

MOIST SCAN – Multischicht-Feuchtescans auf großen Flächen in der Praxis

Arndt GÖLLER, hf sensor GmbH, Leipzig

Kurzfassung: Die Aufnahme von Rasterfeuchtemessungen ist eine seit über 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 eingesetzt. Er enthält als Basisplattform ein Geräteträgermodul, das bis zu drei Feuchtesensoren verschiedener Eindringtiefen gleichzeitig aufnehmen kann, sowie geeignete Sensoren zur Positionsbestimmung. Die Messwerte werden in einem einzigen Scan in drei Tiefenschichten aufgenommen, die bereits am Scanner angezeigt werden können. Damit ist es schon am Ort der Messung möglich, Feuchteschäden, Wasserpfade oder ähnlich zu erkennen und abzugrenzen.

MOIST SCAN hat sich seit seiner Entwicklung in verschiedenen praktischen Anwendungsfällen bestens bewährt. Großflächige Bauobjekte wie Parkdecks, Tiefgaragen, Schwimmhallen oder Flachdächer lassen sich damit schnell, einfach und vor allem vollständig untersuchen. Wassereintrittsstellen, Leckagen, feuchtegeschädigte Bereiche können per Mikrowellenscan umfassend bewertet werden. Der Beitrag beschreibt den Einsatz von MOIST SCAN anhand verschiedener praktischer Beispiele.

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-Feuchtemesstechnik 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 auf Mikrowellenbasis ist es gelungen, 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. Feuchteschäden an derartigen Objekten können erstmals umfassend erkannt und beurteilt werden.

1. Grundlagen der Mikrowellen-Feuchtemesstechnik

Mikrowellen-Feuchtemessverfahren gehören zu den dielektrischen Messverfahren, die auf den herausragenden dielektrischen Eigenschaften des Wassers beruhen. 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.

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.

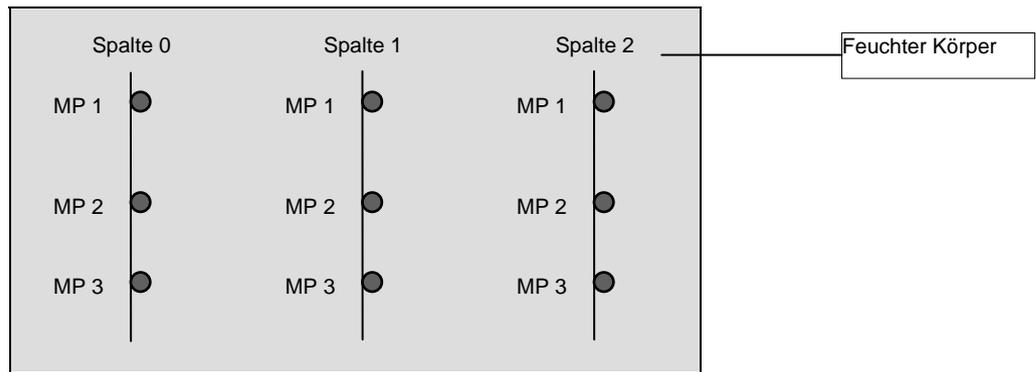


Abb. 1 Prinzip der Rasterfeuchtemessung

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, wie in Tab.1 ausgeführt, mit verschiedenen Feldgeometrien ausführen. Unterschiedliche Feldgeometrien korrespondieren mit unterschiedlichen Mikrowellenanordnungen. 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 Tiefenrasterung 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.

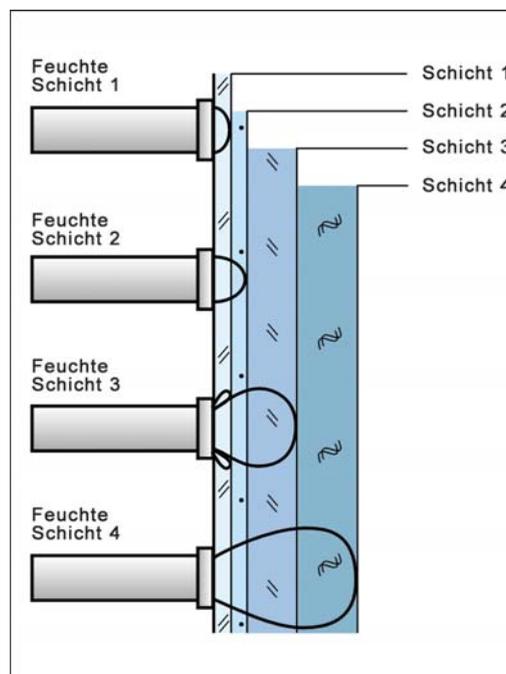


Abb. 2 Tiefenwirkung verschiedener Mikrowellenfeuchtesensoren

3. Mikrowellenscanner

Durch die Automatisierung der Messwertaufnahme in Abhängigkeit vom Messort erfährt die Aufnahme von Rasterfeuchtemessungen eine erhebliche Erweiterung 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. 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.

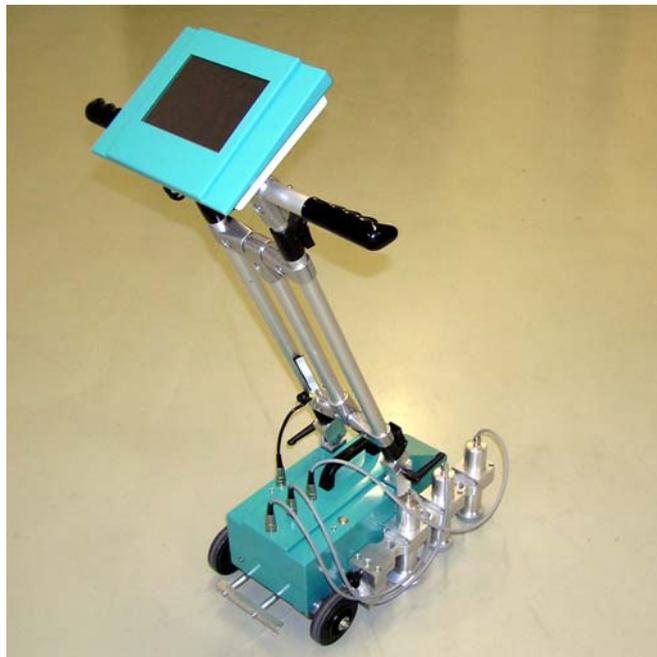


Abb. 3 Mikrowellenscanner MOIST SCAN

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 mögliche Verfahrensgeschwindigkeit ist dabei sehr hoch, sie kann bis zu etwa 1 m/s betragen (entspricht 3,6 km/h oder einem sehr schnell geschobenen Rasenmäher). Die Messung ist damit extrem schnell ausführbar, so dass auch große Flächen von einigen tausend Quadratmetern in kurzer Zeit aufgenommen werden können. Die Ortsauflösung kann vorab zwischen 5 cm und 200 cm gewählt werden.



Abb. 4 Scannen großer Flächen

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 aller 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.

4. Anwendungen

Anwendungen ergeben sich überall dort, wo große Flächen oder Gebiete zu untersuchen sind. Dies können alle Arten von Betonbauwerken im Hoch- oder Tiefbau sein, ebenso aber auch Dachflächen. Bei solchen Messaufgaben kommen wegen der meist großen Flächen schnell einige tausend Messpunkte zusammen. Die Vielzahl der aufzunehmenden Messpunkte erhöht die Messzeit ganz beträchtlich und führte aus Wirtschaftlichkeitsgründen entweder dazu, dass eine derartige Aufgabe nicht lösbar war oder zu einer deutlich verringerten Ortsauflösung, bei der die Auffindung von Schadstellen ebenfalls mit erheblicher Unsicherheit behaftet war.

Die mittlerweile verfügbaren Erfahrungen bei der Messung von Stahlbetonbauten 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.

Hierzu sollen nachfolgend einige konkrete Beispiele für Mikrowellen-Feuchtescans in verschiedenen Anwendungen vorgestellt werden.

4.1. Feuchtescans zur Lecksuche in Schwimmbädern

Gut anwendbar sind Mikrowellenscanner in Schwimmbädern und Schwimmhallen. Oft sind dort auf großen Flächen kleine Leckagen auszuspüren, die sich auch im Untergrund verbergen können. Bisher erfolgte dies meist mehr oder weniger im Blindflug, z.B. durch Öffnen oder durch Teiluntersuchungen einzelner Bauteile.

Mit MOIST SCAN ist es möglich, in einem Scanvorgang bis zu 3 Tiefenschichten auf einmal aufzunehmen. Der Messvorgang ist dabei sehr einfach. In einem vorher festgelegten Raster - z.B. 10, 15 oder 20 cm - wird der Scanner über die zu messende Fläche geschoben bzw. gezogen. Die durchschnittliche Messgeschwindigkeit ist dabei mit 1 m/s entsprechend einem mittleren Spazierschritt sehr hoch. Auf diese Weise lassen sich in einer Stunde bis zu mehrere hundert Quadratmeter aufnehmen.

Die Oberfläche muss für die Durchführung der Messung trocken sein. Es reicht jedoch aus, wenn sie vor der Messung trocken gewischt wird. Der Mikrowellenscan kann ohne Probleme - wie in Abb. 4 gezeigt - parallel zum laufenden Betrieb erfolgen, lediglich die zu messende Fläche ist vorher abzusperren.

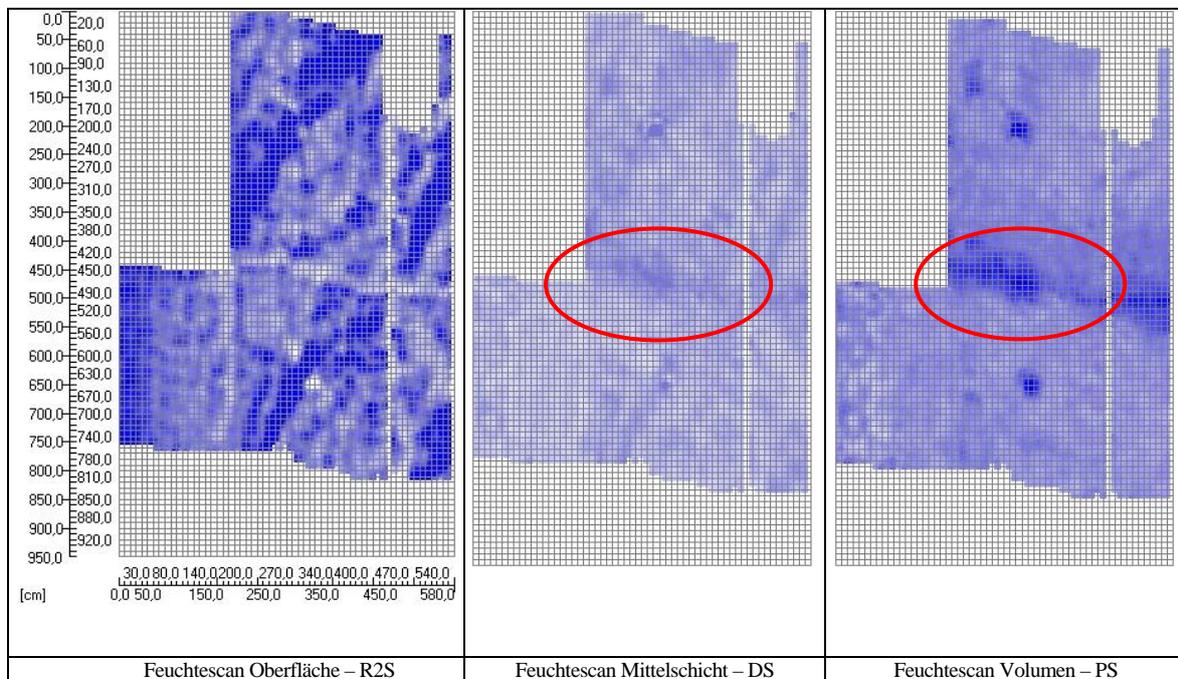


Abb. 5 Feuchtescan in einem Schwimmbad – 3 Tiefenschichten

Deutlich erkennbar ist in der Auswertung das unterschiedliche Feuchteverhalten in den drei Tiefenschichten Oberflächenschicht (direkt unter den Fliesen), mittlere Tiefenschicht (bis etwa 10 cm Tiefe) und Volumenschicht (bis etwa 20 cm Tiefe). Der Oberflächenscan zeigt deutlich, dass das vom Baden herrührende Spritzwasser unterhalb der Fliesen bzw. oberhalb der Abdichtungslage eine hohe Konzentration aufweist und wie es sich dort verteilt. Er gibt damit einen zulässigen und erwarteten Zustand wieder. Die Messung der mittleren Schichten deutet einen sich abzeichnenden Wassereintritt auf Höhe des unteren Endes der Treppe ins Schwimmbecken an (rot markiert). Die Messung der Volumenschichten mit MOIST PS bestätigt und verdeutlicht den Wassereintritt auf Höhe des unteren Endes der Treppe ins Schwimmbecken. Die beiden dunklen Einzelpunkte bilden die Wassereinläufe ab. Damit wurde mit zwei Sensoren das Vorhandensein einer Leckage in dem genannten Bereich am unteren Ende der Treppe ins Schwimmbecken

bestätigt. Der Scan zeigt eindrucksvoll die Ausprägung des Wasserpfades und dessen Richtung im Bauobjekt.

4.2 Suche nach Undichtigkeiten und Wasserpfaden auf Stahlbetondecken

An einem Objekt der Belgacom, Antwerpen / Belgien, wurden flächendeckende Feuchtescans durchgeführt. Das Objekt hat mehrere unterkellerte Innenhöfe, bei denen die Kellerdecken aus Stahlbeton oben mit einer mehrere Zentimeter dicken Bitumenlage abgedeckt sind. Diese waren vor einiger Zeit saniert worden. In den Kellern trat nach Niederschlagsereignissen an verschiedenen Stellen Wasser aus. Die Messung betraf die Ermittlung durch Wassereintritt geschädigter Bereiche in drei Innenhöfen und die Darstellung der Wasserpfade unter der Bitumenschicht. Es wurde in einer Zeit von etwa 6 Stunden eine Fläche von rund 1.700 m² mit einer Ortsauflösung von 25 cm vollständig gescannt.



Abb. 6 Feuchtescan auf asphaltierter Stahlbetondecke

In dieser Anwendung ergab der Oberflächenscan keine Auffälligkeiten. Der Scan der Volumenschichten mit MOIST PS – Tiefenbereich unter der Abdichtung - zeigt in einer annähernd homogenen Feuchteverteilung links unten einen markanten Wasserpfad. In Verbindung mit dem Scan der mittleren Volumenschichten deutet dies auf einen Wassereintritt von oben oder von der Seite hin. Die linke Seite grenzt an ein Gebäude, so dass eine Undichtigkeit auch im Bereich des Anschlusses an das Gebäude möglich ist. Der dunkle Streifen in Bildmitte bildet die im Hof befindliche Entwässerungsrinne ab. Damit befindet sich die gesuchte Leckage in dem genannten Bereich links unten.

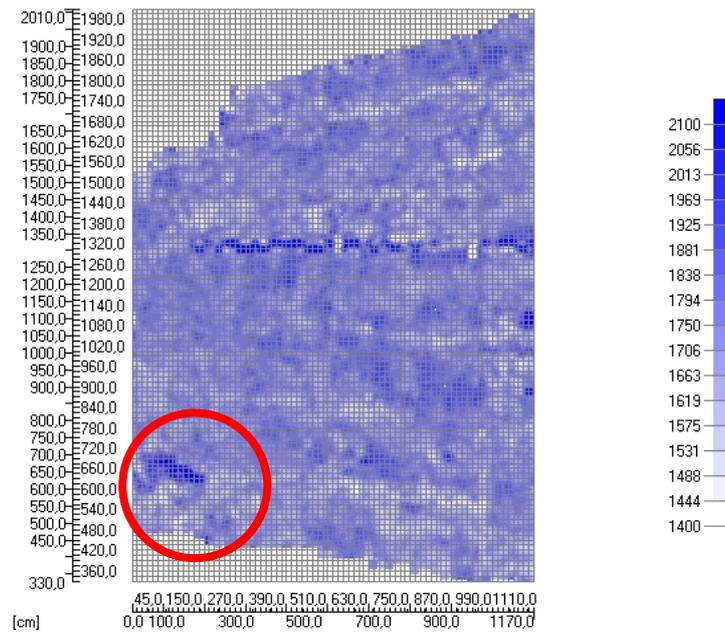


Abb. 7 Feuchtescan Sensor MOIST PS – Volumenmessung

4.3 Autobahnen und Straßen - Suche nach Wassereintritten in Fugen der Fahrbahnplatten

Auf einer Bundesautobahn wurden Feuchtescans durchgeführt, bei denen mögliche Feuchteintritte im Bereich der Fugenkreuze ermittelt werden sollten. Der Bedarf für diese Untersuchungen ergab sich aus dem Aufbau verschiedener Autobahnabschnitte, bei denen das Zusammenspiel von für den Bau verwendeten Gesteinen, im Winter eingesetzten Tausalzen und Feuchte eine wesentliche Rolle für den Eintritt und Fortgang der Alkali-Kieselsäure-Reaktion spielt. Insbesondere die Feuchtebelastung ist dabei ein wichtiger Parameter und konnte mit der Messung erstmals messtechnisch erfasst werden (siehe Vortrag 12). Es wurde in einer Zeit von etwa 6 Stunden 10 Streckenabschnitte mit einer Fläche von rund 1.000 m² mit einer Ortsauflösung von 15 cm vollständig gescannt. Erst durch den Mikrowellenscan wird es möglich, ein umfassendes Bild der Feuchtebelastung zu erhalten.

Beispielhaft wird hier ein Scan eines der Fahrbahnabschnitte gezeigt. Aus den Scanbildern gehen wichtige Informationen hervor. Oberflächenscan und Volumenscan zeigen nur sehr schwach ausgeprägte Feuchteveränderungen im Bereich der Fugen. Die oberflächliche Feuchtebelastung und die im Volumen ist daher niedrig. Markant ist jedoch der Scan der mittleren Schichten mit MOIST D. Er zeigt deutlich ausgeprägte Bereiche höherer Feuchten im Bereich der Fugenkreuze und in den Quertugen (rot markiert). Die Feuchtebelastung in der mittleren Tiefe ist damit deutlich ausgeprägt. Über eine zum Zeitpunkt der Erstellung des Manuskripts noch laufende Kalibration wird sich zukünftig auch der absolute Feuchtegehalt des Betons ermitteln lassen.

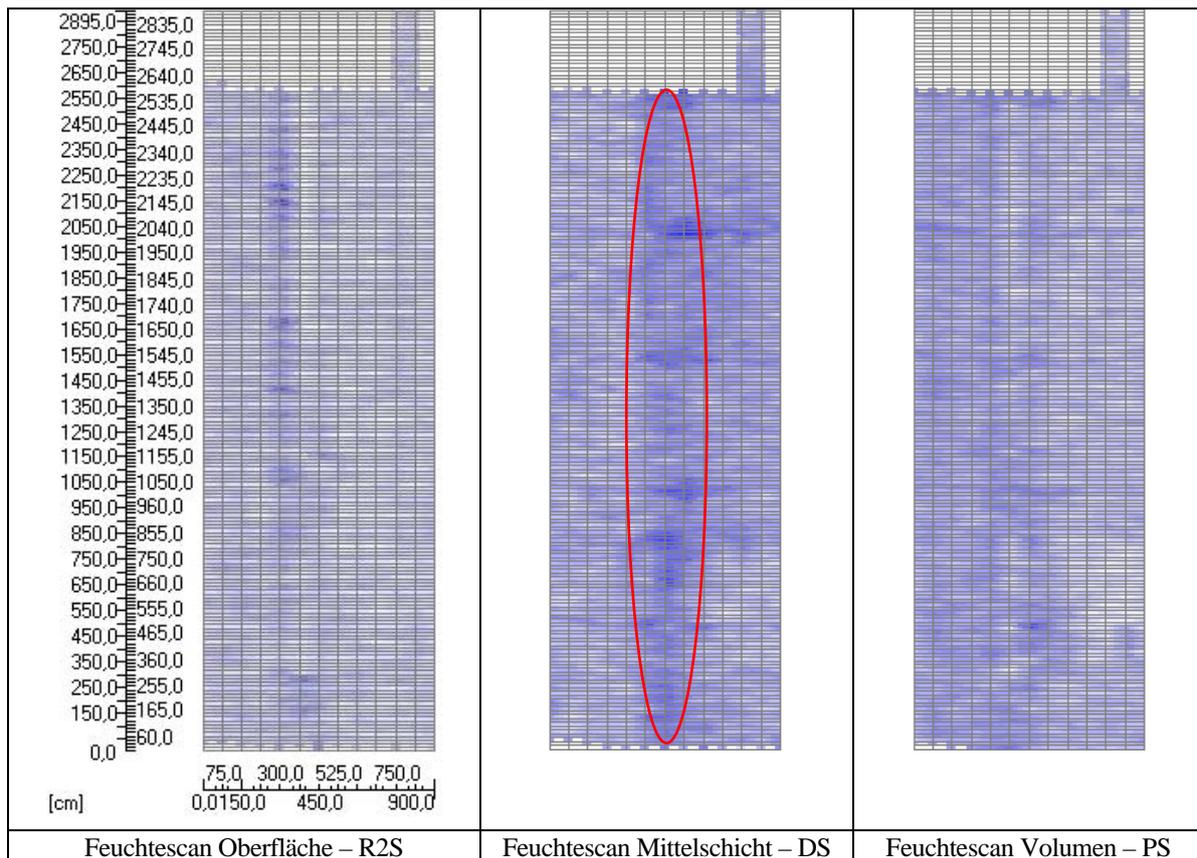


Abb.8 Feuchtescan auf den Fahrbahnplatten einer Autobahn – 3 Tiefenschichten

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.

6. 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