

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Technische Geochemie – Konzepte und Praxis</b> .....	1
	ULRICH FÖRSTNER	
<b>1.1</b>	<b>Ingenieurgeochemie – Einführung</b> .....	5
1.1.1	Fachliche Grundlagen der Ingenieurgeochemie.....	7
1.1.2	Definitionen und Fallbeispiele.....	8
1.1.2.1	Begriff „Ingenieurgeochemie“.....	8
1.1.2.2	Beispiele aus Forschung und Praxis.....	9
<b>1.2</b>	<b>Geochemie im Leitbild „Nachhaltigkeit“</b> .....	11
1.2.1	Kapazitätsgrenzen für Stoffflüsse.....	11
1.2.1.1	Stoffwirtschaftliche Prioritäten.....	12
1.2.1.2	Regionale Kapazitätsermittlung.....	14
1.2.2	Gekoppelte geochemische Systemfaktoren.....	15
1.2.2.1	Schadstofffreisetzung in verzögerten Prozessen.....	16
1.2.2.2	Geochemische Steuerfaktoren.....	18
1.2.2.3	Kapazitätsbestimmende Eigenschaften.....	20
1.2.2.4	Kopplung geochemischer Systemfaktoren.....	23
1.2.2.5	Messparameter für langfristige Prognosen.....	25
1.2.3	Geochemische Barrieren-Konzepte.....	25
1.2.3.1	Biologisch-geochemische Barrieren.....	27
1.2.3.2	Geochemische pH-Eh-Barrieren.....	27
1.2.3.3	Redoxzonen als Barrieren.....	29
1.2.3.4	Innere Barrieren-Systeme.....	31
1.2.3.5	Schadstoffrückhaltepotential.....	33
1.2.4	Leitbild „Endlagerqualität“.....	35
1.2.4.1	Reaktor- und Inertstoffdeponie.....	36
1.2.4.2	Langzeitprognosen für Deponie-Sickerwässer.....	38
1.2.5	Geowissenschaften und nachhaltige Abfallwirtschaft.....	39
1.2.5.1	Endlagerqualität, Verwertung und Nachhaltigkeit.....	40
1.2.5.2	Bewertung des Langzeitverhaltens von Abfall.....	41
1.2.5.3	Geochemische Kriterien für anthropogene Rohstofflager.....	41
1.2.6	Vortrag „Heilt die Zeit auch unsere Umweltschäden? Nachhaltigkeit aus der Sicht eines Geochemikers“.....	CD/471
<b>1.3</b>	<b>Umweltchemie – Technologische Aspekte</b> .....	43
1.3.1	Umweltchemische Konzepte.....	44
1.3.1.1	Übersicht Lehrbücher „Umweltchemie“.....	44
1.3.1.2	Zielsetzungen der Umweltchemie.....	47
1.3.1.3	„Diagnose“ und „Therapie“ bei Altlasten.....	48

---

1.3.1.4	Produktionsintegrierte Schadstoffminderung	52
1.3.1.5	Übergänge zur „äußeren Umwelt“	53
1.3.2	Umweltchemikalien und Stoffdynamik	55
1.3.2.1	Eigenschaften von Umweltchemikalien	56
1.3.2.2	Parameter der Stoffdynamik in der Umwelt	57
1.3.2.3	Bewertung der Grundwassergängigkeit	58
1.3.3	Schadstoffquellen und Belastungspfade	61
1.3.3.1	Skalen der Schadstoffausbreitung	62
1.3.3.2	Schadstoffe aus Abfallablagerungen	64
1.3.4	Medienübergreifende Schadstoffflüsse	66
<b>1.4</b>	<b>Umweltgeochemie – Grundlagen und Anwendungen</b>	<b>69</b>
1.4.1	Globale und regionale Stoffflüsse	69
1.4.1.1	Globale Stoffflüsse	70
1.4.1.2	Regionaler Stoffhaushalt – Beispiel Metalle	74
1.4.1.3	Sedimente als Verschmutzungsindikatoren	77
1.4.2	Untersuchung mobilisierender Einflussfaktoren	80
1.4.2.1	Schadstofftransport durch Kolloide	80
1.4.2.2	Remobilisierbarkeit von Schadstoffen	83
1.4.2.3	Langzeiteinflüsse auf kontaminierte Böden	86
1.4.3	Natürliche Demobilisierung von Schadstoffen	90
1.4.3.1	Organische Schadstoffe	91
1.4.3.2	Anorganische Schadstoffe	93
1.4.4	Chemische Bewertung kontaminierter Feststoffe	95
1.4.4.1	Strategien für Langzeitprognosen	96
1.4.4.2	Untersuchung und Bewertung von Alterungseffekten	97
1.4.4.3	Fazit für geochemische Untersuchungen	98
<b>1.5</b>	<b>Ingenieurgeochemie und Abfallwirtschaft</b>	<b>99</b>
1.5.1	Abfallvermeidung bei der Rohstoffgewinnung	99
1.5.1.1	Umweltbelastung durch Bergbau	100
1.5.1.2	Abfälle aus dem Erzbergbau	101
1.5.1.3	Abfallvermeidung bei der Aufbereitung	103
1.5.1.4	Nutzung der anthropogenen Lager	106
1.5.2	Langzeitstabilisierung von Abfall	109
1.5.2.1	Subaquatische Lagerung	111
1.5.2.2	Konditionierung von Abfallstoffen	114
1.5.2.3	Festlegung in Speichermineralen	116
1.5.2.4	Chemische und biologische Extraktion	120
1.5.2.5	Schmelzverfahren	121
1.5.2.6	Kostenvergleich der Verfahren	123
1.5.3	Ingenieurgeochemisches Handlungskonzept	124
1.5.3.1	Abfolge von Arbeitsschritten – Beispiel „Altbergbau“	125
1.5.3.2	Entwicklung eines Handlungskonzepts	127
	<b>Literatur</b>	<b>133</b>

<b>2</b>	<b>Natürlicher Abbau und Rückhalt von Schadstoffen</b> .....	151
	PETER GRATHWOHL	
<b>2.1</b>	<b>Rückhalt/Sorption organischer Schadstoffe im Untergrund</b>	151
2.1.1	Sorptionsmechanismen und -isothermen.....	151
2.1.2	Einfluss des natürlichen organischen Materials auf die Sorption.....	159
2.1.3	„Partitioning“ in natürlichem organischen Material.....	163
2.1.4	Sorption in heterogenen Materialien.....	167
2.1.5	Adsorption organischer Verbindungen durch Aktivkohlen.....	170
2.1.6	Sorptionskinetik.....	171
<b>2.2</b>	<b>Stofftransport im Grundwasser</b>	
	<b>Advektion/Retardation, Dispersion, Abbau</b> .....	178
2.2.1	Advektion und Retardation.....	178
2.2.2	Dispersion und Verdünnung.....	179
2.2.3	Schadstoffabbau: Stationäre Fahnen.....	187
2.2.4	Transportvermittlung: Kosolventen/DOC/Kolloide/Partikel.....	191
<b>2.3</b>	<b>Schadstoff-Freisetzung (Desorptionskinetik, Lösungskinetik)</b>	192
2.3.1	Stoffübergang zwischen mobiler und immobil Phase.....	193
2.3.2	Lösungskinetik feinverteilter residueller Phasen.....	197
2.3.3	Löslichkeit und Lösungskinetik.....	201
2.3.4	Schadstofflösung aus „Pools“.....	210
2.3.5	Schadstoff-Freisetzung durch diffusionskontrollierte Desorption.....	214
2.3.6	Rückdiffusion aus Geringleitern (Ton- und Kohlelagen).....	218
<b>2.4</b>	<b>Zeitskalen im Schadensherd und Natural Attenuation</b> .....	221
2.4.1	Zeitskalen der Lösung residueller Flüssigphasen.....	221
2.4.2	Diffusionslimitierte Desorption.....	224
2.4.3	Wirkung von Lösungsvermittlern zur beschleunigten Sanierung von Schadensherden.....	228
2.4.4	Fazit: „Natural Attenuation“ im Schadensherd.....	231
	<b>Literatur</b> .....	234
<b>2.5</b>	<b>Nutzung von Natural Attenuation Prozessen bei der Altlasten- bearbeitung (HERMANN RÜGNER UND PETER GRATHWOHL)</b> .....	CD/471
<b>3</b>	<b>Ingenieurgeochemie im Boden- und Gewässerschutz – Praxisbeispiele und rechtlicher Rahmen</b> .....	243
<b>3.1</b>	<b>Sickerwasserprognose für anorganische Schadstoffe</b>	
	JOACHIM GERTH.....	255
3.1.1	Anforderungen nach Bundes-Bodenschutzverordnung.....	255
3.1.1.1	Anwendungsbereich.....	255
3.1.1.2	Prüfwertkonzept.....	256
3.1.1.3	Möglichkeiten der Abschätzung nach BBodSchV.....	257

3.1.2	Materialuntersuchung.....	258
3.1.2.1	Verfahren nach BBodSchV.....	258
3.1.2.2	Verfahrensentwicklungen für anorganische Schadstoffe.....	260
3.1.2.3	Beispiele zur Quelltermittlung.....	263
3.1.3	Ergänzende Verfahren.....	270
<b>3.2</b>	<b>Langzeitverhalten von Deponien</b>	
	GÜNTHER HIRSCHMANN.....	273
3.2.1	Regelungen und Maßnahmen zur Emissionsminderung.....	274
3.2.1.1	Gesetzliche Regelungen für Deponien in Europa.....	274
3.2.1.2	Beschleunigte Stabilisierung der Deponieinhalte.....	275
3.2.1.3	Mechanisch-biologische Vorbehandlung (MBV).....	277
3.2.2	Langzeitverhalten von organischen Deponien.....	279
3.2.2.1	Altdeponien.....	279
3.2.2.2	Langzeitversuche und Modellszenarien.....	280
3.2.2.3	MBV-Deponien.....	281
3.2.2.4	Managementkonzept für organische Deponien.....	281
3.2.3	Ablagerung von thermisch behandelten Abfällen.....	283
3.2.3.1	Charakterisierung von Müllverbrennungsschlacken.....	285
3.2.3.2	Untersuchung des Langzeitverhaltens.....	288
3.2.3.3	Perspektiven für die Schlacke-Deponierung.....	296
<b>3.3</b>	<b>Geochemische In-situ-Stabilisierung von Bergbaualtlasten</b>	
	MICHAEL PAUL.....	298
3.3.1	Grundlagen der Sauerwasserbildung.....	298
3.3.2	Prognose der Sickerwasserqualität.....	302
3.3.2.1	Statische Tests.....	302
3.3.2.2	Kinetische Tests.....	304
3.3.3	Technologien und Behandlungsmethoden für Sauerwässer bei der Ablagerung von Bergematerialien und Tailings.....	305
3.3.3.1	Überblick.....	305
3.3.3.2	Subaquatische Lagerung.....	307
3.3.3.3	Geringdurchlässige Abdeckungen, Einkapselung („dry covers“ ).....	308
3.3.3.4	Sauerstoffzehrende und reaktive Abdeckungen.....	309
3.3.3.5	Verschneiden von säuregenerierendem Gestein und Alkalienzugabe.....	310
3.3.3.6	Weitere Verfahren.....	311
3.3.3.7	Komplexe Ablagerungstechnologien.....	313
3.3.4	Verwahrung von Untertagebergwerken und Tagebauen.....	313
3.3.4.1	Grubenflutungen.....	313
3.3.4.2	Flutung von Tagebauen.....	316
3.3.5	Entwicklung umfassender Sanierungsstrategien – Das Fallbeispiel WISMUT.....	316
3.3.5.1	Projektüberblick.....	316
3.3.5.2	Probleme und Sanierungslösungen am Standort Ronneburg.....	318
3.3.5.3	Flutung der Ronneburger Grube.....	320
3.3.5.4	Haldensanierung und Tagebauverfüllung.....	321

3.3.5.5	Sanierung der industriellen Absetzanlagen.....	328
3.3.5.6	Verwahrung eines Untertage-Laugungsbergwerkes: Standort Königstein.....	328
<b>3.4</b>	<b>Gewässersedimente und Baggergut</b>	
	PATRICK JACOBS UND ULRICH FÖRSTNER.....	330
3.4.1	Integrierte Prozessstudien.....	331
3.4.1.1	Experimentiertechniken zur Simulation der Wechselwirkungen zwischen Hydrodynamik, Sedimentverhalten und Stoffsorpton.....	331
3.4.1.2	Mikrobieller Umsatz von gelöstem und partikulärem Material.....	333
3.4.1.3	Gekoppelte biogeochemische Prozesse und Schadstoffmobilität.....	334
3.4.1.4	Modellierung des Sediment- und Schadstofftransports.....	335
3.4.1.5	Ansatz zu einem Forschungsverbund „Integrierte Prozessstudien“.....	336
3.4.2	Problemlösungen für Überflutungssedimente.....	338
3.4.2.1	Fallstudie Spittelwasser im Elbe-Einzugsgebiet.....	339
3.4.2.2	Organisation eines interdisziplinären Programms.....	342
3.4.3	Subaquatische Lagerung.....	343
3.4.3.1	Internationale Erfahrungen.....	343
3.4.3.2	Planung und Durchführung.....	346
3.4.4	Capping – Aktive Barriere Systeme.....	347
3.4.4.1	Subaquatische In-situ-Abdeckung.....	347
3.4.4.2	Aktive Barriere Systeme (ABS).....	351
3.4.4.3	Zeolithbasierte ABS.....	355
3.4.5	Strategien für ein integriertes Sedimentmanagement.....	357
3.4.5.1	Integrierte Risikobewertung von Gewässersedimenten.....	358
3.4.5.2	Integrierte Maßnahmen bei der Beseitigung von Baggergut.....	358
<b>3.5</b>	<b>Sedimente und WRLL – Fallstudie Rhein und Elbe</b>	
	SUSANNE HEISE UND ULRICH FÖRSTNER.....	361
3.5.1	Forschungsinitiativen zum integrierten Sedimentmanagement.....	361
3.5.2	Erfassung von partikelgebunden Schadstoffbelastungen.....	363
3.5.2.1	Ziele für Feststoffuntersuchungen in der Wasserwirtschaft.....	363
3.5.2.2	Feststoffuntersuchungen im Gewässergüte-Monitoring.....	364
3.5.2.3	Prioritäre Substanzen in Schwebstoffen und Sedimenten.....	365
3.5.2.4	Metall-Background und Referenzkonzentrationen (BRCs).....	365
3.5.2.5	Schadstoffe aus historisch kontaminierten Sedimenten.....	366
3.5.2.6	Untersuchungsstrategien in den vorliegenden Studien.....	366
3.5.3	Qualitätssicherung bei der Untersuchung von Sedimentproben.....	367
3.5.3.1	Mängel bei Daten für flussgebietsübergreifende Bewertungen.....	367
3.5.3.2	Das Konzept der Rückverfolgbarkeit für Sedimentdaten.....	368
3.5.3.3	Flussgebietsübergreifende Datensätze – Beispiel Elbe.....	372
3.5.3.4	Hydrodynamische Daten – Beispiele aus dem Elberaum.....	376
3.5.3.5	Kontaminierte Feststoffe in Flussgebieten – Zwischenfazit.....	379
3.5.4	Konzept der Sedimentstudien von Rhein und Elbe.....	380
3.5.5	Ausgewählte Ergebnisse der Rheinstudie – POR III.....	384
3.5.6	Ausgewählte Ergebnisse der Elbestudie – HPA.....	388

3.5.7	Fallstudien Rhein/Port of Rotterdam (HEISE et al. 2004) und Elbe/Hamburg Port Authority00 (HEISE et al. 2005).....	CD/471
<b>3.6</b>	<b>Integrierte Untersuchungen in Böden, Grundwässern, Sedimenten und Flüssen: Anwendungen vom EU-Projekt AquaTerra</b>	
	JOHANNES BARTH UND TILMAN GOCHT.....	393
3.6.1	Einleitung.....	393
3.6.2	Zeitlich integrierende Messmethoden aus den Unterprojekten FLUX und BIOGEOCHEM.....	395
3.6.2.1	Passivsammler für Konzentrationsbestimmungen.....	396
3.6.2.2	Atmosphärische Konzentrationsbestimmung mittels Passivsammlern.....	399
3.6.2.3	Keramik-Dosimeter für POP-Konzentrationsbestimmungen im Grundwasser.....	396
3.6.2.4	Atmosphärische Depositionssammler.....	401
3.6.3	Konzeptionelles Modell für Schadstofffrachten.....	403
3.6.4	Modellierungen des Systems.....	404
3.6.5	Verbindungen von AquaTerra zu anderen Initiativen.....	405
3.6.6	Farbtafeln zu Kapitel 3.6.....	CD/471
	<b>Literatur zu Kapitel 3</b> .....	407
<b>4</b>	<b>Materialien</b> .....	437
<b>4.1</b>	<b>Ausgewählte Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt SiWaP</b>	
	BERND SUSSET.....	437
4.1.1	Einleitung.....	437
4.1.2	„Quellterm“ – experimentelle Befunde.....	438
4.1.3	„Transportterm“ – experimentelle Befunde.....	446
4.1.4	Aktuelle Aktivitäten zur Gefährdungsabschätzung und Verwertung.....	448
4.1.5	Zitierte Literatur.....	449
4.1.6	Foliensatz zu Kapitel 4.1 (BERND SUSSET).....	CD/471
<b>4.2</b>	<b>Durchströmte Reinigungswände – BMBF „RUBIN“</b>	
	VOLKER BIRKE.....	451
4.2.1	Übersicht zum Stand des BMBF-Förderschwerpunktes RUBIN.....	451
4.2.2	Wissenschaftlich-technische Fragestellungen.....	453
4.2.3	Durchströmte Reinigungswände in Deutschland und Österreich.....	456
4.2.4	Zitierte Literatur.....	457
4.2.5	Foliensätze zu Kapitel 4.2 (VOLKER BIRKE und S.-O. IPSEN).....	CD/471
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	459
	<b>Verzeichnis der Dateien auf der beigelegten CD</b> .....	471