

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------|----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Bauwerksüberwachung | 1 |
| 1.2 | Gliederung der Arbeit | 2 |
| 2 | Stahlbeton - Parameter zur Zustandsanalyse | 4 |
| 2.1 | Historisches | 4 |
| 2.2 | Betontechnische Grundlagen | 5 |
| 2.2.1 | Definition | 5 |
| 2.2.2 | Inhaltsstoffe | 6 |
| 2.2.2.1 | Zement | 6 |
| 2.2.2.2 | Gesteinskörnung | 7 |
| 2.2.2.3 | Zusatzstoffe | 7 |
| 2.2.2.4 | Fasern | 7 |
| 2.2.2.5 | Bewehrung | 8 |
| 2.2.3 | Bildung von Zementstein | 8 |
| 2.2.4 | Die Entwicklung des Porenraums | 12 |
| 2.2.5 | Betonkorrosion | 14 |
| 2.2.5.1 | Chemische Angriffe | 14 |
| 2.2.5.2 | Physikalische Angriffe | 15 |
| 2.2.5.3 | Biologische Angriffe | 15 |
| 2.2.6 | Stahlkorrosion | 16 |
| 2.3 | Feuchtigkeit | 18 |
| 2.3.1 | Einleitung | 18 |
| 2.3.2 | Bindungsarten | 19 |
| 2.3.3 | Maß der Feuchte | 21 |
| 2.3.4 | Speicher- und Transportmechanismen in Beton | 22 |
| 2.3.5 | Dielektrische Eigenschaften | 26 |
| 2.4 | pH-Wert | 27 |
| 2.4.1 | Grundlagen | 27 |
| 2.4.2 | Carbonatisierung | 28 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5 | Chlorideintrag in Stahlbetonbauwerke | 29 |
| 2.5.1 | Grundlagen | 29 |
| 2.5.1.1 | Externe Chloridquellen | 30 |
| 2.5.1.2 | Transport- und Bindungsvorgänge | 30 |
| 2.5.2 | Auswirkungen hoher Chloridkonzentrationen | 31 |
| 2.6 | Konsequenzen für Bauwerkssensoren | 33 |
| 2.6.1 | Messung relativer Feuchte | 33 |
| 2.6.2 | Messung des pH-Werts | 35 |
| 2.6.3 | Messung des Chloridgehalts | 35 |
| 3 | Aktuelle Maßnahmen der Bauwerksüberwachung | 37 |
| 3.1 | Messsysteme | 37 |
| 3.1.1 | Feuchte | 37 |
| 3.1.1.1 | Dielektrische Verfahren | 38 |
| 3.1.1.2 | Optische Verfahren | 40 |
| 3.1.1.3 | Alternative Verfahren | 40 |
| 3.1.2 | Chlorid | 41 |
| 3.1.3 | pH-Wert | 42 |
| 3.2 | Faseroptische Sensoren | 42 |
| 3.2.1 | Grundlagen der Faseroptik | 42 |
| 3.2.1.1 | Optik (Licht/Farbigkeit) | 42 |
| 3.2.1.2 | Glasfasern | 44 |
| 3.2.1.3 | Messtechnik | 46 |
| 3.2.2 | Aufbau und Funktion | 47 |
| 3.2.3 | Sensormaterialien | 49 |
| 3.2.3.1 | Material zur Bestimmung der relativen Feuchte | 50 |
| 3.2.3.2 | Material zur Bestimmung des pH-Werts | 57 |
| 3.2.3.3 | Material zur Bestimmung der Chloridkonzentration | 60 |
| 3.3 | Bauwerksüberwachung im Denkmalschutz | 63 |
| 3.3.1 | Motivation | 63 |
| 3.3.2 | Faseroptische Sensoren in der Fatimakirche (Kassel) | 64 |
| 3.3.3 | Zusammenfassung | 74 |
| 4 | Elektrooptisches Sensorsystem | 75 |
| 4.1 | Sensoraufbau | 75 |
| 4.2 | Das MORES-Modul | 76 |
| 4.2.1 | Emitter | 78 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.1.1 | Feuchtesensoren | 79 |
| 4.2.1.2 | pH-Sensoren | 82 |
| 4.2.1.3 | Chloridsensoren | 83 |
| 4.2.1.4 | Abstrahlung der Emittter | 84 |
| 4.2.1.5 | Zusammenfassung | 85 |
| 4.2.2 | Reflektoren | 85 |
| 4.2.3 | Kalibrationsdioden | 91 |
| 4.2.3.1 | Referenzdiode | 91 |
| 4.2.3.2 | Die Temperaturdiode | 92 |
| 4.3 | Elektronik | 93 |
| 4.4 | Messdatenerfassung | 95 |
| 4.5 | Sensor | 96 |
| 4.5.1 | Auswertung | 96 |
| 5 | Diskussion der Ergebnisse und Ausblick | 100 |
| 5.1 | Elektrooptische Sensoren | 100 |
| 5.1.1 | pH-Wert-Messung | 100 |
| 5.1.2 | Relative Feuchte | 102 |
| 5.1.3 | Chlorid | 106 |
| 5.1.4 | Temperaturabhängigkeit | 108 |
| 5.1.5 | Übersprechen | 110 |
| 5.1.6 | Zusammenfassung | 113 |
| 5.2 | Faseroptische Sensoren | 115 |
| 5.3 | Vergleich von faseroptischen und elektrooptischen Sensoren | 117 |
| 5.3.1 | Feuchtigkeitsmessungen | 117 |
| 5.3.2 | pH-Wert-Messungen | 117 |
| 5.3.3 | Schnelltest für Chlorid | 118 |
| 5.4 | Ausblick für elektrooptische Sensoren in der Bauwerksüberwachung | 119 |
| 5.4.1 | Verwendung in einem autarken Messsystem | 119 |
| 5.4.2 | Konzept | 120 |
| 5.4.3 | Literatur | 121 |
| 5.4.3.1 | Energiespeicher | 121 |
| 5.4.3.2 | Energiequellen | 122 |
| 5.4.3.3 | Weitere Komponenten | 126 |
| 5.4.4 | Fazit | 127 |
| | Literaturverzeichnis | 135 |