

# WaveTester – die nicht invasive «Schnüffelnase» für Feuchtigkeit

Ingenieure der Tessiner Fachhochschule (SUPSI) und der MEET S.a.g.l. realisierten in einem KTI-Projekt ein Mikrowellen-System, das Feuchtigkeit auch in der Tiefe nicht invasiv und genau misst, rasch zuverlässige Daten liefert und diese automatisch protokolliert.

ELSBETH HEINZELMANN

Die Feuchtigkeit – also der Anteil von freiem oder physikalisch gebundenem Wasser in einem Material – ist in vielen Produkten entscheidend für Qualität und Funktionsfähigkeit. In einem Betongemisch beeinflusst der Wassergehalt die Qualität wesentlich. Wird Holz nicht mit einer bestimmten Feuchte eingebaut, sind Schwind- oder Quellvorgänge mit Fugen, Rissen oder Aufwölbungen die Folge. Die Weiterverarbeitung vieler Pulver hängt wesentlich vom Gehalt an Restfeuchte ab. Doch trotz der Wichtigkeit zuverlässiger Feuchtig-

keitsmessungen, fehlt es an Geräten und Methoden, die vor Ort eine einfache Bestimmung des Wassergehaltes von Feststoffen erlauben, zerstörungsfrei und tiefenaufgelöst messen.

## Mikrowelle trifft Wassermolekül

Unter den heute in Forscherlabors entwickelten Ansätzen könnten Mikrowellenverfahren in geradezu idealer Weise diesen Anforderungen entsprechen. Wasser hat ein stark polarisiertes Molekül gegenüber den meisten trockenen Träger-substanzen, woraus eine starke Prä-gung der dielektrischen Eigen-

schaften in Funktion des Feuchtigkeitsgehalts resultiert. Die hohen Frequenzen dämpfen die Kontaktprobleme zum Material. Gemessen wird beispielsweise der Energieverlust, der entsteht, wenn man Flüssigkeiten von aussen durch Mikrowellen hoher Frequenz zur Resonanz stimuliert. Hier liegt für die meisten flüssigen Stoffe die maximale Absorption. Da die Dielektrizitätskonstante jedoch ebenso die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen beeinflusst, wird manchmal auch die Durchlaufzeit gemessen. Mit diesen Methoden kann für die Mehrzahl der Materialien wie Holz, Mauerwerk und weitere Baustoffe der Wassergehalt bis in rund 25 cm Tiefe bestimmt werden. Solche Mikrowellen-Messmethoden sind schnell, aber auch teuer. Die heute eingesetzten Systeme weisen eine geringe Leistung auf, relativ tiefe Frequenzen und sehr kurze Signallaufzeiten.

Diese Situation wollte Ricardo Monleone ändern. Der Elektroingenieur hatte sich an der ETH Zürich auf Hochfrequenztechnik spezialisiert und danach 10 Jahre auf dem Gebiet der Elektroerosion bei der AGIE SA gearbeitet, bis er im Jahr 1996 sein eigenes Ingenieurbüro, die MEET S.a.g.l. in Coldrerio bei Chiasso auf die Beine stell-

**Die Partner im KTI-Projekt, Ricardo Monleone, MEET S.a.g.l. und Andrea Salvadè, Entwicklungsingenieur am SUPSI Manno.**

(Bild SUPSI)



te. Ihm schwebte ein Feuchtigkeits-Messsystem vor, das organische Materialien mit Mikrowelle zerstörungsfrei abtastet, Schadstoffe und Inhomogenitäten unter 15 cm Durchmesser in Echtzeit erkennt und diese mit einer Auflösung von  $\pm 10\%$  abbildet. Um die Vision in Realität umzusetzen, kontaktierte er seinen ehemaligen ETH-Studienkollegen vom Labor für Mikroelektronik an der SUPSI in Manno. Andrea Salvadè erkannte sofort das Potenzial einer solchen Entwicklung, um Kompetenz an der Tessiner Fachhochschule aufzubauen und diese inskünftig der regionalen Industrie zur Verfügung zu stellen. In einer Semesterarbeit prüften die beiden Forscher mit Simulationsverfahren die theoretische Machbarkeit des geplanten Hochfrequenztesters. Die Resultate waren vielversprechend, weshalb Andrea Salvadè ein KTI-Projekt initiierte. Vom mathematischen Modell zum Prototyp

Eine erste mathematische Modellierung möglicher Messmethoden und Simulationen zeigte, dass theoretisch verschiedene Verfahren in Frage kamen. Ein nach dem aktuellen Stand der US-Forschung konzipierter Impulsradar wurde für die Materialmessung umfunktioniert. Um die Funktionsweise als Hochfrequenztester zu untersuchen, führten die Projektpartner Messungen mit vier unterschiedlichen Prototypen durch. Die Wahl fiel auf einen Radar, der auf verschiedenen Frequenzbändern arbeitet und nach Optimierung des HF-Teils die nötige Empfindlichkeit erreichte. «Mit einem solchen Radar hängt die Messgerätauflösung von der Qualität der analogen und digitalen Signalverarbeitung ab», erklärt Projektleiter Salvadè. «Der WaveTester zeigte nicht nur die beste Auflösung und Qualität, sondern hat auch den Vorteil, dass seine Grundkomponenten auf dem Markt frei verfügbar sind.»

In einem weiteren Schritt ging es darum, die elektronischen Schal-



**WaveTester Client Software (Windows). Unten im Balkendiagramm die Feuchtemesswerte in Echtzeit, oben links der Editor für die Eichungskurve, oben rechts die numerische Darstellung der Messwerte (Mittelwert, Max, Min, Statistik).** (Bild: Elsbeth Heinzelmann)

tungen zu verfeinern, eine industrielle Herstellung zu realisieren sowie die automatische Kalibrierung und die Kompensation von Nichtlinearitäten zu beherrschen. Die Prototyp-Entwicklung umschloss ausgetüftelte Algorithmen, die dem System einen schwer zu kopierenden Wettbewerbsvorteil geben, sowie den Hardware-Teil mit Datenak-

quisition und PC für die Darstellung und Protokollierung der Resultate bis zum perfekt gestylten Gehäuse für eine tragbare Version des WaveTesters. Herzstück ist das neuartige Mikrowellen-Messsystem. «Im Gegensatz zu vergleichbaren marktgängigen Geräten, kann es dank einem Doppelantennenkonzept die Materialdicke des zu messenden Objekts vollumfänglich und wiederholbar erfassen, ohne dass ein direkter Kontakt mit dem Messmaterial erfolgt», kommentiert der SUPSI-Mitarbeiter. «Die Mikrowellen wechselwirken mit dem Material je nach vorhandener Feuchtigkeit. Diese Wechselwirkung registriert der WaveTester.» Dank einer raffinierten Signalmodulierung und digitaler Verarbeitung mit DSP liefert er wiederholbare und zuverlässige Messresultate. Als Referenz für die erstmalige Kalibrierung der Messdaten dient eine traditionelle Messmethode, wie beispielsweise das Trocknungs- oder Schrumpfung-

### Mail-box

Andrea Salvadè  
Laboratorio TTHF, Telecom  
Telematica Alta Frequenza SUPSI  
Galleria 2, 6928 Manno  
Tel. 091 610 8537  
asalvade@supsi.ch  
www.dti.supsi.ch

MEET S.a.g.l., Via S. Giorgio 7  
6877 Coldrerio, Tel. 091 630 0270  
info@meet-electronics.com  
www.meet-electronics.com

Das Projekt wurde gefördert durch die KTI, die Förderagentur für Innovation, [www.kti-cti.ch](http://www.kti-cti.ch)



Mitarbeiter von SUPSI und der Firma MEET – Partner im KTI-Projekt – besprechen Messresultate. Im Vordergrund eine Laborversion der von MEET entwickelten Digitalelektronik des WaveTesters. (Bild: Elsbeth Heinzelmänn)



Das Team des TTHF-Labors der SUPSI entwickelt, konstruiert und testet anwendungsspezifische Antennen-Prototypen.

(Bild: Elsbeth Heinzelmänn)

verfahren, ein altes, Zeit intensives, jedoch sehr genaues Messprinzip. Über die vielen Standardschnittstellen lässt sich das Gerät leicht in ein bestehendes Automatisierungssystem integrieren. Für die Produktion baut Ricardo Monleone auf bewährtes Out-sourcing mit Partnerfirmen der MEET S.a.g.l.

Ein Anliegen war den Projektpartnern ein vertretbarer Anschaffungspreis. «Der WaveTester liegt preislich zwischen einer Mikrowellen- oder einer traditionellen kapazitiven Sonde und einer Neutronen-

sonde», so Ricardo Monleone. «Aber dank den tiefen Unterhaltskosten – es erfolgt ja praktisch keine Abnutzung –, der hohen Zuverlässigkeit und dem Gewinn an Qualität des damit überwachten Prozesses dürfte das Gerät innerhalb von 12 – 24 Monaten amortisiert sein.»

### Harte Prüfung auf Europas «Mega-Bauplatz»

Auf Herz und Nieren geprüft wird der WaveTester derzeit an der grössten Baustelle Europas, der

AlpTransit Gotthard, wo dereinst die Flachbahn mit 250 km/h durch die Alpen brausen wird. Über den Einsatz wacht die weltweit tätige Holcim Ltd. Sie installierte das Messgerät auf dem Förderband, das die Rohstoffe Sand und Kies zu den Lagersilos der Betonzentrale in Bodio befördert. An die 1000 m<sup>3</sup> dieser Materialien gleiten täglich über die Schrägrampe an den Sensoren des WaveTesters vorbei. Der Sensor kann auch dazu dienen, die Feuchtigkeit der Gesteinskörnung im Produktionsprozess zu überwachen. Bereits spielen die Holcim-Ingenieure mit dem Gedanken, den Feuchtgehalt des Betons direkt in der Anfertigung zu überwachen, um das Verhältnis Wasser/Zement zu ermitteln, massgebend für die Qualität des Betons. Heute ist eine zuverlässige Messung dieses Parameters nur mit einer Neutronen-sonde oder mit der Trocknungsmethode möglich. Letztere besteht darin, Materialproben zu entnehmen und deren Gewichtsänderung nach der künstlichen Trocknung zu messen. Diese Prozedur ist langwierig, zudem sind eventuelle sofortige Nachjustierungen der Wasserzufuhr – real time control – nicht möglich.

Der WaveTest ist nun am Eingang des Förderbandes eingebaut. Metallelemente und Schwenklap-

**Der für die Post-Processing-Algorithmen zuständige Software-Ingenieur beobachtet die Wiederholbarkeit einer Messung.**

(Bild: Elsbeth Heinzelmänn)

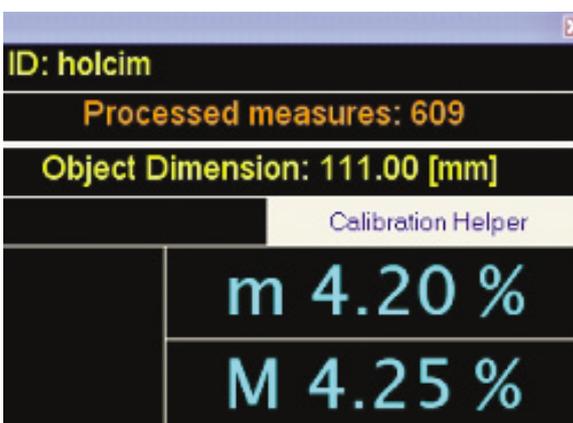
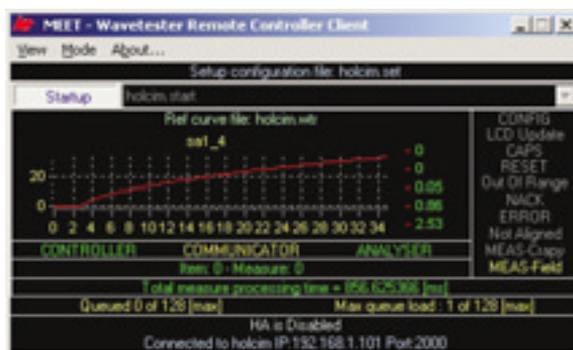
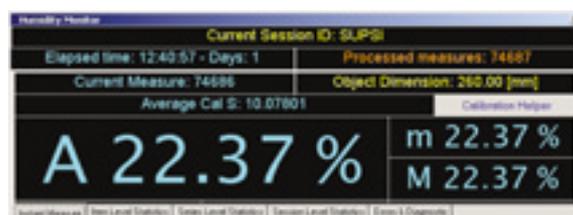


pen mit eingebautem Sensor nivellieren die Gesteinskörnung auf eine bestimmte Höhe, damit die Mikrowellen stets eine bekannte Materialmenge messen. Die Ladung erfolgt kontinuierlich, das Gerät kann verschiedene Messungen pro Sekunde durchführen. «In Bodio haben wir verschiedene Sandkörnungen, wobei die feinste 0/1 beträgt, somit viel Wasser zurückhält», so Franco Galimberti, Holcim-Verantwortlicher für die Region. «Mit dem WaveTester erhalten wir zum ersten Mal genaue Messresultate, können auf dem Display die Korrelation Feuchtigkeit / Dielektrizitätskonstante verfolgen.» Wegen der unterschiedlichen Penetration lässt sich die Frequenz je nach Material spezifisch einstellen. Als besonders wertvoll erweist sich für den Kies- und Betonlieferanten die zusätzliche statistische Auswertung. «Wir können genau Buch führen über diverse Aspekte wie die Anlieferungszeit, die Körnung oder den Feuchtigkeitsgehalt, was die Basis für eine einwandfreie Qualitätskontrolle schafft.» Mit dem zukünftigen Mikrowellenmessgerät im Betonmischer entfallen dank WaveTester die Kosten für die Entsorgung sowie der Unterhalt

durch spezialisierte Fachleute. Positive Bilanz zieht ebenso Andrea Salvadè: «Durch die Arbeiten im KTI-Projekt konnten wir im Tessin Kompetenz in Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik aufbauen und beschäftigen nun in diesem Bereich neun Mitarbeiter. Das wäre ohne Unterstützung der KTI nie möglich gewesen.»

### Partner gesucht für den Weltmarkt

Doch schon stecken sich die Tessiner Ingenieure neue Ziele. Um ihre Erfahrung in nicht-invasiven Sensoren weiter auszubauen, möchten sie den WaveTester direkt im Mischer anbringen, was – im metallenen Gehäuse – eine echte Herausforderung bedeutet. Zudem überlegen sich die Beiden neue Anwendungsgebiete. «Ein erstes Gerät hatten wir für die SOTA – die Einkaufsgenossenschaft für den Inlandtabak – entwickelt, die den Feuchtigkeitsgehalt von Tabakblättern untersuchte», so der SUPSI-Forscher. «Derzeit erproben wir ein Mikrowellen-Messsystem für Keramik, da diese beim Brennen im Ofen – durch das Austreten von Wasser – Risse erhalten kann.» Der Fantasie sind jedoch keine Grenzen



Der WaveTester liefert genaue Messresultate, wobei die Korrelation Feuchtigkeit / Dielektrizitätskonstante sich auf dem Bildschirm verfolgen lässt. (Bilder SUPSI)



Ricardo Monleone, Geschäftsführer MEET, zeigt Teile der am SUPSI entwickelten planaren Antennen, Antennen-Know-how ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung von Mikrowellensensoren. (Bild: Elsbeth Heinzelmänn)

gesetzt, könnte der WaveTester doch auch gute Dienste leisten für Feuchtigkeitsmessungen in Holz, Leder, Wolle, Baumwolle, Fischmehl oder Lebensmitteln. Aber für das Kleinunternehmen MEET S.a.g.l. ist diese Investition eine Schuhnummer zu gross, ob schon Ricardo Monleone dank dem erfolgreichen KTI-Projekt inzwischen seinen Betrieb erweitern und neue Mitarbeitende einstellen konnte. «Wir erhalten Anfragen aus allen Kontinenten. Was uns nun fehlt ist ein starker Partner, mit dem wir neue innovative Ideen verwirklichen und den Sprung in den Weltmarkt schaffen.»

Elsbeth Heinzelmänn, Journalistin für Technik und Wissenschaft, Basel