Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze: Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

(Dr.-Ing.)

an der Fakultät Bauingenieurwesen Bauhaus-Universität Weimar

> vorgelegt von Karl Georg Böttger aus Siegen

> > Weimar

Gutachter: 1. Prof. Dr. J. Stark

2. Prof. Dr. D. Knöfel

3. Prof. Dr. H. Budelmann

Tag der Disputation: 30.4.97

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite		
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen				
1	Einleitung	13		
2	Literaturübersicht	15		
2.1	Ursachen für Schäden an Putzen historischer Bauwerke	15		
2.1.1	Einflüsse bei der Herstellung von Putzen	15		
2.1.2	Umweltbedingte Ursachen für Putzschäden	17		
2.1.2.1	Belastungen von Putzen durch physikalische Einflüsse	18		
2.1.2.2	Belastung von Putzen durch chemische Einflüsse	20		
2.1.2.3	Belastung von Putzen durch mikrobiologische Einflüsse	28		
2.2	Ursachen für Schäden durch Restaurierungsmörtel			
2.2.1	Allgemeines			
2.2.2	Schäden durch Reaktionen mit Alkalisalzen	35		
2.2.3	Schadensreaktionen mit Sulfaten			
2.2.3.1	Gipsbildung	37		
2.2.3.2	Ettringitbildung	38		
2.2.3.3	Thaumasitbildung	43		
2.2.4	Weitere Schadensreaktionen	44		
2.2.4.1	Friedel'sches Salz			
2.2.4.2	Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)	45		
2.3	Geeignete Bindemittel für Restaurierungsmörtel			
3	Untersuchungsmethoden			
3.1	Charakterisierung der Ausgangsstoffe	49		
3.1.1	Dichtebestimmung	49		
3.1.2	Spezifische Oberfläche nach Blaine			
3.1.3	Lasergranulometrie			
3.1.4	Chemische Zusammensetzung			
3.1.5	Qualitative Phasenbestimmung mittels Röntgenbeugungsanalyse			
3.2	Frischmörteluntersuchungen			
3.2.1	Ausbreitmaß			
3.2.2	Wasserrückhaltevermögen			
3.2.3	Fließverhalten			
3.2.4	Penetrationsverhalten			
3.2.5	Sedimentationsverhalten			
3.2.6	Frischmörtelrohdichte			
3.3	Festmörteluntersuchungen	52		
3.3.1	Mechanische Eigenschaften und Frost-Tauwechsel-Widerstand	52		
3.3.1.1	Elastizitätsmodul			
3.3.1.2	Biegezugfestigkeit			
3.3.1.3	Druckfestigkeit			
3.3.1.4	Haftzugfestigkeit	52		
3.3.1.5	Zugfestigkeit	53		
3.3.1.6	Frost-Tauwechsel-Widerstand			
3.3.2	Hygrische Eigenschaften			
3 3 2 1	Schwinden in der Form	53		

3.3.2.2	Hygrische Dehnung	54
3.3.2.3	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	
3.3.2.4	Sorptionsverhalten	
3.3.2.5	Innere Oberfläche nach BET	55
3.3.2.6	Wasseraufnahme	56
3.3.2.7	Wasserabgabe	56
3.3.3	Ausblühverhalten	
3.3.4	Sulfatwiderstand	
3.3.5	Quecksilber-Druckporosimetrie	59
3.3.6	Wärmedehnungskoeffizient	
3.4	Chemisch-mineralogische Untersuchungen	
3.4.1	Mörtelzusammensetzung nach Wisser/Knöfel	
3.4.2	Siebanalysen	
3.4.3	Bestimmung des Gehaltes an wasserlöslichen Salzen	
3.4.4	Phasenbestimmung mittels Röntgenbeugungsanalyse	
3.4.5	Mikroskopische Untersuchungen	
3.4.6	Mengenmäßige Abschätzung mittels Vergleichsschaubildern	
4	Untersuchung historischer Kalkputzmörtel	
4.1	Beprobte Objekte	63
4.1.1	Torhalle in Lorsch	63
4.1.2	Einhardbasilika in Steinbach	66
4.1.3	Magdeburger Dom	68
4.1.4	Ehemaliges Zisterzienserkloster Heydau	
4.2	Untersuchungen der historischen Kalkputzmörtel	
4.2.1	Qualitative Phasenbestimmung	
4.2.2	Bestimmung der Mörtelzusammensetzung nach Wisser/Knöfel	77
4.2.3	Bestimmung des Gehaltes wasserlöslicher Salze	80
4.2.4	Mechanische Eigenschaften	80
4.2.5	Hygrische Eigenschaften	
4.2.6	Hg-Druckporosimetrie	83
4.3	Zusammenfassung zu Kapitel 4	84
5	Entwicklung von Haftmörteln für die Restaurierung	
3	HISTORISCHER KALKPUTZE	87
5.1	Einleitung	
5.2	Anforderungsprofil an die Haftmörtel	
5.3	Verwendete Materialien	88
5.3.1	Bindemittel und Zusätze	
5.3.2	Zuschlag	
5.3.3	Zusatzmittel	
5.3.4	Untersuchungsmethoden	
5.3.5	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper	
5.4	Ergebnisse der Voruntersuchungen	
5.4.1	Zusammensetzung der Haftmörtel der Vorversuche	
5.4.2	Frischmörteluntersuchungen	
5.4.3	Festmörteluntersuchungen	
5.4.3.1	Mechanische Eigenschaften	
5.4.3.2	Hygrische Eigenschaften	
5.4.3.3	Sulfatwiderstand	92

5.4.4	Zusammenfassung der Voruntersuchungen	93
5.5	Ergebnisse der Hauptuntersuchungen	94
5.5.1	Zusammensetzung der Haftmörtel der Hauptuntersuchungen	94
5.5.2	Frischmörteluntersuchungen	94
5.5.3	Festmörteluntersuchungen	95
5.5.3.1	Mechanische Eigenschaften	95
5.5.3.2	Hygrische Eigenschaften	
5.5.3.3	Ausblühverhalten	.100
5.5.3.4	Frost-Tauwechsel-Widerstand	.100
5.5.3.5	Applikation der Haftmörtel an Musterflächen	.101
5.6	Zusammenfassung zu Kapitel 5	
6	Entwicklung von Hinterfüllmörteln für die Restaurieru	NG
	HISTORISCHER KALKPUTZE	
6.1	Einleitung	.103
6.2	Anforderungsprofil an Hinterfüllmörtel	104
6.3	Verwendete Materialien	.105
6.3.1	Bindemittel	105
6.3.2	Zuschlag	.105
6.3.3	Zusätze	
6.3.4	Untersuchungsmethoden	106
6.4	Untersuchungsergebnisse der Voruntersuchungen	107
6.4.1	Zusammensetzung der Hinterfüllmörtel der Vorversuche	
6.4.2	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper, Anlage von Musterflächen	
6.4.3	Frischmörteluntersuchungen	
6.4.3.1	Optimierung der Frischmörteleigenschaften	109
6.4.3.2	Frischmörteleigenschaften der Hinterfüllmörtel der Vorversuche	109
6.4.4	Festmörteluntersuchungen	110
6.4.4.1	Hygrische Eigenschaften	
6.4.4.2	Mechanische Eigenschaften	110
6.4.4.3	Ausblühverhalten	112
6.4.4.4	Zusätzliche Prüfungen ausgewählter Hinterfüllmörtel	112
6.4.4.5	Prüfung des Verbundes der Hinterfüllmörtel an den Musterflächen	113
6.4.5	Zusammenfassung der Voruntersuchungen	114
6.5	Untersuchungsergebnisse der Hauptuntersuchungen	115
6.5.1	Zusammensetzung der Hinterfüllmörtel der Hauptuntersuchungen	115
6.5.2	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper	
6.5.3	Frischmörteluntersuchungen	118
6.5.3.1	Konsistenz	118
6.5.4	Festmörteluntersuchungen	119
6.5.4.1	Mechanische Eigenschaften	119
6.5.4.2	Hygrische Eigenschaften	120
6.5.4.3	Ausblühverhalten	
6.5.4.4	Frost-Tauwechsel-Widerstand	124
6.5.4.5	Thermische Dehnung	
6.5.4.6	Sorptionsverhalten	
6.5.4.7	Innere Oberfläche nach BET	.127
6.5.4.8	Hg-Druckporosimetrie	
6.5.4.9	Applikation der Hinterfüllmörtel an Musterflächen	
6.6	Zusammenfassung zu Kapitel 6	

7	ENTWICKLUNG VON KALKPUTZEN FÜR DIE RESTAURIERUNG HISTORISCHER KALKPUTZE	135
7.1	Einleitung	135
7.2	Anforderungsprofil an die Kalkputze	136
7.3	Verwendete Materialien	
7.3.1	Bindemittel	137
7.3.2	Zuschlag	137
7.3.3	Zusätze	138
7.3.4	Zusammensetzung der Sandkalkmörtel und Kalkmörtel	139
7.3.5	Herstellung der Sandkalkmörtel	
7.3.6	Herstellung der Kalkmörtel	
7.3.7	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper, Anlage von Muster-	
7. 00	flächen	
7.3.8	Untersuchungsmethoden	
7.4	Untersuchungsergebnisse	
7.4.1	Frischmörteluntersuchungen	
7.4.2	Festmörteluntersuchungen	
7.4.2.1	Mechanische Eigenschaften	
7.4.2.2	Hygrische Eigenschaften	
7.4.2.3	Mikroskopische Untersuchungen	
7.4.2.4	Ausblühverhalten	
7.4.2.5	Thermische Dehnung	
7.4.2.6	Frost-Tauwechsel-Widerstand	
7.4.2.7	Sorptionsverhalten	
7.4.2.8	Innere Oberfläche nach BET	
7.4.2.9	Bestimmung des Kalkspatzen-Anteils	
7.4.2.10	Hg-Druckporosimetrie	
7.4.2.11	Applikation der Kalkputze an Musterflächen	
7.5	Zusammenfassung zu Kapitel 7	157
8	ZUSAMMENFASSUNG	161
9	LITERATURVERZEICHNIS	165
10	ANHANG	197