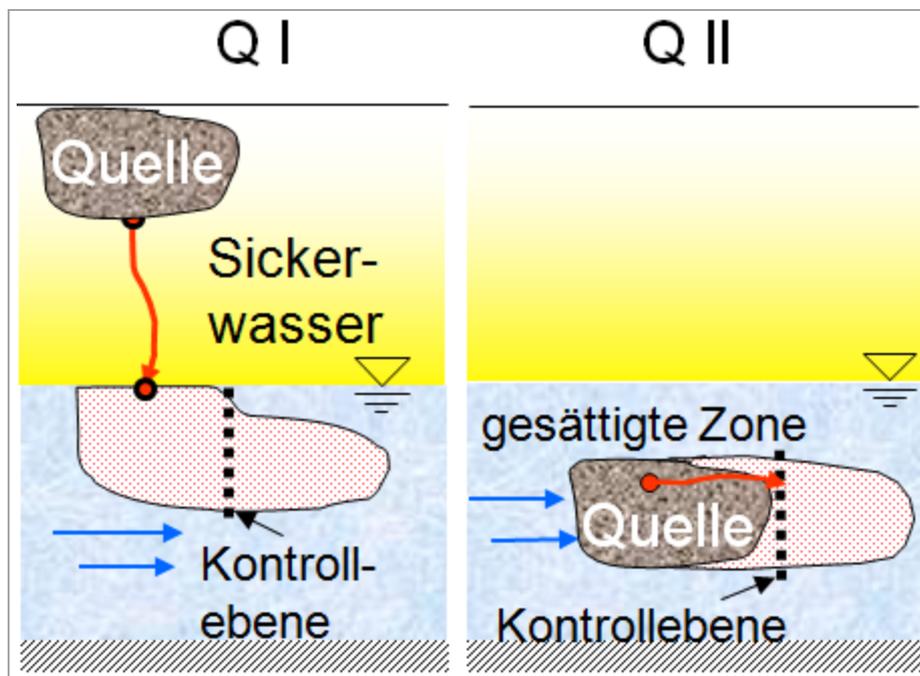


Abb. 4: Fallgestaltungen zur Lage der Quelle.

Bei Quellen im Grundwasser (Q-II) können Primärquellen und Sekundärquellen unterschieden werden (Abb. 5).

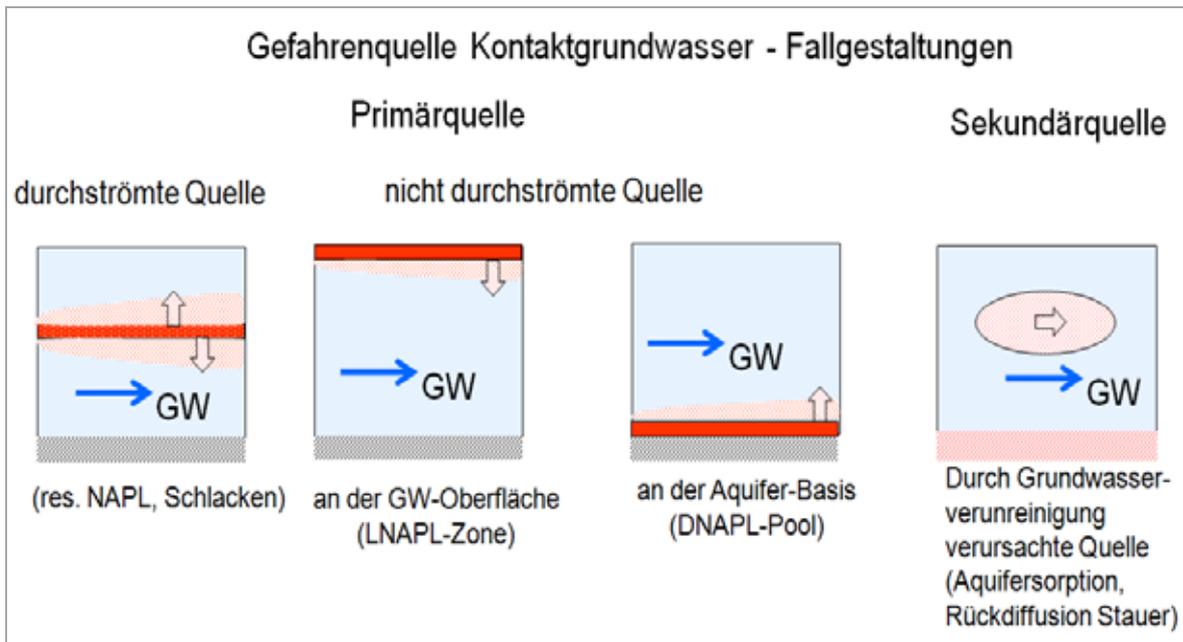


Abb. 5: Fallgestaltungen für Schadstoffquellen.

Bei einer Primärquelle sind die Schadstoffe in fester oder flüssiger Form in der Bodenmatrix gebunden oder im Porenraum vorhanden. Sekundärquellen werden durch erhöhte Schadstoffkonzentrationen im abstromigen Grundwasser einer Primärquelle durch reversible Anreicherungen/Freisetzen von Schadstoffen infolge von Sorptions- oder Matrixdiffusionsprozessen verursacht. Unabhängig davon liegt eine Schadstoffquelle grundsätzlich immer dann vor, wenn die beim Kontakt mit Grundwasser freisetzbare Schadstoffmenge größer ist als die im Gleichgewicht mit den aktuellen Stoffkonzentrationen im Grundwasser vorhandene sorbierte Menge (CHARBENEAU 2000).

Die von einer Quelle ausgehende Grundwasser-
serverunreinigung wird hierbei konzeptionell als ein rechteckiger kontaminierter Bereich quer zur Grundwasserfließrichtung betrachtet, der sich im unmittelbaren Abstrom der Quelle befindet (Abb. 6). Die Quellstärke J_q und die Emission bzw. Fracht E_q (Gl. 1 und 2) ergeben sich aus der Geometrie des Abstromquerschnittes A_q , der Stoffkonzentration im Grundwasser c_q und der Filtergeschwindigkeit v_f (Gl. 3 und Abb. 6).

$$J_q = v_f \cdot c_q \quad (1)$$

$$E_q = J_q \cdot A_q \quad (2)$$

$$v_f = k_f \cdot i \quad (3)$$

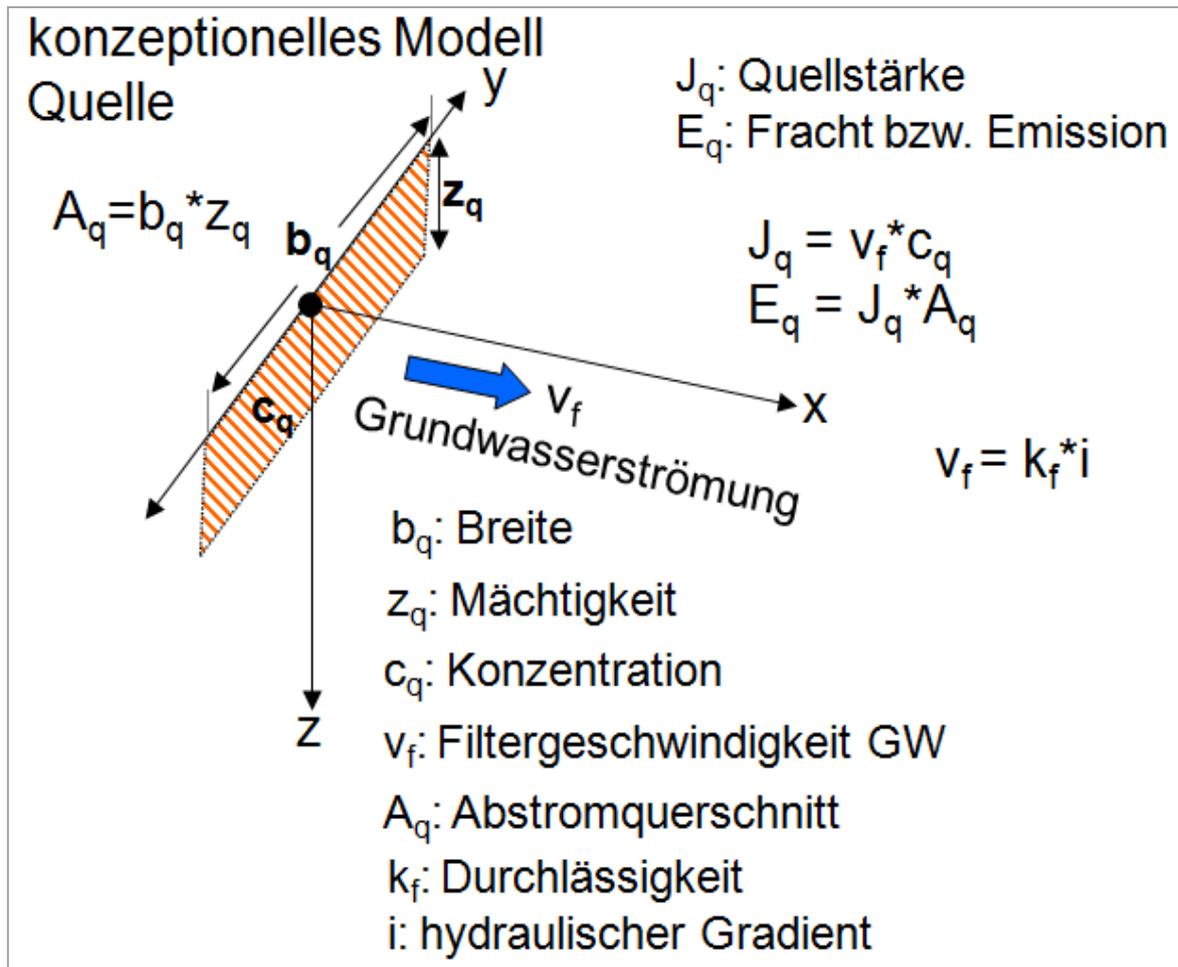


Abb. 6: Konzeptionelle Modellvorstellung der von einer Schadstoffquelle ausgehenden Grundwasserverunreinigung.

5 Bewertungssystematik

5.1 Gefahr/Schaden

Die Pflicht zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen sowie der Erlass einer entsprechenden Anordnung setzen voraus, dass eine belastbare Bewertung vorliegt, ob und in welchem Ausmaß von einer Altlast oder altlastverdächtigen Fläche eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit derzeit ausgeht (Schaden) oder in absehbarer Zukunft ausgehen wird (Gefahr). Zunächst ist demnach – abhängig von der jeweiligen Fallgestaltung (Abb. 7) – zu klären, ob die Gefahrenschwelle (Abb. 7: FG-I/Quelle in der ungesättigten Zone – Grundwasserverunreinigung noch nicht eingetreten) oder die Schadensschwelle (Abb. 7:

FG-IIa/IIb/Quelle in ungesättigter oder gesättigter Zone – Grundwasserverunreinigung bereits eingetreten) überschritten ist.

Für die fachliche Konkretisierung der Gefahrenschwelle und der Schadensschwelle wird Bezug genommen auf das Prinzip der „kurzfristigen“ und „kleinräumigen“ Mittelwertbildung bei der Bewertung von Gefahren für das Grundwasser (FEHLAU, HILGER & KÖNIG 2000). Danach gilt:

Ist mit hinreichender Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass auch nach kleinräumiger und kurzfristiger Mittelwertbildung die Geringfügigkeitsschwelle überschritten wird, entspricht letztere einem „Gefahrenwert“. Im Grundwasser entspricht die Geringfügigkeitsschwelle einem „Störungswert“.

Der Begriff „Störung“ entspricht dem hier benutzten Begriff des Schadens.

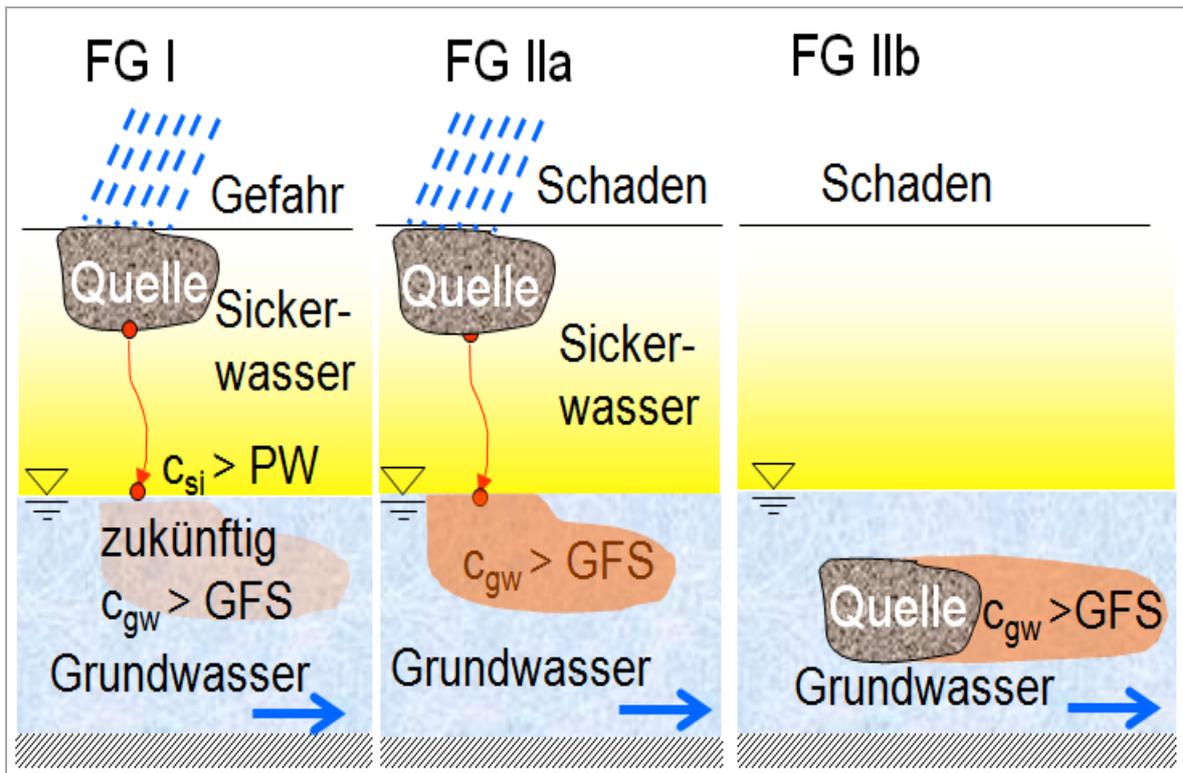


Abb. 7: Fallgestaltungen zum Tatbestand Gefahr/Schaden.

5.1.1 Gefahrenschwelle

Eine Bewertung im Hinblick auf das Überschreiten der Gefahrenschwelle ist für Fallgestaltungen (FG-I, s. Abb. 7) relevant, bei denen die Quelle in der ungesättigten Zone liegt und noch keine durch die Quelle verursachte nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit eingetreten ist, aber im Rahmen einer Sickerwasserprognose der Verdacht auf eine schädliche Bodenveränderung durch Überschreiten der Prüfwerte am Ort der Beurteilung festgestellt wurde. Die Gefahrenschwelle wird im Hinblick auf die zu erwartenden Auswirkungen auf die Beschaffenheit des Grundwassers im unmittelbaren Abstrom der Eintragsfläche (Kontrollebene I) unter Heranziehung des Einmischmodells der US-EPA (Kap. 8.1.1.1) und des Rührkesselmodells der LABO (Kap. 8.1.1.2) abgeleitet (Abb. 8). Dabei wird auch auf das Prinzip der kurzfristigen und kleinräumigen Mittelwertbildung durch Ableitung einer

Kleinräumigkeitsschwelle (s. Kap. 8.1.2) Bezug genommen.

Definition Gefahrenschwelle

Die Gefahrenschwelle entspricht der maximal zulässigen Stoffkonzentration im Sickerwasser am OdB, bei der unter Berücksichtigung des Einmischvorganges (Rührkesselmodell) die über die Mächtigkeit von einem Meter unter der Grundwasseroberfläche gemittelte Konzentration im Jahresdurchschnitt die Geringfügigkeitsschwelle im Grundwasser nicht überschreitet und die Breite der Eintragsfläche senkrecht zur Grundwasserfließrichtung die Kleinräumigkeitsschwelle (10 m) nicht übersteigt.

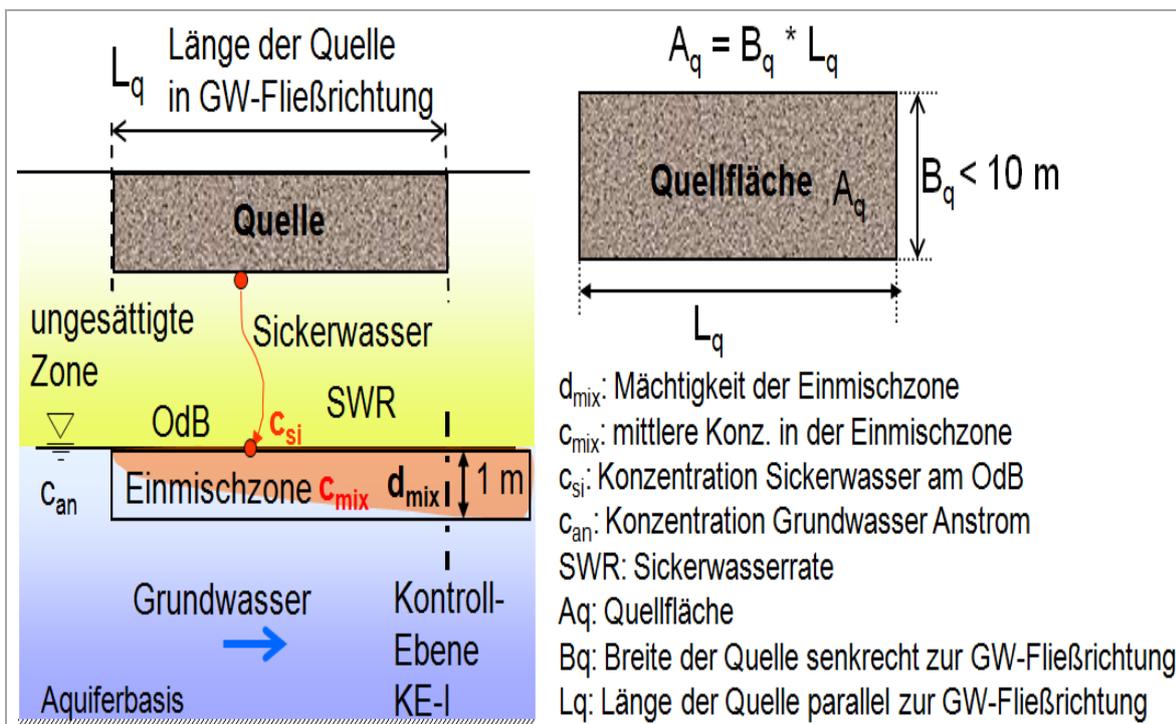


Abb. 8: Prinzipskizze zur Definition der Gefahrenschwelle.

Im Rahmen dieser Betrachtungssystematik kann der bodenschutzrechtliche Ort der Beurteilung als Kontrollebene 0 (horizontale Kontrollebene) aufgefasst werden (s. a. Stromröhrenmodell im Kap. 8.2).

Mit dem Rührkesselmodell (Kap. 8.1.1.2) kann für den Ort der Beurteilung eine maximal zulässige Stoffkonzentration c_{si-max} im Sickerwasser abgeleitet werden, bei der gerade noch keine Überschreitung der Gefahrenschwelle resultiert. Sie ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$c_{si-max} = GFS * EF \quad (4)$$

EF entspricht dem Einmischfaktor des Rührkesselmodells und kann allgemeingültig mit Berücksichtigung der Anstromkonzentration c_{an} nach folgender Beziehung berechnet werden:

$$EF = 1 + SF * (1 - c_{an}/GFS) \quad (5)$$

SF entspricht dem in Kapitel 8.1.1.2 definierten Standortfaktor, der nach Gleichung 15 berechnet werden kann.

Die mit dem Sickerwasser in das Grundwasser eingetragene Sickerwasserfracht E_{si} [mg/a] ergibt sich aus:

$$E_{si} = A_q * SWR * c_{si} \quad (6)$$

A_q : Quellfläche Sickerwasser (Abb. 8) [m²],

SWR: Sickerwasserrate [m/a],

GFS: Geringfügigkeitsschwellenwert [µg/l].

Setzt man für die Sickerwasserkonzentration c_{si} den Wert für c_{si-max} ein, erhält man aus der Anwendung des Rührkesselmodells eine resultierende Fracht E_{si-max} .

Aus der Anwendung des Einmischkonzeptes kann für die Breite der Eintragsfläche senkrecht zur Grundwasserfließrichtung B_q (Abstrombreite) ein maximaler Wert von 10 m abgeleitet werden. Dieser Wert wird als Kleinräumigkeitsschwelle (Ableitung s. Kap. 8.1.2) bezeichnet. Bei einer im statistischen Mittel zu erwartenden quadratischen Geometrie entspricht dies einer Eintragsfläche in der Größenordnung von 100 m². Dieser Wert ist in guter Übereinstimmung mit der in FEHLAU, HILGER & KÖNIG (2000) aufgeführten Definition:

Eine Mittelwertbildung ist kleinräumig, wenn sie sich über maximal einige 100 m² sickerwasserbildende Geländeoberfläche erstreckt.

Die Plausibilität des Wertes wird auch durch die Bewertungskategorien der vom UBA publizierten „Punktquellen-Studie“ (HUDEC 2003) unterstrichen, wo eine Fahnenbreite von 10 m bezüglich ihres standort- und stoffspezifischen Ausbreitungspotenzials als „sehr gering“ eingestuft wird.

5.1.2 Schadensschwelle

Eine Bewertung im Hinblick auf das Überschreiten der Schadensschwelle ist für Fälle (FG-IIa/IIb, s. Abb. 7) relevant, in denen bereits eine durch die Quelle verursachte Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit eingetreten ist. In Analogie zum Bewertungsmaßstab der Gefahrenschwelle wird die Schadensschwelle im Hinblick auf die eingetretenen Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit im unmittelbaren Abstrom der Quelle (Kontrollebene I) abgeleitet (Abb. 9). Dabei wird das Prinzip der kleinräumigen und kurzfristigen Mittelung herangezogen und mit Bezug auf die Anwendungsregel der LABO (2010) die Möglichkeit der Mittelung über eine ein Meter mächtige Vermischungszone in Anspruch genommen.

Definition Schadensschwelle

Die Schadensschwelle ist dadurch charakterisiert, dass im unmittelbaren Abstrom einer Quelle (Kontrollebene I) die über eine Mächtigkeit von einem Meter gemittelte Stoffkonzentration im Grundwasser im Jahresdurchschnitt die GFS an keiner Stelle des Aquifers überschreitet und die von der Beschaffenheitsveränderung betroffene Querschnittsbreite senkrecht zur Grundwasserfließrichtung die Kleinräumigkeitsschwelle (10 m) nicht übersteigt.

Voraussetzung für eine sachgerechte Bewertung ist die repräsentative Beprobung des von der Quelle beeinflussten Abstromquerschnitts in der Kontrollebene I (Abb. 9). Die Mittelung ist durchflussproportional mit Hilfe des Stromröhrenmodelles (s. Kap. 8.2) vorzunehmen.

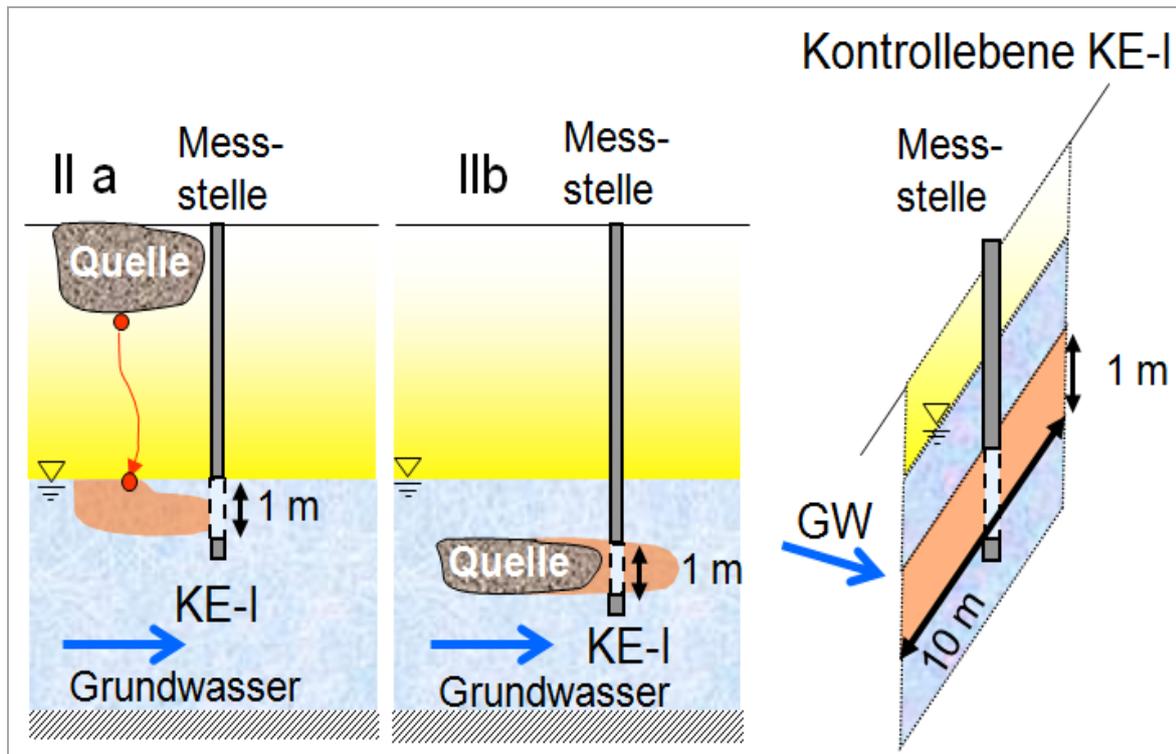


Abb. 9: Prinzipskizze zur Definition der Schadensschwelle.

5.1.3 Schwellenfracht

Aus der analogen Ableitungssystematik von Gefahrenschwelle und Schadensschwelle resultiert eine einheitliche stoff- und standortspezifische Schwelle für die Fracht E_{schwell} [g/a], die sich als Produkt aus der Quellstärke J_q und dem maximal zulässigen Abstromquerschnitt A_{KE} ($10 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 10 \text{ m}^2$) in der Kontrollebene (KE-I) ergibt.

Sie kann nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$E_{\text{schwell}} = J_q \cdot A_q = v_f \cdot GFS \cdot A_{KE} = k_f \cdot 31536 \cdot i \cdot GFS \cdot 10 \text{ m}^2 \quad (7)$$

- v_f : Filtergeschwindigkeit Grundwasser [m/a]
- k_f : Durchlässigkeitsbeiwert [m/s],
- i : hydraulisches Gefälle [-],
- GFS: Geringfügigkeitsschwellenwert [$\mu\text{g/l}$].

In Tabelle 1 sind resultierende Werte für E_{schwell} [g/a] für typische Schadstoffe und Grundwasserverhältnisse aufgeführt.

Tab. 1: Schwellenfracht E_{schwell} [g/a] für ausgewählte Schadstoffe und Grundwasserverhältnisse.

Schadstoff	GFS [$\mu\text{g/l}$]	Filtergeschwindigkeit v_f [m/a]			
		1	10	50	100
Cadmium	0,5	0,005	0,05	0,25	0,5
Benzol	1	0,01	0,1	0,5	1

5.2 Maßnahmen

Wird im Rahmen einer abschließenden Gefährdungsabschätzung eine Überschreitung der Gefahren- bzw. Schadensschwelle festgestellt, muss die zuständige Behörde unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes entscheiden, ob sie gemäß § 10 Abs. 1 BBodSchG Maßnahmen ergreift. Hierbei ist insbesondere § 4 Abs. 7 Satz 2 BBodSchV zu beachten. Als Entscheidungskriterium wird der Begriff der Maßnahmenschwelle eingeführt. Bei Unterschreitung der Maßnahmenschwelle liegt es – trotz einer Überschreitung der Gefahren- bzw. Schadensschwelle – i. d. R. nahe, auf Maßnahmen zu verzichten (Abb. 1). Unter Maßnahmen werden hier Sanierungsmaßnahmen i. S. von § 2 (7) Nr. 1–3 BBodSchG verstanden, soweit sie den Wirkungspfad Boden – Grundwasser betreffen.

5.2.1 Verhältnismäßigkeitskriterien

Die Maßnahmenschwelle berücksichtigt die Verhältnismäßigkeitskriterien gemäß § 4 Abs. 7 Satz 2 BBodSchV:

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.

Die hier aufgeführten Begriffe „auf Dauer“, „geringe Schadstofffracht“ und „lokal begrenzt“ sind in der BBodSchV nicht weiter bestimmt. Ihre Anwendung im Rahmen der Ermessensausübung erfordert daher eine fachliche Konkretisierung. Die in § 4 Abs. 7 gewählte Formulierung und Verknüpfung impliziert, dass die drei Kriterien bei der Verhältnismäßigkeitsprüfung gleichzeitig einzuhalten sind (LAWA/LA-BO 2006).

5.2.1.1 „lokal begrenzt“

Die Konkretisierung des Begriffes „lokal begrenzt“ erfolgt mit Bezug auf die in Kapitel 8.1.3 vorgenommene Definition einer Punktquelle. Eine Quelle wird dabei als „lokal begrenzt“ betrachtet, wenn sie entsprechend der Definition als punktförmig bezüglich eines definierten Betrachtungsabstandes angesehen werden kann. Daher ist zunächst die Festlegung einer Skalenebene für den Betrachtungsraum, bezüglich dessen eine Altlast als „lokal begrenzt“ charakterisiert werden kann, notwendig. Da die grundlegenden Schutzziele für das Grundwasser durch die EG-WRRL und das WHG bzw. die GrwV vorgegeben sind, bietet sich als geeigneter Maßstab für den Betrachtungsraum die Ebene der Grundwasserkörper an. Die Festlegung des Betrachtungsraumes erfolgt daher in Anlehnung an den in der Grundwasserverordnung (§ 7 Abs. 3 Nr. 1c) aufgeführten Wert von insgesamt 25 km² als maximal zulässiger Belastungsfläche, bei der ein Grundwasserkörper trotz einer infolge von Altlasten verursachten Überschreitung der Schwellenwerte ausnahmsweise noch in einen guten Zustand eingestuft werden kann. Mit Bezug auf die Definition einer Punktquelle (Kap. 8.1.3) kann daraus ein Betrachtungsabstand von 5 km abgeleitet werden. Er entspricht etwa dem mittleren Abstand von Messstellen zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit nach EG-WRRL in Deutschland (UBA 2010) und Niedersachsen (MU 2011).

Die Ergebnisse der mit der exakten analytischen Lösung der Transportgleichung (WEXLER 1992) ohne Berücksichtigung von Rückhaltung und Abbau durchgeführten Berechnungen zeigen, dass die Konzentrationsunterschiede im Betrachtungsabstand von 5 km zwischen einer Quelle mit einer Abstrombreite von 100 m und einer punktförmigen Quelle weniger als 5 % betragen (Abb. 10). Analoge Berechnungen zur Untersuchung des Einflusses der Abstrommächtigkeit ergeben, dass für Mächtigkeiten <35 m die Konzentrationsunterschiede ebenfalls maximal 5 % betragen. Eine Quelle mit diesen Abmessungen kann daher, bezogen auf den Betrachtungsabstand von 5 km, mit guter Näherung als punktförmig und somit als „lokal begrenzt“ bezüglich ihrer Auswirkungen auf das abstromige Grundwasser (Fahne) angesehen werden. Aus den Berechnungen wird auch deutlich, dass eine Quelle, deren Abmessungen die Kleinräumigkeitsschwelle (10 m Ab-

strombreite) nicht überschreitet, bezogen auf einen Betrachtungsabstand von 5 km einer nahezu idealen Punktquelle entspricht (Abb. 10).

Aus diesen Überlegungen ergibt sich:

Definition „lokal begrenzt“

Eine Schadstoffquelle ist „lokal begrenzt“, wenn im unmittelbaren Abstrom der Quelle die Abmessungen des kontaminierten Abstromquerschnitts die Werte

Abstrombreite b_q : 100 m,

Abstrommächtigkeit z_q : 35 m

nicht überschreiten und sich die Verunreinigung des Grundwassers auf das oberste Stockwerk beschränkt.

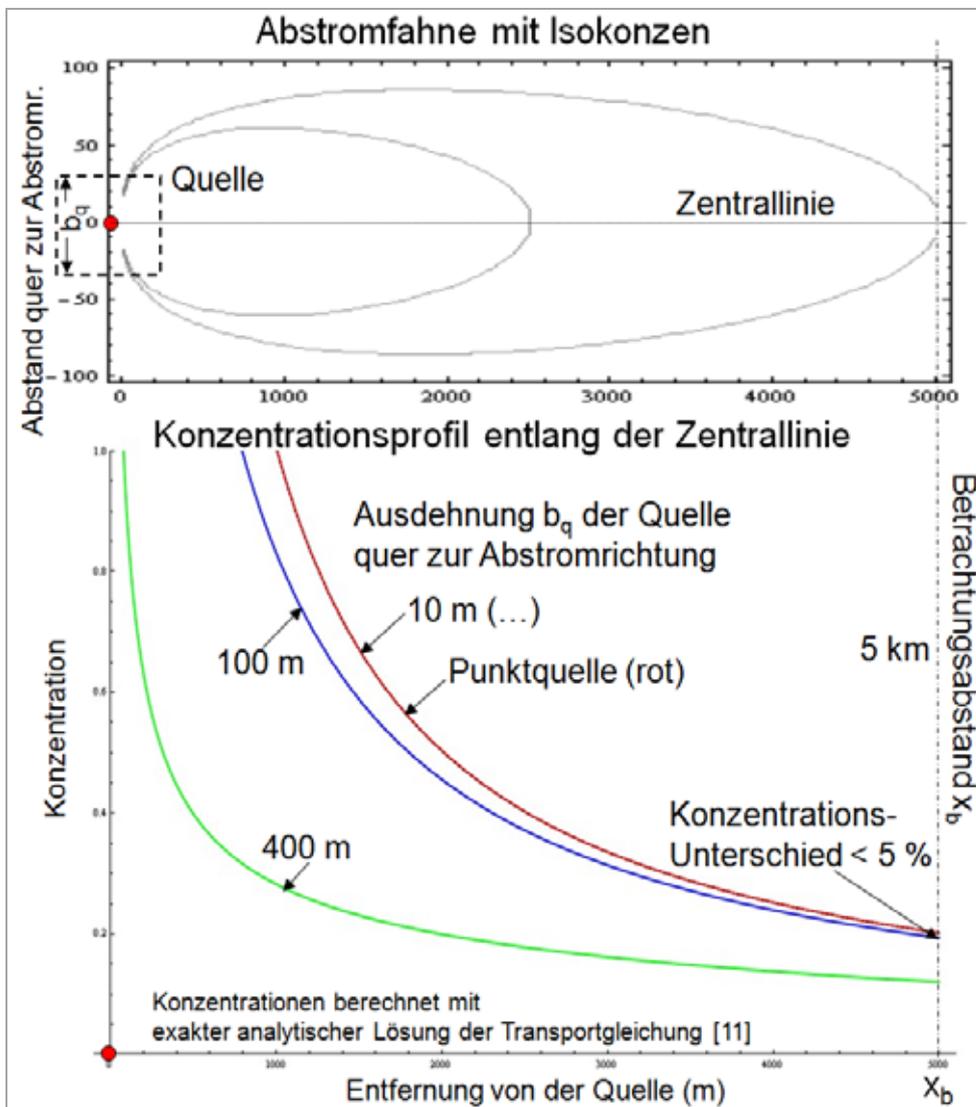


Abb. 10: Skizze zur Konkretisierung des „lokal begrenzt“-Kriteriums mit Bezug auf die Definition einer Punktquelle.

Im Falle einer Quelle in der ungesättigten Zone (FG: Q-I, s. Abb. 4) resultiert daraus bei einer im statistischen Mittel zu erwartenden quadratischen Geometrie der Quellfläche eine maximale Eintragsfläche von 1 ha. Nach der UBA-Punktquellenklassifikation (HUDEC 2003), die in Niedersachsen für die weitergehende Beschreibung der Grundwasserkörper (NLFB/NLÖ 2005) verwendet wurde, entspricht dies der Wirkungsbereichsklasse sehr gering (0,2 ha) bis gering (4 ha). Aus der Definition resultiert ein maximal zulässiger Abstromquerschnitt A_q für eine als „lokal begrenzt“ einzustufende Quelle von 3500 m² (100 m x 35 m).

5.2.1.2 „geringe Fracht“

Die von einer als „lokal begrenzt“ eingestuft Quelle abströmende Fracht kann als gering betrachtet werden, wenn von der emittierten Schadstofffracht dauerhaft keine Gefahr für das abstromige Grundwasser ausgeht. Dies ist dann der Fall, wenn am unmittelbar abstromseitigen Ende der Quelle gemittelt über den Abstromquerschnitt die GFS im Jahresmittel nicht überschritten werden. Die Mittelung ist

durchflussproportional mit Hilfe von Stromröhren durchzuführen (s. Kap. 8.2).

Der Wert E_{ger} [g/a] für die „geringe Fracht“ ist demnach stoff- und standortspezifisch und ergibt sich als Produkt aus der Quellstärke J_q und dem Abstromquerschnitt A_q nach folgender Gleichung:

$$E_{ger} = J_q * A_q = v_f * GFS * A_q = k_f * 31536 * i * GFS * 3500 \text{ m}^2 \quad (8)$$

- v_f : Filtergeschwindigkeit Grundwasser [m/a]
- k_f : Durchlässigkeitsbeiwert [m/s],
- i : hydraulisches Gefälle [-],
- GFS: Geringfügigkeitsschwellenwert [$\mu\text{g/l}$].

Hieraus ergibt sich:

Definition „geringe Fracht“

Das Kriterium „geringe Fracht“ ist eingehalten, wenn die von der Quelle abströmende Fracht den Wert für E_{ger} nicht überschreitet.

In Tabelle 2 sind resultierende Werte für E_{ger} [g/a] für typische Schadstoffe und Grundwasserverhältnisse aufgeführt.

Tab. 2: Geringe Fracht E_{ger} [g/a] für ausgewählte Schadstoffe und Grundwasserverhältnisse.

Schadstoff	GFS [$\mu\text{g/l}$]	Filtergeschwindigkeit v_f [m/a]			
		1	10	50	100
Cadmium	0,5	1,75	17,5	87,5	175
Benzol	1	3,5	35	175	350

5.2.1.3 „auf Dauer“

Nach § 4 (7) BBodSchV wird bei der Berücksichtigung der Kriterien „lokal begrenzt“ und „geringe Fracht“ im Rahmen der Verhältnismäßigkeitsprüfung von Maßnahmen vorausgesetzt, dass diese Kriterien „auf Dauer“ eingehalten werden. Mit Bezug auf das gemeinsame Papier von LAWA und LABO „Grundsätze des nachsorgenden Bodenschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“ (LAWA/LABO 2006) ist der Begriff „auf Dauer“ in diesem Zusammenhang als zeitlich unbegrenzt aufzufassen. Aus fachlicher Sicht resultiert daraus die Anforderung, dass bezüglich der o. g. Kriterien dauerhaft keine Verschlechterung eintritt. Dafür ist hinreichend, dass die o. g. Kriterien keiner zeitlichen Veränderung unterliegen und damit als stationär angesehen werden können. Dies entspricht einer Situation, bei der die Isokonzen

(Flächen gleicher Schadstoffkonzentration) im Abstrom der Quelle (Abb. 11) räumlich ortsfest sind. Eine als „lokal begrenzt“ eingestufte Quelle, deren Emission gleichbleibend den Wert der geringen Fracht nach Kapitel 5.2.1.2 einhält, erfüllt automatisch das Kriterium der Stationarität (Abb. 11). Eine Überschreitung der GFS im weiteren Abstrom ist insofern ausgeschlossen.

Hieraus folgt:

Definition „auf Dauer“

Das Kriterium „auf Dauer“ ist eingehalten, wenn die Schadstofffracht im unmittelbaren Abstrom der Quelle dauerhaft den standort-spezifischen Wert für die geringe Fracht E_{ger} nicht überschreitet.

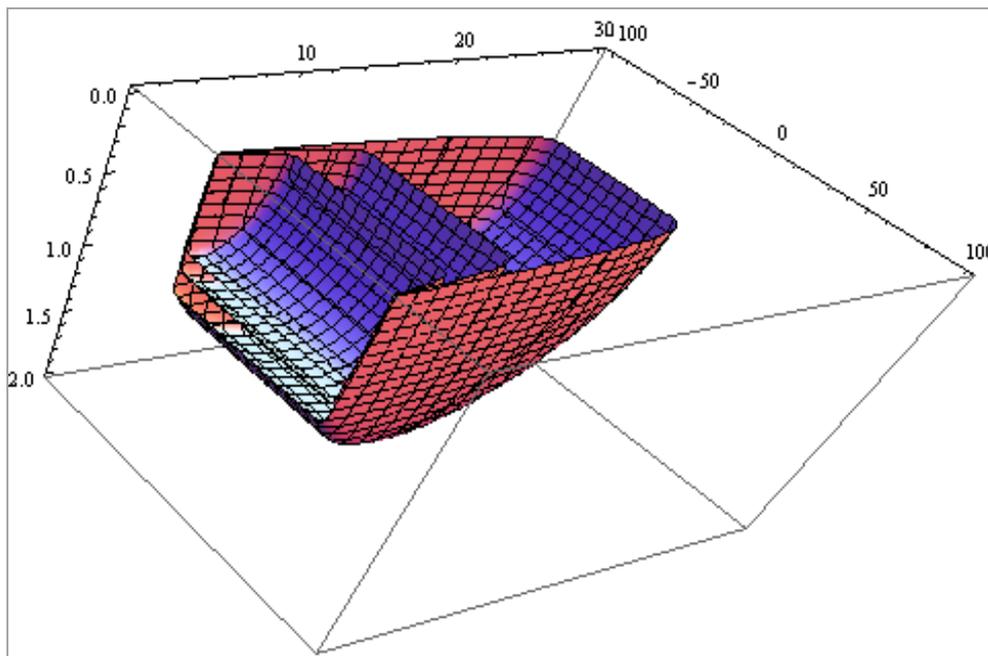


Abb. 11: Isokonzen (3D) im Abstrom einer lokal begrenzten Quelle.

5.2.2 Maßnahmenschwelle

Die Maßnahmenschwelle ist stoff- und standortspezifisch und abhängig von der jeweiligen Fallgestaltung (Abb. 7, Kap. 5.1). Die bei FG-I (Gefahr) resultierende Maßnahmenschwelle wird als MS-G, die bei FG-II (Schaden) rele-

vante Maßnahmenschwelle als MS-S bezeichnet.

Analog zur Vorgehensweise bei der Ableitung der Gefahren- bzw. Schadensschwelle erfolgt die Beurteilung im Grundwasser grundsätzlich unmittelbar abstromseitig der Quelle (Regelfall) in der Kontrollebene I (Abb. 12 und 13).

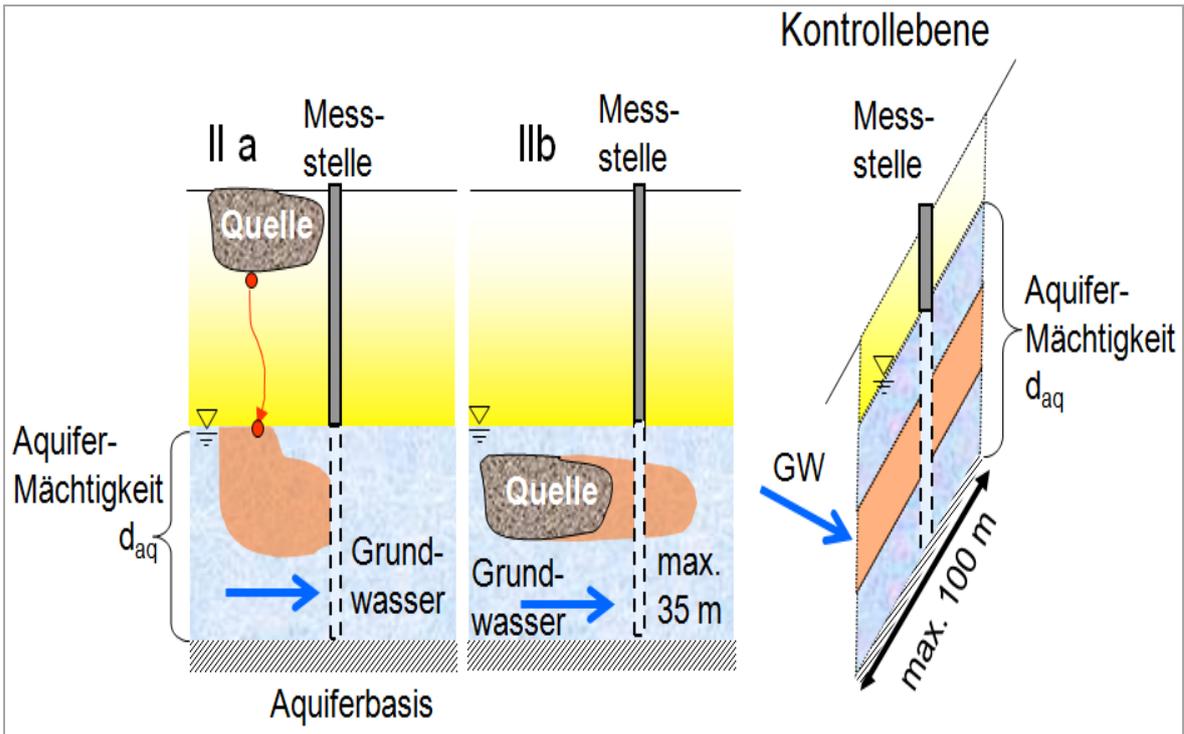


Abb. 12: Prinzipskizze zur Definition der Maßnahmenschwelle.

Unter der Voraussetzung, dass auf einem mit einer Schadstoffquelle belasteten Grundstück keine Nutzung des Grundwassers durch Dritte stattfindet und keine grundwasserabhängigen Oberflächengewässer oder Ökosysteme vorliegen, kann die Kontrollebene für die Beurteilung der Maßnahmenschwelle ausnahmsweise auch an die abstromseitige Grundstücksgrenze (Kontrollebene II) verlagert werden (Ausnahmefall, s. Abb. 13).

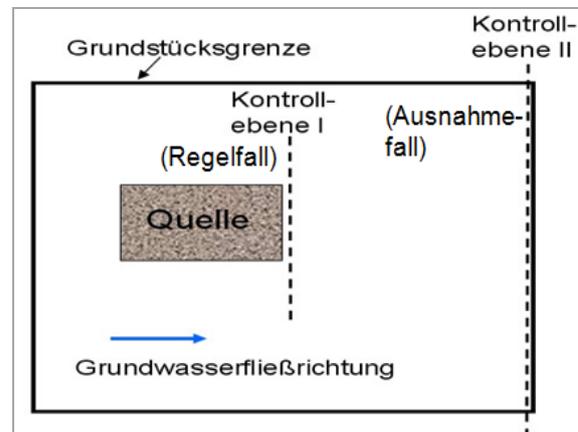


Abb. 13: Relevante Kontrollebenen für die Maßnahmenschwelle.

Mit Bezug auf die im Kapitel 5.2.1 abgeleiteten Verhältnismäßigkeitskriterien ergibt sich:

Definition Maßnahmenschwelle

Die Maßnahmenschwelle ist dadurch charakterisiert, dass im unmittelbaren Abstrom einer Quelle (Kontrollebene I) oder ausnahmsweise an der abstromseitigen Grundstücksgrenze (Kontrollebene II) die über die Aquifermächtigkeit des obersten Grundwasserleiters gemittelte Schadstoffkonzentration im Jahresdurchschnitt die GFS nicht überschreitet (MS-S) oder zukünftig überschreiten wird (MS-G) und die Verhältnismäßigkeitskriterien nach § 4 (7) BBodSchV eingehalten werden.

Bei Betrachtung der KE-II (Ausnahmefall) ist insbesondere darauf zu achten, dass das Dauerhaftigkeitskriterium für die Quelle eingehalten wird und für die Konzentrationen in der KE-II mindestens das Stationaritätskriterium erfüllt ist.

6 Anwendung

Die Vorgehensweise bei der Bearbeitung eines Falles ist abhängig von der jeweiligen Fallgestaltung (FG-I oder FG-II, s. Abb. 7).

6.1 Gefahr (FG-I)

6.1.1 Gefahrenschwelle

Prüfschritte

1. Ermittlung der maximal zu erwartenden Stoffkonzentration im Sickerwasser c_{si} am OdB

Methode: Durchführung einer Sickerwasserprognose. Es wird eine quantitative Abschätzung unter Heranziehung entsprechender Berechnungsinstrumente (beispielsweise ALTEX-1D oder andere) vorausgesetzt. Die Sickerwasserprognose kann ggf. flächendifferenziert erfolgen (Stromröhrenmodell).

2. Ermittlung der Sickerwasserfracht E_{si} am OdB

Methode: Berechnung mit Gl. 6 (Kap. 5.1.1).

3. Ermittlung der maximal zulässigen Stoffkonzentration c_{si-max} im Sickerwasser am OdB

Methode: Berechnung mit Gl. 4–5 (Kap. 5.1.1) und Gl. 15 (Kap. 8.1.1.2)¹.

4. Ermittlung der maximal zulässigen Fracht $E_{schwell}$

Methode: Berechnung mit Gl. 7 (Kap. 5.1.3).

¹ Bei Vorbelastungen des Anstromes ist eine differenzierte Vorgehensweise mit Betrachtung des Einzelschadens notwendig. Im Falle einer geogenen Anstrombelastung oder einer flächenhaften anthropogenen Hintergrundbelastung kann ggf. eine Anpassung der GFS durch die Behörde vorgenommen werden.

Bewertung

Die Gefahrenschwelle ist unterschritten, wenn folgende Bedingungen gleichzeitig eingehalten werden:

$$C_{\text{si(OdB)}} \leq C_{\text{si-max}}$$

$$B_q \leq 10 \text{ m}$$

$$E_{\text{si}} \leq E_{\text{schwell}}$$

Die aus der Bewertung resultierenden Konsequenzen sind abhängig von der bodenschutzrechtlichen Bearbeitungsebene (Tab. 3).

Tab. 3: Folgen aus der Bewertung im Hinblick auf die Gefahrenschwelle.

Bewertungs-/ Entscheidungsebene	Gefahrenschwelle	
	überschritten	unterschritten
Gefährdungsabschätzung		
OU	Gefahr wahrscheinlich, im Regelfall Anordnung DU angemessen	Gefahr unwahrscheinlich, Ausscheidung aus Bearbeitung* (im Zweifel weitere Untersuchungen)
DU	Gefahr bestätigt, Bewertung im Hinblick auf Überschreitung der Maßnahmenschwelle (Abb. 1)	Gefahr ausgeschlossen, Ausscheidung aus Bearbeitung*
Maßnahmen		
Beendigung/Abbruch	Gefahr besteht fort, Bewertung im Hinblick auf Überschreitung der Maßnahmenschwelle (Abb. 1)	Gefahr abgewehrt, Ausscheidung aus Bearbeitung*

* Die Ausscheidung aus der Bearbeitung bezieht sich hier ausschließlich auf den Wirkungspfad Boden – Grundwasser. Andere Pfade bleiben davon unberührt.

6.1.2 Maßnahmenschwelle (MS-G)

Prüfschritte

1. Ermittlung der maximal zu erwartenden Stoffkonzentration im Sickerwasser c_{si} am OdB

Methode: Durchführung einer Sickerwasserprognose. Es wird eine quantitative Abschätzung unter Heranziehung entsprechender Berechnungsinstrumente (beispielsweise ALTEX-1D oder andere) vorausgesetzt. Die Sickerwasserprognose kann ggf. flächendifferenziert erfolgen (Stromröhrenmodell).

2. Ermittlung der Sickerwasserfracht E_{si} am OdB

Methode: Berechnung mit Gl. 6 (Kap. 5.1.1)

3. Ermittlung der maximal zulässigen Stoffkonzentration $c_{\text{si-max}}$ im Sickerwasser am OdB

Methode: Berechnung mit Gl. 4–5 (Kap. 5.1.1) und Gl. 15 (Kap. 8.1.1.2). Als Einmischzonenmächtigkeit kann die gesamte Aquifermächtigkeit des obersten Grundwasserleiters, maximal jedoch 35 m, eingesetzt werden.

4. Ermittlung der maximal zulässigen Fracht E_{ger}

Methode: Berechnung mit Gl. 8 (Kap. 5.2.1.2).

Bewertung

Die Maßnahmenschwelle MS-G ist unterschritten, wenn folgende Bedingungen gleichzeitig eingehalten werden:

$$C_{si(OdB)} \leq C_{si-max}$$

$$B_q \leq 100 \text{ m}$$

$$E_{si} \leq E_{ger}$$

Die aus der Bewertung resultierenden Konsequenzen sind abhängig von der bodenschutzrechtlichen Bearbeitungsebene (Tab. 4).

Tab. 4: Folgen aus der Bewertung im Hinblick auf die Maßnahmenschwelle MS-G.

Bewertungs-/ Entscheidungsebene	Maßnahmenschwelle (MS-G)	
	überschritten	unterschritten
Durchführung/Anordnung Maßnahmen	Maßnahmen i. d. R. erforderlich, weitere Prüfung unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes (Abb. 1).	Maßnahmen i. d. R. nicht erforderlich, Monitoring im Rahmen der Nachsorge, ggf. Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen
Beendigung/Abbruch Maßnahmen	Fortsetzung der Maßnahmen i. d. R. erforderlich, weitere Prüfung unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes (Abb. 1)	Fortsetzung der Maßnahmen i. d. R. nicht erforderlich, Monitoring im Rahmen der Nachsorge, ggf. Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen

6.2 Schaden (FG-II)

6.2.1 Schadensschwelle

Prüfschritte

1. Ermittlung der Konzentration und Fracht in der relevanten Kontrollebene KE-I

Methode: Bestimmung der über den Abstromquerschnitt (Breite: max. 10 m, Mächtigkeit: max. 1 m) der Kontrollebene (Abb. 9, s. Kap. 5.1.2) gemittelten Konzentration c_{KE} und Fracht E_{KE} durch eine ausreichende Anzahl geeigneter Grundwassermessstellen bzw. Sondierungen. Die Mittelung ist durchflussproportional über ein Stromröhrenmodell (Kap. 8.2) durchzuführen.

2. Ermittlung der maximal zulässigen Fracht $E_{schwell}$

Methode: Berechnung mit Gl. 7 (Kap. 5.1.3).

Bewertung

Die Schadensschwelle ist unterschritten, wenn im Jahresmittel folgende Bedingungen gleichzeitig eingehalten werden:

$$B_q \leq 10 \text{ m}$$

$$c_{KE} \leq GFS$$

$$E_{KE} \leq E_{schwell}$$

Dabei ist darauf zu achten, dass für einen Schadensausschluss die Filterstrecken der Messstellen bzw. Sondierungen im zentralen Abstrom (sowohl lateral wie auch vertikal) platziert sind und maximal 1 m lang sind. Falls nur Messstellen mit längeren Filterstrecken (z. B. voll verfiltert) zur Verfügung stehen, ist für einen Schadensausschluss zu prüfen, ob auch bei Mittelung über 1 m die Kriterien eingehalten werden.

Die aus der Bewertung resultierenden Konsequenzen sind abhängig von der bodenschutzrechtlichen Bearbeitungsebene (Tab. 5).

Tab. 5: Folgen aus der Bewertung im Hinblick auf die Schadensschwelle.

Bewertungs-/ Entscheidungsebene	Schadensschwelle	
	überschritten	unterschritten
Gefährdungsabschätzung		
OU/DU	Schaden bestätigt, Bewertung im Hinblick auf Überschreitung der Maßnahmenschwelle (Abb. 1)	Schaden ausgeschlossen, Ausscheidung aus Bearbeitung*
Maßnahmen		
Beendigung/Abbruch	Schaden besteht fort, Bewertung im Hinblick auf Überschreitung der Maßnahmenschwelle (Abb. 1)	Schaden beseitigt, Ausscheidung aus Bearbeitung*

* Bei nur knapper Unterschreitung der Schadensschwelle und unsicherer Datenlage kann eine Kontrolluntersuchung und ggf. eine Neubewertung nach einem angemessenen Zeitraum (1–2 Jahre) angezeigt sein.

6.2.2 Maßnahmenschwelle (MS-S)

Prüfschritte

1. Ermittlung der Konzentration und Fracht in der relevanten Kontrollebene KE. Relevante Kontrollebene ist im allgemeinen Fall KE-I (unmittelbarer Abstrom) und im Ausnahmefall (s. Kap. 5.2.2) KE-II (abstromseitige Grundstücksgrenze).

Methode: Bestimmung der über den Abstromquerschnitt (Breite: max. 100 m, Mächtigkeit: Aquifermächtigkeit bzw. max. 35 m) der relevanten Kontrollebene (Abb. 12, s. Kap. 5.2.2) gemittelten Konzentration c_{KE} und Fracht E_{KE} durch eine ausreichende Anzahl geeigneter Grundwassermessstellen bzw. Sondierungen. Die Mittelung ist durchflussproportional über ein Stromröhrenmodell (Kap. 8.2) durchzuführen.

2. Ermittlung der standortspezifischen geringen Fracht E_{ger}

Methode: Berechnung mit Gl. 8 (Kap. 5.2.1.2).

Bewertung

Die Maßnahmenschwelle MS-S ist unterschritten, wenn im Jahresmittel folgende Bedingungen gleichzeitig eingehalten werden:

$$B_q \leq 100 \text{ m}$$

$$c_{KE} \leq GFS$$

$$E_{KE} \leq E_{ger}$$

Die aus der Bewertung resultierenden Konsequenzen sind abhängig von der bodenschutzrechtlichen Bearbeitungsebene (Tab. 6).

Tab. 6: Folgen aus der Bewertung im Hinblick auf die Maßnahmenschwelle MS-S.

Bewertungs-/ Entscheidungsebene	Maßnahmenschwelle (MS-S)	
	überschritten	unterschritten
Durchführung/Anordnung Maßnahmen	Maßnahmen i. d. R. erforderlich, weitere Prüfung unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes (Abb. 1)	Maßnahmen i. d. R. nicht erforderlich, Monitoring im Rahmen der Nachsorge, ggf. Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen
Beendigung/Abbruch Maßnahmen	Fortsetzung der Maßnahmen i. d. R. erforderlich, weitere Prüfung unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes (Abb. 1)	Fortsetzung der Maßnahmen i. d. R. nicht erforderlich, Monitoring im Rahmen der Nachsorge, ggf. Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen

7 Quellen

- BBODSCHG (1998): Bundesbodenschutzgesetz vom 17. März 1998. – BGBl. I/1998: 502, i. d. F vom 9. Dezember 2004, BGBl. I/2004: 3214.
- BBODSCHV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I: 1554), die zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I: 2585) geändert worden ist.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2011): Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material. – Arbeitsentwurf vom 06.01.2011.
- CHARBENEAU, R. J. (2000): Groundwater Hydraulics and Pollutant Transport. – Kap. 8: 365–457; Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- ENGESER, B. (2008): Vorschlag für eine weiterentwickelte Anwendungsregel zur Berücksichtigung des Einmischprozesses von Sickerwasser in das Grundwasser bei der Bewertung von Ergebnissen aus der Sickerwasserprognose nach BBodSchV. – im Auftrag des Altlastenausschusses (ALA) der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) erstelltes Papier vom 13.10.2009, Protokoll der 37. LABO-Sitzung am 11./12.3.2010 in Gelsenkirchen [Unveröff.].
- FEHLAU, K.-P., HILGER, B. & KÖNIG, W. (2000): Vollzugshilfe Bodenschutz und Altlastensanierung, Erläuterungen zur Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. – S. 150; Berlin (Erich Schmidt).
- GELHAR, L. W., WELTY, C. & REHFELDT, K. R. (1992): A Critical Review of Data on Field-Scale Dispersion in Aquifers. – Water Resources Research **28/7**: 1955–1974.
- GRWV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung) vom 9. November 2010. – BGBl. I: 1513.
- HUDEK, B. (2003): Erfassung und Bewertung von Grundwasserkontaminationen durch punktuelle Schadstoffquellen - Konkretisierung von Anforderungen der EG-WRRL. – Forschungsbericht 202 23 219UBA-FB 000439, Umweltbundesamt (UBA), erarbeitet von der ahu AG, S. 149; Berlin.
- ITRC – INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL (2010): Use and Measurement of Mass Flux and Mass Discharge. – Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC); Washington DC, USA.
- KINZELBACH, W. (2008): Vorlesungsskript Hydraulik I. – ETH Zürich, <www.ifu.ethz.ch/GWH/education/undergraduate/Hydraulik_I/Vorlesungen/Inhalt.pdf>.
- LABO – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2010): Harmonisierung der wasser- und bodenschutzrechtlichen Bewertungsmaßstäbe. – TOP 11 des Protokolls der 37. LABO-Sitzung am 11. und 12.03.2010.
- LABO/ALA – ALTLASTENAUSSCHUSS DER BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2006): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen. – erarbeitet vom Unterausschuss „Sickerwasserprognose“ des Altlastenausschusses (ALA) der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), Stand: 10/2006.
- LAWA – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (1994): Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden. – BUND/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA)/UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.); Stuttgart.
- LAWA – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (2003): Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-WRRL, Teil 3. – S. 27, <www.lawa.de>.
- LAWA – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser.– BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER UND MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.); Berlin (Kulturbuch).
- LAWA/LABO – BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER & BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2006): Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen. – erarbeitet vom gemeinsamen Unteraus-

- schuss „Gefahrenabwehr bei Grundwasser-
verunreinigungen und Grundwassergefähr-
dungen“ der Ständigen Ausschüsse „Grund-
wasser und Wasserversorgung“ der LAWA
und „Altlasten“ der LABO. – BUND-/LÄNDER-
ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER & MINISTERI-
UM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-
PFALZ (Hrsg.); Mainz.
- MU – NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM
(2005): Erlass des MU zur Einrichtung einer
AG „Behandlung von Grundwasserverunrei-
nigungen“ vom August 2005. – Schreiben
des Niedersächsischen Umweltministeriums
vom 08.07.2005; Hannover [Unveröff.].
- MU – NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR
UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ (2011):
Gewässer-Überwachungssystem Nieder-
sachsen (GÜN). – <www.umwelt.niedersachsen.de>.
- NLFB – NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR
BODENFORSCHUNG (2005): Protokoll der
konstituierenden Sitzung der AG „Behand-
lung von Grundwasserverunreinigungen“
vom 31.08.2005. – Hannover (NLfB) [Unver-
öff.].
- NLFB/NLÖ – NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT
FÜR BODENFORSCHUNG & NIEDERSÄCHSI-
SCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (2005):
EG-WRRL, Bericht 2005, Grundwasser, Me-
thodenbeschreibung. – S. 10–13, Stand:
15.07.2004, WasserBLiCK, Bund-Länder-
Informations- und Kommunikationsplattform
zur EG-WRRL, <[http://www.wasserblick.net/
servlet/is/17872/](http://www.wasserblick.net/servlet/is/17872/)>.
- PRICKETT, T. A., NAYMIK, T. G. & LONNQUIST,
C. G. (1981): A „Random Walk“ Solute
Transport Model for Selected Groundwater
Quality Evaluations. – Bulletin **65**, State of Il-
linois, Illinois Department of Energy and
Natural Resources, Illinois State Water Sur-
vey; Champaign, USA.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (2010): Wasserwirt-
schaft in Deutschland, Teil 2: Gewässergü-
te. – UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.); Dessau.
- US-EPA – U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION
AGENCY (1996): Soil Screening Guidance.
EPA-Document Nr. EPA/540/R-95/128,
Part 2: Development of Pathway Specific
Soil Screening Levels. – <[www.epa.gov/
superfund/health/conmedia/soil/pdfs/part_2.
pdf](http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/pdfs/part_2.pdf)>.
- WEXLER, E. (1992): Analytical Solutions for
one-, two-, and three-dimensional solute
transport in groundwater systems with uni-
form flow. – USGS-TWRI Book 3, Chapter
B7, <[http://pubs.usgs.gov/twri/twri3-b7/pdf/
TWRI_3-B7.pdf](http://pubs.usgs.gov/twri/twri3-b7/pdf/TWRI_3-B7.pdf)>; Reston, Virginia, USA.
- WHG (2010): Gesetz zur Ordnung des Was-
serhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) vom
31. Juli 2009 (BGBl. I: 2585), das zuletzt
durch Artikel 5 Absatz 9 des Gesetzes vom
24. Februar 2012 (BGBl. I: 212) geändert
worden ist.
- WIKIPEDIA (2011): Point source pollution. –
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Point_source_
\(pollution\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Point_source_(pollution))>.

8 Anhang

8.1 Anhang 1: Erläuterungen zur fachlichen Konzeption

8.1.1 Einmischprozess Sickerwasser – Grundwasser

8.1.1.1 Modell US-EPA

Beim Übergang von Sickerwasser in das Grundwasser kommt es zu einer Vermischung des Sickerwassers mit dem anströmenden Grundwasser. In der entstehenden Einmischzone (Abb. 3) überlagern sich advective und dispersive Prozesse, die mit dem Modell nach US-EPA (1996) beschrieben werden können. Die Mächtigkeit der Einmischzone ergibt sich danach als Summe der advectiven und dispersiven Komponente:

$$d_{\text{mix-ges}} = d_{\text{mix-adv}} + d_{\text{mix-disp}} \quad (9)$$

a) Advective Komponente

Die advective Einmischtiefe kann nach der Prinzipskizze in Abbildung 14 abgeleitet werden. Dabei wird ein lineares Geschwindigkeitsprofil v_z des in das Grundwasser eintretenden Sickerwassers zwischen der Grundwasseroberfläche und der Aquifersohle ($v_z = 0$) angenommen. Die advective Einmischtiefe ergibt sich aus der vektoriellen Geschwindigkeitsaddition von vertikaler Sickerwasserkomponente und horizontaler Grundwasserkomponente im Bereich der Eintragsfläche (Länge L_q). Aus der Lösung der Differentialgleichung ergibt sich die Formel für die Einmischtiefe z_{adv} :

$$d_{\text{mix-adv}} = z_{\text{adv}} = d_{\text{aq}} * (1 - \exp^{-\text{SWR} * L_q / (d_{\text{aq}} * v_f)}) \quad (10)$$

Die Plausibilität der Modellvorstellung wurde mit numerischen Modellen (Comsol, Modflow) bestätigt (Abb. 15, 16).

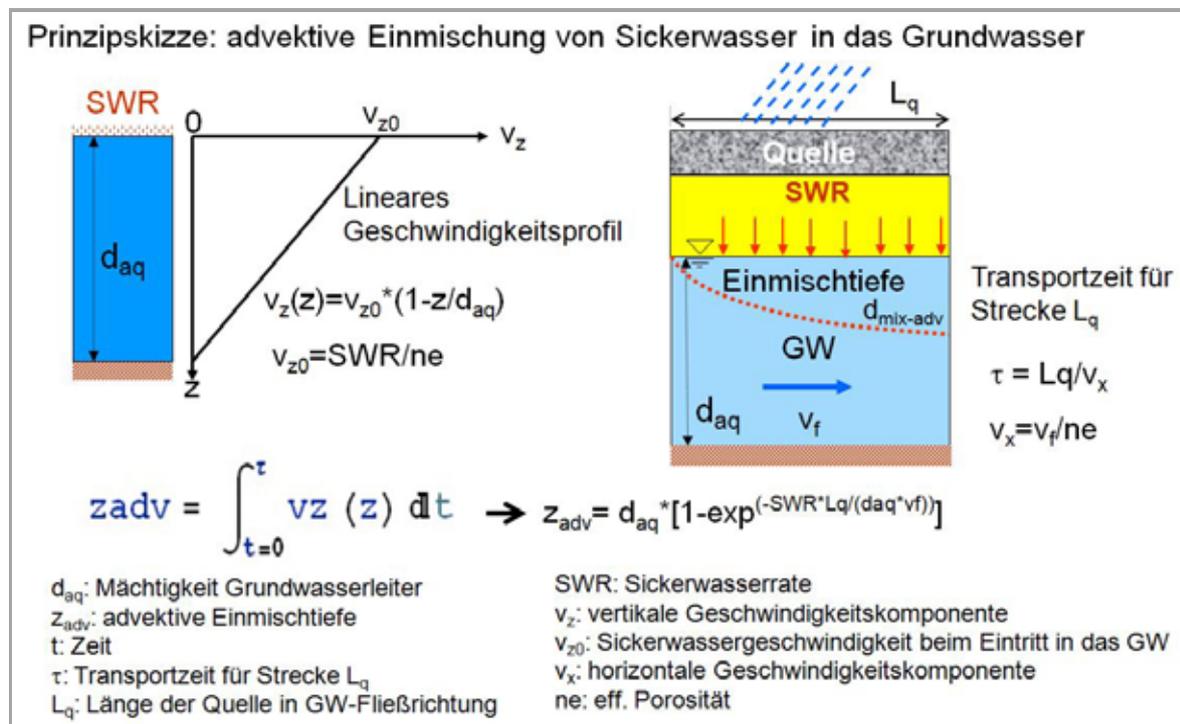


Abb. 14: Prinzipskizze zur Berechnung der advectiven Einmischtiefe.

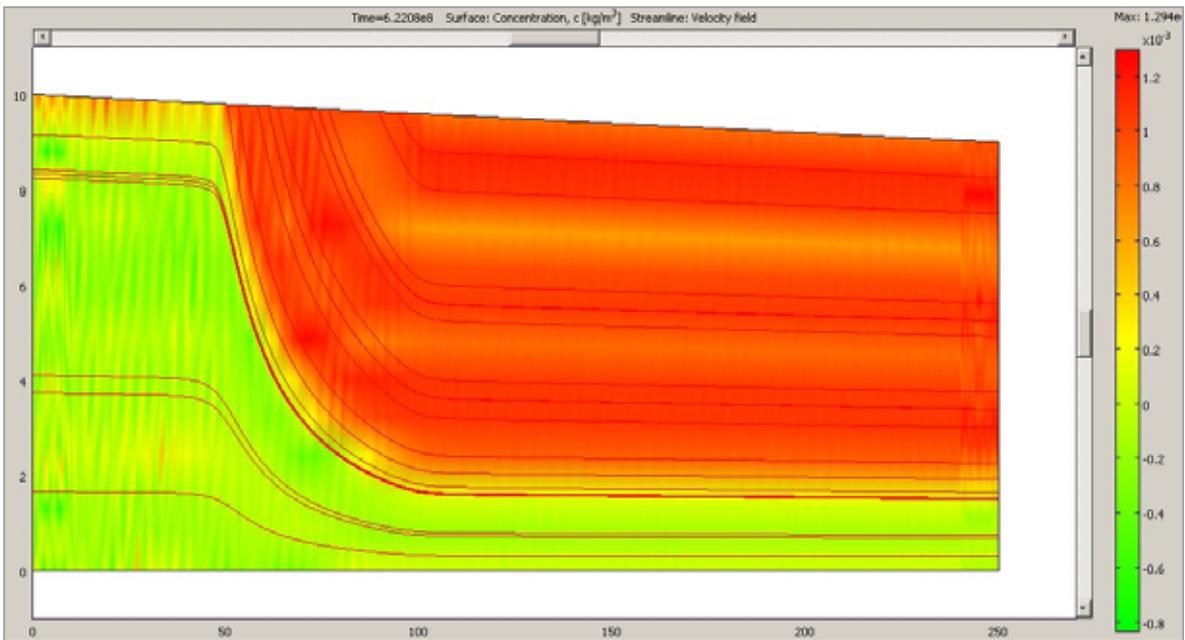


Abb. 15: Konzentrationsverlauf in der Einmischzone (Comsol).

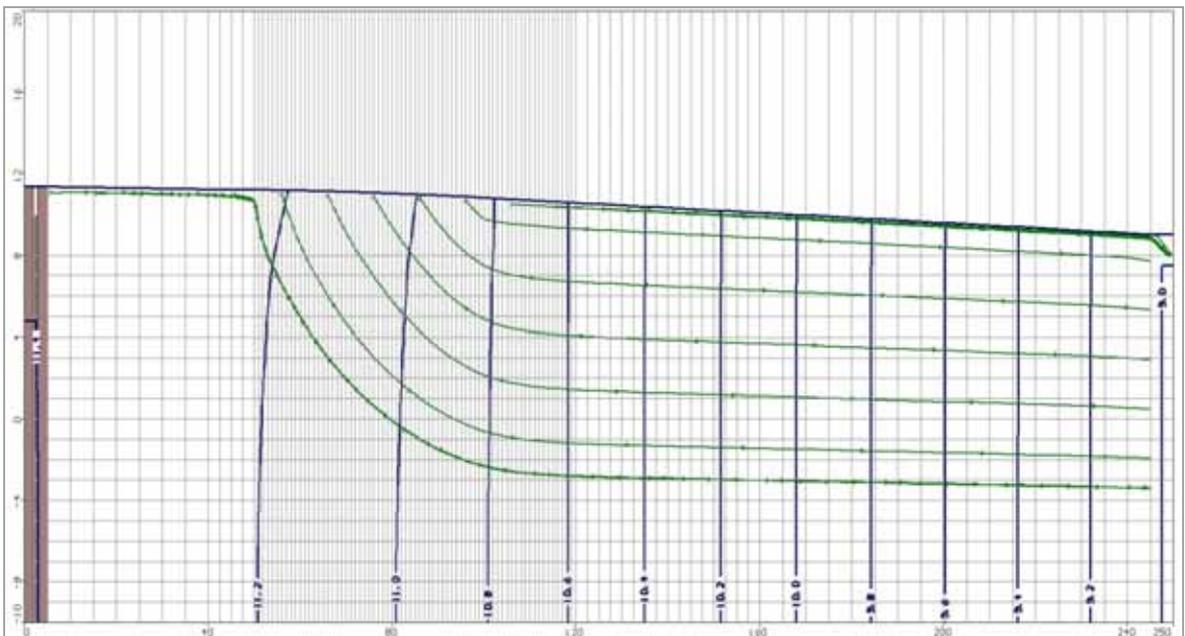


Abb. 16: Prinzipielles Strömungsbild bei der Einmischung von Sickerwasser in das Grundwasser (Modflow).

b) dispersive Komponente

Das Konzentrationsgefälle zwischen Sickerwasser und Grundwasser führt zu einem in den Aquifer gerichteten diffusiv-dispersiven Massenfluss, der den advektiven Massenfluss überlagert und eine vertikale Aufweitung der

Einmischzone bewirkt (Abb. 17). Nach Abbildung 17 ergibt sich die Mächtigkeit z_{disp} der dispersiven Einmischzone mit:

$$d_{mix-disp} = z_{disp} = Lq * \sqrt{0,0112} \quad (11)$$

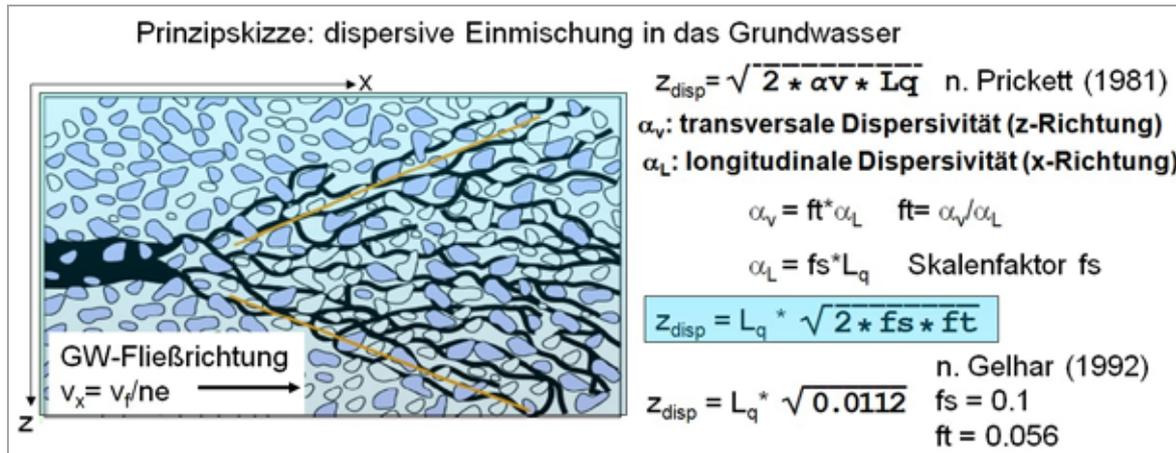


Abb. 17: Prinzipskizze dispersiver Einmischprozess.

Der Skalenfaktor für die Querdispersivität berücksichtigt dabei auch die Auswirkungen der Grundwasserschwankungen im Kapillarsaumbereich.

Die gesamte Einmischzonenmächtigkeit $d_{mix-ges}$ ergibt sich damit als Summe der advektiven Komponente $d_{mix-adv}$ und der dispersiven Komponente $d_{mix-disp}$.

$$d_{mix-ges} = Lq * \sqrt{0,0112} + d_{aq} * (1 - \text{Exp}^{-SWR * Lq / (daq * vf)}) \quad (12)$$

8.1.1.2 Rührkesselmodell (LABO)

Das Modell beruht auf der Annahme einer Einmischzone an der Grundwasseroberfläche mit einer konstanten Mächtigkeit von einem Meter, in der sich analog zu einem idealen Rührkessel (Abb. 18) eine komplette Vermischung des eintretenden Sickerwassers mit dem durchströmenden Grundwasser einstellt (ENGESER 2008).

Mit den vereinfachenden Annahmen

- vollständige Vermischung in der Einmischzone ($c_{ab} = c_{mix}$),
- Anstrom unbelastet ($c_{an} = 0$),
- stationäres Fließgleichgewicht ($Q_{ab} = Q_{an} + Q_{si}$),
- konstante Mächtigkeit der Einmischzone (1 m)

kann auf der Grundlage einer Massenbilanz die Mischkonzentration c_{mix} in der Einmischzone d_{mix} in Abhängigkeit der relevanten Eingangsparameter berechnet werden (Abb. 18).

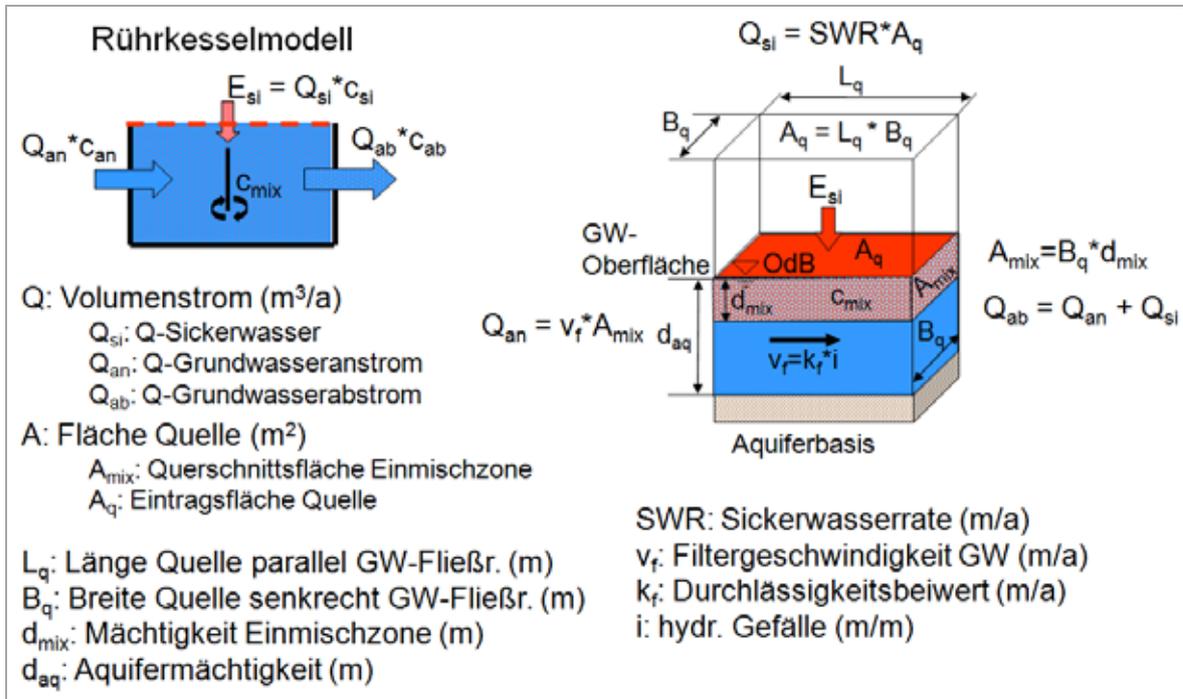


Abb. 18: Rührkesselmodell für die Einmischung von Sickerwasser in das Grundwasser.

Das Verhältnis von c_{si}/c_{mix} wird als Einmischfaktor EF bezeichnet und charakterisiert die resultierende Konzentrationsminderung durch Verdünnung beim Einmischvorgang. Die Formel für EF ergibt sich aus der Massenbilanz:

$$EF = 1 + v_f \cdot d_{mix} / (SWR \cdot L_q) \quad (13)$$

Aus der Bedingung für den Gefahrenechluss

$$c_{mix} < GFS \Leftrightarrow c_{si} < GFS \cdot EF$$

folgt, dass bei Berücksichtigung des Einmischvorganges die Konzentration des Sickerwassers um den Faktor EF über dem GFS-Wert liegen kann, ohne dass eine Überschreitung der GFS in der Einmischzone an der Grundwasser Oberfläche eintritt.

Für den Fall, dass eine anstromseitige Vorbelastung vorliegt ($c_{an} > 0$), kann mit Berücksichtigung der Anstromkonzentration c_{an} eine allgemeingültige Formel zur Berechnung des Einmischfaktors abgeleitet werden:

$$EF = 1 + SF \cdot (1 - c_{an}/GFS) \quad (14)$$

Der Faktor SF fasst die standortspezifischen Einflussparameter zusammen und kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$SF = \frac{d_{mix} \cdot v_f}{L_q \cdot SWR} \quad (15)$$

d_{mix}: Mächtigkeit der Einmischzone [m],

v_f: Filtergeschwindigkeit [m/a],

L_q: Länge der Quelle parallel zur Grundwasserfließrichtung [m],

SWR: Sickerwasserrate [m/a].

Daraus kann eine standortspezifische maximal zulässige Länge der Quelle in Grundwasserfließrichtung L_{qmax} abgeleitet werden. Die systematische Variation der Einflussparameter zeigt, dass L_{qmax} weitgehend unabhängig von den Parametern d_{aq} und SWR ist und für große Filtergeschwindigkeiten des Grundwassers asymptotisch gegen den Wert 9,4 m strebt. Der Wert von 9,4 m ist hauptsächlich durch das Verhältnis von transversaler zu longitudinaler Dispersivität bestimmt (Abb. 17). Da im statistischen Mittel von einer quadratischen Geometrie für die Eintragsfläche ausgegangen werden kann, kann dieser Wert zur Ableitung eines Schwellenwertes für die Abstrombreite herangezogen werden. Da es sich um eine Abschätzung handelt, wird ein Wert von 10 m als ausreichende Näherung betrachtet. Mit Bezug auf das Prinzip der „kleinräumigen Mittelung“ (s. Kap. 5.1.1) wird dieser Wert als Kleinräumigkeitsschwelle bezeichnet.

8.1.3 Definition einer Punktquelle

Schadstoffquellen, die von Altlasten ausgehende Grundwasserverunreinigungen verursachen, werden i. d. R. als Punktquellen bezeichnet, um sie von großflächigen diffusen Quellen (landwirtschaftliche oder atmosphärische Einträge) abzugrenzen. Bei sogenannten „Megasites“ können Altlasten allerdings auch großflächige Ausdehnungen erreichen. Im gemeinsamen Papier „Grundsätze des nachsor-

genden Bodenschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“ von LAWA und LABO (2006) und in der Arbeitshilfe der LAWA zur Umsetzung der EG-WRRRL (LAWA 2003) werden räumlich eng begrenzte Schadstoffquellen, wie z. B. Altablagerungen und Altstandorte, generell als Punktquellen bezeichnet. Hinweise für eine Konkretisierung hinsichtlich Flächengröße oder Eintragsintensität geben diese Arbeitshilfen allerdings nicht.

In Anlehnung an die mathematisch-physikalische Definition einer Punktquelle (WIKIPEDIA 2011):

A point source of pollution is a single identifiable localized source of air, water, thermal, noise or light pollution. A point source has negligible extent, distinguishing it from other source geometries. Sources are called point sources because in mathematical modeling, these sources can usually be approximated as a mathematical point to simplify analysis. The actual source need not be physically small, if its size is negligible relative to other length scales in the problem.

und mit Bezug auf die mathematischen Ansätze zur Beschreibung von Fahnen (CHARBENEAU 2000) wird eine Quelle, bezogen auf ihre Auswirkungen im Grundwasser, als punktförmig betrachtet, wenn ihre Ausdehnung (Breite b_q und Mächtigkeit z_q) so gering ist, dass sich in einem gewählten Betrachtungsabstand x_b im Abstrom die Stoffkonzentrationen nicht mehr von einer punktförmigen Quelle unterscheiden lassen (Abb. 20).

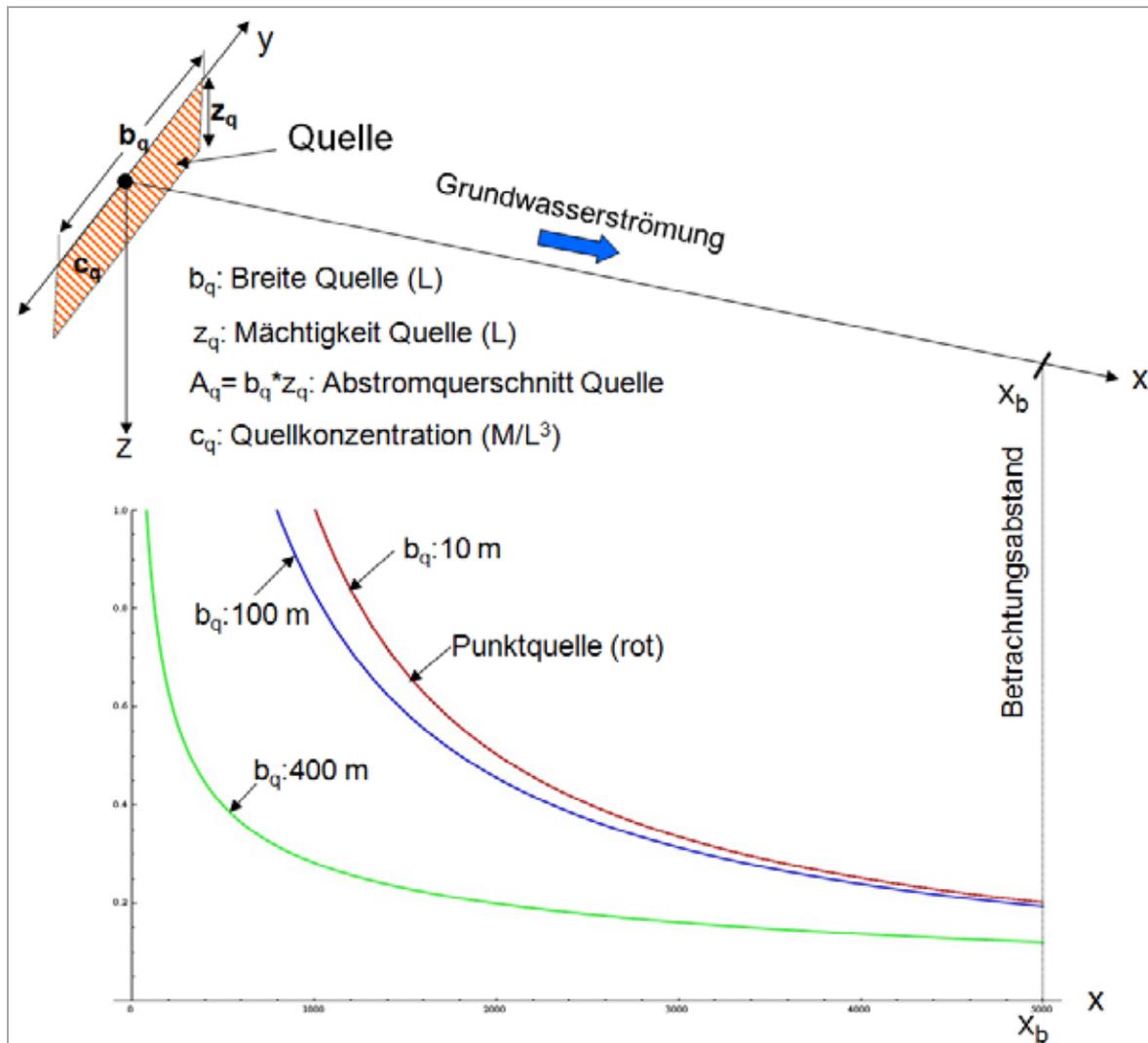


Abb. 20: Prinzipskizze zur Definition einer Punktquelle.

8.2 Anhang 2: Kontrollebenenkonzept und Stromröhrenmodell

Voraussetzung für die Anwendung des in Kapitel 8.1 beschriebenen fachlichen Konzepts ist die Ermittlung von repräsentativen Konzentrationen und Frachten in den zu betrachtenden Kontrollebenen. Im Regelfall liegen innerhalb einer Kontrollebene aufgrund der Heterogenität des Untergrundes und der individuellen Anordnung von Messstellen/Sondierungen unterschiedliche hydrogeologische Parameter (kf-Werte, hydr. Gefälle) und Konzentrationen vor. Eine repräsentative Ermittlung des Massenflusses (flächenbezogene Fracht) durch die

Kontrollebene (senkrecht zur Strömungsrichtung) setzt eine durchflussproportionale Berechnung über die Kontrollebene voraus. Dafür ist eine standortangepasste Unterteilung der zu betrachtenden Kontrollebene in Stromröhren erforderlich. Der Begriff der Stromröhre stammt aus der Fluidmechanik und bezeichnet die Gesamtheit aller durch eine Umrandung mit dem Querschnitt A hindurchtretenden Stromlinien (KINZELBACH 2008).

Abhängig von der Strömungsrichtung (Sickerwasser/vertikal – Grundwasser/horizontal) ergeben sich die in Abbildung 21 und 22 dargestellten Fallgestaltungen.

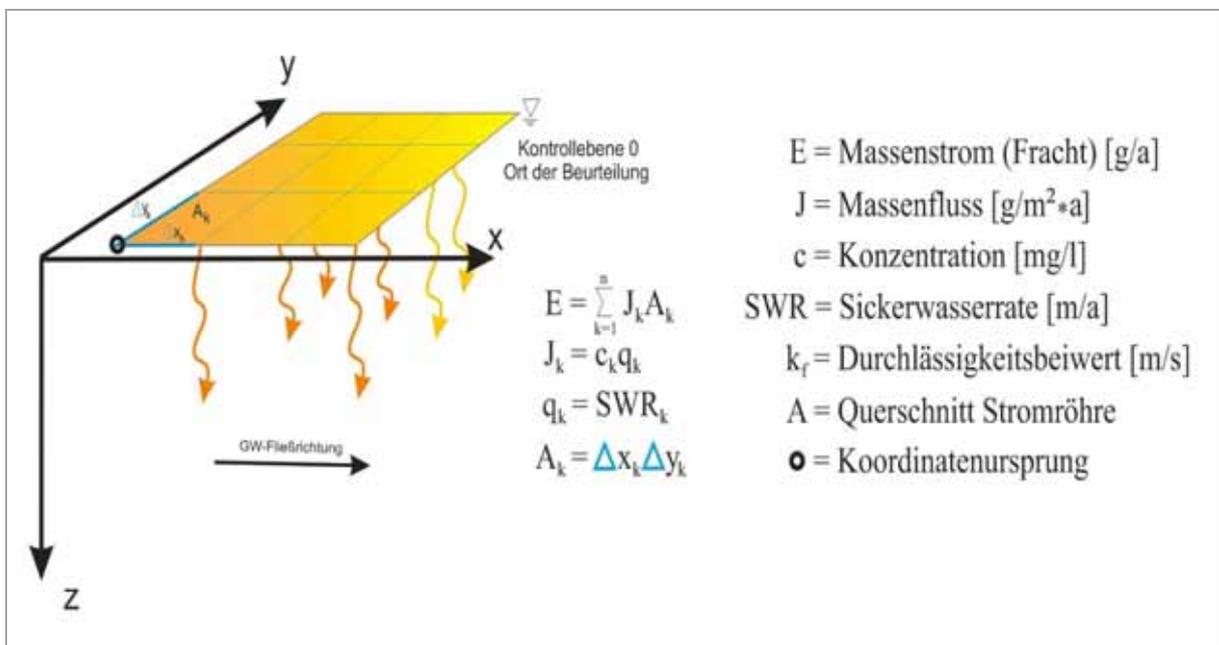


Abb. 21: Repräsentative Ermittlung von Sickerwasserfrachten am Ort der Beurteilung auf der Grundlage von Stromröhren.

Für die Ermittlung repräsentativer Frachten in einer Kontrollebene (senkrecht zur Strömungsrichtung) wird diese entsprechend der hydrogeologischen Situation und den vorhandenen Messstellen/Sondierungen in rechteckförmige Stromröhren unterteilt. Den Stromröhren werden dann die aus der Erkundung stammenden

hydrogeologischen Parameter und die repräsentative Konzentration zugeordnet und im nächsten Schritt die Volumen- und Massenströme ermittelt. Abschließend werden die Teilströme der Stromröhren aufsummiert. Daraus können dann repräsentative mittlere Werte für die Kontrollebene ermittelt werden.

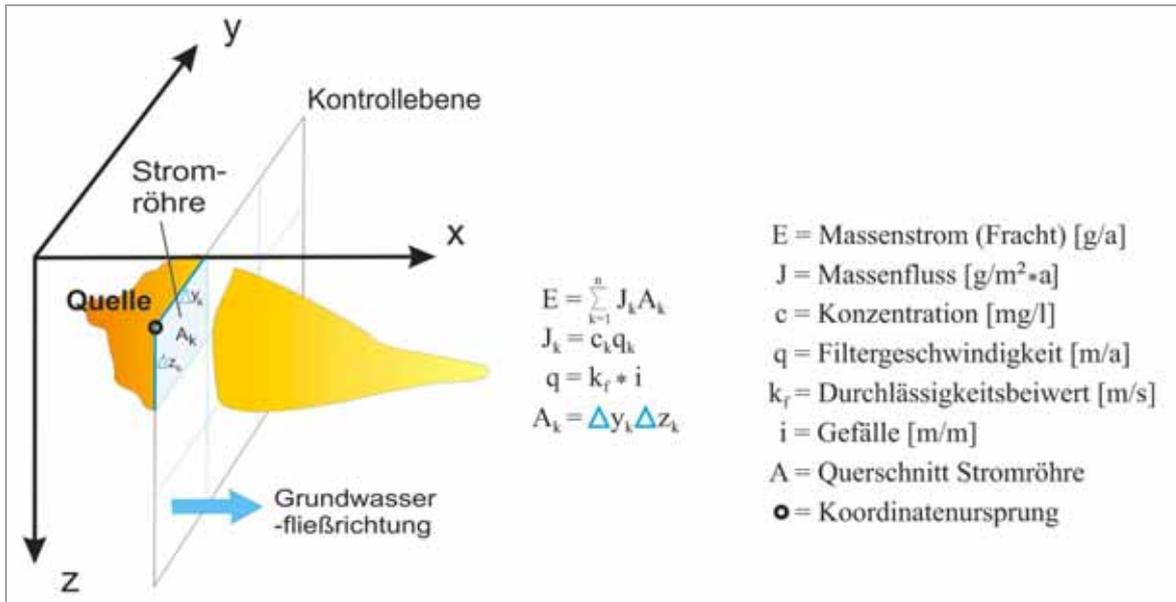


Abb. 22: Repräsentative Ermittlung von Frachten in einer Kontrollebene im Grundwasser auf der Grundlage von Stromröhren nach ITRC (2010).

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Definition der Stromröhren in einer Kontrollebene kann der Abbildung 23 entnommen werden und ist in den Fallbeispielen im Kapitel 8.3 erläutert.

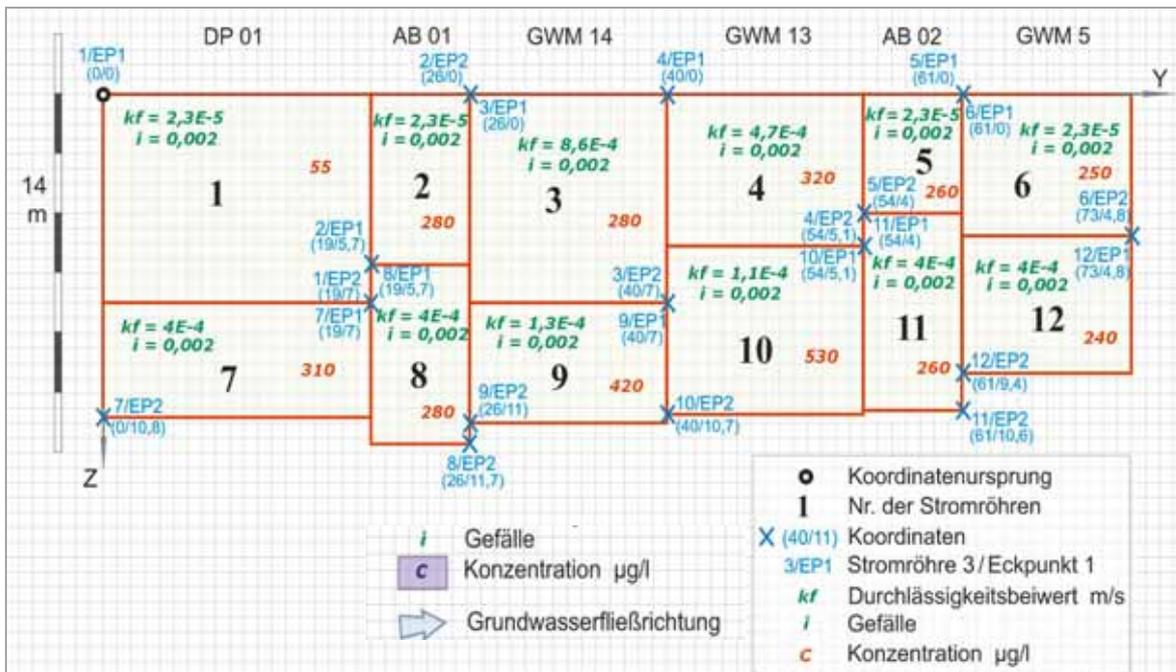


Abb. 23: Definition der Stromröhren in einer Kontrollebene im Grundwasser (s. a. Kap. 8.3.4).

8.3 Anhang 3: Fallbeispiele

Bei den Fallbeispielen handelt es sich um reale Fälle, die zum Zwecke der Anonymisierung und Verbesserung der Demonstrationseignung verändert wurden. Für die Berechnung und Bewertung wird das Excel-Programm ElKriBaG-x (Ermessensleitende Kriterien bei der Bearbeitung alllastbedingter Grundwassergefahren und -schäden mit Excel) verwendet. ElKriBaG-x soll eine einfache Handhabung der Vorgehensweise ermöglichen. Eine detaillierte Benutzungsanleitung findet sich im Kapitel 8.6.

8.3.1 Fallbeispiel 1 (FG-I/Gefahr)

Es handelt sich um eine größere Fläche mit Bauerschließungsland, auf der im Zuge der Vorerkundung mehrere Einzelflächen mit Bauschuttauffüllungen und bauschutttypischen Sulfatbelastungen des Eluates festgestellt wurden.

Die Flächen werden mit Hilfe des Leitfadens auf die Notwendigkeit weiterer Untersuchungs- oder Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen bewertet.

8.3.1.1 Fallbeispiel 1a

Standortbeschreibung

Wie aus Abbildung 24 ersichtlich, handelt es sich bei der etwa rechteckförmigen Fläche D um eine ehemalige bis 1,5 m u. GOK eingetiefte Sandgrube (Trockenabbau), die mit Erdaushub und Bauschutt verfüllt wurde.

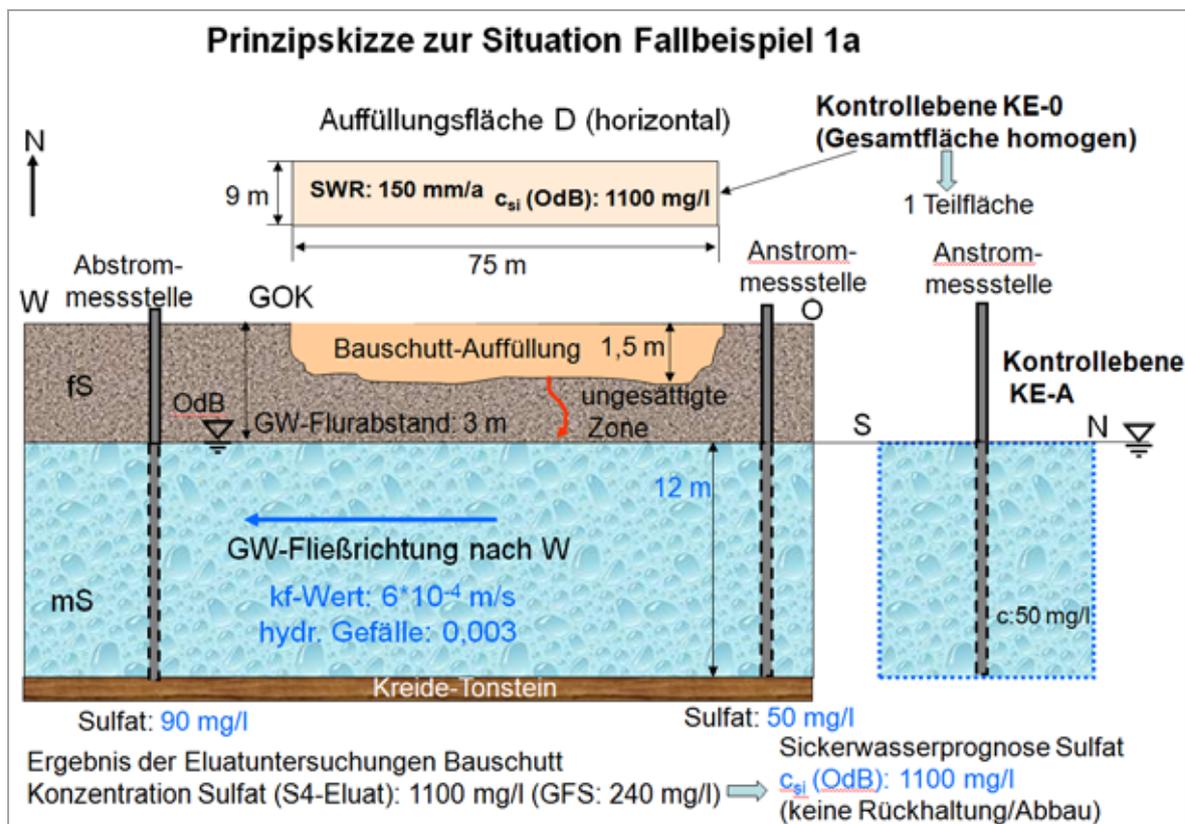


Abb. 24: Prinzipiskizze der Standortsituation für Fallbeispiel 1a.

Die Länge der Auffüllungsfläche beträgt ca. 75 m, die Breite ca. 9 m. Die lange Seite der Fläche verläuft in O-W-Richtung. Aufgrund der bekannten Auffüllungsproblematik wurden im Bauerschließungsgebiet zur Klärung der lokalen geologischen und hydrogeologischen Situation und zur Beweissicherung mehrere Grundwassermessstellen eingerichtet. Die Messstellen sind über die gesamte Aquifermächtigkeit verfiltert. Die typische Schichtabfolge am Standort besteht aus quartären Ablagerungen mit oberflächennahen Feinsanden, die zur Tiefe in Mittel- bis Grobsande übergehen. Die Basis der quartären Ablagerungen wird von einem gering durchlässigen kreidezeitlichen Tonstein gebildet. Der Grundwasserflurabstand beträgt im Mittel 3 m. Der Grundwasserleiter ist ca. 12 m mächtig und weist einen mittleren kf-Wert von $6 \cdot 10^{-4}$ m/s auf (aus Korngrößenanalysen abgeschätzt). Das Grundwasser fließt von O nach W mit einem Gefälle von 0,003. Die Grundwasserneubildung am Standort wurde mit 150 mm/a abgeschätzt.

An den aus der Auffüllung entnommenen Proben wurden Feststoff- und Eluatuntersuchungen durchgeführt. Die Eluatanalysen ergaben bauschuttypische Belastungen des Eluates mit Sulfat, die im Maximum 1100 mg/l erreichen. Die Beprobung der Grundwassermessstellen ergab für Sulfat eine Anstromkonzentration von 50 mg/l. Das Grundwasser der abstromig von der Fläche D gelegenen Messstelle zeigt als Folge der Beeinflussung durch die Auffüllung eine leichte Erhöhung der Sulfatkonzentration auf 80–90 mg/l.

Prüfung und Bewertung

Aus der bauschutthaltigen Auffüllung gelangt sulfatbelastetes Sickerwasser in das Grundwasser. Aufgrund der deutlichen Sulfatbelastung des Eluates (Quellkonzentration) und der für Sulfat anzunehmenden fehlenden Rückhalte- und Abbauwirkung ist davon auszugehen, dass die Sulfatkonzentration am Ort der Beurteilung der Quellkonzentration entspricht und damit die GFS für Sulfat (240 mg/l) deutlich überschreitet. Nach geltenden wasserrechtlichen Maßstäben begründet dies einen Gefahrenverdacht. Eine Überschreitung der GFS im Grundwasser (Schaden) wurde bisher allerdings nicht nachgewiesen. Insofern entspricht der Fall der FG-I (Gefahr).

Die Prüfung im Hinblick auf das Überschreiten der Gefahrenschwelle oder der Maßnahmenchwelle erfolgt entsprechend der in Kapitel 6.1 beschriebenen Vorgehensweise. Die Berechnung wird mit dem Excel-Programm ElKriBaG-x durchgeführt. Als relevante Stromröhre für die Kontrollebene KE-0 (OdB) wird die gesamte horizontale Auffüllungsfläche definiert (Abb. 24 und 25). Die relevanten Aquifereigenschaften werden in der Kontrollebene KE-A beschrieben. Dabei wird entsprechend der voll verfilterten Anstrommessstelle eine Stromröhre mit der Breite der Auffüllungsfläche angenommen (Abb. 26).

Prüfschritte Gefahrenschwelle (n. Kap. 6.1.1)

1. maximal zu erwartende Stoffkonzentration im Sickerwasser am OdB: 1100 mg/l,
2. Sickerwasserfracht am OdB: 111 375 g/a,
3. max. zulässige Stoffkonzentration c_{si-max} am OdB: 1198,7 mg/l,
4. max. zulässige Fracht $E_{schwell}$: 136 235 g/a.

Die Bewertung (Abb. 27) ergibt keine Überschreitung der Gefahrenschwelle und damit auch keine Überschreitung der Maßnahmenchwelle. Die Fläche D kann bezüglich des Wirkungspfades Boden – Grundwasser aus der weiteren Bearbeitung als Verdachtsfläche ausgeschlossen werden.

Fallbeispiel 1a: Eingabeparameter für Kontrollebene KE-0

Ermittlung repräsentativer Prüfparameter in Kontrollebene 0 (OdB)

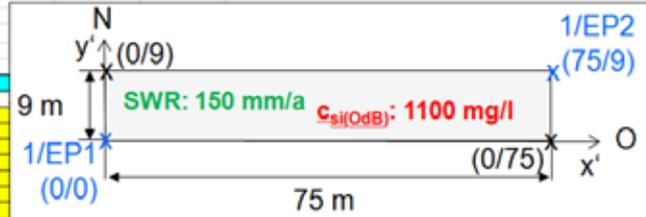
Sickerwasser

Version 1.2

1. Ermittlung der flächenrepräsentativen Parameter

benutzerdefiniertes Koordinatensystem (KSb)

Eingabe-Parameter	Symbol	Einheit	Wert
Strohrenröhre-Nr			1
Messstelle/Sondierung		Auffüllung	
x-Koordinate EP1	x1	m	0,00
y-Koordinate EP1	y1	m	0,00
x-Koordinate EP2	x2	m	75,00
y-Koordinate EP2	y2	m	9,00
Sickerwasserrate	SWR	mm/a	150,00
Konzentration (OdB)	$c_{s(OdB)}$	$\mu\text{g/l}$	1100000,00



Berechnete Parameter	Symbol	Einheit	Wert
x-Abmessung	x_s	m	75,00
y-Abmessung	y_s	m	9,00
Fläche	A	m^2	675,00
Volumenstrom	Q	m^3/a	101,25
Massenfluss	J	$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	165,00
Massenstrom	E	g/a	111375,00

Kontrollebene KE-0	Symbol	Einheit	Wert
Gesamtfläche	A	m^2	675,00
Volumenstrom	Q	m^3/a	101,25
Massenstrom	E	g/a	111375,00
mittl. Sickerwasserrate	SWR_m	m/a	0,15
mittl. Massenfluss	J_m	$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	165,00
mittl. Konzentration	c_m	$\mu\text{g/l}$	1100000,00

2. Ermittlung der Länge in GW-Fließrichtung

geograph. Koordinatensystem (KSg)

positive x-Achse Richtung O/positive y-Achse Richtung N

Drehwinkel von O über N positiv entgegen Uhrzeigersinn



Eingabe-Parameter	Symbol	Einheit	1	2	3	4
Flächen Eckpunkt-Nr						
x-Koordinate	x_k	m	0,00	75,00	75,00	0,00
y-Koordinate	y_k	m	0,00	0,00	9,00	9,00

Kontrollebene KE-0	Symbol	Einheit	Wert
GW-Fließrichtung	GWF		W
Drehwinkel KSb	DW	Grad	0
Länge parallel GW-FR	L	m	75,0
Breite senkrecht GW-FR	B	m	9,0

GW-Fließrichtung W

Drehwinkel KSb gegenüber KSg (0°)

Abb. 25: Beschreibung der Kontrollebene KE-0 mit EIKriBaG-x.

Fallbeispiel 1a: Eingabeparameter für Kontrollebene KE-A

Ermittlung repräsentativer Frachten in Kontrollebene A (Anstrom)

Grundwasser

Version 1.2

Eingabe-Parameter	Symbol	Einheit	1	2	3
Stromröhre-Nr			1	2	3
Messstelle/Sondierung			Anstrom		
y-Koordinate EP1	y1	m	0,00		
z-Koordinate EP1	z1	m	0,00		
y-Koordinate EP2	y2	m	9,00		
z-Koordinate EP2	z2	m	12,00		
kf-Wert	kf	m/s	6,00E-04		
hydr. Gefälle	i	(-)	0,003		
Konzentration	c	µg/l	50000,00		

Berechnete Parameter	Symbol	Einheit	1	2	3
Breite	b	m	9,00	0,00	0,00
Mächtigkeit	d	m	12,00	0,00	0,00
Querschnittsfläche	A	m ²	108,00	0,00	0,00
Filtergeschwindigkeit	vf	m/a	56,76	0,00	0,00
Volumenstrom	Q	m ³ /a	6130,60	0,00	0,00
Massenfluss	J	g/(m ² ·a)	2838,24	0,00	0,00
Massenstrom	E	g/a	306529,92	0,00	0,00

Kontrollebene KE-A	Symbol	Einheit	Wert
Querschnittsfläche	A	m ²	108,00
Breite	B	m	9,00
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	12,00
Volumenstrom	Q	m ³ /a	6130,60
Massenstrom	E	g/a	306529,92
mittl. Filtergeschw.	vf _m	m/a	56,76
mittl. Massenfluss	J _m	g/(m ² ·a)	2838,24
mittl. Konzentration	c _m	µg/l	50000,00

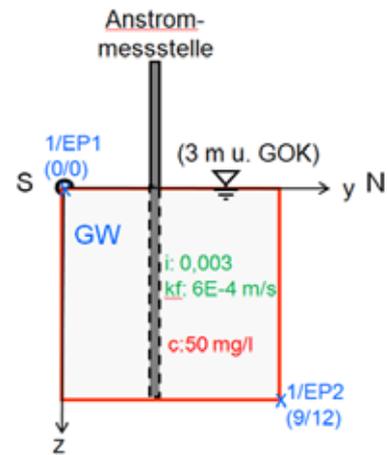


Abb. 26: Beschreibung der Kontrollebene KE-A mit EIKriBaG-x.

Ergebnis der Bewertung für Fallbeispiel 1a

Ermessensleitende Kriterien		Bearbeiter: Engeser			
FG-I: Gefahr		Projekt: Fallbsp. 1a			
gelbe Felder: Eingabefelder		Datum Bearbeit. 11.02.13			
		Version 1.2			
Eingabeparameter	Symbol	Einheit	Wert		
Schadstoff			Sulfat		
GFS	GFS	µg/l	240000,00		
Kontrollebenen			KE-A	KE-0	KE-I
Anzahl Stromröhren	k		1	1	
Fläche	A _{KE}	m ²	108,00	675,00	
Länge parallel GW-Fließrichtung	L _{KE}	m		75,0	
Breite senkrecht GW-Fließrichtung	B _{KE}	m	9,00	9,0	
mittl. Sickerwasserrate	SWR _m	m/a		0,150	
mittl. Stoffkonzentration im Sickerwasser am OdB	C _{si(OdB)}	µg/l		1100000,0	
Sickerwasserfracht am OdB	E _{si(OdB)}	g/a		111375,0	
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	12,00		
mittl. Filtergeschwindigkeit	v _f	m/a	56,76		
mittl. Schadstoffkonzentration	c _m	µg/l	50000,00		
Gefahrschwelle (GS)			KE-0	KE-I	
Mächtigkeit der Einmischzone	d _{mix}	m		1,0	
Standortfaktor	SF	(-)		5,05	
Einmischfaktor	EF	(-)		4,99	
maximal zulässige Stoffkonz. im Sickerwasser	C _{si-max}	µg/l		1198694,4	
resultierende Konzentration im GW	C _{gw}	µg/l		223675,4	
Schwellenfracht	E _{schwell}	g/a		136235,5	
Bewertung		Ergebnis			
C _{si(OdB)} ≤ C _{si-max}		ja			
B _q ≤ 10 m		ja			
E _{si(OdB)} ≤ E _{schwell}		ja			
Gefahrschwelle überschritten?		nein			
Maßnahmenschwelle (MS-G)			KE-0	KE-I	
Mächtigkeit der Einmischzone	d _{mix}	m		12,0	
Standortfaktor	SF	(-)		60,55	
Einmischfaktor	EF	(-)		48,93	
maximal zulässige Stoffkonz. im Sickerwasser	C _{si-max}	µg/l		11744332,8	
resultierende Konzentration im GW	C _{gw}	µg/l		67059,5	
geringe Fracht	E _{ger}	g/a		47682432,0	
Bewertung		Ergebnis			
C _{si(OdB)} ≤ C _{si-max}		ja			
B _q ≤ 100 m		ja			
E _{si(OdB)} ≤ E _{ger}		ja			
Maßnahmenschwelle überschritten?		nein			

Trotz deutlicher Belastung des Eluates mit Sulfat (1100 mg/l) und Überschreitung der GFS (Sulfat: 240 mg/l) am OdB ergibt sich keine Überschreitung der Gefahrschwelle. **Da keine Gefahr für das Grundwasser vorliegt, kann der Fall aus der weiteren Bearbeitung ausgeschieden werden.**

Abb. 27: Ergebnis der Bewertung im Hinblick auf Gefahrschwelle und Maßnahmenschwelle (MS-G) für das Fallbeispiel 1a mit EIKriBaG-x.

8.3.1.2 Fallbeispiel 1b

Standortbeschreibung

Wie aus Abbildung 28 ersichtlich, handelt es sich bei der Fläche B ebenfalls um eine ehemalige bis 2 m u. GOK eingetiefte Sandgrube (Trockenabbau), die mit Erdaushub und Bauschutt verfüllt wurde.

Die Fläche mit elliptischem Umriss ist mit ihrer großen Achse (250 m) nach NW in Fließrichtung des Grundwassers orientiert. Die Länge der kleinen Achse quer zur Grundwasserfließrichtung beträgt 70 m. Die geologische und hydrogeologische Situation entspricht weitgehend dem Fallbeispiel 1a.

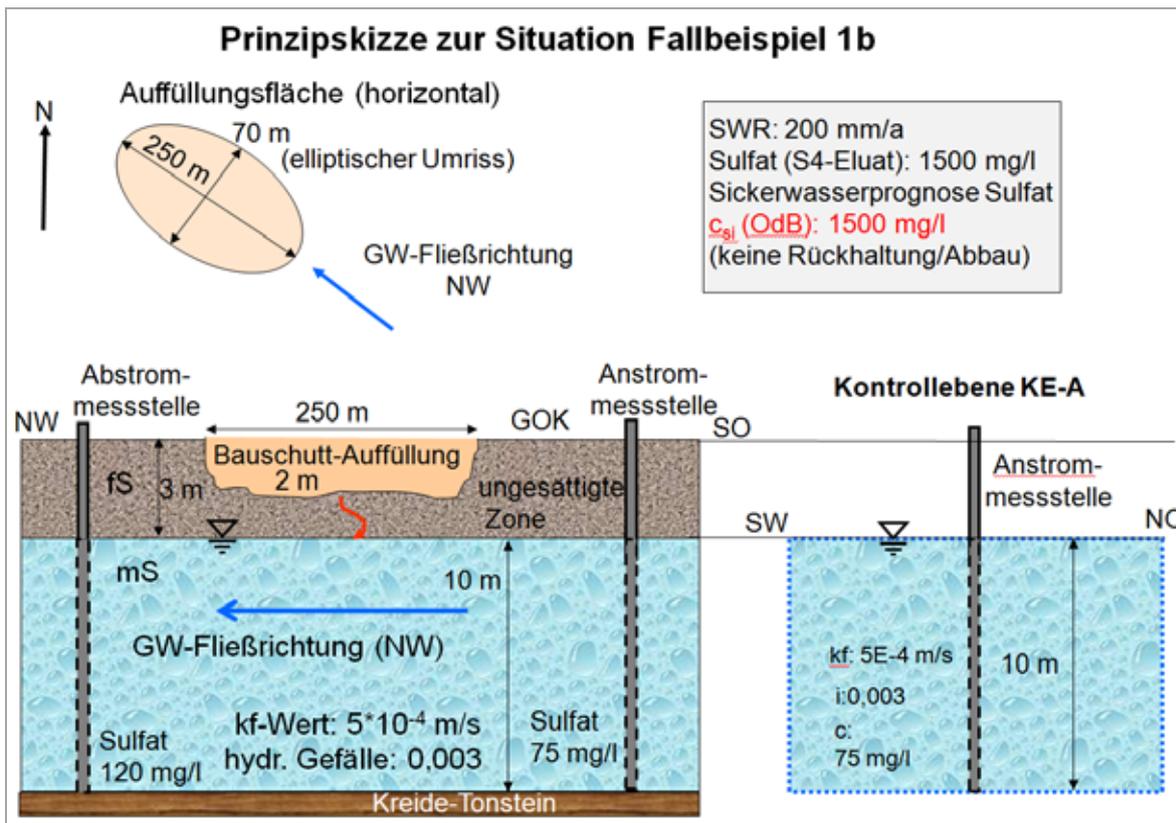


Abb. 28: Prinzipskizze der Standortsituation für Fallbeispiel 1b.

Der Grundwasserflurabstand beträgt im Mittel 3 m. Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters ist etwas geringer als im Fallbeispiel 1a und beträgt ca. 10 m. Der mittlere kf-Wert liegt bei $5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Das hydraulische Gefälle liegt bei 0,003. Die Grundwasserneubildung am Standort wurde mit 200 mm/a abgeschätzt.

Die Eluatanalysen ergaben Sulfatkonzentrationen, die im Maximum 1500 mg/l (ungefähre Löslichkeit von Gips) erreichen. Das abstromige Grundwasser weist gegenüber dem Anstrom (75 mg/l) deutlich erhöhte Sulfatkonzentrationen (120 mg/l) auf.

Prüfung und Bewertung

Analog zur Situation bei der Fläche D ist davon auszugehen, dass auch von der Fläche B sulfatbelastetes Sickerwasser in das Grundwasser eingetragen wird. Trotz der deutlichen Sulfatbelastung des Eluates und der erheblich größeren Fläche wurde im Grundwasser bisher keine Überschreitung der GFS (Schaden)

nachgewiesen. Insofern entspricht auch das Fallbeispiel 1b der Fallgestaltung I (Gefahr).

Die Prüfung im Hinblick auf das Überschreiten der Gefahrenschwelle bzw. der Maßnahmenchwelle erfolgt entsprechend der im Kapitel 6.1 beschriebenen Vorgehensweise. Für die Berechnung wird das Excel-Programm EIKriBaG-x verwendet.

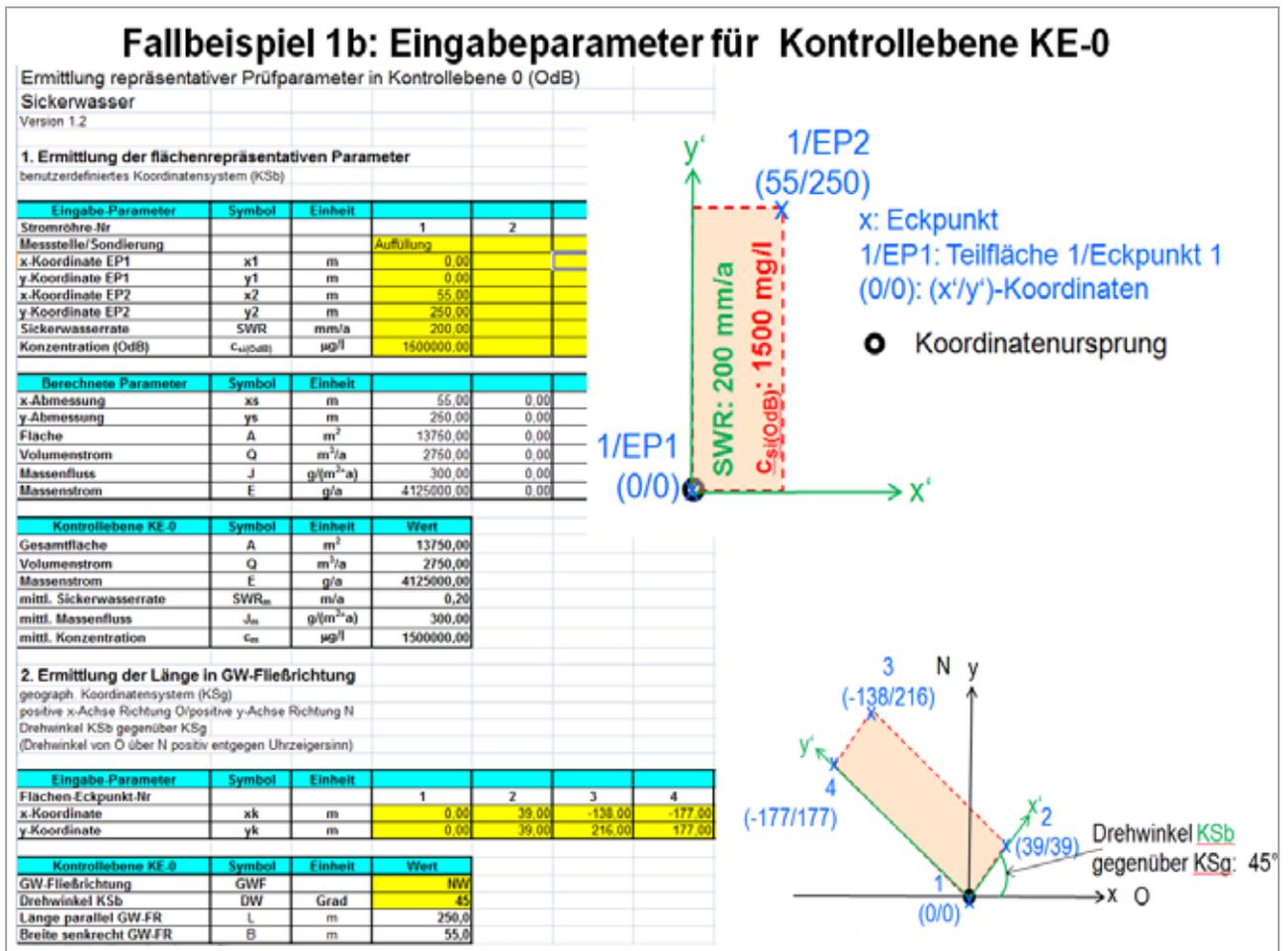


Abb. 29: Beschreibung der Kontrollebene KE-0 mit EIKriBaG-x.

Als relevante Stromröhre für die Kontrollebene KE-0 (OdB) wird die gesamte horizontale Auffüllungsfläche herangezogen. Da in EIKriBaG-x nur rechteckförmige Stromröhren eingegeben werden können, muss die elliptische Fläche durch eine Rechtecksfläche approximiert werden. Im Grundsatz stehen dafür bis zu 30 Stromröhren zur Verfügung. Im vorliegenden

Fall wird aus Gründen der Vereinfachung nur eine äquivalente rechteckförmige Stromröhre mit dem Flächeninhalt und der Länge der Ellipse verwendet. Daraus resultiert eine äquivalente Breite der Stromröhre von 55 m (Abb. 29). Die relevanten Aquifereigenschaften werden in der Kontrollebene KE-A definiert. Da nur eine (voll verfiltrierte) Anstrommessstelle zur Verfü-

gung steht, wird angenommen, dass diese für den gesamten Anstromquerschnitt (Breite senkrecht zur Grundwasserfließrichtung 55 m in Abb. 29) repräsentativ ist (Abb. 30).

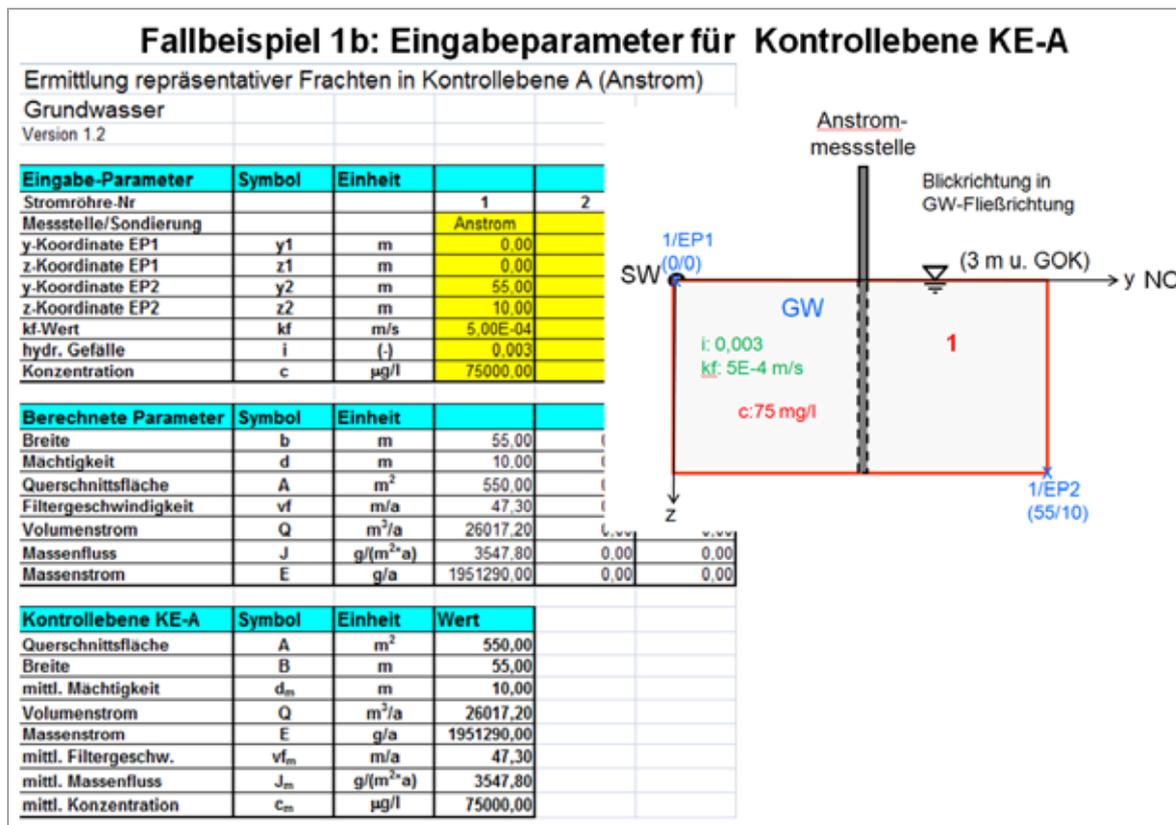


Abb. 30: Beschreibung der Kontrollebene KE-A mit EIKriBaG-x.

Prüfschritte Gefahrenschwelle (n. Kap. 6.1.1)

1. maximal zu erwartende Stoffkonzentration im Sickerwasser am OdB: 1500 mg/l,
2. Sickerwasserfracht am OdB: 4125,0 kg/a,
3. max. zulässige Stoffkonzentration c_{si-max} am OdB: 396,1 mg/l,
4. max. zulässige Fracht $E_{Schwell}$: 113529,6 g/a.

Die Bewertung (Abb. 31) ergibt eine Überschreitung der Gefahrenschwelle. Daher ist zu prüfen, ob auch die Maßnahmenschwelle überschritten wird.

Ermessensleitende Kriterien FG-I: Gefahr		Bearbeiter: Engeser			
gelbe Felder: Eingabefelder		Projekt: Fallbsp.1b			
		Datum Bearbeit.: 30.01.12			
Eingabeparameter	Symbol	Einheit	Wert		
Schadstoff			Sulfat		
GFS	GFS	µg/l	240000,00		
Kontrollebenen			KE-A	KE-0	KE-I
Anzahl Stromröhren	k		1	1	1
Quellfläche (horizontal)	A _q	m ²		13750,00	
Länge in GW-Fließrichtung	L _q	m		250,0	
Breite quer zur GW-Fließrichtung	B _q	m		55,0	
Sickerwasserrate	SWR	m/a		0,200	
Stoffkonzentration im Sickerwasser am OdB	C _{si(OdB)}	µg/l		1500000,0	
Sickerwasserfracht am OdB	E _{si(OdB)}	g/a		4125000,0	
Aquifermächtigkeit (oberster GWL)	d _{aq}	m	10,00		
Filtergeschwindigkeit	v _f	m/a	47,30		
Anstromkonzentration	c _{an}	µg/l	75000,00		
Gefahrenschwelle (GS)				KE-0	KE-I
Mächtigkeit der Einmischzone	d _{mix}	m			1,0
Standortfaktor	SF	(-)		0,95	
Einmischfaktor	EF	(-)		1,65	
maximal zulässige Stoffkonz. im Sickerwasser	C _{si-max}	µg/l		396103,2	
Schwellenfracht	E _{schwell}	g/a		113529,6	
Bewertung	Ergebnis				
C _{si(OdB)} ≤ C _{si-max}	nein				
B _q ≤ 10 m	nein				
E _{si(OdB)} ≤ E _{schwell}	nein				
Gefahrenschwelle überschritten?	ja				
Maßnahmenschwelle (MS-G)				KE-0	KE-I
Mächtigkeit der Einmischzone	d _{mix}	m			10,0
Standortfaktor	SF	(-)		9,46	
Einmischfaktor	EF	(-)		7,50	
maximal zulässige Stoffkonz. im Sickerwasser	C _{si-max}	µg/l		1801032,0	
geringe Fracht	E _{ger}	g/a		39735360,0	
Bewertung	Ergebnis				
C _{si(OdB)} ≤ C _{si-max}	ja				
B _q ≤ 100 m	ja				
E _{si(OdB)} ≤ E _{ger}	ja				
Maßnahmenschwelle überschritten?	nein				

Abb. 31: Ergebnis der Bewertung im Hinblick auf Gefahrenschwelle und Maßnahmenschwelle (MS-G) für das Fallbeispiel 1b mit EIKriBaG-x.

Prüfschritte Maßnahmenschwelle (MS-G) (n. Kap. 6.1.2)

1. maximal zu erwartende Stoffkonzentration im Sickerwasser am OdB: 1500 mg/l,
2. Sickerwasserfracht am OdB: 4125,0 kg/a,
3. max. zulässige Stoffkonzentration C_{si-max} am OdB: 1801,0 mg/l,
4. max. zulässige Fracht E_{ger}: 39735,4 kg/a.

Die Maßnahmenschwelle wird nicht überschritten. Auf die Durchführung weiterer Untersuchungs- oder Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen kann trotz der festgestellten Gefahr verzichtet werden.

8.3.2 Fallbeispiel 2 (FG-II/Schaden)

Standortbeschreibung

Wie aus Abbildung 32 ersichtlich, handelt es sich um einen ehemaligen Nassabbau von Sand, der mit Bodenmaterial aus einem Hüttenwerksgelände verfüllt wurde. Die Länge der Auffüllungsfläche beträgt ca. 45 m, die Breite ca. 8 m. Die lange Seite der ungefähr rechteckförmigen Fläche verläuft in O-W-Richtung. Die Fläche ist Teil eines größeren Parkplatzareals und komplett mit einer Asphaltdecke versiegelt. Der untere Teil der Auffüllung (ca. 0,5 m) liegt im gesättigten Bereich. Die typische Schichtabfolge am Standort besteht aus quartären Ablagerungen mit oberflächennahen Feinsanden, die zur Tiefe in Mittel- bis Grobsande übergehen. Die Basis des oberen Grundwasserleiters wird von einem gering durchlässigen Geschiebelehm gebildet. Der Grundwasserflurabstand beträgt im Mittel 3 m. Der obere Grundwasserleiter ist im Mittel 3 m mächtig und weist einen mittleren kf-Wert von $5,3 \cdot 10^{-4}$ m/s auf (aus Korngrößenanalysen abgeschätzt). Das Grundwasser fließt von W nach O mit einem

Gefälle von 0,003. Die Grundwasserneubildung am Standort kann wegen der vorhandenen Versiegelung vernachlässigt werden.

Aufgrund von Hinweisen auf erhöhte Kupferkonzentrationen in einem ca. 200 m entfernten Gartenbrunnen im Abstrom wurden mehrere Proben aus dem Auffüllungsbereich entnommen und Feststoff- sowie Eluatuntersuchungen durchgeführt. Dabei wurde eine Kupferbelastung des Bodenmaterials festgestellt. Im S4-Eluat wurden Kupferkonzentrationen zwischen 50 und 80 µg/l gemessen. Daher wurden unmittelbar abstromseitig der Auffüllung drei DP-Sondierungen mit Grundwasserprobenahme in jeweils zwei Tiefenlagen (Filterstrecke 0,5 m) durchgeführt.

Dabei wurde im zentralen Abstrom des Standortes (DP1) eine leichte Überschreitung der GFS für Kupfer (21 µg/l) festgestellt, die sich allerdings auf den oberen Teil des Aquifers beschränkt (s. Tab. in Abb. 32). Die Hintergrundkonzentration für Kupfer wurde mit Hilfe eines weiter entfernten Entnahmehrunnens mit 5 µg/l abgeschätzt.

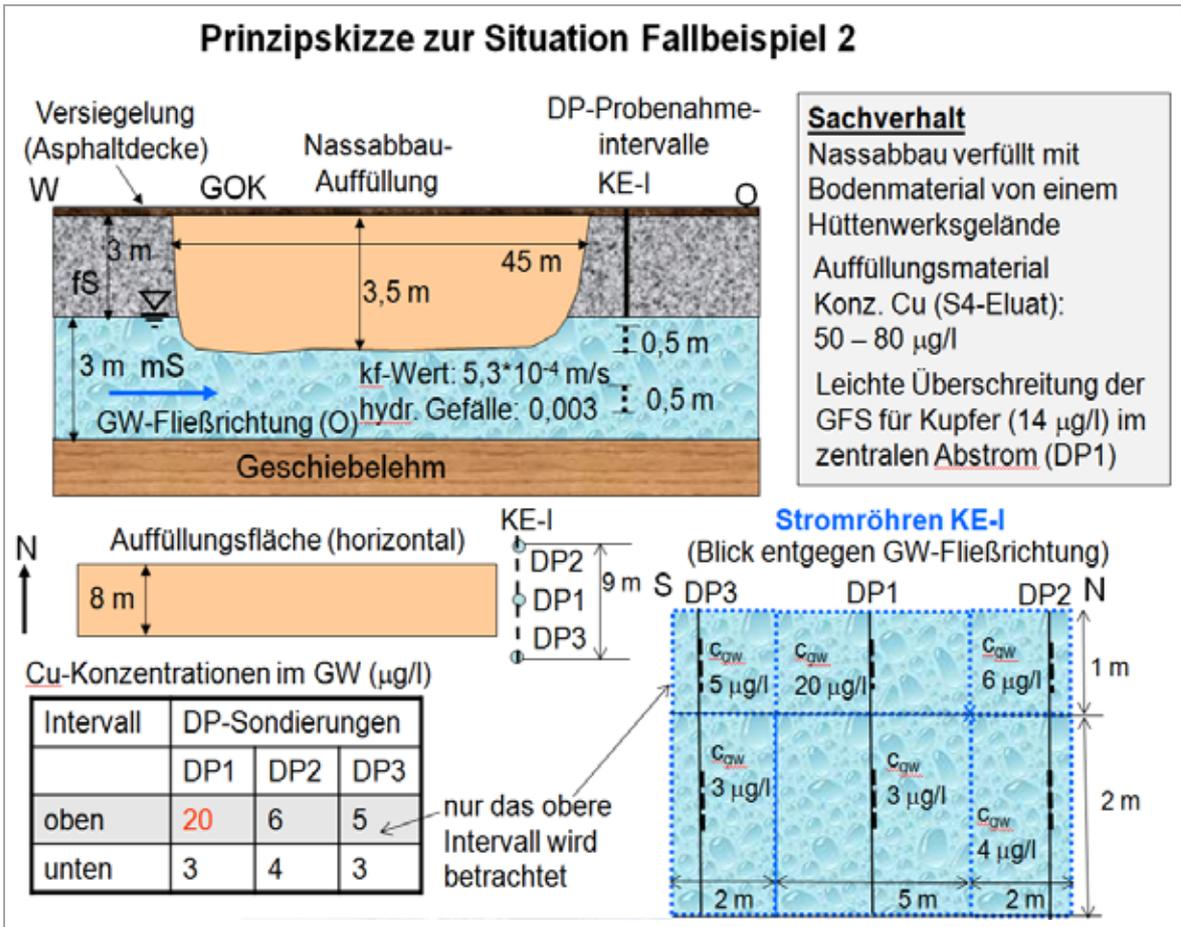


Abb. 32: Standortsituation für Fallbeispiel 2.

Prüfung und Bewertung

Nach wasserrechtlichen Maßstäben liegt im abstromigen Grundwasser der Auffüllung eine räumlich eng begrenzte Überschreitung der GFS vor. Aufgrund der Belastung des Eluates ist nicht auszuschließen, dass dies auf die Durchströmung der Basis der Auffüllung mit Grundwasser zurückzuführen ist. Insofern entspricht der Fall der FG-IIb (Schaden).

Die Prüfung im Hinblick auf das Überschreiten der Schadensschwelle oder der Maßnahmen-schwelle (MS-S) erfolgt entsprechend der in Kapitel 6.2.1 beschriebenen Vorgehensweise. Die Abschätzung der über den Abstromquerschnitt der KE-I gemittelten Konzentration und Fracht wird mit Hilfe eines Stromröhrenmodells durchgeführt (Abb. 33). Für die Betrachtung wird nur der obere Abschnitt des Aquifers herangezogen.

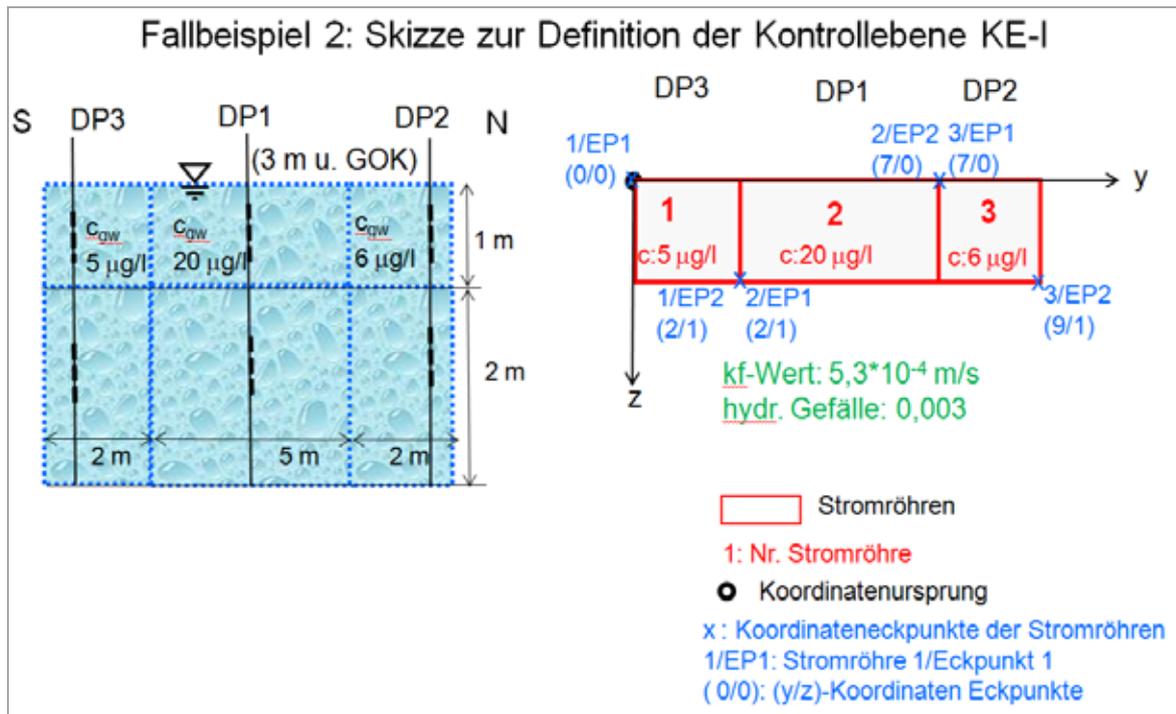


Abb. 33: Stromröhrenmodell für das Fallbeispiel 2 (Schadensschwelle).

Die Berechnung und Bewertung erfolgt mit dem Excel-Programm EIKriBaG-x (Abb. 34 und 35).

Prüfschritte Schadensschwelle (n. Kap. 6.2.1)

- 1a) abströmende Fracht in KE-I: 6,12 g/a,
- 1b) mittlere Stoffkonzentration in KE-I: 13,56 µg/l,
2. max. zulässige Fracht E_{schwell} : 7,0 g/a.

Die Bewertung (Abb. 35) ergibt keine Überschreitung der Schadensschwelle und damit auch keine Überschreitung der Maßnahmenschwelle. Die Fläche kann aus der weiteren Bearbeitung als Verdachtsfläche ausgeschieden werden. (Bei einer im Anschluss an die Untersuchungen durchgeführten Überprüfung des Gartenbrunnens stellte sich heraus, dass die Kupferbelastung durch den Brunnenausbau verursacht war).

Ergebnis der Bewertung für Fallbeispiel 2

Ermessensleitende Kriterien FG-II: Schaden		Bearbeiter: Engeser Projekt: Fallbsp. 2		
gelbe Felder: Eingabefelder		Datum Bearbeit.:	11.02.13	
		Version	1.2	
Eingabeparameter	Symbol	Einheit	Wert	
Schadstoff			Kupfer	
GFS	GFS	µg/l	14,00	
Kontrollebenen			KE-I	KE-II
Anzahl Stromröhren	k		3	0
Fläche	A _{KE}		9,00	0,00
Breite	B _{KE}	m	9,00	0,00
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	1,00	0,00
abströmende Fracht	E _{gw}	g/a	6,12	0,00
mittl. Filtergeschwindigkeit	v _f	m/a	50,14	0,00
mittl. Schadstoffkonzentration	c _m	µg/l	13,56	0,00
Schadensschwelle	Symbol	Einheit	KE-I	
Schwellenfracht	E _{schwell}	g/a	7,0	
Bewertung	Ergebnis			
B(KE-I) ≤ 10 m	ja			
E _{gw} (KE-I) ≤ E _{schwell}	ja			
c _{gw} (KE-I) ≤ GFS	ja			
Schadensschwelle überschritten?	nein			
Maßnahmenschwelle (MS-S)	Symbol	Einheit	KE-I	KE-II
geringe Fracht	E _{ger}	g/a	2457,0	0,0
Bewertung	Ergebnis			
Regelfall (KE-I)				
B(KE-I) ≤ 100 m	ja			
E _{gw} (KE-I) ≤ Eger	ja			
c _{gw} (KE-I) ≤ GFS	ja			
Maßnahmenschwelle überschritten?	nein			
Ausnahmefall (KE-II)				
B(KE-II) ≤ 100 m	k.B.			
E _{gw} (KE-II) ≤ Eger	k.B.			
c _{gw} (KE-II) ≤ GFS	k.B.			
Maßnahmenschwelle überschritten?	k.B.			

Abb. 35: Ergebnis der Bewertung im Hinblick auf die Schadensschwelle für das Fallbeispiel 2 mit EIKriBaG-x.

8.3.3 Fallbeispiel 3 (FG-II/Schaden)

Standortbeschreibung

Wie aus Abbildung 36 ersichtlich, handelt es sich um ein größeres Areal eines metallverarbeitenden Betriebes, auf dem es infolge des Einsatzes von LCKW (hauptsächlich Tetrachlorethen) als Entfettungsmittel zu Einträgen in den Untergrund kam, die zu einer gravierenden Verunreinigung des Grundwassers im

Abstrom der Eintragsbereiche führte. Im westlichen Abstrom des Betriebsgeländes befindet sich eine Kleingartenanlage mit zahlreichen Gartenbrunnen, deren Nutzung aufgrund der Verunreinigung des Grundwassers mit LCKW eingeschränkt werden musste. Auf dem Betriebsgrundstück selbst findet keine Nutzung des Grundwassers statt. Es sind auch keine Oberflächengewässer auf dem Betriebsgrundstück vorhanden.

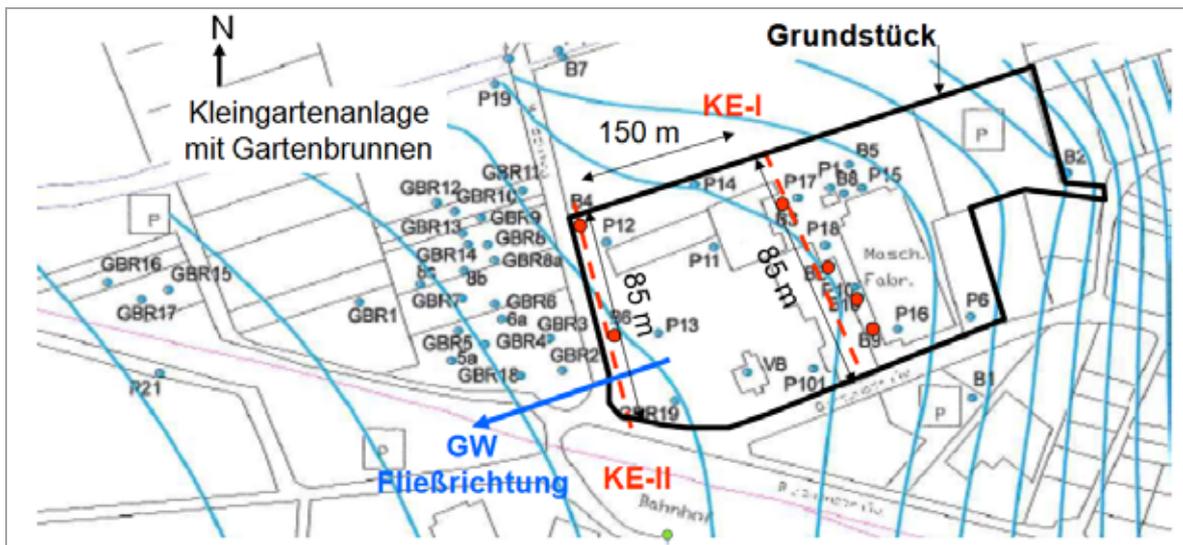


Abb. 36: Standortsituation für Fallbeispiel 3.

Der Schaden auf dem Betriebsgelände konnte durch eine mehrjährige Bodenluftabsaugung in Kombination mit einer hydraulischen Maßnahme im Grundwasser (Pump-&-Treat-Verfahren) erfolgreich saniert werden. Die Sanierungsmaßnahmen wurden nach acht Jahren aufgrund von Verhältnismäßigkeitsbetrachtungen eingestellt. Daran anschließend folgte eine mehrjährige Nachsorgephase mit begleitendem Monitoring.

Die typische hydrogeologische Situation am Standort ist aus Abbildung 37 (Schnitt in KE-I quer zur Grundwasserfließrichtung) ersichtlich. Danach liegen unter Auffüllungen schwankender Mächtigkeit ca. 2–3 m mächtige Ablagerungen aus Auelehm, die von 4–6 m mächtigen grundwasserführenden Sanden und Kiesen unterlagert werden. Die Basis des Aquifers wird durch einen Tonstein gebildet. In Zeiten höherer Grundwasserstände im Frühjahr ist das Grundwasser gespannt. Die Fließrichtung des Grundwassers ist nach WSW orientiert.

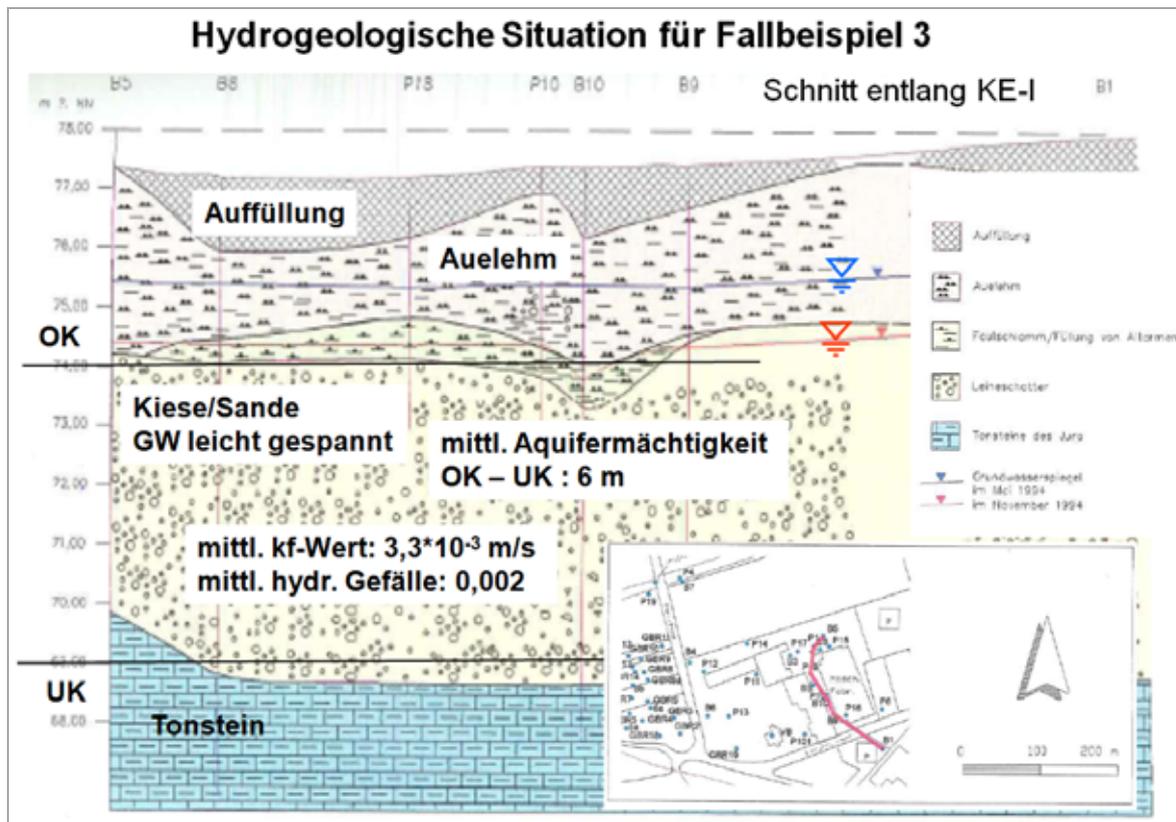


Abb. 37: Hydrogeologische Situation für Fallbeispiel 3.

Für die Bewertung werden die Brunnen in den Kontrollebenen KE-I (unmittelbarer Abstrom) und KE-II (abstromseitige Grundstücksgrenze ca. 150 m Abstand von KE-I) entsprechend Abbildung 36 herangezogen.

Prüfung und Bewertung

Die seinerzeit von der zuständigen Behörde getroffene Entscheidung, die Sanierungsmaßnahmen aus Verhältnismäßigkeitsgründen zu beenden, wird auf Grundlage der ermessens-

leitenden Kriterien geprüft und bewertet. Entsprechend der Situationsbeschreibung handelt es sich um einen Grundwasserschaden (FG-II). Die Abschätzung der über die Abstromquerschnitte der Kontrollebenen KE-I und KE-II gemittelten Konzentrationen und Frachten wird mit Hilfe eines Stromröhrenmodells durchgeführt (Abb. 38–41). Die Stromröhren wurden entsprechend den vorhandenen Grundwassermessstellen in den Kontrollebenen KE-I und KE-II konstruiert. Die Beschreibung und Berechnung erfolgt mit dem Excel-Programm EIKriBaG-x (Tabellenblatt KE-I).

Fallbeispiel 3: Skizze zur Definition der Kontrollebene KE-I

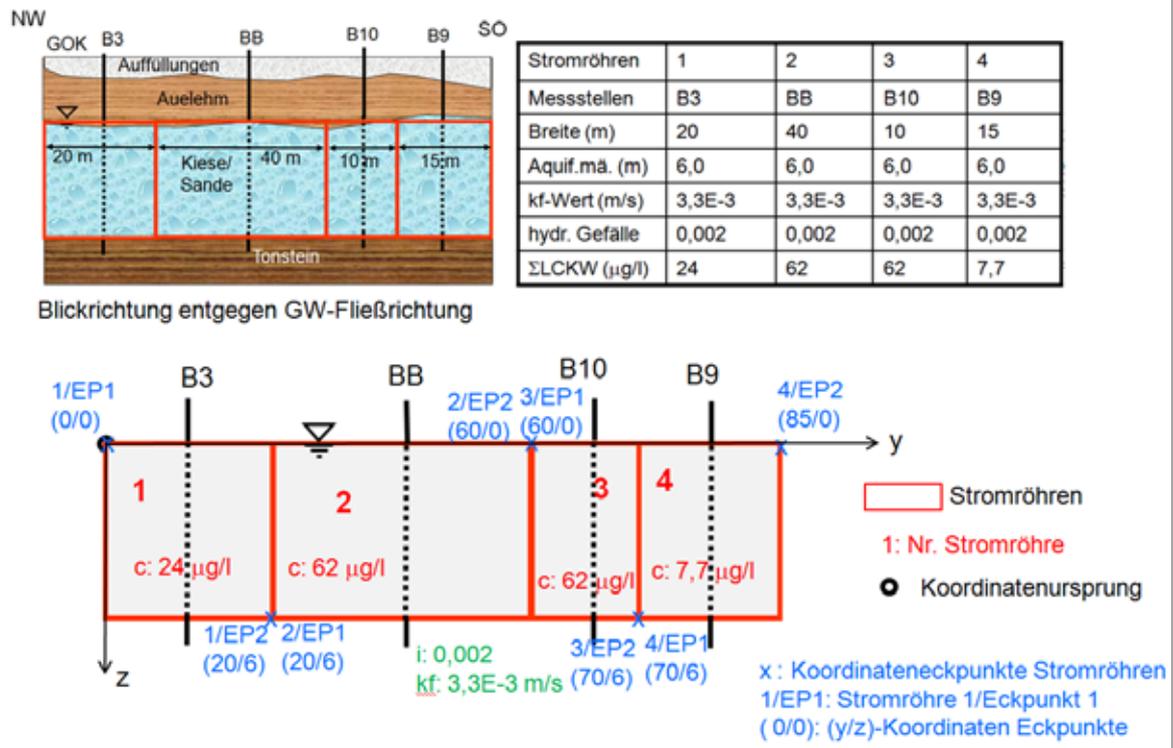


Abb. 38: Stromröhrenmodell (KE-I) für das Fallbeispiel 3.

Fallbeispiel 3: Eingabeparameter für Kontrollebene KE-I

Ermittlung repräsentativer Prüfparameter in Kontrollebene I (Abstrom Quelle)

Grundwasser

Version 1.2

Eingabe-Parameter	Symbol	Einheit	1	2	3	4	5
Stromröhre-Nr							
Messstelle/Sondierung			B3	BB	B10	B9	
y-Koordinate EP1	y1	m	0,00	20,00	60,00	70,00	
z-Koordinate EP1	z1	m	0,00	6,00	0,00	6,00	
y-Koordinate EP2	y2	m	20,00	60,00	70,00	85,00	
z-Koordinate EP2	z2	m	6,00	0,00	6,00	0,00	
kf-Wert	kf	m/s	3,30E-03	3,30E-03	3,30E-03	3,30E-03	
hydr. Gefälle	i	(-)	0,002	0,002	0,002	0,002	
Konzentration	c	µg/l	24,00	62,00	62,00	7,70	

Berechnete Parameter	Symbol	Einheit					
Breite	b	m	20,00	40,00	10,00	15,00	0,00
Mächtigkeit	d	m	6,00	6,00	6,00	6,00	0,00
Querschnittsfläche	A	m ²	120,00	240,00	60,00	90,00	0,00
Filtergeschwindigkeit	vf	m/a	208,14	208,14	208,14	208,14	0,00
Volumenstrom	Q	m ³ /a	24976,51	49953,02	12488,26	18732,38	0,00
Massenfluss	J	g/(m ² a)	5,00	12,90	12,90	1,60	0,00
Massenstrom	E	g/a	599,44	3097,09	774,27	144,24	0,00

Kontrollebene KE-I	Symbol	Einheit	Wert
Querschnittsfläche	A	m ²	510,00
Breite	B	m	85,00
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	6,00
Volumenstrom	Q	m ³ /a	106150,18
Massenstrom	E	g/a	4615,04
mittl. Filtergeschw.	v _{f,m}	m/a	208,14
mittl. Massenfluss	J _m	g/(m ² a)	9,05
mittl. Konzentration	c _m	µg/l	43,48

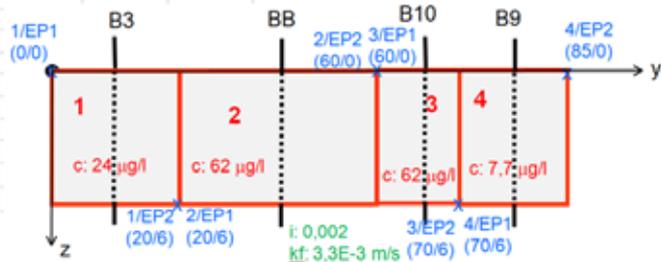


Abb. 39: Beschreibung der Kontrollebene I mit EIKriBaG-x.

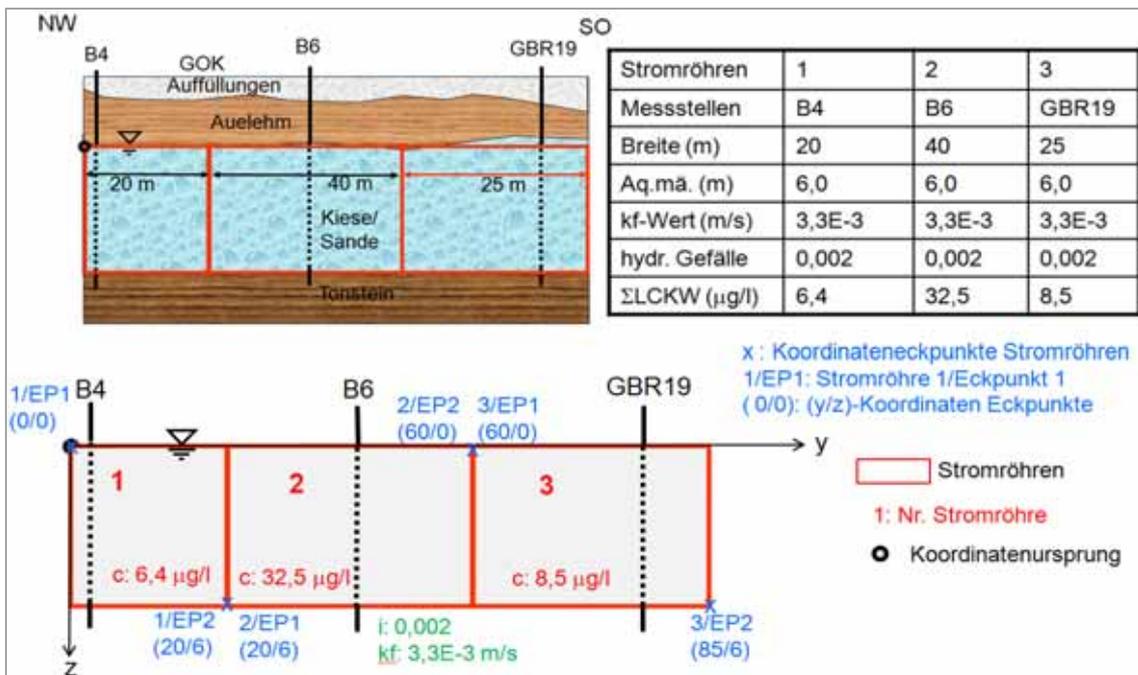


Abb. 40: Stromröhrenmodell (KE-II) für das Fallbeispiel 3.

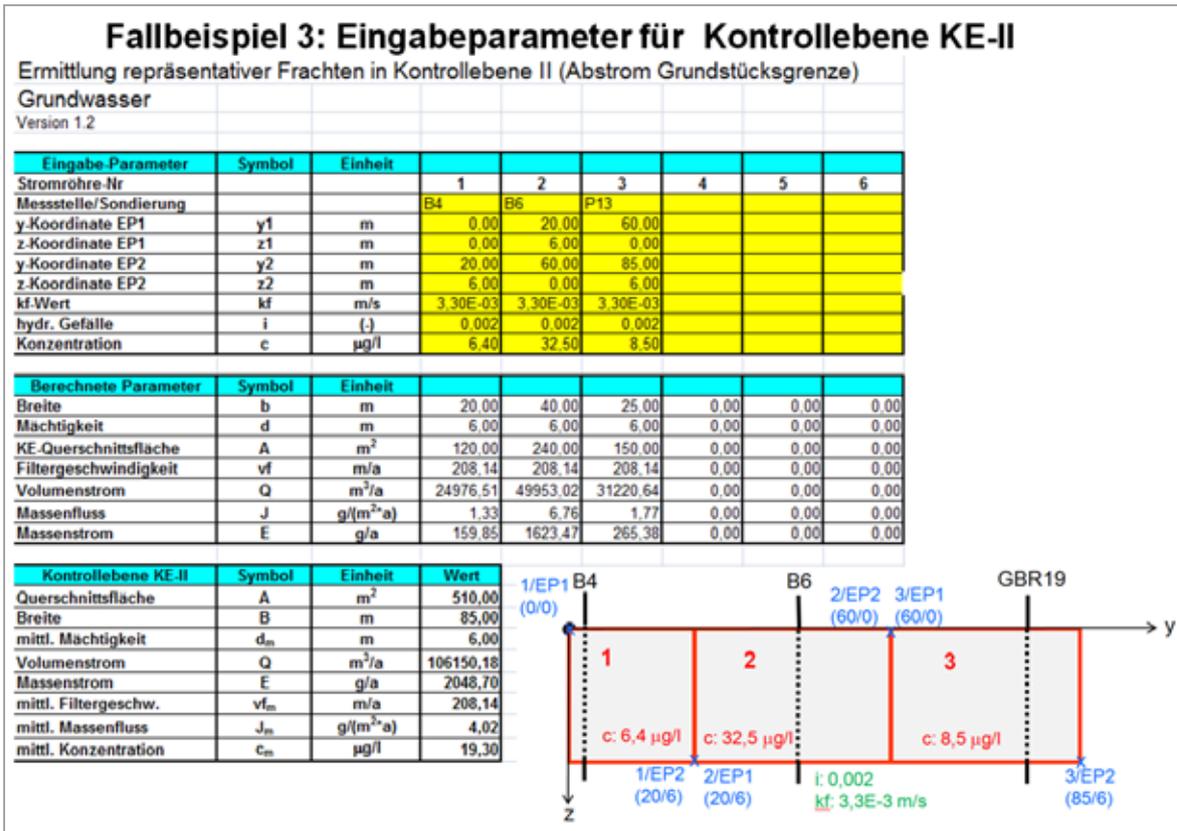


Abb. 41: Beschreibung der Kontrollebene II mit EIKriBaG-x.

Prüfschritte Schadensschwelle (n. Kap. 6.2.1)

- 1a) abströmende Fracht in KE-I : 4615,0 g/a,
- 1b) mittlere Stoffkonzentration in KE-I:
43,48 µg/l,
2. max. zulässige Fracht E_{schwell} : 41,6 g/a.

Die Bewertung (Abb. 42) ergibt eine deutliche Überschreitung der Schadensschwelle. Daher ist zu prüfen, ob auch die Maßnahmenschwelle überschritten wird.

Prüfschritte Maßnahmenschwelle (MS-S) (n. Kap. 6.2.2)

- Regelfall (Beurteilungsebene KE-I)
- 1a) abströmende Fracht in KE-I : 4615 g/a,
 - 1b) mittlere Stoffkonzentration in KE-I:
43,48 µg/l,
 2. max. zulässige Fracht E_{ger} : 14569,6 g/a.

Die Bewertung ergibt eine Überschreitung der Maßnahmenschwelle (Abb. 42) für die Kontrollebene KE-I. Es wird daher geprüft, ob an der Grundstücksgrenze (KE-II) die Maßnahmenschwelle eingehalten wird. In der KE-II stehen nur drei Grundwassermessstellen für die Konstruktion eines Stromröhrenmodells zur Verfügung (Abb. 40). Die Beschreibung und Berechnung erfolgt mit dem Tabellenblatt KE-II des Excel-Programmes EIKriBaG-x (Abb. 41).

Ausnahmefall (Beurteilungsebene KE-II)

- 1a) abströmende Fracht in KE-II : 2048,7 g/a,
- 1b) mittlere Stoffkonzentration in KE-I:
19,3 µg/l,
- 2. max. zulässige Fracht E_{ger} : 14569,6 g/a.

Die Bewertung ergibt eine knappe Unterschreitung der Maßnahmenschwelle an der Grundstücksgrenze (Abb. 42). Die Reduzierung der Fracht und der Konzentration ist auf biologische Abbauprozesse im Grundwasser zurückzuführen (nachgewiesen durch den Metabolit-Anteil im LCKW-Spektrum). Da sich auf dem Grundstück keine grundwasserabhängigen Oberflächengewässer befinden und auch keine sensible Nutzung stattfindet, kann auf eine Fortsetzung von Sanierungsmaßnahmen verzichtet und die weitere Vorgehensweise auf ein Monitoring beschränkt werden.

Das Ergebnis der Überprüfung mit Hilfe des Leitfadens ist damit in Übereinstimmung mit der 1997 durch die zuständige Behörde getroffenen Entscheidung. Die am Standort bis zum Jahr 2010 durchgeführte Überwachung des Grundwassers ergab einen weiteren Rückgang der LCKW-Konzentrationen in den Kontrollebenen KE-I und KE-II, so dass die Fläche im Jahr 2010 aus der Nachsorge entlassen werden konnte.

Ergebnis der Bewertung für Fallbeispiel 3

Ermessensleitende Kriterien		Bearbeiter:	Engeser	
FG-II: Schaden		Projekt:	Fallbsp. 3	
gelbe Felder: Eingabefelder		Datum Bearbeit.:	12.02.13	
		Version	1.2	
Eingabeparameter	Symbol	Einheit	Wert	
Schadstoff			LCKW	
GFS	GFS	µg/l	20,00	
Kontrollebenen			KE-I	KE-II
Anzahl Stromröhren	k		4	3
Fläche	A _{KE}		510,00	510,00
Breite	B _{KE}	m	85,00	85,00
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	6,00	6,00
abströmende Fracht	E _{gw}	g/a	4615,04	2048,70
mittl. Filtergeschwindigkeit	v _f	m/a	208,14	208,14
mittl. Schadstoffkonzentration	c _m	µg/l	43,48	19,30
Schadenschwelle	Symbol	Einheit	KE-I	
Schwellenfracht	E _{schwell}	g/a	41,6	
Bewertung	Ergebnis			
B(KE-I) ≤ 10 m	nein			
E _{gw} (KE-I) ≤ E _{schwell}	nein			
c _{gw} (KE-I) ≤ GFS	nein			
Schadenschwelle überschritten?	ja			
Maßnahmenschwelle (MS-S)	Symbol	Einheit	KE-I	KE-II
geringe Fracht	E _{ger}	g/a	14569,6	14569,6
Bewertung	Ergebnis			
Regelfall (KE-I)				
B(KE-I) ≤ 100 m	ja			
E _{gw} (KE-I) ≤ Eger	ja			
c _{gw} (KE-I) ≤ GFS	nein			
Maßnahmenschwelle überschritten?	ja			
Ausnahmefall (KE-II)				
B(KE-II) ≤ 100 m	ja			
E _{gw} (KE-II) ≤ Eger	ja			
c _{gw} (KE-II) ≤ GFS	ja			
Maßnahmenschwelle überschritten?	nein			

Abb. 42: Ergebnis der Bewertung im Hinblick auf die Schadenschwelle/Maßnahmenschwelle für das Fallbeispiel 3 mit EIKriBaG-x.

Der obere Grundwasserleiter besteht aus quar-
tären Lössderivaten und Fließerden und kann
aufgrund unterschiedlicher Durchlässigkeiten
in einen oberen und einen mittleren Aquiferbe-
reich gegliedert werden. Die Basis des oberen
Grundwasserleiters wird durch eine Torf- und
Schluff/Ton-Schicht (Eem) gebildet. Unterhalb
des Eem folgt der untere Grundwasserleiter,

der nach dem Stand der Erkundung nur im
Spurenbereich mit LCKW verunreinigt ist
(Abb. 44). Die Mächtigkeit des oberen Grund-
wasserleiters (oberer und mittlerer Bereich)
liegt im Mittel zwischen 10 und 11 m. Die
Grundwasserfließrichtung ist im Bereich der
Grundstücksgrenze nach NNE orientiert.

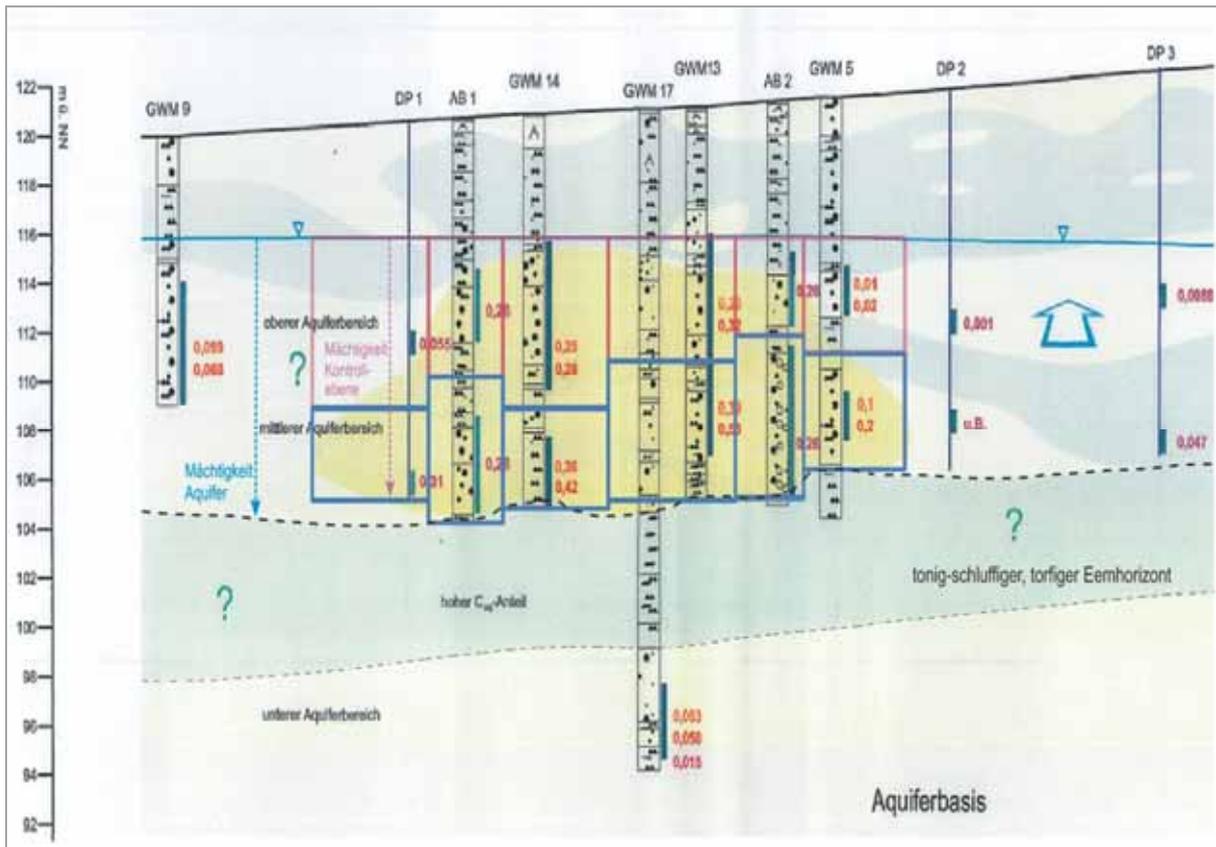


Abb. 44: Geologisches Profil in Kontrollebene II (Blick in Grundwasserfließrichtung).

Prüfung und Bewertung

Entsprechend der Standortbeschreibung han-
delt es sich um einen Grundwasserschaden
(FG-II). Eine Betrachtung der Kontrollebene I
unmittelbar abstromseitig der Quelle ist auf-
grund des eingeschränkten Erkundungsstan-
des infolge der Überbauung nicht möglich. Da-
her werden für die Bewertung die Messstellen
in der Kontrollebene II (Grundstücksgrenze)
herangezogen. Diese liegt etwa 150 m
abstromig der Schadensquelle. Da eine Prü-
fung im Hinblick auf das Überschreiten der

Schadensschwelle nur in der Kontrollebene I
unmittelbar abstromseitig der Quelle erfolgen
kann, ist im vorliegenden Fall von einer Über-
schreitung der Schadensschwelle auszugehen
und die Bewertung in der Kontrollebene II im
Hinblick auf die Überschreitung der Maßnah-
menschwelle für den Ausnahmefall vorzuneh-
men. Die Abschätzung der über den Abstrom-
querschnitt der Kontrollebene KE-II gemittelten
Konzentrationen und Frachten wird mit Hilfe
eines Stromröhrenmodelles durchgeführt (Abb.
45 und 46). Die Stromröhren wurden entspre-
chend der hydrogeologischen Situation und

den vorhandenen Grundwassermessstellen in der Kontrollebene KE-II konstruiert. Die Lage und Ausdehnung der rechteckförmigen Stromröhren in der Kontrollebene sind durch die Koordinaten von 2 gegenüberliegenden Eckpunkten relativ zum Ursprung definiert. Der Ursprung ist in die linke obere Ecke der Kontrollebene (Blickrichtung in die Grundwasserfließrichtung) gelegt.

Die Beschreibung und Berechnung erfolgt mit dem Excel-Programm EIKriBaG-x (Tabellenblatt KE-II).

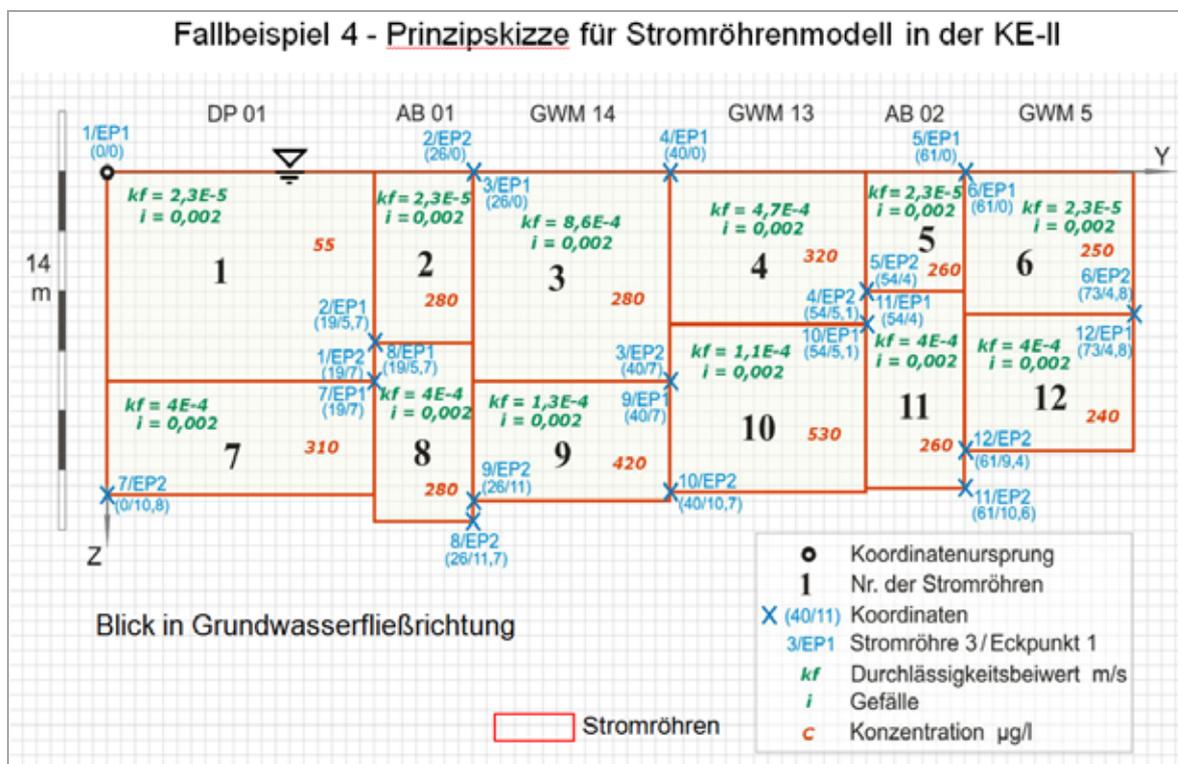


Abb. 45: Stromröhrenmodell für die Kontrollebene KE-II.

Ermittlung repräsentativer Frachten in Kontrollebene II (Abstrom Grundstücksgrenze)														
Grundwasser														
Version 1.2														
Eingabe-Parameter	Symbol	Einheit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Stromröhre-Nr														
Messstelle/Sondierung			DP 01o	AB 01o	GWM 14o	GWM 13o	AB 02o	GWM 5o	DP 01u	AB 01u	GWM 14u	GWM 13u	AB 02u	GWM 5u
y-Koordinate EP1	y1	m	0,00	19,00	26,00	40,00	61,00	61,00	19,00	19,00	40,00	54,00	54,00	73,00
z-Koordinate EP1	z1	m	0,00	5,70	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	5,70	7,00	5,10	4,00	4,80
y-Koordinate EP2	y2	m	19,00	26,00	40,00	54,00	54,00	73,00	0,00	26,00	26,00	40,00	61,00	61,00
z-Koordinate EP2	z2	m	7,00	0,00	7,00	5,10	4,00	4,80	10,80	11,70	11,00	10,70	10,60	9,40
kf-Wert	kf	m/s	2,30E-05	2,30E-05	8,60E-04	4,70E-04	2,30E-05	2,30E-05	4,00E-04	4,00E-04	1,30E-04	1,10E-04	4,00E-04	4,00E-04
hydr. Gefälle	i	(-)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Konzentration	c	µg/l	55,00	280,00	280,00	320,00	260,00	250,00	310,00	280,00	420,00	530,00	260,00	240,00
Berechnete Parameter	Symbol	Einheit												
Breite	b	m	19,00	7,00	14,00	14,00	7,00	12,00	19,00	7,00	14,00	14,00	7,00	12,00
Mächtigkeit	d	m	7,00	5,70	7,00	5,10	4,00	4,80	3,80	6,00	4,00	5,60	6,60	4,60
KE-Querschnittsfläche	A	m ²	133,00	39,90	98,00	71,40	28,00	57,60	72,20	42,00	56,00	78,40	46,20	55,20
Filtergeschwindigkeit	vf	m/a	1,45	1,45	54,24	29,64	1,45	1,45	25,23	25,23	8,20	6,94	25,23	25,23
Volumenstrom	Q	m ³ /a	192,94	57,88	5315,71	2116,57	40,62	83,56	1821,52	1059,61	459,16	543,93	1165,57	1392,63
Massenfluss	J	g/(m ² ·a)	0,08	0,41	15,19	9,49	0,38	0,36	7,82	7,06	3,44	3,68	6,56	6,05
Massenstrom	E	g/a	10,61	16,21	1488,40	677,30	10,56	20,89	564,67	296,69	192,85	288,28	303,05	334,23
Kontrollebene KE-II	Symbol	Einheit	Wert											
Querschnittsfläche	A	m ²	777,90											
Breite	B	m	73,00											
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	10,66											
Volumenstrom	Q	m ³ /a	14249,70											
Massenstrom	E	g/a	4203,74											
mittl. Filtergeschw.	vf _m	m/a	18,32											
mittl. Massenfluss	J _m	g/(m ² ·a)	5,40											
mittl. Konzentration	c _m	µg/l	295,01											

Abb. 46: Beschreibung der Kontrollebene KE-II mit EIKriBaG-x.

Prüfschritte Maßnahmenschwelle (MS-S) (n. Kap. 6.2.2)

Ausnahmefall (Beurteilungsebene KE-II)

- 1a) abströmende Fracht in KE-II : 4203,7 g/a,
- 1b) mittlere Stoffkonzentration in KE-II:
295,0 µg/l,
2. max. zulässige Fracht E_{ger}: 1282,3 g/a.

Die Bewertung ergibt eine deutliche Überschreitung der Maßnahmenschwelle an der Grundstücksgrenze (Abb. 47). Die laufende hydraulische Sicherungsmaßnahme steht damit im Einklang mit dem Ergebnis der Bewertung nach dem Leitfaden. Eine Beendigung der Sicherungsmaßnahme wäre bei Anwendung der Kriterien des Leitfadens frühestens bei Unterschreitung der Maßnahmenschwelle möglich.

Ergebnis der Bewertung für Fallbeispiel 4

Ermessensleitende Kriterien		Bearbeiter: Engeser		
FG-II: Schaden		Projekt: Fallbsp. 4		
gelbe Felder: Eingabefelder		Datum Bearbeit.:	12.02.13	
		Version	1.2	
Eingabeparameter	Symbol	Einheit	Wert	
Schadstoff			LCKW	
GFS	GFS	µg/l	20,00	
Kontrollebenen			KE-I	KE-II
Anzahl Stromröhren	k		0	12
Fläche	A _{KE}		0,00	777,90
Breite	B _{KE}	m	0,00	73,00
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	0,00	10,66
abströmende Fracht	E _{gw}	g/a	0,00	4203,74
mittl. Filtergeschwindigkeit	v _f	m/a	0,00	18,32
mittl. Schadstoffkonzentration	c _m	µg/l	0,00	295,01
Schadensschwelle	Symbol	Einheit	KE-I	
Schwellenfracht	E _{schwell}	g/a	0,0	
Bewertung	Ergebnis			
B(KE-I) ≤ 10 m	k.B.			
E _{gw} (KE-I) ≤ E _{schwell}	k.B.			
c _{gw} (KE-I) ≤ GFS	k.B.			
Schadensschwelle überschritten?	k.B.			
Maßnahmenschwelle (MS-S)	Symbol	Einheit	KE-I	KE-II
geringe Fracht	E _{ger}	g/a	0,0	1282,3
Bewertung	Ergebnis			
Regelfall (KE-I)				
B(KE-I) ≤ 100 m	k.B.			
E _{gw} (KE-I) ≤ E _{ger}	k.B.			
c _{gw} (KE-I) ≤ GFS	k.B.			
Maßnahmenschwelle überschritten?	k.B.			
Ausnahmefall (KE-II)				
B(KE-II) ≤ 100 m	ja			
E _{gw} (KE-II) ≤ E _{ger}	nein			
c _{gw} (KE-II) ≤ GFS	nein			
Maßnahmenschwelle überschritten?	ja			

Abb. 47: Ergebnis der Bewertung im Hinblick auf die Maßnahmenschwelle für das Fallbeispiel 4 mit EIKriBaG-x.

8.4 Anhang 4: Abkürzungen und Symbole

8.4.1 Abkürzungsverzeichnis

AL-Kataster	Altlastenkataster	LNAPL	Light Non Aqueous Phase Liquid
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz	MNA	Monitored Natural Attenuation
BBodSchV	Bundes-Bodenschutzverordnung	MS	Maßnahmenschwelle
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	MS-G	Maßnahmenschwelle bei bestehender Gefahr einer GW-Verunreinigung (FG-I)
DNAPL	Dense Non Aqueous Phase Liquid	MS-S	Maßnahmenschwelle bei eingetretenem GW-Schaden (FG-II)
DU	Detailuntersuchung	MU	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
EF	Einmischfaktor	NAPL	Non Aqueous Phase Liquids
EG-WRRL	EG-Wasserrahmenrichtlinie	NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (seit 2006 LBEG)
ErsatzBV	Ersatzbaustoffverordnung	OdB	Ort der Beurteilung
EZ	Einmischzone	OU	orientierende Untersuchung
FG	Fallgestaltung	PW	Prüfwert
GFS	Geringfügigkeitsschwellenwerte	RdErl.	Runderlass
GrwV	Grundwasserverordnung	SBV	schädliche Bodenveränderung
GW	Grundwasser	SF	Standortfaktor
KE	Kontrollebene	SWR	Sickerwasserrate
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz	UBA	Umweltbundesamt
LAGA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall	UMK	Umweltministerkonferenz
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser	US-EPA	US-Environmental Protection Agency
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie	VwV-BW	Verwaltungsvorschrift Baden-Württemberg
		WHG	Wasserhaushaltsgesetz

8.4.2 Symbolverzeichnis

Tab. 7: Symbolverzeichnis (Dimensionen: L: Länge, T: Zeit, M: Masse).

Symbol	Dimension	Einheit	Bedeutung
A	L^2	m^2	Fläche
A_{KE}	L^2	m^2	Querschnittsfläche Kontrollebene
A_{mix}	L^2	m^2	Querschnittsfläche der Einmischzone
A_q	L^2	m^2	Abstromquerschnitt (Eintragsfläche)
B_{KE}	L	m	Breite Kontrollebene
b	L	m	Breite der Stromröhre
b_q	L	m	Breite der Quelle
c	M/L^3	$\mu g/l$	Stoffkonzentration Stromröhre
c_{ab}	M/L^3	$\mu g/l$	Stoffkonzentration im GW-Abstrom
c_{an}	M/L^3	$\mu g/l$	Stoffkonzentration im GW-Anstrom
c_{gw}	M/L^3	$\mu g/l$	Stoffkonzentration im GW
c_{KE}	M/L^3	$\mu g/l$	mittlere Stoffkonzentration im GW in der Kontrollebene (s. c_m)
c_m	M/T^3	$\mu g/l$	mittlere Stoffkonzentration im GW in der Kontrollebene (s. c_{KE})
c_{mix}	M/L^3	$\mu g/l$	mittlere Stoffkonzentration in der Einmischzone
c_q	M/L^3	$\mu g/l$	Quellkonzentration
c_{si}	M/L^3	$\mu g/l$	Stoffkonzentration im Sickerwasser
$c_{si(OdB)}$	M/L^3	$\mu g/l$	Stoffkonzentration im Sickerwasser am Ort der Beurteilung
c_{si-max}	M/L^3	$\mu g/l$	maximal zulässige Stoffkonzentration im Sickerwasser
d	L	m	Mächtigkeit Stromröhre
d_{aq}	L	m	Aquifermächtigkeit
d_m	L	m	mittl. Mächtigkeit der Kontrollebene
d_{mix}	L	m	Mächtigkeit der Einmischzone
$d_{mix-adv}$	L	m	advective Mächtigkeit der Einmischzone
$d_{mix-disp}$	L	m	dispersive Mächtigkeit der Einmischzone
$d_{mix-ges}$	L	m	gesamte Einmischzonenmächtigkeit
E	M/T	g/a	Fracht (Emission)
EF		[-]	Einmischfaktor
E_{ger}	M/T	g/a	geringe Fracht
E_{KE}	M/T	g/a	Fracht an der Kontrollebene
EP1			Eckpunkt 1 (Rechteckfläche bzw. Stromröhre)
EP2			Eckpunkt 2 (Rechteckfläche bzw. Stromröhre)
E_{GW}	M/T	g/a	Abströmende Fracht im GW (Kontrollebene)
E_q	M/T	g/a	Fracht (Emission), bezogen auf die Quelle
$E_{schwell}$	M/T	g/a	Schwellenfracht Gefahr/Schadenschwelle für die Fracht
E_{si}	M/T	m/a	Sickerwasserfracht
fs		[-]	Skalenfaktor Dispersivität
GFS	M/L^3	$\mu g/l$	Geringfügigkeitsschwellenwert
i	L/L	[-]	hydraulisches Gefälle
J_m	$M/(L^2 \cdot T)$	$g/(m^2 \cdot a)$	mittl. Massenfluss Kontrollebene
J_q	$M/(L^2 \cdot T)$	$g/(m^2 \cdot a)$	Quellstärke
k_f	L/T	m/s	Durchlässigkeitsbeiwert

Tab. 7: Symbolverzeichnis (Dimensionen: L: Länge, T: Zeit, M: Masse; Fortsetzung).

Symbol	Dimension	Einheit	Bedeutung
L_k	L	m	Länge der Quelle entsprechend Koordinaten in KE-0
L_p	L	m	Länge der Quelle, projiziert auf die GW-Fließrichtung in KE-0
L_q	L	m	Länge der Quelle in GW-Fließrichtung
n_e	L^3/L^3	[-]	effektives Porenvolumen
Q	L^3/T	m^3/a	Volumenstrom
Q_{ab}	L^3/T	m^3/a	Q-Grundwasserabstrom
Q_{an}	L^3/T	m^3/a	Q-Grundwasseranstrom
Q_{si}	L^3/T	m^3/a	Q-Sickerwasserstrom
SF		[-]	Standortfaktor
SWR	L/T	m/a	Sickerwasserrate
t	T	a	Transportzeit
v_f	L/T	m/a	Filtergeschwindigkeit
v_{fm}	L/T	m/a	mittl. Filtergeschwindigkeit in der Kontrollebene
v_x	L/T	m/a	horizontale Geschwindigkeit GW
v_z	L/T	m/a	vertikale Geschwindigkeit Sickerwasser
v_{z0}	L/T	m/a	Sickerwassergeschwindigkeit beim Eintritt in das GW
x_b	L	m	Betrachtungsabstand
x_1	L	m	x-Koordinate EP1 (Stromröhre)
x_2	L	m	x-Koordinate EP1 (Stromröhre)
y_1	L	m	y-Koordinate EP1 (Stromröhre)
y_2	L	m	y-Koordinate EP2 (Stromröhre)
z_1	L	m	z-Koordinate EP1 (Stromröhre)
z_2	L	m	z-Koordinate EP1 (Stromröhre)
z_{adv}	L	m	advective Einmischtiefe
z_{disp}	L	m	dispersive Einmischtiefe
z_q	L	m	Mächtigkeit des kont. GW-Querschnittes im unmittelbaren Abstrom der Quelle
α_l	L	m	longitudinale Dipersivität (x-Richtung)
α_v	L	m	transversale Dispersivität (z-Richtung)

8.5 Anhang 5: Glossar

Advektion

Bewegung des gelösten Stoffes mit der Grundwasserströmung.

Diffusion

Durchmischung von Stoffen aufgrund von Konzentrationsunterschieden.

Dispersion

Im Grundwasser ablaufender Vermischungsprozess aufgrund von Strömung und Diffusion.

DNAPL (Dense Non Aqueous Phase Liquid)

Schwerphase – organische Flüssigkeiten, die sich nicht mit Wasser mischen und eine höhere Dichte als Wasser besitzen.

Emission

Von einer Quelle ausgehende Fracht (Masse/Zeit).

Grundwasserkörper

Ein abgegrenztes Volumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter.

Isokonzentrationen

Flächen gleicher Schadstoffkonzentration; Konzentrationsgleichheit.

Kontaktgrundwasser

Grundwasser, das im direkten Kontakt mit der Schadstoffquelle steht.

LNAPL (Light Non Aqueous Phase Liquid)

Leichtphase – organische Flüssigkeiten, die sich nicht mit Wasser mischen und eine geringere Dichte als Wasser besitzen.

longitudinal

In Längsrichtung.

NAPL (Nonaqueous Phase Liquids)

Organische Flüssigkeiten, die sich nicht oder kaum mit Wasser mischen.

Ort der Beurteilung (OdB)

Übergangsbereich von der ungesättigten in die gesättigte Zone.

Primärquelle

Schadstoffe, die in fester oder flüssiger Form in der Bodenmatrix gebunden oder im Porenraum vorhanden sind.

Sekundärquelle

Schadstoffe, die aufgrund reversibler Anreicherung und Wiederfreisetzung im weiteren GW-Abstrom einer Primärquelle vorkommen. Ursache hierfür sind Sorptions- oder Matrixdiffusionsprozesse.

Sorption

Prozesse, die zu einem Übergang eines gelösten Stoffes in der Wasserphase an die Oberfläche oder in die Matrix eines mit der Wasserphase in Kontakt stehenden Feststoffes führen.

stationär

Physikalischer Vorgang, dessen Kenngrößen unabhängig von der Zeit sind.

stationäre Strömung

Strömung, bei der die Geschwindigkeitsvektoren an jeder Stelle des Strömungsfeldes nach Betrag und Richtung zeitlich konstant sind.

Stromlinien

Linien, die zu einem gegebenen Zeitpunkt an jedem Ort tangential zum jeweiligen Geschwindigkeitsvektor des Strömungsfeldes verlaufen.

Stromröhren

Gesamtheit aller durch die Berandung eines Querschnittes hindurchtretenden Stromlinien.

transversal

In Querrichtung.

8.6 Anhang 6: Benutzungsanleitung EIKriBaG-x

8.6.1 Zielsetzung

Um eine einfache und schnelle Anwendung des Leitfadens in der Praxis zu gewährleisten, wurde das Excel-Programm EIKriBaG-x (Ermessensleitende Kriterien bei der Bearbeitung alllastbedingter Grundwassergefahren und -schäden mit Excel) erstellt.

8.6.2 Aufbau der Arbeitsmappe

Die Excel-Arbeitsmappe EIKriBaG-x enthält sieben Tabellenblätter in der Reihenfolge Gefahr, KE-A, KE-0 Schaden, KE-I, KE-II und GFS (Abb. 48).

Die Tabellenblätter „Gefahr“ und „Schaden“ dienen zur Ermittlung und Bewertung der relevanten Prüfkriterien entsprechend der im Kapitel 6 beschriebenen Vorgehensweise. Abhängig von der vorliegenden Fallgestaltung „Gefahr“ bzw. „Schaden“ ist das entsprechende Tabellenblatt auszuwählen. Eingaben können ausschließlich in den gelb unterlegten Zellen gemacht werden, die restlichen Zellen sind für eine Eingabe gesperrt.

In den Tabellenblättern „Gefahr“ und „Schaden“ ist nur die Eingabe des zu betrachtenden Schadstoffes und die zugehörigen GFS erforderlich. Die Eingabe der sonstigen Parameter und die rechnerische Ermittlung der für die Bewertung in den Tabellenblättern „Gefahr“ und „Schaden“ erforderlichen Prüfparameter erfolgt in den Tabellenblättern der zugehörigen Kontrollebenen. Die zu betrachtenden Kontrollebenen sind abhängig von der Fallgestaltung und als Spalten in den Tabellenblättern

„Gefahr“ und „Schaden“ aufgeführt. Die zu den Tabellenblättern „Gefahr“ und „Schaden“ zugehörigen Kontrollebenen sind in Tabelle 8 aufgeführt. Zur einfacheren Orientierung für den Anwender sind die zusammengehörigen Tabellenblätter durch unterschiedliche Farben der Register (rot/Gefahr, blau/Schaden) gekennzeichnet.

Tab. 8: Relevante Kontrollebenen in den Tabellenblättern „Gefahr“ und „Schaden“.

Fallgestaltung	relevante Kontrollebenen	
Gefahr	KE-A	KE-0
Schaden	KE-I	KE-II

Um die Handhabung zu vereinfachen, enthalten die Tabellenblätter von EIKriBaG-x bereits Daten aus den Fallbeispielen im Kapitel 8.3, die der Anwender durch Eingabe eigener Daten überschreiben kann.

Tab. 9: Voreingestellte Daten in den Tabellenblättern von EIKriBaG-x

Tabellenblatt	voreingestellte Eingabedaten
Gefahr	Fallbeispiel 1b
KE-0	Fallbeispiel 1b
KE-A	Fallbeispiel 1b
Schaden	Fallbeispiel 3
KE-I	Fallbeispiel 3
KE-II	Fallbeispiel 3

Daten in den gelb markierten Eingabefeldern können nach vorherigem Markieren mit dem Kopieren-Befehl kopiert und mit „Einfügen“ in andere Felder übernommen oder auch gelöscht werden. Zu beachten ist, dass dafür nur der Befehl „Inhalte einfügen“ (Werte) bzw. „Inhalte löschen“ verwendet werden sollte.

Eingabeparameter		Symbol	Einheit	Wert		
Schadstoff				Sulfat		
GFS		GFS	µg/l	240000,00		
Kontrollebenen				KE-A	KE-0	KE-I
Anzahl Stromröhren		k		1	1	
Fläche		A _{KE}	m ²	550,00	13750,00	
Länge parallel GW-Fließrichtung		L _{KE}	m		250,0	
Breite senkrecht GW-Fließrichtung		B _{KE}	m	55,00	55,0	
mittl. Sickerwasserrate		SWR _m	m/a		0,200	
mittl. Stoffkonzentration im Sickerwasser am OdB		C _{si(OdB)}	µg/l		1500000,0	
Sickerwasserfracht am OdB		E _{si(OdB)}	g/a		4125000,0	
mittl. Mächtigkeit		d _m	m	10,00		
mittl. Filtergeschwindigkeit		vf _m	m/a	47,30		
mittl. Schadstoffkonzentration		c _m	µg/l	75000,00		
Gefahrschwelle (GS)					KE-0	KE-I
Mächtigkeit der Einmischzone		d _{mix}	m			1,0
Standortfaktor		SF	(-)		0,95	
Einmischfaktor		EF	(-)		1,65	
maximal zulässige Stoffkonz. im Sickerwasser		C _{si-max}	µg/l		396103,2	
resultierende Konzentration im GW		C _{gw}	µg/l			807241,2
Schwellenfracht		E _{schwell}	g/a		113529,6	
Bewertung		Ergebnis				
C _{si(OdB)} ≤ C _{si-max}		nein				
B _q ≤ 10 m		nein				
E _{si(OdB)} ≤ E _{schwell}		nein				
Gefahrschwelle überschritten?		ja				
Maßnahmschwelle (MS-G)					KE-0	KE-I
Mächtigkeit der Einmischzone		d _{mix}	m			10,0
Standortfaktor		SF	(-)		9,46	
Einmischfaktor		EF	(-)		7,50	
maximal zulässige Stoffkonz. im Sickerwasser		C _{si-max}	µg/l		1801032,0	
resultierende Konzentration im GW		C _{gw}	µg/l			211222,9
geringe Fracht		E _{ger}	g/a		39735360,0	
Bewertung		Ergebnis				
C _{si(OdB)} ≤ C _{si-max}		ja				
B _q ≤ 100 m		ja				
E _{si(OdB)} ≤ E _{ger}		ja				
Maßnahmschwelle überschritten?		nein				

Abb. 48: Aufbau der Arbeitsmappe EIKriBaG-x (aktives Tabellenblatt: Gefahr).

Die Anwendung von EIKriBaG-x erfolgt nach dem Ablaufschema in Abbildung 49.

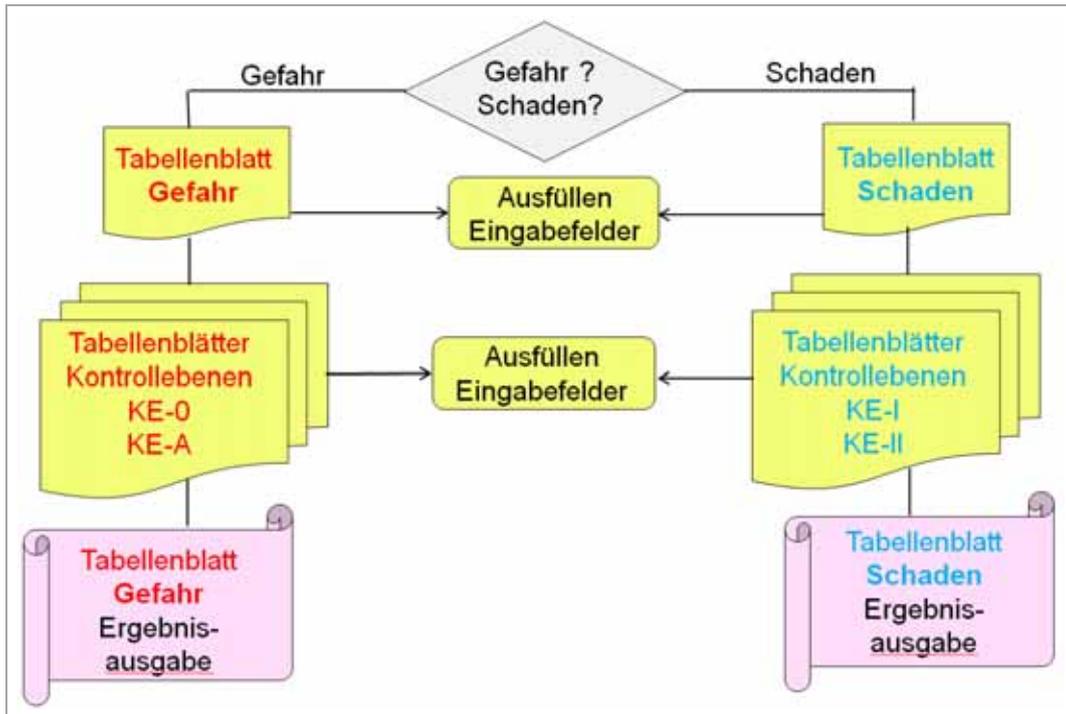


Abb. 49: Ablaufschema für die Anwendung von ElKriBaG-x.

8.6.3 Gefahr (FG-I)

Das Tabellenblatt „Gefahr“ ist für Fallgestaltungen relevant, bei denen die Quelle in der ungesättigten Zone liegt (FG-I, s. Abb. 7 im Kap. 5.1) und noch keine durch die Quelle verursachte schädliche Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit eingetreten ist, aber im Rahmen einer Sickerwasserprognose der Verdacht auf eine schädliche Bodenveränderung aufgrund einer Überschreitung der Prüfwerte am Ort der Beurteilung festgestellt wurde.

Das Tabellenblatt ist in vier Bereiche gegliedert (Abb. 50). Im oberen Teil können in den gelb markierten Feldern allgemeine Angaben zum Bearbeiter und zum Projekt eingegeben werden. Das aktuelle Bearbeitungsdatum und die Versions-Nr. des Programmes werden automatisch eingetragen. Für die Bewertung im Hinblick auf die Gefahrenschwelle und die Maßnahmenschwelle ist die Eingabe eines Schadstoffes und der zugehörigen GFS erforderlich. Die GFS können dem Tabellenblatt GFS entnommen werden. Die Bewertung im Hinblick auf die Prüfkriterien „Gefahrenschwelle“ und „Maßnahmenschwelle“ erfolgt auf der Grundla-

ge der im Bereich „Kontrollebenen“ in den Spalten KE-A und KE-0 aufgeführten Prüfparameter. Diese werden in den Tabellenblättern der relevanten Kontrollebenen KE-A und KE-0 aufgrund der dort einzugebenden Daten für die Stromröhren berechnet und automatisch übernommen. Falls die Tabellenblätter KE-A und KE-0 keine Angaben enthalten, wird als Anzahl der Stromröhren der Wert 0 und als Ergebnis der Bewertung „k. B.“ (keine Bewertung) ausgegeben. Für die Fallgestaltung „Gefahr“ ist die Definition von Stromröhren in der abstromigen KE-I nicht erforderlich, da die relevanten hydrogeologischen Parameter der Anstromkontrollebene KE-A entnommen werden und für die KE-I als Mächtigkeit der Einmischzone 1 m bzw. der Wert der Aquifermächtigkeit (max. 35 m) aus KE-A bereits festgelegt ist. Neben der Mächtigkeit der Einmischzone wird in der Spalte KE-I noch die aus der Einmischung des Sickerwassers in das Grundwasser resultierende Konzentration im Grundwasser entsprechend der jeweils relevanten Einmischzonenmächtigkeit (1 m für Gefahrenschwelle, Aquifermächtigkeit bzw. max. 35 m für Maßnahmenschwelle) dargestellt. Überschreitet die resultierende Konzentration im Grundwasser die

GFS wird der Wert in roter Schrift, bei Einhaltung oder Unterschreitung der GFS in grüner Schrift dargestellt.

Das Ergebnis der Bewertung im Hinblick auf die Einhaltung der Prüfkriterien für die Gefah-

renschwelle bzw. die Maßnahmenschwelle wird durch farbkodierte Schrift dargestellt (ja/grün bei Einhaltung und nein/rot bei Überschreitung der Prüfkriterien bzw. schwarz, wenn keine Berechnung).

Ermessensleitende Kriterien		Bearbeiter: Engeser			
FG-I: Gefahr		Projekt: Fallbsp. 1b			
gelbe Felder: Eingabefelder		Datum Bearbeit.	14.02.13		
		Version	1.2		
Eingabeparameter	Symbol	Einheit	Wert		
Schadstoff			Sulfat		
GFS	GFS	µg/l	240000,00		
Kontrollebenen			KE-A	KE-0	KE-I
Anzahl Stromröhren	k		1	1	
Fläche	A _{KE}	m ²	550,00	13750,00	
Länge parallel GW-Fließrichtung	L _{KE}	m		250,0	
Breite senkrecht GW-Fließrichtung	B _{KE}	m	55,00	55,0	
mittl. Sickerwasserrate	SWR _m	m/a		0,200	
mittl. Stoffkonzentration im Sickerwasser am OdB	C _{si(OdB)}	µg/l		1500000,0	
Sickerwasserfracht am OdB	E _{si(OdB)}	g/a		4125000,0	
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	10,00		
mittl. Filtergeschwindigkeit	vf _m	m/a	47,30		
mittl. Schadstoffkonzentration	c _m	µg/l	75000,00		
Gefahrenschwelle (GS)				KE-0	KE-I
Mächtigkeit der Einmischzone	d _{mix}	m			1,0
Standortfaktor	SF	(-)		0,95	
Einmischfaktor	EF	(-)		1,65	
maximal zulässige Stoffkonz. im Sickerwasser	C _{si-max}	µg/l		396103,2	
resultierende Konzentration im GW	C _{gw}	µg/l			807241,2
Schwellenfracht	E _{schwell}	g/a		113529,6	
Bewertung		Ergebnis			
C _{si(OdB)} ≤ C _{si-max}		nein			
B _q ≤ 10 m		nein			
E _{si(OdB)} ≤ E _{schwell}		nein			
Gefahrenschwelle überschritten?		ja			
Maßnahmenschwelle (MS-G)				KE-0	KE-I
Mächtigkeit der Einmischzone	d _{mix}	m			10,0
Standortfaktor	SF	(-)		9,46	
Einmischfaktor	EF	(-)		7,50	
maximal zulässige Stoffkonz. im Sickerwasser	C _{si-max}	µg/l		1801032,0	
resultierende Konzentration im GW	C _{gw}	µg/l			211222,9
geringe Fracht	E _{ger}	g/a		39735360,0	
Bewertung		Ergebnis			
C _{si(OdB)} ≤ C _{si-max}		ja			
B _q ≤ 100 m		ja			
E _{si(OdB)} ≤ E _{ger}		ja			
Maßnahmenschwelle überschritten?		nein			

Abb. 50: Tabellenblatt „Gefahr“.

8.6.3.1 Kontrollebene Grundwasseroberfläche (KE-0)

Die horizontale Kontrollebene KE-0 ist relevant für die Beurteilung von Schadstoffeinträgen durch Sickerwasser (s. Abb. 21 im Kap. 8.2). Sie entspricht dem bodenschutzrechtlichen Ort der Beurteilung (OdB). Um bei größeren Eintragsflächen mit heterogenen Verhältnissen (z. B. Altanlagen, Deponien, Halden) und zusammenhängender, aber unregelmäßiger Geometrie für die Gesamtfläche (Quellfläche) repräsentative Parameter zu erhalten, können Teilflächen in Form von horizontalen rechteckigen Stromröhren betrachtet werden (Abb. 51).



Abb. 51: Abgrenzung von Teilflächen bei heterogenen Standorten.

Die Gesamtfläche kann dabei in maximal 30 rechteckförmige Teilflächen unterteilt werden. Da die Gesamtfläche eine beliebige Orientierung relativ zum geografischen Koordinatensystem (Himmelsrichtungen) und zur Grundwasserfließrichtung einnehmen kann und zur Berechnung des Einmischfaktors bzw. Standortfaktors (Gl. 15) die maximale Länge der Fläche parallel zur Grundwasserfließrichtung notwendig ist, ist eine zweischrittige Vorgehensweise erforderlich.

Schritt 1

Im ersten Schritt werden die flächenrepräsentativen Parameter für die einzelnen Teilflächen ermittelt. Die Abgrenzung der rechteckförmigen Teilflächen erfolgt auf der Grundlage der Ergebnisse der Erkundung. Flächen mit nicht rechteckförmiger Geometrie müssen durch Rechtecke approximiert werden. Die Rechteckteilflächen werden durch die Koordinaten im benutzerdefinierten Koordinatensystem (x'/y') von je zwei frei wählbaren diagonal gegenüberliegenden Eckpunkten (EP1 und EP2) eindeutig definiert (Abb. 52). Das benutzerdefinierte Koordinatensystem (KSb) ist ein parallel zu den Rechteckseiten orientiertes Rechts-Koordinatensystem (x -Achse nach rechts, y -Achse nach oben) mit frei wählbarem Ursprung.

Den einzelnen Teilflächen werden anschließend die für die Fläche als repräsentativ abgeschätzten Parameter Sickerwasserrate (SWR) und Stoffkonzentration im Sickerwasser am Ort der Beurteilung ($c_{Si(OdB)}$) zugeordnet. Es wird empfohlen, grundsätzlich eine Skizze entsprechend Abbildung 52 anzufertigen. Die Koordinaten der Eckpunkte der Teilflächen und die Parameter sind in die gelben Zellen des Tabellenblattes KE-0 (obere Hälfte) einzugeben (Abb. 53).

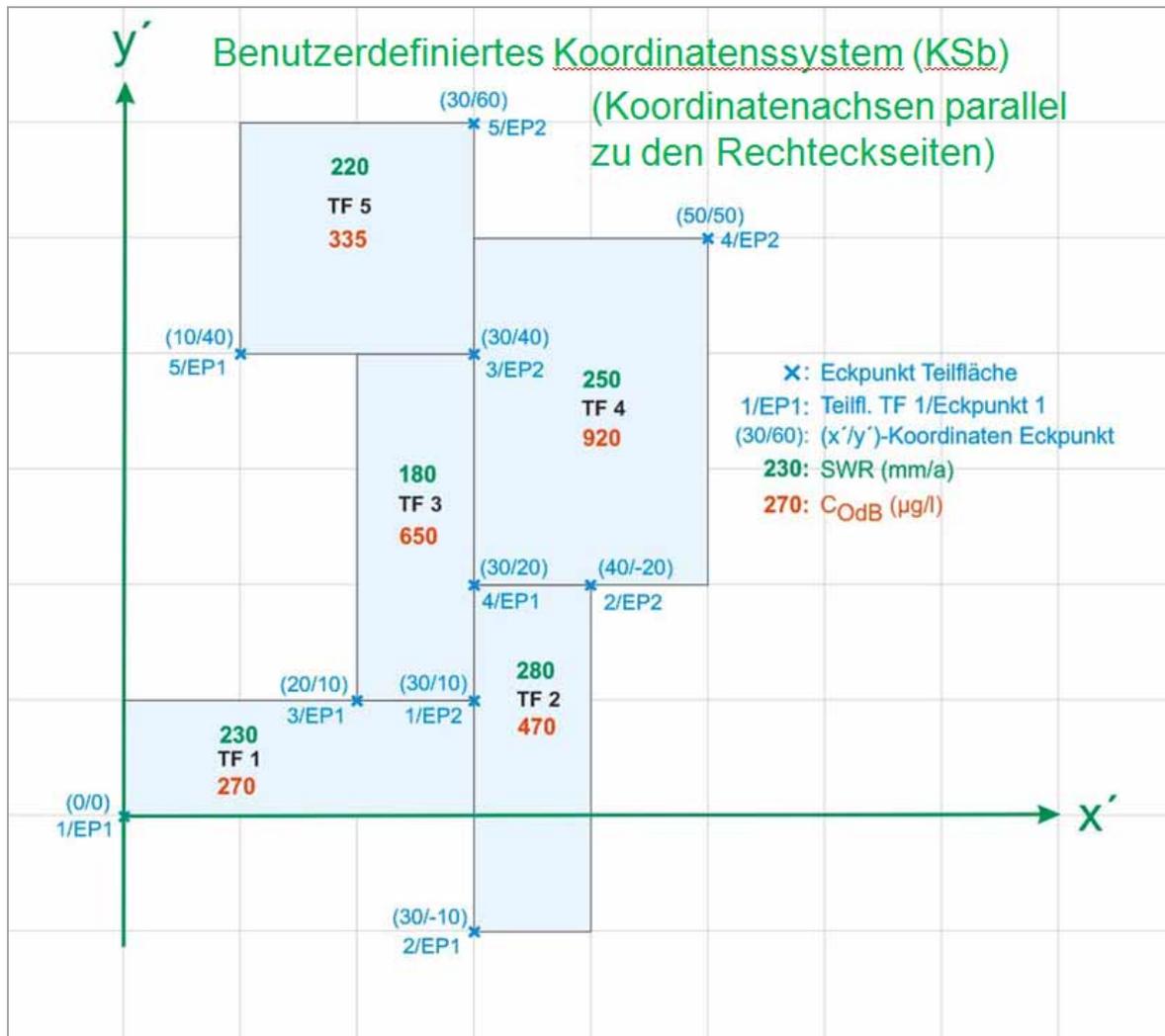


Abb. 52: Definition der Kontrollebene KE-0: Schritt 1 – Ermittlung der flächenrepräsentativen Parameter.

Ermittlung repräsentativer Prüfparameter in Kontrollebene 0 (OdB)							
Sickerwasser							
Version 1.2							
1. Ermittlung der flächenrepräsentativen Parameter							
benutzerdefiniertes Koordinatensystem (KSb)							
Eingabe-Parameter	Symbol	Einheit	1	2	3	4	5
Stromröhre-Nr			1	2	3	4	5
Messstelle/Sondierung			TF1	TF2	TF3	TF4	TF5
x-Koordinate EP1	x1	m	0,00	30,00	20,00	30,00	10,00
y-Koordinate EP1	y1	m	0,00	-10,00	10,00	20,00	40,00
x-Koordinate EP2	x2	m	30,00	40,00	30,00	50,00	30,00
y-Koordinate EP2	y2	m	10,00	20,00	40,00	50,00	60,00
Sickerwasserrate	SWR	mm/a	230,00	280,00	180,00	250,00	220,00
Konzentration (OdB)	c _{sij(OdB)}	µg/l	270,00	470,00	650,00	920,00	335,00
Berechnete Parameter	Symbol	Einheit					
x-Abmessung	x _s	m	30,00	10,00	10,00	20,00	20,00
y-Abmessung	y _s	m	10,00	30,00	30,00	30,00	20,00
Fläche	A	m ²	300,00	300,00	300,00	600,00	400,00
Volumenstrom	Q	m ³ /a	69,00	84,00	54,00	150,00	88,00
Massenfluss	J	g/(m ² ·a)	0,06	0,13	0,12	0,23	0,07
Massenstrom	E	g/a	18,63	39,48	35,10	138,00	29,48
Kontrollebene KE-0	Symbol	Einheit	Wert				
Gesamtfläche	A	m ²	1900,00				
Volumenstrom	Q	m ³ /a	445,00				
Massenstrom	E	g/a	260,69				
mittl. Sickerwasserrate	SWR _m	m/a	0,23				
mittl. Massenfluss	J _m	g/(m ² ·a)	0,14				
mittl. Konzentration	c _m	µg/l	585,82				

Abb. 53: Definition der Kontrollebene KE-0: Eingabeparameter für Schritt 1 – Ermittlung der flächenrepräsentativen Parameter

Schritt 2

Im zweiten Schritt wird die maximale Länge der Fläche parallel zur Grundwasserfließrichtung ermittelt. Dafür werden die Koordinaten aller äußeren Eckpunkte der Gesamtfläche, bezogen auf das geographische Koordinatensystem des Lageplanes und der Winkel (Drehwinkel), um den das benutzerdefinierte Koordinatensystem (KSb) relativ zum geographischen Koordinatensystem (KSg) gedreht ist, benötigt (Abb. 54). Der Drehwinkel wird von O über N (entgegen dem Uhrzeigersinn) positiv gezählt (in Abb. 54 ist der Drehwinkel daher negativ: -22,5°). Es wird empfohlen, grundsätzlich eine

Skizze entsprechend Abbildung 54 anzufertigen. Die Koordinaten aller Ecken der Gesamtfläche sowie der Drehwinkel werden in die gelben Zellen der unteren Hälfte des Tabellenblattes KE-0 eingegeben (Abb. 55). Die Grundwasserfließrichtung kann durch Anklicken des entsprechenden Feldes und Auswahl (auf rechts daneben liegenden Pfeil klicken) der entsprechenden Richtung eingestellt werden. Die Länge parallel zur Grundwasserfließrichtung wird dann im entsprechenden Ausgabefeld angezeigt. Die Breite senkrecht zur Grundwasserfließrichtung wird als äquivalente Breite (Gesamtfläche, dividiert durch die Länge parallel zur Grundwasserfließrichtung) berechnet.

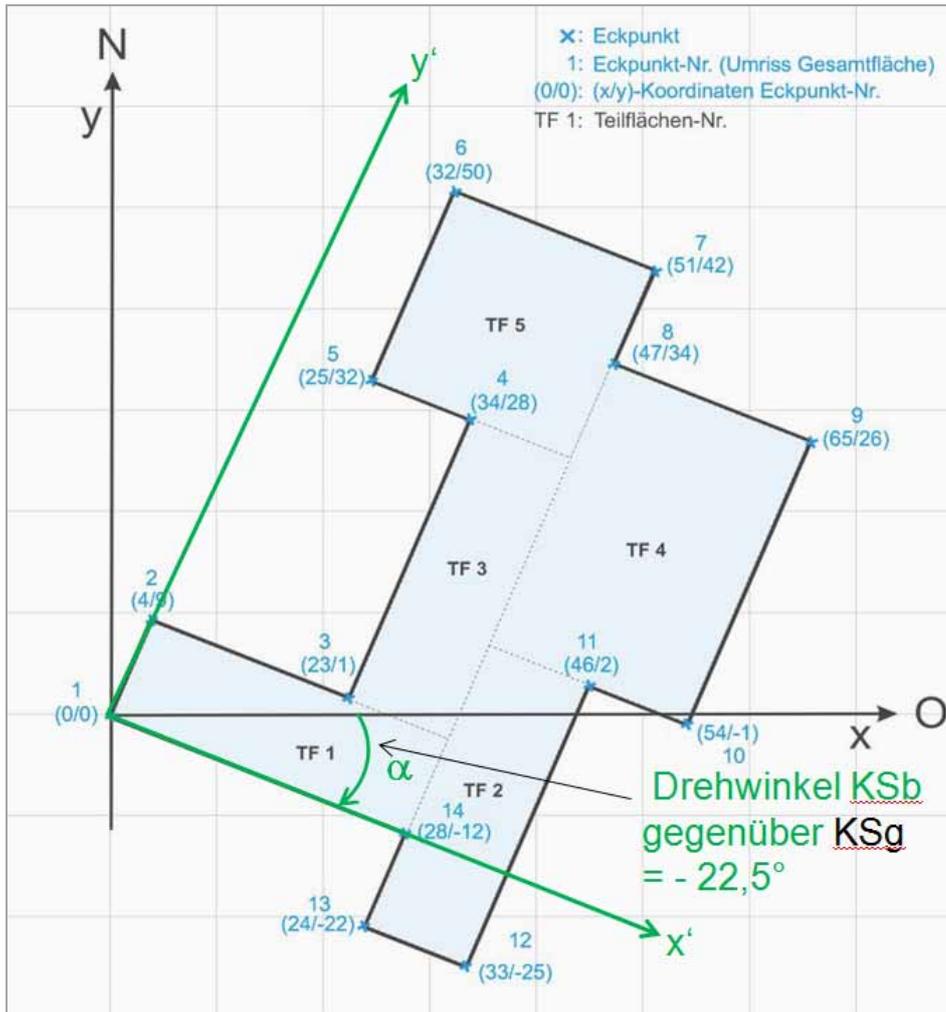


Abb. 54: Definition der Kontrollebene KE-0: Schritt 2 – Ermittlung der Länge parallel zur Grundwasserfließrichtung

2. Ermittlung der Länge in GW-Fließrichtung														
geograph. Koordinatensystem (KSg)														
positive x-Achse Richtung O/positive y-Achse Richtung N														
Drehwinkel KSb gegenüber KSg														
(Drehwinkel von O über N positiv entgegen Uhrzeigersinn)														
Eingabe-Parameter	Symbol	Einheit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Flächen-Eckpunkt-Nr														
x-Koordinate	xk	m	0,00	4,00	23,00	34,00	25,00	32,00	51,00	47,00	65,00	54,00	46,00	33,00
y-Koordinate	yk	m	0,00	9,00	1,00	28,00	32,00	50,00	42,00	34,00	26,00	-1,00	2,00	-25,00
Kontrollebene KE-0	Symbol	Einheit	Wert											
GW-Fließrichtung	GWf		NNO											
Drehwinkel KSb	DW	Grad	-22,5											
Länge parallel GW-FR	L	m	70,0											
Breite senkrecht GW-FR	B	m	27,1											

Abb. 55: Definition der Kontrollebene KE-0: Eingabeparameter für Schritt 2 – Ermittlung der Länge parallel zur Grundwasserfließrichtung

8.6.3.2 Kontrollebene Anstrom (KE-A)

Die Anstromkontrollebene KE-A dient zur Festlegung der hydrogeologischen Parameter des Grundwasserleiters (Aquifermächtigkeit, Anstromkonzentration und Filtergeschwindigkeit), die zur Beschreibung des Einmischprozesses des Sickerwassers in das Grundwasser benötigt werden. Die Anstromkontrollebene sollte daher so definiert werden (Messstellenanordnung), dass eine repräsentative Ermittlung dieser Parameter bezogen auf den relevanten Anstromquerschnitt der Quellfläche (Breite senkrecht zur Grundwasserfließrichtung) möglich ist (Abb. 56). Die Breite senkrecht zur Grundwasserfließrichtung kann dem Tabellenblatt KE-0 (Abb. 55) entnommen werden.

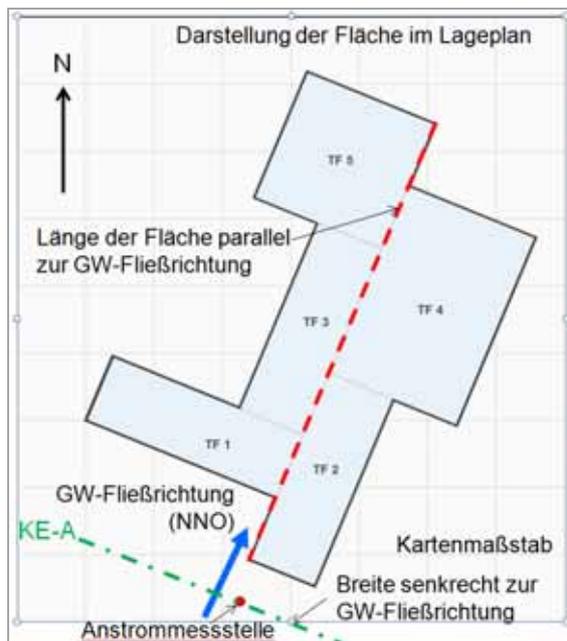


Abb. 56: Lage der Anstromkontrollebene KE-A.

Sofern erforderlich, kann die Kontrollebene analog zu den Kontrollebenen I und II in bis zu 30 rechteckige Stromröhren unterteilt werden, um durchflussproportional gemittelte Parameter zu ermitteln.

Die rechteckförmigen Stromröhren werden durch die Koordinaten (y/z) von je zwei frei wählbaren diagonal gegenüberliegenden Eckpunkten (EP1 und EP2) eindeutig definiert (Abb. 57). Die y-Achse ist horizontal und senkrecht zur Grundwasserfließrichtung orientiert,

die z-Achse ist vertikal (Die x-Achse ist immer parallel zur Grundwasserfließrichtung orientiert.). Der Ursprung des Koordinatensystems kann frei gewählt werden. Es wird empfohlen, den Nullpunkt der z-Achse in die Grundwasseroberfläche zu legen und die z-Koordinate positiv nach unten zu zählen. Den einzelnen Stromröhren sind entsprechend dem Ergebnis der Erkundung die repräsentativen hydrogeologischen Parameter kf-Wert, hydraulisches Gefälle und die Konzentration zuzuordnen. Es wird empfohlen, grundsätzlich eine Skizze entsprechend Abbildung 57 anzufertigen.

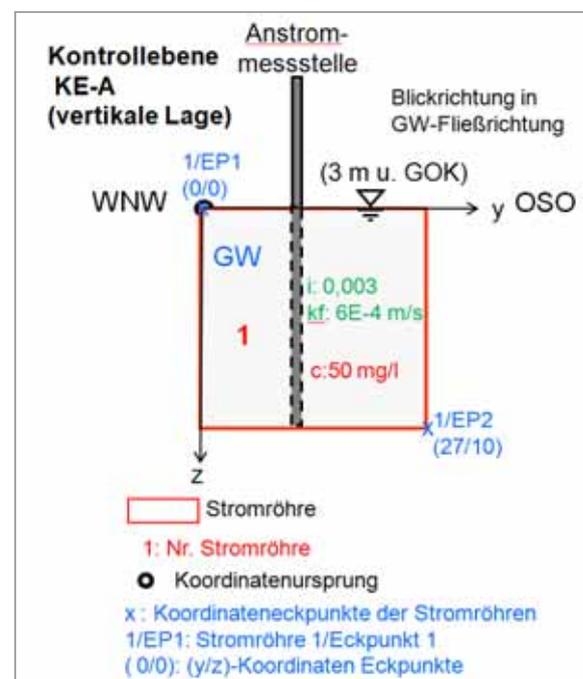


Abb. 57: Beispiel für die Konstruktion einer Anstromkontrollebene KE-A.

Der Aufbau des Tabellenblattes KE-A ist analog zu den Tabellenblättern der Abstromkontrollebenen KE-I und KE-II (s. Kap. 8.6.4.1). Die Koordinaten der Eckpunkte der Stromröhren sowie die für die jeweilige Stromröhre repräsentativen hydrogeologischen Parameter kf-Wert, hydraulisches Gefälle und Stoffkonzentration sind in die gelb markierten Felder des Tabellenblattes einzugeben (Abb. 58). Die Mächtigkeit der einzelnen Stromröhre ergibt sich aus den eingegebenen z-Koordinaten der Eckpunkte. Die mittlere Mächtigkeit der Kontrollebene wird aus der Gesamtfläche und der Gesamtbreite errechnet.

Ermittlung repräsentativer Frachten in Kontrollebene A (Anstrom)					
Grundwasser					
Version 1.2					
Eingabe-Parameter	Symbol	Einheit			
Stromröhre-Nr			1	2	3
Messstelle/Sondierung			Anstrom		
y-Koordinate EP1	y1	m	0,00		
z-Koordinate EP1	z1	m	0,00		
y-Koordinate EP2	y2	m	27,00		
z-Koordinate EP2	z2	m	10,00		
kf-Wert	kf	m/s	6,00E-04		
hydr. Gefälle	i	(-)	0,003		
Konzentration	c	µg/l	50000,00		
Berechnete Parameter	Symbol	Einheit			
Breite	b	m	27,00	0,00	0,00
Mächtigkeit	d	m	10,00	0,00	0,00
Querschnittsfläche	A	m ²	270,00	0,00	0,00
Filtergeschwindigkeit	vf	m/a	56,76	0,00	0,00
Volumenstrom	Q	m ³ /a	15326,50	0,00	0,00
Massenfluss	J	g/(m ² ·a)	2838,24	0,00	0,00
Massenstrom	E	g/a	766324,80	0,00	0,00
Kontrollebene KE-A	Symbol	Einheit	Wert		
Querschnittsfläche	A	m ²	270,00		
Breite	B	m	27,00		
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	10,00		
Volumenstrom	Q	m ³ /a	15326,50		
Massenstrom	E	g/a	766324,80		
mittl. Filtergeschw.	vf _m	m/a	56,76		
mittl. Massenfluss	J _m	g/(m ² ·a)	2838,24		
mittl. Konzentration	c _m	µg/l	50000,00		

Abb. 58: Eingabeparameter für die Anstromkontrollebene KE-A entsprechend Abbildung 57.

8.6.4 Schaden (FG-II)

Das Tabellenblatt „Schaden“ ist für Fälle relevant, in denen bereits eine durch eine Quelle in der ungesättigten oder gesättigten Zone verursachte Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit eingetreten ist (FG-IIa/IIb entsprechend Abb. 9 im Kap. 5.1.2).

Der Aufbau des Tabellenblattes ist analog zum Tabellenblatt „Gefahr“ in vier Bereiche gegliedert (Abb. 59) und kann exemplarisch dem Fallbeispiel 3 im Kapitel 8.3.3 entnommen werden. Im oberen Teil können in den gelb markierten Feldern allgemeine Angaben zum Bearbeiter und zum Projekt eingegeben werden. Für die Bewertung im Hinblick auf die Gefahrenschwelle und die Maßnahmenschwelle ist die Eingabe eines Schadstoffes und der entsprechenden GFS erforderlich. Die GFS können dem Tabellenblatt GFS entnommen werden.

Die Bewertung erfolgt auf der Grundlage der im Bereich „Kontrollebenen“ in den Spalten KE-I und KE-II berechneten Prüfparameter. Diese werden in den Tabellenblättern der relevanten Kontrollebenen KE-I und KE-II aufgrund der dort einzugebenden Daten für die Stromröhren berechnet und automatisch übernommen. Falls die Tabellenblätter KE-I und KE-II keine Angaben enthalten, wird als Anzahl der Stromröhren der Wert 0 und als Ergebnis der Bewertung „k. B.“ (keine Bewertung) ausgegeben. Überschreitet die mittlere Schadstoffkonzentration im Grundwasser in der KE-I oder KE-II die GFS, wird der Wert in roter Schrift, bei Einhaltung oder Unterschreitung der GFS in grüner Schrift dargestellt.

Das Ergebnis der Bewertung im Hinblick auf die Einhaltung der Prüfkriterien für die Schadensschwelle bzw. die Maßnahmenschwelle wird durch farbkodierte Schrift dargestellt (ja/grün bei Einhaltung und nein/rot bei Überschreitung der Prüfkriterien bzw. schwarz, wenn keine Berechnung).

Ermessensleitende Kriterien FG-II: Schaden		Bearbeiter:	Engeser	
gelbe Felder: Eingabefelder		Projekt:	Fallbsp. 3	
		Datum Bearbeit.:	12.02.13	
		Version	1.2	
Eingabeparameter	Symbol	Einheit	Wert	
Schadstoff			LCKW	
GFS	GFS	µg/l	20,00	
Kontrollebenen			KE-I	KE-II
Anzahl Stromröhren	k		4	3
Fläche	A _{KE}		510,00	510,00
Breite	B _{KE}	m	85,00	85,00
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	6,00	6,00
abströmende Fracht	E _{gw}	g/a	4615,04	2048,70
mittl. Filtergeschwindigkeit	v _f	m/a	208,14	208,14
mittl. Schadstoffkonzentration	c _m	µg/l	43,48	19,30
Schadensschwelle	Symbol	Einheit	KE-I	
Schwellenfracht	E _{schwell}	g/a	41,6	
Bewertung	Ergebnis			
B(KE-I) ≤ 10 m	nein			
E _{gw} (KE-I) ≤ E _{schwell}	nein			
c _{gw} (KE-I) ≤ GFS	nein			
Schadensschwelle überschritten?	ja			
Maßnahmenschwelle (MS-S)	Symbol	Einheit	KE-I	KE-II
geringe Fracht	E _{ger}	g/a	14569,6	14569,6
Bewertung	Ergebnis			
Regelfall (KE-I)				
B(KE-I) ≤ 100 m	ja			
E _{gw} (KE-I) ≤ E _{ger}	ja			
c _{gw} (KE-I) ≤ GFS	nein			
Maßnahmenschwelle überschritten?	ja			
Ausnahmefall (KE-II)				
B(KE-II) ≤ 100 m	ja			
E _{gw} (KE-II) ≤ E _{ger}	ja			
c _{gw} (KE-II) ≤ GFS	ja			
Maßnahmenschwelle überschritten?	nein			

Abb. 59: Tabellenblatt „Schaden“ (entspricht Fallbeispiel 3 im Kap. 8.3.4).

8.6.4.1 Kontrollebenen Abstrom (KE-I/KE-II)

Die Kontrollebene KE-I ist relevant für die Beurteilung des Schadstoffaustrages im Grundwasser unmittelbar abstromseitig einer Quelle. Dies entspricht der Vorgehensweise im Regelfall. Im Ausnahmefall kann zur Beurteilung die Kontrollebene KE-II an der abstromseitigen Grundstücksgrenze herangezogen werden (s. Kap. 5.2.2).

Die Tabellenblätter KE-I und KE-II sind analog zum Tabellenblatt KE-A (s. 8.6.3.2) aufgebaut. Der relevante Abstromquerschnitt der Kontrollebenen kann entsprechend der Sondierungs- bzw. Messstellenkonfiguration in maximal 30 rechteckförmige Stromröhren unterteilt werden.

Die rechteckförmigen Stromröhren werden durch die Koordinaten (y/z) von je zwei frei wählbaren diagonal gegenüberliegenden Eckpunkten (EP1 und EP2) eindeutig definiert (Abb. 60). Die y-Achse ist horizontal und senkrecht zur Grundwasserfließrichtung orientiert, die z-Achse ist vertikal (Die x-Achse ist immer parallel zur Grundwasserfließrichtung orientiert.). Der Ursprung des Koordinatensystems

kann frei gewählt werden. Es wird empfohlen, den Nullpunkt der z-Achse in die Grundwasseroberfläche zu legen und die z-Koordinate positiv nach unten zu zählen. Den einzelnen Stromröhren sind entsprechend dem Ergebnis der Erkundung die repräsentativen hydrogeologischen Parameter kf-Wert, hydraulisches Gefälle und die Konzentration zuzuordnen. Es wird empfohlen, grundsätzlich eine Skizze entsprechend Abbildung 60 anzufertigen.

Der Aufbau der Tabellenblätter KE-I/KE-II ist analog zum Tabellenblatt KE-A für die Anstromkontrollebene (s. Kap. 8.6.4.1). Die Koordinaten der Eckpunkte der Stromröhren sowie die für die jeweilige Stromröhre repräsentativen hydrogeologischen Parameter kf-Wert, hydraulisches Gefälle und Stoffkonzentration sind in die gelb markierten Felder des Tabellenblattes einzugeben (Abb. 61). Die Mächtigkeit der einzelnen Stromröhre ergibt sich aus den eingegebenen z-Koordinaten der Eckpunkte. Die mittlere Mächtigkeit der Kontrollebene wird aus der Gesamtfläche und der Gesamtbreite errechnet. Für die Berechnung der mittleren Konzentration in der Kontrollebene wird die mittlere Mächtigkeit maximal jedoch 35 m verwendet.

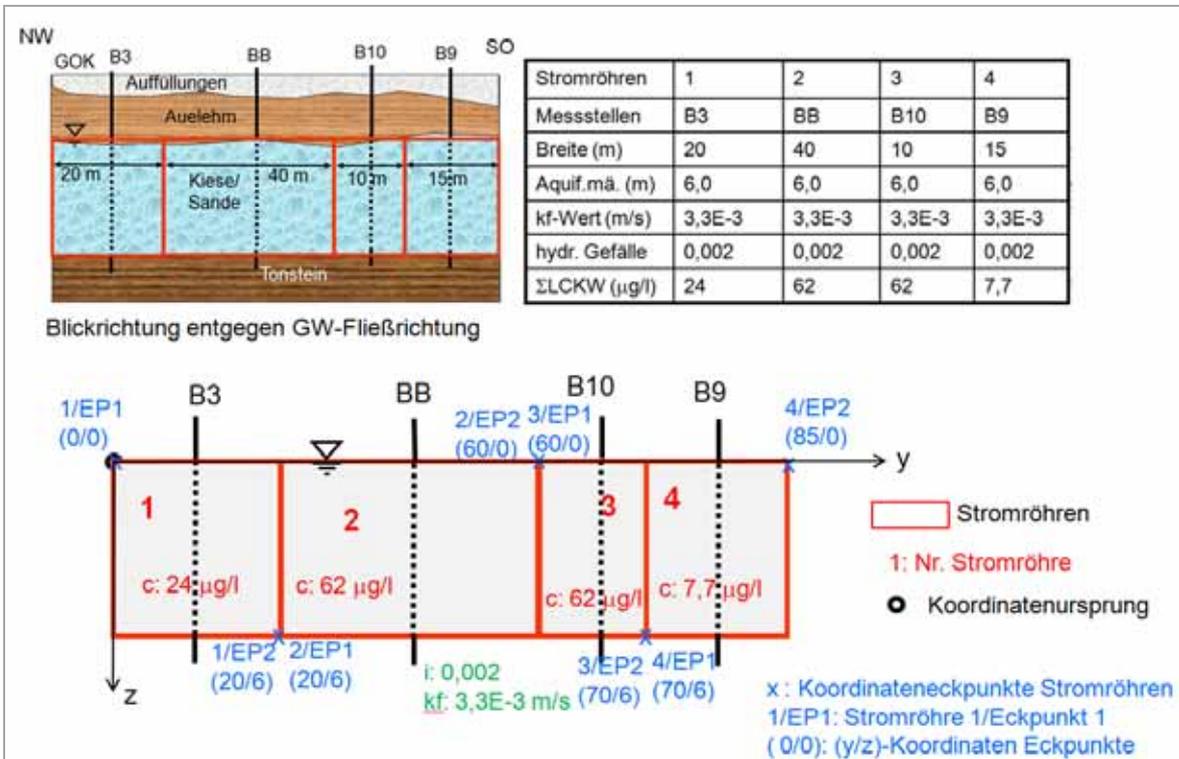


Abb. 60: Stromröhrenmodell (KE-II) für das Fallbeispiel 3.

Ermittlung repräsentativer Prüfparameter in Kontrollebene I (Abstrom Q Grundwasser

Version 1.2

Eingabe-Parameter	Symbol	Einheit	1	2	3	4
Stromröhre-Nr			1	2	3	4
Messstelle/Sondierung			B3	BB	B10	B9
y-Koordinate EP1	y1	m	0,00	20,00	60,00	70,00
z-Koordinate EP1	z1	m	0,00	6,00	0,00	6,00
y-Koordinate EP2	y2	m	20,00	60,00	70,00	85,00
z-Koordinate EP2	z2	m	6,00	0,00	6,00	0,00
kf-Wert	kf	m/s	3,30E-03	3,30E-03	3,30E-03	3,30E-03
hydr. Gefälle	i	(-)	0,002	0,002	0,002	0,002
Konzentration	c	µg/l	24,00	62,00	62,00	7,70
Berechnete Parameter	Symbol	Einheit				
Breite	b	m	20,00	40,00	10,00	15,00
Mächtigkeit	d	m	6,00	6,00	6,00	6,00
Querschnittsfläche	A	m ²	120,00	240,00	60,00	90,00
Filtergeschwindigkeit	vf	m/a	208,14	208,14	208,14	208,14
Volumenstrom	Q	m ³ /a	24976,51	49953,02	12488,26	18732,38
Massenfluss	J	g/(m ² *a)	5,00	12,90	12,90	1,60
Massenstrom	E	g/a	599,44	3097,09	774,27	144,24
Kontrollebene KE-I	Symbol	Einheit	Wert			
Querschnittsfläche	A	m ²	510,00			
Breite	B	m	85,00			
mittl. Mächtigkeit	d _m	m	6,00			
Volumenstrom	Q	m ³ /a	106150,18			
Massenstrom	E	g/a	4615,04			
mittl. Filtergeschw.	vf _m	m/a	208,14			
mittl. Massenfluss	J _m	g/(m ² *a)	9,05			
mittl. Konzentration	c _m	µg/l	43,48			

Abb. 61: Eingabeparameter für die KE-II (entspricht Fallbeispiel 3).

Autor

- Bernhard Engeser
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.2 „Grundwasser- und
Abfallwirtschaft, Altlasten“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.

ISSN 1864 – 7529