

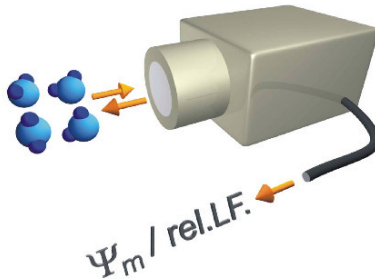


Thorsten Sokoll (Autor)

Mikrowellensysteme für die in-situ-Feuchtemessung zur Bauwerksüberwachung

Thorsten Sokoll

Mikrowellensysteme für die
in-situ-Feuchtemessung
zur Bauwerksüberwachung



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1205>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Bauwerksbestand	1
1.2	Bauwerksüberwachung	2
1.3	Ziel und Gliederung der Arbeit	4
2	Grundlagen	7
2.1	Aquametrie	7
2.1.1	Direkte und indirekte Aquametrie	7
2.1.2	Mikrowellen-Aquametrie	8
2.1.3	Eigenschaften von Wasser	10
2.2	Die Messumgebung	11
2.2.1	Zementherstellung	11
2.2.2	Die Hydratation des Zementes	12
2.2.2.1	Chemische und thermische Bedingungen	12
2.2.2.2	Hydratationsprodukte und Porosität	14
2.2.3	Die Eigenschaften von Beton	17
2.2.4	Feuchte im Beton	18
2.2.4.1	Kennwerte zur Quantifizierung der Feuchte	18
2.2.4.2	Arten der Wasserbindung	18
2.2.4.3	Relevante Feuchtebereiche	21
2.3	Anforderungen an in-situ-Feuchtemesssysteme	23
3	Sensoren	25
3.1	Klassifikation von Sensoren	25
3.2	Vorarbeiten und Stand der Technik	27
3.3	Notwendige Optimierungen	30
3.4	Galvanisch angekoppelter Helixresonator	31
3.5	Spiralresonator	33
3.6	Planare Resonatoren	34
3.6.1	Galvanisch angekoppelte Resonatoren	34

3.6.2	Kapazitiv angekoppelte Resonatoren	38
3.7	Abschließende Betrachtungen zu den Sensortypen	40
3.8	Das sensitive Material	41
3.8.1	Auswahl des sensitiven Materials	41
3.8.2	Poröse Keramiken	43
3.8.2.1	Theoretische Betrachtungen	43
3.8.2.2	Herstellung poröser Al_2O_3 -Keramiken	46
3.8.2.3	Einfluss der Korngröße	48
3.8.2.4	Einstellen der Porosität	49
3.8.2.5	Hysterese	49
4	Auswerteeinheiten und Messsysteme	53
4.1	Netzwerkanalysatoren	53
4.1.1	Stand der Technik	54
4.1.2	Eigene Vorarbeiten	54
4.1.3	Aufbau des kompakten vektoriellen Netzwerkanalysators	55
4.1.3.1	Die Steuereinheit	56
4.1.3.2	Die Hochfrequenzquelle	56
4.1.3.3	Der Richtkoppler	56
4.1.3.4	Der Detektor	61
4.1.3.5	Fehlerkorrektur mittels eines internen Kalibriernetzwerkes	62
4.1.3.6	Kompakter Ein-Tor-Vektornetzwerkanalysator	67
4.1.3.7	Integriertes Messsystem	73
4.2	Selbstoszillierende Messsysteme	74
4.2.1	Stand der Technik	75
4.2.2	Der aktive Sensor	75
4.2.2.1	Die Anschlag- und Oszillationsbedingung	76
4.2.2.2	Oszillatorschaltung	77
4.2.2.3	Kleinsignalanalyse	77
4.2.2.4	Großsignalanalyse	78
4.2.2.5	Realisierung	82
4.2.2.6	Messtechnische Charakterisierung	82
4.2.3	Frequenzmesser	84
4.2.3.1	Konzept und Schaltungstechnik des Frequenzzählers	85
4.2.3.2	Konzept und Schaltungstechnik des Frequenzkomparators	87
4.2.3.3	Die automatisierte Messanordnung	88

4.2.3.4	Messtechnische Charakterisierung des Frequenzzählers	89
4.2.3.5	Messtechnische Charakterisierung des Frequenzkomparators . . .	91
4.2.3.6	Vergleich der Frequenzmesser	95
4.2.4	Integration des aktiven Sensors und des Frequenzmessers	96
4.2.4.1	Messgenauigkeit des selbstoszillierenden Messsystems	97
4.2.4.2	Temperaturabhängigkeiten	98
4.3	Vergleich der integrierten Messsysteme	100
5	Feuchtemessungen in Beton	103
5.1	Leitfähigkeitsinduzierte Querempfindlichkeit	103
5.2	Feuchtekalibrierung	104
5.2.1	Gravimetrische Kalibrierung	104
5.2.2	Kalibrierung über die relative Luftfeuchte	105
5.2.3	Fehler bei der Bestimmung der relativen Luftfeuchte	107
5.3	Messungen unter bauwerksüblichen Bedingungen	108
5.3.1	Messbedingungen	108
5.3.2	Messungen in Zementleim	109
5.3.3	Messungen in Beton	112
5.3.4	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	114
	Zusammenfassung und Ausblick	117
	Zusammenfassung	117
	Ausblick	119
A	Optimierung der Sensorabmessungen	121
A.1	Grenzfrequenz	121
A.2	Optimierung der Hohlleiterlänge	122
B	NTC-basierter Temperatursensor	125
C	Messsysteme mit Funkanbindung	127
	Literaturverzeichnis	128
	Lebenslauf	139