

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

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor-Ingenieur**

**(Dr.-Ing.)**

an der Fakultät Bauingenieurwesen  
der  
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



3.3.2.2	Hygrische Dehnung.....	54
3.3.2.3	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl.....	54
3.3.2.4	Sorptionsverhalten .....	55
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 .....	59
3.3.4	Sulfatwiderstand .....	59
3.3.5	Quecksilber-Druckporosimetrie.....	59
3.3.6	Wärmedehnungskoeffizient .....	60
3.4	Chemisch-mineralogische Untersuchungen.....	61
3.4.1	Mörtelzusammensetzung nach Wisser/Knöfel .....	61
3.4.2	Siebanalysen.....	61
3.4.3	Bestimmung des Gehaltes an wasserlöslichen Salzen.....	61
3.4.4	Phasenbestimmung mittels Röntgenbeugungsanalyse.....	62
3.4.5	Mikroskopische Untersuchungen.....	62
3.4.6	Mengenmäßige Abschätzung mittels Vergleichsschaubildern .....	62
<b>4</b>	<b>UNTERSUCHUNG HISTORISCHER KALKPUTZMÖRTEL.....</b>	<b>63</b>
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 .....	71
4.2	Untersuchungen der historischen Kalkputzmörtel.....	73
4.2.1	Qualitative Phasenbestimmung.....	73
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.....	81
4.2.6	Hg-Druckporosimetrie .....	83
4.3	Zusammenfassung zu Kapitel 4.....	84
<b>5</b>	<b>ENTWICKLUNG VON HAFTMÖRTELN FÜR DIE RESTAURIERUNG HISTORISCHER KALKPUTZE.....</b>	<b>87</b>
5.1	Einleitung.....	87
5.2	Anforderungsprofil an die Haftmörtel .....	87
5.3	Verwendete Materialien .....	88
5.3.1	Bindemittel und Zusätze .....	88
5.3.2	Zuschlag .....	88
5.3.3	Zusatzmittel.....	89
5.3.4	Untersuchungsmethoden.....	89
5.3.5	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper .....	90
5.4	Ergebnisse der Voruntersuchungen.....	91
5.4.1	Zusammensetzung der Haftmörtel der Vorversuche.....	91
5.4.2	Frischmörteluntersuchungen .....	91
5.4.3	Festmörteluntersuchungen .....	91
5.4.3.1	Mechanische Eigenschaften .....	91
5.4.3.2	Hygrische Eigenschaften.....	92
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 .....	97
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 .....	101
<b>6</b>	<b>ENTWICKLUNG VON HINTERFÜLLMÖRTELN FÜR DIE RESTAURIERUNG HISTORISCHER KALKPUTZE .....</b>	<b>103</b>
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 .....	105
6.3.4	Untersuchungsmethoden .....	106
6.4	Untersuchungsergebnisse der Voruntersuchungen .....	107
6.4.1	Zusammensetzung der Hinterfüllmörtel der Vorversuche .....	107
6.4.2	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper, Anlage von Musterflächen .....	108
6.4.3	Frischmörteluntersuchungen .....	109
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 .....	110
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 .....	117
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 .....	124
6.5.4.4	Frost-Tauwechsel-Widerstand .....	124
6.5.4.5	Thermische Dehnung .....	124
6.5.4.6	Sorptionsverhalten .....	124
6.5.4.7	Innere Oberfläche nach BET .....	127
6.5.4.8	Hg-Druckporosimetrie .....	127
6.5.4.9	Applikation der Hinterfüllmörtel an Musterflächen .....	130
6.6	Zusammenfassung zu Kapitel 6 .....	130

<b>7</b>	<b>ENTWICKLUNG VON KALKPUTZEN FÜR DIE RESTAURIERUNG HISTORISCHER KALKPUTZE .....</b>	<b>135</b>
7.1	Einleitung.....	135
7.2	Anforderungsprofil an die Kalkputze .....	136
7.3	Verwendete Materialien.....	137
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.....	139
7.3.6	Herstellung der Kalkmörtel.....	140
7.3.7	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper, Anlage von Muster- flächen.....	141
7.3.8	Untersuchungsmethoden.....	141
7.4	Untersuchungsergebnisse.....	142
7.4.1	Frischmörteluntersuchungen.....	142
7.4.2	Festmörteluntersuchungen.....	143
7.4.2.1	Mechanische Eigenschaften.....	143
7.4.2.2	Hygrische Eigenschaften.....	147
7.4.2.3	Mikroskopische Untersuchungen.....	151
7.4.2.4	Ausblühverhalten.....	154
7.4.2.5	Thermische Dehnung.....	154
7.4.2.6	Frost-Tauwechsel-Widerstand.....	154
7.4.2.7	Sorptionsverhalten.....	154
7.4.2.8	Innere Oberfläche nach BET.....	155
7.4.2.9	Bestimmung des Kalkspatzen-Anteils.....	155
7.4.2.10	Hg-Druckporosimetrie.....	155
7.4.2.11	Applikation der Kalkputze an Musterflächen.....	157
7.5	Zusammenfassung zu Kapitel 7.....	157
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>161</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>165</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>187</b>