

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 Emitter	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