

Fachreport IMKO

Modernste Radartechnologie zur präzisen Materialfeuchtemessung in der Prozesstechnik für die Chemie-, Life Sciences-, Lebensmittel-, Öl- und Grundstoffindustrie

Wasser ist in allen Nahrungsmitteln, Rohstoffen, sowie chemischen und pharmazeutischen Produkten enthalten. Der Wassergehalt bzw. die Feuchte bestimmt die Qualität, die Lagerfähigkeit und als Gewichtsanteil auch den Preis von Produkten sowie die Erfüllung gesetzlicher Anforderungen. Ein wichtiger Grund weshalb der Wassergehalt von Materialien in der Prozesstechnik präzise gemessen und kontrolliert werden muss. Die Materialfeuchtemessung ist aber keine einfache Disziplin, die Anforderungen an Feuchtesensoren sind vielfältig. Abhängig vom jeweils zu vermessenden Material und der Prozessumgebung ergeben sich lösbare aber manchmal sogar kaum lösbare Aufgabenstellungen. Die IMKO Micromodultechnik GmbH hat mit der innovativen TRIME und SONO TDR-Technologie hier seit über 20 Jahren neue Maßstäbe gesetzt.

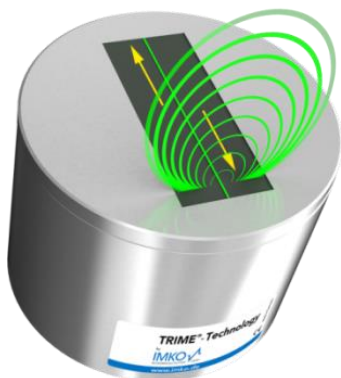
Warum die Materialfeuchtemessung so eine große Herausforderung ist und bisherige bzw. veraltete Technologien in vielen Anwendungen nicht funktionieren, wird in den nachfolgenden acht Punkten beschrieben:

1. **Der Feuchtemessbereich** von zu vermessenden Materialien kann sich im Bereich von 0% bis zu 100% bewegen. Leichte Materialien wie z.B. Hopfen mit einer Dichte von nur $30\text{g}/\text{dm}^3$ erfordern spezielle Feuchtesonden mit einem sehr großen Messfeld. Am oberen Feuchteende gibt es Materialien mit fast 100% Wasser wie z.B. Torf wo die Sondenkonstruktion entsprechend angepasste Sonden erforderlich macht. Messtechnologien müssen diesen kompletten Messbereich von 0 bis 100% mit passenden Sonden abdecken können.
2. **Der Leitfähigkeitsbereich** von Materialien kann sich in Bereichen von $0\text{dS}/\text{m}$ bis zu $50\text{dS}/\text{m}$ bewegen. Relativ trockene Materialien sind meistens gering leitfähig, Frischbeton kann aber durch einen hohen Zementanteil eine Leitfähigkeit von bis zu $50\text{dS}/\text{m}$ aufweisen. Reines Salz als Schüttgut kann z.B. von TDR-Prozesssonden bis zu einem Feuchtebereich von 12% vermessen werden. Feuchtesonden dürfen sich durch unterschiedliche Leitfähigkeiten von Materialien nicht beeinflussen lassen, indem sie bei der Bestimmung der Permittivität (früher Dielektrizitätskonstante) deutlich zwischen Real- und Imaginärteil unterscheiden können.
3. **Die Schütthöhe** im Prozess kann stark variieren. Bei der Feuchtemessung am Auslass eines Materialsilos können Schütthöhen in Bereichen von wenigen Millimetern bis zu 30 Zentimetern auftreten. Feuchtesonden sollten hier keine Abhängigkeiten aufweisen, weil dies zu Messfehlern führen würde. Veraltete Technologien wie eine stark abstrahlende Mikrowellensonde kann bei variierender Schütthöhe wegen einer dicken isolierenden Keramikplatte zwischen Mikrowellensender und dem zu vermessenden Material erhebliche Abweichungen bei variierender Schütthöhe aufweisen.
4. **Die Kornform von Schüttgütern** kann variieren. Es gibt sehr feinkörnige Materialien wie z.B. Mehl, aber auch sehr grobkörnige Materialien wie z.B. Teigwaren oder Kies und Split. Bei Anwendungen wo die Kornform sich während des Prozesses verändert wie z.B. bei der Teigwarenherstellung oder in Betonwerken wo Sand und Kies in unterschiedlicher Körnung verarbeitet wird, darf eine Feuchtesonde keine Abhängigkeit zeigen da dies zu Qualitätseinbußen im Prozess führt. Veraltete Sondentechnologien auf Mikrowellenbasis zeigen bei hohen Feinanteilen in Sand sogar komplette Fehlfunktionen wenn z.B. ein sehr feiner Sand zur Herstellung von Betonsteinen verwendet wird.

5. **Der Abrieb** einer Sondenoberfläche darf das Messfeld der Sonde nicht verändern, da dies erhebliche Genauigkeitseinbußen nach sich ziehen würde. Veraltete Sondentechnologien wie Kapazitive- und Mikrowellensonden verwenden eine relativ dicke und isolierende Keramikplatte über dem Sondenmessfeld. Bei Abrieb verdichten sich die Feldlinien solcher Sonden was zu Messfehlern führt und eine Nachkalibrierung oder sogar den Tausch des Sondenkopfes erforderlich macht. SONO-Sonden der Firma IMKO weisen mit einem patentierten Messaufbau konstante und präzise Messwerte auf, auch bei erheblichem Abrieb. Und dies verbunden mit extrem langen Standzeiten selbst bei hoch abrasiven Materialien.
6. **Große Messfelder** sind erforderlich bei extrem heterogenen Materialien wie z.B. Maiskolben. Bei der Saatgutherstellung müssen Maiskörner direkt am Kolben getrocknet werden damit gewährleistet ist, dass das Korn nicht verletzt wird und später im Boden als Pflanze austreiben kann. Eine Feuchte-sonde für große „Materialbrocken“ wie Maiskolben muss in der Lage sein, ein Messfeld von bis zu 20 Liter zu erzeugen um einen repräsentativen Feuchtwert ermitteln zu können. Die IMKO GmbH hat mit der TRIME TDR-Technologie hierfür innovative Feuchtesonden entwickelt die von namhaften Saatgutherstellern eingesetzt werden.
7. **Bei Materialien wie Ölen und Fetten** ist es wichtig, dass bei der Feuchtemessung nur der Realanteil der Permittivität (DK) zur Messung herangezogen wird. Rohöle aus Lagerstätten können aber erheblich hohe Salzgehalte aufweisen. Eine Feuchtesonde darf sich durch Temperatur- und andere Einflüsse nicht stören lassen.
8. **Stark anhaftende Materialien** wie z.B. Keramikmasse, Waschpulver oder Kalksand erfordern eine Feuchtemessung ohne dass ein direkter Kontakt von der Sondenoberfläche zum vermessenden Material besteht. Transmissive Mikrowellensonden zeigen bei unterschiedlichen Schütthöhen erhebliche Abweichungen. Weiterhin ergeben sich erhebliche Streuverluste abhängig von der Kornform. Transmissive Sensoren auf NIR-Technologie (Near-Infra-Red) können allenfalls eine ungefähre Aussage zur Oberflächenbeschaffenheit von Materialien machen, aber präzise Aussagen zur Kernfeuchte sind damit nicht möglich. Die innovative IMKO-Radartechnologie ermöglicht den Einbau einer relativ langen TDR-Sonde direkt unter einem Förderband. Das definierte Messfeld durchdringt selbst bis zu 8mm dicke Förderbänder bevor es in das zu vermessende Material eindringt. Damit ist gewährleistet, dass keine Materialanbackung von stark anhaftendem Material an der Sonde erfolgt. Für solche Challenge-Anwendungen sind damit langzeitstabile Lösungen lieferbar.

Für diese Vielzahl an Anforderungsprofilen bedarf es einer innovativen Technologie, mit der Möglichkeit, je nach Anwendung eine passende Sondenometrie einzusetzen.

Die patentierte SONO-Sonde als „Feuchte-Tomograph“

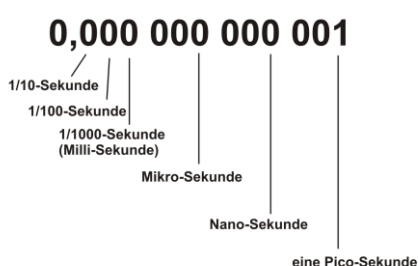


Das Bild zeigt als Beispiel eine **SONO-VARIO Xtrem** mit gehärtetem und austauschbarem Sondenkopf mit Spezialkeramik, die einen „Beschuss“ von 32er Kiesel auch aus größeren Fallhöhen problemlos übersteht. Grün dargestellt ist die Radarwelle. Ähnlich wie bei einem CT wird das Material Schicht für Schicht scheibenförmig vermessen.

Bei der SONO TDR-Methode läuft eine „geführte Radarwelle“ mit nahezu Lichtgeschwindigkeit entlang eines Radarleiters und das Messfeld breitet sich scheibenförmig über der Sonde im Material aus. Das Messfeld von SONO-Sonden „begnügt“ sich bei geringer Schütthöhe über der Sonde mit weniger Material (bis zu gewissen Grenzen), liegt mehr Material über der Sonde dann dringt das Messfeld auch in das größere Materialvolumen ein. Messfeldbeeinflussungen durch z.B. größere Kiesel oder durch Feinanteile werden bei dieser Methode quasi ausgemittelt und Fremdeinwirkungen durch anlagenspezifische Teile sind dadurch minimiert. Geführte Radarwellen werden u.a. auch bei der industriellen Füllstandmessung eingesetzt.

Die neue SONO-Technologie ermöglicht signifikante Verbesserungspotentiale im Vergleich zu bisherigen bzw. veralteten Technologien

Zeitbereichsmessung mit der TDR-Methode



$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{2l}{t}$$

$$t = \frac{2l}{c_0} \sqrt{\epsilon_r}$$

c_0 = Lichtgeschwindigkeit (3×10^8 m/sec)
 μ = 1 (magnetische Permeabilität)
 ϵ = Dielektrizitätskonstante
 t = Laufzeit
 $2l$ = Länge der Leiter (Hin und zurück)

Mit Erreichen einer Genauigkeit von ± 1 Picosekunde bei der Messung der Radarlaufzeit war es möglich, Radar-Feuchtesonden in der Prozesstechnik einzusetzen. Das TDR-Messprinzip (Time-Domain-Reflectometry, auch Kabelradar genannt) hat sich in den letzten 10 Jahren als neues und präzises Messverfahren für anspruchsvolle Anwendungen in der Industrie immer mehr durchgesetzt. Beim TDR-Verfahren wird über die Laufzeit (Zeitbereichsmessung) eines elektromagnetischen Impulses die Permittivität (Dielektrizitätskonstante ϵ) und damit die Feuchte bestimmt.

Beispiele für anspruchsvolle Anwendungen in der Praxis

Als Beispiel sollen drei Anwendungen der IMKO-Technologie in unterschiedlichen Industriebereichen gezeigt werden, wobei unterschiedliche Sondengeometrien zum Einsatz kommen. Beschrieben werden Anwendungen, für die es in der Vergangenheit keine passenden bzw. zuverlässig arbeitenden Materialfeuchtesensoren gab.

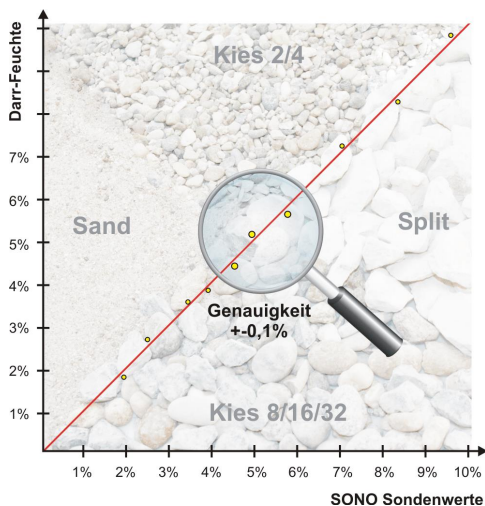
Materialfeuchtemessung für Schüttgüter in der Grundstoffindustrie



In der Vergangenheit musste beim Einsatz von veralteten Sondentechnologien eine Feuchtesonde in einem Betonwerk permanent nachkalibriert werden. Etwas mehr Feinanteil im Sand, eine etwas andere Kornbeschaffenheit, Materialanbackungen an Sonden, differierende Schütthöhen über dem Sondenkopf, begrenzte Sonden-Lebensdauer und die Tatsache, dass die Kiesfeuchte mit veralteten Technologien gar nicht gemessen werden konnte, sorgten dafür, dass die Einhaltung der Qualität bei der Betonherstellung nur mit äußerst hohem personellem Aufwand zu gewährleisten war.

Exakte Feuchtwerte bei extrem langen Standzeiten der Sonden, ohne Nachkalibrierung - die **SONO-VARIO** und **SONO-Xtrem** Oberflächen-Feuchtesonden setzen seit 2011 hier neue Maßstäbe indem die voran beschriebenen Probleme mit der IMKO TDR-Technologie gelöst wurden. Firmen wie Heidelberg-Zement, HOLCIM und viele andere verlassen sich in ihren Werken seit Jahren auf die Präzision von SONO-Feuchtesonden. Die Auszeichnung mit dem BAUMA-Innovationspreis 2016 an die IMKO Micromodultechnik GmbH für den von ihr entwickelten Wasser/Zement-Analysator SONO-WZ, drückt den Innovationsgehalt der IMKO-Technologie im Bereich der Bauindustrie aus.

Modernste Radartechnologie für präzise Feuchtwerte



Das Diagramm zeigt in unterschiedlichen Feuchtebereichen eine gemittelte Genauigkeit von $\pm 0,1\%$ von SONO-Sondenwerten zu Darr-Werten für Sand, Kies und Split unterschiedlicher Fraktionen. Die Prozess-Feuchtemesswerte wurden über ein Jahr lang sowohl im Sommer- als auch im Winterbetrieb überwacht und protokolliert. In den SONO-Sonden kommt trotz unterschiedlicher Fraktionen der Zuschläge nur eine einzige Kalibrierkurve zum Einsatz und SONO-Sonden mussten während des Betriebs nicht nachkalibriert werden.

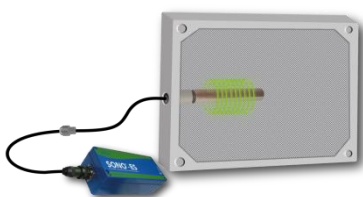
Materialfeuchtemessung in der Filtrationstechnik

Filterpressen werden zur Fest-/Flüssig-Trennung verschiedenster Materialien eingesetzt wie z.B. für Keramikmassen, Klärschlamm, Tensiden, Ölen, Lebensmittel wie Gelatine, Säfte, Trauben und vielem mehr. Ein bisheriges Problem bei der Filtration war es, den Pressenprozess so zu überprüfen, dass man eine permanente Rückmeldung vom exakten Feuchtegehalt des zu verpressenden Materials bekommt. Mit den innovativen SONO-Feuchtesonden, dem großen Feuchtebereich von 0 bis 100% und einem Leitfähigkeitsbereich bis zu 50dS/m sind Anwendungen für nahezu jedes Material möglich.



Die Firma **Scharfenberger Maschinenbau**, ein führender Anbieter im Bereich Weinbau setzt die innovative **SONO-LD** Oberflächensonde in ihren Traubenpressen ein.

Durch die exakte Kontrolle der Traubenfeuchte beim Pressen wird gewährleistet, dass die Einhaltung des Gerbstoffgehaltes im Wein und damit die generelle Qualität von Wein garantiert wird.



Zur Erhöhung der Ausbeute und der Verbesserung der Produktqualität setzt die Firma **LENSER Filtration** auf die SONO-Vollstabsonde der IMKO Micromodultechnik GmbH. Anspruchsvollste Herausforderungen in den Bereichen Fest-/Flüssig-Trennung und Filtration können mit Einsatz von SONO 1-Stab Feuchtesonden gelöst werden.

Direkt während des Filterprozesses kann das Filtergut überwacht und kontrolliert werden. Materialien wie Lithium, Petrochemikalien wie Polymere, Agrochemikalien wie Düngemittel oder Natriumkarbonat und technische Salze können wesentlich effizienter verarbeitet werden. Eine 1-Stab Feuchtesonde ist hierfür direkt innerhalb einer Filterplatte verbaut und kann den Wassergehalt während des Pressvorganges kontrollieren. Grün dargestellt sind die Feldlinien welche aus der Filterplatte in das außen anliegende Material eindringen. Enorme Zeit- und Kosteneinsparungen sowie erhebliche Qualitätsverbesserungen sind mit solch einer „Intelligenten Filterplatte“ der Firma Lenser verbunden.

Materialfeuchtemessung in der Agrartechnik



Die Korn-trocknung direkt in einem Getreidetrockner ist eine große Herausforderung. Feuchter Mais nach der Ernte kann bis zu 50% Wassergehalt aufweisen. Beim Durchlauf in einem Getreidetrockner muss bei hohen Temperaturen der Wassergehalt im Korn auf exakt 14% reduziert werden. Ist der Mais zu feucht kann er im Silo schimmeln, ist er zu trocken leidet die Qualität und es ergeben sich erhebliche Warenwertverluste für den Erzeuger.

Mit dem von der DLG (Deutsche-Landwirtschafts-Gesellschaft) mit der Silber-Innovationsmedaille ausgezeichnetem Feuchtemesssystem **TRIME-GWs** kann der Wassergehalt von Korn direkt im Trocknerprozess unter harschesten Umgebungsbedingungen präzise gemessen werden, womit die Qualität bei der Kornverarbeitung und anschließenden Lagerung garantiert ist.

Schlussbemerkung

Mit neuen innovativen Technologien sollten sowohl Verbesserungen als auch geringere Investitions- und Folgekosten verbunden sein. Die Anforderungen an die Produktqualität werden immer höher. Mit der modernen und revolutionären TRIME und SONO Sonden-Technologie wird ein neues Kapitel in der Feuchtemessung aufgeschlagen.