

Frank Wisotzky

# Angewandte Grundwasserchemie, Hydrogeologie und hydrogeochemische Modellierung

Grundlagen, Anwendungen  
und Problemlösungen

Mit Beiträgen von Stephan Lenk und Nils Cremer



Springer

# Inhalt

## Teil I Grundwasserchemie und hydrogeochemische Modellierung

<b>1 Wasserinhaltsstoffe, Grundwassertemperatur und Grundwassermessstellentypen</b> .....	3
1.1 Allgemeines .....	3
1.2 Grundwasserzusammensetzung .....	4
1.3 Herkunft und übliche Konzentrationen von anorganischen Wasserinhaltsstoffen .....	12
1.4 Ionenbilanz und weitere Plausibilitätskontrollen bei Wasserproben .....	13
1.5 Grundwassertemperatur .....	16
1.6 Grundwassermessstellentypen .....	25
Literatur .....	27
<b>2 Chemische Grundlagen der anorganischen Wasserchemie</b> .....	31
2.1 Grundlegende Begriffe der Anorganischen Wasserchemie .....	31
2.2 Grundlagen anorganischer hydrogeochemischer Reaktionen .....	35
2.2.1 Säure-Base-Reaktionen .....	36
2.2.2 Redoxreaktionen .....	46
2.2.3 Lösungs-Fällungs-Reaktionen .....	55
2.2.4 Komplexbildung und -dissoziation .....	61
2.2.5 Gas-Wasser-Reaktionen .....	64
2.2.6 Ionenaustausch und Sorption .....	65
Literatur .....	67
<b>3 Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht</b> .....	69
3.1 Grundlagen des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes .....	69
3.2 Bestimmung von $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ , $\text{HCO}_3^-$ und $\text{CO}_3^{2-}$ aus KS- und KB-Werten .....	75
3.3 Abschätzende Bestimmung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes .....	77

3.4	Bestimmung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes durch Versuche .....	82
3.5	pH-Pufferung der Kohlensäurespezies und von Gesteinen .....	82
3.6	Berechnung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes .....	85
3.7	Aufbereitung zur Erzielung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes .....	89
3.8	Veränderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes durch Kochen oder Kohlendioxidentgasung .....	91
	Literatur .....	99
<b>4</b>	<b>Chemische Grundlagen der organischen Hydrochemie und des Verhaltens organischer Stoffe im Untergrund .....</b>	<b>101</b>
4.1	Grundlagen und Systematik organischer Stoffe .....	101
4.2	Stoffeigenschaften und daraus resultierendes Verhalten organischer Stoffe im Untergrund .....	104
4.2.1	Aggregatzustände und Stoffübergänge .....	104
4.2.2	Wasserlöslichkeit und Dichte, Bildung einer eigenen Flüssigphase .....	105
4.2.3	Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient, Sorption und Retardation .....	108
4.2.4	Verflüchtigung in die Gasphase (Übergang in die Grundluft/Bodenluft) .....	114
4.2.5	Abbau organischer Stoffe .....	117
4.3	Beschreibung des Stoffverhaltens ausgesuchter organischer Stoffe .....	122
4.3.1	Kettenförmige Kohlenwasserstoffe (inkl. MKW, LCKW) .....	122
4.3.2	Leicht flüchtige chlorierte (kettenförmige) Kohlenwasserstoffe (LCKW, CKW) .....	125
4.3.3	Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX, PAK) .....	128
	Literatur .....	136
<b>5</b>	<b>Entwicklung hydrogeochemischer Modelle in der Hydrogeologie .....</b>	<b>139</b>
5.1	Allgemeine Einführung .....	139
5.2	Eingabe einer Wasseranalyse und Speziesberechnungen mit PHREEQC-2 .....	141
5.3	Modellierung von reversiblen Gleichgewichtsreaktionen (homogen und heterogen) .....	149
	Literatur .....	153
<b>6</b>	<b>Hydrogeochemie der Wasseraufbereitung und Beispiele der Modellierung .....</b>	<b>155</b>
6.1	Hydrochemie der Wasseraufbereitung .....	155
6.2	Hydrogeochemische Modellierung der Prozesse in der Wasseraufbereitung .....	161
	Literatur .....	169

## Teil II Spezielle Hydrogeologie/Hydrochemie und Wasserwirtschaft

<b>7 Auswirkungen des deutschen Braunkohlenbergbaus auf den Chemismus des Grundwassers – Überblick über die Reviere .....</b>	<b>173</b>
7.1 Grundwasserverhältnisse im Rheinischen Braunkohlenrevier .....	177
7.2 Pyritoxidation durch Belüftung eines Aquifersediments über den trocken fallenden Filter einer Grundwassermessstelle bei Absenkung der Grundwasseroberfläche .....	189
7.3 Einfluss der Außenkippe „Sophienhöhe“ des Tagebaus Hambach auf die Grundwasserbeschaffenheit .....	191
7.4 Modellierung des Hydrochemismus in Kippengrundwasserleitern und von durch Braunkohlengewinnung beeinflussten Oberflächengewässern .....	194
7.4.1 Genese des Kippengrundwasserchemismus .....	194
7.4.2 Entwicklung des Hydrochemismus beim Übertritt von Kippenwässern in einen Tagebaurestsee .....	202
7.5 Veränderung des Hydrochemismus durch hydraulische Veränderungen .....	208
7.5.1 Zustrom von chlorierten Kohlenwasserstoffen zu den Brunnen eines Wasserwerks aufgrund eines sumpfbedingten Versinken des Einzugsgebiets ...	208
7.5.2 Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch bergbaubedingten Wechsel der Zustromrichtung .....	210
Literatur .....	212
<b>8 Wassergewinnung durch Uferfiltration und Grundwasseranreicherung (Ruhrtal) .....</b>	<b>215</b>
Literatur .....	224
<b>9 Versauerungsprobleme in Grundwasserleitern (Sennesande) .....</b>	<b>225</b>
Literatur .....	236
<b>10 Hydrogeochemische Untersuchungen bei der Nutzung von tieferen Grundwässern (Niederrhein) .....</b>	<b>237</b>
10.1 Untersuchungsgebiet 1: Venloer Scholle .....	238
10.1.1 Nickelmobilisierung .....	239
10.1.2 Prognose zur Entwicklung der Nitrat- und Sulfatkonzentration im Tiefengrundwasser des Neurather Sandes .....	244
10.2 Untersuchungsgebiet 2: Krefelder Scholle .....	251
Literatur .....	259
<b>11 Nitrat und weitere durch Düngung/Landwirtschaft eingetragene Stoffe .....</b>	<b>261</b>
11.1 Stickstoffkreislauf und landwirtschaftliche Einträge in das Grundwasser .....	261

11.2	Durch landwirtschaftliche Einträge ausgelöste Prozesse in Grundwasserleitern .....	266
11.3	Bestimmung des Nitratabbauweges und der Abbaukapazität in Säulenversuchen .....	272
11.4	Nitratbeständigkeit – Dauer eines Nitratdurchbruches in Förderbrunnen .....	275
11.5	Nitratreduktion und Isotopie .....	276
11.6	Beispiel 1: Zustrom nitrathaltigen oberflächennahen Grundwassers in das zweite Grundwasserstockwerk über ein „geologisches Fenster“ und Fehlen von Nitratreduktionsprozessen im Grundwasserleiter .....	277
11.7	Beispiel 2: Zustrom nitrathaltigen oberflächennahen Grundwassers in das zweite Grundwasserstockwerk über den Ausstrich der stockwerkstrennenden Geringleiter und Ausbleiben von Nitratreduktionsprozessen im Grundwasserleiter .....	280
11.8	Beispiel 3: Nitratdurchbruchkurven an verschiedenen Grundwassermessstellen als Beleg für eine Erschöpfung des Nitratabbaupotenzials .....	281
11.9	Beispiel 4: Rückgang der Nitratkonzentration durch großräumige Infiltration nitratfreien Wassers .....	282
	Literatur .....	285
<b>12</b>	<b>Hydrogeologische Verhältnisse in einem Karst- (Hellweggebiet inklusive der Paderborner Hochfläche) und Kluftgrundwasserleiter (zentrales Münsterland) .....</b>	<b>289</b>
12.1	Karstgrundwasser der Plänerkalke (Cenoman und Turon) .....	289
12.2	Kluftgrundwasser im Emschermergel (Coniac) .....	295
	Literatur .....	298
<b>13</b>	<b>Hydrogeologisch-wasserwirtschaftliche Verhältnisse im Ruhrgebiet .....</b>	<b>301</b>
	Literatur .....	311
<b>14</b>	<b>Der Münsterländer Kiessandzug – ein rinnenförmiger Grundwasserleiter .....</b>	<b>313</b>
14.1	Verbreitung und Eigenschaften des Kiessandzuges .....	313
14.2	Hydrochemismus des Kiessandzuges .....	318
	Literatur .....	322
<b>15</b>	<b>EDTA-Belastung im Grundwasser zweier Trinkwassereinzugsgebiete durch Uferfiltration .....</b>	<b>325</b>
15.1	Einführung und Beschreibung des Untersuchungsgebietes .....	325
15.1.1	Aufbau des Grundwasserleiters .....	325
15.1.2	EDTA-Belastung der Brunnen des quartären Grundwasserleiters .....	326

15.2	Durchführung der Untersuchungen .....	327
15.2.1	Einsatz und Auftreten von EDTA in Gewässern (Literaturlauswertung) .....	327
15.2.2	Strategien zur Untersuchung der EDTA-Belastung im Grundwasser des Untersuchungsgebietes und eingesetzte Methoden .....	328
15.3	Untersuchungsergebnisse zur EDTA-Belastung .....	330
15.3.1	Ergebnisse von flachen Grundwassermessstellen und der Güllebehebung .....	330
15.3.2	Ergebnisse der tiefenspezifischen Behebung des Grundwassers von Mehrfachmessstellen und Multi-Level-Messstellen .....	330
15.3.3	Ergebnisse von tieferen Grundwassermessstellen, des Oberflächengewässers und des Kläranlagenablaufes .....	333
	Literatur .....	335
	<b>Organische – Übungsaufgaben – Lösungen</b> .....	<b>337</b>
	<b>Anorganik – Übungsaufgaben – Lösungen</b> .....	<b>379</b>
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	<b>445</b>