

Prof. Dr. rer. nat.
Armin Petzold

2., durchgesehene Auflage
Mit 240 Bildern
und 72 Tabellen

Anorganisch- nichtmetallische Werkstoffe

*Charakteristik · Eigenschaften
Anwendungsverhalten*



VEB DEUTSCHER VERLAG
FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE
LEIPZIG

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung				
1.1.	Begriff Werkstoff	15	2.6.2.	Mechanische Festigkeit	42
1.2.	Abgrenzung und Einteilung der Werkstoffe	16	2.6.2.1.	Allgemeine Grundlagen	42
1.3.	Bedeutung der anorganisch-nichtmetallischen Werkstoffe	17	2.6.2.2.	Einflüsse auf die Festigkeit	44
2.	Grundcharakteristika anorganisch-nichtmetallischer Werkstoffe	19	2.6.3.	Thermomechanisches Verhalten	48
2.1.	Atomistische Grundlagen anorganisch-nichtmetallischer Stoffe	19	2.6.3.1.	Plastisches und viskoses Fließen und Kriechen	48
2.2.	Der kristalline und der glasige Zustand	22	2.6.3.2.	Heißfestigkeit	52
2.2.1.	Ionenkristalle	22	2.7.	Thermisches Verhalten	53
2.2.2.	Verknüpfungsprinzipien von $[\text{SiO}_4]$ -Tetraedern	23	2.7.1.	Spezifische Wärmekapazität	53
2.2.3.	Strukturen natürlicher Gitter	25	2.7.2.	Wärmeausdehnung	53
2.2.4.	Realkristalle und Gitterstörungen	26	2.7.3.	Wärmetransport in anorganisch-nichtmetallischen Materialien	54
2.2.5.	Glaszustand	28	2.7.3.1.	Wärmeleitung	54
2.3.	Das polykristalline und das mehrphasige System	30	2.7.3.2.	Wärmetransport durch Strahlung	56
2.3.1.	Polykristallinität	30	2.8.	Materietransport in anorganisch-nichtmetallischen Werkstoffen	57
2.3.2.	Mehrphasige Systeme	32	2.8.1.	Thermisch aktivierte Diffusion	57
2.4.	Der porige Körper	34	2.8.2.	Infiltration und Tränkung	59
2.5.	Der spröde Körper	35	2.8.3.	Gasdurchlässigkeit	60
2.5.1.	Allgemeine Charakteristika der Sprödigkeit	36	2.9.	Elektrische Eigenschaften	61
2.5.2.	Sprödbbruch	36	2.9.1.	Dielektrisches Verhalten (Dielektrizität)	61
2.5.3.	Teilplastizität und Duktilität bei anorganisch-nichtmetallischen Materialien	38	2.9.2.	Stromtransport in anorganisch-nichtmetallischen Materialien	62
2.6.	Mechanische Eigenschaften anorganisch-nichtmetallischer Werkstoffe	40	2.10.	Entstehung und Auswirkung von Spannungen in spröden Werkstoffen	63
2.6.1.	Elastisches Verhalten	40	2.10.1.	Thermische Spannungen in homogenen Körpern	64
			2.10.2.	Spannungen in heterogenen Materialien	65
			2.10.2.1.	Gefügespannungen in heterogenen Körpern	65
			2.10.2.2.	Spannungen in Schichtkombinationen und Flächen-Kompositwerkstoffen	66
			2.10.3.	Temperaturwechselverhalten	67

3.	Natürliche mineralische Werkstoffe	70	4.3.2.2.	Elastisches Verhalten	94
3.1.	Begriff und Einteilung	70	4.3.2.3.	Festigkeit	95
3.2.	Allgemeine Charakteristika der hauptsächlichen natürlichen mineralischen Werkstoffe	71	4.3.2.4.	Härte	99
3.2.1.	Chemische Charakteristika	71	4.3.3.	Thermische Eigenschaften	100
3.2.2.	Petrographische und gesteinsbildende Gefügemerkmale	72	4.3.3.1.	Spezifische Wärmekapazität ...	100
3.2.3.	Physikalisch-mechanische Charakteristik	75	4.3.3.2.	Wärmeleitfähigkeit	100
3.2.4.	Thermische Eigenschaften	77	4.3.3.3.	Wärmedehnung	101
3.2.5.	Hygrometrische Eigenschaften und Verwitterungsverhalten ...	78	4.3.4.	Thermomechanische Eigenschaften	102
3.3.	Technische Werkstoffe	79	4.3.4.1.	Viskosität	102
3.3.1.	Kohlenstoffwerkstoffe	79	4.3.4.2.	Oberflächenspannung	103
3.3.2.	SiO ₂ -Werkstoffe	79	4.3.4.3.	Temperaturwechselbeständigkeit	105
3.3.3.	Monomineralische silicatische Werkstoffe	81	4.3.5.	Optische Eigenschaften	106
3.3.4.	Polyminerale natürliche silicatische Werkstoffe	82	4.3.5.1.	Lichtbrechung und Dispersion ..	106
3.3.4.1.	Untexturierte (vorwiegend magmatische) Gesteine	82	4.3.5.2.	Spannungsdoppelbrechung ...	106
3.3.4.2.	Geschichtete und schieferige (vorwiegend sedimentäre oder metamorphe) Gesteine	83	4.3.5.3.	Lichtdurchlässigkeit (Transmission) und spektrale Absorption ..	107
3.3.5.	Carbonatwerkstoffe	83	4.3.5.4.	Remission	110
3.3.5.1.	Calcit	84	4.3.6.	Chemische Beständigkeit	111
3.3.5.2.	Kalkstein	84	4.3.6.1.	Verhalten gegen Säuren	111
3.3.5.3.	Marmor	84	4.3.6.2.	Verhalten gegen Laugen	113
3.4.	Anwendungsaspekte natürlicher mineralischer Werkstoffe	84	4.3.6.3.	Verhalten gegen Wasser	114
4.	Glaswerkstoffe	87	4.3.6.4.	Verhalten gegen Atmosphärien	115
4.1.	Begriff und Einteilung der Gläser	87	4.3.7.	Elektrische Eigenschaften	115
4.2.	Physikalisch-chemische Grundlagen der technischen Glasbildung	88	4.3.7.1.	Elektrische Leitfähigkeit	115
4.2.1.	Glasbildung und Glasigkeit erstarrter Silicatschmelzen ...	88	4.3.7.2.	Dielektrizitätskonstante	117
4.2.2.	Entglasung (Kristallisation) ...	89	4.3.7.3.	Dielektrischer Verlust	117
4.2.3.	Entmischung	90	4.3.7.4.	Elektrische Durchschlagfestigkeit	117
4.3.	Allgemeine Eigenschaften der Gläser	91	4.4.	Glasfehler	118
4.3.1.	Zur Eigenschaftsberechnung aus der Zusammensetzung	92	4.4.1.	Gasförmige Inhomogenitäten ..	118
4.3.2.	Physikalisch-mechanische Eigenschaften	93	4.4.2.	Glasige Inhomogenitäten	118
4.3.2.1.	Dichte	93	4.4.3.	Kristalline Inhomogenitäten ...	118
			4.5.	Charakteristika wichtiger Glas-typen	119
			4.5.1.	Kieselglas	119
			4.5.2.	Alkali-Erdalkali-Silicatglas ...	119
			4.5.3.	Borosilicatglas	120
			4.5.4.	Bleisilicatglas	120
			4.5.5.	Nichtsilicatische Gläser	120
			4.6.	Glaswerkstoffe für ausgewählte Anwendungszwecke	121
			4.6.1.	Wirtschaftsglas	121
			4.6.2.	Technische Gerätegläser	122
			4.6.2.1.	Thüringer Apparateglas	122
			4.6.2.2.	Borosilicat-Gerätegläser	123
			4.6.2.3.	Kieselglas	123
			4.6.2.4.	Kieselgut als Feuerfestmaterial	123

4.6.3.	Bauglas	124	6.2.	Allgemeine Charakteristika oxid- und silicatkeramischer Werkstoffe	139
4.6.4.	Gläser für optische, licht- und strahlentechnische Zwecke	124	6.2.1.	Gefüge keramischer Werkstoffe	140
4.6.4.1.	Brechzahl-orientiertes optisches Glas	125	6.2.2.	Mechanische Festigkeitseigenschaften	142
4.6.4.2.	Spektralbereich-orientiertes optisches Glas	125	6.2.3.	Thermisches Verhalten	143
4.6.4.3.	Wärmestrahlen-spezifisches Bauglas	127	6.2.3.1.	Thermische Belastbarkeit	143
4.6.4.4.	Phototropes (photochromes) Glas	127	6.2.3.2.	Wärmetransport	144
4.6.4.5.	Lasergläser	128	6.2.3.3.	Wärmeausdehnung	145
4.6.5.	Elektrotechnisches Glas	128	6.2.3.4.	Temperaturwechselbeständigkeit	145
4.6.5.1.	Passive elektrotechnische Gläser	128	6.2.4.	Elektrische Leitfähigkeit	146
4.6.5.2.	Halbleitende Gläser	128	6.2.5.	Chemische Beständigkeit	147
4.6.6.	Schaumglas	128	6.2.6.	Physikalisch-chemische Charakteristika von Glasuren ..	148
5.	Glaskeramische und petrurgisch-sittallische Werkstoffe	130	6.3.	Nicht feuerfeste grobkeramische Werkstoffe	149
5.1.	Glaskeramische Werkstoffe	130	6.3.1.	Poröse grobkeramische Werkstoffe	149
5.1.1.	Wesen der Glaskeramik	130	6.3.2.	Dichte grobkeramische Werkstoffe	151
5.1.2.	Eigenschaften glaskeramischer Werkstoffe	131	6.4.	Feuerfeste Werkstoffe	151
5.1.2.1.	Thermische Ausdehnung	131	6.4.1.	Begriff und Abgrenzung	152
5.1.2.2.	Festigkeit	132	6.4.2.	Spezifische Eigenschaften feuerfester Materialien	153
5.1.2.3.	Thermische Belastbarkeit	132	6.4.2.1.	Physikalisch-mechanische Kennwerte	153
5.1.2.4.	Chemische Beständigkeit	133	6.4.2.2.	Thermomechanisches Verhalten	153
5.1.2.5.	Elektrische Eigenschaften	133	6.4.2.3.	Thermische Eigenschaften	156
5.1.3.	Typen von Glaskeramiken	133	6.4.2.4.	Elektrische Eigenschaften	157
5.1.3.1.	Glaskeramiken auf Basis $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	134	6.4.2.5.	Verschleiß- und Korrosionsverhalten	158
5.1.3.2.	Glaskeramiken auf Basis $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	134	6.4.3.	Technisch wichtige Typen keramischer Feuerfestwerkstoffe	161
5.1.3.3.	Glaskeramiken auf Basis $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}-\text{F}$	135	6.4.3.1.	Silika	161
5.1.3.4.	Sonstige Entwicklungen	135	6.4.3.2.	Schamotte	164
5.2.	Petrurgische Sittalle	135	6.4.3.3.	Hochtonerdehaltige feuerfeste Werkstoffe	169
5.2.1.	Allgemeine Eigenschaften	136	6.4.3.4.	Basische feuerfeste Werkstoffe ..	170
5.2.2.	Schlackensittalle	136	6.4.3.5.	Schmelzgegossene oxidische Werkstoffe	173
5.2.3.	Schmelzbasalt	136	6.4.3.6.	Feuerbetone	176
6.	Oxid- und silicatkeramische Werkstoffe	137	6.4.3.7.	Feuerfeste Leichtbaustoffe	179
6.1.	Grundlagen keramischer Werkstoffe	137	6.4.3.8.	Kohlenstoffwerkstoffe	180
6.1.1.	Begriff und Einordnung oxidisch silicatischer keramischer Werkstoffe	137	6.4.3.9.	Feuerfeste Werkstoffe auf Basis Siliciumcarbid	181
6.1.2.	Prinzip der Keramik und Abriß der Technologie	138	6.5.	Feinkeramische Silicatwerkstoffe	182
			6.5.1.	Poröse feinkeramische Silicatwerkstoffe: Steingut	182

6.5.1.1.	Einteilung	183	7.3.1.	Elementare Stoffe	213
6.5.1.2.	Eigenschaften und Verhalten ...	183	7.3.1.1.	Bor	213
6.5.2.	Dichte feinkeramische Silicat- werkstoffe	183	7.3.1.2.	Kohlenstoffwerkstoffe	213
6.5.2.1.	Kennzeichnende Eigenschaften dichter feinkeramischer Silicat- werkstoffe	184	7.3.2.	Metallähnliche Hartstoffe	215
6.5.2.2.	Einteilung	185	7.3.3.	Nichtmetallische Hartstoffe ...	216
6.5.2.3.	Porzellan	185	7.3.3.1.	Siliciumcarbidwerkstoffe	217
6.5.2.4.	Keramovitrone	189	7.3.3.2.	Borcarbid	220
6.5.2.5.	Magnesiumsilicatische feinkeramische Werkstoffe	189	7.3.3.3.	Bornitrid	221
6.5.2.6.	Hochtonerdehaltige feinkeramische Werkstoffe	190	7.3.3.4.	Siliciumnitrid	221
6.6.	Oxidkeramische Werkstoffe ...	191	7.3.4.	Halogenidische und chalkogenidische Werkstoffe ...	222
6.6.1.	Oxidwerkstoffe auf Basis hoch- schmelzender Oxide	192	8.	Kalt- und warmverfestigte betonartige Werkstoffe	223
6.6.1.1.	Allgemeine Charakteristik der Hochtemperatur-Oxidkeramik ..	192	8.1.	Begriffe und Abgrenzung	223
6.6.1.2.	Einteilung	194	8.2.	Allgemeine Charakteristika und Eigenschaften betonartiger Werkstoffe	224
6.6.1.3.	Werkstoffe und spezielles Ver- halten	194	8.2.1.	Gefüge	224
6.6.2.	Oxidkeramische Werkstoffe auf Basis TiO_2 (Di- und Ferroelek- trika)	196	8.2.2.	Allgemeine mechanische Eigen- schaften	225
6.6.2.1.	Elektrische Grundlagen	196	8.2.3.	Bauphysikalische und chemische Eigenschaften	226
6.6.2.2.	Stoffliche Grundlagen	197	8.3.	Zementgebundene Betone	230
6.6.2.3.	Einteilung	199	8.3.1.	Stoffliche Grundlagen	230
6.6.2.4.	Rutil-Keramik	199	8.3.2.	Einteilung der zementgebunden- en Betone	231
6.6.2.5.	Titanat-Keramik	200	8.3.3.	Spezielle Eigenschaften zement- gebundener Betone	231
6.6.3.	Oxidische ferroelektrische Kom- plexkeramiken	202	8.4.	Hydrothermal verfestigte, kalk- gebundene betonartige Werk- stoffe	234
6.6.4.	Oxidkeramische Werkstoffe auf Basis Fe_2O_3 und anderer Schwer- metalloxide (Halbleiter- und Magnetkeramik)	203	8.4.1.	Kalksandsteine	235
6.6.4.1.	Elektrische und magnetische Grundlagen	203	8.4.2.	Silicatbeton	235
6.6.4.2.	Stoffliche Grundlagen	204	8.5.	Werkstoffe auf Basis Gips	236
6.6.4.3.	Oxidkeramische Halbleiterwerk- stoffe	207	8.5.1.	Füllstofffreie Gipswerkstoffe ...	236
6.6.4.4.	Keramische Magnetwerkstoffe ..	207	8.5.2.	Gipsbeton	237
7.	Kristalline nichtoxidische Werk- stoffe	211	8.6.	Plastgebundene Betone	238
7.1.	Begriffe und Einteilung	211	8.6.1.	Stoffliche Grundlagen	238
7.2.	Allgemeine Charakteristika der nichtoxidischen Werkstoffe ...	211	8.6.2.	Eigenschaften der Plastbetone ..	238
7.3.	Eigenschaften und Anwendung anorganisch-nichtmetallischer, nichtoxidischer Werkstoffe	212	9.	Anorganisch-nichtmetallische faserförmige Werkstoffe	240
			9.1.	Begriffe und Einteilung	240
			9.2.	Besonderheiten faserförmiger Stoffe	240
			9.3.	Faserwerkstofftypen und Eigen- schaften	242

9.3.1.	Natürliche mineralische Fasern: Asbest	242	10.2.3.1.	Metalle	254
9.3.2.	Elementfasern	243	10.2.3.2.	Emails	254
9.3.2.1.	Kohlenstoff- und Graphitfaser- stoffe	243	10.2.4.	Eigenschaften des Systems Metall — Email	255
9.3.2.2.	Borfasern	244	10.2.4.1.	Haftung	256
9.3.3.	Hartstoff-Faserwerkstoffe	244	10.2.4.2.	Mechanische Eigenschaften	257
9.3.3.1.	Carbidfaserstoffe	244	10.2.4.3.	Thermische Eigenschaften	258
9.3.3.2.	Nitridfaserstoffe	245	10.2.4.4.	Chemische Beständigkeit	259
9.3.4.	Oxidische Faserwerkstoffe	245	10.2.4.5.	Optische Eigenschaften	260
9.3.5.	Glasige Faserwerkstoffe	246	10.2.4.6.	Elektrische Eigenschaften	260
9.3.5.1.	Allgemeine Eigenschaften glasiger Fasern	246	10.2.5.	Emailfehler	261
9.3.5.2.	Glasfaserwerkstoffe	248	10.3.	Kompakt-Kompositwerkstoffe	262
9.3.5.3.	Mineralfasern	249	10.3.1.	Besonderheiten von Kompakt- Kompositwerkstoffen	262
9.3.6.	Aluminiumsilicatische Fasern ..	250	10.3.2.	Cermets und andere Teilchen- Kompositwerkstoffe	264
10.	Kompositwerkstoffe mit wesent- lichen Anteilen an anorganisch- nichtmetallischen Komponenten ..	251	10.3.3.	Faserverstärkte Werkstoffe	265
10.1.	Begriffe und Abgrenzung	251	10.3.3.1.	Faserverstärkte Baumaterialien	265
10.2.	Metall-Email-Flächen-Kompo- sitwerkstoffe	252	10.3.3.2.	Faserverstärkte Glas- und Keramikwerkstoffe	267
10.2.1.	Begriffe und Abgrenzung	253	10.3.3.3.	Faserverstärkte Metalle und Hochpolymere	267
10.2.2.	Prinzip des Emaillierens	254	10.3.4.	Bewehrte Werkstoffe	268
10.2.3.	Komponenten des Komposit- werkstoffs	254	Literatur- und Quellenverzeichnis	270	
			Sachwörterverzeichnis	276	