

Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke

Urs Müller

# Mineralische Baustoffe

Untersuchen, Bewerten  
und Konservieren



Fraunhofer IRB  Verlag

Urs Müller

## Mineralische Baustoffe

Untersuchen, Bewerten  
und Konservieren



Urs Müller

# Mineralische Baustoffe

Untersuchen, Bewerten und Konservieren

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-0503-1

ISBN (E-Book): 978-3-7388-0504-8

Lektorat: Claudia Neuwald-Burg

Redaktion: Annemarie Klepacki

Layout · Herstellung · Satz: Gabriele Wicker

Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Druck: Offizin Scheufele Druck und Medien GmbH & Co. KG

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2021

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-2500

Telefax +49 711 970-2508

[irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

# VORWORT

Baustoffe gehören zu den Grundstoffen, auf denen unsere Gesellschaften aufbauen. Ihre zielgerechte Nutzbarmachung und Weiterentwicklung ermöglichte der Menschheit erst den heutigen sozialen und technologischen Stand, durch Schaffung von sicheren Wohn- und Arbeitsstätten sowie den sukzessiven Ausbau der unterschiedlichen Infrastrukturen. Die Nutzung der verschiedenen Baustoffe ist uns heute so selbstverständlich, dass wir sie als Ressource im alltäglichen Umgang oftmals nicht mehr wertschätzen. Baustoffe werden in ungeheuren Mengen verwendet, um den Bedürfnissen einer steigenden Weltbevölkerung gerecht zu werden. Aber die globale Verwendung in bisher nicht gekannten Ausmaßen stellt uns vor neue Herausforderungen in den Bereichen Umwelt und Nachhaltigkeit, da die Ausgangsstoffe, auch die der mineralischen Baustoffe, aus natürlichen Vorkommen entnommen und zurzeit leider nur in begrenztem Maße rückgewonnen und wiederverwertet werden.

In den letzten Jahrzehnten wurden die Wieder- und Wiedernutzung für Baukonstruktionen konsequenter in Betracht gezogen als für Baumaterialien. Grund dafür waren kulturelle Aspekte und ökonomische Rahmenbedingungen. Für die Bauwerkserhaltung und Altbauinstandsetzung existieren deshalb bereits vielfältige Konzepte und Lösungswege, die zumindest eine längere Nutzungsdauer der Bauwerke ermöglichen. Um diese Erhaltungs- und Instandsetzungskonzepte substanzschonend und zielgerichtet anwenden zu können, müssen Planer und Ausführende die technischen Eigenschaften von Baustoffen im Bestand genau kennen. Ihr Wissen darf sich dabei nicht auf die vorhandenen, in manchen Fällen historischen und heute nicht mehr produzierten Baustoffe beschränken, sondern es muss auch modernere Materialien umfassen, die dann für Reparatur-, Verstärkungs- und Instandsetzungsmaßnahmen eingesetzt werden.

Die im Buch behandelten Themenfelder stammen aus dem Aufbaustudiengang »Altbauinstandsetzung« des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), zu dem ich mit der Vorlesung »Mineralogie in der Bauwerkserhaltung« zwischen 2007 und 2020 beitragen durfte. Ziel der Vorlesung und dieses Buches ist es, Fachleuten aus verschiedenen Disziplinen in der Altbaubewahrung und -instandsetzung einen Leitfaden für mineralische Baustoffe an die Hand zu geben. Der Leitfaden soll einen Überblick über die am meisten verwendeten mineralischen Baustoffe

geben, die teilweise eine sehr lange Geschichte haben und im historischen Bestand häufig angewendet wurden. Das vermittelte Wissen soll bei konkreten Projekten helfen, geeignete Maßnahmen für den substanzschonenden Umgang mit den vielfältigen Baustoffen zu treffen. Dabei ist in der alltäglichen Arbeit vor allem die Kommunikation zwischen verschiedenen Akteuren wichtig. Erfahrungsgemäß sind bei der Zusammenarbeit von Kolleginnen und Kollegen verschiedener Disziplinen ein Basiswissen in der Baustoffkunde sowie eine gemeinsame Terminologie vonnöten, um Missverständnisse zu vermeiden. Das Buch wendet sich deshalb an Leserinnen und Leser, die mit mineralischen Baustoffen nicht oder nur wenig vertraut sind und sich ein Basiswissen über Herstellung, Eigenschaften, Erkennungsmöglichkeiten und Bewahrung aneignen wollen. Der Schwerpunkt liegt hierbei weniger auf mechanischen Kennwerten von Baustoffen, sondern auf den chemischen und mineralogischen Stoffeigenschaften, die oftmals entscheidend für ihre Beständigkeit sind.

Urs Müller, Januar 2021

## DANKSAGUNG

Das vorliegende Buch wäre ohne die Anregung und den Einsatz meiner ehemaligen Kollegin und Lektorin vom Fraunhofer IRB Verlag, Frau Claudia Neuwald-Burg, nicht zustande gekommen. Sie inspirierte mich, meine Vorlesungsinhalte in ein Buch einfließen zu lassen und begleitete dieses mit sachverständiger Diskussion und viel Geduld. Frau Annette Busse möchte ich für die Gelegenheit herzlich danken, am Aufbaustudiengang »Altbauinstandsetzung« als Vortragender teilnehmen zu dürfen. Meine beruflichen Weichen wurden nicht unwesentlich durch meine Lehrer und Mentoren während meines Studiums und meiner Promotionsarbeit gestellt. Besonders danken möchte ich hierfür Herrn Egon Althaus und Herrn Fritz Wenzel, die mir wesentliche Impulse für meine berufliche Entwicklung mit auf den Weg gaben.

Für die Zurverfügungstellung von Bildmaterial möchte ich folgenden Personen und Firmen danken: Herrn Hartmut Pliett, Herrn Christof Ziegert, ZRS Architekten Ingenieure sowie Frau Katarina Malaga, Herrn Mariusz Kalinowski und Herrn Björn Schouenborg. Zum Schluss möchte ich meiner Lebenspartnerin Katarina meine Dankbarkeit aussprechen, die mich beim Verfassen des Texts ermunterte und unterstützte, aber auch half, zwischendurch den notwendigen Abstand vom Schreiben zu gewinnen.

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	11
1.1	Mineralogische Prozesse in der Baustoffkunde	12
1.2	Mineralische Baustoffe	17
2	Mauersteine	21
2.1	Naturstein	23
2.1.1	Plattentektonik	24
2.1.2	Bildungsbereiche und Klassifikation von Natursteinen	25
2.1.3	Allgemeine Gesteinseigenschaften	29
2.1.4	Magmatite	33
2.1.5	Sedimente	37
2.1.6	Metamorphite	44
2.1.7	Regelwerke	47
2.2	Mauerziegel	48
2.2.1	Herstellung	50
2.2.2	Eigenschaften	54
2.2.3	Regelwerke	58
2.3	Lehmsteine	59
2.3.1	Lehm und Lehmsteine	59
2.3.2	Herstellung	60
2.3.3	Eigenschaften	62
2.3.4	Regelwerke	67
2.4	Kalksandsteine und Porenbeton	68
2.4.1	Herstellung	68
2.4.2	Eigenschaften	71

3	<b>Bindemittel und Mörtel</b>	73
3.1	Übersicht über Bindemittel im Mauerwerksbau	73
3.2	Kalkbasierte Bindemittel und Mörtel	74
3.2.1	Einteilung von Kalkbindemittel nach DIN EN 459-1	75
3.2.2	Kalkkreislauf – Luftkalke	75
3.2.3	Herstellung von Kalkbindemittel und Mörtel	76
3.2.4	Erhärtung von Kalkbindemittel	82
3.2.5	Eigenschaften historischer Kalkmörtel	84
3.3	Gips	85
3.3.1	Herstellung	87
3.3.2	Erhärtung von Gips	90
3.3.3	Anwendung und Eigenschaften	91
3.4	Zement und Portlandzement	94
3.4.1	Herstellung	95
3.4.2	Zementbestandteile, Erstarrung- und Erhärtungsreaktionen (Hydratation)	97
3.4.3	Zementarten	101
3.4.4	Eigenschaften historischer Zementmörtel	102
3.4.5	Romanzement	103
3.5	Lehmmörtel	105
3.5.1	Herstellung	106
3.5.2	Eigenschaften	107
3.6	Bindemittel und Mörtel – Regelwerke	110
3.6.1	Bindemittel	110
3.6.2	Mörtel	111
4	<b>Beton</b>	113
4.1	Was ist Beton?	113
4.2	Bezugsgrößen bei frischem und erhärtetem Beton	119
4.3	Die Geschichte des Betons und seine heutige Bedeutung	122
4.4	Herstellung	125
4.5	Eigenschaften historische Betone	125
5	<b>Stampf- und Wellerlehm</b>	131
5.1	Einleitung	131
5.2	Stampflehm	133
5.2.1	Anwendung	133
5.2.2	Herstellung	134
5.2.3	Eigenschaften	138

5.3	Wellerlehm	141
5.3.1	Anwendung	141
5.3.2	Herstellung	142
5.3.3	Eigenschaften	143
6	<b>Anstrich- und Malfarben</b>	145
6.1	Arten	146
6.1.1	Kalkfarben	147
6.1.2	Zementfarben	149
6.1.3	Silikatfarben	149
6.1.4	Dispersionsfarben	151
6.1.5	Silikonharzfarben	152
6.1.6	Ölfarben	152
6.1.7	Leimfarben	153
6.1.8	Weitere Farben	153
6.2	Eigenschaften und Anwendung	154
6.3	Arten von Pigmenten	156
6.4	Farbanalyse	159
7	<b>Asbest in Bauprodukten</b>	161
7.1	Historisches	161
7.2	Eigenschaften und Anwendung	163
7.3	Asbestarten	166
7.4	Identifizierung von Asbest	167
8	<b>Analysenmethoden</b>	169
8.1	Begriffe	169
8.2	Gefügeanalyse von Baustoffen	171
8.2.1	Stereomikroskopie	174
8.2.2	Polarisationsmikroskopie	176
8.2.3	Rasterelektronenmikroskopie	187
8.2.4	Quecksilberdruckporosimetrie	191
8.3	Phasenanalyse	194
8.3.1	Röntgenpulverdiffraktometrie (XRD)	194
8.3.2	Differentialthermoanalyse und Thermogravimetrie (DTA/TG)	200
8.3.3	Infrarotspektroskopie (IR) und Ramanspektroskopie	204
8.4	Chemische Analyse	208
8.4.1	Röntgenfluoreszenzanalyse	209
8.4.2	Mörtelanalyse	217
8.4.3	Salzanalyse und Feuchtegehalt	219

9	Schädigungsprozesse	225
9.1	Einflussfaktoren und Prozesse	225
9.2	Porosität in Baustoffen und Feuchtetransport	227
9.3	Allgemeine Schädigungsprozesse	232
9.3.1	Frostangriff	232
9.3.2	Salzangriff	237
9.3.3	Luftschadstoffe	244
9.4	Hygrothermische Schädigung – Wölbung von Marmorplatten	246
9.5	Schädigungsprozesse in Beton	248
9.5.1	Bewehrungskorrosion infolge von Carbonatisierung und Chloridtransport	249
9.5.2	Alkali-Kieselsäurereaktion (AKR)	254
9.5.3	Sulfatangriff	257
10	Konservierung und Schutzmaßnahmen	261
10.1	Festigung	262
10.1.1	Konzept	262
10.1.2	Kalk- und Barytwasser	264
10.1.3	Wasserglas	265
10.1.4	Polymere	266
10.1.5	Kieselsäureester	270
10.1.6	Kieselsole	273
10.1.7	Quellminderer	274
10.2	Hydrophobierung	276
10.2.1	Konzept	276
10.2.2	Silane und Silikonharze	278
10.2.3	Stearate	280
10.2.4	Anwendung	281
10.2.5	Risiken in Zusammenhang mit Hydrophobierungsmitteln	282
10.3	Schutz vor Graffiti	284
10.3.1	Graffitireinigung	286
10.3.2	Anti-Graffiti-Systeme (AGS)	287
10.4	Regelwerke	293
10.4.1	Steinfestigung und Steinerergänzungen	293
10.4.2	Hydrophobierung	294
10.4.3	Reinigung und Anti-Graffiti-Systeme	295
11	Literatur	297
	Stichwortverzeichnis	315