

Reinhard Hesse  
Reinhard Gaupp

# Diagenese klastischer Sedimente

# Inhaltsverzeichnis

---

1	<b>Einführung</b> .....	1
1.1	<b>Definition, Name und Konzept der Diagenese</b> .....	2
1.2	<b>Abgrenzung von Diagenese gegen Verwitterung und Metamorphose</b> .....	3
1.2.1	Abgrenzung von Diagenese und Verwitterung .....	3
1.2.2	Abgrenzung von Diagenese und Metamorphose .....	4
1.3	<b>Diagenese und Epigenese</b> .....	5
1.4	<b>Allgemeine Eigenschaften diagenetischer Prozesse</b> .....	9
1.5	<b>Parameter für eine Stufengliederung der Diagenese</b> .....	10
1.6	<b>Stoffgliederung</b> .....	11
	Literatur .....	12
2	<b>Hydrochemie, diagenetische Entwicklung, Herkunft und Verbleib der gelösten Substanzen von Porenwässern</b> .....	15
2.1	<b>Einführung</b> .....	16
2.1.1	Porenwässer als Transportmedium für gelöste Substanzen in der Diagenese und generelle Trends der Porenwasser-Entwicklung .....	16
2.1.2	Bedeutung von Porenwasser-Studien für Diagenese-Reaktionen .....	16
2.1.3	Terminologie .....	17
2.1.4	Herkunft der hydrochemischen Daten .....	18
2.2	<b>Einige physikalisch-chemische Eigenschaften wässriger Lösungen</b> .....	19
2.2.1	Der Wasserdipol .....	19
2.2.2	Ionenpotenzial, Hydratationsschalen, Hydrolyse und Dissoziation .....	20
2.3	<b>Frühdiaenetische Entwicklung von Porenwässern</b> .....	21
2.3.1	Steuerungsfaktoren der frühdiaenetischen Porenwasser-Entwicklung .....	21
2.3.2	Stadien der frühdiaenetischen Oxidation organischer Substanzen (bakterielle Oxidationsreaktionen) .....	22
2.4	<b>Porenwasser-Entwicklung in heutigen Offshore-Becken</b> .....	28
2.4.1	Typ 1: Advektionsbeherrschte Porenwasser-Profile ohne chemische Gradienten .....	31
2.4.2	Typ 2: Diffusionsbeherrschte Porenwasser-Profile .....	37
2.4.3	Typ 3: Reaktionsbeherrschte Porenwasser-Profile im Bereich der suboxischen Diagenese (mit fehlender oder unvollständiger Sulfatreduktion) .....	44
2.4.4	Typ 4: Reaktionsbeherrschte Porenwasser-Profile ohne Chloridgradienten im Bereich der anoxischen Diagenese .....	46
2.4.5	Typ 5: Reaktionsbeherrschte Profile in gashydratführenden Sedimenten (anoxische Diagenese mit nach unten gerichteter Chloridabreicherung und $^{18}\text{O}$ -Anreicherung) .....	50
2.4.6	Typ 6: Advektionsbeherrschte Profile mit Chloridabnahme als Folge des Einstroms meteorischer Wässer .....	74
2.4.7	Typ 7: Evaporitlösung im Untergrund .....	74
2.4.8	Typ 8: Profile mit aktiver lateraler Fluidadvektion in Kontinentalrändern .....	76
2.4.9	Typ 9: Advektionsbeherrschte Profile in sedimentbedeckten Mittelozeanischen Rücken (MOR): Auswirkungen von hydrothermaler Aktivität und Intrusion von magmatischen Lagergängen und Dykes .....	83

2.5	<b>Änderungen der Porenwasser-Chemie durch frühdiagenetische Mineralisierungsreaktionen</b> .....	84
2.5.1	Frühdiagenetische Mineralisierungsreaktionen in (hemi-)pelagischen Sedimenten mit hohem Anteil vulkaniklastischer Komponenten .....	85
2.5.2	Frühdiagenetische Mineralisierungsprozesse in pelagischen und hemipelagischen Sedimenten unter suboxischen Bedingungen .....	90
2.5.3	Frühdiagenetische Fe- und Mn-Sulfidausfällung .....	97
2.5.4	Authigene Karbonate .....	99
2.5.5	Ionenaustausch- und Adsorptionsreaktionen .....	118
2.6	<b>Porenwässer und Diagenese fluvio-lakustriner Sedimente</b> .....	120
2.6.1	Porenwässer lakustriner Ablagerungen .....	120
2.6.2	Diagenese von fluviatil-alluvialen Ablagerungen .....	123
2.7	<b>Diagenese-Modellierung und geochemische Klassifikation</b> .....	123
2.7.1	Diagenetische Grundgleichung .....	123
2.7.2	Geochemische Klassifikation frühdiagenetischer Milieus aufgrund des Redoxpotenzials nach Berner (1981) .....	126
	Literatur .....	128
3	<b>Hydrochemie, diagenetische Entwicklung, Herkunft und Verbleib der gelösten Substanzen von Porenwässern: Entwicklung der Formationswässer in intrakontinentalen Becken</b> .....	147
3.1	<b>Einführung</b> .....	148
3.2	<b>Allgemeine Kennzeichen der Porenwasser-Entwicklung in intrakontinentalen Becken</b> .....	148
3.3	<b>Entwicklung der chemischen Porenwasser-Zusammensetzung fossiler Sedimentbecken: Grundzüge</b> .....	149
3.4	<b>Tiefenstockwerke von Formationswässern</b> .....	150
3.4.1	Chemische Stockwerke aufgrund der Anionen .....	150
3.4.2	Kationen .....	151
3.4.3	Konzentrationsänderungen gelöster Substanzen im Illinois-Becken .....	151
3.5	<b>Prozesse der Formationswasser-Entstehung</b> .....	152
3.5.1	Einstrom von und Mischung mit meteorischen Wässern: Isotopenstudien .....	152
3.5.2	Formationswässer von vier großen nordamerikanischen Sedimentbecken .....	154
3.5.3	Chemische Wechselwirkungen zwischen Porenwasser und Sediment(gestein): Chemische Gleichgewichtsreaktionen .....	158
3.5.4	Illinois-Becken .....	162
3.5.5	Kettleman-North-Dome-Ölfeld in Kalifornien .....	165
3.5.6	Mechanismen der Wechselwirkungen von Gestein und Porenwasser .....	167
3.5.7	Differenzielle Transportprozesse .....	170
3.5.8	Evaporitlösung im Untergrund .....	174
3.5.9	Bedeutung des Bromidgehalts von Formationswässern: Einbettung hoch evaporierter Oberflächenwässer .....	174
3.5.10	Jodwässer .....	176
3.6	<b>Ausblick</b> .....	179
3.7	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	182
	Anhang .....	183
	Literatur .....	191

4	<b>Diagenese von Kieselsedimenten und Hornsteinentstehung</b> .....	195
4.1	<b>Einführung</b> .....	196
4.1.1	Was versteht man unter der Diagenese von Kieselsedimenten? .....	196
4.1.2	Kieselsedimentdiagenese als isochemisches System, Bedeutung der Reaktionskinetik und Herkunft der Daten .....	196
4.1.3	Das Hornstein-Problem .....	197
4.1.4	Nomenklatur und Konzentrationseinheiten für gelöste Kieselsubstanzen, feste Kieselsäuremodifikationen und feinkörnige Kieselsedimente .....	199
4.2	<b>Herkunft der Kieselsäure in Kieselsedimenten und der ozeanische Kieselsäurekreislauf</b> .....	199
4.2.1	Herkunft der Kieselsäure .....	199
4.2.2	Ozeanischer Kieselsäurekreislauf .....	201
4.3	<b>Prozesse und Ablagerungsbereiche von Kieselschlämmen</b> .....	204
4.3.1	Biogene Kieselschlämme am Tiefseeboden .....	204
4.3.2	Kieselschlämme (Hornsteine) in der pelagischen Stratigraphie .....	205
4.3.3	Flachwasser-Hornsteinbildungen .....	206
4.4	<b>Versenkungsdiagenese von biogenen Kiesel-sedimenten</b> .....	207
4.4.1	Stadien der Versenkungsdiagenese biogener Kiesel-sedimente aufgrund der Abfolge fester Kieselsäuremodifikationen .....	207
4.4.2	Kieselsäuremodifikationen in biogenen Kiesel-sedimenten .....	208
4.4.3	Natur der Umwandlungsmechanismen .....	215
4.4.4	Ratenbestimmende Faktoren für die diagenetischen Umwandlungen der Kieselsäuremodifikationen .....	223
4.4.5	Entstehung gebänderter Hornsteine .....	232
4.4.6	Verteilung der festen Kieselsäuremodifikationen in einem Zeit-Versenkungstiefe-Diagramm von Tiefseesedimenten .....	233
4.4.7	Physische Diagenese von Kiesel-sedimenten .....	234
4.5	<b>Kieselsäureverdrängung und Hornsteinbildung in nichtkieseligen Ablagerungen: Beispiele für partielle und untergeordnete Verkieselung</b> .....	236
4.5.1	Verkieselung von Holz .....	237
4.5.2	Hornsteinknollenbildung in Karbonaten und Kalkareniten .....	238
4.5.3	Hornsteinverdrängung von Evaporiten .....	257
4.6	<b>Beispiele für umfassende und vollständige Verkieselung</b> .....	260
4.6.1	Magadiityp Hornsteine .....	260
4.6.2	Anorganisch ausgefällte lagunäre und lakustrine Hornsteine .....	261
4.6.3	Hornsteine in Bodenbildungen: Silkrete .....	262
4.6.4	Hydrothermal-vulkanogene Hornsteine .....	264
4.6.5	Entstehung von Achat .....	268
4.7	<b>Bedeutung von Hornsteinen im Präkambrium</b> .....	269
4.8	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick</b> .....	270
	Literatur .....	271
5	<b>Diagenese von biogenen pelagischen Karbonaten, zeolithhaltigen pelagischen Sedimenten und braunem abyssischem Ton</b> .....	283
5.1	<b>Diagenese von biogenen pelagischen Karbonaten</b> .....	284
5.1.1	Entstehung und Kennzeichen von pelagischen Kalkschlämmen .....	284
5.1.2	Kompaktion pelagischer Karbonate und seismische Stratigraphie von Tiefsee-Karbonatplattformen .....	285

5.1.3	Frühdiaogenetische Mineralisierungsreaktionen in pelagischen Karbonatsedimenten: Geochemie von Tiefseekarbonaten in der Versenkungsdiagenese .....	289
5.1.4	Strontium- und Sr-Isotopenanomalien im Porenwasser .....	290
5.1.5	Diagenese von rhythmischen Kalkschlamm-Mergel-Wechsellagerungen .....	291
5.2	<b>Diagenese von zeolithhaltigen pelagischen Sedimenten</b> .....	294
5.2.1	Auftreten und Verbreitung von Zeolithen in Sedimenten und Gesteinen .....	294
5.2.2	Kristallchemie natürlicher Zeolithe in sedimentären Ablagerungen.....	294
5.2.3	Zeolithneubildung in vulkanogenen Sedimenten .....	295
5.2.4	Klinoptilolith und Phillipsit in pelagischen Sedimenten in der Frühdiaagenese .....	295
5.2.5	Zeolithe in der Versenkungsdiagenese und Zeolithfazies .....	297
5.3	<b>Diagenese von braunem abyssischem Ton</b> .....	297
	Literatur.....	300
6	<b>Diagenese toniger Sedimente</b> .....	303
6.1	<b>Einleitung</b> .....	304
6.1.1	Bedeutung der Tone in der klastischen Diagenese.....	304
6.1.2	Terminologie und Klassifikation toniger Sedimente.....	304
6.2	<b>Kristallstrukturen und Kristallchemismus der Hauptgruppen von Tonmineralen</b> .....	304
6.2.1	Strukturelemente von Phyllosilikaten: Schichten und Lagen .....	305
6.2.2	Kaolin-Gruppe .....	305
6.2.3	Pyrophyllit .....	309
6.2.4	Smektit-Vermiculit-Gruppe.....	309
6.2.5	Illit-Muscovit-Gruppe (Glimmer-Gruppe).....	310
6.2.6	Illit-Smektit-Wechsellagerungsstrukturen .....	315
6.2.7	Chlorit-Gruppe .....	318
6.2.8	Sepiolith und Palygorskit (früher Attapulgit) .....	323
6.2.9	Hochauflösende Transmissionselektronen-Mikroskopie von Tonmineralen .....	323
6.3	<b>Tonminerale im Verwitterungskreislauf und in der Diagenese</b> .....	324
6.3.1	Kaolin-Gruppe.....	328
6.3.2	Smektit-Gruppe .....	332
6.3.3	Illit-Glimmer-Gruppe .....	357
6.3.4	Pyrophyllit .....	364
6.3.5	Chlorit .....	365
6.3.6	Kennzeichen der Anchizone.....	368
	Anhang .....	368
	Literatur.....	370
7	<b>Kompaktion toniger Sedimente</b> .....	377
7.1	<b>Einführung</b> .....	378
7.2	<b>Porosität, Permeabilität und Kompaktion von Tonsedimenten</b> .....	379
7.2.1	Porosität und Porenverhältnis.....	379
7.2.2	Herkunft der Porositätsdaten.....	379
7.2.3	Tonstein-Porositäts-/Permeabilitätstrends in Abhängigkeit von der Versenkungstiefe.....	381
7.2.4	Kompaktionsmechanismen toniger Sedimente.....	382
7.3	<b>Porendruckentwicklung bei der Versenkung</b> .....	385

7.3.1	Porenflüssigkeitsdrucke und Überlagerungsdrucke.....	385
7.3.2	Fluid-Überdruckzonen (Geofluid-Druckzonen) .....	388
7.4	<b>Fluidmigration</b> .....	392
7.4.1	Darcys Gesetz über das Fließen in porösen Medien .....	392
	Literatur .....	395
8	<b>Sandsteindiagenese</b> .....	397
8.1	<b>Einführung</b> .....	398
8.2	<b>Mechanische Kompaktion</b> .....	398
8.2.1	Primärporosität. ....	398
8.2.2	Mechanische Kompaktionsvorgänge .....	399
8.3	<b>Chemische Kompaktion: Drucklösung</b> .....	400
8.4	<b>Sekundäre Porosität</b> .....	404
8.4.1	Historische Entwicklung und Bedeutung des Konzepts .....	404
8.4.2	Genetische Klassifizierung sekundärer Poren: 5 Typen. ....	405
8.4.3	Texturelle Kennzeichen sekundärer Poren .....	408
8.4.4	Stadien der Sandsteindiagenese aufgrund der Porositätsentwicklung .....	409
8.4.5	Entstehung sekundärer Porosität. ....	410
8.5	<b>Zementierung, Rekristallisation, Verdrängung, Zementinhibierung</b> .....	413
8.5.1	Zementtypen .....	413
8.5.2	Zementparagenesen und -sequenzen .....	415
8.5.3	Inhibierung von Zementen. ....	418
8.6	<b>Diagenese unterschiedlicher Sandsteintypen</b> .....	419
8.6.1	Sandsteinklassifikation. ....	419
8.6.2	Diagenese von Quarzareniten .....	420
8.6.3	Diagenese von Arkosen .....	425
8.6.4	Diagenese von Lithareniten .....	427
8.6.5	Diagenese von Grauwacken: Matrixproblem in Grauwacken .....	428
8.7	<b>Einfluss des Ablagerungsmilieus auf die Sandsteindiagenese</b> .....	429
8.8	<b>Sandsteine in der Versenkungsdiagenese</b> .....	430
8.9	<b>Diagenese-Abläufe in Sandsteinen: Fallstudien</b> .....	431
8.9.1	Kriterien zur Erkennung von Zementabfolgen .....	431
8.9.2	Diagenese im kretazischen Hibernia-Ölfeld, Grand Banks, vor der Küste Neufundlands .....	432
8.9.3	Selektive und reversible Karbonat-Kieselsäure-Verdrängungen in unterkretazischen, karbonatführenden quarzarenitischen Turbiditen der Ostalpen .....	434
8.9.4	Diagenese permischer Rotliegend-Speichergesteine Mitteleuropas .....	443
	Literatur .....	453
9	<b>Diagenetische Entstehung von Erz-Lagerstätten</b> .....	463
9.1	<b>Pb-Zn-Lagerstätten vom Mississippi-Valley-Typ</b> .....	464
9.1.1	Einleitung .....	464
9.1.2	Vorkommen .....	464
9.1.3	Geochemische Kennzeichen .....	465
9.1.4	Petrographische und texturelle Kennzeichen der Lagerstätten .....	467
9.1.5	Natur der Erzlösungen, Herkunft und Transport der Metallionen .....	468
9.1.6	Modell für beckenweiten Erzlösungstransport .....	470

9.1.7	Schlussfolgerung .....	471
9.2	<b>Schichtgebundene sedimentäre Kupfer-Lagerstätten</b> .....	471
9.2.1	Einleitung .....	471
9.2.2	Modell für die diagenetische Entstehung schichtgebundener Kupfer-Lagerstätten .....	471
9.2.3	Ablauf des Rotfärbungsprozesses und der Kupfermobilisierung .....	474
9.2.4	Räumliche und zeitliche Verbreitung von schichtgebundenen sedimentären Kupfer-Lagerstätten .....	474
9.3	<b>Sedimentäre Uranerz-Lagerstätten</b> .....	475
9.3.1	Einleitung .....	475
9.3.2	Wirtsgesteine .....	475
9.3.3	Lagerstättentypen: Auftreten und Geometrie .....	475
9.3.4	Mineralisierung .....	476
9.3.5	Physikalisch-chemische Bedingungen der erztransportierenden Grundwässer .....	476
9.3.6	Genetisches Modell .....	479
9.3.7	Tektonische Stellung von Becken mit sedimentären Uran-Lagerstätten .....	480
	Literatur .....	480
10	<b>Diagenese und Tektonik, extraterrestrische Diagenese</b> .....	485
10.1	<b>Diagenetische Zonierung in Außenzonen von Orogengürteln</b> .....	486
10.1.1	Einleitung .....	486
10.1.2	Paläotemperaturen und -drucke in externen Domänen von Orogengürteln aufgrund von Flüssigkeitseinschlüssen .....	486
10.1.3	Diagenetische Zonierung in den Externzonen der Schweizer Alpen .....	489
10.1.4	Diagenetische Zonierung in der Externen Domäne des Takonischen Orogens in Quebec: Transportierte (inverse) Diagenese aufgrund von Illit-Kristallinitätsdaten und organischen Reflexionsdaten .....	491
10.1.5	Maturitätsparameter für hochgradige Diagenese, Anchi- und Epizone .....	493
10.2	<b>Einfluss der Plattentektonik auf Diagenese-Abläufe</b> .....	496
10.2.1	Einleitung .....	496
10.2.2	Diagenese von Sedimenten und Sedimentgesteinen an divergenten Plattenrändern .....	496
10.2.3	Sedimente und Sedimentgesteine an konvergenten Plattenrändern und ihre Diagenese .....	500
10.2.4	Sedimente und Sedimentgesteine von kontinentalen Intraplattenbereichen .....	500
10.2.5	Diagenese in Kontinent-Kontinent-Kollisionszonen .....	501
10.3	<b>Diagenese auf dem Mars</b> .....	501
	Literatur .....	502
	<b>Serviceteil</b>	
	Stichwortverzeichnis .....	505