

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Grundwasserchemie und hydrogeochemische Modellierung

<b>1</b>	<b>Wasserinhaltsstoffe, Grundwassertemperatur, Grundwassermessstellentypen und Quellen . . . . .</b>	<b>3</b>
1.1	Allgemeines . . . . .	3
1.2	Grundwasserzusammensetzung . . . . .	4
1.3	Herkunft und übliche Konzentrationen von anorganischen Wasserinhaltsstoffen . . . . .	9
1.4	Ionenbilanz und weitere Plausibilitätskontrollen bei Wasserproben	12
1.5	Grundwassertemperatur . . . . .	16
1.6	Grundwassermessstellentypen . . . . .	26
1.7	Quellen . . . . .	29
1.7.1	Definition . . . . .	29
1.7.2	Quelltypen . . . . .	30
1.7.3	Quellwasserchemie . . . . .	34
1.8	Abhängigkeit der Grundwasserchemie von der Gesteinszusammensetzung . . . . .	39
	Literatur . . . . .	41
<b>2</b>	<b>Chemische Grundlagen der anorganischen Wasserchemie . . . . .</b>	<b>45</b>
2.1	Grundlegende Begriffe der anorganischen Wasserchemie . . . . .	45
2.2	Grundlagen anorganischer hydrogeochemischer Reaktionen . . . . .	49
2.2.1	Säure-Base-Reaktionen . . . . .	50
2.2.2	Redoxreaktionen . . . . .	60
2.2.3	Lösungs-Fällungs-Reaktionen . . . . .	68
2.2.4	Komplexbildung und -dissoziation . . . . .	75
2.2.5	Gas-Wasser-Reaktionen . . . . .	77
2.2.6	Ionenaustausch und Sorption . . . . .	79
	Literatur . . . . .	80
<b>3</b>	<b>Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht . . . . .</b>	<b>83</b>
3.1	Grundlagen des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes . . . . .	83

3.2	Bestimmung von $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ , $\text{HCO}_3^-$ und $\text{CO}_3^{2-}$ aus KS- und KB-Werten .....	88
3.3	Abschätzende Bestimmung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes .....	90
3.4	Bestimmung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes durch Versuche .....	95
3.5	pH-Pufferung der Kohlensäurespezies und von Gesteinen .....	96
3.6	Berechnung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes .....	98
3.7	Aufbereitung zur Erzielung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes .....	101
3.8	Veränderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes durch Kochen oder Kohlendioxidentgasung .....	104
3.9	Aachener und Burtscheider Thermalquellen .....	114
3.10	Kalkausfällungen im Mono-Lake (USA) .....	116
	Literatur .....	120
<b>4</b>	<b>Chemische Grundlagen der organischen Hydrochemie und des Verhaltens organischer Stoffe im Untergrund .....</b>	<b>121</b>
4.1	Grundlagen und Systematik organischer Stoffe .....	121
4.2	Stoffeigenschaften und daraus resultierendes Verhalten organischer Stoffe im Untergrund .....	124
4.2.1	Aggregatzustände und Stoffübergänge .....	124
4.2.2	Wasserlöslichkeit und Dichte, Bildung einer eigenen Flüssigphase .....	125
4.2.3	Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient, Sorption und Retardation .....	129
4.2.4	Verflüchtigung in die Gasphase (Übergang in die Grundluft/Bodenluft) .....	136
4.2.5	Abbau organischer Stoffe .....	140
4.3	Beschreibung des Stoffverhaltens ausgesuchter organischer Stoffe .....	144
4.3.1	Kettenförmige Kohlenwasserstoffe (inkl. MKW, LCKW) .....	144
4.3.2	Leicht flüchtige chlorierte (kettenförmige) Kohlenwasserstoffe (LCKW, CKW, LHKW) .....	147
4.3.3	Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX, PAK) .....	158
4.4	Schemazeichnungen zum Verhalten von Leicht- und Schwerphasen .....	165
4.5	Historie der Grundwasserbelastung mit organischen Stoffen (Internetrecherche) .....	166
	Literatur .....	168
<b>5</b>	<b>Entwicklung hydrogeochemischer Modelle in der Hydrogeologie ..</b>	<b>171</b>
5.1	Allgemeine Einführung .....	171
5.2	Eingabe einer Wasseranalyse und Speziesberechnungen mit PHREEQC-2 .....	173

---

5.3	Modellierung von reversiblen Gleichgewichtsreaktionen (homogen und heterogen) . . . . .	184
Literatur . . . . .		189
<b>6</b>	<b>Hydrogeochemie der Wasseraufbereitung und Beispiele der Modellierung . . . . .</b>	<b>191</b>
6.1	Hydrochemie der Wasseraufbereitung . . . . .	191
6.2	Hydrogeochemische Modellierung der Prozesse in der Wasseraufbereitung . . . . .	197
Literatur . . . . .		206
<b>Teil II Spezielle Hydrogeologie/Hydrochemie und Wasserwirtschaft</b>		
<b>7</b>	<b>Auswirkungen des deutschen Braunkohlenbergbaus auf den Chemismus des Grundwassers – Überblick über die Reviere . . . . .</b>	<b>209</b>
7.1	Grundwasserverhältnisse im Rheinischen Braunkohlenrevier . . . . .	213
7.2	Pyritoxidation durch Belüftung eines Aquifer- sediments über den trocken fallenden Filter einer Grundwassermessstelle bei Absenkung der Grundwasseroberfläche . . . . .	227
7.3	Einfluss der Außenkippe „Sophienhöhe“ des Tagebaus Hambach auf die Grundwasserbeschaffenheit . . . . .	229
7.4	Modellierung des Hydrochemismus in Kippengrund- wasserleitern und von durch Braunkohlengewinnung beeinflussten Oberflächengewässern . . . . .	232
7.4.1	Genese des Kippengrundwasserchemismus . . . . .	232
7.4.2	Entwicklung des Hydrochemismus beim Übertritt von Kippenwässern in einen Tagebaurestsee . . . . .	240
7.5	Veränderung des Hydrochemismus durch hydraulische Veränderungen . . . . .	246
7.5.1	Zustrom von chlorierten Kohlenwasserstoffen zu den Brunnen eines Wasserwerks aufgrund eines sümpfungsbedingten Verschwenkens des Einzugsgebiets . . . . .	246
7.5.2	Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch bergbaubedingten Wechsel der Zustromrichtung . . . . .	248
Literatur . . . . .		250
<b>8</b>	<b>Wassergewinnung durch Uferfiltration und Grundwasseranreicherung (Ruhrtal) . . . . .</b>	<b>253</b>
Literatur . . . . .		262
<b>9</b>	<b>Versauerungsprobleme in Grundwasserleitern (Sennesande) . . . . .</b>	<b>263</b>
Literatur . . . . .		274
<b>10</b>	<b>Hydrogeochemische Untersuchungen bei der Nutzung von tieferen Grundwässern (Niederrhein) . . . . .</b>	<b>275</b>

10.1	Untersuchungsgebiet 1: Venloer Scholle . . . . .	276
10.2	Untersuchungsgebiet 2: Krefelder Scholle . . . . .	289
	Literatur . . . . .	297
<b>11</b>	<b>Nitrat und weitere durch Düngung/Landwirtschaft eingetragene Stoffe . . . . .</b>	<b>299</b>
11.1	Stickstoffkreislauf und landwirtschaftliche Einträge in das Grundwasser . . . . .	299
11.2	Durch landwirtschaftliche Einträge ausgelöste Prozesse in Grundwasserleitern . . . . .	304
11.3	Bestimmung des Nitratabbauweges und der Abbaukapazität in Säulenversuchen . . . . .	310
11.4	Nitratbeständigkeit – Dauer eines Nitratdurchbruches in Förderbrunnen . . . . .	313
11.5	Nitratreduktion und Isotopie . . . . .	313
11.6	Beispiel 1: Zustrom nitrathaltigen oberflächennahen Grundwassers in das zweite Grundwasserstockwerk über ein „geologisches Fenster“ und Fehlen von Nitratreduktionsprozessen im Grundwasserleiter . . . . .	315
11.7	Beispiel 2: Zustrom nitrathaltigen oberflächennahen Grundwassers in das zweite Grundwasserstockwerk über den Ausstrich der stockwerkstrennenden Geringleiter und Ausbleiben von Nitratreduktionsprozessen im Grundwasserleiter . . . . .	318
11.8	Beispiel 3: Nitratdurchbruchskurven an verschiedenen Grundwassermessstellen als Beleg für eine Erschöpfung des Nitratabbaupotenzials . . . . .	319
11.9	Beispiel 4: Rückgang der Nitratkonzentration durch großräumige Infiltration nitratfreien Wassers . . . . .	320
11.10	Beispiel 5: Nitratverteilung und Nitratreduktion in den Halterner Sanden (NRW) . . . . .	323
11.11	Beispiel 6: Nitratverteilung und Nitratreduktion in einem Grundwasserleiter mit zunehmender Mächtigkeit (Bocholt, NRW) . . . . .	331
11.12	Beispiel 7: Nitratverteilung und organotrophe Nitratreduktion in einem Grundwasserleiter (Rheinterrassengrundwasserleiter) . . . . .	334
11.13	Beispiel 8: Nitratverteilung und dominante organotrophe Nitratreduktion in einem geringmächtigen quartären Grundwasserleiter (Große Emsterrasse, Ostwestfalen) . . . . .	342
11.13.1	Ziel der Untersuchung . . . . .	342
11.13.2	Untersuchungsgebiet . . . . .	343
11.13.3	Methodik . . . . .	344
11.13.4	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	345
	Literatur . . . . .	351

---

<b>12 Hydrogeologische Verhältnisse in einem Karst- (Hellweggebiet inklusive der Paderborner Hochfläche) und Kluftgrundwasserleiter (zentrales Münsterland)</b> . . . . .	357
12.1 Karstgrundwasser der Plänerkalke (Cenoman und Turon) . . . . .	357
12.2 Kluftgrundwasser im Emschermergel (Coniac) . . . . .	362
Literatur . . . . .	367
<b>13 Hydrogeologisch-wasserwirtschaftliche Verhältnisse im Ruhrgebiet</b> . . . . .	369
Literatur . . . . .	384
<b>14 Der Münsterländer Kiessandzug – ein rinnenförmiger Grundwasserleiter</b> . . . . .	385
14.1 Verbreitung und Eigenschaften des Kiessandzuges . . . . .	385
14.2 Hydrochemismus des Kiessandzuges . . . . .	390
Literatur . . . . .	395
Internetliteratur . . . . .	396
<b>15 EDTA-Belastung im Grundwasser zweier Trinkwassereinzugsgebiete durch Uferfiltration</b> . . . . .	397
15.1 Einführung und Beschreibung des Untersuchungsgebietes . . . . .	397
15.1.1 Aufbau des Grundwasserleiters . . . . .	398
15.1.2 EDTA-Belastung der Brunnen des quartären Grundwasserleiters . . . . .	398
15.2 Durchführung der Untersuchungen . . . . .	399
15.2.1 Einsatz und Auftreten von EDTA in Gewässern (LiteratURAUSWERTUNG) . . . . .	399
15.2.2 Strategien zur Untersuchung der EDTA-Belastung im Grundwasser des Untersuchungsgebietes und eingesetzte Methoden . . . . .	400
15.3 Untersuchungsergebnisse zur EDTA-Belastung . . . . .	402
15.3.1 Ergebnisse von flachen Grund- wassermessstellen und der Güllebeprobung . . . . .	402
15.3.2 Ergebnisse der tiefenspezifischen Beprobung des Grundwassers von Mehrfachmessstellen und Multi-Level-Messstellen . . . . .	402
15.3.3 Ergebnisse von tieferen Grundwassermess- stellen, des Oberflächengewässers und des Kläranlagenablaufes . . . . .	405
Literatur . . . . .	407
<b>16 Sediment- und Hydrochemie des Emschermergels im Münsterland (NRW)</b> . . . . .	409
Literatur . . . . .	415

<b>17 Unterirdische Enteisenung und Brunnenalterung (Niederrheinische Bucht) . . . . .</b>	417
17.1 Unterirdische Enteisenung (UEE) . . . . .	417
17.1.1 Anwendung an Wassergewinnungen bei Mönchengladbach . . . . .	419
17.1.2 Aufbereitungsergebnisse . . . . .	422
17.2 Brunnenalterung . . . . .	426
Literatur . . . . .	428
<b>18 Uranmobilität im Grundwasser einer Wassergewinnung am Niederrhein . . . . .</b>	431
18.1 Generelles Verhalten von Uran im Untergrund . . . . .	431
18.2 Untersuchte Wassergewinnung . . . . .	434
18.3 Untersuchungsmethoden . . . . .	435
18.4 Ergebnisse und Diskussion zum Verhalten von Uran in der betrachteten Wassergewinnung . . . . .	436
Literatur . . . . .	444
<b>Glossar . . . . .</b>	447
<b>Übungsaufgaben . . . . .</b>	549
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	669