

The benefits of accurate moisture management are now widely accepted to clearly outweigh the investment and onward cost for concrete producers. Product yields may be maximised, materials efficiently utilised, energy consumption reduced and a quality finished product ensured.

Mittlerweile ist es allgemein anerkannt, dass die Vorteile einer exakten Feuchtere regulierung bei der Betonherstellung Investitions- und Folgekosten deutlich senken können. Die Produktausbeute lässt sich maximieren, die Rohstoffe wirtschaftlicher einsetzen, der Energieverbrauch reduzieren und ein hochwertiges Endprodukt kann so garantiert werden.

## The Benefits of a Digital Moisture Measurement Technique Die Vorteile der digitalen Feuchtemesstechnik

TEXT: Mr Jason Laffan, Managing Director, Hydronix Limited

There are various methods of using microwaves to measure moisture. The most common method used in the concrete industry is the resonant cavity technique. In the past, an analogue microwave sensor would measure moisture through a combination of frequency shift (the left to right movement of the response) and amplitude attenuation (the change in the height of the response) of the resonator, see Fig. 1. This combination was measured as a single analogue response and therefore frequency shift and attenuation could not be separated. Hydronix went on to break new ground in the 1980's with the introduction of an innovative digital microwave sensor whereby the frequency shift component could be accurately measured using precise digital techniques. This development resulted in two

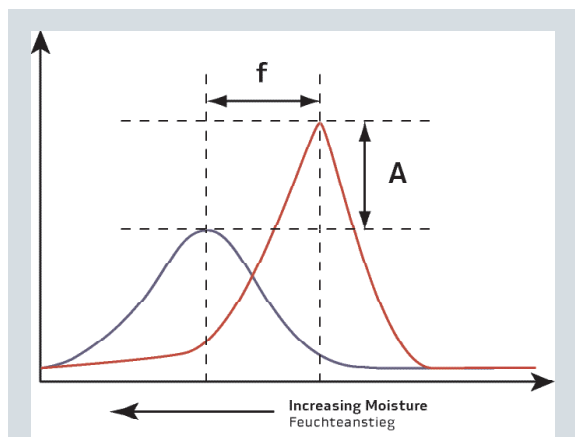
Es gibt unterschiedliche Verfahren zur Nutzung von Mikrowellen bei der Feuchtemessung. Am häufigsten kommt in der Betonindustrie die Hohlraumresonator-Technik zum Einsatz. In der Vergangenheit wurde ein analoger Mikrowellensensor zur Feuchtemessung eingesetzt, der Messungen mittels einer Kombination aus Frequenzverschiebung (der Bewegung der Antwortfunktion von links nach rechts) und Amplitudendämpfung (die Änderung der Höhe der Antwortfunktion) des Resonators vornahm (siehe Abb. 1). Mit dieser Kombination erfolgte eine einzelne analoge Reaktion und daher konnten Frequenzverschiebung und Dämpfung nicht getrennt werden. Hydronix beschritt in den 1980ern mit der Einführung eines innovativen digitalen Mikrowellensensors neue Wege, wodurch die Frequenzverschiebungskomponente durch den Einsatz digitaler Verfahren exakt gemessen werden konnte. Diese Entwicklung führte zu zwei wesentlichen Verbesserungen an den Sensoren, einer Verbesserung bei der Genauigkeit und ebenfalls einer deutlichen Erweiterung des Feuchtebereichs, für den der Sensor eine echte lineare Reaktion bei einem Anstieg des Feuchteniveaus geben würde.

Von jedem Material geht eine andere Auswirkung auf den vom Sensor generierten Mikrowellenbereich aus. Bei einem Anstieg der Feuchte verschiebt sich die Reaktion und die Amplitude verringert sich.

Die nicht so modernen Sensoren messen lediglich die Veränderung der Amplitude in einer festgelegten Frequenz. Messungen über einen kundenspezifischen Frequenzbereich liefern wesentlich präzisere Ergebnisse als

1  
Moisture causes a change in the dielectric property of a material resulting in a frequency shift and amplitude attenuation

Feuchte verursacht eine Veränderung der dielektrischen Eigenschaft eines Materials, was zu einer Frequenzverschiebung und Amplitudendämpfung führt



Photos: Hydronix

significant improvements in the sensors, an improvement in accuracy and also a very significant extension of the moisture range for which the sensor would give a true linear response as moisture levels increased.

Every material will have a different effect on the microwave field generated by the sensor. As moisture increases the response will shift and reduce in amplitude.

Less advanced sensors simply measure a change in amplitude at a fixed frequency. Measuring across a custom frequency range gives more accurate results than those sensors that work within the confines of a single frequency using an open band such as those used by Burglar Alarm Systems or Wi-Fi (433MHz or 2.4GHz). The components required to manufacture a sensor that measures a frequency shift as opposed to a change in amplitude at a fixed frequency are more complex but provide a superior result. The reason for this is demonstrated in **Fig. 2 and 3**.

**Fig. 2** demonstrates the difference between a digital multi-frequency measurement and an analogue measurement at a fixed frequency ( $f_1$ ) of just the change in amplitude.

As the moisture increases the frequency shifts from  $f_1$  to  $f_2$ ,  $f_3$  and then  $f_4$ . The shift between each is similar in magnitude. A sensor with a digital measurement technique will continually scan the frequency response and will track the equal changes in frequency as the material becomes wetter.

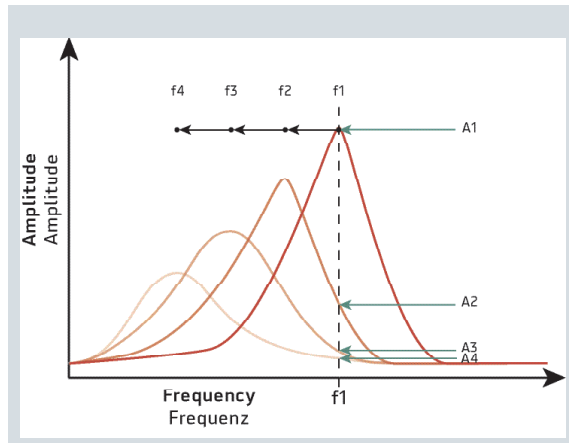
For the same moisture changes, a single frequency sensor simply measuring the change in the amplitude at frequency  $f_1$  will measure the changes from  $A_1$  to  $A_2$ ,  $A_3$  and then  $A_4$ . It can be seen that the sensor progressively loses the ability to register a change in reading as the material becomes wetter. Typically, a good analogue sensor will lose the ability to register additional changes in moisture from about 12% onwards.

This not only effects the sensors ability to register changes in moisture above this level but it also means that the entire moisture curve lacks linearity as shown in **Fig. 3**.

Utilising a non-linear measurement technique requires the sensor reading to undergo significant mathematical manipulation in order to output what appears to be a linear response to changes in moisture.

A digital multi-frequency measurement has the ability to measure from 0% moisture through to material saturation while maintaining sensitivity and precision across the full working range. Admittedly, in the concrete industry this is not required. The benefits in accuracy around the 0% to 12% working are beneficial and noticeable when batching to tight quality and cost targets.

This also highlights a key difference between an analogue sensor that claims to be digital because it can process the signal and output a seemingly linear measurement and a sensor that uses a digital microwave moisture measurement technique that is inherently linear. The latter will overlay the linear response with subsequent processing to fine tune the curve and incorporate features such as on-board signal smoothing, alarms and averaging functions.



diejenigen Sensoren, die innerhalb der Begrenzung einer Einzelfrequenz arbeiten und dabei ein offenes Frequenzband, wie beispielsweise von Alarmanlagen oder Wi-Fi (433 MHz oder 2,4 GHz) nutzen. Die für die Herstellung von Sensoren erforderlichen Komponenten zur Messung einer Frequenzverschiebung im Gegensatz zur Amplitudenänderung bei festgelegter Frequenz sind wesentlich komplizierter, bieten aber bessere Ergebnisse. Die Gründe hierfür werden in **Abb. 2 und 3** dargestellt.

**Abb. 2** zeigt den Unterschied zwischen einer digitalen Mehrfrequenz-Messung und einer analogen Messung, bei der in einer festgelegten Frequenz ( $f_1$ ) nur die Amplitudenänderung gemessen wird.

Bei steigender Feuchte verschiebt sich die Frequenz von  $f_1$  nach  $f_2$ ,  $f_3$  und dann  $f_4$ . Die Verschiebung erfolgt in jeweils gleicher Größenordnung. Bei einem mit digitaler Messtechnik arbeitenden Sensor wird der Frequenzgang kontinuierlich erfasst und die gleiche Frequenzänderung nachverfolgt, wenn das Material feuchter wird.

Bei gleichen Veränderungen der Feuchte wird von einem Einzelfrequenz-Sensor, der die Änderung der Amplitude bei Frequenz  $f_1$  misst, die Veränderung von  $A_1$  zu  $A_2$ ,  $A_3$  und dann  $A_4$  gemessen. Es zeigt sich, dass der Sensor zunehmend die Fähigkeit zur Registrierung von Veränderungen bei der Messung verliert, wenn das Material feuchter wird. Ein guter analoger Sensor verliert typischerweise die Fähigkeit zur Registrierung von weiteren Veränderungen der Feuchte ab etwa 12 %.

Dies beeinflusst nicht nur die Fähigkeit des Sensors bei der Registrierung von Veränderungen der Feuchte oberhalb dieses Niveaus, sondern bedeutet auch, dass der gesamten Feuchtekurve die Linearität fehlt, wie **Abb. 3** zeigt.

Bei der Nutzung von nichtlinearen Messverfahren bedarf es erheblicher mathematischer Bearbeitung der Sensor-Messwerte, um eine annähernd lineare Reaktion auf Veränderungen der Feuchte zu erhalten.

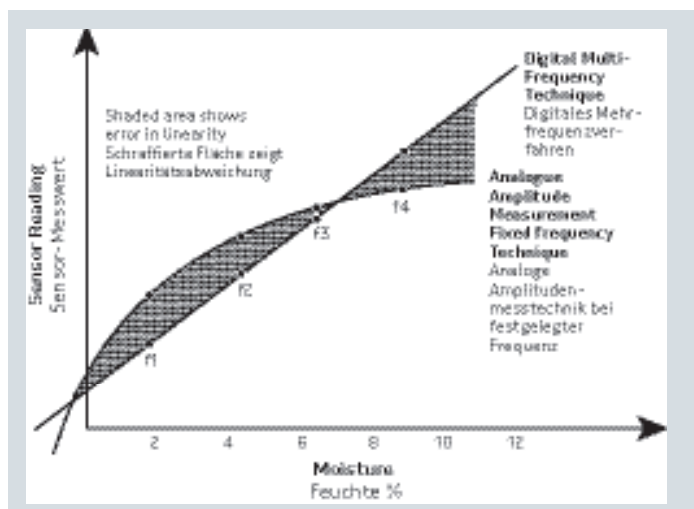
Mit der digitalen Mehrfrequenz-Messung ist es möglich, von 0 % Feuchte bis zur Materialsättigung zu messen und dabei die Empfindlichkeit und Genauigkeit über den gesamten Arbeitsbereich beizubehalten. Die Vorteile einer Genauigkeit im Arbeitsbereich von 0 % bis 12 % machen sich bei Mischungen innerhalb eines enggefassten Qualitäts- und Kostenrahmens vorteilhaft bemerkbar.

Dies verdeutlicht außerdem den Hauptunterschied zwischen einem analogen Sensor mit einer vorgeblich digitalen Arbeitsweise, da er diese Signale verarbeiten

## 2

### The Measurement

#### Die Messung

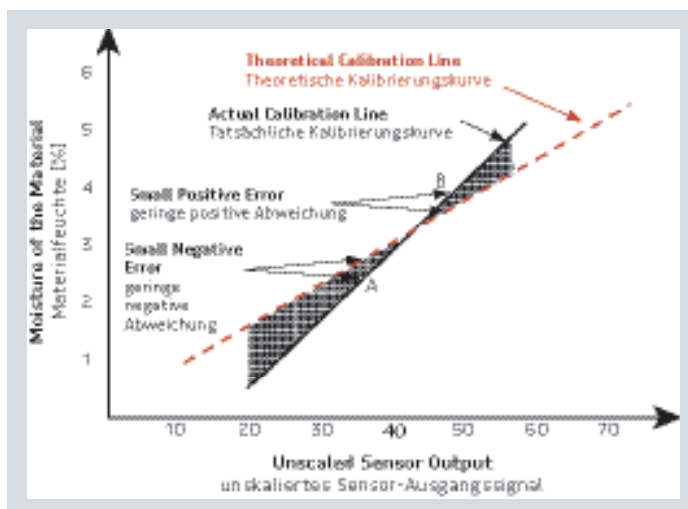


Photos: Hydronix

3

The effects of a non-linear measurement technique

Die Auswirkungen eines nichtlinearen Messverfahrens



4

The effects of assuming a calibration slope

Die Auswirkung einer angenommenen Kalibrierungs-Steilheit

### Accuracy Requires Calibration

Calibration is the process of defining the relationship between the change in the sensor response with the change in the moisture content of the material. This is required because each material will have its own electrical properties (dielectric properties) which effect the microwave field differently.

A good sensor should only require calibrating once for a given material. A poor quality sensor will require continual recalibrating due to errors. When well calibrated, an accurate and temperature stable moisture sensor should glide up and down the linear moisture line all year round.

However, a good sensor that is poorly calibrated or an unreliable sensor that is well calibrated may, for a short period perform well when operating at or around the moisture range to which it was calibrated. As the sensor moves away from this moisture range the reading will exhibit an ever increasing error. The same error will also exist for a sensor with an underlying non-linear measurement technique that is well calibrated.

For the demanding end-user, even a small calibration error can lead to large errors as the moisture varies even with an accurate sensor as shown in Fig. 4.

As appealing as it may be, leading manufacturers would agree that any claim made by a sensor manufacturer that their equipment does not require calibrating will lead to sub-optimal results in the field regardless of technical claims concerning the measurement technique of the sensor.

A well calibrated sensor that operates with a different calibration slope for coarse and fine sands of the same type of material is likely to be more accurate than a sensor that claims one calibration fits all.

Fig. 4 shows the increasing inaccuracy arising from a either a very small calibration error or the assumption of the gradient of the calibration slope. At the

kann und eine scheinbar lineare Messung ausgibt, und einem Sensor, der die grundsätzlich lineare, digitale Mikrowellen-Messtechnik nutzt. Bei Letzterem greift die lineare Reaktion in die nachfolgende Verarbeitung zur Feineinstellung der Kurve über und beinhaltet Funktionen, wie die integrierte Signaldämpfung, Alarmfunktion und Mittelwertbildung.

### Genauigkeit erfordert Kalibrierung

Mit der Kalibrierung wird die Definition der Relation zwischen der Veränderung bei der Reaktion des Sensors zu der Veränderung des Feuchtegehalts des Materials bestimmt. Dies ist erforderlich, da jedes Material eigene elektrische Eigenschaften (dielektrische Eigenschaften) aufweist, die den Mikrowellenbereich unterschiedlich beeinflussen.

Bei einem guten Sensor sollte eine Kalibrierung nur einmal pro vorgegebenem Material erforderlich sein. Ein schlechter Sensor erfordert ständige Neukalibrierung aufgrund von Fehlern. Bei guter Kalibrierung sollte ein präziser und temperaturstabiler Feuchtesensor das ganze Jahr hindurch die gesamte lineare Feuchtekurve anzeigen.

Beim Einsatz in oder um den entsprechend kalibrierten Feuchtebereich können auch von einem guten, jedoch schlecht kalibrierten Sensor oder einem gut kalibrierten, unzuverlässigen Sensor kurzzeitig gute Ergebnisse geliefert werden. Sobald der Sensor diesen Feuchtebereich jedoch verlässt, wird der Messwert eine immer größere Abweichung aufweisen. Auch bei einem auf nichtlinearer Messtechnik basierenden, gut kalibrierten Sensor wird dieselbe Abweichung auftreten.

Für den anspruchsvollen Anwender kann selbst ein geringer Kalibrierungsfehler zu einer großen Abweichung führen, da die Feuchte selbst bei einem präzisen Sensor variiert, wie Abb. 4 zeigt.

Führende Betonhersteller werden dahin gehend zustimmen, dass der von einem Sensorhersteller erhobene



point of calibration, between 2.5% and 3.5% moisture the sensor is reasonably accurate but as the working moisture range moves away from this range, perhaps with a changing season or a wet day, the error will progressively increase shown by the grey area which is the difference between the theoretically correct calibration and the one in use.

It is usual for moisture sensors measuring in the material bins to be calibrated to an absolute moisture percentage. Hydronix always recommends that the best and most failsafe method for calibrating a sensor is to use a multi-point technique such as that used in their Hydro-Com software, see [Fig. 5](#).

### Temperature Stability

When measuring in aggregates with a potentially steep calibration line, a small change in sensor readings will correspond to a large change in moisture readings. For this reason it is vital that the sensor readings remain stable with changes in temperature.

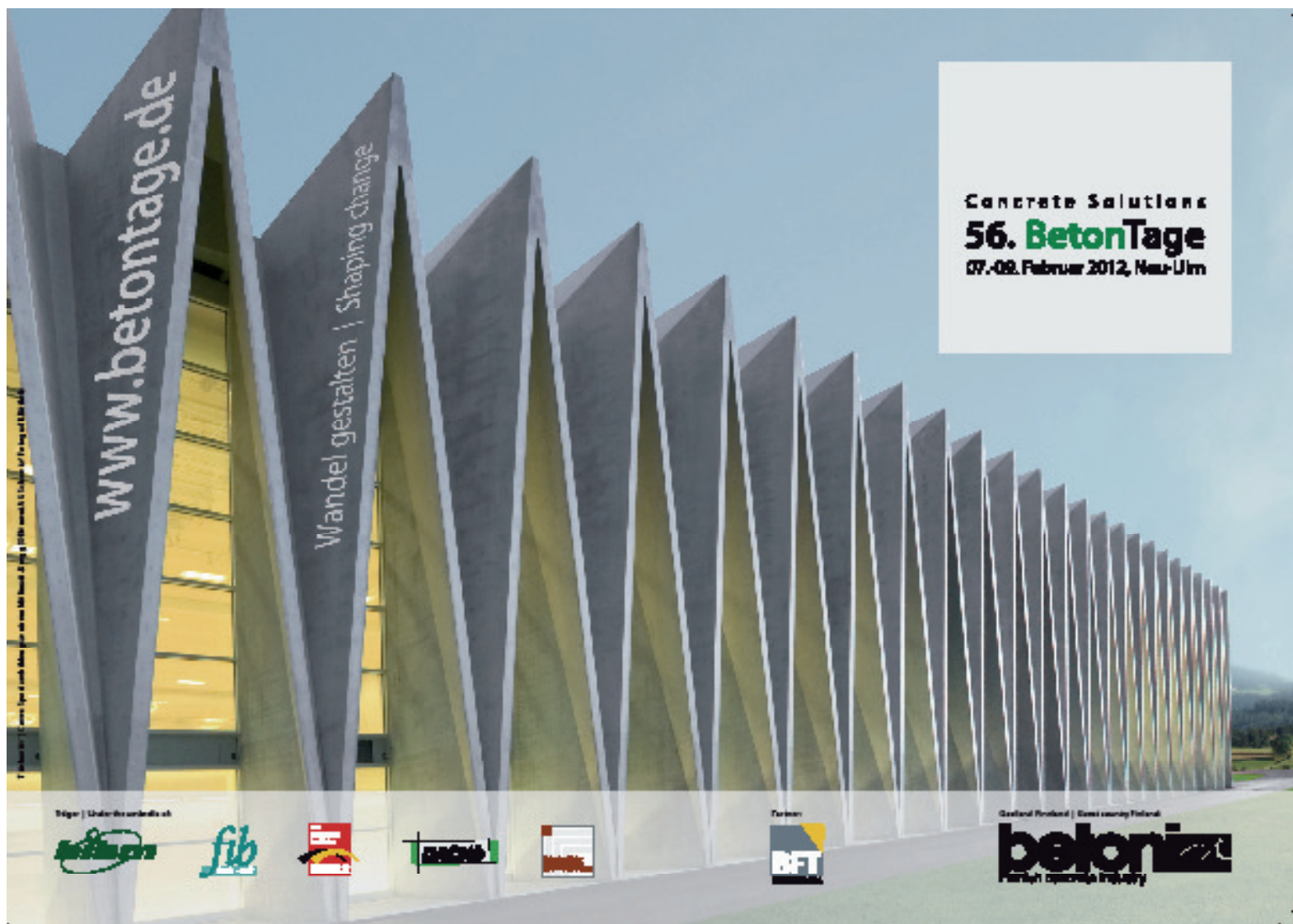
The electronic hardware in a good moisture sensor should be designed to remain indifferent to changes in temperature. Additionally, Hydronix has a software compensation algorithm that measures the temperature of the electronics and finely adjusts the sensor for any further compensation if it is required. Each sensor

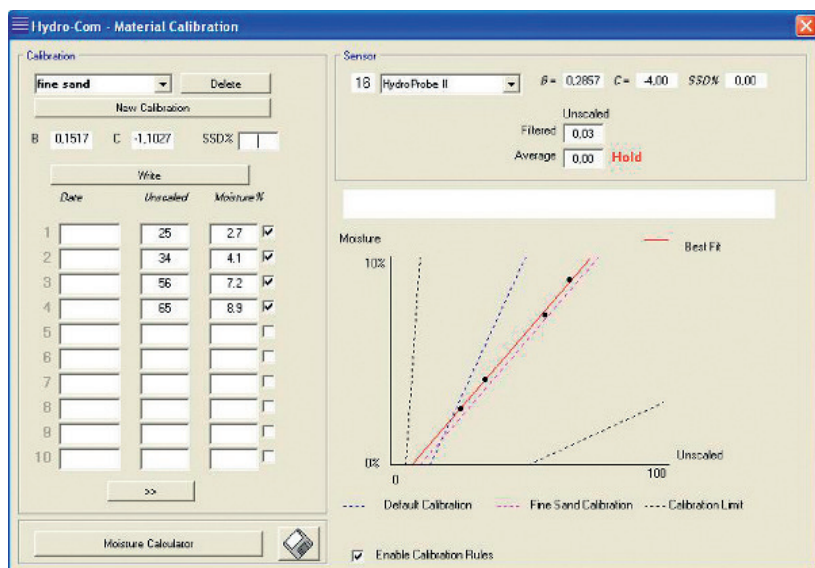
Anspruch, dass bei seinen Geräten eine Kalibrierung nicht notwendig sei (so verlockend dies auch sein mag) in der Praxis jedoch zu suboptimalen Ergebnissen führen wird, und zwar ungeachtet der technischen Ansprüche in Bezug auf die Messtechnik des Sensors.

Ein gut kalibrierter Sensor, der mit unterschiedlicher Kalibrierungs-Steilheit für groben und feinen Sand bei gleichem Material arbeitet, ist wahrscheinlich genauer als ein Sensor, bei dem eine Kalibrierung für alles gilt.

**Abb. 4** zeigt die zunehmende Ungenauigkeit entweder ausgehend von einem sehr geringen Kalibrierungsfehler oder einem angenommenen Verlauf der Kalibrierungs-Steilheit. Liegt der Kalibrierungspunkt zwischen 2,5 % und 3,5 % Feuchte, ist der Sensor halbwegs genau, sobald der Feuchtebereich außerhalb dieser Zone liegt – etwa bedingt durch Jahreszeitenwechsel oder durch einen sehr feuchten Tag – wird der Fehler progressiv zunehmen, wie im grauen Bereich angezeigt, was den Unterschied zwischen der theoretisch korrekten Kalibrierung und der jeweils Verwendeten anzeigt.

Feuchtesensoren für die Messung im Materialbehälter werden üblicherweise im absoluten Prozentwert der Feuchte kalibriert. Hydronix empfiehlt als beste und fehlersicherste Methode für die Kalibrierung von Sensoren immer die Verwendung der Mehrpunkttechnik, wie beispielsweise bei der Hydro-Com Software (siehe [Abb. 5](#)).





## Temperaturbeständigkeit

Bei der Messung von Gesteinskörnungen mit einer potenziell steilen Kalibrierungskurve entspricht eine geringe Veränderung beim Messwert des Sensors bereits einer beachtlichen Veränderung des Feuchtemesswerts. Daher ist es wichtig, dass die Messwerte des Sensors bei Temperaturänderungen stabil bleiben.

Die elektronische Hardware eines guten Feuchtesensors sollte so ausgelegt sein, dass er nicht auf Temperaturschwankungen reagiert. Hydronix bietet außerdem einen Software-Kompensations-Algorithmus zur Messung der Elektroniktemperatur und um gegebenenfalls eine Feinabstimmung des Sensors zum weiteren Ausgleich vorzunehmen. Jeder Sensor verfügt über eine Reihe eindeutiger Temperatur-Koeffizienten, die im Fertigungsverlauf berechnet werden und im Sensor gespeichert sind, um so die maximale Stabilität jedes einzelnen Geräts zu garantieren.

Photo: Hydronix

5

**A multi-point calibration technique is recommended**

Eine Mehrpunkt-kalibrierungsmethode ist empfehlenswert

has a unique set of temperature coefficients calculated during the production stage which is stored in the sensors memory ensuring maximum stability for each individual unit.

## To conclude

There are a variety of moisture measurement sensors available on the market, all of which claim to provide the best and most accurate results. When choosing a sensor, you should ensure that it is fully temperature stable, and completely linear over the working range at which you wish to operate. A digital sensor utilising an underlying measurement technique that is capable of maintaining linearity from the absorption point (also known as S,S,D) to complete saturation by definition will give excellent accuracy limited only by the accuracy of the calibration.

The Hydronix range of sensors are supported in over 65 countries worldwide and the team of engineers is backed-up by our free global exchange program.

## Fazit

Auf dem Markt ist eine Vielzahl von Feuchtemesssensoren verfügbar und jeder beansprucht für sich, die besten und genauesten Ergebnisse zu liefern. Bei der Auswahl eines Sensors sollte man sicherstellen, dass er temperaturbeständig ist und vollkommen linear den jeweils gewünschten Arbeitsbereich abdeckt. Ein digitaler Sensor basierend auf einer Messtechnik, die in der Lage ist, Linearität vom Absorptionspunkt (auch als SSD bekannt) bis zur vollständigen, definierten Sättigung einzuhalten, bietet eine hervorragende Genauigkeit, die nur hinsichtlich der Genauigkeit der Kalibrierung beschränkt wird.

Die von Hydronix gelieferten Sensoren werden in über 65 Ländern angeboten und das Technikerteam wird durch ein frei zugängliches weltweites Austauschprogramm unterstützt.

## BACKGROUND

With 30 years' experience using low power microwaves to measure moisture, Hydronix has become one of the industry leaders in the field of microwave moisture measurement technology. The sensor's microwaves penetrate into the materials being measured and they are not affected by dusty environments or colour changes. Due to the high volume of sensors produced, Hydronix has reduced the cost of measuring moisture in-line, making it more widely available to all producers.

Mit 30 Jahren Erfahrung beim Einsatz von schwachen Mikrowellen zur Feuchtemessung ist Hydronix einer der Branchenführer im Bereich der Mikrowellen-Feuchtemesstechnik. Die Mikrowellen des Sensors dringen in das zu messende Material ein, wobei staubige Umgebungen und Farbveränderungen hierbei keinen Einfluss nehmen. Mit den in großer Stückzahl hergestellten Sensoren hat Hydronix die Kosten für die Inline-Feuchtemessung reduziert und so für alle Hersteller zugänglich gemacht.

## CONTACT

**Hydronix Limited**  
Head Office  
7 Riverside Business Park  
Walnut Tree Close  
Guildford/GB  
GU1 4UG  
☎ +44 1483 468900  
✉ enquiries@hydronix.com  
🌐 [www.hydronix.com](http://www.hydronix.com)