

# 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	Quellentypen	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>	121
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>	171
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> . . . . .	191
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> . . .	209
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 Braunkohलगewinnung 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 sumpfungsbefindlichen Versinken 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> . . . . .	253
	Literatur . . . . .	262
<b>9</b>	<b>Versauerungsprobleme in Grundwasserleitern (Sennesande)</b> . . . . .	263
	Literatur . . . . .	274
<b>10</b>	<b>Hydrogeochemische Untersuchungen bei der Nutzung von tieferen Grundwässern (Niederrhein)</b> . . . . .	275

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</b>	<b>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</b>	<b>Hydrogeologisch-wasserwirtschaftliche Verhältnisse im Ruhrgebiet</b>	369
	Literatur	384
<b>14</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>Sediment- und Hydrochemie des Emschermergels im Münsterland (NRW)</b>	409
	Literatur	415

<b>17</b>	<b>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</b>	<b>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