



LÖSUNGEN FÜR
HERAUSFORDERNDE
FÜLLSTANDMESSUNG

Wenn's etwas knifflig wird!

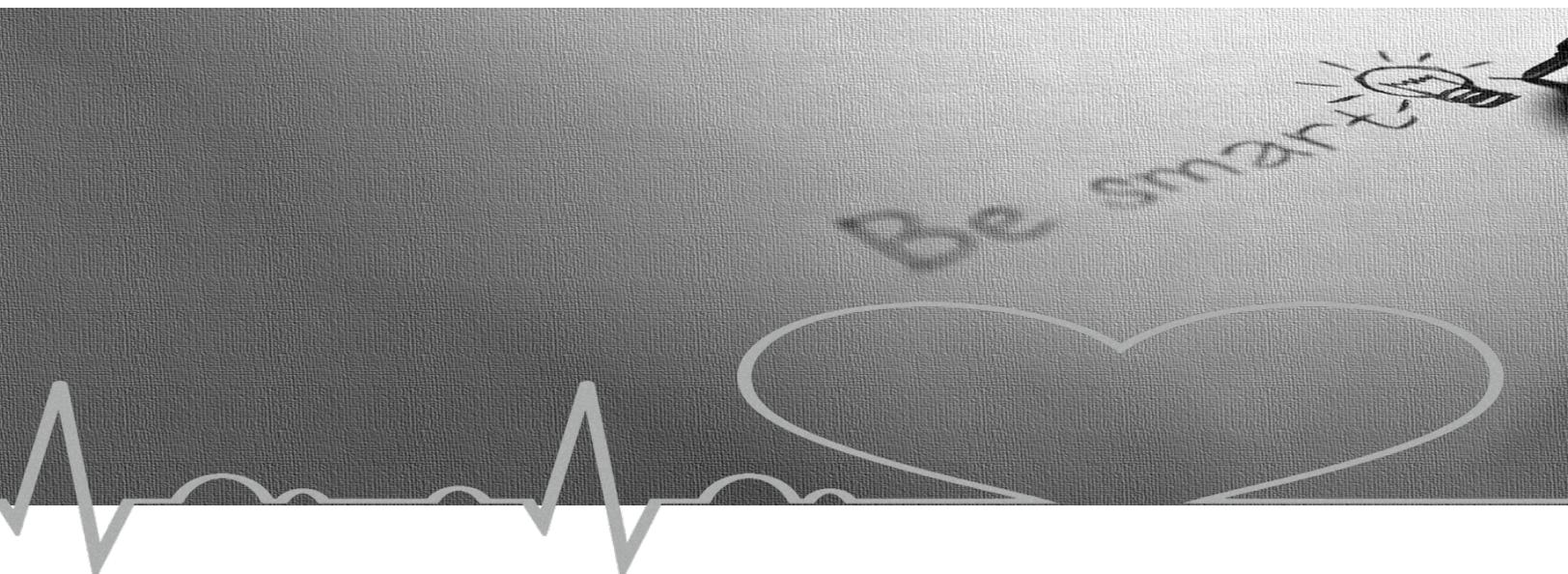
WHITE PAPER
MULTITALENT TDR IN
SCHÜTTGUT & FLÜSSIGKEIT

Nikolas Oppenberger
Product Management



Was ist eigentlich Radar?

Radar ist die Abkürzung für „*radio detection and ranging*“ was frei übersetzt „*funkgestützte Ortung und Abstandmessung*“ bedeutet. Die Basis dieser Technologie bilden elektromagnetische Wellen. Ein Radargerät sendet eine gebündelte elektromagnetische Welle aus, die von Objekten als Echo reflektiert wird und dann vom Gerät nach verschiedenen Kriterien ausgewertet wird.



Je nach Einsatzzweck können aus reflektierten Wellen folgende Informationen gewonnen werden:

- der Winkel bzw. die Richtung zum Objekt
- die Geschwindigkeit eines Objektes (Doppler-Effekt)
- die Konturen eines Objektes
- die Entfernung zum Objekt

Letztgenannter Punkt führt dazu, dass die Radar-Technologie auch für die Bestimmung von Füllständen verwendet wird. Diese hat in den vergangenen Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung gewonnen und wurde kontinuierlich weiterentwickelt. Das Einsatzgebiet erstreckt sich mittlerweile von einfachen Lagertankanwendungen bis hin zu komplexen Prozessbehältern mit den verschiedensten Herausforderungen.

In der Lebensmittel- und Getränkeherstellung Südostasiens beispielsweise wird die geführte Radartechnologie bereits seit Jahren zur Füllstandüberwachung vorzugsweise in Lagertanks und Tanks eingesetzt. Da diese Technologie extremen Prozessbedingungen in Bezug auf Temperatur und Druck trotzt ist sie in Russland hauptsächlich in der Öl- und Gasindustrie sowie im Chemiesektor die erste Wahl. Klassische Einsatzgebiete in Europa und den USA befinden sich innerhalb der Wasser- und Abwasserindustrie sowie der Zementherstellung.

Zur Radarkategorie zählen neben den freistrahrenden Radarsensoren auch jene auf Basis der geführten Mikrowellentechnologie, die oftmals als **TDR** (Time Domain Reflectometry) oder **GWR** (Guided Wave Radar) bezeichnet werden. Diese zählen mit 10% Marktanteil im Schüttgut- und 15% im Flüssigkeitsbereich zu den weitverbreitetsten Füllstandmessgeräten. Vor allem die Vielseitigkeit und Unempfindlichkeit gegenüber sich verändernden Prozessbedingungen macht TDR Sensoren zum beliebten Multitalent. Grund genug, in diesem Whitepaper einen genaueren Blick auf diese Technologie zu werfen.

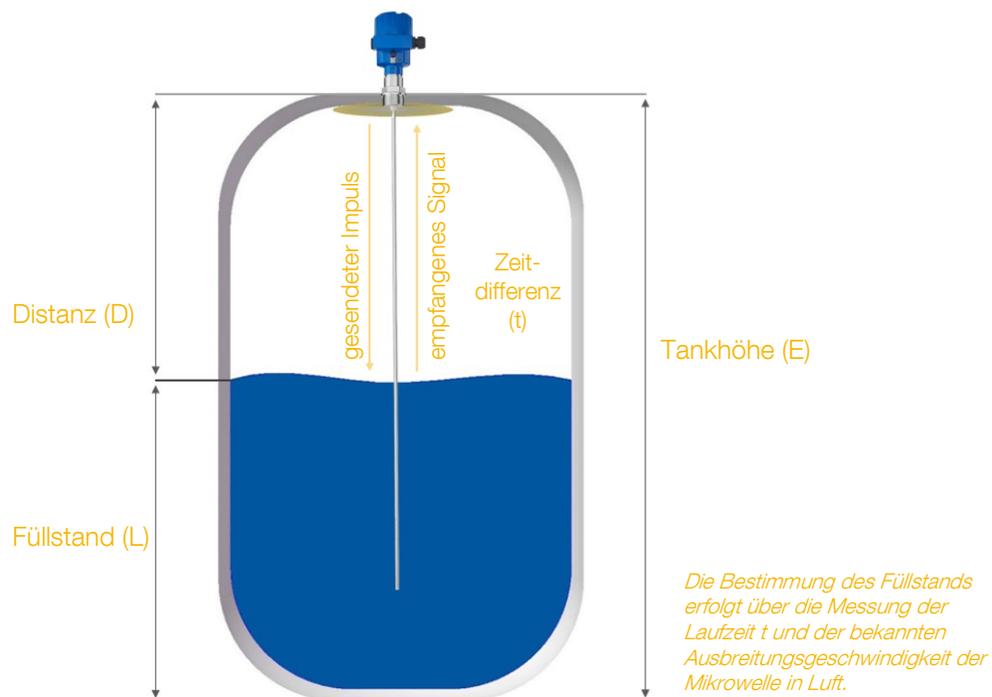


Wie funktioniert die Füllstandmessung mit TDR?

Das Grundprinzip eines auf TDR basierenden Füllstandsensors ist einfach. Die Elektronik erzeugt einen elektromagnetischen Impuls, der auf eine Sonde gekoppelt und entlang dieser nach unten geführt wird. Trifft die Welle auf die Materialoberfläche wird ein Teil der Energie reflektiert. Dieses sogenannte Echosignal wird ebenfalls entlang des Stabes zurück zur Elektronik geführt, von dieser erkannt und über eine Laufzeitmessung in eine Füllstandangabe umgerechnet. Die Laufzeit t ist dabei die **Zeitdifferenz** zwischen dem ausgesendeten Impuls und dem empfangenen Echosignal. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle im Trägermedium Luft mit der **Lichtgeschwindigkeit c** gleichzusetzen ist, kann über die einfache Beziehung

$$D = c * \frac{t}{2}$$

die **Distanz D** zur Medienoberfläche berechnet werden. Über die Eingabe der Behälterhöhe erfolgt dann die Bestimmung des Füllstands



Warum eignet sich die geführte Radartechnologie so gut für die Füllstandbestimmung?

Das leicht zu verstehende Grundprinzip wird in der industriellen Praxis jedoch vor deutlich größere Herausforderungen gestellt. Überlagerte Gase und Dämpfe, Temperatur- und Druckschwankungen, Oberflächenbewegungen des Mediums sowie starke Staubentwicklungen sind typische Problemstellungen, die eine präzise und zuverlässige Füllstandbestimmung erschweren können. Selbst unter diesen herausfordernden Bedingungen performen TDR Sensoren zuverlässig und hochgenau.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit und ihre Bedeutung für die Füllstandbestimmung

Ein maßgebender Faktor für die Genauigkeit eines Radarsensors ist, neben einer exakten Laufzeitbestimmung, die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Mikrowellen. Diese ist wiederum abhängig von der Dielektrizitätszahl des Trägermediums. Radar-Füllstandmessgeräte werden üblicherweise im Trägermedium Luft kalibriert, die definitionsgemäß einen DK Wert von ca. 1 aufweist. Durch Gase und Dämpfe, die sich über dem eigentlichen Medium bilden können, verändert sich dieser Wert leicht. Die Änderung hat aber nur einen marginalen Einfluss auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Mikrowellen. Die Genauigkeit des Radarsensors wird dadurch also nicht beeinflusst. Ähnlich verhält es sich bei Temperatur- und Druckänderungen. So hat beispielsweise eine **Temperatur von 2000°C (3632°F)** lediglich eine **Genauigkeitsabweichung von 0,026%** zur Folge. Auch **Drücke bis 40 bar / 580 psig** haben keinen spürbaren Einfluss auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen, wodurch auch hier eine präzise und zuverlässige Messung garantiert wird. Diese Unempfindlichkeit gegenüber den unterschiedlichsten Prozessherausforderungen macht TDR Sensoren zum universellen Multitalent in einer Vielzahl von Anwendungen. Die Bandbreite reicht dabei von Schüttgut- über Flüssigkeits- bis hin zu Hochdruck-/Hochtemperaturanwendungen. Auch Trennschichten können mit diesen Sensoren problemlos gemessen werden. Im Bereich der TDR Technologie bietet die Firma UWT ein breites Spektrum an Ausführungen an, die für jeden Anwendungsfall die ideale Lösung bieten und Funktionalität mit Wirtschaftlichkeit kombinieren.

Die Frage nach der richtigen Frequenz

Bei Radar-Füllstandmessgeräten stellt sich immer wieder die Frage nach der Höhe der Frequenz. Während freistrahkende Radarsensoren mit hohen **Frequenzen von mittlerweile bis zu 130GHz** arbeiten, wird bei der geführten Mikrowellentechnologie eine vergleichsweise **niedrige Frequenz von 1GHz** verwendet. Es gibt Argumente für hochfrequente und niederfrequente Radargeräte. Ganz allgemein lässt sich dabei sagen, dass niedrige Frequenzen signifikant weniger anfällig gegenüber prozessbedingten Störeinflüssen wie Anhaftungen, Kondensat, Staub, Dampf oder Schaum sind. All diese Störeinflüsse haben eines gemeinsam, sie dämpfen die ausgesendeten elektromagnetischen Wellen, schwächen damit das Signal ab, was letztlich zu fehlerhaften Messergebnissen führen kann. Jene Signalabschwächung ist bei den niederfrequenten TDR Sensoren deutlich weniger stark ausgeprägt. Daher werden diese Sensoren sehr erfolgreich bei Messungen bestimmter industriespezifischer Medien, in Dampfkesseln oder bei Trennschichtprozessen eingesetzt.



Wie meistern TDR Sensoren die Herausforderungen der Schüttgutanwendungen?

Die Herausforderungen im Schüttgutbereich sind vielseitig. Hohe, schmale Silos und großen Messdistanzen, Schüttkegel, Anhaftungen, Staub, Materialien mit niedrigen DK Werten sowie hohe mechanische Zugkräfte stellen die Messtechnik dabei vor besondere Herausforderungen. TDR Sensoren zeigen sich dabei als wahre Allroundtalente.

STAUB

Wenn es etwas anspruchsvoller ist...



Ein leidiges Alltagsproblem: Staub! Auch in Schüttgutanwendungen ein bekannter Begleiter. Hier jedoch weniger der Hausstaub, sondern vielmehr die prozessbedingte starke Staubentwicklung z.B. während eines Befüllvorgangs. TDR Sensoren zeigen sich davon jedoch unbeeindruckt.

Die niederfrequenten Mikrowellenimpulse werden durch starke Staubentwicklungen kaum beeinflusst.

Ein verlässliches Messergebnis wird dadurch garantiert.

ANHAFTUNG

Wenn es etwas anspruchsvoller ist...

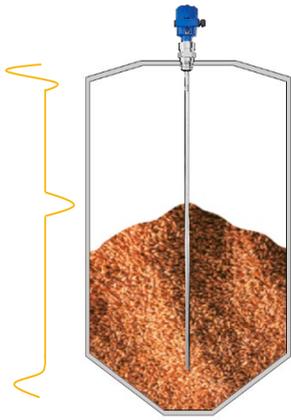


Zement oder Mehl sind klassische Beispiele dafür, dass sich in Feststoffanwendungen an prozessberührenden Teilen auch mal Anhaftungen bilden können. Bei TDR Sensoren ist ein solches prozessberührendes Teil die Sonde. Dabei handelt es sich entweder um einen Stab oder ein Seil. Die jeweiligen Oberflächen sind so beschaffen, dass eine **Produktablagerung minimiert** wird. Zusätzlich können die jeweiligen Seilvarianten mit einer **PA-Beschichtung** ummantelt werden.

Selbst wenn sich doch mal etwas Anhaftungen bilden, liefern die TDR Sensoren aufgrund der nur geringen Signaldämpfung zuverlässige Messergebnisse.

NIEDRIGE DK WERTE

Wenn es etwas anspruchsvoller ist...



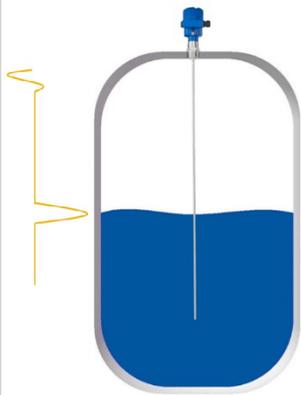
Niedriger DK Wert
(Getreide = 3)

Der Echokurvenverlauf bei Medien mit niedrigen DK Werten. Charakteristisch sind die geringere Amplitude des Echosignals sowie eine Signalausbreitung durch das Medium hindurch mit negativem Abschwung am Sondenende.

Eine Frage mit der man stets konfrontiert wird, wenn eine Füllstandbestimmung mit der Radartechnologie realisiert werden soll, ist der Dielektrizitätswert des Mediums.

Je höher der DK Wert, desto mehr Energie wird vom Medium reflektiert. Dementsprechend größer wird die Amplitude des Echosignals sein, was die Messsicherheit erhöht. Ist der DK Wert niedrig, wird wenig Energie reflektiert und der Großteil der Energie durchstrahlt das Medium bis zum Ende der Sonde. Das Sondenende wird dabei als negativer Abschwung in der Echokurve erkannt, sofern das Signal nicht davor schon vollständig gedämpft wurde.

Niedrige DK Werte (im Bereich 1,3 - 5) sind meist charakteristisch für Schüttgüter. Schwache Echosignale sind die Folge, was die TDR Sensoren vor besondere Herausforderungen stellt. Als magische Grenze wird in vielen Datenblätter der Wert 1,5 angegeben. Medien mit geringeren DK Werten reflektieren nicht die Menge an Energie, die für eine direkte Echoanalyse benötigt wird. Fällt der Wert doch mal unter den Grenzwert, behilft man sich einer weiteren physikalischen Besonderheit der Radartechnologie: dem **Zusammenhang von Ausbreitungsgeschwindigkeit und Trägermedium**.



Hoher DK Wert
(Wasser = 80)

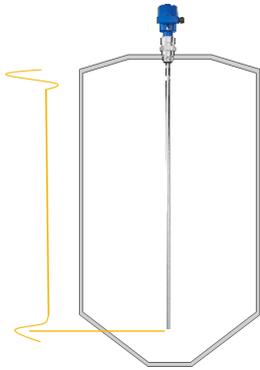
Echokurvenverlauf bei Medien mit hohem DK Wert. Charakteristisch sind hier die große Amplitude des Echosignals und die starke Signaldämpfung durch das Medium. Das Sondenende kann deshalb nicht erkannt werden.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der ausgesendeten Mikrowellenpulse hängt vom Trägermedium und dessen DK Wert ab. In Luft mit einem DK Wert von ca. 1, breiten sich elektromagnetische Wellen mit Lichtgeschwindigkeit aus. Wie bereits erwähnt, durchdringt ein Großteil der Mikrowellenenergie Materialien mit einem niedrigen DK Wert. Die Mikrowelle breitet sich dabei im Medium weiter aus, hier jedoch mit einer geringeren Ausbreitungsgeschwindigkeit.

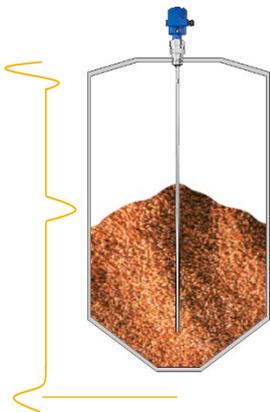
Dieser Effekt wird genutzt, um den Füllstand von Materialien mit sehr niedrigen DK Wert indirekt über die Probe End Projection zu bestimmen.

PROBE END PROJECTION

Wenn mal etwas verloren geht...



Wenn das Silo leer ist, stimmen der negative Abschwung in der Echokurve und das tatsächliche Sondenende überein.



Wenn das Silo mit Material befüllt ist, erscheint der negative Abschwung in der Echokurve durch die geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit des Mikrowellenpulses im Material weiter weg. Für die Echoverarbeitungssoftware scheint die Sonde länger zu sein als sie in Wirklichkeit ist.

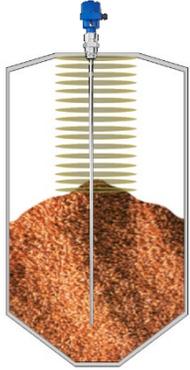
Vergleicht man die Echokurven eines leeren und eines vollen Behälters fällt neben der Amplitude des Füllstandechos ein zweiter Unterschied auf. Das Signal des Sondenendes erscheint bei einem mit Material gefüllten Behälter weiter weg als bei leeren Behältern. Hier zeigt sich die Abhängigkeit von Ausbreitungsgeschwindigkeit und Trägermedium. Während sich die Mikrowelle im leeren Behälter immer im freien Raum bis zum Sondenende ausbreiten kann, muss sie im befüllten Behälter das Medium durchdringen, um an das Sondenende zu gelangen. Innerhalb des Mediums verringert sich nun die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle. Dadurch erscheint das Sondenende weiter entfernt als es wirklich ist.

Die **Echoverarbeitungssoftware** nutzt diesen Effekt bei der indirekten Füllstandbestimmung. Diese kommt zum Einsatz, wenn die vom Produkt reflektierte Energiemenge nicht für die direkte Echosignalauswertung ausreicht. Dadurch kann der Füllstand auch dann noch bestimmt werden, wenn der DK Wert unter den kritischen Grenzwert von 1,5 fällt.

Die **Probe End Projection** bietet dabei noch einen zweiten nützlichen Vorteil, der bei der Inbetriebnahme zum Tragen kommt. Oftmals werden die Stab- oder Seilsonden in Standardlängen bestellt, sodass sie für die Anwendung eigentlich zu lang sind. In einem solchen Fall können diese ganz einfach gekürzt werden und deren neue Länge wird mithilfe des Sondenendesignals automatisch bestimmt. Dazu reicht meist ein Klick auf dem Bedienmodul.

SCHÜTTKEGEL

Wenn es etwas steiler ist...



Da die Mikrowellenpulse entlang einer Sonde geführt werden, haben Schüttkegel keinen Einfluss auf deren Reflektionsverhalten. Ein Signalverlust durch zur Seite reflektierte Mikrowellen wird dadurch verhindert

Schüttkegel sind eine bekannte Erscheinung in Schüttgutanwendungen. Sie bilden sich im Zuge von Befüll- sowie Entleervorgängen. Aufgrund der konischen Oberflächenform kann es zu Signalverlusten und Messfehlern kommen. Hier bieten TDR Sensoren einen entscheidenden Vorteil. Da die Mikrowellen entlang der Sonde geführt werden, ist **ein Signalverlust durch wegreflektierende Signale ausgeschlossen**. Auch wird die Echoanalyse dadurch vereinfacht. Hinzu kommt, dass die ausgesendeten Wellen aufgrund der niedrigen Frequenz relative großen Wellenlängen (30cm) haben, deren Reflektionsverhalten weniger stark von der Oberflächenform des Materials abhängt.

HOHE ZUGKRÄFTE

Wenn es etwas schwerer ist...



Ein robustes Design der Einkopplung macht TDR-Sensoren besonders Widerstandsfähig gegenüber den, auf die Sonde wirkenden, Zugkräften. Ein Seilabriss ist somit ausgeschlossen.

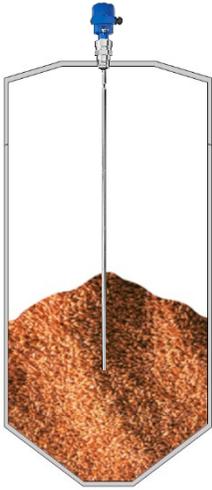
Je größer das Silo, desto größer die Kräfte, die auf das Seil wirken. Dabei wird die Zugkraft von Silohöhe, Silodurchmesser und Schüttgewicht bestimmt.

Das speziell auf den Schüttgutbereich angepasste **Einkopplungsdesign in Kombination mit einem stabilen Stahlseil** macht TDR Sensoren besonderes widerstandsfähig. So können Zugkräfte von bis zu **30kN** auf das Seil wirken. Ein Seilabriss ist dadurch ausgeschlossen.

Für Anwendungen die weniger hohe Anforderungen an die Stabilität stellen wird eine zweite, wirtschaftliche Designvariante (12kN Zugbelastung) angeboten.

HOHE SILOS

Wenn es etwas höher ist...



Mit einer maximalen **Seillänge von 75m** eignen sich TDR Sensoren bestens für den Einsatz in hohen Silos. Da die ausgesendeten Mikrowellenpulse aufgrund ihrer niedrigen Frequenz (1GHz) weniger stark gedämpft werden, liefern sie selbst über große Messdistanzen ein ausreichend großes Messsignal.

Mit einer maximalen Seillänge von bis zu 75 Metern eignen sich TDR-Sensoren auch für den Einsatz in hohen Silos

Beispielhafte Anwendung des TDR in SCHÜTTGUT

NG 3000 in hohem Lagersilo für Zement

www.uwt.de/tdr-zement-anwendung

Lösung für spezielle Herausforderungen:

- ✓ staubintensive Prozessumgebung
- ✓ leicht anhaftendes Medium
- ✓ hohe Prozesskompatibilität



Wie meistern TDR Sensoren die Herausforderungen im Flüssigkeitsbereich?

Aufgrund ihrer Flexibilität ist die TDR-Technologie geradezu prädestiniert auch in Flüssigkeitsanwendungen eingesetzt zu werden. Ähnlich dem Schüttgutbereich, wird die Messtechnik auch hier mit einer Vielzahl an Problemstellungen konfrontiert, deren Ausprägungen jedoch von jenen der Feststoffe abweichen. **Dampf, Kondensat, Rührwerke oder Heizschlangen, sich ausprägende Trennschichten, Wellenbewegungen, flüchtige Substanzen oder beengte Platzverhältnisse** aufgrund kleinerer Behältergrößen, sind alles Herausforderungen, die eine Füllstandbestimmung erschweren können. Auch hier erweisen sich TDR Sensoren als wahre Allroundtalente. Insbesondere die sogenannte Koaxialausführung liefert hier exzellente Messergebnisse.

DAMPF & KONDENSAT

Wenn es etwas undurchsichtig ist...



Ein zwischen Einkopplung und Sonde isolierend wirkender Kondensatkonus erhöht die Messsicherheit und erleichtert zudem das Abtropfen des Kondensats.

In Anwendungen in denen sich Dampf über einer Flüssigkeit bildet, eignen sich TDR Sensoren exzellent für die Bestimmung des Füllstands. Dies liegt vor allem daran, dass die ausgesendeten niederfrequenten Mikrowellenpulse in dampfhaltiger Atmosphäre nicht an Signalstärke verlieren. Dadurch kann eine zuverlässige Füllstandbestimmung garantiert werden.

Da die Dampfbeschaffenheit stark druck- und temperaturabhängig ist, kann es jedoch unter extremen Prozessbedingungen zu einer Laufzeitverschiebung kommen. Diese wirkt sich wiederum auf die Messgenauigkeit aus. Um die Laufzeitverschiebung zu kompensieren, besitzen die speziell für diese Anwendungen entwickelten TDR Sensoren die sog. **Dampfkompensation** (auf diese wird im Kapitel *Hochdruck-/Hochtemperaturanwendungen* genauer eingegangen). In Standard-Anwendungen wird die Dampfkompensation allerdings nicht benötigt.

Entsteht aus Dampf wieder Kondensat, hat auch das keine Auswirkungen auf eine zuverlässige Füllstandbestimmung. Grundvoraussetzung dafür ist ein entsprechendes Sensordesign, das sich dadurch kennzeichnet, dass Stab und Prozessanschluss voneinander isoliert sind. Dadurch wird selbst bei Kondensatbildung in diesem Bereich eine saubere Signaleinkopplung auf den Stab sichergestellt. Eine **konische Formgebung dieser Isolation** trägt zusätzlich dazu bei, eine Kondensatbildung zu verhindern und erleichtert das Abtropfen.

BEENGTE PLATZVERHÄLTNISS

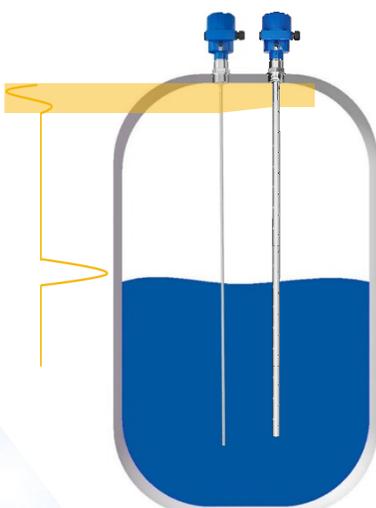
Wenn es etwas beengter zugeht...



TDR-Sensoren mit Koaxialsonden sind die zuverlässigste Art der Füllstandbestimmung. Eine beliebte Installationsart für TDR-Sensoren ist der Bypass. Der Effekt des Bypassrohres ist vergleichbar mit dem eines Koaxialrohres.



Heizspindel im inneren eines Tanks: Für TDR-Sensoren mit Koaxialsonde kein Problem. Auch Heizschlangen sind mit Koaxialsonde keine Störquelle.



Aufgrund der Signalbündelung können TDR-Sensoren mit Koaxialsonde selbst Signale im Nahbereich noch gut erkennen. Das ermöglicht eine Befüllung des Tanks bis zur Oberkante.

Eine durchgängig konstante Prozesstemperatur zu erreichen ist für viele Flüssigkeitsanwendungen eine prozesskritische Komponente. Eine gleichmäßige Temperaturverteilung wird über Heizstäbe bzw. Heizspiralen innerhalb der Tanks erzielt. Die Problematik für die geführte Mikrowellentechnologie liegt dabei auf der Hand. Bei der TDR-Technologie wird ein Mikrowellenpuls entlang einer Sonde im freien Raum nach unten geführt. Die Energie strahlt dabei in einem Umkreis von 300 mm (11.81 in) um die Sonde. Das bedeutet, dass sowohl von der Behälterwand als auch von den Heizelementen Störsignale erzeugt werden, wenn diese sich im Wirkradius des Mikrowellenpulses befinden. Messfehler oder Signalverlust sind die Konsequenz. Abhilfe schafft hier die Verwendung eines **metallischen Koaxialrohres**, welches an den Prozessanschluss geschweißt, die Stabsonde umschließt. So wird die Energie innerhalb des Koaxialrohres fokussiert, was Störeinflüsse von außen komplett eliminiert. Mindestabstände zu Behälterwänden oder Einbauten wie Heizschlägen und Rührwerke müssen somit nicht beachtet werden. Dieser sogenannte Koaxialeffekt tritt auch dann ein, wenn TDR Sensoren in Standrohren oder Bypassen installiert werden.

Die **Energiefokussierung** der Koaxiallösung bietet einen weiteren großen Vorteil, der in kleinen Behältern von Bedeutung ist. TDR Sensoren haben am Sondenanfang einen Bereich in dem keine Messung möglich ist. Dieser entsteht, da es während der Einkopplung der Mikrowellenpulse auf die Sonde zum sogenannten Rauschen kommt. Aufgrund dieses Rauschens können Füllstandsignale im oberen Bereich, der je nach Qualität der Einkopplung zwischen 80 und 150mm variiert, nicht als solche interpretiert und ausgewertet werden. Aufgrund der Energiebündelung durch das Koaxialrohr, werden die Echosignale größer, was dazu führt, dass auch Füllstandsignale nahe des Sondenanfangs ausgewertet werden können. Die **Blockdistanz** in der keine Messung möglich ist, verringert sich somit auf **nur noch 30 mm (1.18 in)**. Eine Befüllung bis knapp unter die Behälteroberkante stellt daher kein Problem mehr dar.

Nebeneffekt der Energiebündelung ist außerdem, dass selbst Medien mit einem **DK Wert kleiner als 1,5 gemessen** werden können.

Eine Koaxialausführung kann auch dann hilfreich sein, wenn die Flüssigkeit starken **Wellenbewegungen** unterliegt. Dabei schützt das Koaxialrohr nicht nur die Sonde vor starken seitlichen Kräften, sie beruhigt auch die Oberfläche der Flüssigkeit innerhalb des Rohres. Präzise Messergebnisse und ausbleibende Sondenbeschädigungen sind weitere Vorteile dieser Geräteausführung.



MEDIENEIGENSCHAFTEN

Was es zu beachten gilt...?

Es gibt unzählige flüssige Stoffe mit den unterschiedlichsten Eigenschaften. Drei Fragestellungen, die bei der Auswahl eines geeigneten TDR Sensors helfen können:

Sind die verwendeten Dichtungs- und Isolationsmaterialien chemisch beständig?

Säuren oder Laugen können die verwendeten Materialien der TDR Sensoren enorm beanspruchen. Speziell die Einkopplung besteht daher aus hochwertigen und chemisch beständigen Materialien, die die Lebensdauer der Sensoren maximiert. FFKM oder PEEK sind in solchen Fällen geeignete Materialien.

Sind die medienberührenden Teile lebensmitteleuglich?

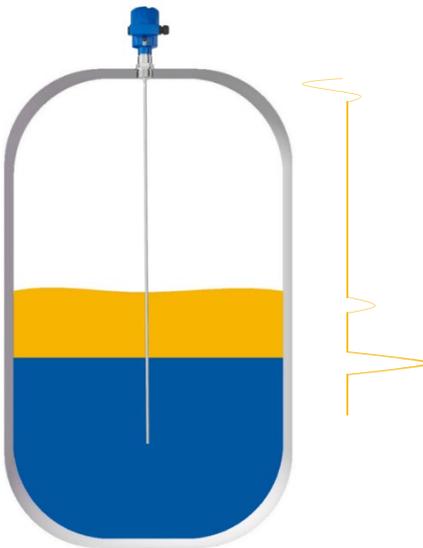
TDR Sensoren kommen mit dem Medium in Kontakt. Deshalb ist es wichtig, dass die Sonde, hier speziell die Oberflächenbeschaffenheit, und den Prozessanschluss der entsprechenden Standards erfüllt.

Handelt es sich bei den zumessenden Stoffen um toxische oder flüchtige (VOC) Stoffe?

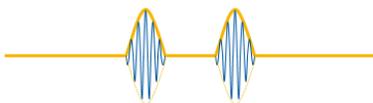
TDR Sensoren werden so konstruiert, dass eine Ausgasung von Gefahrstoffen in die unmittelbare Umgebung der Menschen ausgeschlossen ist. Dafür kommen spezielle Dichtungslösungen zum Einsatz. So wird der Bereich der Signaleinkopplung über eine Borosilikatglasdichtung, der sogenannten Second Line of Defense (SLOD) abgedichtet, um ein Maximum an Sicherheit zu garantieren.

TRENNSCHICHT MESSUNG

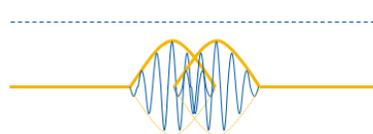
Wenn sich etwas trennt...



TDR-Sensoren verarbeiten die Echosignale in Hüllkurven. Die Breite und Steilheit der Hüllkurve wird maßgeblich von der Bandbreite bestimmt. Je größer die Bandbreite desto steiler und schmaler die Hüllkurve. Eine höhere Bandbreite führt folglich zu einer besseren Auflösung, wodurch zwei kurz aufeinanderfolgende Echosignale besser voneinander getrennt werden können. Steilere Hüllkurven erhöhen außerdem die Genauigkeit.



Auflösung zweier kurz aufeinanderfolgender Echosignale mit großer Bandbreite.



Auflösung zweier kurz aufeinanderfolgender Echosignale mit geringer Bandbreite.

Für eine Messaufgabe sind TDR Sensoren aber besonders gut geeignet: die Trennschichtmessung. Öl schwimmt auf Wasser. Ein Phänomen, das jeder kennt. Die beiden Stoffe lassen sich nicht miteinander vermischen. Sie trennen sich. Der Übergang von Öl zu Wasser wird als Trennschicht bezeichnet. Insbesondere in der Chemiebranche und im Öl & Gas Bereich sind Füllstandmessungen von Trennschichten ein weitverbreiteter Standard. Für diese Messaufgabe sind TDR Sensoren die erste Wahl. Grund dafür sind spezielle Softwarealgorithmen und eine besondere Eigenschaft der ausgesendeten Mikrowellenpulse:

Die Fähigkeit Stoffe mit niedrigen DK Wert zu durchdringen.

Aufgrund der vergleichsweise tiefen Frequenz wird die Mikrowellenenergie weniger stark von Stoffen mit niedrigem DK Wert gedämpft. Für die Trennschichtmessung bedeutet das folgendes: Trifft der ausgesendete Mikrowellenpulse auf die obere Schicht (z.B. Öl) wird ein geringer Energieanteil reflektiert, die restliche Energie durchstrahlt die obere Schicht und trifft auf die untere Schicht (z.B. Wasser). Dort wird die Mikrowelle ein zweites Mal reflektiert und läuft entlang der Sonde zurück zum Sensor. Der Mikrowellenpuls wird somit zweimal reflektiert, einmal von der oberen und einmal von der unteren Schicht. Die Echowertungssoftware ist in der Lage, die beiden reflektierten Signale zu erfassen und auszuwerten. Dabei können sowohl Gesamtfüllstand, Trennschichtlage als auch die obere Schichtstärke bestimmt werden. Auch eine dynamische Veränderung der Trennschichtlage und obere Schichtstärke ist möglich und beeinflusst das Messergebnis nicht.

Ein kritischer Punkt, der bei einer Trennschichtmessung beachtet werden muss, ist eine ausreichende Dicke der oberen Schicht. Diese variiert je nach Sensor zwischen 50-100 mm (1.97- 3.94 in). Grund dafür sind Qualitätsunterschiede bezüglich der Echoauflösung, die von der Bandbreite bestimmt wird. Je höher die Bandbreite desto schärfer und steiler die Echosignale. Kurz aufeinanderfolgende Echosignale, was bei Trennschichtmessungen üblich ist, können dadurch besser getrennt und analysiert werden. Der steilere Flankenverlauf erhöht die Genauigkeit. TDR Sensoren die dünne Trennschichten hochpräzise messen können haben daher eine größere Bandbreite.

Folgenden Bedingungen sind zu erfüllen:

- Obere Schichtstärke max. 50mm
- DK Wert der oberen Schicht bekannt
- DK Wert obere Schicht < DK Wert untere Schicht
- Differenz der DK Werte > 10

TDR Sensoren in Hochdruck- und Hochtemperaturanwendungen

Neben den Standard TDR Sensoren, die meistens für Prozesstemperaturen bis 200°C (392°F) und einem Druck bis 40 bar (580 psig) ausgelegt sind, gibt es TDR Sensoren die speziell für **Prozesstemperaturen bis 450°C (842°F) und bis zu 400 bar (5801 psig) Druck** entwickelt wurden. Die Anforderungen an das Sensordesign sind hier gleichwohl deutlich höher. Und auch die ausgesendeten elektromagnetischen Mikrowellenpulse werden unter bestimmten Prozessbedingungen deutlich beeinflusst. Doch auch dafür haben die Messtechnikexperten intelligente Lösungen entwickelt.

ROBUST UND BESTÄNDIG

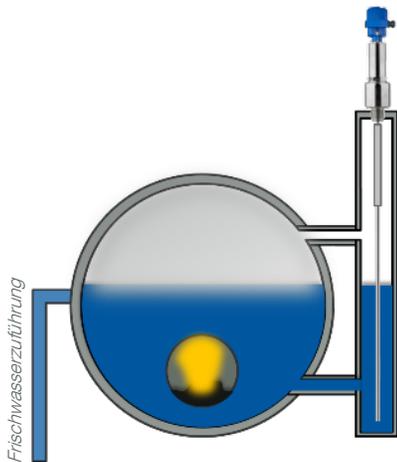


Das robuste Design eines TDR-Sensors für Hochdruck-/ Hochtemperatur-anwendungen. Hochwertige und unempfindliche Materialien verhindern das Eindringen von Wasserdampf in das Innere der Einkopplung. Zuverlässige Messergebnisse über einen langen Zeitraum sind das Resultat.

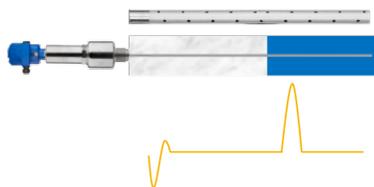
Wenn's extrem wird...

Eine große Herausforderung bei Hochdruck- sowie Hochtemperaturanwendungen besteht darin, robustes Sensordesign mit möglichst rausch- und verlustarmer Signaleinkopplung zu vereinen. Aufgrund der extremen Bedingungen müssen entsprechenden Kühlstrecken und Dichtungslösungen entwickelt werden. Die Dimensionen der Einkopplung vergrößern sich folglich. Eine verlustarme Signalkopplung über eine so lange Strecke ist nur durch eine hochwertige, aufeinander angepasste Materialauswahl in Verbindung mit einem entsprechen Design der Einkopplung möglich. Denn je besser die Signalqualität des ausgesendeten Signals, desto besser die Qualität des reflektierten Signals und damit das Messergebnis.

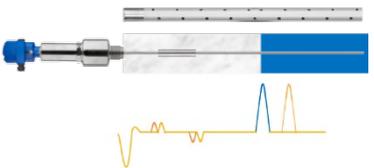
DAMPF *Wenn's in den Dampfkessel geht...*



Um den Wassertand in Dampfkesseln zu messen werden TDR-Sensoren in ein Bypassrohr eingebaut. Für eine präzise Füllstandbestimmung selbst bei einem Betriebsdruck von über 40 bar und einer Temperatur von über 200°C hilft die Dampfkompensation



Dampf führt unter extremen Bedingungen zu einer Laufzeitverschiebung. Dadurch erscheint das Echosignal zu spät und das Messergebnis wird ungenau



Die Laufzeitverschiebung wird mithilfe der Dampf-kompensation ausgeglichen. Dazu wird über ein zusätzliches Rohr um die Sonde ein Referenzsignal erzeugt, über das der Füllstand präzise errechnet werden kann.

Typische Anwendungen in denen die robusten TDR Sensoren zum Einsatz kommen, sind Dampfkessel. Hier wird unter extremem Druck und hohen Temperaturen Dampf erzeugt. Ein konstanter Wasserpegel ist dabei mitentscheidend für eine optimale Dampfqualität. Diese Messaufgabe erfüllen TDR Sensoren mit Hilfe eines speziellen Features zuverlässig genau.

Die Dampfkompensation

Im ersten Teil dieses Whitepapers wurde bereits auf die Auswirkungen von Dampf eingegangen. Während ein sich bildender Dampf unter Standardbedingungen (Standard bedeutet in diesem Fall Prozesstemperatur < 200°C (392°F) und Prozesdruck < 20 bar (290 psig) eine Füllstandbestimmung mit geführter Mikrowelle kaum beeinflusst, ändert sich das unter extremeren Bedingungen.

So wird das Messergebnis in einem Dampfkessel der bei 350°C (662°F) und 200 bar (2900 psig) betrieben wird, um 76% verfälscht. Grund dafür ist der unter diesen Bedingungen, starke Einfluss des Dampfs auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit. Sie wird stark verlangsamt, was in diesem hohen Messfehler resultiert. Um diesen Messfehler auszugleichen behilft man sich mit der Installation eines Referenzstabes innerhalb des Koaxialrohres. Mithilfe dieser Referenzstrecke wird bei der Werkskalibrierung ein Referenzsignal bestimmt, mit dessen Hilfe die dampfbedingte Laufzeitverschiebung kompensiert werden kann. Je länger dabei der Referenzstab, desto genauer die Kompensation. So können auch unter diesen extremen Bedingungen Messgenauigkeiten von +/- 3 mm (0.12 in) erreicht werden.



Genauigkeit von TDR Sensoren bei unterschiedlichen Prozessbedingungen

| Phase Gas | Temperatur | Druck | | | | |
|------------------------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 10 bar (145 psig) | 50 bar (725 psig) | 100 bar (1450 psig) | 200 bar (2900 psig) | 400 bar (5800 psig) |
| Luft | 20°C (68°F) | 0.22% | 1.2% | 2.4% | 4.9% | 9.5% |
| | 200°C (392°F) | 0.13% | 0.74% | 1.5% | 3.0% | 6.0% |
| | 400°C (752°F) | 0.08% | 0.52% | 1.1% | 2.1% | 4.2% |
| Dampf (saturierter Dampf) | 100°C (212°F) | .. | .. | .. | .. | .. |
| | 180°C (356°F) | 2.1% | .. | .. | .. | .. |
| | 264°C (507°F) | 1.44% | 9.2% | .. | .. | .. |
| | 366°C (691°F) | 1.01% | 5.7% | 13.2% | 76.0% | .. |

*Steigt der Druck oder die Temperatur hat das kaum Auswirkungen auf die Genauigkeit von TDR Sensoren. Selbst wenn sich zusätzlich noch Dampf bildet, bleibt die Messgenauigkeit hoch. Dampf in Kombination mit sehr hohen Temperaturen und Drücken wiederum hat eine merkliche Auswirkung auf die Genauigkeit von TDR Sensoren. Im Extremfall weicht diese um bis zu 76% ab. Mit Hilfe einer **Dampfkompensation** kann diese Ungenauigkeit jedoch ausgeglichen werden.*





Beispielhafte Anwendung des TDR in FLÜSSIGKEIT

NG 8000 in
Mazerierungsprozessen
der Holzverarbeitung

www.uwt.de/tdr-holz-anwendung



Lösung für spezielle Herausforderungen:

- ✓ besondere Einbaubedingungen
- ✓ hohe Temperaturen
- ✓ Dampf und Feuchtigkeit
- ✓ schwankender Prozessdruck
- ✓ variierende DK Werte



Fazit

TDR Sensoren sind äußerst vielseitig, weshalb man sie in den unterschiedlichsten Anwendungen und Industrien findet. Neben den technologiebedingten Vorteilen von Radar hat auch die Nutzerfreundlichkeit der Sensoren die Verbreitung positiv beeinflusst. So haben Schnellinbetriebnahme-Assistenten, die den Anwender Schritt für Schritt durch die Einstellungsmöglichkeiten führen, die Kalibrierung stark vereinfacht. Diagnosefunktionen und die leicht zu interpretierenden Echokurven helfen bei der Fehlerbehebung, was Anlagenstillstände enorm verkürzt.

Zusammen mit den anderen Punkten dieses Whitepapers wird deutlich, dass der geführte Radar eine verlässliche Methode der Füllstandbestimmung selbst unter schwierigen Prozessbedingungen ist.

UWT GmbH

Westendstr. 5
87488 Betzigau
Germany

Tel.: +49 (0) 831 57 123 0

Fax: +49 (0) 831 57 123 10

www.uwtgroup.com

info@uwtgroup.com



<https://www.facebook.com/UWTde/>



https://www.instagram.com/uwt_level_control/



<https://www.linkedin.com/company/uwt-gmbh>



<https://www.youtube.com/c/UWTGmbH>



<https://twitter.com/UWTGmbH>

WIR FREUEN UNS AUF IHRE SENSOR- CHALLENGE!

Gerne unterstützen wir Sie mit unserer Expertise bei der Vielzahl an Herausforderungen, die Sie im Bereich Füllstandmesstechnik bewältigen müssen.

Ihr Nikolas Oppenberger

Tel: +49 831 571 23 146

Email: nikolas.oppenberger@uwt.de

