

# Mobile Mikrowellenscanner – eine neue Ära der Bauwerksdiagnose

In der Bauzustandsanalyse, bei der Sanierung der Altbausubstanz und bei der Bauwerksdiagnose ist die Feuchte eine wichtige Messgröße. Grundvoraussetzung für die fachgerechte Sanierung von Feuchteschäden in Bauobjekten ist eine fundierte Feuchtediagnose. Mikrowellen-Feuchtesensoren weisen zahlreiche Vorteile auf.

Die meisten der zerstörungsfrei arbeitenden Feuchtemessverfahren unterliegen Einschränkungen, wie z. B. der Beschränkung auf die oberflächlichen Schichten eines Messobjekts oder der Verfälschung durch Salze. Oft wird deshalb nach wie vor auf die konventionellen, zerstörenden Messverfahren zurückgegriffen. Allen Verfahren zur Feuchtemessung ist gemeinsam, dass sie nur punktuell angewendet werden und daher auch keine repräsentativen Aussagen für den Feuchtehaushalt des Gesamtobjekts liefern.

Mikrowellen-Feuchtemessverfahren gehören zu den dielektrischen Messverfahren und sind seit ca. zehn Jahren in Form kommerzieller Geräte verfügbar. Sie weisen eine ganze Reihe von Vorteilen auf: So gestattet die Verwendung von Antennen auch die Aufnahme von Feuchtwerten aus dem Kern von Bauobjekten, wodurch zugleich auch das Ankopplungsproblem entschärft wird. Die Kombination von Sensoren mit reiner Oberflächenwirkung und solchen mit zusätzlicher Tiefenwirkung gestattet eine grobe Tiefenaufklärung und damit die Erfassung der Richtung von Feuchtetransportvorgängen. Prinzipbedingt arbeiten Mikrowellen-Feuchtemessungen versalzungsunabhängig. Rasterfeuchtemessungen gestatten die zerstörungsfreie Aufnahme von Feuchteverteilungen und liefern damit hochgradig repräsentative Ergebnisse.

In den letzten zehn Jahren hat sich gerade die Aufnahme und Visualisierung von Feuchteverteilungen als äußerst wertvolles Hilfsmittel für die Beurteilung von Feuchteschäden erwiesen. Sie war erstmalig mit der Praxiseinführung des mikrowellenbasierten MOIST-Systems von Handgeräten zur Feuchtemessung durchgängig möglich. Bei verschiedenen Anwendungen, wie z. B. auf großen Flächen, zeigte sich jedoch, dass die manuelle Aufnahme von Feuchtwerten Grenzen unterliegt, für die der Einsatz einer weiterentwickelten Technik wünschenswert ist. Diese sollte in der Lage sein, auch Messungen auf großen Flächen so zu unterstützen, dass sie mit vertretbarem Zeitaufwand durchführbar sind. Wenn möglich, sollte auch die Ortsauflösung der Messungen gesteigert werden, um so auch kleine Details besser erfassen zu können. Der neue Mobilscanner MOIST SCAN auf Mikrowellenbasis ermöglicht Rasterfeuchtemessungen auch auf großen Flächen mit bisher unerreichter Ortsauflösung.

## Grundlagen der Mikrowellen-Feuchtemesstechnik

Mikrowellen-Feuchtemessverfahren gehören zu den dielektrischen Messverfahren, die auf den herausragenden dielektrischen Eigenschaften des Wassers beruhen. Die relative Dielektrizitätskonstante (DK) von Wasser beträgt ca. 80, die relative DK der meisten Feststoffe, darunter

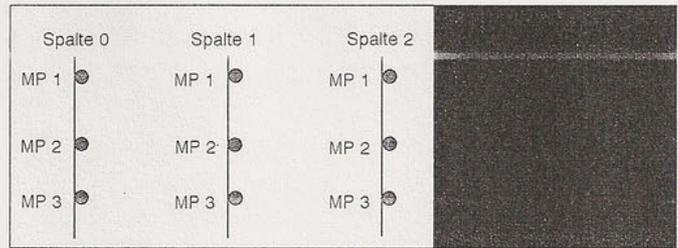


Bild 1. Prinzip der Rasterfeuchtemessung

auch der Baustoffe, ist wesentlich kleiner, sie liegt vorzugsweise zwischen 3 und 6. Im Mikrowellenbereich kommen zur ausgeprägten Polarisierbarkeit der Wassermoleküle noch dielektrische Verluste, die aus den starken Bindungen der Wassermoleküle untereinander resultieren. Auf dieser Grundlage lassen sich auch kleine Wassermengen gut detektieren.

Weiterhin lassen sich bei Mikrowellen-Frequenzen bereits recht gut bündelnde Antennen bauen. Wegen der Richtwirkung der Antennen können Eindringtiefen im Dezimeter-Bereich erzielt werden, so dass echte Volummessungen möglich sind. Derartige mit Antennen ausgeführte Volummessungen können mit Oberflächenmessungen auf der Grundlage von z. B. offenen Resonatoren kombiniert werden. Aus diesem Grund sind mit Mikrowellen-Anordnungen zerstörungsfrei Feuchtemessungen in verschiedenen Schichten eines Bauobjekts möglich.

## Rasterfeuchtemessungen

Im Verlauf der praktischen Arbeit mit Mikrowellen-Feuchtesensoren stellte sich schnell heraus, dass Einzelmessungen an ausgewählten Punkten von Bauobjekten nicht repräsentativ für den Feuchtezustand des Gesamtobjekts sind. Aus diesem Grund wurde die Messmethodik zum Rasterfeuchtemessverfahren für die Aufnahme von Feuchteverteilungen weiterentwickelt, bei dem die Messwerte nacheinander in Spalten aufgenommen werden. Die Rastermessung sichert durch die große Anzahl von Mess-

**MOIST SCAN**

**Mikrowellenscanner**  
**Eine neue Ära der Bauwerksdiagnose**  
**Mehrere Tiefenschichten**  
**in einem Scan. Mobil, schnell, zuverlässig.**

hf sensor GmbH | Telefon 0341-497260 | sales@hf-sensor.de

Tabelle 1. Applikatortypen und Größenordnungen ihrer Wechselwirkungsgeometrie

| Sensortyp                          | Ortsauflösung | Feldreichweite | Messvolumen                |
|------------------------------------|---------------|----------------|----------------------------|
| Streu Feld linear (Leitungen)      | mm            | mm             | einige mm <sup>3</sup>     |
| Streu Feld linear (Resonatoren)    | mm            | cm             | bis einige cm <sup>3</sup> |
| Streu Feld rotations-symmetrisch   | cm            | cm             | bis 100 cm <sup>3</sup>    |
| Strahlungsfeld planar, ungebündelt | cm            | dm             | bis 10 l                   |
| Strahlungsfeld planar, gebündelt   | cm            | dm bis m       | bis 200 l                  |

werten das Ergebnis statistisch ab. Rasterfeuchtemessungen sind wesentlich repräsentativer und aussagefähiger als einzelne zerstörende Messungen, selbst wenn diese an einzelnen Messpunkten genauere Ergebnisse liefern. Rasterfeuchtemessungen liefern aber auch anschauliche Feuchteverteilungen, die sehr gut den Feuchtestatus von Bauobjekten erkennen lassen.

Mikrowellensensoren lassen sich mit verschiedenen Feldgeometrien ausführen (Tabelle 1), die mit unterschiedlichen Mikrowellenanordnungen korrespondieren. Diese fanden Eingang in Mikrowellensensoren für verschiedene Schichten. Damit lässt sich das Schichtenkonzept weiter verfeinern. So wird eine deutlich bessere Tiefenraasterung möglich. Derzeit sind Sensoren für Schichttiefen bis 3 cm, 6 cm, 10 cm, 25 cm und bis 80 cm verfügbar. So kann eine Tiefenstufung in insgesamt 5 Einzelstufen erfolgen, wovon sich 4 im Bereich der üblicherweise am Bau benötigten Eindringtiefen bewegen.

**Mikrowellenscanner**

Die Aufnahme von Rasterfeuchtemessungen ist eine seit zehn Jahren bekannte Technik für die Beurteilung des Feuchtestatus von Bauobjekten. Durch die Automatisierung der Messwertaufnahme in Abhängigkeit vom Messort erfährt sie eine erhebliche Erweiterung besonders für Messungen an großen Flächen oder mit hoher Ortsauflösung. Für solche Anwendungen wird der Mikrowellen-Mobilscanner MOIST SCAN im Sinne einer mehrdimensional arbeitenden Mikrowellenkamera benutzt. Er enthält als Basisplattform ein Geräteträgermodul, das Feuchtesensoren verschiedener Eindringtiefen gleichzeitig fassen kann, sowie geeignete Sensoren zur Positionsbestimmung. In Vorbereitung der Mikrowellenscans können bis zu drei Feuchtesensoren am Scanner montiert werden.

Für die schnelle Ausführung von Mikrowellenscans wurden neue Feuchtesonden gleicher Wechselwirkungstiefe wie die des MOIST-Systems entwickelt, die sehr hohe Messraten aufweisen und so auch bei Bewegung des Scanners eine gute Ortsauflösung ermöglichen. Als Feuchtesensoren können auch die bekannten Feuchtesensoren des MOIS-Systems eingesetzt werden. Deren Nutzung un-

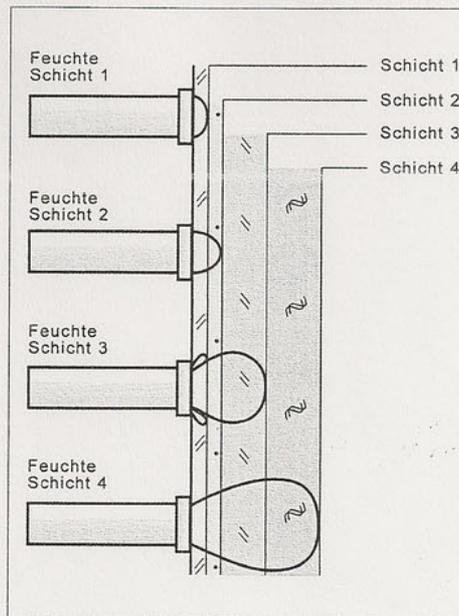


Bild 2. Tiefenwirkung verschiedener Mikrowellen-Feuchtesensoren

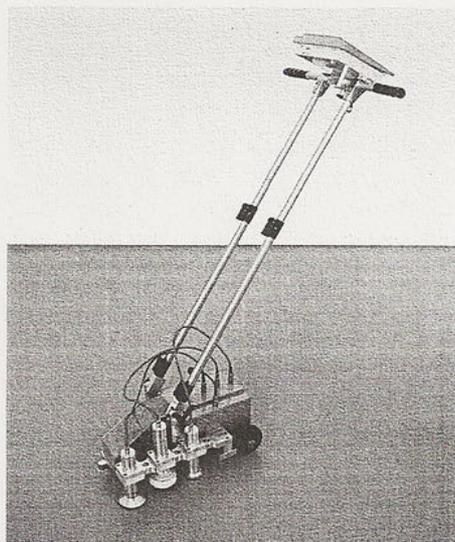


Bild 3. Mikrowellenscanner MOIST SCAN

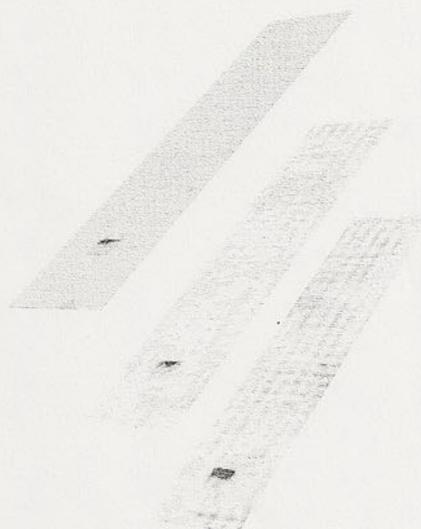


Bild 4. Mikrowellenscans aus verschiedenen Schichten (Bilder: hf sensor)

terliegt jedoch gewissen Einschränkungen wie niedrigerer Messgeschwindigkeit, da sie für den Betrieb an Handgeräten optimiert sind und nicht für kontinuierliche Messungen. Die Visualisierung und Vorauswertung der Messdaten erfolgt an einer im Mobilscanner untergebrachten Steuereinheit mit Touchpanel und Menüführung. Hierdurch gestaltet sich die Bedienung des Scanners sehr einfach.

Zur Ausführung des Scanvorgangs wird nach der Eingabe der gewünschten Ortsauflösung, des Startpunktes und der Scanrichtung und dem Starten im Display der Scanner einfach spalten- oder zeilenweise über die zu messende Fläche gefahren. Die Verfahrensgeschwindigkeit spielt dabei keine Rolle, sie kann bis zu etwa 1 m/s betragen – das entspricht 3,6 km/h oder einem sehr schnell geschobenen Rasenmäher. Die Messung ist damit sehr schnell ausführbar. Die Ortsauflösung kann vorab zwischen 5 cm und 200 cm gewählt werden. Die hohe Ortsauflösung hat wesentliche Vorteile. Strukturen und Details lassen sich wesentlich feiner auflösen. Ausreißer treten deutlicher hervor oder können besser unterdrückt werden. Auch Strukturgrenzen im Baustoff lassen sich dank der höheren Ortsauflösung besser identifizieren. Die Qualität der Feuchteaussage ist gegenüber der von (zerstörenden) Einzelmessungen um Größenordnungen besser.

Die Maximalgröße eines Scans ist derzeit auf 1 MVOxel festgelegt, dies entspricht z. B. der Größe eines Fußballfeldes, gemessen mit einer Ortsauflösung von 10 cm. Die gescannte Fläche ist zunächst immer rechteckförmig, kann aber auch Aussparungen oder Hindernisse enthalten. Entsprechende Korrekturen können bereits am Scanner durchgeführt werden. Die Darstellung am Scanner ist nach dem Ende des Scans oder in einer Messpause in den einzelnen Schichten möglich. Somit ist eine Erstauswertung der aufgenommenen Scans bereits am Messort möglich.

Der Mobilscanner verarbeitet die Messdaten aller angeschlossenen Mikrowellensonden in Echtzeit. Ebenso sind Schnittstellen zu dem nachgelagerten Softwaremodul MOIST SCANALYZE zur Weiterverarbeitung vorgesehen. Dieses Modul überführt die Daten in die angestrebte mehrdimensionale Darstellung. Mit der Filterung der aufgenommenen Rohdaten mit verschiedenen Ortsfiltern lassen sich bestimmte Strukturen wie z. B. regelmäßige Störungen, die durch den konstruktiven Aufbau bedingt sind (z. B. wassergefüllte Rohre von Fußbodenheizungen), unterdrücken oder auch hervorheben. Die entstehenden Schichtenscans lassen bereits direkt nach der Messwertaufnahme Aussagen zur Ableitung der Tiefenverteilung der Feuchte zu.

## Anwendungen

Anwendungen ergeben sich dort, wo große Flächen oder Gebiete zu untersuchen sind. Dies können alle Arten von Betonbauwerken im Hochbau sein. Einsatzmöglichkeiten ergeben sich auch an Straßen, Brücken oder Tunneln. Bei solchen Messaufgaben kommen schnell einige tausend Messpunkte zusammen. Die Vielzahl der aufzunehmenden Messpunkte erhöht die Messzeit ganz beträchtlich oder führte aus Wirtschaftlichkeitsgründen bisher zu einer geringeren als der wünschenswerten Ortsauflösung.

Mit MOIST SCAN steht ein Instrument zur Verfügung, mit dem die Aufnahme von Feuchteverteilungen auf großen Betonflächen sehr viel einfacher möglich ist. Da im Scanner mehrere Mikrowellensonden gleichzeitig betrieben werden können, ergibt ein einziger Scan bereits Informationen aus mehreren Tiefenschichten. Diese können nach Aufnahme der Messung schon am Scanner, also auf der Baustelle, visualisiert werden. Somit stehen unmittelbar nach der Messung wichtige Informationen zu Aufbau und Feuchteverteilung des untersuchten Betonkörpers zur Verfügung.

Die mittlerweile verfügbaren Erfahrungen bei der Messung von Stahlbeton führen zu der Erkenntnis, dass Mikrowellenscans mit MOIST SCAN für die Aufnahme von Feuchteverteilungen in großen Betonbauwerken optimal sind. Die entstehenden Bilder ermöglichen eine eindeutige Klassifizierung der darin enthaltenen Abbilder der Feuchte bzw. anderer Störungen des Untergrunds. Ein anderes Anwendungsgebiet sind Dachaufbauten, vorrangig Flachdächer. Für das Bedachungshandwerk hat sich die Aufnahme von Feuchteverteilungen immer wieder als hervorragend geeignetes Instrument zur Beurteilung des Feuchtestatus erwiesen. Sie liefert dem Dachdecker anschauliche Bilder der Feuchteverteilung im Inneren von Dachaufbauten, in denen die gesuchte Information nicht nur in der absoluten Höhe der Werte, sondern auch in deren Struktur enthalten ist.

Mühsam war bisher die Aufnahme von Feuchteverteilungen auf großen Flachdächern mit Tausenden von Quadratmetern Fläche. Mittels Mikrowellenscan lassen sich auch solche Dachflächen schnell aufnehmen und deren Feuchteverteilung visualisieren. Somit stehen bereits vor Ort wichtige Informationen zu Feuchteschäden und eventuellen Wasserwegen im untersuchten Dach zur Verfügung.

MOIST SCAN ist kompakt aufgebaut und lässt sich leicht aufs Dach transportieren. Für die Durchführung der Messung sind keinerlei Vorbereitungen am Dach wie Bewässerung oder Kabelverlegung nötig. Die Messpraxis hat gezeigt, dass sich anhand der entstehenden Bilder eine eindeutige Beurteilung des Schädigungsgrades des Dachaufbaus und eventueller Wasserwege realisieren lässt.

## Zusammenfassung

MOIST SCAN ist ein neues, sehr leistungsfähiges Instrument zur schnellen Aufnahme von Feuchteverteilungen an Bauobjekten. Dank der hohen Ortsauflösung und Messgeschwindigkeit sind Feuchtemessungen in ganz neuer Qualität möglich. MOIST SCAN arbeitet vergleichbar einer mehrdimensionalen Mikrowellenkamera und erfasst Feuchteinformationen aus mehreren Schichten. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung zur zerstörungsfreien Aufnahme der inneren Struktur von Bauobjekten geschaffen.

Weitere Informationen:

hf sensor GmbH, Dr. Arndt Göller,  
Weißenfelsstraße 67, 04229 Leipzig,  
Tel. (0341) 49726-0, Fax (0341) 49726-22,  
sales@hf-sensor.de, www.hf-sensor.de,  
www.microwavescanner.com