

Claus-Dieter Reuther

# Grundlagen der Tektonik

Kräften und Spannungen der Erde  
auf der Spur

 Springer Spektrum

# Inhalt

## A Die Erde als dynamischer Körper

<b>1</b>	<b>Grundlagen der Tektonik und Strukturgeologie</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Kräfte in der Lithosphäre</b>	<b>4</b>
2.1	Körperkräfte und Oberflächenkräfte	4
2.2	Abriss zur dynamischen Entwicklung unserer Erde	6

## B Tektonische Strukturen

<b>3</b>	<b>Brüche</b>	<b>12</b>
3.1	Definition und Mechanismen der Bruchausbreitung	12
3.2	Bruchmechanik	13
3.2.1	Entstehung von Zugbrüchen	14
3.2.2	Entstehung von Extensionsbrüchen (Longitudinales „ <i>splitting</i> “)	15
3.2.3	Entstehung von Scherbrüchen	15
<b>4</b>	<b>Klüfte</b>	<b>18</b>
4.1	Definition zu Klüften und Klufsystemen	19
4.2	Kluftstrukturen	20
4.2.1	Haupt- und Nebenkluft	20
4.2.2	Besenstrukturen	22
4.3	Kluftentstehung im lokal- und regional-geologischen Kontext	24
4.3.1	Nicht-tektonische Klüfte	24
	Kluftentstehung durch Auflast	24
	Entlastungsklüfte	24
	Kluftentstehung durch Volumenschwund	25
	Klüfte durch Meteoriteneinschlag	26

4.3.2	Tektonische Klüfte	27
<b>4.4</b>	<b>Kluftanalyse</b>	<b>29</b>
4.4.1	Geometrische Beziehung von Klüften zueinander	29
4.4.2	Übergang zwischen verschiedenen Klufttypen	32
<b>4.5</b>	<b>Gänge</b>	<b>34</b>
4.5.1	Entstehung magmatischer Gänge	34
	Sedimentäre Gänge	35
<b>5</b>	<b>Verwerfungen</b>	<b>37</b>
5.1	Terminologie von Verwerfungen	37
5.2	Bewegungssinn von Verwerfungen	39
5.3	Zusammenhang zwischen Verwerfungsart und Hauptspannungsrichtungen	43
5.4	Verwerfungen im krustalen Spannungsfeld	45
<b>6</b>	<b>Abschiebungen</b>	<b>47</b>
6.1	Definition	48
6.2	Dehnungstektonik und ihre Ursachen	48
6.3	Nomenklatur und Geometrie von Abschiebungen	51
6.4	Schichtverbiegungen und Faltung an Abschiebungen	54
<b>7</b>	<b>Horizontalverschiebungen</b>	<b>58</b>
7.1	Terminologie	58
7.2	Horizontalverschiebungstektonik und ihre Ursachen	60
7.2.1	Transformstörungen	60
7.2.2	Horizontalverschiebungen ( <i>transcurrent faults</i> )	62
7.3	Mechanik von Horizontalverschiebungen	65
7.3.1	Horizontalverschiebung bei reiner Scherung	65
7.3.2	Horizontalverschiebung bei einfacher Scherung	67
7.3.3	Verbindungsstrukturen	69
7.3.4	Transpression und Transtension	72

<b>8</b>	<b>Auf- und Überschiebungen</b> . . . . .	<b>74</b>	11.3.4	Geometrische Beziehungen zwischen Faltenbildung und gleichzeitiger Schieferung . . . . .	138
8.1	Definitionen . . . . .	74	11.3.5	Schieferung in duktilen Scherzonen . . . . .	138
8.2	Auf- und Überschiebungstektonik . . . . .	74	11.4	<b>Lineationen</b> . . . . .	140
8.2.1	Plattentektonische Konvergenzzonen . . . . .	74	11.4.1	Strukturelle Lineationen . . . . .	140
8.2.2	Weitere Ursachen von Auf- und Überschiebungen . . . . .	78	11.4.2	Boudin-Linien und Boudinage . . . . .	141
8.3	Klassifikation und Kinematik von Auf- und Überschiebungen . . . . .	80	11.4.3	Mullions . . . . .	142
8.4	Nomenklatur von Auf- und Überschiebungen . . . . .	84	11.4.4	Minerallineationen . . . . .	142
			11.4.5	Nicht-penetrative Lineationen . . . . .	143
<b>9</b>	<b>Inversionstektonik – Reaktivierung präexistenter Krustenstrukturen</b> . . . . .	<b>95</b>	<b>12</b>	<b>Diapirismus</b> . . . . .	<b>144</b>
9.1	Definition . . . . .	96	12.1	Definition . . . . .	144
9.2	Positive Inversion . . . . .	96	12.2	Gneis-Dome . . . . .	145
9.3	Negative Inversion . . . . .	98	12.3	Salzstöcke . . . . .	146
9.4	Reaktivierung von Grabenstrukturen als Horizontalverschiebungen . . . . .	99	12.3.1	Übersicht der Salzstrukturen . . . . .	146
			12.3.2	Salztektonik . . . . .	147
			12.3.3	Gravitativ bedingte Salzbewegung . . . . .	148
<b>10</b>	<b>Falten</b> . . . . .	<b>101</b>	12.4	<b>Halotektonischer Diapirismus</b> . . . . .	<b>149</b>
10.1	Definition . . . . .	101	12.4.1	Tektonische Extension und Salzdiapirismus . . . . .	149
10.2	Tektonischer Rahmen und Mechanismus von Faltung . . . . .	103	12.4.2	Tektonische Kompression und Salzdiapirismus . . . . .	150
10.2.1	Elemente und Geometrie von Falten . . . . .	103	12.4.3	Salzdecken . . . . .	151
	Elemente von Falten . . . . .	103	12.4.4	Passiver Salzdiapirismus . . . . .	151
	Lage von Falten im Raum und ihre Geometrie . . . . .	105	12.4.5	Salzbewegungen durch gravitativ bedingte Extension und Kompression . . . . .	152
10.2.2	Faltungsmechanismen . . . . .	112	<b>13</b>	<b>Neotektonik</b> . . . . .	<b>153</b>
	Stauch- oder Buckelfalten . . . . .	112	13.1	Definition . . . . .	153
	Biegefalten . . . . .	112	13.2	Wechselbeziehungen zu geowissenschaftlichen Nachbardisziplinen . . . . .	154
	Scherfalten . . . . .	117	13.2.1	Fernerkundung . . . . .	154
	Biegescherfalten . . . . .	121	13.2.2	Geodäsie . . . . .	155
	Erzwungene Falten . . . . .	121	13.2.3	Tektonische Geomorphologie / Morphotektonik . . . . .	155
10.2.3	Zusammenwirken verschiedener Faltungsmechanismen bei der Entwicklung von Sekundärstrukturen in Falten . . . . .	122	13.2.4	Paläoseismologie . . . . .	156
10.3	Falten und Spalten . . . . .	124	13.2.5	Seismotektonik . . . . .	157
10.4	Atektonische Falten . . . . .	125	13.2.6	Weitere geophysikalische Verfahren . . . . .	160
10.4.1	Fließfalten . . . . .	125	13.2.7	Felsmechanik . . . . .	162
10.4.2	Rutschfalten . . . . .	125	13.3	<b>In situ</b> -Bestimmung aktiver Gesteinsspannungen . . . . .	162
<b>11</b>	<b>Foliation und Lineationen</b> . . . . .	<b>127</b>	13.3.1	Messungen an der Oberfläche . . . . .	162
11.1	Definition . . . . .	127	13.3.2	Oberflächennahe Messungen in flachen Bohrlöchern . . . . .	163
11.2	Tektonite . . . . .	128	13.3.3	Spannungsbestimmungen in tiefen Bohrlöchern . . . . .	165
11.3	Foliationen . . . . .	132	13.4	<b>Ermittlung von potentiell aktiven Verwerfungen mit Radon-Messungen im Bodengas</b> . . . . .	<b>167</b>
11.3.1	Mechanismen zur Entstehung von Schieferungen . . . . .	132	13.5	<b>Neotektonik und Georisiken</b> . . . . .	<b>167</b>
11.3.2	Morphologische Klassifizierung von Schieferungen . . . . .	133	13.5.1	Tsunamis . . . . .	169
11.3.3	Die Beziehungen zwischen Schieferung und Falten . . . . .	137	13.5.2	Bergstürze und Massenbewegungen . . . . .	171
			13.5.3	Erdfälle in der Folge von Salztektonik . . . . .	171

13.6	Altersbestimmung in der Neotektonik .....	172
<b>14</b>	<b>Tektonik und Klima .....</b>	<b>173</b>
14.1	Wechselwirkungen zwischen Tektonik und Klima .....	173
14.2	Regionale Beispiele .....	176
14.2.1	Die Anden .....	176
14.2.2	Das Ostafrikanische Grabensystem .....	177
14.3	Plattentektonik und Klima .....	178

## C Theorie und Auswertung

<b>15</b>	<b>Spannungen .....</b>	<b>180</b>
15.1	Allgemeine Definition von Spannung .....	180
15.2	Der Spannungsbegriff .....	181
15.3	Spannungszustand an einem Punkt ..	182
15.3.1	Spannungsellipsoid .....	183
15.4	Der Mohr'sche Spannungskreis .....	186
15.4.1	Maximale Scherspannung .....	187
15.4.2	Reine Scherspannung .....	188
15.5	Grenzen der Spannung .....	188
15.5.1	Der Bruch des Gesteins .....	189
15.5.2	Reibung .....	191
15.5.3	Bruchkriterium für Zugbrüche .....	192
15.5.4	Auswirkungen von Porenflüssigkeiten auf das Bruchverhalten und Reibungsgleiten von Gesteinen .....	196
<b>16</b>	<b>Deformation .....</b>	<b>199</b>
16.1	Definition .....	199
16.2	Arten der Deformation .....	200
16.2.1	Translation, Rotation, interne Deformation und Volumenänderung ..	200
16.2.2	Homogene Deformation und inhomogene Deformation .....	201
16.3	Deformationsanalyse .....	202
16.3.1	Lineare Deformation .....	202
16.3.2	Winkelscherung $\psi$ und Scherverformung $\gamma$ .....	203
16.3.3	Volumenverformung .....	204
16.3.4	Deformationellipsoid .....	204
16.3.5	Allgemeine Verformung von Linien ..	205
16.3.6	Infinitesimale Verformung und finite Deformation .....	207
16.3.7	Die Deformationsgleichungen .....	208
16.3.8	Der Mohr'sche Deformationskreis ..	208
16.3.9	Reine versus einfache Scherung .....	211
16.3.10	Teilchenbewegung bei progressiver Deformation .....	211

<b>17</b>	<b>Verformungsverhalten .....</b>	<b>213</b>
17.1	Zusammenhang zwischen Spannung und Deformation .....	213
17.1.1	Elastische Verformung .....	213
17.1.2	Viskose Verformung .....	214
17.1.3	Plastische Verformung .....	214
17.1.4	Spröde und duktile Gesteinsdeformation .....	215
17.1.5	Spannung und Gesteinsdeformation ..	216
17.2.1	Elastizitätsmodul .....	217
17.2.2	Poisson-Zahl .....	219

## D Anwendung in der Praxis

<b>18</b>	<b>Angewandte Tektonik .....</b>	<b>222</b>
18.1	Tektonische Strukturen und Lagerstätten .....	222
18.1.1	Strukturbedingte Erzlagerstätten und nichtmetallische Minerallagerstätten .....	223
18.1.2	Strukturbedingte Erdöl- und Erdgas-Lagerstätten .....	224
18.2	Tektonische Strukturen und Grundwasser .....	229
18.2.1	Überblick Grundwasser .....	229
18.2.2	Strukturgeologische Beispiele .....	230
18.3	Tektonische Strukturen und Geothermie .....	231
18.3.1	Überblick Geothermie .....	231
18.3.2	Tektonik und Geothermie .....	231
18.4	Tektonische Strukturen und Baugeologie .....	234
<b>19</b>	<b>Einmessung und graphische Darstellung von Flächen und Linearen .....</b>	<b>237</b>
19.1	Messungen mit dem Geologenkompass im Gelände .....	237
19.2	Graphische Darstellung von Flächen und Linearen .....	240
19.3	Eintragung von Flächen und Linearen in das Schmidt'sche Netz ..	241
	<b>Literatur .....</b>	<b>250</b>
	<b>Index der deutschen Fachbegriffe .....</b>	<b>258</b>
	<b>Index der englischen Fachbegriffe .....</b>	<b>266</b>