



Mobiler Mikrowellenscanner MOIST SCAN – Eine neue Ära der Bauwerksdiagnose

Arndt GÖLLER, hf sensor, Leipzig

Kurzfassung. Ein großer Anteil der Schäden an Bauwerken geht auf Feuchteinflüsse zurück. Deren Ursache lässt sich mit konventionellen Methoden häufig nicht leicht oder gar nicht aufspüren.

Für die Lösung solcher Aufgabenstellungen ist der neue mobile Mikrowellenscanner MOIST SCAN hervorragend geeignet. MOIST ist ein mikrowellenbasiertes Feuchtemesssystem und verfügt über eine ganze Reihe von Vorzügen, wie z. B. Unabhängigkeit der Mikrowellenmessungen von der Versalzung, hohe erreichbare Eindringtiefen und damit große Messvolumina und schnelle Messungen.

Die Mikrowellen-Feuchtemessung beruht auf den herausragenden dielektrischen Eigenschaften des Wassers. Im Mikrowellenbereich ist dieser Effekt besonders stark ausgeprägt und wird zudem ergänzt durch die mit wachsender Frequenz ansteigenden dielektrischen Verluste. Damit haben Mikrowellen-Feuchtemessverfahren gegenüber anderen Methoden den Vorteil eines wesentlich stärker ausgeprägten Messeffekts. Als besonders aussagefähig für die Feuchtediagnose in Bauobjekten haben sich Raster-Feuchtemessungen herausgestellt. Durch die systematische Messwertaufnahme und -visualisierung in Feuchtebildern lassen sich Wassertransporte besonders anschaulich darstellen und auch in großen Flächen auffinden. Die gesuchte Information liegt dabei vor allem in den in den Feuchtebildern enthaltenen Strukturen.

Der mobile Mikrowellenscanner MOIST SCAN entstand aus der kontinuierlichen Weiterentwicklung der MOIST-Serie. Mit MOIST SCAN lassen sich Feuchteuntersuchungen auf grossen Flächen zerstörungsfrei, effizient und schnell durchführen. MOIST SCAN ermöglicht einerseits die Aufnahme sehr grosser Datenmengen von Feuchtwerten und deren bildliche Darstellung, andererseits auch eine gegenüber manuellen Messungen wesentlich höhere Ortsauflösung bis in den Zentimeterbereich. Dies führt zu deutlichen Verbesserungen in der Abbildungsqualität und damit in der Erkennbarkeit von Undichtigkeiten, Wassereintritten und Feuchteschäden. Mit einem Scan kann in mehreren Tiefenschichten gemessen werden, so dass eine Aussage über mehrere Tiefenschichten möglich wird.

MOIST SCAN öffnet eine neue Dimension in der Feuchtemessung. Erstmals können auch in größeren Bauwerken flächenhafte Untersuchungen zerstörungsfrei durchgeführt werden, die eine durchgängige Aussage zum Wasserhaushalt auch direkt vor Ort ermöglichen. Mit Hilfe von Mikrowellenscans kann Feuchtediagnose in Bauwerken besonders effektiv betrieben werden.

Einführung

In der Bauzustandsanalyse, bei der Sanierung der Altbausubstanz und bei der Bauwerksdiagnose ist die Feuchte eine wichtige Messgröße. Der Erhaltungsaufwand im Hochbau wird auf jährlich etwa 35 Mrd. EURO geschätzt [1]. Ein großer Teil hiervon entfällt auf die Beseitigung von - durch rechtzeitige Messung reduzier- und eingrenzba- - Feuchteschäden und deren Folgen.

Grundvoraussetzung für die fachgerechte Sanierung von Feuchteschäden in Bauobjekten ist daher eine fundierte Feuchtediagnose. Die meisten der zerstörungsfrei arbeitenden Feuchtemessverfahren unterliegen aber Einschränkungen, wie z. B. der Beschränkung auf die oberflächlichen Schichten eines Messobjekts oder der Verfälschung durch Salze. Dies führt dazu, dass in vielen Fällen nach wie vor auf die konventionellen, zerstörenden Messverfahren zurückgegriffen wird. Allen Verfahren zur Feuchtemessung ist gemeinsam, dass sie nur punktuell angewendet werden und daher auch keine repräsentativen Aussagen für den Feuchtehaushalt des Gesamtobjekts liefern können.

Letztendlich muss davon ausgegangen werden, dass jedes Feuchtemessverfahren mit gewissen Fehlern behaftet ist. Für die Ermittlung des Feuchtestatus von Untersuchungsobjekten ist es daher notwendig, mit fehlertoleranten Ansätzen zu arbeiten und statistische Methoden anzuwenden. Mikrowellen-Feuchtemessverfahren bieten neben vielen verfahrenstechnischen Vorzügen diesen Ansatz.

Sie gehören zur Kategorie der dielektrischen Messverfahren [2] und sind seit etwa zehn Jahren in Form kommerzieller Geräte verfügbar. Mikrowellen-Feuchtesensoren weisen eine ganze Reihe von Vorteilen auf, die die Überwindung der oben genannten Probleme ermöglichen. So gestattet die Verwendung von Antennen auch die Aufnahme von Feuchtwerten aus dem Kern von Bauobjekten, wodurch gleichzeitig auch das Ankopplungsproblem entschärft wird. Die Kombination von Sensoren mit reiner Oberflächenwirkung und solchen mit zusätzlicher Tiefenwirkung gestattet eine grobe Tiefenauflösung 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 10 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 zum einen in der Lage sein, auch Messungen auf großen Flächen so zu unterstützen, dass sie mit vertretbarem Zeitaufwand durchführbar sind; andererseits sollte, wenn möglich, auch die Ortsauflösung der Messungen gesteigert werden, um so auch kleine Details besser erfassen zu können.

Mit der Entwicklung des neuen Mobilscanners MOIST SCAN auf Mikrowellenbasis ist es gelungen, diese Aufgaben zu lösen. MOIST SCAN ermöglicht Rasterfeuchtemessungen auch auf großen Flächen mit bis dato unerreichter Ortsauflösung.

1. Grundlagen der Mikrowellen-Feuchtemesstechnik

Mikrowellen-Feuchtemessverfahren gehören zu den dielektrischen Messverfahren, die auf den herausragenden dielektrischen Eigenschaften des Wassers beruhen. Wasser ist ein polares Molekül, dessen innere Ladungsschwerpunkte örtlich nicht zusammenfallen. Wird ein elektromagnetisches Wechselfeld angelegt, dann beginnen die Moleküle mit der Frequenz des Feldes zu rotieren (Orientierungspolarisation).

Dieser Effekt wird durch die Dielektrizitätskonstante DK beschrieben, die bei Wasser besonders stark ausgeprägt ist. Die relative DK von Wasser beträgt etwa 80, die relative DK der meisten Feststoffe, darunter auch der Baustoffe, ist wesentlich kleiner, sie liegt vorzugsweise zwischen 3 und 6. Im Mikrowellenbereich kommen zur ausgeprägten Polarisierbarkeit der Wassermoleküle auch noch dielektrische Verluste dazu, die auf die

starken Bindungen der Wassermoleküle untereinander zurückzuführen sind. 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 Volumenmessungen möglich sind. Derartige mit Antennen ausgeführte Volumenmessungen 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.

Tabelle 1 Applikatorarten und Größenordnungen ihrer Wechselwirkungsgeometrie

Sensortyp	Ortsauflösung	Feldreichweite	Messvolumen
Streufeld linear (Leitungen)	mm	mm	einige mm ³
Streufeld linear (Resonatoren)	mm	cm	bis einige cm ³
Streufeld rotationssymmetrisch	cm	cm	bis 100 cm ³
Strahlungsfeld planar, ungebündelt	cm	dm	bis 10 l
Strahlungsfeld planar, gebündelt	cm	dm bis m	bis 200 l

2. Rasterfeuchtemessungen

Im Verlauf der praktischen Arbeit mit Mikrowellen-Feuchtesensoren ergab sich schnell die Erkenntnis, dass Einzelmessungen an ausgewählten Punkten von Bauobjekten nicht repräsentativ für den Feuchtezustand des Gesamtobjekts sind. Aus diesem Grund wurde die Messmethodik rasch zum Rasterfeuchtemessverfahren für die Aufnahme von Feuchteverteilungen weiterentwickelt, bei dem die Messwerte nacheinander in Spalten aufgenommen werden.

Die Rastermessung sichert einerseits durch die immer gegebene große Anzahl von Messwerten das Ergebnis statistisch ab. Rasterfeuchtemessungen sind wesentlich repräsentativer und aussagefähiger als einzelne zerstörende Messungen, selbst wenn diese an einzelnen Messpunkten genauere Ergebnisse liefern. Andererseits liefern Rasterfeuchtemessungen aber auch anschauliche Feuchteverteilungen, die sehr gut den Feuchtestatus von Bauobjekten erkennen lassen.

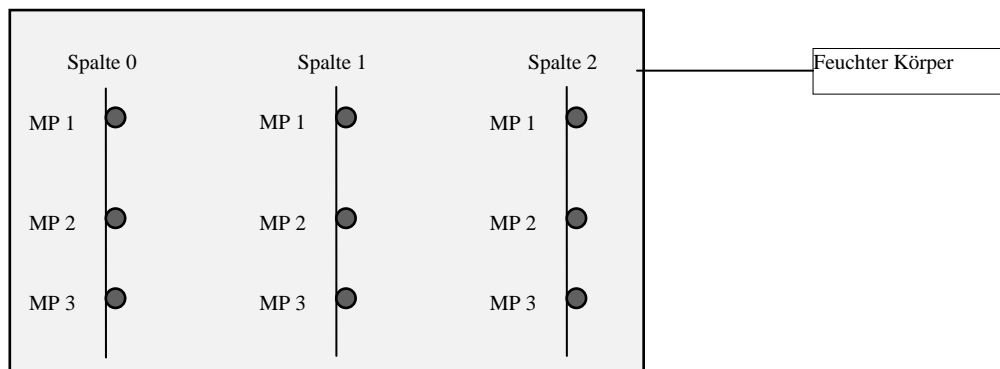


Abb. 1 Prinzip der Rasterfeuchtemessung

Mikrowellensensoren lassen sich, wie in Tab.1 ausgeführt, mit verschiedenen Feldgeometrien ausführen. Unterschiedliche Feldgeometrien korrespondieren mit unterschiedlichen Mikrowellenanordnungen. Diese Mikrowellenanordnungen fanden Eingang in Mikrowellensensoren für verschiedene Schichten. Damit lässt sich das Schichtenkonzept weiter verfeinern. Mit ihrer Hilfe wird eine deutlich bessere Tiefenrastrung 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 vorgenommen werden, wovon sich 4 im Bereich der üblicherweise am Bau benötigten Eindringtiefen bewegen.

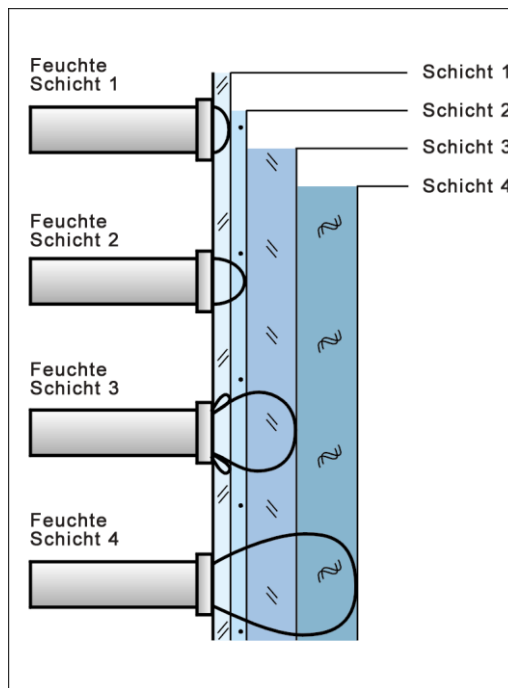


Abb. 2 Tiefenwirkung verschiedener Mikrowellenfeuchtesensoren

3. 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 dabei neue Feuchtesonden gleicher Wechselwirkungstiefe wie die des MOIST-Systems entwickelt, die sehr hohe Messraten aufweisen und somit auch bei Bewegung des Scanners eine gute Ortsauflösung ermöglichen. Als Feuchtesensoren können auch die bekannten Feuchtesensoren des MOIST-Systems eingesetzt werden. Deren Nutzung unterliegt 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.



Abb. 3 Mikrowellenscanner MOIST SCAN

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 (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.



Abb. 4 Scannen großer Flächen

Die hohe Ortsauflösung birgt wesentliche Vorteile in sich. So lassen sich Strukturen und Details 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 Feuchteausgabe 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 kann eine Erstauswertung der aufgenommenen Scans bereits am Messort vorgenommen werden.

Der Mobilscanner verarbeitet die Messdaten aller angeschlossenen Mikrowellensonden in Echtzeit. Ebenso sind Schnittstellen zu dem nachgelagerten Softwaremodul MOIST SCANALYZE zur Weiterverarbeitung vorgesehen. Dieses Softwaremodul überführt die Daten in die angestrebte mehrdimensionale Darstellung. Eine weitere Funktionalität ist die Filterung der aufgenommenen Rohdaten mit verschiedenen Ortsfiltern. Hierdurch 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.

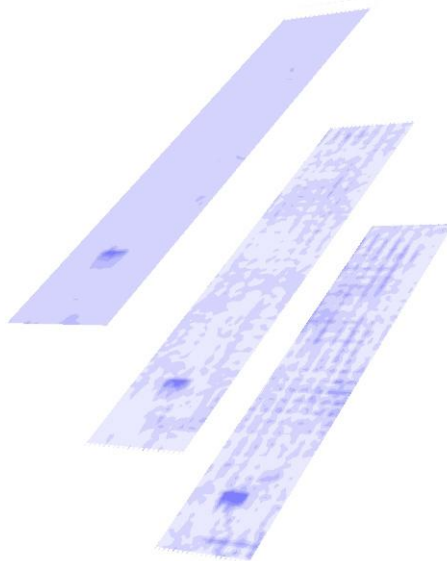


Abb. 5 Mikrowellenscans aus verschiedenen Schichten

Die entstehenden Schichtenscans lassen bereits direkt nach der Messwertaufnahme Aussagen zur Ableitung der Tiefenverteilung der Feuchte zu.

4. Anwendungen

Anwendungen ergeben sich überall 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 das Mittel der Wahl sind. Die Messpraxis hat gezeigt, dass sich anhand der entstehenden Bilder eine eindeutige Klassifizierung der darin enthaltenen Abbilder der Feuchte bzw. anderer Störungen des Untergrunds realisieren lässt.

Ein anderes Anwendungsgebiet sind Dachaufbauten und hier 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 als Ergebnis 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.

Als mühsam musste bisher die Aufnahme von Feuchteverteilungen auf großen Flachdächern mit Tausenden von Quadratmetern Fläche angesehen werden. 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.

5. 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. Die Bauwerksdiagnose wird mit MOIST SCAN auf eine neue Qualitätsstufe gehoben.

Referenzen:

- [1] Csiesilski, E. Betoninstandsetzung – quo vadis ? Bautechnik 4/2007, S. 267
- [2] Proc. 9. Feuchtetag 1997, Weimar, MFPA Weimar, 17.-18.09.97
- [3] Mikrowellenbasierte Rasterfeuchtemessung. Bautechnik 6/2007, S. 417 ff.
- [4] Schau an – Schicht für Schicht. Bautenschutz + Bausanierung 7/2007, S. 38ff.