

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>.1</b>
1.1 Ziel der Arbeit .....	.2
1.2 Historischer Überblick .....	.2
1.2.1 Geschichte der Ziegelherstellung seit dem Mittelalter .....	.2
1.2.2 Mörtel in historischen Bauwerken .....	.3
1.3 Anpassung von Mörteln zur Restaurierung von historischem Ziegelmauerwerk.....	.4
1.3.1 Anforderungen an die Mörtelkennwerte .....	.6
1.3.2 Verträglichkeit historischer und moderner Baustoffe .....	.13
1.3.2.1 Sulfatangriff .....	.13
1.3.2.2 Weitere Schadensreaktionen mit Salzen .....	.16
<b>2 Untersuchungsmethoden .....</b>	<b>.17</b>
2.1 Charakterisierung der Ausgangsstoffe .....	.17
2.1.1 Chemische Zusammensetzung .....	.17
2.1.2 Qualitative Phasenanalyse mittels Röntgenbeugungsanalyse .....	.17
2.1.3 Reindichte .....	.17
2.1.4 Spezifische Oberfläche nach Blaine .....	.17
2.1.5 Korngrößenverteilung mittels Lasergranulometrie .....	.17
2.1.6 Puzzolanität .....	.18
2.2 Frischmörteluntersuchungen .....	.18
2.2.1 Wasser/Bindemittel-Wert und Wasseranspruch .....	.18
2.2.2 Frischmörtelrohdichte .....	.19
2.2.3 Luftporengehalt des Frischmörtels .....	.19
2.2.4 Wasserrückhaltevermögen .....	.19
2.3 Festmörteluntersuchungen .....	.19
2.3.1 Mechanische Kennwerte .....	.19
2.3.1.1 Dynamischer Elastizitätsmodul .....	.19
2.3.1.2 Biegezugfestigkeit .....	.19
2.3.1.3 Druckfestigkeit .....	.19
2.3.1.4 Zugfestigkeit .....	.20
2.3.1.5 Frost-Tauwechsel-Widerstand .....	.20
2.3.2 Hygrische Kennwerte .....	.20
2.3.2.1 Schwinden und Quellen .....	.20
2.3.2.2 Wasseraufnahme .....	.21
2.3.2.3 Austrocknungsverhalten .....	.21
2.3.2.4 Wasserdampfdiffusionswiderstand .....	.21
2.3.2.5 Ausblühverhalten .....	.21
2.3.3 Chemisch-mineralogische Untersuchungen .....	.22
2.3.3.1 Qualitative Phasenanalyse mittels Röntgenbeugungsanalyse .....	.22
2.3.3.2 Durchlichtmikroskopie .....	.22
2.3.3.3 Rasterelektronenmikroskopie .....	.22
2.3.3.4 Thermogravimetrie .....	.22
2.3.4 Sulfatwiderstand .....	.23
2.3.5 Quecksilber-Druckporosimetrie .....	.23
2.3.6 Thermische Dehnung .....	.24
2.3.7 Carbonatisierungstiefe .....	.24

<b>2.4 Untersuchungen an Verbundkörpern Mörtel-Ziegel.....</b>	<b>24</b>
2.4.1 Haftzugfestigkeit.....	25
2.4.2 Druckfestigkeit in der Fuge .....	25
<b>2.5 Spezielle Untersuchungsmethoden für historische Mörtel.....</b>	<b>25</b>
2.5.1 Mörtelzusammensetzung nach Wisser und Knöfel .....	25
2.5.2 Siebanalyse der Mörtelzuschläge.....	26
2.5.3 Bestimmung der wasserlöslichen Ionen.....	26
2.5.4 Ermittlung von mechanischen und hygrischen Kennwerten .....	27
<b>3 Untersuchung der historischen Mörtel.....</b>	<b>29</b>
3.1 Beprobte Bauwerke .....	29
3.1.1 Kampischer Hof in Stralsund.....	29
3.1.2 Nikolaikirche Stralsund .....	31
3.1.3 Orangeriesäle des Schweriner Schlosses.....	32
3.2 Untersuchungsergebnisse .....	34
3.2.1 Qualitative Phasenanalyse .....	34
3.2.2 Mörtelzusammensetzung nach Wisser und Knöfel .....	39
3.2.3 Zuschlagsieblinien .....	40
3.2.4 Analyse der wasserlöslichen Ionen .....	42
3.2.5 Mechanische und hygrische Kennwerte.....	44
3.2.6 Quecksilberdruckporosimetrie .....	45
3.3 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse.....	45
3.3.1 Kampischer Hof Stralsund.....	46
3.3.2 Nikolaikirche Stralsund .....	48
3.3.3 Orangeriesäle Schloß Schwerin .....	48
3.3.4 Schlußfolgerungen.....	49
<b>4 Untersuchung von Bindemitteln für die Restaurierung historischer Bauwerke.....</b>	<b>51</b>
4.1 Kalkmörtel ohne Zusatzstoffe.....	51
4.1.1 Chemismus der Baukalke .....	52
4.1.2 Charakterisierung der verwendeten Bindemittel.....	53
4.1.3 Untersuchungen an reinen Kalkmörteln.....	54
4.1.3.1 Herstellung und Lagerung der Mörtel.....	54
4.1.3.2 Wasseranspruch und Entformbarkeit.....	54
4.1.3.3 Mechanische Kennwerte.....	55
4.1.3.4 Schwinden und Quellen.....	57
4.1.3.5 Sulfatwiderstand .....	58
4.1.3.6 Ausblühverhalten.....	60
4.1.4 Schlußfolgerungen.....	60
4.2 Kalkmörtel mit Zusatzstoffen .....	61
4.2.1 Charakterisierung der verwendeten Zusatzstoffe .....	62
4.2.2 Puzzolanität der Zusatzstoffe .....	65
4.2.3 Untersuchungen an Kalkmörteln mit Zusatzstoffen.....	66
4.2.3.1 Herstellung und Lagerung der Mörtel.....	66
4.2.3.2 Wasseranspruch.....	67
4.2.3.3 Mechanische Kennwerte.....	67
4.2.3.4 Hg-Druckporosimetrie .....	68
4.2.3.5 Schwinden und Quellen.....	69
4.2.3.6 Sulfatwiderstand .....	69
4.2.3.7 Ausblühverhalten.....	69

### III

4.2.4 Schlußfolgerungen .....	69
4.3 Sulfatisch aktivierte Hochofenschlacke .....	70
4.4 Quellende Zusätze .....	71
4.5 Zusammenfassung .....	72
<b>5 Entwicklung von Mörteln für die Restaurierung von Ziegelbauwerken .....</b>	<b>73</b>
5.1 Verwendete Materialien .....	73
5.1.1 Bindemittelsysteme .....	73
5.1.2 Zusatzmittel .....	74
5.1.3 Zuschlag .....	78
5.2 Herstellung und Lagerung der Prüfkörper .....	78
5.3 Mauermörtel auf Kalkbasis .....	79
5.3.1 Allgemeines .....	79
5.3.2 Anforderungen .....	79
5.3.3 Vorversuche: Optimierung des Bindemittels .....	80
5.3.3.1 Frischmörteluntersuchungen .....	80
5.3.3.2 Festmörteluntersuchungen .....	81
5.3.3.3 Mörtel-Ziegel-Verbundkörper .....	84
5.3.3.4 Schlußfolgerungen .....	84
5.3.4 Vorversuche: Wirkung von Zusatzmitteln auf Kalk-Hüttensandmörtel .....	85
5.3.4.1 Frischmörteluntersuchungen .....	85
5.3.4.2 Festmörteluntersuchungen .....	87
5.3.4.3 Mörtel-Ziegel-Verbundkörper .....	94
5.3.4.4 Schlußfolgerungen .....	95
5.3.5 Optimierung der Rezepturen durch Kombination von Zusatzmitteln .....	96
5.3.5.1 Frischmörteluntersuchungen .....	96
5.3.5.2 Festmörteluntersuchungen .....	98
5.3.5.3 Mörtel-Ziegel-Verbundkörper .....	101
5.3.5.4 Schlußfolgerungen .....	103
5.4 Putzmörtel auf Kalkbasis .....	104
5.4.1 Allgemeines .....	104
5.4.2 Anforderungen .....	104
5.4.3 Rezepturen .....	104
5.4.4 Frischmörteluntersuchungen .....	105
5.4.5 Festmörteluntersuchungen .....	106
5.4.6 Mörtel-Ziegel-Verbundkörper .....	109
5.4.7 Schlußfolgerungen .....	109
5.5 Mauermörtel auf Basis sulfatisch angeregter Hochofenschlacke .....	110
5.5.1 Allgemeines .....	110
5.5.2 Anforderungen .....	110
5.5.3 Fugenmörtel auf Basis HGZ und HAZ .....	110
5.5.3.1 Rezepturen .....	111
5.5.3.2 Frischmörteluntersuchungen .....	111
5.5.3.3 Festmörteluntersuchungen .....	112
5.5.3.4 Mörtel-Ziegel-Verbundkörper .....	117
5.5.3.5 Schlußfolgerungen .....	118
5.5.4 HAZ-Verfgummiert unter Zusatz einer Quellkomponente .....	118
5.5.4.1 Vorversuche und Rezepturen für die Hauptversuche .....	119
5.5.4.2 Frischmörteluntersuchungen .....	120
5.5.4.3 Festmörteluntersuchungen .....	120

5.5.4.4 Mörtel-Ziegel-Verbundkörper .....	125
5.5.4.5 Schlußfolgerungen.....	125
<b>5.6 Mauermörtel auf Basis von Hochofenzement.....</b>	<b>126</b>
5.6.1 Allgemeines.....	126
5.6.2 Anforderungen.....	126
5.6.3 Rezepturen.....	127
5.6.4 Frischmörteluntersuchungen.....	128
5.6.5 Festmörteluntersuchungen .....	128
5.6.6 Mörtel-Ziegel-Verbundkörper .....	132
5.6.7 Schlußfolgerungen.....	133
<b>5.7 Zusammenfassung zu den Mörtelentwicklungen.....</b>	<b>133</b>
<b>6 Praxisversuche an Musterflächen .....</b>	<b>137</b>
6.1 Kampischer Hof in Stralsund.....	137
6.2 Orangerie Schloß Schwerin, großer Medaillonsaal .....	141
6.3 Zusammenfassung zu den Musterflächen .....	144
<b>7 Zusammenfassung.....</b>	<b>145</b>
<b>8 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>151</b>
<b>9 Anhang.....</b>	<b>161</b>