

Mikrowellen-Feuchtescans an großen Bauwerken – Anwendungen des Mikrowellenscanners MOIST SCAN 100

Arndt GÖLLER¹, Björn JUNGSTAND¹
¹ hf sensor GmbH, Leipzig

Kontakt E-Mail: arndt_goeller@hf-sensor.de

Kurzfassung. In den letzten Jahren hat der Bedarf an zerstörungsfreien Feuchteuntersuchungen auf großen Bauteilen deutlich zugenommen. Für die Ermittlung des Feuchtezustands auf derart großen Flächen hat sich der Mikrowellen-Mobilscanner MOIST SCAN 100 in verschiedenen praktischen Anwendungsfällen gut bewährt.

Zur Ausführung des Scanvorgangs wird der Scanner einfach spalten- oder zeilenweise über das Messobjekt bewegt. Die mögliche Verfahrensgeschwindigkeit ist sehr hoch, so dass MOIST SCAN das derzeit schnellste Messsystem zur flächenhaften zerstörungsfreien Prüfung von großen Bodenflächen im weltweiten Maßstab darstellt. Auch Flächen von einigen tausend Quadratmetern können in kurzer Zeit vollständig aufgenommen werden.

Alternativ können mit dem Mikrowellenscan-Verfahren in kurzer Zeit Feuchteverteilungen in einem sehr engen Raster von minimal 5 cm aufgenommen werden. MOIST SCAN ermöglicht so eine sehr hohe Ortsauflösung und sehr gute Repräsentativität der Messungen. Dies ist mit keinem anderen Verfahren zur zerstörungsfreien Feuchtemessung möglich.

Außerdem ermöglicht der Mikrowellen-Feuchtescan wegen der drei am Scanner befestigten Sonden mit verschiedenen Eindringtiefen prinzipiell auch eine Aussage zur Tiefenschichtung im Bodenaufbau. Dies leistet ebenfalls kein anderes Verfahren.

In den letzten Jahre wurden zahlreiche Untersuchungen auf Wasserwegigkeiten und Feuchteintritte in folgenden Anwendungen realisiert:

- Schwimmhallen - Wasserwegigkeiten
- Parkdecks - Wasserwegigkeiten unter Asphaltsschichten
- Autobahnen und Straßen - Wasserwegigkeiten unter Asphaltsschichten
- Kaufhäuser - Feuchteintritte im Kellergeschoss
- Alten- und Pflegeheime - Feuchteintritte im Kellergeschoss
- Industrie-Flachdächer
- Industrieböden - Feuchteintritte
- Stahlbetonbodenplatten.

Der Beitrag befasst sich vorrangig mit den beschriebenen Einsatzfällen und beschreibt an ausgewählten Beispielen die jeweiligen Besonderheiten der Anwendungen. Hinweise auf Möglichkeiten der Kombination mit anderen ZfP-Verfahren in der Bauwerksdiagnose werden gegeben.

Einführung

In den letzten Jahren hat der Bedarf an zerstörungsfreien Feuchteuntersuchungen auf großen Bauteilen deutlich zugenommen. Für die Ermittlung des Feuchtezustands auf derart großen Flächen hat sich der Mikrowellen-Mobilscanner MOIST SCAN 100 in verschiedenen praktischen Anwendungsfällen gut bewährt.

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 Mikrowellenfrequenzen 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.

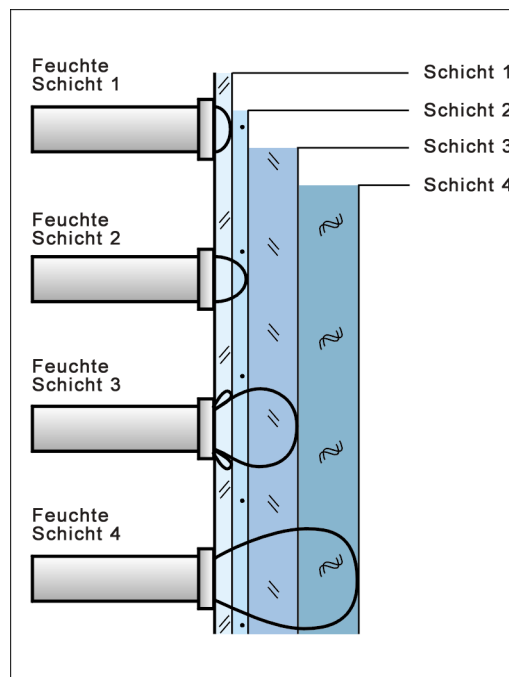


Abb. 1 Tiefenwirkung verschiedener Mikrowellenfeuchtesensoren

Die Messungen werden dabei mit Mikrowellensensoren verschiedener Eindringtiefen in mehreren Tiefenschichten aufgenommen. Mikrowellensensoren lassen sich 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 schichtenaufgelöster 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.

Speziell weiterentwickelte Feuchtesonden weisen sehr hohe Messgeschwindigkeiten auf und sind damit prinzipiell auch für Messungen während der Bewegung geeignet.

2. Mikrowellenscanner

Für die Ermittlung des Feuchtezustands großer Flächen hat sich der Mikrowellen-Mobilscanner MOIST SCAN 100 in verschiedenen praktischen Anwendungsfällen bestens bewährt. Großflächige Bauobjekte lassen sich damit schnell, einfach und vor allem vollständig untersuchen. Zur Ausführung des Scanvorgangs wird 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 (entsprechend 3,6 km/h oder einem sehr schnell geschobenen Rasenmäher). Auch große Flächen von einigen tausend Quadratmetern können so in kurzer Zeit aufgenommen werden.

Die schnellen Mikrowellensensoren ermöglichen eine gute Ortsauflösung auch bei schneller Bewegung des Scanners. MOIST SCAN kann bis zu drei solche Sensoren aufnehmen. Aus diesen sogenannten Multischicht-Feuchtescans lässt sich flächenhaft der vollständige Feuchtestatus großer Bauobjekte ermitteln.

Zur Ausführung des Scanvorgangs wird der Scanner einfach spalten- oder zeilenweise über das Messobjekt bewegt. Die mögliche Verfahrensgeschwindigkeit ist sehr hoch, so dass MOIST SCAN das derzeit schnellste Messsystem zur flächenhaften zerstörungsfreien Prüfung von großen Bodenflächen im weltweiten Maßstab darstellt. Auch Flächen von einigen tausend Quadratmetern können in kurzer Zeit vollständig aufgenommen werden.

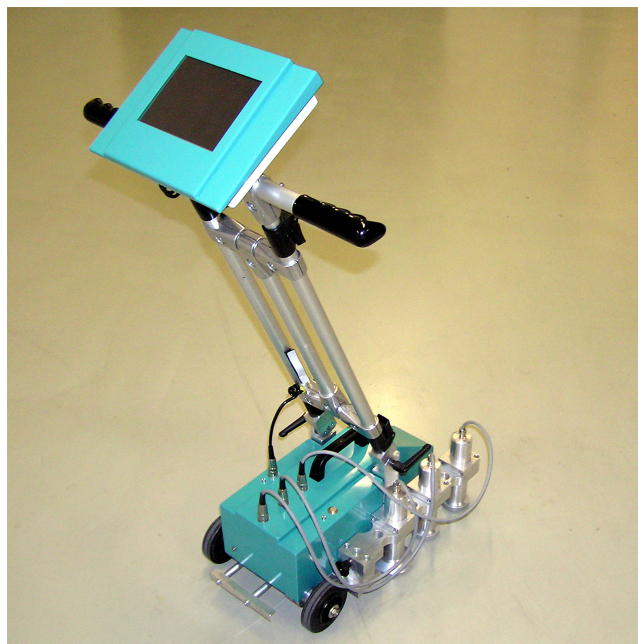


Abb. 2 Mikrowellenscanner MOIST SCAN

Alternativ können mit dem Mikrowellenscan-Verfahren in kurzer Zeit Feuchteverteilungen in einem sehr engen Raster von minimal 5 cm aufgenommen werden. MOIST SCAN ermöglicht so eine sehr hohe Ortsauflösung und sehr gute Repräsentativität der Messungen. Dies ist mit keinem anderen Verfahren zur zerstörungsfreien Feuchtemessung möglich.

3. Anwendungen des Mikrowellenscanners MOIST SCAN 100

Anwendungen ergeben sich überall dort, wo große Flächen oder Gebiete zu untersuchen sind. Dies können alle Arten von Bauwerken, Flachdächern, Brücken, Straßen oder Tunneln sein. Bei solchen Messaufgaben kommen wegen der meist großen Flächen schnell über zehntausend Messpunkte zusammen. Für die Aufnahme von Feuchteverteilungen in solchen Anwendungen sind Mikrowellenscans hervorragend geeignet. Anhand der entstehenden Scandaten lässt sich eine eindeutige Klassifizierung der darin enthaltenen Abbilder der Feuchteschädigungen bzw. anderer Störungen des Untergrunds realisieren. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen auf Wasserwegigkeiten und Feuchteintritte unter anderem in folgenden Anwendungen realisiert:

- Schwimmhallen – Wasserwegigkeiten
- Parkdecks - Wasserwegigkeiten unter Asphaltsschichten
- Autobahnen und Straßen - Wasserwegigkeiten unter Asphaltsschichten
- Kaufhäuser - Feuchteintritte im Kellergeschoss
- Alten- und Pflegeheime - Feuchteintritte im Kellergeschoss
- Industrie-Flachdächer
- Industrieböden - Feuchteintritte
- Stahlbetonbodenplatten.

Nachfolgend wird eine Auswahl von Messbeispielen kurz beschrieben.

3.1. Feuchtescans zur Lecksuche in Schwimmbädern

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

In Bodenaufbauten von Schwimmbädern befindet sich eine Abdichtungslage direkt unter dem oberflächlichen Fliesenbelag. Im laufenden Betrieb von Schwimmbädern ist diese obere Schicht im Regelfall nass, da laufend Feuchte eingetragen wird. Zur Detektion von Leckagen unter dieser oberflächlich nassen Schicht muss diese von den Mikrowellenfeldern der Volumensonden am Scanner durchdrungen werden.

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. 3 gezeigt - parallel zum laufenden Betrieb erfolgen, lediglich die zu messende Fläche ist vorher abzusperren.

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.

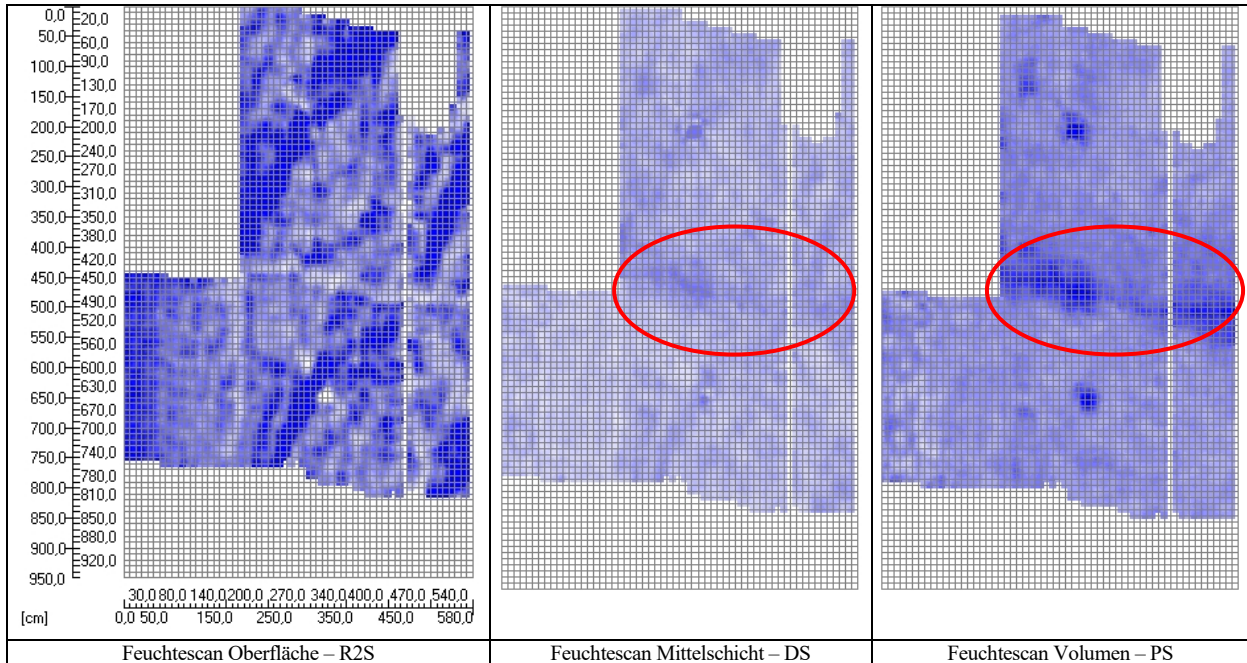


Abb. 3 Feuchtescan in einem Schwimmbad – 3 Tiefenschichten

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.

3.2 Suche nach Undichtigkeiten und Wasserpfaden unter Asphaltsschichten

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. Es wurde in einer Zeit von etwa 6 Stunden eine Fläche von 1.700 m² mit einer Ortsauflösung von 25 cm vollständig gescannt.

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. 4 Feuchtescan auf asphaltierter Stahlbetondecke

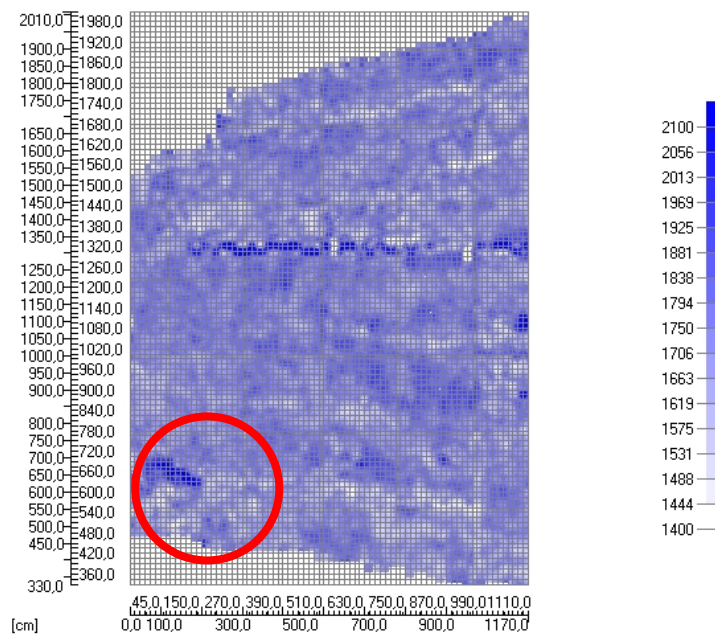


Abb. 5 Feuchtescan Sensor MOIST PS – Volumenmessung

3.3 Feuchtescans auf Autobahnen und Straßen – Feuchteverteilung unter Asphaltsschichten

Das Messbeispiel zeigt einen Scan auf einem asphaltierten Teilstück einer Autobahn. Im Fahrbahnbereich kam es seit zwei Jahren zu Deformationen und Rissbildungen in der Asphaltdeckschicht. In der Asphaltbinderschicht war ein erhöhter Hohlraumgehalt mit Wasser feststellbar. Als ursächlich für die Deformationen wurden lokale Entmischungen festgestellt. Die hohen dynamischen Belastungen des Schwerverkehrs verstärkten die angefallenen Schädigungen.



Abb. 6 Feuchtescan über alle Fahrbahnen einer Autobahn

Es bestand der Verdacht, dass im Mittelstreifen zwischen den Betongleitwänden Wassereintritt möglich wäre. Hierdurch könnte ein möglicher Wasserzulauf in Richtung des Quergefalles der Fahrbahn bis zur Lastspur eintreten.

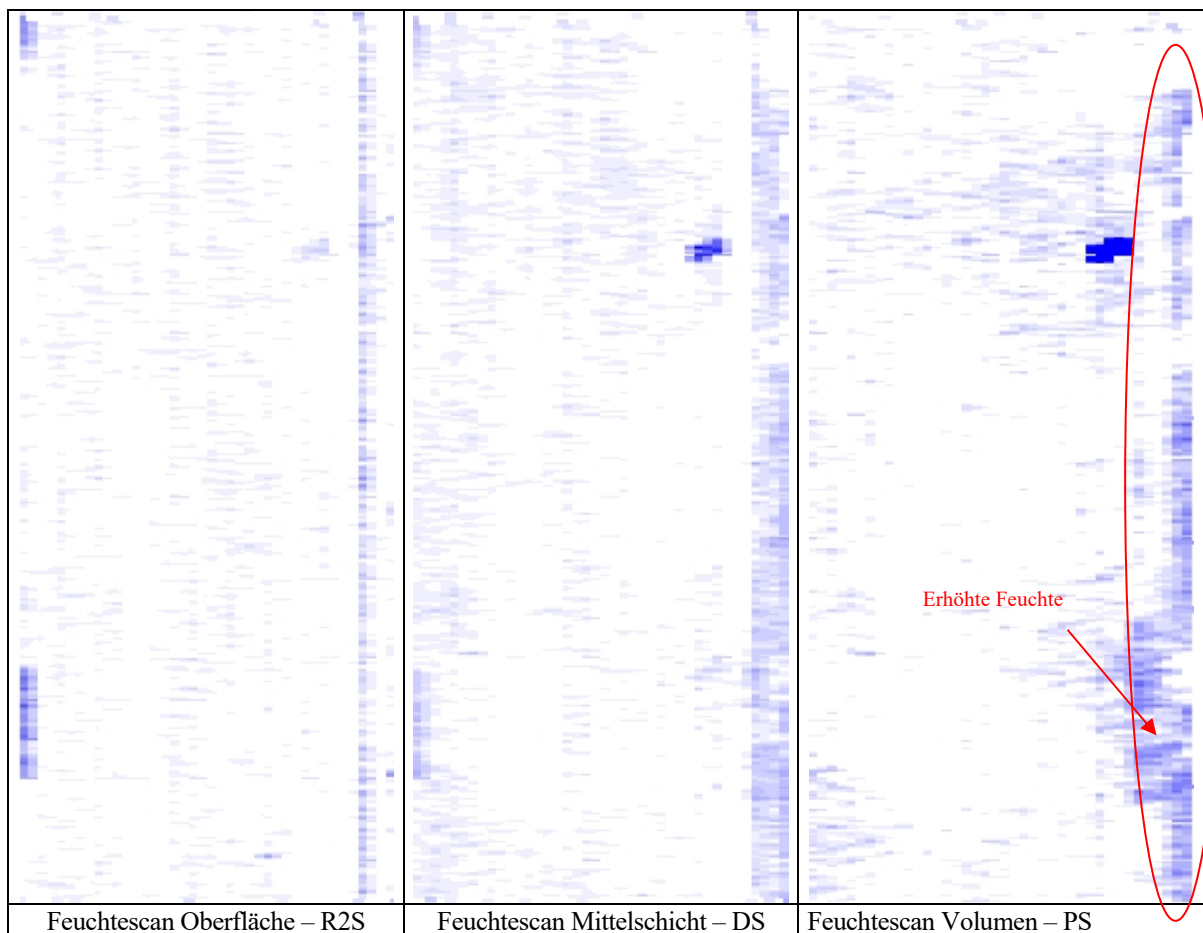


Abb.7 Feuchtescan auf den Fahrbahnplatten einer Autobahn – 3 Tiefenschichten

Aus den Scanbildern ergibt sich, dass Feuchteerscheinungen im Bereich der Fugen zwischen Standspur und Lastspur sowie zwischen Lastspur und erster Überholspur auftreten. Ebenfalls erkennbar wurden Feuchteerscheinungen im Bereich des Mittelstreifens an den Betongleitwänden. Diese Feuchteerscheinungen sind in Abb. 7 auf der rechten Seite in den Volumenmessungen erkennbar und daher der Asphaltbinderschicht zuzuordnen. Größere Wasserwegsamkeiten, die auf Wasserpfade quer über die gesamte Fahrbahn hindeuten, sind aus den Scans nicht zu erkennen.

3.4 Feuchtescans in Kaufhäusern – Suche nach Feuchteintritt im Kellergeschoss

In vielen öffentlich zugänglichen Bauobjekten kommt es aufgrund des teilweise hohen Alters der Bestandsbauten zu Feuchteintritten in den Kellergeschossen. Dazu gehören unter anderem auch Kaufhäuser und Einkaufszentren. MOIST SCAN 100 ist in solchen Einsatzfällen das ideale zerstörungsfrei arbeitende Diagnosewerkzeug, um vor weiteren zerstörenden Maßnahmen wie Bauteilöffnungen vollflächig und umfassend erste Informationen über mögliche Feuchteschädigungen bis zu einer Tiefe von 20 cm zu erhalten. Derartige Mikrowellenscans liefern oft bereits innerhalb weniger Stunden erste Ergebnisse.

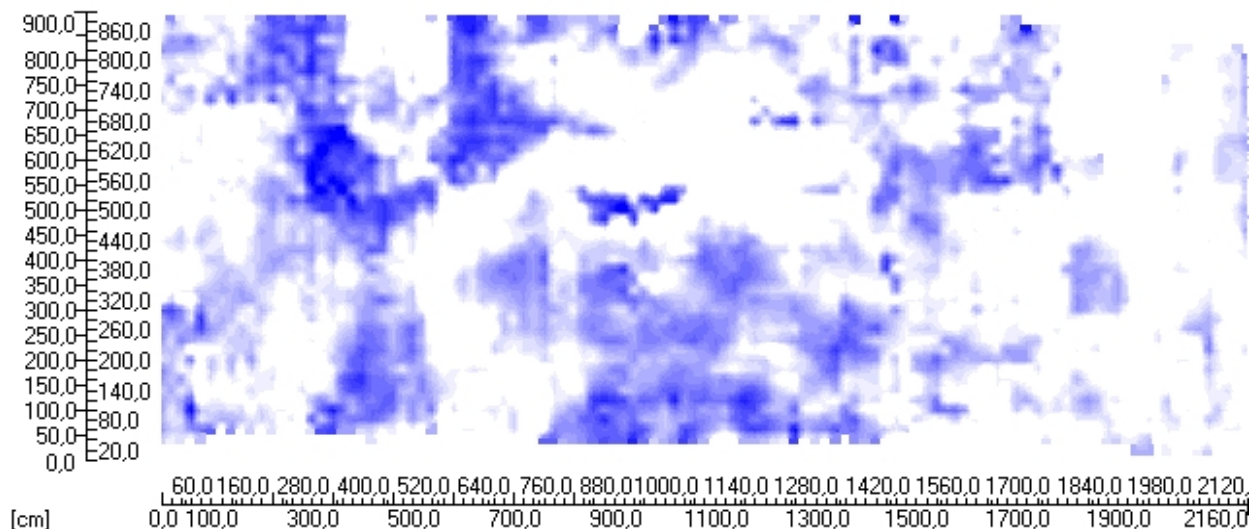


Abb. 8 Feuchtescan im Kellergeschoss eines Kaufhauses - Volumenmessung

Das Beispiel zeigt die Volumenschicht eines Mikrowellenscans im Kellergeschoss eines Kaufhauses. Hier bestand aufgrund von vorab durchgeführten Teilöffnungen an verschiedenen Stellen der Verdacht auf eine großflächige Schädigung des Fußbodenaufbaus durch Feuchteintritte im Bereich der Wandaufstandsfugen.

Mit Hilfe des Mikrowellen-Feuchtescans wurde dieser Verdacht für den größten Teil der aufgenommenen Messfelder bestätigt.



Abb. 9 Feuchtescan im Kellergeschoss eines Kaufhauses

3.5 Alten- und Pflegeheime - Feuchteintritte im Kellergeschoss

Vergleichbare Aufgabenstellungen bestehen auch häufig bei der Sanierung von Alten- und Pflegeheimen. Mit Hilfe von Mikrowellen-Feuchtescans sollen im Vorfeld einer geplanten Sanierung der Anteil der geschädigten Fläche und der Schädigungsgrad ermittelt werden. Hierfür gab es bisher keine geeignete zerstörungsfreie Diagnosetechnologie.



Abb. 10 Kombination von Mikrowellenscan und Rasterfeuchtemessung im Kellergeschoss eines Pflegeheims

Das Beispiel zeigt etwa 50 in den Grundrissplan eines Pflegeheims mit einer Grundfläche von etwa 1.000 m² eingebundene einzelne Messfelder. Beim Fußbodenaufbau handelt es sich um einen schwimmenden Estrich. Die Messung wurde auf den großen Flächen mit dem Mikrowellenscanner MOIST SCAN durchgeführt. Die kleineren Flächen wurden mittels Handgerät per Mikrowellen-Rasterfeuchtemessung untersucht. Im Ergebnis ist im rechten Teil

des Bildes ein deutlicher Feuchteintritt aus dem Eingangsbereich des Souterrain-Geschosses mit davor liegender Treppe erkennbar. Ebenfalls werden im Grundrissplan links feuchtegeschädigte Bereiche erkennbar.

Mit der Kombination von Mikrowellenscan und manuell durchgeführter Rasterfeuchtemessung ist es erstmals möglich, derartige Objekte vollumfassend zerstörungsfrei zu untersuchen und damit Sanierungsvorschläge fundiert zu begründen.

3.6 Feuchtescans auf Stahlbeton-Bodenplatten

In den letzten Jahren wurden immer mehr Mikrowellenscans auf Stahlbetonplatten durchgeführt. Diese Aufgabenstellung besteht häufig in Tiefgaragen und unterscheidet sich grundlegend von den vorher beschriebenen, da der Beton nur mit einer dünnen Oberflächenbeschichtung z.B. aus Epoxidharz beschichtet ist.

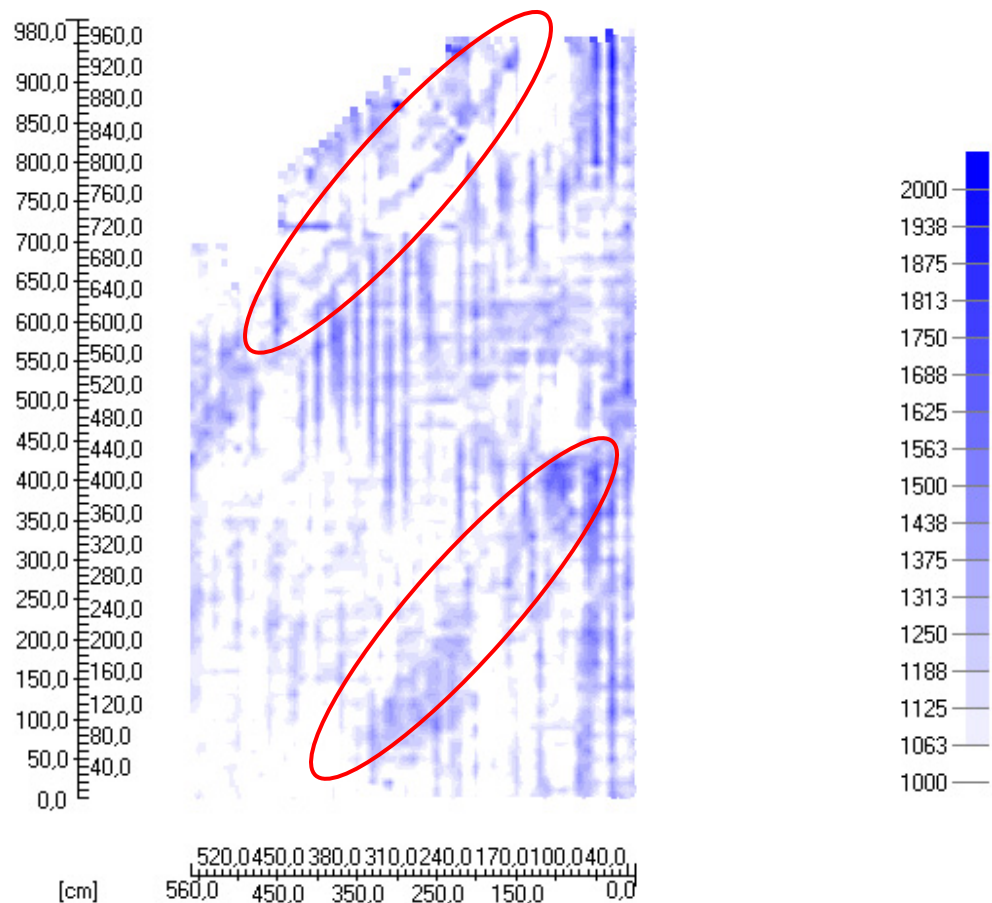


Abb. 11 Hochauflösender Feuchtescan im zweiten UG einer Tiefgarage mit wasserführenden Rissen

Mögliche Schäden sind zum Beispiel wasserführende Risse, wasserführende Bewehrungsstähle mit ungenügender Betonummantelung und/oder wassergefüllte Hohlräume bzw. wasserführende Hohllagen. Diese können auftreten, wenn die Betonqualität schlecht ist und es zu Ablösungen im Bereich der oberen Bewehrungslage kommt. Durch Risse von unten aufsteigendes Wasser verteilt sich in diesen Hohlräumen und tritt unerwartet an der Oberfläche aus. Die in solchen Fällen übliche Verpressung der Risse führt nicht immer zum Erfolg.

Eine weitere Besonderheit dieser Kategorie von Anwendungen besteht darin, dass es sich oft um sehr dicke Bodenplatten mit dicht liegender Bewehrung und dicken Bewehrungsstäben handelt.

Zerstörungsfreie Untersuchungen auf Feuchteschädigungen per Mikrowellen-Feuchtescan sind auch in derartigen Anwendungen möglich. Allerdings sind gegenüber den vorher beschriebenen Anwendungen die Messungen unter anderen Randbedingungen durchzuführen. Wegen der dichten Bewehrung müssen die Messungen hochauflösend mit einem sehr kleinen Scanraster von 5 oder 10 cm aufgenommen werden. Dabei reicht es in vielen Fällen, wenn dieses Scanraster in Fahrtrichtung des Scanners gewählt wird, so dass dessen Geschwindigkeitsvorteil weiter genutzt werden kann.

Bewehrungsstäbe bilden sich in derartigen Scanbildern eindeutig als periodisch wiederkehrendes Gittermuster von Linienstörungen ab, wenn gemäß Abtasttheorem das Scanraster kleiner als der halbe Abstand zwischen den Mittelachsen der Bewehrungsstäbe ist. Im Gegensatz dazu bilden sich wasserführende Hohlräume als flächenhaft unregelmäßig ausgebildete Bereiche mit Anomalien ab und können dadurch vom Bewehrungsmuster unterschieden werden. Weiter können schräg verlaufende wasserführende Risse gut unterschieden werden.

Das Beispiel zeigt einen Mikrowellen-Feuchtescan im zweiten Untergeschoss einer Tiefgarage. Im Scanbild deutlich erkennbar sind zwei wasserführende Risse (rot markiert), die sich von dem ebenfalls sichtbaren Bewehrungsmuster gut unterscheiden lassen.

Damit liefern Mikrowellenscans für die untersuchten Flächen als weltweit einziges Messverfahren vollumfänglich initiale Informationen zum Feuchtestatus der untersuchten Objekte in drei Schichten. Die maximal erzielbare Eindringtiefe beträgt abhängig von der Anwendung 15 bis 20 cm. Die Ergebnisse können genutzt werden, um Anomalien und Verdachtsstellen zu lokalisieren, die mit anderen ZfP-Verfahren der Bauwerksdiagnostik wie z.B. Ultraschallechoverfahren zur Rissdetektion oder Georadar weiter untersucht werden. Ebenfalls kann damit der Vorlauf für gezielte punktuell zerstörende Untersuchungen durch Bohrkernentnahme oder Bauteilöffnungen geschaffen werden.

4. Zusammenfassung

Mikrowellen-Feuchtescans stellen ein neues, sehr leistungsfähiges Instrumentarium zur schnellen Aufnahme von Feuchteverteilungen an nahezu allen Arten großflächiger Bauwerke dar. 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 mit hoher Geschwindigkeit.

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 11
- /6/ Göller, A.: Mikrowellen-Feuchtescans auf Straßen und Brücken. DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose 2014, Poster 11