

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 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 |
| 2 | Untersuchungsmethoden | 17 |
| 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 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.4 | Untersuchungen an Verbundkörpern Mörtel-Ziegel | 24 |
| 2.4.1 | Haftzugfestigkeit..... | 25 |
| 2.4.2 | Druckfestigkeit in der Fuge | 25 |
| 2.5 | Spezielle Untersuchungsmethoden für historische Mörtel..... | 25 |
| 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 |
| 3 | Untersuchung der historischen Mörtel..... | 29 |
| 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 |
| 4 | Untersuchung von Bindemitteln für die Restaurierung historischer Bauwerke..... | 51 |
| 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 |
| 5 | Entwicklung von Mörteln für die Restaurierung von Ziegelbauwerken..... | 73 |
| 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-Verfugmörtel 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 |

IV

| | | |
|---------|---|------------|
| 5.5.4.4 | Mörtel-Ziegel-Verbundkörper | 125 |
| 5.5.4.5 | Schlußfolgerungen..... | 125 |
| 5.6 | Mauermörtel auf Basis von Hochofenzement..... | 126 |
| 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 |
| 5.7 | Zusammenfassung zu den Mörtelentwicklungen..... | 133 |
| 6 | Praxisversuche an Musterflächen | 137 |
| 6.1 | Kampischer Hof in Stralsund..... | 137 |
| 6.2 | Orangerie Schloß Schwerin, großer Medaillonsaal | 141 |
| 6.3 | Zusammenfassung zu den Musterflächen..... | 144 |
| 7 | Zusammenfassung..... | 145 |
| 8 | Literaturverzeichnis..... | 151 |
| 9 | Anhang..... | 161 |