

MOIST SCAN 200 – Feuchtescans an Bauteilen und Wänden

Arndt GÖLLER*

*hf sensor GmbH (Weißenfels Str. 67, D-04229 Leipzig, www.hf-sensor.de)

Kurzfassung. Die Aufnahme von Rasterfeuchtemessungen ist eine seit fast fünfzehn Jahren bekannte Technik für die Beurteilung des Feuchtestatus von Bauobjekten. Durch die systematische Messwertaufnahme und -visualisierung in Feuchtebildern lassen sich Wassertransporte besonders anschaulich darstellen und auch in großen Flächen auffinden.

An Wänden, auf kleinen Flächen und an Bauteilen kann die Aufnahme der Messwerte bisher trotz fortgeschrittener Gerätetechnik nur punktweise erfolgen. Dies stellt trotz schneller Einzelmessung eine erhebliche Einschränkung in Bezug auf die Messgeschwindigkeit und die wirtschaftlich erzielbare Ortsauflösung dar. Eine Automatisierung der Messwertaufnahme in Abhängigkeit vom Messort birgt hohes Verbesserungspotential und ist daher wünschenswert.

Für Messungen auf großen Flächen oder mit hoher Ortsauflösung wurde vor einigen Jahren der mobile Mikrowellenscanner MOIST SCAN entwickelt. MOIST ist ein mikrowellenbasiertes Feuchtemesssystem und verfügt über eine ganze Reihe von Vorzügen, wie z.B. besonders deutlich ausgeprägte Messeffekte wegen hoher dielektrischer Verluste im Mikrowellenbereich, Unabhängigkeit der Mikrowellenmessungen von der Versalzung, hohe erreichbare Eindringtiefen und damit große Messvolumina und schnelle Messungen.

Um die eindeutigen Vorteile dieser Technologie auch auf kleinere Bauteile und vor allem Wände übertragen zu können, wurde das MOIST-System um einen neuen Mikrowellenscanner für kleinere Geometrien ergänzt. War die Aufnahme von Messwerten bisher nur punktweise möglich, können nun auch Wände und Bauteile in Spuren abgefahren werden, wodurch sich die Geschwindigkeit der Messwertaufnahme gravierend erhöht. Mit dem neuen MOIST SCAN 200 lassen sich Feuchteuntersuchungen nunmehr auch an solchen Gebilden hochauflösend, effizient und schnell durchführen.

Einführung

Grundvoraussetzung für die fachgerechte Sanierung von Feuchteschäden in Bauobjekten ist eine fundierte Feuchtediagnose. In den letzten Jahren hat sich gerade für die Aufnahme von Feuchteverteilungen an Baukörpern die Mikrowellen-Rasterfeuchtemessung als probates und einfach handhabbares Messverfahren mit guter Aussagekraft etabliert. Mikrowellen-Feuchtemessetechnik arbeitet prinzipbedingt zerstörungsfrei, versalzungsunabhängig und erlaubt über die Nutzung von Antennenstrukturen hohe Eindringtiefen in den Baukörper. Dank der sehr hohen Messgeschwindigkeit sind Messungen im Raster möglich, die gegenüber den sonstigen punktuellen Messungen als fehlertolerant anzusehen sind und eine hohe Repräsentativität der Messungen gewährleisten.

Mikrowellen-Feuchtemessverfahren gehören zur Kategorie der dielektrischen Messverfahren [1] und sind seit etwa zehn Jahren in Form kommerzieller Geräte verfügbar. Die Kombination von Sensoren mit reiner Oberflächenwirkung und solchen mit zusätzlicher Tiefenwirkung gestattet eine grobe Tiefenauflösung und damit die Erfassung der Richtung von Feuchtetransportvorgängen.

In den letzten 10 Jahren hat sich die Aufnahme und Visualisierung von Feuchteverteilungen als äußerst wertvolles Hilfsmittel für die Beurteilung von Feuchteschäden erwiesen. 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 Mobilscanners MOIST SCAN 100 auf Mikrowellenbasis gelang es, diese Aufgaben zu lösen. MOIST SCAN ermöglicht Rasterfeuchtemessungen auch auf großen Flächen mit bis dato unerreichter Ortsauflösung. Die Messungen können dabei in mehreren Tiefenschichten aufgenommen werden. Aus diesen sogenannten Multischicht-Feuchtescans lässt sich flächenhaft der vollständige Feuchtestatus großer Bauobjekte wie Parkdecks und Parkflächen, Schwimmbädern, Mehrzweckbauten, Tiefgaragen, Industrieböden, Betonbauten, Straßen und Autobahnen, Brücken, Tunnel oder Flachdächer ableiten.

Aufgrund des konstruktiven Aufbaus des Mikrowellenscanners MOIST SCAN 100 ist dieser nur für die Feuchtemessung auf großen waagerechten Flächen geeignet. Für die Messung an aufgehenden Wänden, senkrechten Flächen und an kleineren Objekten wurde das Konzept von MOIST SCAN überarbeitet und um einen neuen, kleinen Mobilscanner mit sehr hoher Ortsauflösung ergänzt.

1. Grundlagen der Mikrowellen-Feuchtemesstechnik

Mikrowellen-Feuchtemessverfahren gehören zu den dielektrischen Messverfahren, die auf den herausragenden dielektrischen Eigenschaften des Wassers beruhen. Die relative Permittivität von Wasser beträgt etwa 80, die relative Permittivität 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.

2. Rasterfeuchtemessungen

Einzelmessungen an ausgewählten Punkten von Bauobjekten sind nicht repräsentativ für den Feuchtezustand des Gesamtobjekts. 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 ergeben Rasterfeuchtemessungen aber auch anschauliche Feuchteverteilungen, die sehr gut den Feuchtestatus von Bauobjekten erkennen lassen.

Mikrowellensensoren lassen sich mit verschiedenen Feldgeometrien ausführen. Unterschiedliche Feldgeometrien korrespondieren mit unterschiedlichen Mikrowellenanordnungen.

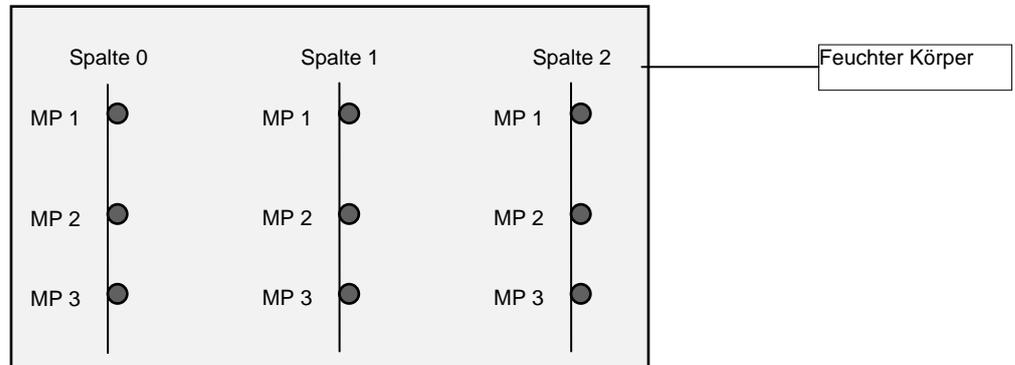


Abb. 1 Prinzip der Rasterfeuchtemessung

Diese Mikrowellenanordnungen fanden Eingang in Mikrowellensensoren für verschiedene Schichttiefen. Damit lässt sich das Konzept der Rasterfeuchtemessungen in Richtung tomografischer Untersuchungen weiter verfeinern. Mit ihrer Hilfe 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 vorgenommen werden, wovon sich 4 im Bereich der üblicherweise am Bau benötigten Eindringtiefen bewegen.

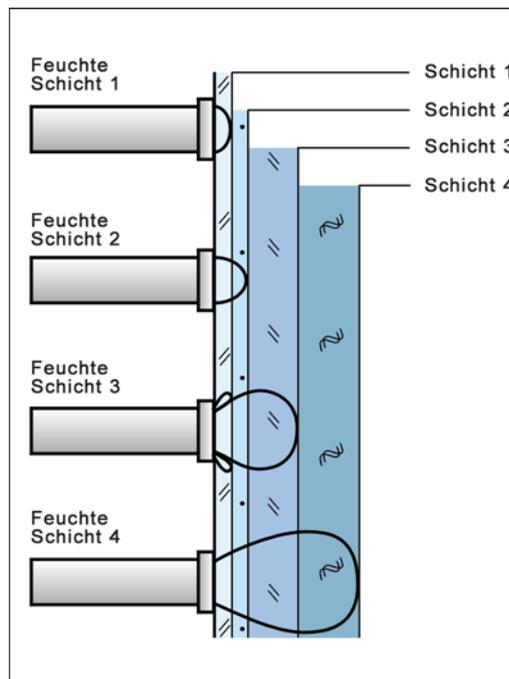


Abb. 2 Tiefenwirkung verschiedener Mikrowellenfeuchtesensoren

3. Mikrowellenscanner

Durch die Automatisierung der Messwertaufnahme in Abhängigkeit vom Messort erfährt die Aufnahme von Rasterfeuchtemessungen eine erhebliche Erweiterung nun auch für Messungen an Wänden und an kleineren Bauobjekten.

Für solche Anwendungen wurde der vorhandene Mikrowellen-Mobilscanner MOIST SCAN weiterentwickelt. Die mechanische Basisplattform des neuen hochauflösenden Mobilscanners besteht aus zwei Teilen – dem Scannerkopf und der Auswerte- und Visualisierungseinheit. Der Scannerkopf wurde ähnlich einem Bügeleisen realisiert, allerdings deutlich robuster und mit Führungsrädern versehen. Diese Plattform beinhaltet folgende Funktionen:

- einzelne Mikrowellensonden in dafür vorgesehenen Halteelementen
- die Sensorik für die Positionserfassung
- eine Steuerungseinheit zur Verknüpfung der Daten von Position und Messwert
- Funk- und Kabelschnittstellen zur Auswerteeinheit

sowie notwendige weitere Komponenten. Eine besondere Schwierigkeit bestand darin, diese Komponenten auf relativ geringem Raum unterzubringen, um die Handhabbarkeit des Scanners zu ermöglichen und dabei gleichzeitig eine reproduzierbare Einkopplung zu ermöglichen. Die Wegaufnahme erfolgt über in den Scannerkopf integrierte Führungsräder, d.h. an deren rotierenden Achsen. Zur Kommunikation mit der Basiseinheit wurde ein Bluetooth-Modul integriert. Je nach Wunsch kann so entweder die kabellose Bluetooth-Schnittstelle verwendet werden oder aber die kabelgeführte Variante nach RS-485-Standard. Mit den Bluetooth-Modulen kann in Betongebäuden eine Reichweite von bis zu 50 m erreicht werden.



Abb. 3 Scannerkopf MOIST SCAN 200

Die Auswerte- und Visualisierungseinheit nimmt über die Funk- und Kabelschnittstellen die Daten des Scannerkopfes auf und fügt diese zum Scan zusammen. Gleichzeitig werden in ihr die Algorithmen zur Aufbereitung der Scandaten und ggf. ihrer Klassifikation umgesetzt. Sie enthält auch eine Stromversorgung, die für Batterie- und Netzbetrieb ausgelegt ist. Die Visualisierung erfolgt über ein Touchpanel und Menüführung, wodurch sich die Bedienung des Scanners sehr einfach gestaltet.

Diese Auswerteeinheit entspricht der der bereits vorhandenen Scannerlösung, wurde aber so abgewandelt, dass sie zur neuen, kleineren Scannerlösung passt und dabei kompatibel zum vorhandenen Gerät bleibt. Die Auswerteeinheit beinhaltet den embedded PC sowie die Schnittstellen zum Scannerkopf und zur Stromversorgung. Diese Auswerteeinheit wird in eine Docking Station eingepasst, bleibt jedoch abnehmbar und kann mit entsprechender Stromversorgung notfalls auch autark betrieben werden. Der Scannerkopf kann mit der Auswerteeinheit auch über Kabel verbunden werden. In der Docking Station wurden die Stromversorgung, die integrierte Bluetooth-Schnittstelle und Schnittstellen zu einem Auswerte-PC untergebracht. Weiterhin können dort noch zusätzliche Speichergeräte vorgesehen 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.

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 mögliche Verfahrgeschwindigkeit ist dabei sehr hoch, sie kann bis zu etwa 0,5 m/s betragen. Die Messung ist damit extrem schnell ausführbar. Die Ortsauflösung kann vorab zwischen 0,5 cm und 20 cm gewählt werden.

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 Feuchteverteilungen in verschiedenen Schichttiefen lassen sich gut voneinander trennen. Feuchteverteilungen können damit zum ersten Mal auch auf großen Flächen vollständig aufgenommen werden, was bisher mit keinem anderen Verfahren möglich ist. Gegenüber einzelnen zerstörenden Einzelmessungen ist die Qualität der Feuchteaussage um Größenordnungen besser.

Die Messung kann sehr einfach durchgeführt werden. Nach einigen wenigen Einstellungen kann die zu messende Fläche sofort gescannt werden. Jede Spur kann in einem Zug aufgenommen werden, es ist nicht notwendig, für die Messungen anzuhalten. Der Mobilscanner verarbeitet die Messdaten der angeschlossenen Mikrowellensonden in Echtzeit. Er fügt diese Daten während der Messung bereits zu einem Scanbild zusammen. Dieses kann nach Beendigung eines Scans an der Steuereinheit betrachtet werden, so dass schon vor Ort erste Schlussfolgerungen möglich sind.

Der Datentransfer zum nachgelagerten Softwaremodul MOIST SCANALYZE zur Weiterverarbeitung erfolgt ebenfalls sehr einfach per USB-Stick. Das Softwaremodul überführt die Daten in die angestrebte Multischicht-Darstellung. Durch entsprechende Skalierung 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.

Für die globale Auswertung einzelner Scans wurden in die Software diverse Statistikfunktionen aufgenommen. Dazu gehören neben der klassischen Mittelwertbildung mit Ausgabe von Minimal- und Maximalwerten auch Histogramme zur Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Einzelmesswerte. Diese werden jeweils auf den gesamten Scan

angewendet und liefern darauf bezogen globale Ergebnisse der zugehörigen Operation. Weiter wurde ein Objektzähler implementiert, der angibt, wieviele Gruppen von benachbarten Rasterpunkten, die jeweils einen bestimmten voreingestellten Schwellwert überschreiten, in einem aufgenommenen Scan vorhanden sind. Alle implementierten Statistikfunktionen können auch zu einer Analysesequenz aus mehreren Analyseschritten aneinandergereiht werden, wobei natürlich jeweils die inhaltliche Sinnhaftigkeit einer solchen Sequenz überprüft werden muss.

Für die Erreichung höherer Ortsauflösungen und die entsprechende Nachbearbeitung von Scandaten sind Filteroperationen von besonderer Wichtigkeit. Eine Anzahl derartiger Ortsfilter wurde ebenfalls implementiert. Die Filter müssen im Einklang mit den für den jeweiligen Scan genutzten Applikatoren ausgewählt werden, besonders, wenn diese wie vorgesehen ausgeprägte Richtungsabhängigkeiten aufweisen.

4. Anwendungen

Anwendungen ergeben sich überall dort, wo Wände, senkrechte Flächen oder kleinere Baukörper zu untersuchen sind. Diese können bisher nur per manuell ausgeführter Rasterfeuchtemessung untersucht werden, was die Anzahl aufnehmbarer Messwerte aus Zeitgründen deutlich einschränkt.

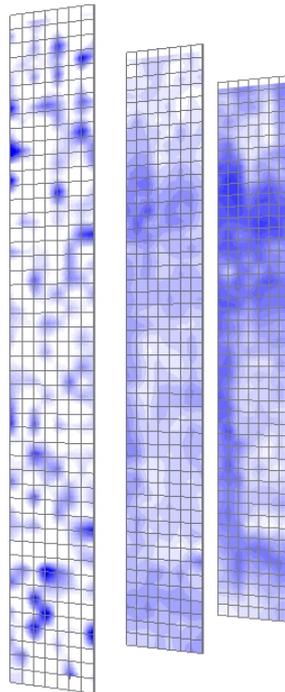


Abb. 4 Multischicht-Scan eines feuchten Testobjekts

Wie geplant führt dieses Konzept zu einer anschaulichen Darstellung der Situation in verschiedenen Tiefenschichten. Das in der Abbildung dargestellte Beispiel zeigt eindrucksvoll einen Scan eines im Inneren feuchten, oberflächlich aber trockenen Messobjekts mit einigen oberflächlichen Störungen. Diese Darstellungsmöglichkeit kann nunmehr tatsächlich real genutzt werden und wurde bereits in verschiedenen Anwendungen erprobt. Mit ihr lassen sich

verschiedene Sachverhalte bereits gut visualisieren und für die weitere Auswertung und Dokumentation in andere Datenformate und Reports überführen.

Dabei ist allerdings nach wie vor zu beachten, dass die dargestellten Schichtenbilder nicht Informationen aus einem bestimmten Tiefenbereich liefern, sondern aus einer Schicht mit einer Stärke, die der Feldreichweite des jeweiligen Sensors entspricht. Es handelt sich dabei also nicht um eine echt dreidimensionale oder quasi-dreidimensionale Darstellung, sondern um eine Vorstufe davon.

5. Zusammenfassung

MOIST SCAN 200 ermöglicht einerseits die Aufnahme sehr grosser Datenmengen von Feuchtwerten und deren bildliche Darstellung, andererseits auch eine gegenüber manuellen Messungen stark erhöhte Ortsauflösung bis in den Zentimeterbereich. Dies führt zu deutlichen Verbesserungen in der Abbildungsqualität und damit in der Erkennbarkeit von Undichtigkeiten und Feuchteschäden. Wassereintrittsstellen, Leckagen und feuchtegeschädigte Bereiche können per Mikrowellenscan umfassend bewertet werden. Mit Hilfe der scannenden Mikrowellenmessung kann Feuchtediagnose in Bauwerken besonders effektiv betrieben werden.

Literatur:

- [1] Proc. 9. Feuchtetag 1997, Weimar, MFPA Weimar, 17.-18.09.97
- [2] Mikrowellenbasierte Rasterfeuchtemessung. Bautechnik 6/2007, S. 417 ff.
- [3] Schau an – Schicht für Schicht. Bautenschutz + Bausanierung 7/2007, S. 38ff.
- [4] Göller, A.: Mobiler Mikrowellenscanner MOIST SCAN – Eine neue Ära der Bauwerksdiagnose. DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose 2008, Poster 1
- [5] Göller, A.: MOIST SCAN – Multischicht-Feuchtescans auf großen Flächen in der Praxis. DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose 2010, Poster