

# Die Mikrowelle als Sensor | Untersuchung des Trocknungsverhaltens von Estrichen

Dipl.-Ing. (FH) André Dollase M. Sc.<sup>1</sup>, Prof. Dr.-Ing. Lutz Nietner,  
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Möller<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Hochbau, Baukonstruktion und Bauphysik (IHBB)

## IHBB

### FUNKTIONSWEISE DER SENSOREN

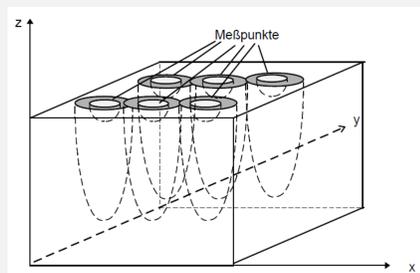
Die Mikrowellenmesstechnik gehört zu den dielektrischen Messverfahren. Diese Verfahren nutzen die herausragenden dielektrischen Eigenschaften des Wassers. Wasser ist ein polares Molekül, das heißt die Ladungsschwerpunkte fallen innerhalb des Moleküls örtlich nicht zusammen. Aus diesem Grund richtet sich das Wassermolekül in einem von außen angelegten Feld in einer Vorzugsrichtung aus, es ist polarisierbar. Wird ein elektromagnetisches Wechselfeld angelegt, dann beginnen die Moleküle mit der Frequenz des Feldes zu rotieren. Ausgedrückt wird die Polariserbarkeit der Moleküle mit der sogenannten relativen Dielektrizitätszahl DK.

Der dielektrische Effekt ist bei Wasser so stark ausgeprägt, dass die relative DK etwa 80 beträgt. Die relative DK der meisten Baustoffe ist wesentlich kleiner, sie liegt im Bereich 2 bis 10.

Gemessen wird der Unterschied zwischen der relativen DK von Wasser und der der Baustoffe. Wegen des großen Unterschiedes zwischen diesen Werten lassen sich auch kleine Wassermengen gut detektieren.

Das Verfahren basiert dabei auf dem Reflexionsprinzip. Das heißt, es werden zum einen die hineinlaufende und zu anderen die vom Material reflektierte Mikrowelle gemessen. Die Differenz aus beiden bildet den sogenannten Feuchteindex. Je feuchter ein Material ist, umso höher ist der Feuchteindex.

Abhängig vom Sensoraufbau können dabei verschiedene Messtiefen erreicht werden. Für bautechnische Anwendungen stehen Sensoren mit 30 bis 300 mm Eindringtiefe zur Verfügung. Die folgende Abbildung verdeutlicht die unterschiedlichen Messvolumen der Sensoren.



### LABORUNTERSUCHUNGEN

An Probekörpern mit einer Fläche von 20x20 cm<sup>2</sup> und Dicken von 50 & 70 mm, welche fünfseitig versiegelt waren, wurde das Trocknungsverhalten eines Zementestrichs untersucht. Dabei sollte der Trocknungsprozess bis zum Erreichen der sogenannten Belegereife untersucht werden. Für die Untersuchungen wurde eine handelsübliche Fertigmischung, welche nach Herstellerangaben angemischt wurde, verwendet.

Das Trocknungsverhalten wurde in vergleichenden Untersuchungen von Mikrowellenverfahren, CM- und Darr-Methode erfasst. Die Darr-Methode diente dabei als Referenzverfahren für die dielektrische Feuchtemessung. Die Lagerung der Probekörper erfolgte bei einem konstanten Klima von 22±2°C und 50±5 % relativer Luftfeuchte.

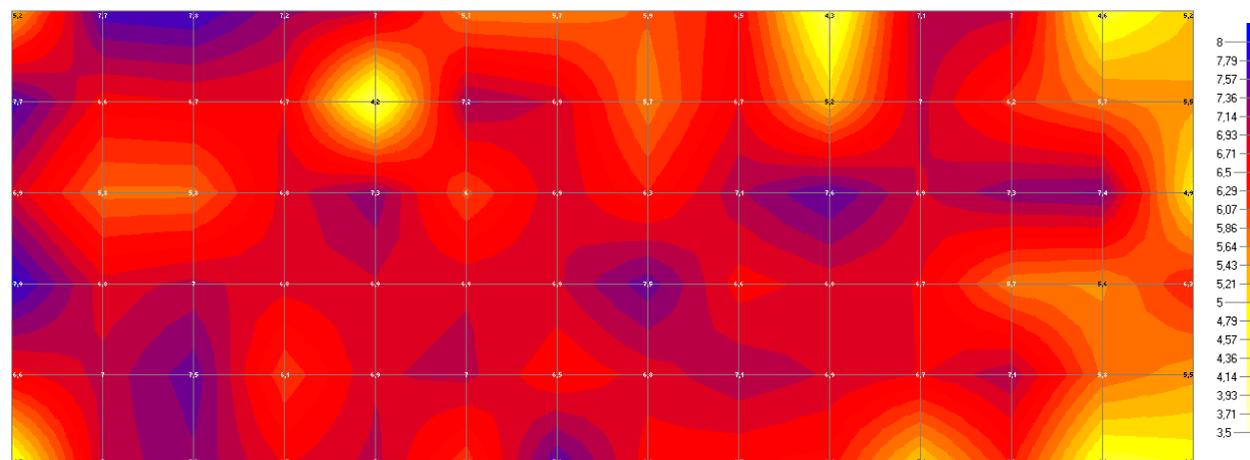
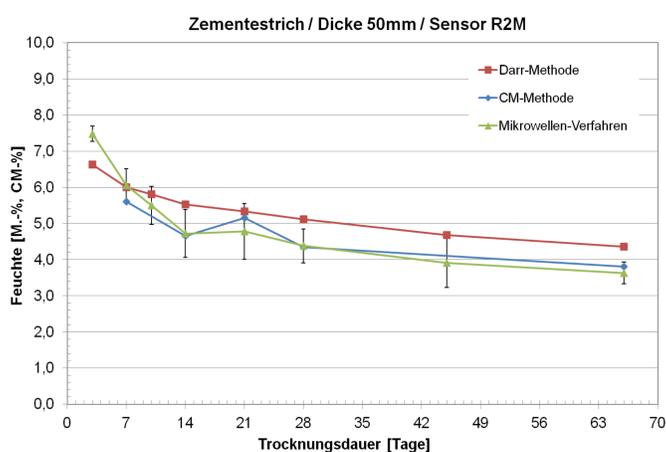
Die Trocknung der Estrichproben wurde über einen Zeitraum von insgesamt 66 Tagen messtechnisch erfasst, wobei zwei verschiedene Mikrowellensensoren R1M (bis 30 mm) und R2M (bis 50 mm Eindringtiefen) zum Einsatz kamen. Das Messintervall wurde dem zu erwartenden Trocknungsprozess angepasst.

### PRAXISEINSATZ

Eingesetzt wurde die Sensortechnik im Weiteren unter Praxisbedingungen. An einem Zementestrich mit einer Dicke von 50 mm erfolgte ebenfalls eine Untersuchung des Trocknungsverhaltens, wobei keine vergleichenden Untersuchungen durchgeführt wurden, sondern in einem Messintervall von 7 Tagen der Feuchtezustand des Estrichs mittels des dielektrischen Verfahrens ermittelt wurde. Nach einer Trocknungszeit von 41 Tagen wurde zerstörungsfrei die feuchteste Messstelle detektiert und mit der CM-Methode verglichen.

Zur Auswertung und zur Visualisierung der Messungen wurde eine spezielle Software genutzt. Dazu war es notwendig vor der eigentlichen Messung ein Messraster festzulegen. Die zu untersuchenden 3 Räume, mit Größen zwischen 3 & 15 m<sup>2</sup>, wurden in ein gleichmäßiges Raster von 35 cm eingeteilt.

Die klimatischen Trocknungsbedingungen wurden während der gesamten Versuchszeit aufgezeichnet und betragen im Mittel 14±5°C und 60±5 % relativer Luftfeuchte.



### 1 KORRELATION DER PRÜFMETHODEN

### 2 RASTERFEUCHTEMESSUNG NACH 14 TAGEN TROCKNUNG [M.-%]

### ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen an Kleinprobekörpern zeigten, dass die mittels der Mikrowellentechnik ermittelten Probekörperfeuchten eine gute Korrelation mit den gemessenen CM-Feuchten zeigten. Gleichzeitig konnte eine geringe Prüfstreuung von im Mittel ±0,6 M.-% für den Sensor R2M festgestellt werden. Die Differenz von der CM-Feuchte zur Darr-Feuchte von ca. 1 bis 1,5 M.-% bestätigt die Ergebnisse aus vorangegangenen Untersuchungen anderer Autoren.

Aus den getätigten Untersuchungen konnten aber auch Einflussfaktoren auf die Mikrowellenmesstechnik

herausgearbeitet werden. So besitzt die innere Struktur des Estrichs einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Feuchtemessung. Proben, welche mit verschiedenen Konsistenzen aber sonst gleichen Zusammensetzung hergestellt wurden, zeigten für gleiche Trocknungszustände mitunter deutlich andere Feuchtwerte. Gleichzeitig hat der Hydratationsprozess, da dieser eine innere Trocknung der Probe bewirkt, Auswirkungen auf den Feuchtezustand. Des Weiteren zeigte der Sensor R1M eine hohe Prüfstreuung, was vermutlich am Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit liegt.

Die Praxisuntersuchung bestätigte zum großen Teil die im Labor ermittelten Ergebnisse. Es konnte erneut eine gute Korrelation der Feuchtwerte des R2M Sensors mit den CM-Feuchten ermittelt werden. Das Trocknungsverhalten ist somit grundsätzlich zerstörungsfrei, mittels des Mikrowellenverfahrens, nachvollziehbar. Die Änderung des Feuchtezustandes mit der Zeit zeigt für alle Verfahren einen sehr ähnlichen Trocknungsverlauf. Es müssen jedoch die genannten Einflussfaktoren auf die Messung kompensiert werden. Dazu soll in einem nächsten Schritt die Kalibrierung der Sensortechnik verbessert

werden. Mit Hilfe sogenannter multivariater Analysemethoden, wobei die aufgenommenen Messspektren genauer ausgewertet werden, sollen die Einflussfaktoren minimiert werden. Gleichzeitig ist eine Anwendung der Mikrowellenmesstechnik zur Untersuchung des Hydratationsprozesses von Beton angedacht. Aus den Untersuchungen und einer umfassenden Literaturrecherche stellte sich heraus, dass das Mikrowellenverfahren nur das freie- und physikalisch gebundene Wasser erreicht. Das chemisch gebundene und zur Festigkeitsentwicklung genutzte Wasser könnte somit detektiert werden.

