

**Vorlesung und Übung**

# **Grundwasserhydraulik und -erschließung**

**DR. THOMAS MATHEWS**  
**TEILE 3 + 4**

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 1 von 58
-------	---	--	----------------

# INHALT

INHALT.....	2
1 MATHEMATISCHE GRUNDLAGEN FÜR EINDIMENSIONALE ANALYTISCHE MODELLE .....	4
2 WASSERRECHT UND GRUNDWASSERBEWIRTSCHAFTUNG .....	27
2.1 EU-WASSERRAHMENRICHTLINIE.....	27
2.2 WASSERHAUSHALTSGESETZ .....	28
2.2.1 <i>Wasserschutgebiete</i> .....	33
2.2 BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ- BBODSCHG.....	35
2.3 BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ATTLASTENVERORDNUNG BBODSCHV .....	43
3 LITERATUR .....	53
4 AUFGABEN.....	54

### Teil 3: Mathematische Grundlagen der Grundwassermodelle

- a) Datenakquisition; Ermittlung von Eingabeparameter mit unterschiedlicher Datenqualität (Schätzwert, Kartenablesung, Messwert, Messwertdichte).
- b) Mathematische Grundlagen für eindimensionale analytische Modelle.
- c) Berechnung des Strömungsfeldes.
- d) Berechnung der Schadstoffausbreitung.
- e) Darstellung und Interpretation von hydrogeologischen Daten

### Teil 4: Wasserrecht und Grundwasserbewirtschaftung

- a) Wasserhaushaltsgesetz, Grundwasserrichtlinie, Wasserrahmenrichtlinie der EU, Bewirtschaftungsgrundsätze des Grundwassers
- b) Bundes Bodenschutzgesetz
- c) Bundes Bodenschutzverordnung
- d) Beispielfälle für das Zusammenwirken der Rechtsvorschriften
- e) Diskussion der derzeitigen Verordnungen der Länder Hessen, Bayern, BW und NRW bzgl. Grundwasserschäden.

# 1 Mathematische Grundlagen für eindimensionale analytische Modelle

Zunächst werden Transportmodelle hinsichtlich ihrer Dimensionalität unterschieden. Es gibt ein-, zwei oder dreidimensionale Modelle.

## 1-dimensionale Modelle

Eindimensionale Modelle sind auf Säulenversuche im Labor und auf den Transport in der ungesättigten Bodenzone beschränkt.

## horizontal 2-dimensionale Modelle

Das am häufigsten angewandte Modell im Grundwasserbereich ist das horizontal 2-dimensionale Modell. Es setzt eine ebene Strömung voraus. Solche Verhältnisse liegen näherungsweise vor, wenn die betrachtete Transportstrecke sehr viel größer als die Aquifermächtigkeit ist.

In Situationen, in denen die Aquifereigenschaften sich mit der Tiefe nicht oder nur unwesentlich ändern und der Kontaminationsverlauf über die Aquifertiefe ebenfalls weitgehend homogen ist, lassen sich diese Modelle ohne Einschränkung anwenden. Auch in den Fällen, wo die Konzentrationsverteilung inhomogen ist, können solche Modelle gut eingesetzt werden. Ermittelt werden dann allerdings nur Konzentrationswerte, die dem Tiefenmittel des betrachteten Aquifers entsprechen.

In dem Moment, wo die Strömung innerhalb des Aquifers echt dreidimensional ist, können 2-D Modelle nicht mehr eingesetzt werden.

## 3-dimensionale Modelle

Dreidimensionale Modelle werden dort angewendet, wo eine Reduktion der Dimensionalität durch Vereinfachungen nicht mehr zu sinnvollen Ergebnissen führt. Als Beispiele seien genannt das Nahfeld von Schadstoffquellen oder Entnahmebrunnen, "Fenster" zwischen verschiedenen Grundwasserleitern, linsenförmiges Vorkommen von Grundwasserstauern.

Fazit:

Ein Modell, das auf jede beliebige Verschmutzungssituation anwendbar ist, existiert nicht. Je nach Aufgabenstellung muß untersucht werden, in wieweit eine Dimensionsreduktion sinnvoll

und durchführbar ist. Wenn die Dimensionalität des Problems feststeht, wird das Modell ausgewählt, mit dem der Transport simuliert werden soll.

Generell wird unterschieden zwischen der analytischen Lösung einer Transportgleichung und einer numerischen Lösung des Transportproblems.

### ***-Analytische Lösung des Transportproblems***

Grundlage für die Modellierung des Stofftransportes im Grundwasser ist die Transportgleichung. Sie beschreibt die Ausbreitung der Schadstoffe im Grundwasser unter Berücksichtigung der Advektion, Dispersion, Adsorption und chemischer Reaktionen. Unter einer analytischen Lösung der Transportgleichung versteht man eine Lösung, die eine Konzentrationsverteilung eines Schadstoffes als Funktion des Ortes und der Zeit in einer geschlossenen Form (d.h. als Formel) angibt. Dieser Ausdruck kann noch Ausdrücke wie Integrale enthalten, die numerisch ausgewertet werden müssen.

Situationen, die durch eine analytische Lösung der Transportgleichung beschrieben werden können, sind durch einfachste Strömungssituationen, umfangreiche Homogenitätsannahmen und einfache Randbedingungen gekennzeichnet.

Den meisten analytischen Lösungen der Transportgleichung liegt eine stationäre, homogene parallele Strömung des Grundwassers zugrunde. Weiter fordern solche Lösungen, daß der Einfluß, den beispielsweise der Eintrag eines Schadstoffes in das Grundwasser einen auf die Strömungssituation vernachlässigbar kleinen Einfluß haben muß.

Weiter ist Homogenität der Dispersionsparameter, der Porosität, des Verzögerungsfaktors, der Abbaurates sowie der geometrischen Parameter des Aquifers erforderlich.

Diese Voraussetzungen stellen starke Idealisierungen dar und sind in der Natur bestenfalls näherungsweise erfüllt. Dies schränkt die Anwendbarkeit von analytischen Lösungen in der Realität ein. Sie dienen aber als erstes Hilfsmittel zur Abschätzung der im allgemeinen unbekannt transportrelevanten Parameter aus beobachteten Konzentrationen. Außerdem werden mit analytischen Modellen die im folgenden beschriebenen numerischen Modelle ausgetestet.

Die Lösung der Transportgleichung erfordert definierte Anfangs- und Randbedingungen. Nachfolgend wird eine zweidimensionale Konvektions-Dispersions-Lösung der Transportgleichung unter Berücksichtigung einer permanenten punktuellen Immissionsquelle, eines Äquilibrium-Sorptionsterms und eines biologisch-chemischen Abbautherms erster Ordnung (siehe Gleichung) beschrieben. Die Lösung der Transportgleichung ist für Transportstrecken anwendbar, für die die Bedingung  $r/(2\alpha_L) > 1$  erfüllt ist. Die permanente Schadstoffquelle hat die Koordinaten  $(x=0, y=0)$ . Für jeden Schadstoff wird ausgehend von der Anfangskonzentration  $CGW_0$  mg/m<sup>3</sup> mit

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 5 von 58
-------	---	--	----------------

Hilfe der zweidimensionalen analytischen Lösung der Transportgleichung (siehe Gleichung) ein Eintrag in den Entnahmebrunnen  $CGW_1$  [ $mg/m^3$ ] zur Zeit  $t_1$  und für die Fließstrecke  $r$  berechnet.

$$CGW_1(x, y, t) = \frac{CGW_0}{4\sqrt{\pi\alpha_T}} * \exp\left(\frac{x-r\gamma}{2\alpha_L}\right) * \frac{1}{\sqrt{r\gamma}} * \operatorname{erfc}\left(\frac{r-v_a t \frac{\gamma}{R}}{2\sqrt{\alpha_L v_a \frac{t}{R}}}\right)$$

$$\text{mit } r = \sqrt{x^2 + \left(\frac{\alpha_L}{\alpha_T}\right) y^2} \text{ und } \gamma = \sqrt{1 + 4\alpha_L \lambda \frac{R}{v_a}}$$

$$\text{mit } \operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt$$

$CGW_0$	= Anfangskonzentration	[ $mg/m^3$ ]
$CGW_1$	= Konzentration nach Durchströmung	[ $mg/m^3$ ]
$\alpha_L$	= longitudinaler Dispersivitätskoeffizient	[m]
$\alpha_T$	= transversaler Dispersivitätskoeffizient	[m]
$R$	= Retardationsfaktor	[1]
$v_a$	= Abstandsgeschwindigkeit	[m/s]
$t$	= Transportzeit	[s]
$r$	= Transportstrecke	[m]
$x, y$	= Koordinaten des Brunnens	[m]
$\lambda$	= Abbaurate	[ $1/s^1$ ]

Die Lösung der Transportgleichung berücksichtigt folgende Randbedingungen:

- Das Grundwasser fließt konstant mit der gemessenen Abstandsgeschwindigkeit in einer parallelen Horizontalströmung.
- Der Aquifer ist homogen und isotrop.
- Der Strömungsgradient kann als konstante Größe berücksichtigt werden.
- Der Schadstoffeintrag erfolgt permanent.
- Die Schadstoffquelle ist punktförmig.

- Das Adsorptionsverhalten der Schadstoffe ist durch eine reversible, lineare Gleichgewichts- isotherme zu beschreiben.
- Das Abbauverhalten der Schadstoffe kann durch eine Abbaufunktion erster Ordnung be- schrieben werden.
- Alle bodenspezifischen Meßdaten werden als konstant in Ort, Zeit und Temperatur ange- nommen.
- Es wird angenommen, daß die Chemikalie in zwei Dimensionen durch den Grundwasser- leiter bewegt wird.

Die Inputparameter der Transportgleichung werden im Weiteren beschrieben.

Die analytische Transportgleichung berechnet den Schadstoffeintrag für einen Entnahmebrunnen, ausgehend von räumlich identifizierten Grundwasserproben. Folgende Eingabeparameter in die nachfolgenden Transportgleichung sind bekannt:

$C_0$	=	Anfangskonzentration Trichlorethen 106 µg/l
$t$	=	Transportzeit 30 Jahre [s]
$x$ (Brunnen)	=	700 [m]
$y$ (Brunnen)	=	30 [m]
$m$	=	Mächtigkeit Aquifer 10 [m]
$v_u$	=	Abstandsgeschwindigkeit $4,6 \cdot 10^{-6}$ [m/s]
Standort	=	Koordinaten ( $x=0$ ; $y=0$ )

In den nachfolgend beschriebenen Teilschritten werden die zur Transportmodellierung notwendigen weiteren Eingabeparameter

$R$	=	Retardierungsfaktor	[1]
$\lambda$	=	Abbaurrate	[1/s]
$\alpha_L$	=	longitudinaler Dispersivitätskoeffizient	[m]
$\alpha_T$	=	transversaler Dispersivitätskoeffizient	[m]

berechnet.

$$CGW_1(x, y, t) = \frac{CGW_0}{4\sqrt{\pi \alpha_T}} * \exp\left(\frac{x - r \gamma}{2 \alpha_L}\right) * \frac{1}{\sqrt{r \gamma}} * \operatorname{erfc}\left(\frac{r - v_a t \frac{\gamma}{R}}{2 \sqrt{\alpha_L v_a \frac{t}{R}}}\right)$$

$$\text{mit } r = \sqrt{x^2 + \left(\frac{\alpha_L}{\alpha_T}\right) y^2} \text{ und } \gamma = \sqrt{1 + 4 \alpha_L \lambda \frac{R}{v_a}}$$

$$\text{mit } \operatorname{erfc}(z) = 1 - \operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt$$

$$\operatorname{erfc}(-z) = 2 - \operatorname{erfc}(z)$$

Für Transportzeiten mit  $t = +\infty$  wird  $\operatorname{erfc}(x) = 2$ . Es entfällt der letzte Term der Gleichung.

$$CGW_1(x, y, t) = \frac{CGW_0}{2\sqrt{\pi \alpha_T}} * \exp\left(\frac{x - r \gamma}{2 \alpha_L}\right) * \frac{1}{\sqrt{r \gamma}}$$

$$\text{mit } r = \sqrt{x^2 + \left(\frac{\alpha_L}{\alpha_T}\right) y^2} \text{ und } \gamma = \sqrt{1 + 4 \alpha_L \lambda \frac{R}{v_a}}$$

Teilschritt 1: Zur Berechnung des jeweiligen schadstoffspezifischen Retardierungsfaktors sind die Dichte des Bodens  $\rho_s$  [kg/l], die effektive Porosität des Sediments  $n_e$  und der  $K_D$ -Wert des Schadstoffes für den Sand Saale 3 zu ermitteln. Der Saale 3 Horizont hat nach Laborversuch eine Dichte von 2,0 [t/m<sup>3</sup>]. Die effektive Porosität wurde im Wassersättigungsversuch zu 20 % bestimmt. Der  $K_D$ -Wert wurde nicht im Säulen-, Batch- oder Diffusionsversuch entsprechend der OECD-Guideline 106 "Adsorption/Desorption" gemessen. Die  $K_D$ -Werte werden für die Schadstoffe nach der folgenden Gleichung aus dem  $K_{oc}$ -Werten und dem  $C_{org}$ -Gehalt des Sediments berechnet. Da der  $C_{org}$ -Gehalt nicht als gemessene Größe vorliegt, wird ein Default-Wert = 0,1 % (gesättigte Bodenzone) zur Berechnung berücksichtigt. Für Trichlorethen wird ein Retardierungsfaktor von 2,26 berechnet (siehe folgende Gleichung).

$$R_{is} [I] = 1 + 0,126 [l/kg] * \frac{2,0}{0,2} = 2,26$$

$$r = \sqrt{700^2 + \left(\frac{10}{1}\right) 30^2} = 706,4 \text{ m}$$

(1)

$$\gamma = \sqrt{1 + 4 * 10 * 6 * 10^{-14} \frac{2,26}{4,6 * 10^{-6}}} = 1$$

$$erfc(z) = 1 - erf(z)$$

$$erfc(-z) = 2 - erfc(z)$$

Die Hilfsvariable  $\gamma$  und die Fehlerfunktion  $erfc(z)$  berechnet sich nach der folgenden Gleichung. Zur Lösung des Gauß'schen Fehlerintegrals wird die Reihenentwicklung nach Abramowitz verwendet.

$$erfc(z) = (a_1 k + a_2 k^2 + a_3 k^3 + a_4 k^4 + a_5 k^5) e^{-z^2} + \varepsilon$$

$$\text{nur für } z \geq 0 \text{ mit } k = \frac{1}{(1 + px)}$$

$$px = 0.3275911$$

$$a_1 = 0.254829592$$

$$a_2 = -0,28449673$$

$$a_3 = 1,421413741$$

$$a_4 = -1,45315202$$

$$a_5 = 1,061405429$$

$$\varepsilon = 1,5 \times 10^{-7}$$

$$\operatorname{erfc}(z) = \operatorname{erfc}\left(\frac{706,4 - 4,6 \cdot 10^{-6} * 9,46 \cdot 10^8 * \frac{1}{2,26}}{2 \sqrt{10 * 4,6 * 10^{-6} \frac{9,49 \cdot 10^8}{2,26}}}\right) = \operatorname{erfc}(-4,3931)$$

$$\operatorname{erfc}(-4,3931) = 2 - \operatorname{erfc}(4,3931)$$

$$\operatorname{erfc}(-4,3931) = 2 - 5,2 * 10^{-10} = 2$$

$$CGW_1(700; 30; 9,5E+8) = \frac{106}{4\sqrt{\pi * 1}} * \exp\left(\frac{700 - 706,4 * 1}{2 * 10}\right) * \frac{1}{\sqrt{706,4 * 1}} * 2 = 0,82 \mu\text{g L}^{-1}$$

Teilschritt 3: Der mikrobielle und der hydrolytische Abbau des Schadstoffes gehen als Abbaurrate  $\lambda$  in die Transportfunktion ein. Da keine Daten aus Feldversuchen vorliegen werden die Halbwertszeiten  $t_{1/2}$  der Schadstoffe verwendet.

	Halbwertszeit $T_{1/2}$ [d]	Abbaukonstante $\lambda$ [ $\text{s}^{-1}$ ]
Trichlorethen	kein Abbau	$-\infty$ (6 E-14)

Teilschritt 4: Der longitudinale Dispersivitätskoeffizient  $\alpha_L$  [m] wird über die Fließstrecke  $r$  [m] nach dem Diagramm nach Beims ermittelt. Für eine Transportstrecke von 706 m wird ein  $\alpha_L = 10$  [m] berechnet. Der transversale Dispersivitätskoeffizient  $\alpha_T$  [m] berechnet sich zu 1 [m]. Für Trichlorethen werden die ermittelten Parameter in die Transportgleichung eingesetzt. In einem ersten Berechnungsschritt werden die Strömungsstrecke  $r$ , die Hilfsvariable  $\gamma$  und die Fehlerfunktion  $\operatorname{erfc}(x)$  berechnet. Dabei berechnet sich eine Konzentration von 0,85  $\mu\text{g/l}$  für Trichlorethen bei einer Entfernung von 0,7 km zur Schadstoffquelle.

x	erf x
0,00	0,00000 00000
0,01	0,01128 34156
0,02	0,02256 45747
0,03	0,03384 12223
0,04	0,04511 11061
0,05	0,05637 19778
0,06	0,06762 15944
0,07	0,07885 77198
0,08	0,09007 81258
0,09	0,10128 05939
0,10	0,11246 29160
0,11	0,12362 28962
0,12	0,13475 83518
0,13	0,14586 71148
0,14	0,15694 70331
0,15	0,16799 59714
0,16	0,17901 18132
0,17	0,18999 24612
0,18	0,20093 58390
0,19	0,21183 98922
0,20	0,22270 25892
0,21	0,23352 19230
0,22	0,24429 59116
0,23	0,25502 25996
0,24	0,26570 00590
0,25	0,27632 63902
0,26	0,28689 97232
0,27	0,29741 82185
0,28	0,30788 00680
0,29	0,31828 34959
0,30	0,32862 67595
0,31	0,33890 81503
0,32	0,34912 59948
0,33	0,35927 86550
0,34	0,36936 45293
0,35	0,37938 20536
0,36	0,38932 97011
0,37	0,39920 59840
0,38	0,40900 94534
0,39	0,41873 87001
0,40	0,42839 23550
0,41	0,43796 90902
0,42	0,44746 76184
0,43	0,45688 66945
0,44	0,46622 51153
0,45	0,47548 17198
0,46	0,48465 53900
0,47	0,49374 50509
0,48	0,50274 96707
0,49	0,51166 82612
0,50	0,52049 98778
0,51	0,52924 36198
0,52	0,53789 86305
0,53	0,54646 40969
0,54	0,55493 92505

x	erf x
0,55	0,56332 33663
0,56	0,57161 57638
0,57	0,57981 58062
0,58	0,58792 29004
0,59	0,59593 64972
0,60	0,60385 60908
0,61	0,61168 12189
0,62	0,61941 14619
0,63	0,62704 64433
0,64	0,63458 58291
0,65	0,64202 93274
0,66	0,64937 66880
0,67	0,65662 77023
0,68	0,66378 22027
0,69	0,67084 00622
0,70	0,67780 11938
0,71	0,68466 55502
0,72	0,69143 31231
0,73	0,69810 39429
0,74	0,70467 80779
0,75	0,71115 56337
0,76	0,71753 67528
0,77	0,72382 16140
0,78	0,73001 04313
0,79	0,73610 34538
0,80	0,74210 09647
0,81	0,74800 32806
0,82	0,75381 07509
0,83	0,75952 37569
0,84	0,76514 27115
0,85	0,77066 80576
0,86	0,77610 02683
0,87	0,78143 98455
0,88	0,78668 73192
0,89	0,79184 32468
0,90	0,79690 82124
0,91	0,80188 28258
0,92	0,80676 77215
0,93	0,81156 35586
0,94	0,81627 10190
0,95	0,82089 08073
0,96	0,82542 36496
0,97	0,82987 02930
0,98	0,83423 15043
0,99	0,83850 80696
1,00	0,84270 07929
1,01	0,84681 04962
1,02	0,85083 80177
1,03	0,85478 42115
1,04	0,85864 99465
1,05	0,86243 61061
1,06	0,86614 35866
1,07	0,86977 32972
1,08	0,87332 61584
1,09	0,87680 31019

x	erf x
1,10	0,88020 50696
1,11	0,88353 30124
1,12	0,88678 78902
1,13	0,88997 06704
1,14	0,89308 23276
1,15	0,89612 38429
1,16	0,89909 62029
1,17	0,90200 03990
1,18	0,90483 74269
1,19	0,90760 82860
1,20	0,91031 39782
1,21	0,91295 55080
1,22	0,91553 38810
1,23	0,91805 01041
1,24	0,92050 51843
1,25	0,92290 01283
1,26	0,92523 59418
1,27	0,92751 36293
1,28	0,92973 41930
1,29	0,93189 86327
1,30	0,93400 79449
1,31	0,93606 31228
1,32	0,93806 51551
1,33	0,94001 50262
1,34	0,94191 37153
1,35	0,94376 21961
1,36	0,94556 14366
1,37	0,94731 23980
1,38	0,94901 60353
1,39	0,95067 32958
1,40	0,95228 51198
1,41	0,95385 24394
1,42	0,95537 61786
1,43	0,95685 72531
1,44	0,95829 65696
1,45	0,95969 50256
1,46	0,96105 35095
1,47	0,96237 28999
1,48	0,96365 40654
1,49	0,96489 78648
1,50	0,96610 51465
1,51	0,96727 67481
1,52	0,96841 34969
1,53	0,96951 62091
1,54	0,97058 56899
1,55	0,97162 27333
1,56	0,97262 81220
1,57	0,97360 26275
1,58	0,97454 70093
1,59	0,97546 20158
1,60	0,97634 83833
1,61	0,97720 68366
1,62	0,97803 80884

x	erf x
1,63	0,97884 28397
1,64	0,97962 17795
1,65	0,98037 55850
1,66	0,98110 49213
1,67	0,98181 04416
1,68	0,98249 27870
1,69	0,98315 25869
1,70	0,98379 04586
1,71	0,98440 70075
1,72	0,98500 28274
1,73	0,98557 84998
1,74	0,98613 45950
1,75	0,98667 16712
1,76	0,98719 02752
1,77	0,98769 09422
1,78	0,98817 41959
1,79	0,98864 05487
1,80	0,98909 05016
1,81	0,98952 45446
1,82	0,98994 31565
1,83	0,99034 68051
1,84	0,99073 59476
1,85	0,99111 10301
1,86	0,99147 24883
1,87	0,99182 07476
1,88	0,99215 62228
1,89	0,99247 93184
1,90	0,99279 04292
1,91	0,99308 99398
1,92	0,99337 82251
1,93	0,99365 56502
1,94	0,99392 25709
1,95	0,99417 93336
1,96	0,99442 62755
1,97	0,99466 37246
1,98	0,99489 20004
1,99	0,99511 14132
2,00	0,99532 22650

### ***- Numerische Lösungen des Transportproblems***

Der Grundgedanke einer numerischen Lösung des Transportproblems ist recht einfach. Das zu untersuchende Gebiet wird in kleine, in sich völlig homogene Teilstücke unterteilt. Diese Teilstücke - Zellen genannt - sind im Hinblick auf alle Parameter homogen und isotrop.

Diese Zellen lassen sich durch analytische Lösungen der Transportgleichung beschreiben. Erst die Vielzahl von Zellen in einem solchen Modell eröffnen die Möglichkeit, auch komplizierteste Aquiferverhältnisse nachzubilden und so eine gute Anpassung an die Realität vorzunehmen.

Auch bei der numerischen Lösung der Transportgleichung werden zwei- und dreidimensionale Modelle unterschieden. Bei Strömungsproblemen mit horizontalen Dimensionen, die sehr viel größer als die vertikalen Abmessungen der betreffenden Aquifere sind, ist meist die näherungsweise tiefengemittelte Betrachtung der Strömung in zwei Dimensionen gestattet. Bei Grundwasserstockwerkstrennung, unvollkommenen Brunnen oder sehr tiefen Aquiferen ist die dreidimensionale Modellierung in der Regel unerlässlich.

Bei numerischen Modellen spielt der Rechenaufwand eine große Rolle. Daher sollte vor einer Anwendung eines 3-D Modells nachgeprüft werden, ob nicht eine Dimensionsreduktion möglich ist, ohne die Aussagekraft des Ergebnisses der Strömungssimulation zu verfälschen.

Grundsätzlich werden bei numerischen Transportmodellen zwei Teilschritte abgehandelt. Zunächst wird das Grundwasserströmungsfeld simuliert. Anschließend wird in dem berechneten Strömungsfeld der Transport des Schadstoffes simuliert.

### ***-Numerische Lösung der Strömungsgleichung***

Ein numerisches Strömungsmodell stellt eine räumlich und zeitlich diskrete Wasserbilanz eines Aquifers dar. Die Elemente der Bilanz sind

- Grundwasserneubildung durch Niederschlag
- Randzuflüsse
- Ex- und Infiltrationen aus Oberflächengewässern
- Entnahmen und Zugaben von Brunnen
- Speicherung / Entspeicherung
- horizontaler und vertikaler Wasseraustausch (Leakage)

In einem ersten Schritt sind bei der Modellierung die Grenzen des Modellgebietes festzulegen. Sie müssen aus hydrologischen Gesichtspunkten gewählt werden. Beispiele für sinnvolle Grenzen sind:

- infiltrierende oder exfiltrierende Gewässer,
- Gebirgsränder, an denen ein Lockergesteinsaquifer endet,
- relativ konstante Stromlinien oder Höhengleichen, die von den zu ergreifenden Maßnahmen so weit entfernt sind, daß sie durch diese nicht mehr beeinflußt werden.

Es ist in der Regel nicht sinnvoll, die Grenzen des Modellgebietes so zu wählen, daß ein Abschnitt mit möglichst einfacher Geometrie entsteht oder etwa eine Verwaltungsgrenze berücksichtigt wird.

Die Eingabedaten für 2-D-Grundwasserströmungsmodelle sind im Prinzip gleich. Sie umfassen:

- Mächtigkeit des Aquifers bzw. Aquifersohle
- Durchlässigkeitsbeiwerte
- Speicherkoeffizienten
- GW-Neubildungsraten
- konstanter GW-Austausch mit einem anderen GW-Stockwerk
- Entnahme / Infiltration von Brunnen
- Flußwasserspiegelhöhen, Flußsohlenhöhen für Gewässer, mit denen der Aquifer in Verbindung steht
- Randwerte (Randpotentiale bzw. Randzuflüsse)

Bei numerischen Verfahren werden grundsätzlich zwei Verfahren unterschieden. Kurz vorgestellt werden sollen das Finite Differenzen-Verfahren und das Finite-Elemente-Verfahren.

### ***- Finite Differenzen Modelle***

Für das Finite-Differenzen-Verfahren wird der Aquifer in rechteckige Zellen aufgeteilt. Für jede Zelle wird eine Wasserbilanz für ein Zeitintervall  $[t, (t+dt)]$  aufgestellt. An den Gebietsrändern werden Randbedingungen berücksichtigt.

Jede einzelne Zelle kann bei einer 2-D-Modellierung mit ihren 4 direkt benachbarten Zellen Wasser austauschen. Die Summe der horizontalen Zu- und Abflüsse sowie der vertikalen Zuga-

ben und Abflüsse über ein betrachtetes Zeitintervall stehen mit den in diesem Zeitintervall gespeicherten Volumina im Gleichgewicht.

Die horizontalen Wasserströme von und zu den Nachbarknoten werden durch das Gesetz von Darcy berechnet. Sie werden durch die piezometrischen Höhen der Nachbarknoten ausgedrückt.

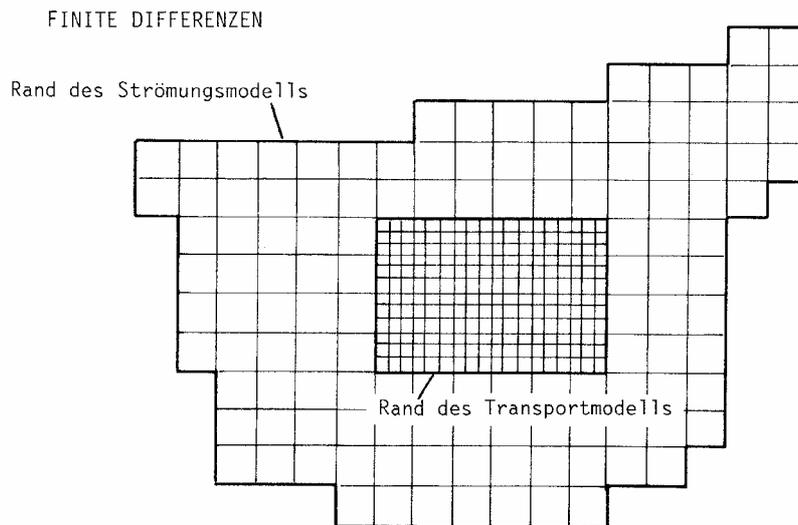


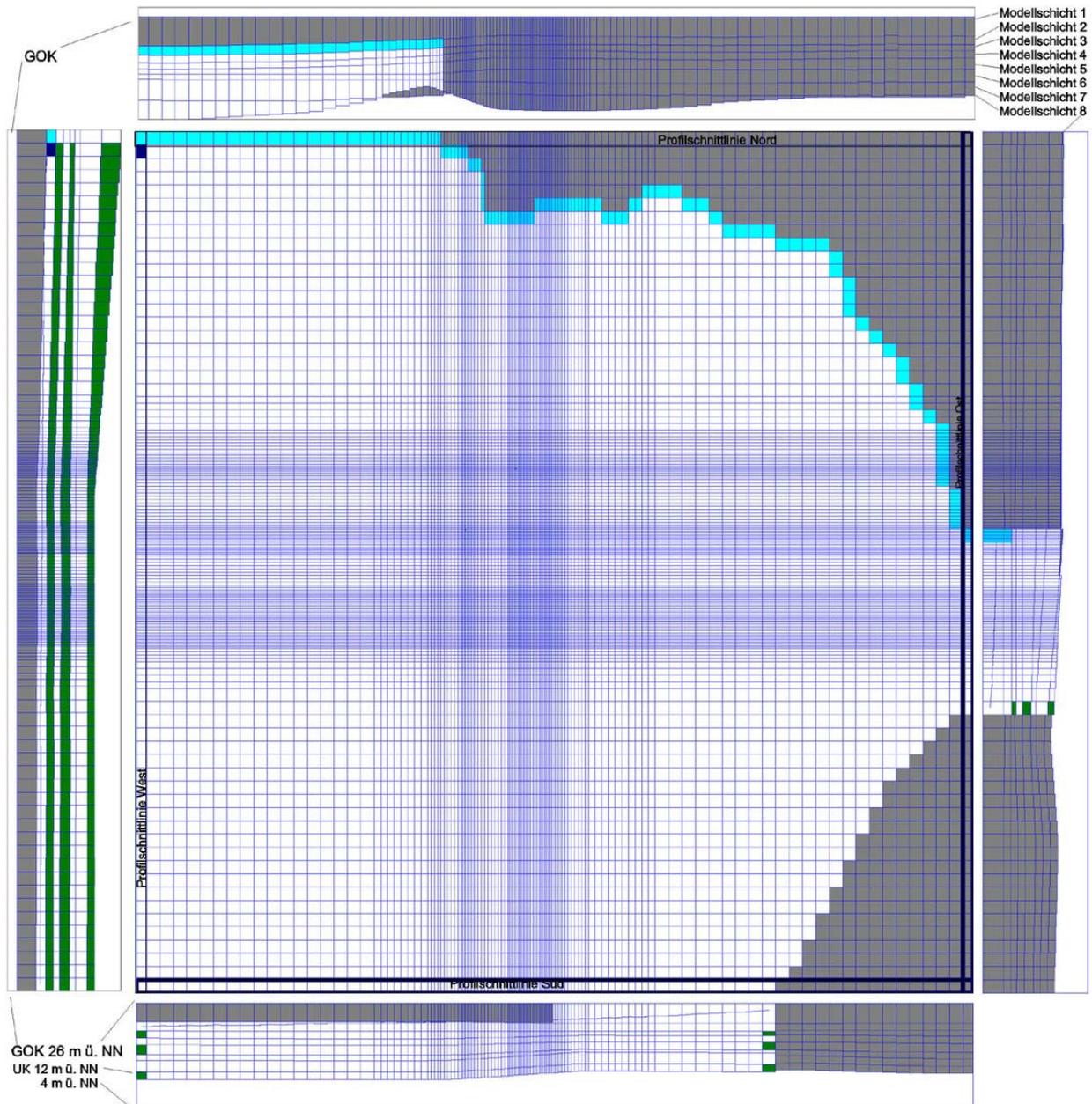
Abbildung 1: Gitternetz für Strömungs- und Transportrechnung bei FD Modellen

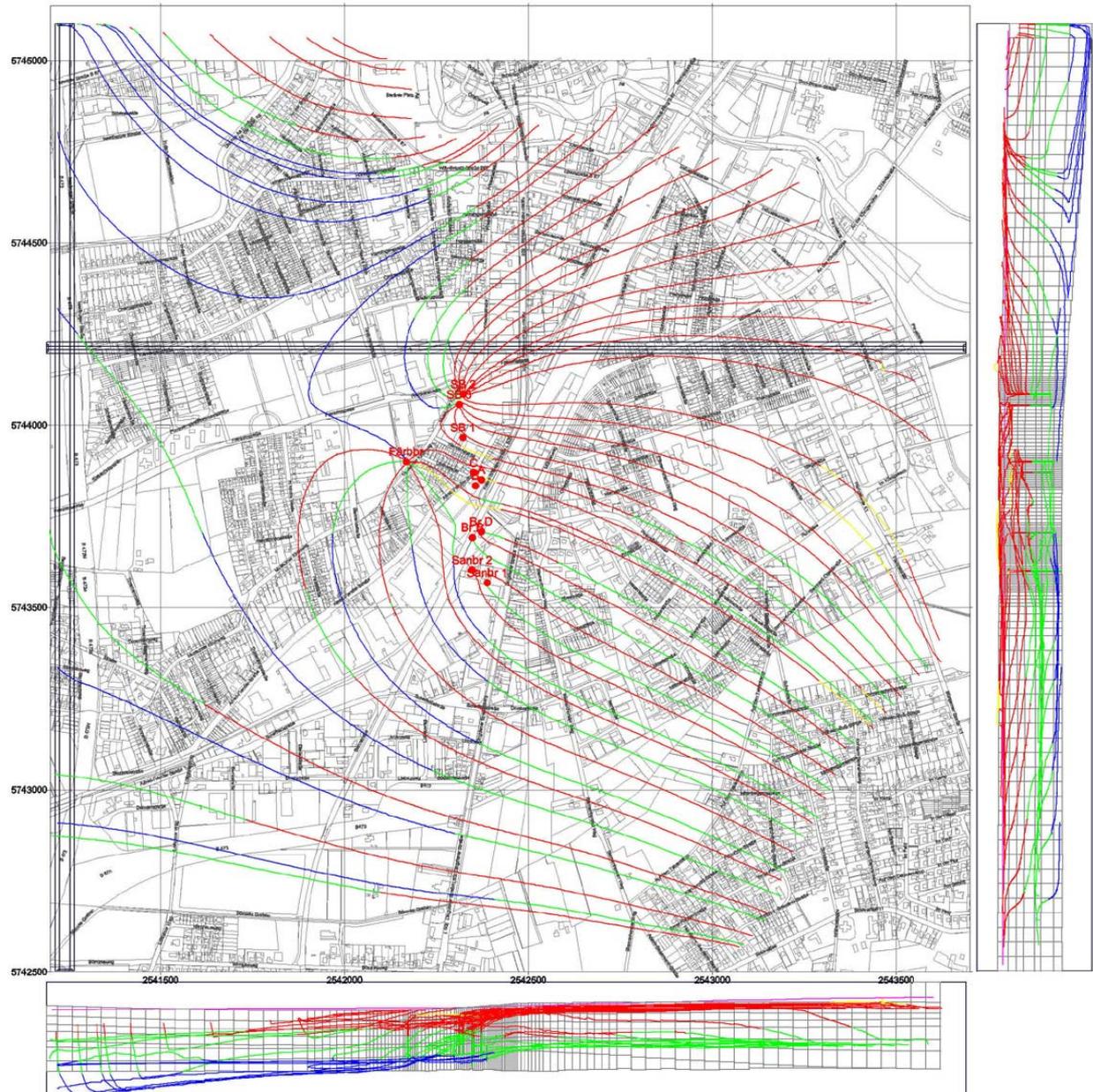
Auf diese Weise wird für  $n$  Zellen ein Gleichungssystem mit  $n$  Gleichungen mit  $n$  Unbekannten (Piezometerhöhen) aufgestellt. Dieses Gleichungssystem kann gelöst werden, wenn die Piezometerhöhen zur Anfangszeit  $t=0$  und die Randbedingungen bekannt sind.

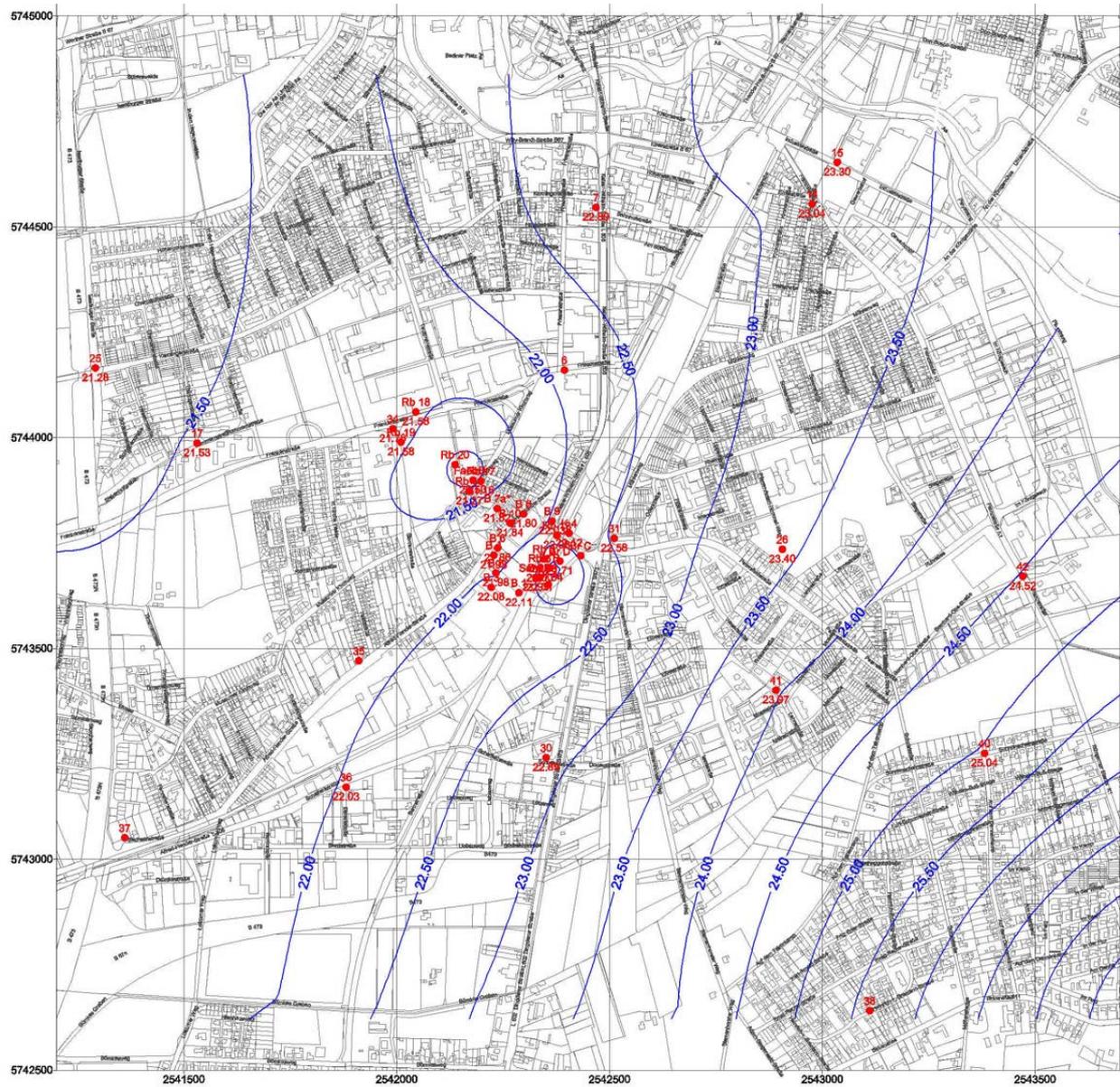
Solche Randbedingungen sind beispielsweise:

- Festpotentialrand, d.h. vorgegebene Piezometerhöhen am Rand. Darunter kann man sich beispielsweise ein Gewässer vorstellen, das mit dem Aquifer in so engem Kontakt steht, daß es den Grundwasserspiegel durch Exfiltration oder Infiltration auf der Höhe des Gewässerspiegels fixiert.
- Rand mit vorgegebenem festem Randzufluß, beispielsweise eine Grenze eines Lockergesteinsaquifers zu einem Festgesteinsaquifer, der aus seinem Einzugsgebiet einen bekannten Zufluß spendet.

- Undurchlässiger Rand, beispielsweise hydraulisch dichte Verwerfung, Grenze zu undurchlässigem Gestein o.ä.







Die Lösung des Gleichungssystems gibt für jede Zelle den piezometrischen Grundwasserstand für das Zentrum der Zelle an. Aus diesen kann quasi rückwärts mit dem Gesetz von Darcy und der effektiven Porosität die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers zwischen zwei Zellen bestimmt werden.

Da diese Fließgeschwindigkeiten zwischen allen Zellen berechnet werden, ist das Fließfeld des Grundwassers im gesamten Modellgebiet damit berechnet.

### - *Finite Elemente Methode*

Ein anderer Weg, der zu einem an jedem beliebigen Punkt des Modellgebietes bekannten Geschwindigkeitsfeld führt, ist die Finite-Elemente-Methode. Sie bietet als wesentlichen Vorteil eine flexible Diskretisierung des Modellgebietes. D.h. das Modellgebiet kann in Zellen beliebiger Form und Größe unterteilt werden und ist nicht an die rechteckige Form der Zellen gebunden. Außerdem lassen sich lokale Verfeinerung des Gitternetzes mit geringerem Aufwand bewerkstelligen als bei der FD-Methode.

Die Grundwasseroberfläche bzw. die Piezometerhöhenverteilung wird durch eine Interpolationsfunktion in jedem Punkt der Ebene dargestellt. Die einfachste Methode der FE-Methode verwendet zur Diskretisierung der zu untersuchenden Fläche Dreieckselemente und eine lineare Interpolationsfunktion für die Piezometerhöhen. Nach der Lösung des Gleichungssystems aus den Interpolationsfunktionen stehen nicht nur - wie bei FD-Modellen - Grundwasserspiegelhöhen an den Stützstellen zur Verfügung, sondern es sind Piezometerhöhen an jedem beliebigen Punkt  $(x,y)$  der Fläche berechnet.

Aus diesem Höhen ergibt sich durch Gradientenbildung das Geschwindigkeitsfeld als Funktion der Koordinaten  $x$  und  $y$  der Fläche.

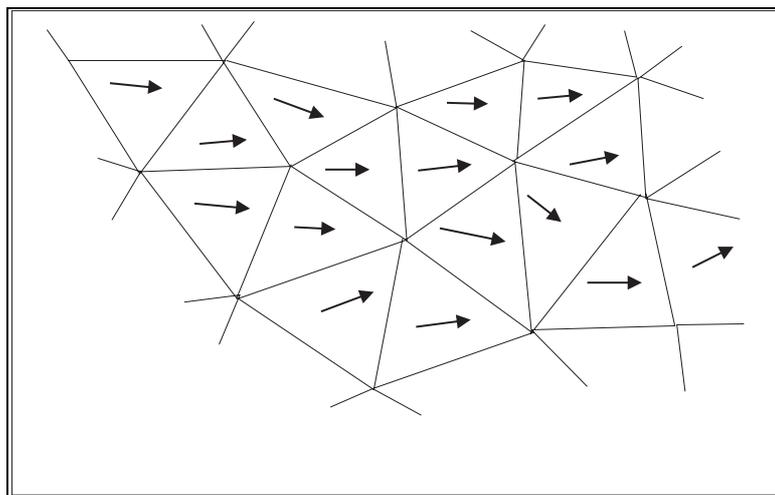


Abbildung 2: Geschwindigkeitsfeld bei Finite Elemente Strömungsmodellen

Eventuell vorhandene Unstetigkeiten der Geschwindigkeiten und Fließrichtungen lassen sich durch eine feinere Netzeinteilung im allgemeinen verringern.

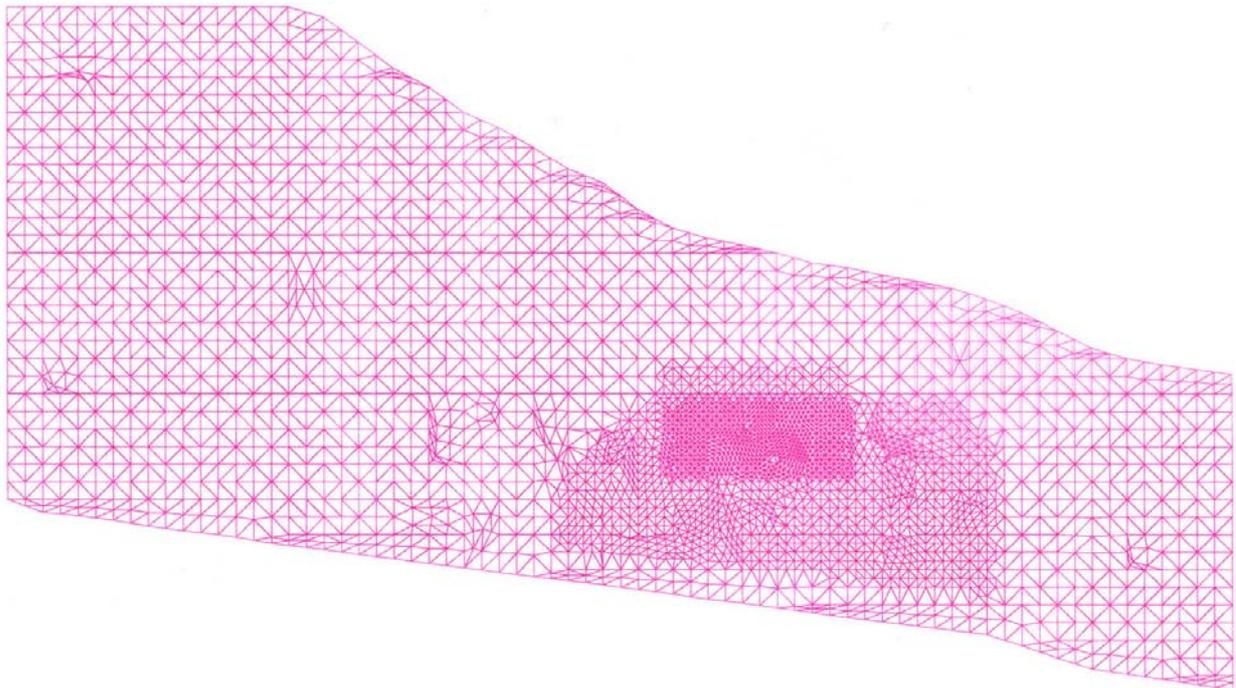
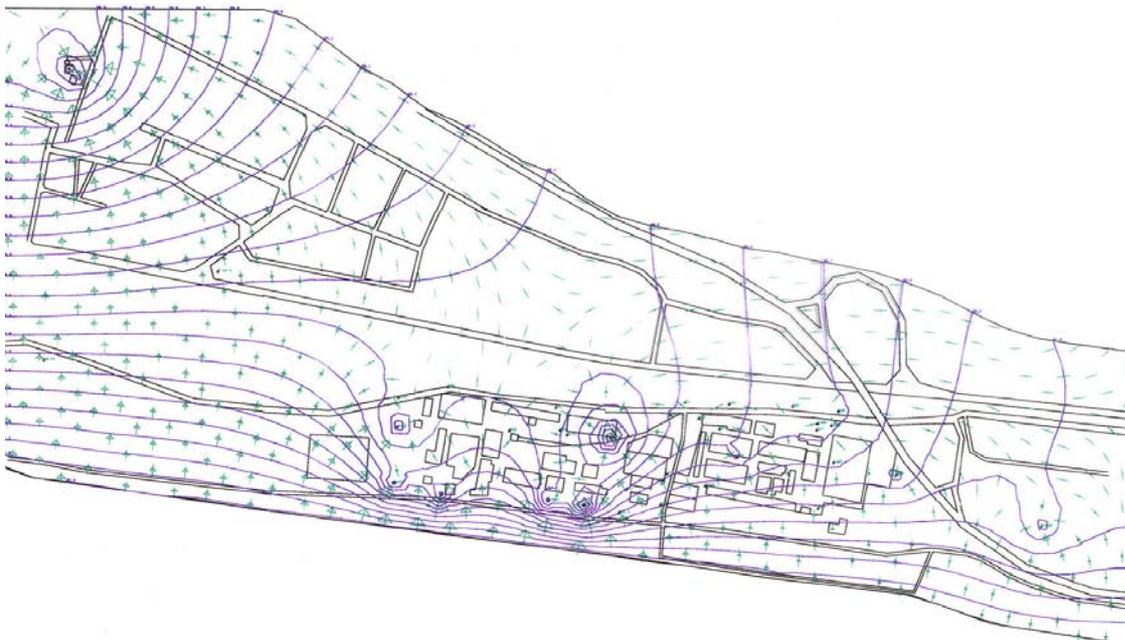


Abbildung 3: Gitternetz für Strömungs- und Transportrechnung bei FE Modellen



### ***- Generelle Aspekte und Probleme im Hinblick auf die Transportmodellierung***

Bereits im Strömungsmodell liegen eine Reihe von Näherungen und Ungenauigkeiten der Beschreibung des Transportes begründet. Ein schlüssiges und von der Bilanzgenauigkeit her befriedigendes Strömungsmodell ist meist relativ großräumig, um Anschluß an physikalisch sinnvolle Randbedingungen wie Zuflußränder, Randstromlinien, undurchlässige Gebirgsränder, Flüsse etc. zu erlauben. Damit erstreckt sich ein Strömungsmodell in der Regel über einen größeren Bereich als dies für das zu betrachtende Transportproblem notwendig wäre.

Ein Transportmodell erfordert dagegen meist eine sehr feine Diskretisierung, da die Probleme, die es zu erkennen gilt, meist kleinräumiger Art sind. Eine solche feine Diskretisierung kann aus rechenzeittechnischen Gründen nicht über ein gesamtes Modellgebiet eingehalten werden.

### ***- Transportmodelle***

Grundlage für ein vollständiges Schadstofftransportmodell ist die Transportgleichung, die eine räumliche und zeitliche Schadstoffmassenbilanz darstellt. (Zur Erinnerung: Die Strömungsgleichung stellt eine räumliche und zeitliche Wasserbilanz dar)

Da die Schadstoffe als im Wasser gelöste Inhaltsstoffe betrachtet werden, ist die Nähe zur Strömungsgleichung offenbar.

Die Schadstoffe unterliegen bei ihrer Ausbreitung

- Speicherung
- konvektivem Transport
- Diffusion
- Dispersion
- Adsorption
- chemischem und biologischem Abbau

Bei der Modellierung des Schadstofftransportes wird davon ausgegangen, daß die Konzentration der gelösten Schadstoffe so gering bleibt, daß eine Veränderung des Strömungsfeldes durch Dichteveränderung vernachlässigt werden kann.

### ***- Eingabedaten der Transportmodelle***

Die verschiedenen Arten der Transportmodelle benötigen im allgemeinen die selben Eingangsdaten. Die wichtigste Eingabe ist das Strömungsfeld, das zuvor mit Hilfe eines Strömungsmodells berechnet wurde. Um sinnvolle Randbedingungen für das Strömungsmodell zu erhalten,

muß, wie bereits beschrieben, das Untersuchungsgebiet in der Regel wesentlich größer sein als das Gebiet, für das eine Transportmodellierung erfolgen soll.

Weitere Eingabedaten sind:

- longitudinale und transversale Dispersivitäten
- Schadstoffquellen
- Adsorption des Schadstoffes (Verzögerungsfaktor)
- Abbauraten des Schadstoffes

Auch bei der Transportmodellierung wird analog zum Vorgehen bei der Strömungsmodellierung das Gebiet in rechteckige Teilflächen unterteilt. Für jede Zelle wird, analog zur Strömungsmodellierung, eine Bilanz der Schadstoffmasse über ein Zeitintervall  $[t, t+dt]$  gebildet. Für jede Zelle gilt, auch hier in Analogie zur Strömungsmodellierung, daß die Summe aus konvektivem und dispersivem Transport, Zufluß von Quellen, vermindert um die Abbauverluste gleich der Speicherung sein muß.

Die Berechnung im Finite - Elemente Verfahren erfolgt ebenfalls in Analogie zur Strömungsmodellierung.

### ***- Bewertung von Modellaussagen***

Bei der Anwendung von Transportmodellen werden aufgrund zwangsläufig unvollständiger Informationen Vereinfachungen gemacht. Ein Modell muß deshalb durch den Vergleich mit tatsächlichen Meßergebnissen überprüft oder geeicht werden.

Dieser Prozeß der Eichung ist essentiell, besonders unverzichtbar ist er, wenn das Modell wie es im Rahmen dieser Veranstaltung vorgestellt wird, als Grundlage für Aussagen bei der Gefährdungsabschätzung durch Expositonsanalysen oder bei der Sanierung genutzt werden soll.

Eine solche Korrektur oder Anpassung der gemachten Annahmen (beispielsweise über Zahlenwerte der Aquiferparameter) verändert die angenommenen Parameter so lange, bis eine hinreichende Genauigkeit der Modellergebnisse zu in der Realität festgestellten Ergebnissen erreicht ist.

Auch ein solchermaßen geeichtes Modell enthält noch Unsicherheiten, da für die Eichung in der Regel nur eine geringe Datendichte zur Verfügung steht. Zu einer weitergehenden Überprüfung des Modells können zusätzliche Feldmessungen durchgeführt werden.

### ***- Berücksichtigung von Unsicherheiten***

Im Zusammenhang mit Modellannahmen sind generell drei Arten von Unsicherheiten von Interesse:

- Unsicherheiten im Modellkonzept
- Unsicherheiten bei der Annahme der flächigen Mittelwerte der Eingangsparameter
- Unsicherheiten wegen mangelnder Kenntnis kleinräumig verteilter Inhomogenitäten der Aquiferparameter

Unsicherheiten im Modellkonzept, z.B. in der qualitativen Vorstellung über den Aquiferaufbau o.ä. führen generell zu gravierenden Einschränkungen der Aussagekraft der erzielten Ergebnisse.

Alle übrigen Unsicherheiten sind Unsicherheiten über die Parameter.

*- Darstellung und Interpretation von hydrogeologischen Daten*



Zur Darstellung von hydrogeologischen Daten soll das Interpolationsprogramm „Surfer“ verwendet werden. Die nachfolgend Anleitung erklärt den Ablauf der Bearbeitungsschritte.

1.
  - a) in Menueleiste **Grid** auswählen
  - b) Funktion **Data** auswählen
  - c) Excel-Datei öffnen (Beispiel Daten-GW-Gleichen.xls)
  
2. Im Auswahlfenster im sheet Data die **Data-Columns** (Datenspalten Rechts- und Hochwerte sowie GW-Stände) auswählen für die spätere Anzeige der GW-Gleichen  
X: Column C (Rechtswerte)  
Y: Column D (Hochwerte)  
Z: Column I (Stichtag 24.05.04 m ü. NN) oder Column G (26.04.04 m ü. NN)

**o.k.** anklicken

Report-Fenster wegklicken

Hiermit ist automatisch die Datei Daten-GW-Gleichen.grd erstellt.

3.
  - a) in Menueleiste map auswählen
  - b) Funktion **contour map** auswählen
  - c) Unterfunktion **new contour map** auswählen
  - d) im Fenster **Open Grid** die unter 3. erstellte grd-Datei öffnen (Beispiel Daten-GW-Gleichen.grd)
  
4. Im Auswahlfenster Contour Map properties das Format der GW-Gleichen-Darstellung auswählen:
  - a) sheet **options**: bei **Fault Line properties** Farbe und Stärke der Linien einstellen
  - b) sheet **Levels**: Auswahl der Gleichen (cm, 5 cm, 10 cm etc) Label = Yes bedeutet, dass die jeweilige Gleiche im Gleichenplan angezeigt wird

**o.k.** anklicken

Hiermit wird automatisch GW-Gleichenplan angezeigt.

- a) in Menueleiste **map** auswählen
- b) Funktion **post map** auswählen

- 
- c) Unterfunktion *new post map* auswählen
- d) Excel-Datei öffnen (Beispiel Daten-GW-Gleichen.xls)
5. Im Auswahlfenster *Post Map properties* die Darstellung der GWMS festlegen.
- a) im sheet *general*:
- *Worksheet columns* (Koordinaten der GWMS) auswählen  
X-Koord.: Column C  
Y-Koord.: Column D
  - *Default symbol* (Darstellung der GWMS als Punkt, Kreuz etc.) auswählen
- b) im sheet *labels*: *Worksheet columns* für labels (Nr. der GWMS) *Column A* (Name der Bohrung) auswählen
- o.k.* anklicken

## 2 Wasserrecht und Grundwasserbewirtschaftung

### 2.1 EU-Wasserrahmenrichtlinie

Die europäische Wasserpolitik war bisher durch über 30 EG-Richtlinien gekennzeichnet, die den Wasserschutz direkt oder indirekt betrafen. Diese sehr unterschiedlichen Regelungen stellten keine befriedigende Grundlage für eine moderne europäische Wasserpolitik dar. Als Konsequenz wurde am 22.12.2000 die „**Richtlinie 2000/60/EG (WRRL) des europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik**“ veröffentlicht. Der damit in den Mittelpunkt gestellte integrierte Gewässerschutz umfasst den Schutz von Oberflächengewässern, Grundwasser und aquatischen Lebensgemeinschaften. **Erklärtes Ziel ist es, bis zum Jahr 2015 in den Gewässern einen "guten Zustand" zu erreichen.** Ehrgeizige Zeitvorgaben fordern eine Umsetzung in nationales Recht bis Ende 2003. Die Novellierung des Wasserhaushaltsgesetzes auf Bundesebene erfolgte zum 19.08.2002, die Umsetzung in die Landeswassergesetze ist in vollem Gange. Parallel erfolgt zur Zeit die Bestandsaufnahme an Oberflächen- und Grundwasser. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse fließen in Überwachungs- und Maßnahmenprogramme ein. Auch wenn zum heutigen Zeitpunkt noch nicht alle Konsequenzen erkennbar sind, sollten sich Unternehmen auf die kommenden Herausforderungen einstellen.

Ein koordiniertes Vorgehen innerhalb einer Flussgebietseinheit ist das zentrale Element der WRRL. Dies verlangt eine sehr weitgehende Abstimmung zwischen allen Beteiligten. Der Erfolg der WRRL hängt daher entscheidend von der Bereitschaft zur Zusammenarbeit über Länder- und Staatsgrenzen hinweg ab. Die Bereitschaft zur Zusammenarbeit ist umso größer, je transparenter die zu bewältigenden Aufgaben dargestellt und je eindeutiger die Verantwortlichkeiten erkennbar gemacht werden. Das geeignete Instrument hierfür ist der **Bewirtschaftungsplan** nach Artikel 13 der WRRL.

Angesichts des Umfangs der zu erledigenden Aufgaben zur Umsetzung der Richtlinie mit dem Ziel, eine möglichst einheitliche Umsetzung zumindest in Deutschland und den **Flussgebieten** mit deutscher Beteiligung sicherzustellen, bedarf es einer abgestimmten Erstellung von grundlegenden fachlichen Vorgaben und weitreichenden Handlungsanleitungen für die Erstellung des **Bewirtschaftungsplanes**. Dies betrifft alle Arbeiten in den ersten Jahren nach Inkrafttreten der Richtlinie und die vorbereitenden Arbeiten für den Bewirtschaftungsplan und das Maßnahmenprogramm, die innerhalb von 9 Jahren vorgelegt werden müssen. Die **Arbeitshilfe** richtet sich sowohl an die Entscheidungsträger in Bund und Länder als auch an die für die Erstellung des Bewirtschaftungsplanes Verantwortlichen vor Ort. Sie ergänzt die notwendigen rechtlichen Regelungen durch Bund und Länder. Die Aufgaben nach Inkrafttreten der Wasserrahmenrichtlinie

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 27 von 58
-------	---	--	-----------------

gliedern sich in **drei wesentliche Bereiche**, die innerhalb der ersten 9 Jahre stufenweise zu realisieren sind:

- Die Bestandsaufnahme der Situation der Gewässer innerhalb der Flussgebietseinheit in wasserwirtschaftlicher, ökologischer und ökonomischer Hinsicht.
- Überwachung des Zustandes der Gewässer.
- Die Konkretisierung der in der Flussgebietseinheit zu erreichenden Ziele hinsichtlich des Zustandes der Gewässer.
- Die Festlegung der zur Erreichung dieser Ziele notwendigen Maßnahmen bzw. Maßnahmenprogramme.

Die vereinbarten Ziele und die vorgesehenen Maßnahmen müssen über die Bearbeitungsgebiete hinweg abgestimmt und für die gesamte Flussgebietseinheit zusammengefasst werden. Das erfordert die Koordination der zuständigen Stellen auf nationaler und internationaler Ebene.

## 2.2 Wasserhaushaltsgesetz

Das Wasserhaushaltsgesetz in seiner neuen Fassung vom 19. August 2002 regelt als Rahmengesetz des Bundes die Bewirtschaftung der oberirdischen Gewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers. Dabei hat jede vermeidbare Beeinträchtigung zu unterbleiben, nachteilige Veränderungen der Eigenschaften des Wassers sind zu verhüten, und eine sparsame Verwendung des Wassers ist anzustreben. Alle Handlungen, die schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Wassers herbeiführen können, bedürfen einer Genehmigung. Ein Rechtsanspruch auf die Erteilung einer Erlaubnis oder einer Bewilligung besteht nicht. Diese ist zu versagen, wenn dadurch das Wohl der Allgemeinheit, insb. die Trinkwasserversorgung, gefährdet wird. Jede Abwassereinleitung muß bestimmten Mindestanforderungen genügen. Dabei werden in denen von der Bundesregierung erlassenen Verwaltungsvorschriften die allgemein anerkannten Regeln der Technik zugrunde gelegt.

Die Anforderungen an das Einleiten von gefährlichen Stoffen müssen dem Stand der Technik genügen. Alte Wasserrechte können gegen Entschädigung aufgehoben werden. Unter bestimmten Voraussetzungen entfällt eine Entschädigung. Zum Schutz der öffentlichen Wasserversorgung können Wasserschutzgebiete festgesetzt werden. Für Anlagen zum Befördern von, und zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen gelten besondere Vorschriften.

Eine wasserrechtliche Erlaubnis oder Bewilligung verpflichtet den Inhaber zur Duldung der behördlichen Überwachung. In größeren Anlagen muß ein Gewässerschutzbeauftragter bestellt

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 28 von 58
-------	---	--	-----------------

werden. Wer die Beschaffenheit des Wassers so verändert oder Inhaber einer Anlage ist, die unbeabsichtigt die Beschaffenheit des Wassers verändert, so daß einem anderen dadurch Schaden entsteht, ist zum Schadensersatz verpflichtet (Gefährdungshaftung).

Während die (unverbindlichen) wasserwirtschaftlichen Rahmenpläne großräumig die wasserwirtschaftlichen Voraussetzungen für die Entwicklung der Lebens- und Wirtschaftsverhältnisse sichern sollen, stellen die Länder (behördenverbindliche) kleinräumige Bewirtschaftungspläne auf mit dem Ziel, die Nutzungserfordernisse und den Schutz der Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts in Einklang zu bringen.

**Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts**  
**WHG - Wasserhaushaltsgesetz vom 19. August 2002**  
(BGBl. I Nr. 59 vom 23.8.2002 S. 3245; 6.1.2004 S. 2)

**Auszug**

**§1 Einleitende Bestimmung**  
**Sachlicher Geltungsbereich, Begriffsbestimmungen**

(1) Dieses Gesetz gilt für folgende Gewässer:

1. das ständig oder zeitweilig in Betten fließende oder stehende oder aus Quellen wild abfließende Wasser (oberirdische Gewässer),
  - 1a. das Meer zwischen der Küstenlinie bei mittlerem Hochwasser oder der seewärtigen Begrenzung der oberirdischen Gewässer und der seewärtigen Begrenzung des Küstenmeeres (Küstengewässer),
2. das unterirdische Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund steht (Grundwasser).

Die Vorschriften dieses Gesetzes gelten auch für Teile der Gewässer.

(2) Die Länder können kleine Gewässer von wasserwirtschaftlich untergeordneter Bedeutung sowie Quellen, die zu Heilquellen erklärt worden sind, von den Bestimmungen dieses Gesetzes ausnehmen. Dies gilt nicht für § 22.

(3) Die Länder bestimmen die seewärtige Begrenzung derjenigen oberirdischen Gewässer, die nicht Binnenwasserstraßen des Bundes sind.

(4) Im Sinne dieses Gesetzes ist

1. Einzugsgebiet:  
ein Gebiet, aus dem über oberirdische Gewässer der gesamte Oberflächenabfluss an einer einzigen Flussmündung, einem Ästuar oder Delta ins Meer gelangt;

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 29 von 58
-------	---	--	-----------------

2. Teileinzugsgebiet:

ein Gebiet, aus dem über oberirdische Gewässer der gesamte Oberflächenabfluss an einem bestimmten Punkt in ein oberirdisches Gewässer gelangt;

3. Flussgebietseinheit:

ein als Haupteinheit für die Bewirtschaftung von Einzugsgebieten festgelegtes Land- oder Meeresgebiet, das aus einem oder mehreren benachbarten Einzugsgebieten, dem ihnen zugeordneten Grundwasser und den ihnen zugeordneten Küstengewässern im Sinne des § 1b Abs. 3 Satz 2 besteht.

## Erster Teil

### Gemeinsame Bestimmungen für die Gewässer

#### § 1a

#### Grundsatz

(1) Die Gewässer sind als Bestandteil des Naturhaushaltes und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu sichern. Sie sind so zu bewirtschaften, dass sie dem Wohl der Allgemeinheit und im Einklang mit ihm auch dem Nutzen einzelner dienen und vermeidbare Beeinträchtigungen ihrer ökologischen Funktionen und der direkt von ihnen abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt unterbleiben und damit insgesamt eine nachhaltige Entwicklung gewährleistet wird. Dabei sind insbesondere mögliche Verlagerungen von nachteiligen Auswirkungen von einem Schutzgut auf ein anderes zu berücksichtigen; ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt, unter Berücksichtigung der Erfordernisse des Klimaschutzes, ist zu gewährleisten.

(2) Jedermann ist verpflichtet, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine Verunreinigung des Wassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu verhüten, um eine mit Rücksicht auf den Wasserhaushalt gebotene sparsame Verwendung des Wassers zu erzielen, um die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushaltes zu erhalten und um eine Vergrößerung und Beschleunigung des Wasserabflusses zu vermeiden.

(3) Durch Landesrecht wird bestimmt, dass der Wasserbedarf der öffentlichen Wasserversorgung vorrangig aus ortsnahen Wasservorkommen zu decken ist, soweit überwiegende Gründe des Wohls der Allgemeinheit nicht entgegen stehen.

(4) Das Grundeigentum berechtigt nicht

1. zu einer Gewässerbenutzung, die nach diesem Gesetz oder nach den Landeswassergesetzen einer Erlaubnis oder Bewilligung bedarf,
2. zum Ausbau eines oberirdischen Gewässers.

#### § 1b

#### Bewirtschaftung nach Flussgebietseinheiten

(1) Die Gewässer sind nach Flussgebietseinheiten zu bewirtschaften.  
Flussgebietseinheiten sind:

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 30 von 58
-------	---	--	-----------------

1. Donau
2. Rhein
3. Maas
4. Ems
5. Weser
6. Elbe
7. Eider
8. Oder
9. Schlei/Trave
10. Warnow/Peene.

Die Flussgebietseinheiten sind in [Anhang 1](#) in Kartenform dargestellt.

(2) Zur Erreichung der in diesem Gebiet festgelegten Bewirtschaftungsziele wird durch Landesrecht die Koordinierung der Bewirtschaftung der Flussgebietseinheiten geregelt, insbesondere

1. die Koordinierung mit den anderen Ländern
2. die Koordinierung der Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne mit den zuständigen Behörden anderer Mitgliedsstaaten der Europäischen Union, in deren Hoheitsgebiet die Flussgebietseinheiten auch liegen,
3. das Bemühen um eine der Nummer 2 entsprechende Koordinierung mit den zuständigen Behörden von Staaten, die nicht der Europäischen Union angehören,
4. das bei der Koordinierung nach den Nummern 1 bis 3 von den zuständigen Bundesbehörden zu erteilende Benehmen und, soweit auch Verwaltungskompetenzen des Bundes oder gesamtstaatliche Belange bei der Pflege der Beziehungen zu auswärtigen Staaten berührt sind, zu erteilende Einvernehmen.

(3) Die zuständigen Landesbehörden ordnen die Einzugsgebiete innerhalb ihrer Landesgrenzen einer Flussgebietseinheit zu. Küstengewässer auf der landwärtigen Seite einer Linie, auf der sich jeder Punkt eine Seemeile seewärts vom nächsten Punkt der Basislinie, von der aus die Breite der Hoheitsgewässer gemessen wird, befindet, mindestens bis zur äußeren Grenze der Gewässer, die im Wesentlichen von Süßwasserströmungen beeinflusst sind, sowie das Grundwasser sind Flussgebietseinheiten zuzuordnen.

## § 2

### Erlaubnis- und Bewilligungserfordernis

(1) Eine Benutzung der Gewässer bedarf der behördlichen Erlaubnis (§ 7) oder Bewilligung (§ 8), soweit sich nicht aus den Bestimmungen dieses Gesetzes oder aus den im Rahmen dieses Gesetzes erlassenen landesrechtlichen Bestimmungen etwas anderes ergibt.

(2) Die Erlaubnis und die Bewilligung geben kein Recht auf Zufluß von Wasser bestimmter Menge und Beschaffenheit. Unbeschadet des § 11 berühren sie nicht privatrechtliche Ansprüche auf Zufluß von Wasser bestimmter Menge und Beschaffenheit.

## § 3

### Benutzungen

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 31 von 58
-------	---	--	-----------------

(1) Benutzungen im Sinne dieses Gesetzes sind

1. Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern,
2. Aufstauen und Absenken von oberirdischen Gewässern,
3. Entnehmen fester Stoffe aus oberirdischen Gewässern, soweit dies auf den Zustand des Gewässers oder auf den Wasserabfluß einwirkt,
4. Einbringen und Einleiten von Stoffen in oberirdische Gewässer,
- 4a. Einbringen und Einleiten von Stoffen in Küstengewässer,
5. Einleiten von Stoffen in das Grundwasser,
6. Entnehmen, Zutagefördern, Zutageleiten und Ableiten von Grundwasser.

(2) Als Benutzungen gelten auch folgende Einwirkungen:

1. Aufstauen, Absenken und Umleiten von Grundwasser durch Anlagen, die hierzu bestimmt oder hierfür geeignet sind,
2. Maßnahmen, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Wassers herbeizuführen.

(3) Maßnahmen, die dem Ausbau eines oberirdischen Gewässers dienen, sind keine Benutzungen. Dies gilt auch für Maßnahmen der Unterhaltung eines oberirdischen Gewässers, soweit hierbei nicht chemische Mittel verwendet werden.

#### § 4

#### Benutzungsbedingungen und Auflagen

(1) Die Erlaubnis und die Bewilligung können unter Festsetzung von Benutzungsbedingungen und Auflagen erteilt werden. Auflagen sind auch zulässig, um nachteilige Wirkungen für andere zu verhüten oder auszugleichen.

(2) Durch Auflagen können ferner insbesondere

1. Maßnahmen zur Beobachtung oder zur Feststellung des Zustandes vor der Benutzung und von Beeinträchtigungen und nachteiligen Wirkungen durch die Benutzung angeordnet werden,
2. die Bestellung verantwortlicher Betriebsbeauftragter vorgeschrieben werden, soweit nicht die Bestellung eines Gewässerschutzbeauftragten nach § 21a vorgeschrieben ist oder angeordnet werden kann,
- 2a. Maßnahmen angeordnet werden, die zum Ausgleich einer auf die Benutzung zurückzuführenden Beeinträchtigung des ökologischen und chemischen Zustandes eines oberirdischen Gewässers oder Küstengewässers sowie des mengenmäßigen und chemischen Zustandes des Grundwassers erforderlich sind,

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 32 von 58
-------	---	--	-----------------

3. dem Unternehmer angemessene Beiträge zu den Kosten von Maßnahmen auferlegt werden, die eine Körperschaft des öffentlichen Rechts trifft oder treffen wird, um eine mit der Benutzung verbundene Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu verhüten oder auszugleichen.

## 2.2.1 Wasserschutzgebiete

Zur Trinkwassernutzung wird Grundwasser aus dem Untergrund abgepumpt, oder es wird in Quellen gefasst. In Deutschland und angrenzenden Ländern wie Österreich und der Schweiz wird dieses Grundwasser gegen Verunreinigungen besonders geschützt. Entnahmehäuser und Quellen können in vielen Fällen ein Einzugsgebiet zugeordnet werden. In diesen Einzugsgebieten werden solche Nutzungen verboten, von denen Verunreinigungen ausgehen können. Diese Flächen werden als Wasserschutzgebiete bezeichnet. Besondere Aufmerksamkeit wird der Verunreinigung durch Bakterien und Viren beigemessen. Sie können Krankheiten verursachen, die sich mit diesen biologischen Stoffen über das Grundwasser ausbreiten.

**In Deutschland sind bereits ca. 17.500 Wasserschutzgebiete mit ca. 41.900 km<sup>2</sup> ausgewiesen.** Das sind etwa 11,7% der Fläche der Bundesrepublik Deutschland. Das Wasserschutzgebiet gliedert sich in folgende Schutzzonen:

- Fassungsgebiet: Zone I
- „Engere Schutzzone“: Zone II
- „Weitere Schutzzone“: Zone III

Letztere ist nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 101 bei größeren Einzugsgebieten unterteilt in:

„Weitere Schutzzone A“: Zone III A bis zu 2 km zur Fassung.

„Weitere Schutzzone B“: Zone III B bis zur Grenze des Einzugsgebietes.

Der Fassungsgebiet (Zone I) soll den Schutz der unmittelbaren Umgebung der Fassungsanlage vor jeder Verunreinigung und sonstigen Beeinträchtigungen gewährleisten. Die „engere“ Schutzzone (**Zone II, 50-Tage-Zone**) dient dem Schutz vor **mikrobiellen Verunreinigungen** und sonstigen Beeinträchtigungen, die von den verschiedenen menschlichen Tätigkeiten ausgehen oder mit der Zerstörung der belebten Bodenzone oder der Deckschichten verbunden sind. Es wird von der Annahme ausgegangen, dass biologische Stoffe (Viren, Bakterien) nach einer **Aufenthaltsdauer von 50 Tagen** im Grundwasser abgestorben sind. Die „weitere Schutzzone“ (Zone III) soll den Schutz vor weitergehenden Beeinträchtigungen, insbesondere vor nicht oder

schwer abbaubaren chemischen, radio-aktiven oder massiven organischen Verunreinigungen gewährleisten. Die Grenzen der Schutzzonen sind an der Oberfläche durch Schilder angezeigt.

Die in diesen Schutzzonen allgemein gültigen Auflagen und Nutzungseinschränkungen sind im Einzelnen im **DVGW-Arbeitsblatt W 101** aufgeführt; es sind die in den jeweiligen Musterverordnungen der Länder festgelegten Verbote maßgebend. Sie sind den jeweiligen örtlichen Verhältnissen anzupassen. In begründeten Fällen können Ausnahmen zugelassen werden.

Das Trinkwasserschutzgebiet verfolgt nicht nur den Schutz der Beschaffenheit des Grundwassers sondern dient auch der Erhaltung des nutzbaren Grundwasserdargebots (z.B. Erhaltung der Deckschichten bei gespannten Grundwässern, Verhinderung von Absenkungen infolge Grundwasserfreilegung). Außerdem können quantitative Eingriffe in den Wasserhaushalt qualitative Beeinträchtigungen zur Folge haben (z. B. bei Vergrößerung der Abstandsgeschwindigkeit durch Gefälleänderung infolge Grundwasserabsenkung).

Trotz unterschiedlicher hydrogeologischer Verhältnisse (Porengrundwasserleiter, Kluftgrundwasserleiter, Karstgrundwasserleiter) sollte bei der **Bemessung der Schutzzonen** nach gemeinsamen Kriterien vorgegangen werden. Kluftgrundwasserleiter stehen mit ihren geohydraulischen Eigenschaften zwischen Poren- und Karstgrundwasserleitern. Regelmäßig und eng geklüftete wie auch poröse Festgesteine können als Porengrundwasserleiter betrachtet werden, während klüftige Gesteine mit großdimensionierten, klaffenden Spalten den Karstgrundwasserleitern nahekommen. Dazwischen gibt es einen Mischtyp, bei dem die wasserwegsamten Hohlräume aus Klüften, Spalten und Poren bestehen.

Hinsichtlich der Bemessung von Wasserschutzgebieten können Kluftgrundwasserleiter daher je nach ihren individuellen hydrogeologischen Eigenschaften entweder wie Poren- oder wie Karstgrundwasserleiter behandelt werden.

Für die **Bemessung der Schutzzonen** werden insbesondere folgende Unterlagen und Daten benötigt:

- allgemeine Angaben über die zu schützende Trinkwassergewinnungsanlage (Bezeichnung, Betreiber, Lage und Höhe, technische Beschreibung)
- wasserrechtliche Daten (Erlaubnis, Bewilligung etc.)
- chemische, physikalische und bakteriologische Untersuchungsergebnisse des Rohwassers von mehreren Jahren, aus denen sich Hinweise auf das Einzugsgebiet der Trinkwassergewinnungsanlage und mögliche Belastungen ergeben.
- Hydrologische Untersuchungsergebnisse (bei Quellen u.a. regelmäßige Schüttungsmessungen über mindestens 1 Jahr; bei Brunnen u.a. Pumpversuchs- und Betriebsdaten)

- hydrogeologische Daten und Unterlagen
- Weitere Daten und Untersuchungen wie z.B. isopenhydrologische Messungen können hilfreich sein.

**Die Zone III soll in der Regel bis zur Grenze des unterirdischen Einzugsgebietes der Trinkwassergewinnungsanlage reichen.** Oberirdisch dort hinein entwässernde Flächen können zusätzlich einbezogen werden. Kann das unterirdische Einzugsgebiet nicht sicher abgegrenzt werden, ist die Zone III vorsorglich so zu bemessen, daß die möglichen Einzugsgebietsvarianten umfaßt werden. Sofern bei der Bemessung der Zone II eine Verkleinerung aufgrund der Grundwasserüberdeckung erfolgt, darf in der Zone III bzw. IIIA bis zur 50-Tage-Linie die Grundwasserüberdeckung nicht abgetragen werden.

## 2.2 Bundes-Bodenschutzgesetz- BBodSchG

Für den Schutz des Bodens gab bis zum Inkrafttreten des Gesetzes zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998 (BGBl. I, S. 502), zuletzt geändert durch Gesetz vom 9. September 2001, keine eigenständige gesetzliche Regelung. Vielmehr wurden zur Bewältigung der Altlastenproblematik verschiedene Vorschriften des Abfallrechts, Wasserrechts und des allgemeinen Ordnungsrechts angewandt. Damit wird neben dem Wasser und der Luft nunmehr auch der Boden als drittes Umweltmedium unmittelbar durch ein Gesetz des Bundes geschützt.

### Erster Teil

#### Allgemeine Vorschriften

##### § 1 Zweck und Grundsätze des Gesetzes

Zweck dieses Gesetzes ist es, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Bei Einwirkungen auf den Boden sollen Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen sowie seiner Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte soweit wie möglich vermieden werden.

##### § 2 Begriffsbestimmungen

(1) Boden im Sinne dieses Gesetzes ist die obere Schicht der Erdkruste, soweit sie Träger der in Absatz 2 genannten Bodenfunktionen ist, einschließlich der flüssigen Bestandteile (Bodenlösung) und der gasförmigen Bestandteile (Bodenluft), ohne Grundwasser und Gewässerbetten.

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 35 von 58
-------	---	--	-----------------

(2) Der Boden erfüllt im Sinne dieses Gesetzes

1. natürliche Funktionen als

- a) Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
- b) Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
- c) Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf, Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers,

2. Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte sowie

3. Nutzungsfunktionen als

- a) Rohstofflagerstätte,
- b) Fläche für Siedlung und Erholung,
- c) Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung,
- d) Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.

(3) Schädliche Bodenveränderungen im Sinne dieses Gesetzes sind Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen.

(4) Verdachtsflächen im Sinne dieses Gesetzes sind Grundstücke, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen besteht.

(5) Altlasten im Sinne dieses Gesetzes sind

- 1. stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert worden sind (Altablagerungen), und
- 2. Grundstücke stillgelegter Anlagen und sonstige Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist, ausgenommen Anlagen, deren Stilllegung einer Genehmigung nach dem Atomgesetz bedarf, (Altstandorte),

durch die schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit hervorgerufen werden.

(6) Altlastverdächtige Flächen im Sinne dieses Gesetzes sind Altablagerungen und Altstandorte, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen oder sonstiger Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit besteht.

(7) Sanierung im Sinne dieses Gesetzes sind Maßnahmen

- 1. zur Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe (Dekontaminationsmaßnahmen),
- 2. die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern oder vermindern, ohne die Schadstoffe zu beseitigen (Sicherungsmaßnahmen),
- 3. zur Beseitigung oder Verminderung schädlicher Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Bodens.

(8) Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen im Sinne dieses Gesetzes sind sonstige Maßnahmen, die Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 36 von 58
-------	---	--	-----------------

verhindern oder vermindern, insbesondere Nutzungsbeschränkungen.

### § 3 Anwendungsbereich

(1) Dieses Gesetz findet auf schädliche Bodenveränderungen und Altlasten Anwendung, soweit

1. Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes über das Aufbringen von Abfällen zur Verwertung als Sekundärrohstoffdünger oder Wirtschaftsdünger im Sinne des § 1 des Düngemittelgesetzes und der hierzu auf Grund des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes erlassenen Rechtsverordnungen sowie der Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 (BGBl. I S. 912),
2. Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes über die Zg und den Betrieb von Abfallbeseitigungsanlagen zur Beseitigung von Abfällen sowie über die Stilllegung von Deponien,
3. Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter,
4. Vorschriften des Düngemittel- und Pflanzenschutzrechts,
5. Vorschriften des Gentechnikgesetzes,
6. Vorschriften des Zweiten Kapitels des Bundeswaldgesetzes und der Forst- und Waldgesetze der Länder,
7. Vorschriften des Flurbereinigungsgesetzes über das Flurbereinigungsgebiet, auch in Verbindung mit dem Landwirtschaftsanpassungsgesetz,
8. Vorschriften über Bau, Änderung, Unterhaltung und Betrieb von Verkehrswegen oder Vorschriften, die den Verkehr regeln,
9. Vorschriften des Bauplanungs- und Bauordnungsrechts,
10. Vorschriften des Bundesberggesetzes und der auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnungen über die Errichtung, Führung oder Einstellung eines Betriebes sowie
11. Vorschriften des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und der auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnungen über die Errichtung und den Betrieb von Anlagen unter Berücksichtigung von Absatz 3

Einwirkungen auf den Boden nicht regeln.

(2) Dieses Gesetz findet keine Anwendung auf Anlagen, Tätigkeiten, Geräte oder Vorrichtungen, Kernbrennstoffe und sonstige radioaktive Stoffe, soweit Rechtsvorschriften den Schutz vor den Gefahren der Kernenergie und der Wirkung ionisierender Strahlen regeln. Dieses Gesetz gilt ferner nicht für das Aufsuchen, Bergen, Befördern, Lagern, Behandeln und Vernichten von Kampfmitteln.

(3) Im Hinblick auf das Schutzgut Boden gelten schädliche Bodenveränderungen im Sinne von § 2 Abs. 3 dieses Gesetzes und der auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnungen, soweit sie durch Immissionen verursacht werden, als schädliche Umwelteinwirkungen nach § 3 Abs. 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, im übrigen als sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen nach § 5 Abs. 1 Nr. 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Zur näheren Bestimmung der immissionsschutzrechtlichen Vorsorgepflichten sind die in einer Rechtsverordnung nach § 8 Abs. 2 festgelegten Werte heranzuziehen, sobald in einer Rechtsverordnung oder in einer Verwaltungsvorschrift des Bundes bestimmt worden ist, welche Zusatzbelastungen durch den Betrieb einer Anlage nicht als ursächlicher Beitrag zum Entstehen schädlicher Bodenveränderungen anzusehen sind. In der Rechtsverordnung oder der Verwaltungsvorschrift soll gleichzeitig geregelt werden, daß bei Unterschreitung bestimmter Emissionsmassenströme auch ohne Ermittlung der Zusatzbelastung davon auszugehen ist,

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 37 von 58
-------	---	--	-----------------

daß die Anlage nicht zu schädlichen Bodenveränderungen beiträgt.

## Zweiter Teil

### Grundsätze und Pflichten

#### § 4 Pflichten zur Gefahrenabwehr

(1) Jeder, der auf den Boden einwirkt, hat sich so zu verhalten, daß schädliche Bodenveränderungen nicht hervorgerufen werden.

(2) Der Grundstückseigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück sind verpflichtet, Maßnahmen zur Abwehr der von ihrem Grundstück drohenden schädlichen Bodenveränderungen zu ergreifen.

(3) Der **Verursacher** einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast sowie dessen Gesamtrechtsnachfolger, der Grundstückseigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück sind verpflichtet, den Boden und Altlasten sowie durch schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten verursachte Verunreinigungen von Gewässern **so zu sanieren, daß dauerhaft keine Gefahren**, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen. Hierzu kommen bei Belastungen durch Schadstoffe neben Dekontaminations- auch Sicherungsmaßnahmen in Betracht, die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern. Soweit dies nicht möglich oder unzumutbar ist, sind sonstige Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen durchzuführen. Zur Sanierung ist auch verpflichtet, wer aus handelsrechtlichem oder gesellschaftsrechtlichem Rechtsgrund für eine juristische Person einzustehen hat, der ein Grundstück, das mit einer schädlichen Bodenveränderung oder einer Altlast belastet ist, gehört, und wer das Eigentum an einem solchen Grundstück aufgibt.

(4) Bei der Erfüllung der boden- und altlastenbezogenen Pflichten nach den Absätzen 1 bis 3 ist die planungsrechtlich zulässige Nutzung des Grundstücks und das sich daraus ergebende Schutzbedürfnis zu beachten, soweit dies mit dem Schutz der in § 2 Abs. 2 Nr. 1 und 2 genannten Bodenfunktionen zu vereinbaren ist. Fehlen planungsrechtliche Festsetzungen, bestimmt die Prägung des Gebiets unter Berücksichtigung der absehbaren Entwicklung das Schutzbedürfnis. Die bei der Sanierung von Gewässern zu erfüllenden Forderungen bestimmen sich nach dem Wasserrecht.

(5) Sind schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten **nach dem 1. März 1999** eingetreten, sind Schadstoffe zu beseitigen, soweit dies im Hinblick auf die Vorbelastung des Bodens verhältnismäßig ist. Dies gilt für denjenigen nicht, der zum Zeitpunkt der Verursachung auf Grund der Erfüllung der für ihn geltenden gesetzlichen Anforderungen darauf vertraut hat, daß solche Beeinträchtigungen nicht entstehen werden, und sein Vertrauen unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles schutzwürdig ist.

(6) **Der frühere Eigentümer eines Grundstücks** ist zur Sanierung verpflichtet, wenn er sein, Eigentum nach dem **nach dem 1. März 1999** übertragen hat und die schädliche Bodenveränderung oder, Altlast hierbei kannte oder kennen mußte. Dies gilt für denjenigen nicht, der beim Erwerb des Grundstücks darauf vertraut hat, daß schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten nicht vorhanden sind, und sein Vertrauen unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles schutzwürdig ist.

#### § 5 Entsiegelung

Soweit die Vorschriften des Baurechts die Befugnisse der Behörden nicht regeln, wird die Bundesregierung ermächtigt, nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 20) durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates Grundstückseigentümer zu verpflichten, bei dauerhaft nicht mehr genutzten Flächen, deren Versiegelung im Widerspruch zu planungsrechtlichen Festsetzungen steht, den Boden in seiner Leistungsfähigkeit im Sinne von § 1. soweit wie möglich und zumutbar zu erhalten oder wiederherzustellen. Bis zum Inkrafttreten einer Rechtsverordnung nach Satz 1 können durch die nach Landesrecht zu-

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 38 von 58
-------	---	--	-----------------

ständigen Behörden im Einzelfall gegenüber den nach Satz 1 Verpflichteten Anordnungen zur Entsiegelung getroffen werden, wenn die in Satz 1 im übrigen genannten Voraussetzungen vorliegen.

### § 6 Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden

Die Bundesregierung wird ermächtigt nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 20) durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates zur Erfüllung der sich aus diesem Gesetz ergebenden Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien hinsichtlich der Schadstoffgehalte und sonstiger Eigenschaften, insbesondere

1. Verbote oder Beschränkungen nach Maßgabe von Merkmalen wie Art und Beschaffenheit der Materialien und des Bodens, Aufbringungsort und -zeit und natürliche Standortverhältnisse sowie
  2. Untersuchungen der Materialien oder des Bodens, Maßnahmen zur Vorbehandlung dieser Materialien oder geeignete andere Maßnahmen
- zu bestimmen.

### § 7 Vorsorgepflicht

Der Grundstückseigentümer, der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück und derjenige, der Verrichtungen auf einem Grundstück durchführt oder durchführen läßt, die zu Veränderungen der Bodenbeschaffenheit führen können, sind verpflichtet, Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu treffen, die durch ihre Nutzung auf dem Grundstück oder, in dessen Einwirkungsbereich hervorgerufen werden können. Vorsorgemaßnahmen sind geboten, wenn wegen der räumlichen, langfristigen oder komplexen Auswirkungen einer Nutzung auf die Bodenfunktionen die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht. Zur Erfüllung der Vorsorgepflicht sind Bodeneinwirkungen zu vermeiden oder zu vermindern, soweit dies auch im Hinblick auf den Zweck der Nutzung des Grundstücks verhältnismäßig ist. Anordnungen zur Vorsorge gegen schädliche Bodenveränderungen dürfen nur getroffen werden, soweit Anforderungen in einer Rechtsverordnung nach § 8 Abs. 2 festgelegt sind. Die Erfüllung der Vorsorgepflicht bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung richtet sich nach § 17 Abs. 1 und 2, für die forstwirtschaftliche Bodennutzung richtet sie sich nach dem Zweiten Kapitel des Bundeswaldgesetzes und den Forst- und Waldgesetzen der Länder. Die Vorsorge für das Grundwasser richtet sich nach wasserrechtlichen Vorschriften. Bei bestehenden Bodenbelastungen bestimmen sich die zu erfüllenden Pflichten nach § 4.

### § 8 Werte und Anforderungen

(1) Die Bundesregierung wird ermächtigt, nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 20) durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates Vorschriften über die Erfüllung der sich aus § 4 ergebenden boden- und altlastenbezogenen Pflichten sowie die Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen, schädlichen Bodenveränderungen, altlastverdächtigen Flächen und Altlasten zu erlassen. Hierbei können insbesondere

1. Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt (Prüfwerte),
2. Werte für Einwirkungen oder Belastungen, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodennutzung in der Regel von einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast auszugehen ist und Maßnahmen erforderlich sind (Maßnahmenwerte),
3. Anforderungen an

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 39 von 58
-------	--	--	-----------------

a) die Abwehr schädlicher Bodenveränderungen; hierzu gehören auch Anforderungen an den Umgang mit ausgehobenem, abgeschobenem und behandeltem Bodenmaterial,

b) die Sanierung des Bodens und von Altlasten, insbesondere an

- die Bestimmung des zu erreichenden Sanierungsziels,
- den Umfang von Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahmen, die langfristig eine Ausbreitung von Schadstoffen verhindern, sowie
- Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen

festgelegt werden.

(2) Die Bundesregierung wird ermächtigt, nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 20) durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates zur Erfüllung der sich aus § 7 ergebenden Pflichten sowie zur Festlegung von Anforderungen an die damit verbundene Untersuchung und Bewertung von Flächen mit der Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung Vorschriften zu erlassen, insbesondere über

1. Bodenwerte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, daß die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht (Vorsorgewerte),

2. zulässige Zusatzbelastungen und Anforderungen zur Vermeidung oder Verminderung von Stoffeinträgen.

(3) Mit den in den Absätzen 1 und 2 genannten Werten sind Verfahren zur Ermittlung von umweltgefährdenden Stoffen in Böden, biologischen und anderen Materialien festzulegen. Diese Verfahren umfassen auch Anforderungen an eine repräsentative Probenahme, Probenbehandlung und Qualitätssicherung einschließlich der Ermittlung der Werte für unterschiedliche Belastungen.

## § 9 Gefährdungsabschätzung und Untersuchungsanordnungen

(1) **Liegen der zuständigen Behörde Anhaltspunkte dafür vor**, daß eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt, so soll sie zur Ermittlung des Sachverhalts die geeigneten Maßnahmen ergreifen. Werden die in einer Rechtsverordnung nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 festgesetzten Prüfwerte überschritten, soll die zuständige Behörde die notwendigen Maßnahmen treffen, um festzustellen, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt. Im Rahmen der Untersuchung und Bewertung sind insbesondere Art und Konzentration der Schadstoffe, die Möglichkeit ihrer Ausbreitung in die Umwelt und ihrer Aufnahme durch Menschen, Tiere und Pflanzen sowie die Nutzung des Grundstücks nach § 4 Abs. 4 zu berücksichtigen. Der Grundstückseigentümer und, wenn dieser bekannt ist, auch der Inhaber der tatsächlichen Gewalt sind über die getroffenen Feststellungen und über die Ergebnisse der Bewertung auf Antrag schriftlich zu unterrichten.

(2) Besteht **auf Grund konkreter Anhaltspunkte der hinreichende Verdacht** einer schädlichen Bodenveränderung oder einer Altlast kann die zuständige Behörde anordnen, daß die in § 4 Abs. 3, 5 und 6 genannten Personen die notwendigen Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung durchzuführen haben. Die zuständige Behörde kann verlangen, daß Untersuchungen von Sachverständigen oder Untersuchungsstellen nach § 18 durchgeführt werden. Sonstige Pflichten zur Mitwirkung der in § 4 Abs. 3, 5 und 6 genannten Personen sowie der nach § 12 Betroffenen bestimmen sich nach Landesrecht.

## § 10 Sonstige Anordnungen

(1) Zur Erfüllung der sich aus §§ 4 und 7 und den auf Grund von § 5 Satz 1, §§ 6 und 8 erlassenen Rechtsverordnungen ergebenden Pflichten kann die zuständige Behörde die notwendigen Maßnahmen

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 40 von 58
-------	---	--	-----------------

treffen. Werden zur Erfüllung der Verpflichtung aus § 4 Abs. 3 und 6 Sicherungsmaßnahmen angeordnet, kann die zuständige Behörde verlangen, daß der Verpflichtete für die Aufrechterhaltung der Sicherungs- und Überwachungsmaßnahmen in der Zukunft Sicherheit leistet. Anordnungen zur Erfüllung der Pflichten nach § 7 dürfen getroffen werden, soweit Anforderungen in einer Rechtsverordnung festgelegt sind. Die zuständige Behörde darf eine Anordnung nicht treffen, wenn sie auch im Hinblick auf die berechtigten Nutzungsinteressen einzelner unverhältnismäßig wäre.

(2) Trifft die zuständige Behörde gegenüber dem Grundstückseigentümer oder dem Inhaber der tatsächlichen Gewalt zur Erfüllung der Pflichten nach § 4 Anordnungen zur Beschränkung der land- und forstwirtschaftlichen Bodennutzung sowie zur Bewirtschaftung von Böden, so hat sie, wenn diese nicht Verursacher der schädlichen Bodenveränderungen sind, für die nach zumutbaren innerbetrieblichen Anpassungsmaßnahmen verbliebenen wirtschaftlichen Nachteile nach Maßgabe des Landesrechts einen angemessenen Ausgleich zu gewähren, wenn die Nutzungsbeschränkung andernfalls zu einer über die damit verbundene allgemeine Belastung erheblich hinausgehenden besonderen Härte führen würde.

### Dritter Teil

#### Ergänzende Vorschriften für Altlasten

#### § 11 Erfassung

Die Länder können die Erfassung der Altlasten und altlastverdächtigen Flächen regeln.

#### § 12 Information der Betroffenen

Die nach § 9 Abs. 2 Satz 1 zur Untersuchung der Altlast und die nach § 4 Abs. 3, 5 und 6 zur Sanierung der Altlast Verpflichteten haben die Eigentümer der betroffenen Grundstücke, die sonstigen betroffenen Nutzungsberechtigten und die betroffene Nachbarschaft (Betroffenen) von der bevorstehenden Durchführung der geplanten Maßnahmen zu informieren. Die zur Beurteilung der Maßnahmen wesentlichen vorhandenen Unterlagen sind zur Einsichtnahme zur Verfügung zu stellen. Enthalten Unterlagen Geschäfts- oder Betriebsgeheimnisse, muß ihr Inhalt, soweit es ohne Preisgabe des Geheimnisses geschehen kann, so ausführlich dargestellt sein, daß es den Betroffenen möglich ist, die Auswirkungen der Maßnahmen auf ihre Belange zu beurteilen.

#### § 13 Sanierungsuntersuchungen und Sanierungsplanung

(1) Bei Altlasten, bei denen wegen der Verschiedenartigkeit der nach § 4 erforderlichen Maßnahmen ein abgestimmtes Vorgehen notwendig ist oder von denen auf Grund von Art, Ausbreitung oder Menge der Schadstoffe in besonderem Maße schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit ausgehen, soll die zuständige Behörde von einem nach § 4 Abs. 3, 5 oder 6 zur Sanierung Verpflichteten die notwendigen Untersuchungen zur Entscheidung über Art und Umfang der erforderlichen Maßnahmen (Sanierungsuntersuchungen) sowie die Vorlage eines Sanierungsplans verlangen, der insbesondere

1. eine Zusammenfassung der Gefährdungsabschätzung und der Sanierungsuntersuchungen,
2. Angaben über die bisherige und künftige Nutzung der zu sanierenden Grundstücke,
3. die Darstellung des Sanierungsziels und die hierzu erforderlichen Dekontaminations-, Sicherungs-, Schutz-, Beschränkungs- und Eigenkontrollmaßnahmen sowie die zeitliche Durchführung dieser Maßnahmen

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 41 von 58
-------	---	--	-----------------

enthält. Die Bundesregierung wird ermächtigt, nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 20) durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates Vorschriften über die Anforderungen an Sanierungsuntersuchungen sowie den Inhalt von Sanierungsplänen zu erlassen.

**(2) Die zuständige Behörde kann verlangen, daß die Sanierungsuntersuchungen sowie der Sanierungsplan von einem Sachverständigen nach § 18 erstellt werden.**

(3) Wer nach Absatz 1 einen Sanierungsplan vorzulegen hat, hat die nach § 12 Betroffenen frühzeitig, in geeigneter Weise und unaufgefordert über die geplanten Maßnahmen zu informieren. § 12 Satz 2 und 3 gilt entsprechend.

(4) Mit dem Sanierungsplan kann der Entwurf eines Sanierungsvertrages über die Ausführung des Planes vorgelegt werden, der die Einbeziehung Dritter vorsehen kann.

(5) Soweit entnommenes Bodenmaterial im Bereich der von der Altlastensanierung betroffenen Fläche wieder eingebracht werden soll, gilt § 27 Abs. 1 Satz 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes nicht, wenn durch einen für verbindlich erklärten Sanierungsplan oder eine Anordnung zur Durchsetzung der Pflichten nach § 4 sichergestellt wird, daß das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird.

(6) Die zuständige Behörde kann den Plan, auch unter Abänderungen oder mit Nebenbestimmungen, für verbindlich erklären. Ein für verbindlich erklärter Plan schließt andere die Sanierung betreffende behördliche Entscheidungen mit Ausnahme von Zulassungsentscheidungen für Vorhaben, die nach § 3 in Verbindung mit der Anlage zu § 3 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung oder kraft Landesrechts einer Umweltverträglichkeitsprüfung unterliegen, mit ein, soweit sie im Einvernehmen mit der jeweils zuständigen Behörde erlassen und in dem für verbindlich erklärten Plan die miteingeschlossenen Entscheidungen aufgeführt werden.

#### **§ 14 Behördliche Sanierungsplanung**

Die zuständige Behörde kann den **Sanierungsplan nach § 13 Abs. 1** selbst erstellen oder ergänzen oder durch einen Sachverständigen nach § 18 erstellen oder ergänzen lassen, wenn

1. der Plan nicht, nicht innerhalb der von der Behörde gesetzten Frist oder fachlich unzureichend erstellt worden ist,
2. ein nach § 4 Abs. 3, 5 oder 6 Verpflichteter nicht oder nicht rechtzeitig herangezogen werden kann oder
3. auf Grund der großflächigen Ausdehnung der Altlast, der auf der Altlast beruhenden weiträumigen Verunreinigung eines Gewässers oder auf Grund der Anzahl der nach § 4 Abs. 3, 5 oder 6 Verpflichteten ein koordiniertes Vorgehen erforderlich ist.

§ 13 Abs. 3 bis 6 gilt entsprechend.

#### **§ 15 Behördliche Überwachung, Eigenkontrolle**

(1) Altlasten und altlastverdächtige Flächen unterliegen, soweit erforderlich, der Überwachung durch die zuständige Behörde. Bei Altstandorten und Ablagerungen bleibt die Wirksamkeit von behördlichen Zulassungsentscheidungen sowie von nachträglichen Anordnungen durch die Anwendung dieses Gesetzes unberührt.

(2) Liegt eine Altlast vor, so kann die zuständige Behörde von den nach § 4 Abs. 3, 5 oder 6 Verpflichteten, soweit erforderlich, die Durchführung von Eigenkontrollmaßnahmen, insbesondere Boden- und Wasseruntersuchungen sowie die Einrichtung und den Betrieb von Meßstellen verlangen. Die Ergebnisse der Eigenkontrollmaßnahmen sind aufzuzeichnen und fünf Jahre lang aufzubewahren. Die zuständige Be-

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 42 von 58
-------	---	--	-----------------

hörde kann eine längerfristige Aufbewahrung anordnen, soweit dies im Einzelfall erforderlich ist. Die zuständige Behörde kann Eigenkontrollmaßnahmen auch nach Durchführung von Dekontaminations-, Sicherungs- und Beschränkungsmaßnahmen anordnen. Sie kann verlangen, daß die Eigenkontrollmaßnahmen von einem Sachverständigen nach § 18 durchgeführt werden.

(3) Die Ergebnisse der Eigenkontrollmaßnahmen sind von den nach § 4 Abs. 3, 5 oder 6 Verpflichteten der zuständigen Behörde auf Verlangen mitzuteilen. Sie hat diese Aufzeichnungen und die Ergebnisse ihrer Überwachungsmaßnahmen fünf Jahre lang aufzubewahren.

### § 16 Ergänzende Anordnungen zur Altlastensanierung

(1) Neben den im Zweiten Teil dieses Gesetzes vorgesehenen Anordnungen kann die zuständige Behörde zur Erfüllung der Pflichten, die sich aus dem Dritten Teil dieses Gesetzes ergeben, die erforderlichen Anordnungen treffen.

(2) Soweit ein für verbindlich erklärter Sanierungsplan im Sinne von § 13 Abs. 6 nicht vorliegt, schließen Anordnungen zur Durchsetzung der Pflichten nach § 4 andere die Sanierung betreffende behördliche Entscheidungen mit Ausnahme von Zulassungsentscheidungen für Vorhaben, die nach § 3 in Verbindung mit der Anlage zu § 3 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung oder kraft Landesrechts einer Umweltverträglichkeitsprüfung unterliegen, mit ein, soweit sie im Einvernehmen mit der jeweils zuständigen Behörde erlassen und in der Anordnung die miteingeschlossenen Entscheidungen aufgeführt werden.

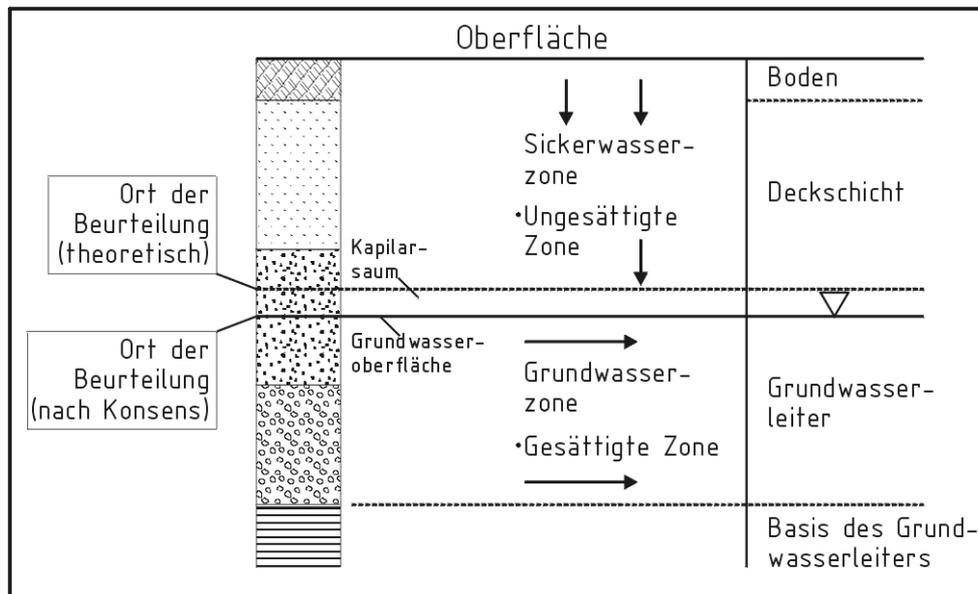
## 2.3 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung BBodSchV

Mit dem Inkrafttreten der **Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)** am 17. Juli 1999 werden die Anforderungen an die Untersuchung und Bewertung von altlastverdächtigen Flächen rechtsverbindlich geregelt. Die BBodSchV sieht diesbezüglich eine gestufte Vorgehensweise vor. Bestehen Anhaltspunkte für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast, so nimmt die Bodenschutzbehörde zunächst die katastermäßige Erfassung der Altlastverdachtsfläche im Rahmen der historischen Erkundung in Angriff. Auf Grundlage der historischen Erkundung ist dann von Seiten der Behörde eine **orientierende Untersuchung** durchzuführen. Die Ergebnisse der orientierenden Untersuchung sind gemäß § 4 Abs. 1 BBodSchV „unter Beachtung der Gegebenheiten des Einzelfalles insbesondere auch anhand von **Prüfwerten** zu bewerten.“ Gemäß § 8 Abs. 1 BBodSchG sind Prüfwerte definiert als „Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine **schädliche Bodenveränderung** oder **Altlast** vorliegt“. Liegen die im Rahmen der orientierenden Untersuchung ermittelten Schadstoffgehalte unterhalb des entsprechenden Prüfwertes, so ist gemäß § 4 Abs. 2 Satz 1 BBodSchG „insoweit der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt.“

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 43 von 58
-------	--	--	-----------------

Gemäß § 2 Abs. 5 BBodSchV ist eine **Sickerwasserprognose** die Abschätzung der von einer Verdachtsfläche, altlastenverdächtigen Fläche, schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgehenden oder in überschaubarer Zukunft zu erwartenden Stoffeinträge über das Sickerwasser in das Grundwasser, unter Berücksichtigung von Konzentration und Frachten und bezogen auf den Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Zone. Dieser Übergangsbereich von offenen zum geschlossenen Kapillarraum (siehe folgende Abbildung) kann messtechnisch nur schwierig bestimmt werden. Deshalb wählt man aus Praktikabilitätsgründen den Grundwasserspiegel bei Grundwasserhöchststand zu Beurteilung aus. Liegen Kontaminationen im Grundwasser, ist die Beurteilung auf das Kontaktgrundwasser zu beziehen.

Abbildung 4: Ort der Beurteilung, Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone



Ort der Beurteilung, Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone

Nach Anhang 1, Abs. 3.3 der BBodSchV kann die Schadstoffkonzentration **am Ort der Beurteilung** annäherungsweise abgeschätzt werden

- durch **Rückschlüsse** oder **Rückrechnungen** aus Untersuchungen im Grundwasserabstrom unter Berücksichtigung der Stoffkonzentration im Grundwasseranstrom, der Verdünnung, des Schadstoffverhaltens in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone sowie des Schadstoffinventars im Boden,
- auf der Grundlage von **In-situ-Untersuchungen** oder

- auf der Grundlage von **Materialuntersuchungen** im Labor (Elution, Extraktion), bei anorganischen Stoffen insbesondere der Elution mit Wasser auch unter Anwendung von Stofftransportmodellen erfolgen.

Nach BBodSchV, Anhang 1, Abs. 3.3 können die Stoffkonzentrationen im Sickerwasser auf der Grundlage von Materialuntersuchungen annäherungsweise abgeschätzt werden:

- für **organische Stoffe** anhand von Säulenversuchen und
- für **anorganische Schadstoffe** anhand des Bodensättigungsextraktes, des Ammoniumnitrat-Extraktes oder der Elution nach DEV S4.

In-situ-Untersuchungen am Ort der Beurteilung können anhand von Saugsondenuntersuchungen oder Grundwassersondierungen durchgeführt werden. Die Untersuchung des Kontaktgrundwassers ist anhand von Grundwassermessstellen oder Grundwassersondierungen möglich. Die Aufgabe von **Bodenuntersuchungen** im Rahmen der Sickerwasserprognose ist die Feststellung der Schadstoffmenge und deren räumlichen Verteilung im Boden.

Die zur Untersuchung des Grundwasseran- und abstroms erforderlichen Grundwassermessstellen oder Grundwassersondierungen sind sachkundig zu planen, zu positioniert und auszubauen. Dabei ist auch das Ausbreitungsverhalten der Schadstoffe im Grundwasser zu beachten und die Empfehlungen der Arbeitshilfe Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung des ALA zu berücksichtigen. Beim Ausbau der Messstellen sind Inhomogenitäten im Untergrundaufbau und in der vertikalen Konzentrationsverteilung der Schadstoffe zu beachten. Für An-/Abstromvergleiche sollen vergleichbare Grundwasserbereiche beprobt werden.

Zur Beurteilung des Stoffeintrags ist nach Möglichkeit der **gesamte Grundwasserabstrom** der zu beurteilenden Fläche zu erfassen. Vorhandene **Schadstofffahnen** sind nach ihrer räumlichen Lage und Ausdehnung sowie der internen Konzentrationsverteilung zu beschreiben. Die zeitliche Entwicklung dieser Eigenschaften ist abzuschätzen. **Abschätzungen der zukünftigen Ausbreitungsentwicklung** können verbal-argumentativ oder mit mathematischen Methoden erfolgen.

Die Vollzugshilfe zur Gefährdungsabschätzung für den Pfad "Boden-Grundwasser" des Landesumweltamtes NRW verdeutlicht, dass nicht nur über das Sickerwasser Schadstoffe in das Grundwasser eingetragen werden können, sondern auch über eine aktive Versickerung von Flüssigkeiten oder z. B. auch über undichte Kanäle. Aus diesem Grund wird der Begriff „**Eintragsprognose**“ von Schadstoffen ins Grundwasser geprägt (siehe folgende Tabelle). Ausführlich beschreibt die Vollzugshilfe konkrete methodische Hinweise zur Durchführung von Eintragsprognosen und zur **fachlichen Beurteilung** der mit unterschiedlichen Methoden erzielten Untersuchungs- und Prognoseergebnisse. Die Vollzugshilfe gibt darüber hinaus den Vollzugsbehörden nähere Hinweise zum Umfang von orientierenden Untersuchungen und Detailuntersuchungen sowie zur Verhältnismäßigkeitsprüfung bei Überschreitung von Prüfwerten.

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 45 von 58
-------	---	--	-----------------

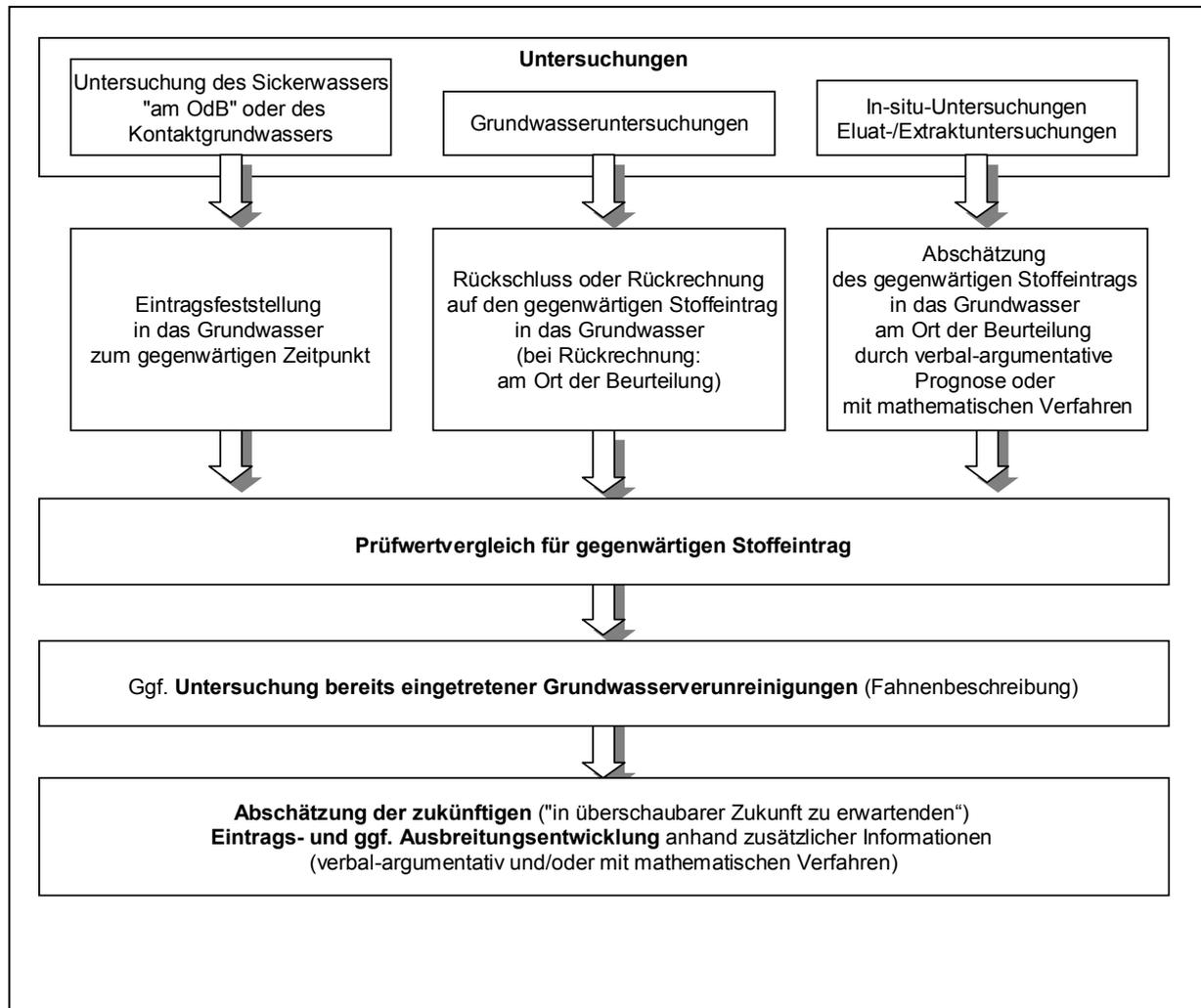
Tabelle 1: Eintragsprognose nach LUA NRW 2002

Merkmale	Eintragsprognose		
	Sickerwasserprognose nach § 2 BBodSchV	Stoffeinträge nicht über das Sickerwasser	
Lage der Schadstoffquelle	in der ungesättigten Zone	in der ungesättigten Zone	in der gesättigten Zone
Stoffeintrag in das Grundwasser erfolgt	nur mit dem Sickerwasser	gravitativ (z.B. Absinken von Phasen oder schweren Gasen) oder diffusiv (Ausbreitung von Gasen)	nur mit dem Grundwasser
Beurteilung bezogen auf	Ort der Beurteilung nach BBodSchV	Ort der Beurteilung nach BBodSchV	Kontakt-Grundwasser

Im Rahmen einer **orientierenden Untersuchung** werden von der Bodenschutzbehörde nach § 3 Abs. 4 BBodSchV nur Untersuchungen in dem Maße durchgeführt, bis eine Entscheidung über das Bestehen eines **hinreichenden Verdachts** einer schädlichen Bodenveränderung oder einer Altlast getroffen werden kann. Besteht ein solcher Verdacht, können aufgrund der Anordnungsbefugnis nach § 9 Abs. 2 BBodSchG alle weiteren Maßnahmen zur Gefährdungsabschätzung einem bodenschutzrechtlich Pflichtigen aufgegeben werden. Ein solcher erhärtete Verdacht besteht, wenn die Prüfwerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser am Ort der Beurteilung signifikant überschritten sind.

Zur Bewertung einer Grundwassergefährdung sind die **Prüfwerte** der BBodSchV für den Pfad Boden-Grundwasser heranzuziehen. Diese Werte können **auch** bei der Beurteilung von Schadstoffkonzentrationen im **Kontaktgrundwasser** angewendet werden. Ein **erheblicher Stoffeintrag** liegt vor, wenn die Prüfwerte am Ort der Beurteilung bzw. im Kontaktgrundwasser überschritten sind. **Ort der Beurteilung** ist ein für die zu beurteilende Fläche sachgerecht zu ermittelnder, höchster Grundwasserstand. Liegt die Schadstoffquelle im Grundwasser, ist das Grundwasser zu beurteilen, das mit dem Schadstoff in Kontakt steht (**Kontaktgrundwasser**). Eine Eintragsprognose ist immer dann erforderlich, wenn nach den Ergebnissen der Erfassung oder sonstigen Erkenntnissen **Anhaltspunkte für eine Grundwassergefährdung** vorliegen. Liegen Ergebnisse von Material- oder In-situ-Untersuchungen vor, kann der **gegenwärtige und zukünftige Stoffeintrag** in das Grundwasser "verbal-argumentativ" oder mit mathematischen Methoden abgeschätzt werden. Bei Grundwasseruntersuchungen lassen sich Rückschlüsse auf den gegenwärtigen Stoffeintrag über einen Ab- / Anstromvergleich ziehen.

Abbildung 5: Ablauf der Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser nach



Zur Beurteilung der Schadstoffgehalte im Sickerwasser und Kontaktgrundwasser werden die Prüfwerte der BBodSchV verwendet (siehe Tabelle 14). Bei der Gefährdungsabschätzung sind zusätzlich folgende Standortparameter zu berücksichtigen:

- Versiegelungsgrad,
- Lage von Kanälen,
- Grundwasserneubildung, (Zufluss von Hang-, Stauwasser),
- Grundwasserflurabstand,
- Bodenaufbau und -struktur,

- Mächtigkeit, Aufbau und Durchlässigkeit der ungesättigten Bodenzone,
- Schadstoffart, -menge und -verteilung in den Kompartimenten Boden-Wasser-Luft,
- Filter- und Retardierungseigenschaften der ungesättigten Bodenzone und
- Abbaubarkeit der Stoffe.

Tabelle 2: Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser nach BBodSchV

Anorganische Parameter	Prüfwert µg/l	Organische Parameter	Prüfwert µg/l
Arsen	10	Cyanid, ges.	50
Blei	25	Cyanid, freisetzbar	10
Cadmium	5	MKW <sup>1)</sup>	200
Chrom (ges.)	50	<b>LHKW, ges.</b>	<b>10</b>
Chrom VI	8	PBC, gesamt	0,05
Kupfer	50	BTEX-Aromaten gesamt	20
Molybdän	50	- Benzol als Einzelstoff	1
Nickel	50	Phenole, wasserdampfflüchtig	20
Quecksilber	1	PAK, gesamt <sup>2)</sup>	0,2
Zink	500	- Σ Naphtalin u. Methylnaphthaline	2

1) n-Alkan (C10-C39), Isoalkane, Cycloalkane und aromatische Kohlenwasserstoffe

2) PAK, gesamt: Summe der polycyclischen aromatische Kohlenwasserstoffe ohne Naphthalin und Methylnaphthaline; in der Regel Bestimmung über die Summe der 15 Einzelsubstanzen gemäß Liste der US EPA ohne Naphthalin; ggf. unter Berücksichtigung weiterer relevanter PAK (z.B. Chinoline).

Nach erhebliche Anstrengungen auf Länderebene wurden in den Jahren 2001 und 2002 mehrere Vollzugshilfen auf Länderebene zur Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser erarbeitet. Ziel der Länderaktivitäten im ALA ist es, einen einheitlichen Vollzug der BBodSchV in den Ländern zu ermöglichen (Schmid, 2001). Die Sickerwasserprognose gemäß BBodSchV basiert auf zahlreichen Neuerungen im Rahmen der Untersuchung, z. B. der Prognose der Schadstoffkonzentration am Ort der Beurteilung (OdB) und bisher unüblichen Untersuchungsmethoden (z. B. Bodensättigungsextrakt, Säulenversuchen). Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über den Inhalt der Vollzugshilfen der Länder Hessen, Bayern und Nordrhein-Westfalen.

Tabelle 3: Überblick über den Inhalt der Vollzugshilfen für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Inhalte / Kriterien	Landesumweltamt NRW (2002)	Hessische Landesamt f. Umwelt u. Geologie (2001)	Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft (2001)
Prüfkriterien zur Durchführung einer Sickerwasserprognose	Orientierungswerte für S4-Eluate angegeben	verbal-argumentativ	Orientierungswerte im Feststoff, Eluat und Grundwasser
Bewertung von Materialuntersuchungen	Anhang 1 auch von Saugsonden und Grundwasser-sondierungen	ausführlich im Anhang 2	ausführlich im Anhang 1
Leichtflüchtige Schadstoffe	Verdacht auf LHKW und BTEX rechtfertigt Grundwasseruntersuchungen	Beurteilung anhand von Gesamtgehalten u. chem. physikalischen Daten	Beurteilung anhand von Bodenluftkonzentrationen; Gesamtgehalten u. chem. physikalischen Daten
Rückrechnung /Rückschluss	Anhand von Formeln beschrieben	Verbal beschrieben	Verbal beschrieben
Verwendung v. Grundwasseruntersuchungen	Ausführlich beschrieben	Schwerpunkt der Untersuchung	Schwerpunkt der Untersuchung
Chem., physikalischen Stoffdaten	Literaturhinweise	Anhang 1, ausführlich	Anhang 2, ausführlich
Verbal-argumentative Abschätzung	Anhand von Ausschlusskriterien beschrieben	Bewertungsverfahren zur verbal-argumentativen Abschätzung	Verbal beschrieben
Frachtberechnung- und Bewertung	anhand von Formeln beschrieben; Bewertung anhand v. Hintergrundfrachten	anhand von Formeln beschrieben;	-
Formelwerk zur Durchführung von Emissionsberechnungen	anhand von Formeln beschrieben	anhand von Formeln beschrieben	-
Einsatz von mathematischen Verfahren Modellen	verbal beschrieben	verbal beschrieben	verbal beschrieben
Internetadressen zur vertieften Information	vorhanden	-	-
Inhalt v. Orientierender Untersuchung und Detailuntersuchung	beschrieben	beschrieben	beschrieben

In der Regel beschränkt sich die **"verbal-argumentative" Abschätzung** darauf, nachvollziehbar und begründet abzuleiten, ob von der zu beurteilenden Fläche ein Schadstoffeintrag in das Grundwasser stattfindet bzw. stattfinden wird, der über den Prüfwerten der BBodSchV für das Grundwasser liegt, oder ob dies nicht der Fall ist. Anschließend ist das Ausmaß des Stoffeintrages zu beurteilen.

Ein **Stoffeintrag** über den Prüfwerten wird i.d.R. nach der nordrhein-westfälischen Vollzugshilfe **immer unterstellt**, wenn:

- die mit realitätsnahen Verfahren ermittelten Konzentrationen die Prüfwerte der BBodSchV für das Grundwasser überschreiten und die Schadstoffquelle ganz oder teilweise in der gesättigten Bodenzone liegt oder
- mobile Stoffe in Phase oberhalb der Residualsättigung vorliegen (z.B. MKW, LHKW, BTEX, Teeröle) oder
- die Schadstoffquelle in der ungesättigten Bodenzone liegt und

die mit einem realitätsnahen Verfahren ermittelte Konzentration der Bodenlösung am Ort der Probennahme die Prüfwerte der BBodSchV für das Grundwasser überschreitet und der Grundwasserleiter nicht von einer mindestens 2 m mächtigen, nicht kontaminierten Deckschicht aus Tonen, Schluffen oder Lehmen geschützt wird, und der Abstand zum höchsten zu erwartenden Grundwasserstand gering ist.

Wesentliche Bestandteile der hessischen Vollzugshilfe sind in

- Tabellen zur Bewertung der Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone und der Grundwassergefährdung
- Stoffdatenblätter zur Beurteilung der Mobilität und Abbaubarkeit häufig auftretender organischer und anorganischer Schadstoffe
- Kurzbeschreibungen aller relevanten Elutions-, Extraktionsverfahren und
- Hinweisen zur Anwendbarkeit und Vergleichbarkeit von Elutions-, Extraktionsverfahren zusammengefasst.

Die hessischen Vollzugshilfe verwendet folgende Kriterien zur verbal-argumentative Abschätzung einer Grundwassergefährdung

- Mobilität der Schadstoffe,
- Schutzfunktion der ungesättigten Bodenzone (Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung, Versiegelung, Durchlässigkeit des Bodens, Biologische Abbaubarkeit),
- Schadstoffgehalte im Boden.

Der Detaillierungsgrad und die Aussageschärfe sind nach orientierenden Untersuchungen und Detailuntersuchungen getrennt dargestellt. Sie erleichtern damit der zuständigen Behörde die Wahl der im Einzelfall zu treffenden Maßnahmen.

Liegt ein erheblicher Schadstoffeintrag vor, so ist nach § 4 Abs. 7 Satz 2 BBodSchV die Verhältnismäßigkeit von Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen zu prüfen, um zu beurteilen, ob die ermittelten Stoffeinträge auf „**Dauer nur geringe Schadstofffrachten**“ und nur „**lokal begrenzt**“ erhöhte Schadstoffkonzentrationen hervorrufen.

Verhältnismäßig ist eine Maßnahme nach, die zur Feststellung der Gefahr oder zur Abwendung der Gefahr geeignet, notwendig bzw. erforderlich und zumutbar bzw. verhältnismäßig im engeren Sinne ist. Eine Maßnahme ist verhältnismäßig i.e.S. bzw. zumutbar, wenn die zu erwartenden negativen Auswirkungen zu dem beabsichtigten Erfolg nicht erkennbar außer Verhältnis stehen. Wichtigste Entscheidungskriterien für die **Verhältnismäßigkeit** von Sanierungsmaßnahmen sind nach Vollzugshilfe LUA NRW, 2002:

- Höhe des gegenwärtigen und des zukünftig zu erwartenden Stoffeintrags nach Konzentrationen und Frachten.
  - Nach § 4 Abs. 7 Satz 2 BBodSchV ist bei der Prüfung der Verhältnismäßigkeit von Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen auch zu berücksichtigen, ob die ermittelten Stoffeinträge auf Dauer nur geringe Schadstofffrachten und nur lokal begrenzt erhöhte Schadstoffkonzentrationen hervorrufen. Die Maßstäbe hierfür bestimmen sich nach den Gegebenheiten des Einzelfalls (Verhältnis von Schadstoffkonzentration und Frachten zur Grundwasserbeschaffenheit im Umfeld).
- Voraussichtliche Dauer und zukünftige räumliche Ausbreitung des Stoffeintrags.
  - Für Überlegungen zur Verhältnismäßigkeit ist es dabei beispielsweise von Bedeutung, ob es sich im Einzelfall um einen einmaligen, zeitlich begrenzten Eintragsvorgang, um die ansteigende Phase eines Schadstoffeintrags, eine gleichbleibende Konzentrationsrate oder die Endphase eines Eintragsprozesses handelt.
- Beurteilung des Schadstoffspektrums.
  - Der Toxizität von Schadstoffen wird grundsätzlich bereits in den Prüfwerten der BBodSchV Rechnung getragen. Es kann jedoch im Einzelfall (Schadstoffgemische, geringe Prüfwertüberschreitungen, Einzelbefunde) erforderlich sein, ökotoxikologische Überlegungen (z.B. Belastungscharakter, Anzahl der positiven Befunde/ Schadstoffe) zusätzlich in die Verhältnismäßigkeitsbetrachtung einzubeziehen
- Wasserwirtschaftliche Nutzungen und Potenziale im Umfeld.
  - Art, Umfang und Rechtsstatus der Nutzung sind hierbei maßgeblich
- Sensibilitäten sonstiger Umfeldnutzungen.
  - Auswirkungen der Maßnahme auf andere Schutzgebiete im Umfeld (Naturschutzgebiete, Bodenschutzgebiete, u.a.)

Zur Prognose der **zukünftigen Eintragsentwicklung** ist auf der Basis zusätzlicher Informationen und unter Berücksichtigung der standortspezifischen Abbau-, Rückhalte-, Mobilisierungs- und Verlagerungsprozesse für die überschaubare Zukunft abzuschätzen, wie sich der gegenwärtigen

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 51 von 58
-------	--	--	-----------------

tige Stoffeintrag in das Grundwasser entwickeln wird oder inwieweit in Zukunft ein Schadstoffeintrag zu erwarten ist.

### 3 Literatur

- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999. BGBl. I Nr. 36/1999, S. 1554-1582.
- BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17. März 1998. BGBl. I Nr. 16/1998, S. 502-510.
- Unterausschuss „Qualitätssicherung“ des ALA, ständiger Ausschuss „Altlasten“ der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz – LABO (2002): Arbeitshilfe Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung (2002).
- Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27.08.1997; BGBl. I S. 2141, zuletzt geändert am 19.06.2001, BGBl. I S. 1149.
- Fachkommission „Städtebau“ der ARGEBAU (2001): Mustererlass zur Berücksichtigung von Flächen mit Bodenbelastungen, insbesondere Altlasten, bei der Bauleitplanung und im Baugenehmigungsverfahren, 26. September 2001.
- Bek. BBodSchV (1999): Bekanntmachung über Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Bundesanzeiger Jhrg. 51, Nr. 161a vom 28.08.1999, Bonn.
- Ständiger Ausschuss Altlasten der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten – Informationsblatt für den Vollzug (Stand: März 2002).
- Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW), Materialien zur Altlastenbearbeitung und zum Bodenschutz Band 17, veröffentlicht im Internet [www.lua.nrw.de](http://www.lua.nrw.de); Vollzugshilfe zur Gefährdungsabschätzung "Boden-Grundwasser". Düsseldorf, 2002.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie HLUG (2001): Handbuch Altlasten Bd. 3 Teil 3, Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden - Grundwasser / Sickerwasser, Wiesbaden 2001.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2001): Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen, Wirkungspfad Boden-Gewässer, Merkblatt Nr. 3.8.1.
- Schmid, Th. (2001): Sickerwasserprognose – Aktivität in den Ländern; altlasten-spektrum 6/2001, Seite 310 – 315, Erich Schmid Verlag.

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 53 von 58
-------	--	--	-----------------

## 4 Aufgaben

### Aufgabe 1)

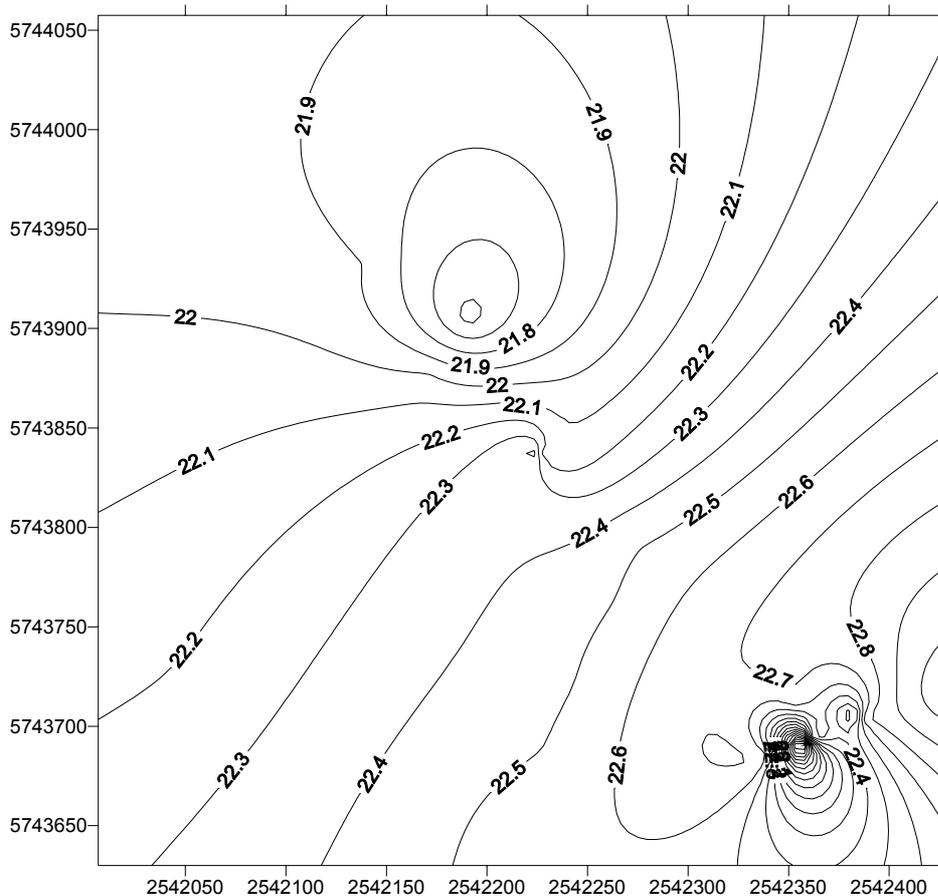
- a) Berechnen Sie mittels der 2- dimensionalen Lösung der Transportgleichung einen Schadstofftransport im Grundwasserleiter. Die Ausbreitung von Trichlorethen mit einer Anfangskonzentration von  $106 \mu\text{g/l}$  soll für die folgenden Koordinaten  $x$ ,  $y$  berechnet werden. Alle weiteren relevanten Parameter werden im Text erläutert.

x	y	c	x	y	c
-10	0		-10	20	
0	0		0	20	
10	0		10	20	
50	0		50	20	
100	0		100	20	
200	0		200	20	
500	0		500	20	
-10	10		-10	30	
0	10		0	30	
10	10		10	30	
50	10		50	30	
100	10		100	30	
200	10		200	30	
500	10		500	30	
700	10		700	30	

### Aufgabe 2)

- a) Konstruieren Sie einen Grundwassergleichenplan mittels des Interpolationsprogramms „SURFER“ mit den folgenden Daten der nachfolgenden Tabelle.

Name der Bohrung	Zweck der Bohrung	Gauß-Krüger Rechtswert	Gauß-Krüger Hochwert	POK [m ü. NN]	26.04.04 [m u. POK]
B2	Meißstelle	2542329,81	5743673,84	25,210	2,63
B3	Meißstelle	2542222,37	5743642,12	25,300	2,68
B4	Meißstelle	2542233,50	5743723,36	25,170	2,66
B5	Meißstelle	2542232,31	5743685,02	25,170	2,51
B6	Meißstelle	2542255,33	5743765,94	25,100	2,61
B7a	Doppelmeißstelle	2542226,58	5743837,74	24,800	2,34
B7b	Doppelmeißstelle	2542228,18	5743837,62	24,630	2,51
B8	Meißstelle	2542295,32	5743815,81	24,640	2,18
B10	Meißstelle	2542271,76	5743794,08	24,730	2,24
BrB	Förderbrunnen	2542356,29	5743690,77	25,520	4,76
BrC	Brunnen	2542427,14	5743716,59	25,590	2,47
BrD	Förderbrunnen	2542382,33	5743705,56	25,850	3,73
BrE1	Mehrfachmeißst.	2542363,10	5743694,89	25,790	3,14
BrE2	Mehrfachmeißst.	2542363,04	5743695,00	25,750	3,09
BrE3	Mehrfachmeißst.	2542362,94	5743694,92	25,690	3,04
BrF1	Mehrfachmeißst.	2542388,06	5743704,51	25,570	2,74
BrF2	Mehrfachmeißst.	2542387,98	5743704,61	25,490	2,65
BrF3	Mehrfachmeißst.	2542387,96	5743704,53	25,270	2,44
SanBr.	Förderbrunnen	2542331,46	5743676,02	25,060	2,35
Rb3	Meißstelle	2542352,90	5743711,61	25,390	2,69
Rb5	Meißstelle	2542339,97	5743685,02	25,250	2,58
Rb13	Meißstelle	2542373,81	5743753,86	25,370	2,54
Rb16	Meißstelle	2542170,18	5743874,56	23,960	1,85
Rb17	Meißstelle	2542191,06	5743905,04	23,970	1,94
Rb18	Meißstelle	2542041,40	5744057,49	24,020	2,07
Rb19	Meißstelle	2542006,73	5743972,03	23,950	2,00
Rb20	Meißstelle	2542138,76	5743932,11	23,880	1,94
I/5P1	Meißstelle	2542132,00	5743630,00	25,330	2,87
I/5P3	Meißstelle	2542030,00	5743740,00	24,270	2,05



### Aufgabe 3)

a) Simulieren Sie eine geschlossene Wasserhaltung in einer Baugrube mittels Finite- Differenzenmodell „ASMWIN“. Folgende Daten sind zu verwenden:

- Baugrube (Ausgangsbasis)
- Horizontale Ausdehnung: 50 m
- Vertikale Ausdehnung: 30 m
- Tiefe der Baugrube: 5 m
- Geländeoberkante 50 m ü.NN
- Baugrubensohle: 45 m ü.NN
- Hydrogeologische Randbedingungen
  - i. Grundwasserstand im Bereich Baugrube: 46 m ü.NN
  - ii. Grundwasserfließrichtung: W
  - iii. Aquiferbasis: 40 m ü.NN

- iv. Aquiferoberfläche: 47 m ü.NN
- v. Ungespannter Grundwasserleiter
- vi. Durchlässigkeit des Aquifers: 0,001 m/s (Kies)
- vii. Effektive Porosität: 0,2
- viii. Grundwasserstand im Anstrom (Osten) in 100 m Entfernung: 46,1 m ü.NN
  - i. Simulieren Sie die Absenkung des Grundwassers in der Baugrube auf  $< 45$  m ü.NN mittels 4 symmetrisch um die Baugrube verteilte Brunnen; Pumprate 5 – 10 l/s

#### Aufgabe 4)

b) Simulieren Sie Simulation einen Schadstofftransport mittels Finite-Differenzenmodell „ASMWIN“. Folgende Daten sind zu verwenden:

- Schadensbereich: Fläche: ca. 400 m<sup>2</sup>; Länge: 60 m; Breite: 70 m
- Hydrogeologische Randbedingungen
  - i. Grundwasserstand : 45 m ü.NN
  - ii. Grundwasserfließrichtung: O
  - iii. Aquiferbasis: 34 m ü.NN
  - iv. Aquiferoberfläche: 47 m ü.NN
  - v. Ungespannter Grundwasserleiter
  - vi. Durchlässigkeit des Aquifers: 0,0005 m/s (Sand)
  - vii. Effektive Porosität: 0,15
  - viii. Grundwasserstand im Anstrom (Westen): 46 m ü.NN

b) Simulation des Schadstofftransportes

- Gesamtfläche 300 x 300 m; 10 x 10 m Raster:
- Festlegung des Aufertypes
- ungespannt; Anisotropiefaktor = 1
- Randbedingungen des Flow-Modells
- östlicher und westlicher Rand: **inaktiv**
- innere Rasterzellen: **aktiv**
- Vertikale Dimensionierung des Aquifers

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 57 von 58
-------	---	--	-----------------

- Aquiferbasis: 34 m ü.NN
- Aquiferoberfläche: 47 m ü. NN
- Startbedingungen (Grundwasserstand)
- Starteinstellung: 45 m ü. NN
- westlicher Rand (Anstrom): 46 m ü. NN
- Festlegung der Durchlässigkeit und der effektiven Porosität des Aquifers
- Durchlässigkeit: 0,0005 m/s; effektive Porosität: 0,15
- Festlegung der Pumpen; eine Pumpe östlich des Schadensbereiches; Pumprate: 0,002 m<sup>3</sup>/s
- Randbedingungen des Transportmodells: alle Rasterzellen: aktiv; Definition von Beobachtungspunkten: drei Beobachtungspunkte östlich des Schadensbereich
- Eingabe der Modellparameter: Festlegung der Anfangskonzentration: aller Rasterzellen: Wert 0; Eingabe der Eintragsrate der Kontaminaten: **Eintragsrate : 0,04 µg/s**