

Salmang/Scholze

Die physikalischen
und chemischen Grundlagen
der Keramik

Fünfte völlig neubearbeitete Auflage von

Horst Scholze



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1968

Dr. rer. nat. HORST SCHOLZE
Professor für Glas, Keramik und Bindemittel
an der Technischen Universität Berlin

Mit 197 Abbildungen

Alle Rechte vorbehalten
Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Springer-Verlages
übersetzt oder in irgendeiner Form vervielfältigt werden
© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1968
Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1968
Softcover reprint of the hardcover 5th edition 1968
ISBN 978-3-662-37260-9 ISBN 978-3-662-37988-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-37988-2

Library of Congress Catalog Card Number 68-54520

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buche berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften

Titelnummer 0872

Vorwort zur fünften Auflage

Professor Dr. HERMANN SALMANG, dem verdienstvollen Forscher und Hochschullehrer im weiten Bereich der Keramik, war es nicht mehr vergönnt, auch die fünfte Auflage seines Keramik-Buches zu betreuen. Seine Ziele jedoch, wie er sie in den anschließend zu findenden Auszügen aus den Vorworten zu den früheren Auflagen geschildert hat, gelten auch für diese Auflage.

Das Erscheinen der letzten Auflage liegt zehn Jahre zurück, eine lange Zeit im Vergleich zu den Entwicklungen in Wissenschaft und Technologie der Keramik. Es stellte sich daher die Frage, entweder die an zahlreichen Stellen notwendigen Ausbesserungen und Ergänzungen vorzunehmen, oder den Text vollkommen neu zu fassen. Die Entscheidung fiel zugunsten einer Neufassung, die zugleich auch zu einer neuen Gliederung an vielen Stellen ausgenützt wurde.

Zur Bewältigung des inzwischen angewachsenen Stoffes mußten am Inhalt der letzten Auflage Kürzungen oder Streichungen vorgenommen werden. Aber auch dann noch war eine Auswahl nötig, die meist unter dem Gesichtspunkt erfolgte, die Grundlagen herauszuarbeiten, die zum Verständnis der Eigenschaften der vielen keramischen Werkstoffe und deren Herstellung nötig sind. Nicht immer war es dabei möglich, die manchmal recht komplizierten Zusammenhänge im begrenzten Rahmen dieses Buches in allen Einzelheiten zu behandeln, so daß nur vereinfachte Darstellungen gebracht werden konnten.

Die verschiedenen wichtigen Eigenschaften der keramischen Produkte werden jeweils bei dem Werkstoff besprochen, bei dem sie die größte Bedeutung haben oder am besten bekannt sind. Ähnliches gilt auch für einige wichtige Untersuchungsverfahren.

Interessenten an Einzelheiten müssen auf das Literaturverzeichnis verwiesen werden, in dem Veröffentlichungen bis Ende 1967 berücksichtigt sind. Standen mehrere Arbeiten zur Auswahl, wurde oft nur die neueste Arbeit angeführt, in der man die älteren Arbeiten finden kann. Außerdem sei auf die zahlreichen älteren Zitate in den früheren Auflagen dieses Buches hingewiesen. Der Verlag hat sich freundlicherweise bereit erklärt, im Literaturverzeichnis die vollständigen Titel aufzunehmen, die eine schnellere Orientierung über den Inhalt der Originalarbeit ermöglichen.

Abschließend möchte ich dem Verlag danken, daß er einer Erweiterung des Umfanges zugestimmt und den Druck schnell ermöglicht hat. Ich hoffe, daß auch diese Auflage guten Anklang finden möge und wäre für Anregungen aus dem Leserkreis sehr dankbar.

Berlin, im August 1968

H. Scholze

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage

Das vorliegende Buch entstand aus dem Bedürfnis heraus, dem Praktiker und dem Studierenden der Keramik eine kritische Darstellung der Ergebnisse der keramischen Forschung zu geben. Dieses Bedürfnis wurde seit vielen Jahren stark empfunden und dem Verfasser von verschiedenen Seiten gegenüber geäußert, da die Verästelung der Forschung die Übersicht über ihre Ergebnisse immer mehr erschwert.

Da es an guten Büchern und Monographien über die keramische Technik nicht fehlt, sind alle Ausführungen über die keramische Technologie sehr kurz gehalten und die Beschreibung der Apparatur, Maschinerie und Ofenanlagen vollständig fortgelassen worden. Der Forderung des Tages ist weiterhin dadurch Rechnung getragen worden, daß gegenüberstehende Anschauungen nur dann eingehend behandelt wurden, wenn sie noch nicht geklärt waren oder die unterlegene Anschauung hohen wissenschaftlichen Wert hatte. Im übrigen hat sich Verfasser bemüht, nur die obsiegende Ansicht anzuführen. Die selbst auferlegte Beschränkung brachte es mit sich, daß längere geschichtliche Übersichten über die Entstehung der modernen Anschauung meist vermieden werden mußten. So kam es dazu, daß manche Arbeiten unserer Altmeister nicht entsprechend den Anregungen, die sie gaben, behandelt werden konnten. Mögen die Manen von SEGER und anderer Meister dies dem Verfasser vergeben.

Aachen, im September 1933

H. Salmang

Aus dem Vorwort zur vierten Auflage

Da die dritte Auflage bereits nach 3 Jahren vergriffen war, und der Strom der neu hinzugekommenen Literatur eine beängstigende Breite erreicht hatte, war es nötig, eine Entscheidung über den Charakter des Buches zu treffen.

Die ersten drei Auflagen wollten ein Lehrbuch für den Studenten und ein handliches Nachschlagebuch für den Ingenieur sein. Es war dem Verfasser eine Genugtuung, daß sie darüber hinaus auch ein gern gebrauchtes Werkzeug in der Forschung sein konnten. Seinem ursprünglichen Zweck konnte das Buch aber nur gerecht werden, wenn es ein erschwingliches Buch blieb.

Um das Buch seinem alten Benutzerkreis und diesem das Buch zu erhalten, waren Opfer nötig. Sie waren um so mehr nötig, weil die Aufnahme neuer erfolgreicher Gebiete der Keramik in die neue Auflage ein Gebot der Stunde war.

Maastricht, im April 1958

H. Salmang

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
2 Strukturen	4
2.1 Bindungsarten	4
2.1.1 Atombindung	5
2.1.2 Ionenbindung	6
2.1.3 Metallische Bindung	6
2.1.4 Van der Waalssche Bindung	6
2.1.5 Sonstige Bindungsarten	7
2.1.6 Ionenradien — Koordinationszahlen	9
2.1.7 Silicatische Bindung	13
2.2 Kristalle	16
2.2.1 Grundlagen der Kristallographie	16
2.2.2 Gittertypen	19
2.2.3 Gitterenergie	25
2.2.4 Abweichungen von der idealen Ordnung	27
2.2.5 Silicate	31
2.2.5.1 Stabilitätskriterien	31
2.2.5.2 Systematik der Silicate	32
2.2.5.3 Wichtige SiO ₂ -Modifikationen	37
2.2.5.4 Wichtige Schichtsilicate	42
2.2.5.5 Weitere keramisch wichtige Silicate	61
2.2.5.6 Isotypie und Modellstrukturen	69
2.3 Nichtkristalline Festkörper	70
2.3.1 Amorphe Festkörper	70
2.3.2 Gläser	72
2.3.2.1 Struktur der Gläser	72
2.3.2.2 Eigenschaften der Gläser	76
2.4 Oberflächen	82
2.4.1 Bindungsverhältnisse und Eigenschaften	82
2.4.2 Oberflächenspannung — Oberflächenenergie	84
2.4.3 Grenzflächenspannung	86
2.4.4 Gekrümmte Oberflächen	90
2.4.5 Bestimmung der Oberfläche	92
2.4.6 Bestimmung der Korngröße	96
2.5 Gefüge	101
2.5.1 Untersuchung der festen Komponenten	102
2.5.2 Untersuchung der Poren	103

3 Thermochemie	106
3.1 Thermodynamik	106
3.1.1 Gleichungen	106
3.1.2 Anwendungsbeispiele	112
3.2 Gleichgewichte	118
3.2.1 Phasenregel	118
3.2.2 Phasendiagramme	121
3.2.3 Ungleichgewichte	135
3.3 Kinetik	135
3.3.1 Schmelzen und Kristallisieren	136
3.3.2 Diffusion	138
3.3.3 Reaktionen	142
3.3.4 Sintern	145
3.3.4.1 Sintern ohne flüssige Phase	146
3.3.4.2 Sintern mit flüssiger Phase	155
3.3.4.3 Drucksintern	159
4 Keramisch wichtige Systeme	161
4.1 Einstoffsysteme	161
4.1.1 SiO_2	162
4.1.2 Al_2O_3	170
4.1.3 H_2O	172
4.2 Zweistoffsysteme	177
4.2.1 $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$	177
4.2.2 $\text{SiO}_2\text{—R}_2\text{O}$	180
4.2.3 $\text{SiO}_2\text{—RO}$	181
4.2.4 H_2O -haltige binäre Systeme	182
4.3 Dreistoffsysteme	186
4.3.1 $\text{K}_2\text{O—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	186
4.3.2 $\text{Na}_2\text{O—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	187
4.3.3 $\text{Li}_2\text{O—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	188
4.3.4 Feldspäte	190
4.3.5 $\text{MgO—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$	191
4.3.6 $\text{H}_2\text{O—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2, \text{H}_2\text{O—MgO—SiO}_2$	193
5 Vom Rohstoff zum Fertigprodukt	209
5.1 Rohstoffe	209
5.1.1 Plastische Rohstoffe	210
5.1.2 Gering plastische Rohstoffe	219
5.1.3 Nicht plastische Rohstoffe	219
5.1.4 Einfluß der Mahlung	224
5.2 Verhalten tonmineralhaltiger Zusammensetzungen	226
5.2.1 Grundlagen der Rheologie	226
5.2.2 Plastizität	230
5.2.3 Verflüssigung — Schlicker	240
5.2.4 Thixotropie	243

5.3	Formgebung	245
5.3.1	Plastische Formgebung.	246
5.3.2	Schlickergießen	247
5.3.3	Verdichtung	252
5.4	Trocknung	253
5.4.1	Feuchtigkeitsabgabe — Schwindung.	254
5.4.2	Trockenfestigkeit	257
5.4.3	Gedächtnis der Massen.	261
5.5	Brennen	261
5.5.1	Vorgänge beim Brand	262
5.5.2	Glasphase.	270
5.5.3	Beurteilung des Brennverhaltens	272
5.5.4	Einfluß der Atmosphäre	279
5.5.5	Brennfarbe	282
5.6	Engoben und Glasuren	285
5.6.1	Engoben	285
5.6.2	Glasuren	286
5.6.2.1	Zusammensetzung.	286
5.6.2.2	Vorgänge beim Brand	288
5.6.2.3	Eigenschaften von Glasuren	292
6	Keramische Werkstoffe und deren Eigenschaften	298
6.1	Poröse tonkeramische Werkstoffe	300
6.1.1	Werkstoffe für Ziegel	300
6.1.2	Frostwiderstandsfähigkeit.	302
6.1.3	Ausblühungen	304
6.1.4	Steingut	306
6.1.5	Feuchtigkeitsdehnung	307
6.2	Dichte tonkeramische Werkstoffe	309
6.2.1	Steinzeug	310
6.2.2	Porzellan	311
6.2.3	Transparenz	314
6.2.4	Mechanische Festigkeit	316
6.2.5	Werkstoffe mit geringer Wärmedehnung	322
6.3	Feuerfeste Werkstoffe.	324
6.3.1	Eigenschaften	326
6.3.1.1	Erweichungsverhalten und Festigkeit	326
6.3.1.2	Wärmetransport	330
6.3.1.3	Temperaturwechselbeständigkeit	334
6.3.1.4	Chemisches Verhalten	337
6.3.2	Wichtige feuerfeste Erzeugnisse	338
6.3.2.1	Silikaerzeugnisse	338
6.3.2.2	Schamotteerzeugnisse	341
6.3.2.3	Tonerdereiche Erzeugnisse	343
6.3.2.4	Basische und neutrale Erzeugnisse	344
6.3.2.5	Schmelzgegossene Erzeugnisse	347
6.3.2.6	Sonstige Erzeugnisse	348

6.4 Oxidkeramik	349
6.4.1 Herstellung	350
6.4.2 Eigenschaften	352
6.4.3 Spezielle Eigenschaften einiger Oxide	354
6.5 Elektro- und Magnetokeramik	357
6.5.1 Elektrische Leitfähigkeit	357
6.5.2 Dielektrische Eigenschaften	361
6.5.3 Magnetische Eigenschaften	364
6.5.4 Spezielle Werkstoffe	369
6.5.4.1 Elektroporzellan	373
6.5.4.2 Steatit	373
6.5.4.3 Oxide	375
6.5.4.4 Rutil und Titanate	375
6.5.4.5 Ferrite	377
6.6 Nichtoxidische Keramik	379
6.6.1 Kohlenstoff	381
6.6.2 Nichtmetallische Hartstoffe	383
6.6.2.1 Siliciumcarbid	383
6.6.2.2 Siliciumnitrid	386
6.6.2.3 Bornitrid	386
6.6.3 Metallische Hartstoffe	387
6.6.4 Sonstige Verbindungen	389
6.7 Reaktor- und Raumfahrtkeramik	389
6.7.1 Spalt- und Brutstoffe	391
6.7.2 Moderatoren und Reflektoren	392
6.7.3 Regelstäbe	393
6.7.4 Strahlenschutz	393
6.7.5 Raketenwerkstoffe	393
6.8 Glaskeramik	394
6.9 Keramik-Metall-Kombinationen	396
6.9.1 Keramische Überzüge auf Metallen	397
6.9.2 Metallisieren	398
6.9.3 Cermets	400
6.9.4 Faserverstärkte Werkstoffe	402
Literaturverzeichnis	404
Namenverzeichnis	434
Sachverzeichnis	440