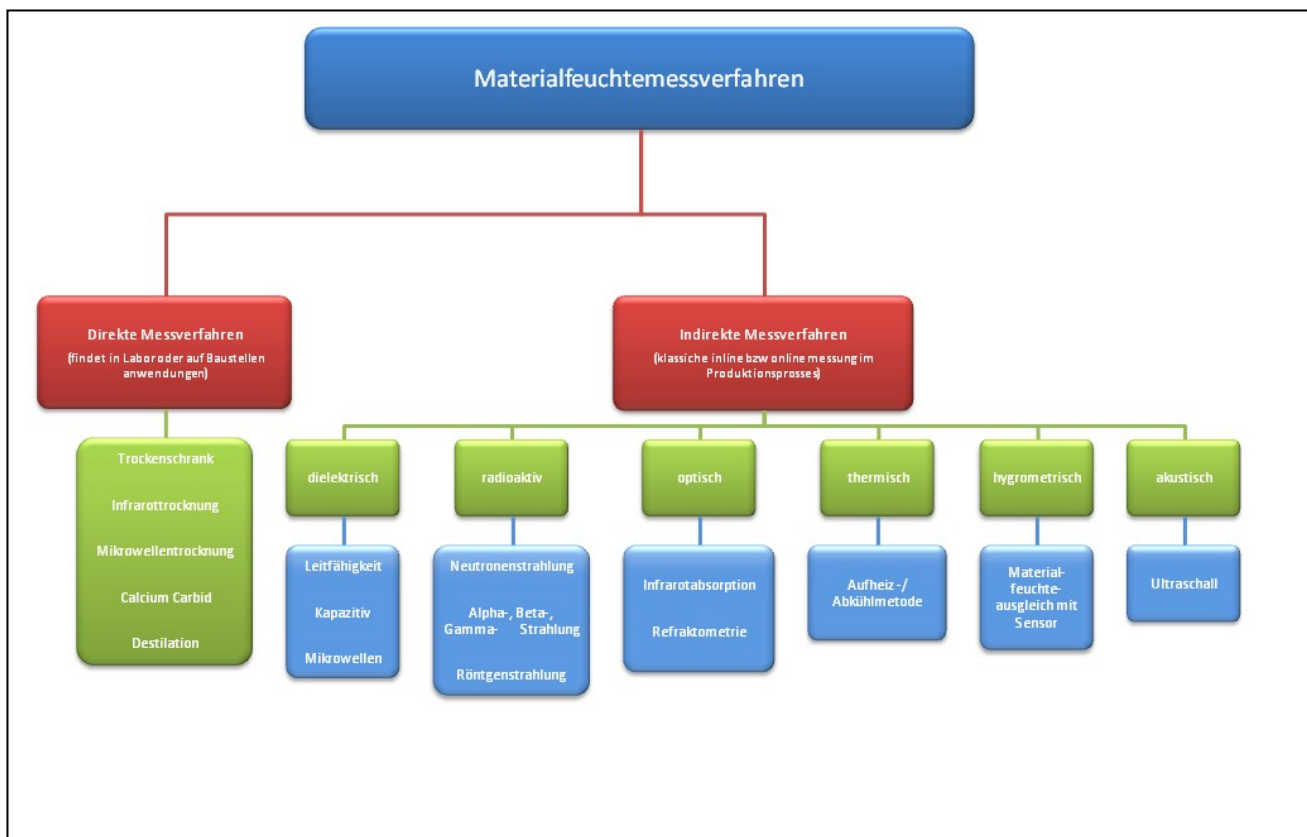


Innovationen in der Mikrowellen-Feuchtemesstechnik und erweiterte Einsatzmöglichkeiten bei der Herstellung von Hochleistungsbetonen

Bei der Herstellung von Hochleistungsbetonen oder beim Einsatz innovativer Produktionsverfahren, wie z.B. bei der Verarbeitung selbstverdichtender Betone, ist die Verwendung immer genauerer Mess-, Dosier- und Wägeeinrichtungen erforderlich. Gerade die Feuchtemessung nimmt hier eine besondere Rolle ein, da vom exakten Feuchtegehalt des Frischbetons eine Vielzahl späterer Produkteigenschaften wie z.B. Druckfestigkeit, Verarbeitbarkeit, Frost- und Tausalzbeständigkeit oder auch die Farbgebung bei Sichtbetonen abhängen.

Aber nicht nur bei der Herstellung des Frischbetons, sondern auch beim Transport, spielen Informationen über die Feuchteentwicklung, Temperatur oder Konsistenz eine immer größere Rolle und erfordern neue, innovative Messverfahren.



Bevor die Arbeitsweise und die Vorzüge des Mikrowellen-Messverfahrens näher vorgestellt werden, verdeutlicht eine Übersicht die gängigen Feuchtemessverfahren. Grundsätzlich wird zwischen den direkten und den indirekten Messverfahren unterschieden:

Das direkte Messverfahren. Dieses Messverfahren wird überwiegend im Laborbereich angewandt. Hier stehen mehrere Möglichkeiten zur Auswahl. Es wird der Feuchtegehalt von Materialproben über das Trocknungsverfahren (Darren) im Trockenschrank, mit einer Infrarotlampe oder im Mikrowellenofen ermittelt. Das direkte Messverfahren findet seine Anwendung zum Einen, um Online-

Feuchtesensoren zu kalibrieren bzw. Materialproben auf Ihren Feuchtegehalt exakt zu bestimmen. Es ist relativ zeitintensiv und es wird nur ein kleiner Bruchteil der Schüttgutmengen in Bezug auf die komplette Charge erfasst.

Als weiteres Verfahren steht hier auch die Calcium-Carbid-Methode zur Verfügung.

Das indirekte Messverfahren hat seine klassischen Anwendungen bei den Onlinemessungen im Produktionsprozess. Hier unterscheiden wir zunächst zwischen der radiometrischen bzw. der Neutronenmessung.

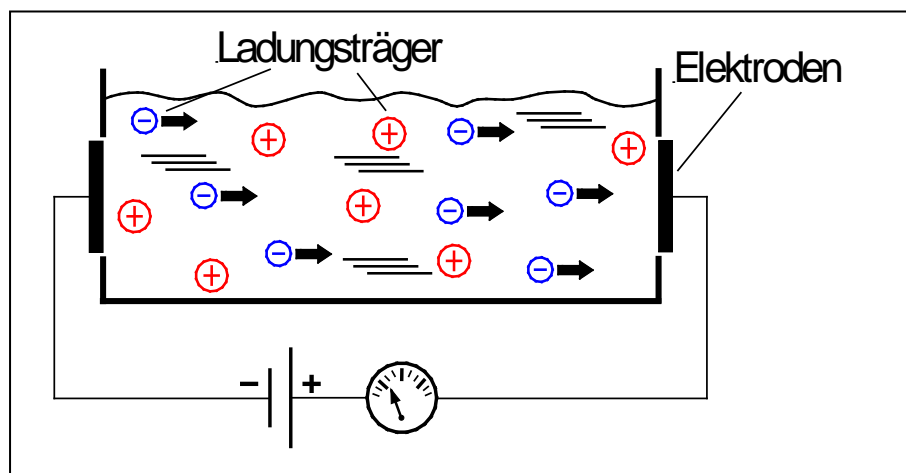
Physikalische Basis ist radioaktive Strahlung, die vom Material absorbiert wird bzw. Neutronen, deren Geschwindigkeit von der Feuchte des Messmediums abhängt und als Berechnungsgrundlage für die Feuchtigkeit dient.

Mit beiden Verfahren kann ein hohes Maß an Messgenauigkeit erreicht werden. Jedoch ist die praktische Umsetzung und ein dauerhafter Betrieb sehr komplex und an klare Vorgaben gebunden (z.B. Überwachung der Messeinrichtung durch einen Strahlenschutzbeauftragten.)

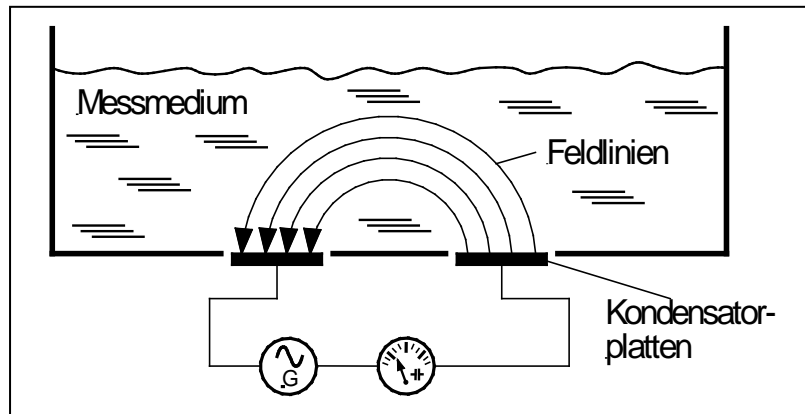
Bei den am meisten angewandten Feuchtemessverfahren in der Betonindustrie handelt es sich um die **dielektrischen Messverfahren**.

Hierbei unterscheidet man grundsätzlich 3 Verfahrensgruppen:

Das Leitfähigkeitmessverfahren bzw. das kapazitive Messverfahren



Beim **Leitfähigkeit- bzw. Widerstandsmessverfahren** wird der elektrische Widerstand zwischen einer von der Masse isoliert aufgebauten Messelektrode zur Erde oder zur Masse eines Mischtroges oder einer Silowandung gemessen. Dieses Verfahren wurde bereits in den fünfziger Jahren in der Betonbranche angewandt. Es wurde überwiegend bei der Mischermessung erdfechter Betone aber auch bei der Zuschlagstoffmessung eingesetzt.



Bei der **kapazitiven Messmethode** wird die Dielektrizität des Messgutes über die Kapazitätsänderung eines Streufeldkondensators ermittelt. Das zu messende Schüttgut ist gleichzusetzen mit dem Isolator zwischen beiden Kondensatorplatten. Die kapazitiven Messsensoren werden überwiegend bei der Dosierung von Schüttgütern am oder im Silo bzw. Dosierband eingesetzt.

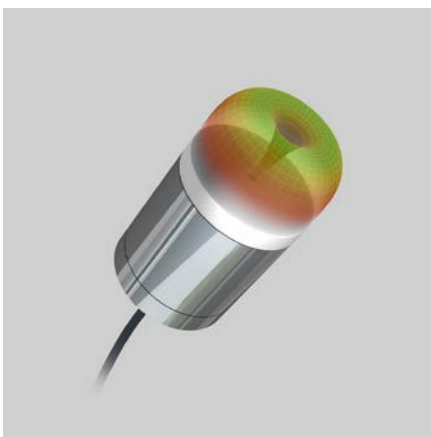
Beide Messmethoden werden auch heute noch zur Feuchtemessung eingesetzt, weisen aber nach unserem Dafürhalten gewisse Einschränkungen auf, die den gültigen Genauigkeitsanforderungen nicht mehr gerecht werden.

So wird ein kleinerer Feuchtebereich als bei dem später beschriebenen Mikrowellen-Messverfahren abgedeckt, wobei der Messsignalverlauf auch nur im Bereich von 0%-5% linear ist. Das führt dazu, dass bei über 5% ansteigenden Feuchtwerten größere Abweichungen auftreten, denen man mit einer aufwändigen und langwierigen Kalibrierung des Messsystems entgegen wirken muss.

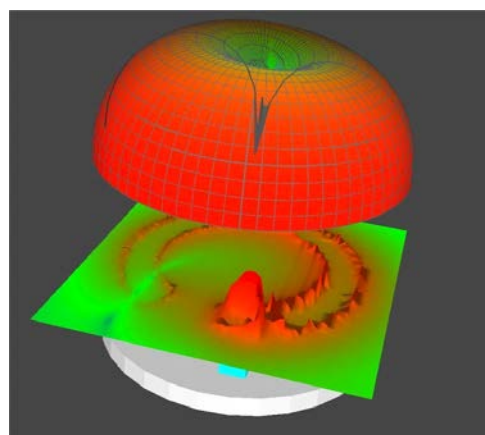
Insbesondere bei der Leitwertmethode beeinflusst eine Verschmutzung der Gegenelektrode (z.B. Mischertrog oder Silowandung) die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.

Beide Verfahren reagieren zudem empfindlich auf Temperaturschwankungen des Messmediums und unterschiedliche Ionenleitfähigkeit, also pH-Wert Änderungen der Rohstoffe.

Das Mikrowellenmessverfahren



*Visuelle Darstellung
des Messfeldes*



*Messfeldsimulation mit Hilfe
eines Entwicklungsprogramms*

Das Mikrowellenmessverfahren findet seit mehr als 20 Jahren sowohl bei der Zuschlagstoffmessung als auch bei der Mischermessung Verwendung. So verhält sich die Mikrowellenmessung in einem sehr großen Feuchtebereich linear, was genaue Messergebnisse auch in hohen Materialfeuchten gewährleistet. Die Arbeitsfrequenz von 433 MHz der Sonden hat sich hier als vorteilhaft erwiesen. Mit ihr kann eine Eindringtiefe des Messsignals von 50–100mm erreicht werden, was die Erfassung eines ausreichend großen Materialquerschnitts ermöglicht, um ein repräsentatives Messergebnis der gesamten Charge ermitteln zu können.

Einflussgrößen, die das Messsignal beeinträchtigen können, wie etwa die Verschmutzung des Mischertroges oder wechselnder pH-Wert der Mischung, z.B. durch die Verwendung unterschiedlicher Zementsorten, spielen beim Mikrowellenmessverfahren keine Rolle mehr. Grundsätzlich bleibt aber anzumerken, dass bei dem Mikrowellenmessverfahren gleichmäßige Dichte und Druckverhältnisse für exakte Messergebnisse notwendig sind; dies gilt auch für alle anderen dielektrischen Messverfahren.

Bei der Entwicklung neuer Sondengenerationen wird auf bewährte Simulationsprogramme aus der Satelliten- oder Mobilfunktechnik zurückgegriffen. Mit ihnen kann das Messverhalten der Sonden bereits „vorweggenommen“ und der gesamte Entwicklungsprozess optimiert werden.



***Mikrowellen-Feuchtemesssonde mit austauschbarem Messkopf
(Ausführung zum Einsatz in Mischern)***



***Mikrowellen-Feuchtemesssonde BASIC
zur Feuchtemessung in Zuschlagstoffen***

Gerade bei den Mikrowellensensoren konnten so in den letzten Jahren entscheidende Verbesserungen vorgenommen werden.

Neue Elektronikkomponenten weisen ein derart stabiles Temperaturverhalten auf, dass hohe Temperaturschwankungen des Messmediums oder der Umgebungstemperatur keinen Einfluss auf das Messsignal haben. Durch die geringe Baugröße dieser Komponenten können zudem äußerst kompakte Sensoren realisiert werden. So lassen die geringen Abmessungen der Sonden – der Durchmesser

beträgt nur 75 mm, die kleinste Baulänge 50 mm – eine Sondeninstallation auch unter schwierigen Einbausituationen zu.

Diese neuen Komponenten ermöglichen nicht zuletzt die Entwicklung sehr schneller Sensoren. Kürzeste Ansprechzeiten von weniger als einer Millisekunde gewährleisten einen sehr hoch auflösenden Messsignalverlauf und exakte Messergebnisse.

Nach unserer Philosophie bietet die Trennung zwischen analoger Sonde und digitaler Messsignalauswertung im Auswertegerät bzw. der Steuerung erhebliche Vorteile. Beschränkt man sich bei der Sonde auf die absolut notwendige Messelektronik, lassen sich sehr kompakte und robuste Sensoren aufbauen, die auch anspruchsvollen Umgebungsbedingungen gerecht werden. Zudem ist die Funktionsprüfung eines analogen Sensors mit einem einfachen Vielfachmessgerät durch Personal vor Ort jederzeit möglich.

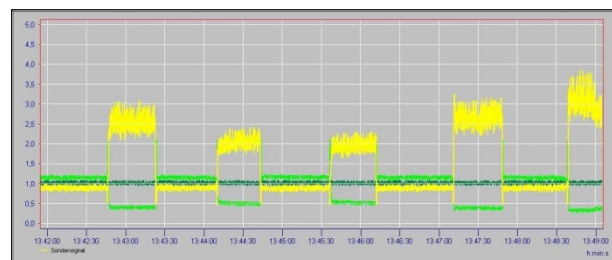
Die analoge Übertragung der Messsignale hat sich in den letzten 30 Jahren im Umfeld der Beton- und Fertigteilindustrie bewährt. Sie ist gegenüber der digitalen Datenübertragung mit handelsüblichen Standardkabeln kostengünstig zu realisieren.

Die Digitalisierung und Auswertung der Messwerte im Auswertegerät oder der Steuerung hat auch den Vorteil, dass alle Einstellparameter beim Sondentausch erhalten bleiben. Dies reduziert die Ausfallzeiten und vereinfacht die Instandsetzung des Messsystems deutlich.

Darüber hinaus ist die Installation einer „Fremdsoftware“ in der Anlagensteuerung nicht erforderlich, was zur Betriebssicherheit der Anlage beiträgt und auch die Möglichkeit der Fernwartung bietet.



**Digitale Auswerteeinheit
zur Messsignalauswertung bei
Zuschlagstoffen**



**Messsignalverlauf vor und nach Aufbereitung
im Auswertegerät**

Feuchtemessung in den Zuschlagstoffen

Bei der Feuchtemessung der Zuschlagstoffe wird in den einzelnen Fraktionen während des Dosiervorganges gemessen. Durch eine Gewichtskorrektur am Ende des Wägevorganges kann bei gravimetrischen Dosier- und Wiegeanlagen eine Nettodosierung der Zuschläge erfolgen, in dem die Mischanlagensteuerung den nun bekannten Wasseranteil berücksichtigt und bei der Dosierung und Verwiegung ausgleicht.

Da der Nettogewichtsanteil der einzelnen Rezepturkomponenten nun eingehalten wird, ist so eine reproduzierbare Rezepturzusammensetzung gewährleistet. Eine gleichbleibende Farb- und Bindemittelkonzentration ist ebenso sichergestellt. Dies ist eine entscheidende Voraussetzung für die gleichbleibende Produktqualität des hergestellten Betons.

Um Rezepturvorgaben möglichst exakt einhalten zu können, ist auch die Messung in Fraktionen mit Grobkorn vorzusehen. Um den besonderen mechanischen Anforderungen und dem hohen Verschleiß dieser Einbausituation gerecht zu werden, stehen Sonden mit Sensormessflächen aus hochverschleißfester Keramik zur Verfügung.

Die folgenden Beispiele zeigen Möglichkeiten wie die Feuchtmesssonden in den Zuschlagstoffsilos oder auf den Förderbändern angebracht werden können:

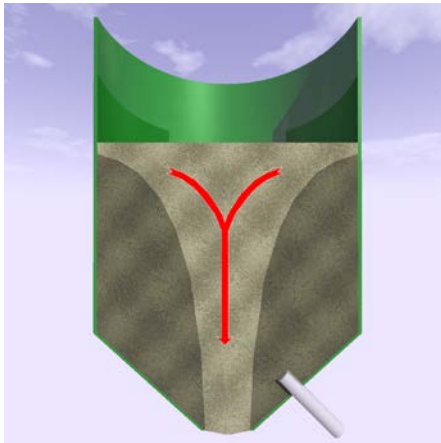
Einbausituation im Silo



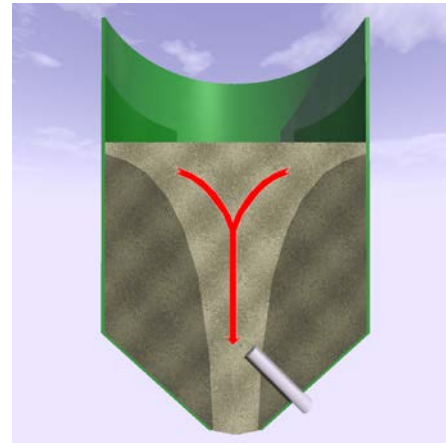
Installationsmöglichkeit der Sonde im Siloauslauf mit Hilfe eines Schutzrohres

- Die Sonde wird mit Hilfe eines Verlängerungsrohres genau im Materialstrom platziert. Das Verlängerungsrohr dient gleichzeitig als SONDENSCHUTZ, da nur die Sensormessfläche mit dem Material in Berührung kommt.

- Sonde und Schutzrohr beeinflussen aufgrund der kompakten Abmessungen nicht den Materialfluss, Brückenbildungen werden vermieden.
- Vorteile bietet diese Installationsmöglichkeit, wenn eine Sondenanordnung unterhalb des Siloverschlusses aufgrund zu kurzer Dosierzeiten oder ungünstiger Platzverhältnisse nicht möglich ist.



Falscher Sondereinbau im stehenden Material



Richtiger Sondereinbau im Materialfluss

- Die beiden Bilder verdeutlichen die Notwendigkeit, die Sonde über ein entsprechend langes Schutzrohr im aktuellen Materialstrom zu platzieren. Der Sondereinbau zu dicht an der Silowand kann zu fehlerhaften Messergebnissen führen, da sich die Sonde nicht im aktuellen Materialstrom befindet.
- Es ist darauf zu achten, dass sich keine Teile der Silokonstruktion (Steigeisen, Streben...) in der Nähe der Sondenmessfläche befinden.

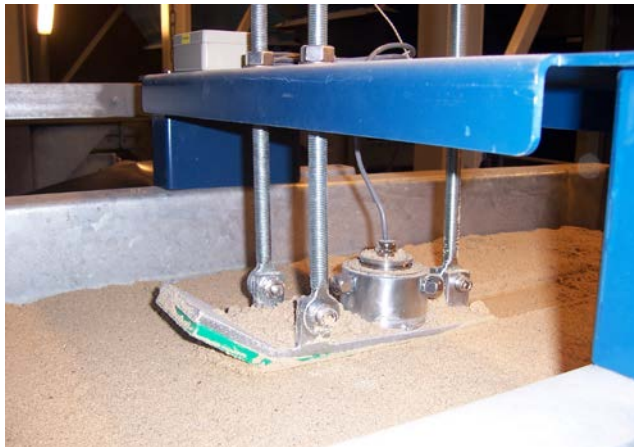
Einbausituation unterhalb des Siloauslaufs



Sondereinbau auf einer Rutsche unterhalb des Siloverschlusses

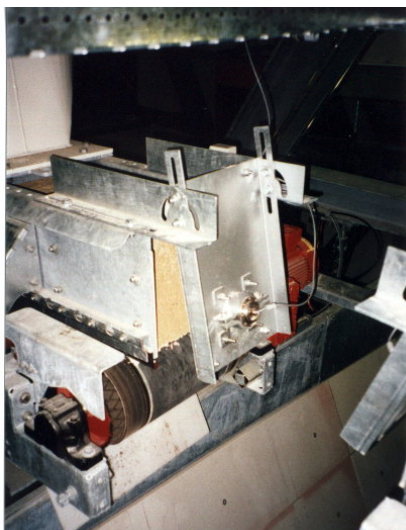
- Die Sonde wird unterhalb der Siloverschlusses auf einer Rutsche installiert. Der Materialstrom fließt während der Dosierung über die Sensormessfläche. Diese Einbauvariante bietet den Vorteil, dass die Sonde jederzeit auf Beschädigungen und Verschmutzungen kontrolliert werden kann. Außerdem kann eine Beeinträchtigung der Sondenfunktion bei der Bedampfung der Zuschläge im Silo vermieden werden.
- Es ist zu beachten, dass bei inhomogenem Materialfluss oder zu kurzen Dosierzeiten kein ausreichend stabiler Messwert gebildet werden kann.
- Insbesondere bei sehr breiten Siloausslässen kann die Sonde nur einen entsprechend kleinen Anteil des Materialstromes erfassen.

Einbausituation auf Förderbändern oder Materialübergabestellen



Siloeinbau auf einem Förderband mit Hilfe eines Schlittens

- Die Sonde wird mit Hilfe eines Schlittens auf dem Dosierband installiert. Hierbei kann über ein variables Halterungsgestänge die optimale Einstellung des gesamten Systems auf dem Band erfolgen.
- Optimale Voraussetzung ist eine Mindestmaterialdicke auf dem Band von 6 cm. Bei einer geringeren Materialdicke ab mindestens 4 cm ist darauf zu achten, dass diese Füllhöhe immer konstant gehalten wird.



Installationsmöglichkeit der Sonde an einer Materialübergabestelle

Nachteile der Verwendung des Zuschlagstoff-Feuchtwertes bei der Zugabewasserberechnung

Um eine schnelle Abfolge der Mischzyklen bei der Herstellung von Transportbeton gewährleisten zu können, wird in herkömmlichen Anlagensteuerungen der bei der Zuschlagstoffmessung ermittelte Feuchtwert in eine der Mischungsgröße entsprechende Wassermenge umgerechnet und bei der anschließenden Zugabewasserdosierung im Mischer berücksichtigt. Eine zusätzliche Mischermessung ist daher in der Regel nicht vorgesehen.

Auf den ersten Blick mag diese Vorgehensweise gerechtfertigt sein. Schaut man sich den Verfahrensablauf jedoch genauer an, werden Nachteile durch die alleinige Messung in den Zuschlagstoffen deutlich:

- Die tägliche Praxis zeigt, dass eine gleichmäßige Feuchteverteilung innerhalb der Silos nicht zu erwarten ist. Da während der Dosierung aber nur ein prozentualer Querschnitt – man geht von ca. 30% aus – der tatsächlich dosierten Zuschlagstoffmenge von den Sonden erfasst wird, muss mit einer Messwertabweichung gerechnet werden.



Dosiervorgang während der Grobdosierung. Sondeninstallation auf einer Prallplatte unterhalb eines Siloauslaufes.

- Hohe Dosiergeschwindigkeiten bei großen Zuschlagstoffmengen oder ein zu geringer Grob- und zu großer Feindosieranteil können ebenfalls zu Messfehlern führen.
- Um eine exakte Wasserberechnung vornehmen zu können müssen alle Komponenten erfasst werden. Bei einer Vielzahl von Silos bedeutet dies einen erheblichen Investitionsaufwand für eine entsprechende Anzahl Feuchtemesssonden.

- Tropfwasser im Aufzugskübel oder der Zuschlagstoffwaage, Reinigungswasser des Mixers oder Restbeton der vorherigen Charge, die sich unkontrolliert im Betonmischer befinden können, werden nicht erfasst.

Gerade bei der Produktion sehr hochwertiger Betone wie z.B. selbstverdichtender Betone oder hochfester Spezialbetone sollte deshalb ein Ansatz verfolgt werden, der eine Mischermessung auch bei der Transportbetonproduktion ermöglicht.

Möglichkeit der Mischermessung bei der Transportbetonproduktion

Da die gesamte Materialmenge, insbesondere auch die groben Kornfraktionen bei der Mischermessung erfasst werden, ist eine Steigerung der Produktqualität möglich. Dies ist auch ein Grund, weshalb die Mischermessung bei der Werksbetonproduktion gängiger Standard ist.

Um nun bei der Transportbetonproduktion eine Mischermessung einsetzen zu können, muss eine schnelle Taktung der aufeinanderfolgenden Mischungen gewährleistet sein. Man beschränkt sich deshalb auf die Messung der ersten Mischung eines Zyklus der aus mehreren Einzelmischungen besteht. Bei den Folgemischungen wird dann auf den ermittelten Feuchtwert der Anfangsmischung zurückgegriffen und die zur jeweiligen Teilmischungsgröße passende Zugabewassermenge berechnet.

Mit speziell für die besonderen Anforderungen der Mischermessung entwickelten Auswertemodulen lassen sich kurze Messzeiten bei hoher Messgenauigkeit realisieren.

Mit einer Mehrzeit von ca. 30 Sekunden für den Messzyklus muss gerechnet werden.

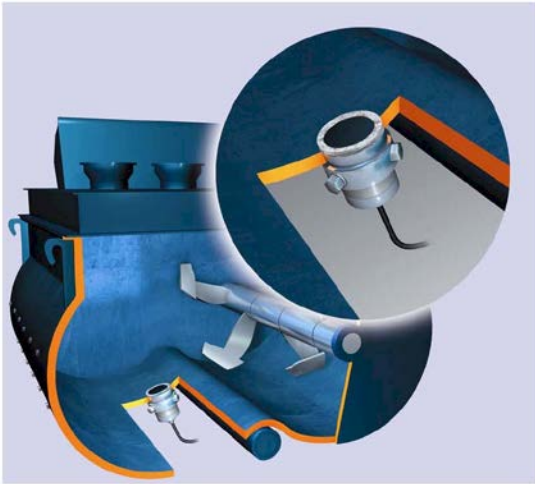


Auswertemodul zum Anschluss einer Mischersonde, einer Zuschlagstoffsonde und zwei Temperaturfühlern.

Sondeninstallation im Mischer

Mikrowellensonden mit speziellen Messflächen aus sehr widerstandsfähigen Keramikwerkstoffen und in Verbindung mit geeigneten Halterungssystemen können unter den sehr abrasiven Produktionsbedingungen im Mischer eine hohe Lebensdauer bei genauen Messergebnissen gewährleisten.

Exemplarisch sei hier der Sondereinbau im Trog eines Doppelwellenmischers dargestellt.



Sondeneinbau im Trog eines Doppelwellenmischers

- Bei Doppelwellen- oder Einwellenmischern hat sich der Sondeneinbau in der Rundung des Mischertroges als vorteilhaft erwiesen. Hier ist auf eine Positionierung im unteren Teil des Troges zu achten, um auch bei kleineren Teilmischungen noch zuverlässige Messergebnisse zu erhalten.

Notwendigkeit der Temperaturmessung bei der Betonproduktion



Temperaturfühler FL-TF 80 mit spezialbeschichteter Sensorspitze und Installation am Mischer

An dieser Stelle soll die Möglichkeit der Temperaturmessung in Verbindung mit der Feuchtemessung angesprochen werden. Aus betontechnologischer Sicht haben Temperaturschwankungen bei der Betonherstellung großen Einfluss auf die Eigenschaften des Frischbetons. Sowohl hohe Zementtemperaturen als auch Schwankungen der Eigentemperatur der Mischung, hervorgerufen z.B. durch die Beheizung der Zuschlagstoffe oder Veränderungen der Umgebungstemperatur, beeinflussen die Verarbeitbarkeit und die späteren Qualitätsmerkmale des Betons.

Deshalb sollte dem Mischerpersonal mit Hilfe der Temperaturmessung ein zusätzlicher Prozessparameter zur Verfügung stehen, um den veränderten Produktionsbedingungen direkt entgegen wirken zu können. Auf die besonderen Anforderungen der Betonproduktion abgestimmte Temperaturfühler kommen zur Messung in den Zuschlagstoffsilos, der Zementwaage oder auch direkt im Mischer zum Einsatz. Der spezialbeschichtete Messkopf garantiert eine sehr hohe Lebensdauer auch bei extremer Belastung.

Der separate Aufbau von Mikrowellensonde und Temperaturfühler hat dabei entscheidende Vorteile. So lassen sich weiterhin sehr kompakte Abmessungen beider Sensoren ermöglichen. Bei einem eventuellen Ausfall des Temperaturfühlers ist zudem ein weiterer Betrieb nur mit der Feuchtemesssonde möglich. Außerdem können sich beide Systeme durch ihre räumliche Trennung nicht gegenseitig beeinflussen.

Entwicklung eines drahtlosen Messsystems zur Übertragung der Messwerte aus rotierenden Trommeln von Mischfahrzeugen

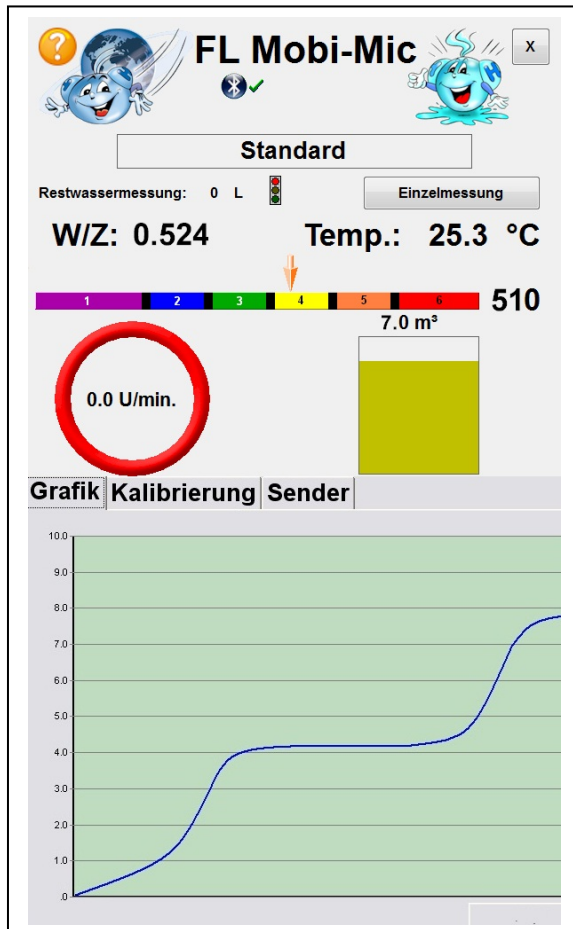


Einsatz der Mikrowellen-Funk-Sonde im Transportbeton-Fahrmischer mit Messwertanzeige und Parametrierung über TOUCH-PAD

Eine Weiterentwicklung stellt das Feuchte-/Konsistenzmesssystem in Kombination mit einer Sendeeinheit dar, mit dem die drahtlose Übertragung der Messwerte aus rotierenden Trommeln von Transportbeton-Mischfahrzeugen möglich ist. Die Feuchtemessung wird auch hier durch eine Mikrowellensonde realisiert, deren Funktionsspektrum um einen integrierten Temperaturfühler zur Erfassung der Betontemperatur erweitert wurde. Um ein umfassendes Monitoring aller relevanten Prozessdaten zu ermöglichen, wurde das System um einen Biegemessstab ergänzt, der die Konsistenz des Transportbetons in allen Konsistenzbereichen zuverlässig erfasst. Ein Bewegungssensor kann darüber hinaus die Drehrichtung der Mischertrommel erkennen.

Dieses umfangreiche Messwertspektrum erlaubt die Berechnung weiterer Prozessdaten, so dass nun ein System zur Verfügung steht, das neben Feuchte, Temperatur und Konsistenz auch das Ausbreitmass des Betons, den Trommelfüllgrad, die Trommeldrehrichtung und –geschwindigkeit als auch die in der Trommel verbliebene Restwassermenge nach einem Reinigungsvorgang dokumentiert.

Als Empfängereinheit steht ein Tablet-PC zur Verfügung, der den Fahrer über die aktuellen Mischungsdaten informiert und die Messwerte protokolliert. Alternativ dazu kann ein Empfängermodul in das Fahrzeugmanagementsystem eingebunden werden, das dem Disponenten in der Mischzentrale die gewünschten Mischungsdaten über ein GPS-System zur Verfügung stellt.



Anzeige aller wichtigen Prozessparameter wie W/Z-Wert, Ausbreitmass, Temperatur, Trommeldehzahl und -drehrichtung sowie Trommelfüllgrad und Restwassermenge auf dem Tablet-PC des Messsystems

Für die Datenübertragung wurde eine „Bluetooth“-Verbindung mit industrietauglichem Standard gewählt, die eine zuverlässige Arbeitsweise bei großer Reichweite gewährleistet.



Installation von Mikrowellen-Sonde, Konsistenzmessstab und der Sendeeinheit in der Trommelklappe eines Mischfahrzeugs

Die Installation der Systemkomponenten ist auch nachträglich auf der Trommelklappe des Mischfahrzeuges möglich.

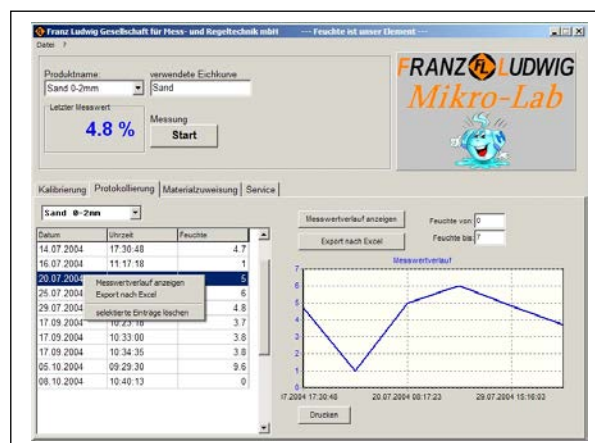
Der Einsatz eines Hochleistungsakkus ermöglicht einen mehrtägigen Dauerbetrieb mit einer Akkuladung, wobei die Verwendung von Wechselakkus die Betriebsdauer weiter erhöht.

Laborfeuchtemessgerät FL-MIKRO-LAB zur Feuchtebestimmung in Schüttgutproben



Die Nachfrage nach Feuchtemesssystemen beschränkt sich jedoch nicht nur auf die „Online“-Messungen im Prozess. So wurde das Laborfeuchtemessgerät „FL-MIKRO-LAB“ zur Messung von Materialproben entwickelt. Es unterstützt die Produktüberwachung und Qualitätssicherung im Labor, bei der Materialanlieferung oder auch direkt in der Produktionsanlage. Voraussetzung für genaue Messergebnisse sind immer gleiche Druckverhältnisse, unter denen die Materialprobe gemessen wird. Eine Federanordnung im Gerät ermöglicht die Einstellung des Druckes, wobei die integrierte Mikrowellensonde nach einem kurzen Messzyklus von ca. 5 Sekunden den Feuchtwert zur Verfügung stellt. Das Gerät ist so robust, dass es sogar mit einem Hochdruckreiniger gesäubert werden kann.

Laborfeuchtemessgerät FL-MIKRO-LAB mit Messsignalauswertung über PC/Notebook



Die Auswertung und Archivierung der Messergebnisse ist auf einem Laptop oder PC über eine WINDOWS-kompatible Software möglich. Die PC-Anbindung erfolgt über eine USB-Schnittstelle, über die auch die Stromversorgung des FL-MIKRO-LAB realisiert wird.

Fazit

Abschließend ist festzustellen, dass mit der Mikrowellenmessung ein Messverfahren zur Verfügung steht, mit dem äußerst zuverlässige und genaue Systeme realisiert werden können, die den speziellen Einsatzbedingungen in der Betonindustrie gerecht werden.

Es bleibt jedoch anzumerken, dass in der Beton- und Fertigteilindustrie Naturmaterialien verarbeitet werden, die spezifische Merkmale tragen und damit besondere Anforderungen an die Verarbeitung stellen. Es bedarf also weiterer Anstrengungen, um Messsysteme zu entwickeln, die auch zukünftigen Ansprüchen gerecht werden.

