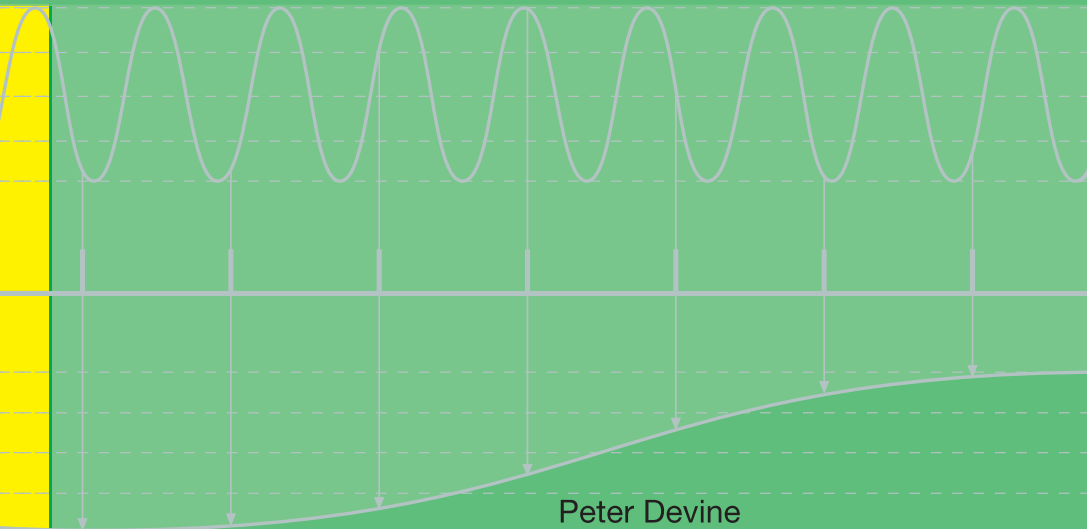




Füllstandmessung mit Radar

*Leitfaden für die
Prozessindustrie*



Füllstandmessung mit Radar

Leitfaden für die Prozessindustrie

Peter Devine

Autor

Peter Devine

Technische Beratung

Karl Griebbaum

Satz und Layout

Liz Moakes

Zeichnungen und Illustration

Evi Brucker

© VEGA Grieshaber KG

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Herausgebers.

VEGA Grieshaber KG, Am Hohenstein 113, 77761 Schiltach.

Devine, Peter

Füllstandmessung mit Radar - Leitfaden für die Prozessindustrie

ISBN 3-00-008216-6

Umschlaggestaltung: LinkDesign, Schramberg.

Druck: BaurOffset, Villingen-Schwenningen

Inhalt

Vorwort	ix
Danksagung	xi
Einleitung	xiii
Teil I	
1. Geschichte des Radars	1
2. Physikalische Grundlagen des Radars	13
3. Radartypen	33
1. CW-Radar	33
2. FMCW-Radar	36
3. Pulsradar	39
Teil II	
4. Radar-Füllstandmessung	47
1. FMCW-Radar	48
2. Pulsradar	54
3. Frequenzwahl	62
4. Genauigkeit	68
5. Leistung	74
5. Radarantennen	77
1. Hornantennen	81
2. Dielektrische Stabantennen	92
3. Standrohrantennen	101
4. Parabolantennen	106
5. Planarantennen	108
Richtcharakteristik von Antennen	110
6. Installation	115
A. Mechanischer Einbau	115
1. Flüssigkeitsanwendungen - Hornantenne	115
2. Flüssigkeitsanwendungen - Stabantenne	117
3. Allgemeine Einbauhinweise	120
4. Standrohre und Bypass-Rohre	127
5. Messung durch Behälterwand und Radarfenster	134
6. Messung von Schüttgütern mit Hornantennen	139
B. Elektrische Anschlussvarianten	141
1. Nicht-Ex-Anwendungen	141
2. Geräte für Ex-Anwendungen	144

6. Installation

Mechanischer Einbau

Der richtige Einbau ist für die Funktion eines Füllstandradars von sehr großer Bedeutung. Obwohl die Signalverarbeitungssoftware moderner Geräte inzwischen auch schlechte

Echoverhältnisse zuverlässig auswerten kann, ist dies immer noch die wichtigste Voraussetzung für eine funktionierende Messung.

1. Flüssigkeitsanwendungen - Hornantenne

Stutzen / Muffen

Üblicherweise werden Radarsensoren auf einem Behälterstutzen oder einer Muffe installiert. Referenzpunkt für die Messung ist die Unterseite des Geräteflansches.

Die Vorderkante der Hornantenne sollte immer mindestens 10 mm aus dem Stutzen heraus in den Behälter ragen.

Die Hornantenne eines Gerätes mit einem Flansch DN 150 (6") ist z.B. 205 mm lang. Ist der Montagestutzen deutlich länger als 195 mm, sollte eine Hohlleiterverlängerung verwendet werden. So kann garantiert werden, dass das Ende der Hornantenne über den Stutzen hinausragt.

Korrekt Einbau

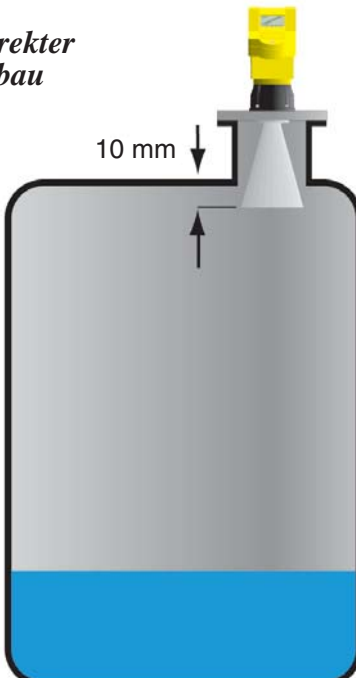


Abb. 6.1

Falscher Einbau

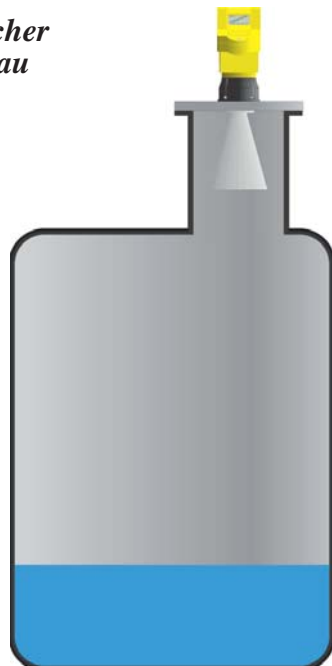


Abb.6.2

Hohlleiterverlängerung und gebogene Hohlleiter

Eine Hohlleiterverlängerung sollte verwendet werden, wenn ein Radargerät mit Hornantenne in einem langen Stutzen installiert wird. Hierfür wird ein Edelstahlrohr zwischen den PTFE / keramischen Hohlleiter im Flansch und der Hornantenne montiert. Es ist auch möglich, die Hohlleiterverlängerung für einen seitlichen Einbau des Gerätes abzubiegen. Der minimale Biegeradius für diesen Antennentyp ist 200 mm, der Winkel sollte nicht über 90° betragen.

Bei der Verwendung eines gebogenen Hohlleiters ist die Ausrichtung der linearen Polarisierung des Radars wichtig. Die Polarisationsrichtung des Radars sollte horizontal sein, wenn die Biegung nach unten verläuft.

Verlängerte und gebogene Hohlleiter sind für Flüssigkeiten mit guten Reflexionseigenschaften geeignet. Sie sollten nicht bei Flüssigkeiten mit niedrigen DK-Werten oder bei Schüttgütern verwendet werden.

Minimale Messdistanz bei Geräten mit Hornantenne

Mit einer Hornantenne ist es normalerweise möglich, flüssige Medien bis an die Unterkante der Antenne zu messen. Dies ist allerdings nur möglich, wenn die Flüssigkeit gute Reflexionseigenschaften hat.

Das Eintauchen der Antennen in die Flüssigkeit, eventuell sogar mit Anhaftungen, verursacht insbesondere bei 6,3 GHz-Geräten kaum Probleme.

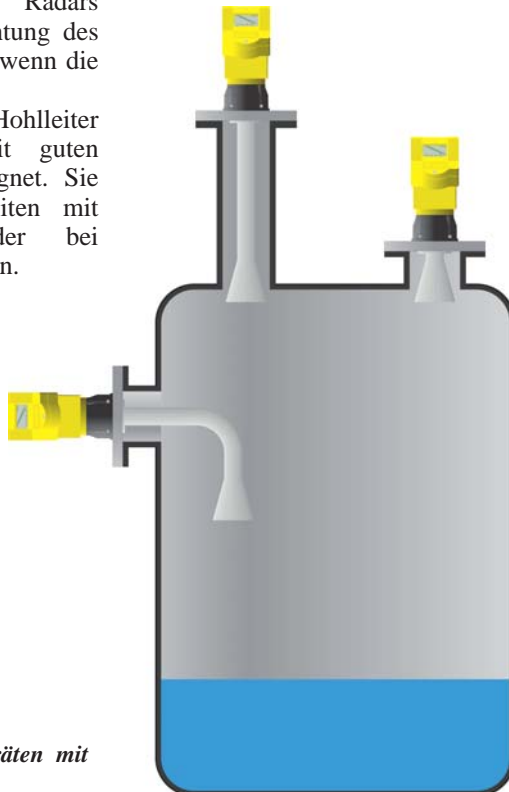


Abb. 6.3: Einbau von Geräten mit Hornantenne.

2. Flüssigkeitsanwendungen - Stabantenne

Stutzen / Muffen

Eine PTFE-Stabantenne eignet sich gut bei chemisch aggressiven Produkten wie Säuren und Laugen. Sie wird oft in der chemischen und pharmazeutischen Industrie benutzt, wo Mischungen aus Lösungsmitteln, Säuren und Laugen alltäglich sind.

Die PTFE-Stabantennen mit Tri-Clamp und spaltfreier Dichtkonstruktion sind speziell für Anwendungen in der Lebensmittelindustrie und für sterile Behälter optimiert.

Die Stabantenne wird für Flüssigkeiten und Schlämme, aber nicht für Schüttgut anwendungen benutzt. Der Sensor ist meistens in einem einfachen Stutzen oder in einer Gewindemuffe eingebaut. Radarsensoren mit Stabantenne werden passend für geschraubte

Verbindungen wie 1½" (NPT oder G), Flanschanschlüsse von DN 50 (2") bis DN 150 (6") oder hygienische Lebensmittelanschlüsse geliefert.

Beim Einbau ist wichtig, dass der komplette konische Teil der Antenne aus dem Stutzen in den Behälter ragt.

Für den Einbau in langen Stutzen sind Stabantennen mit unterschiedlichen inaktiven Längen verfügbar. Typische Längen für diesen inaktiven Teil, und somit die maximale Länge des Stutzens, sind 100 mm und 250 mm.



Abb. 6.4: Typische Einbau einer Stabantenne: Der aktive konische Teil der Antenne muss komplett in den Behälter ragen. Für längere Stutzen sollten Antennen mit inaktiver Länge verwendet werden.

Falscher Einbau einer Stabantenne

Wenn der konische Abschnitt einer Stabantenne in einem Stutzen montiert wird, erzeugen die abgestrahlten Mikro-

wellen ein starkes Rauschen (Klingeln). Dies führt speziell im Nahbereich zu einer Verringerung der Messsicherheit.

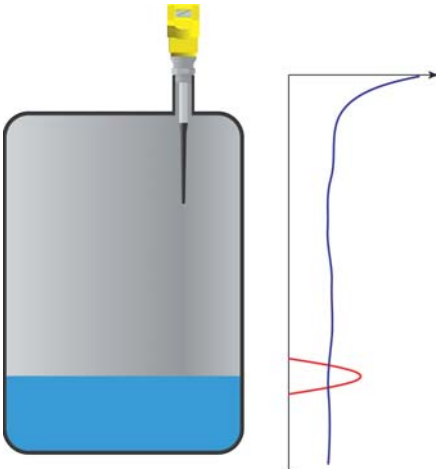


Abb. 6.5:

Richtig:

Antenne mit angepasstem inaktiven Teil für lange Stutzen.

Normale Rauschkurve mit deutlichem Echo.

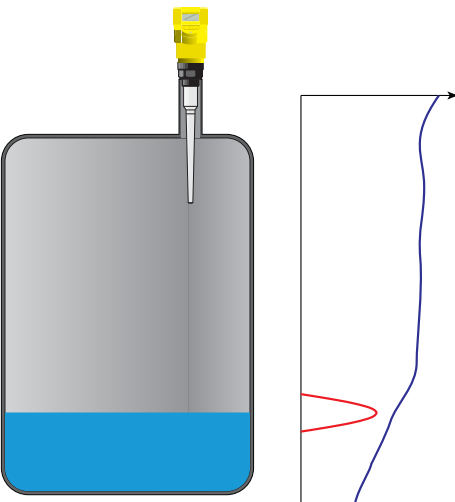


Abb. 6.6:

Falsch:

Kurze Stabantenne in einem langen Stutzen. Produziert hohes „Klingeln“. Im Nahbereich kann dies sogar das Echo überdecken.

Stabantenne direkt auf dem Behälter

Radarsensoren mit Stabantenne können direkt in eine Öffnung in der Decke eines Tanks montiert werden. Dies kann entweder über einen Flansch oder ein Einschraubgewinde geschehen.

Maximale Füllhöhe bei einer Stabantenne

Wie bereits erklärt, ist es wichtig, dass der konische Abschnitt einer Stabantenne komplett innerhalb des Behälters ist. Die Gerätesoftware kann das „Klingeln“ bei einem falschen Einbau nicht eliminieren. Eine Erhöhung der Verstärkung würde dies noch weiter verschlechtern.

Die Länge der Stabantenne ab dem Flansch bestimmt die maximale Befüllhöhe im Behälter. **Im Idealfall sollte das flüssige Füllgut die Stabantenne nicht berühren.** Allerdings ist dies manchmal unvermeidlich, hierbei muss Folgendes in Betracht gezogen werden.

Mechanische Belastung

Es sollte beachtet werden, dass die PTFE-Antennen nur beschränkten mechanischen Belastungen widerstehen können. Beim Auftreten einer Querkraft kann sie sich biegen und verformen oder sogar brechen. Hat die Anwendung starke Füllgutbewegungen? Kann die Biegekraft Schaden am Stab verursachen?

Anhaftungen auf der Stabantenne

Wie schon erklärt, werden die Mikrowellen bei einer Stabantenne vom konischen Abschnitt des Stabs ausgesandt. Taucht nun der Stab in eine viskose Flüssigkeit ein, und das Produkt bildet auf der Antenne einen Überzug, so gefährdet dies die Messung. Bilden sich starke Anhaftungen, dann wird das Radar nicht mehr funktionieren.

Berühren niedrigviskose Flüssigkeiten wie z.B. Lösungsmittel oder wasserbasierende Produkte die Stabantenne, kann dies sogar einen Selbstreinigungseffekt haben und die Messung bleibt stabil. Bei solchen Medien kann die Antenne bis zur Hälfte eintauchen. Jedoch ist auch hier schon mit deutlich verringerter Messsicherheit und Genauigkeit zu rechnen.

Nach Möglichkeit sollte ein Eintauchen der Antenne gänzlich vermieden werden.

3. Allgemeine Einbauhinweise: Horn- und Stabantenne bei Flüssigkeitsanwendungen

Folgendes sollte bei der Montage eines Radargerätes mit Horn- oder Stabantenne auf einem Behälter berücksichtigt werden.

Montage in Behältern mit gewölbtem Deckel

Ein Radarsensor sollte nicht im Zentrum eines gewölbten Deckels oder zu nahe an der Gefäßwand montiert werden. Die ideale Position ist ungefähr $\frac{1}{2}$ Radius von der Außenwand entfernt. Gewölbte Tankdeckel können sonst als parabolischer Reflektor wirken.

Ist der Radarsensor im „Brennpunkt“ eines parabolischen Deckels montiert, empfängt er deutlich überhöhte Vielfachechos. Dies wird vermieden, wenn der Sensor wie zuvor beschrieben eingebaut wird.

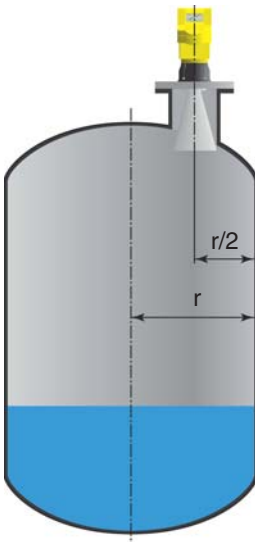


Abb. 6.7: Die ideale Position für das Gerät ist bei Behältern mit gewölbtem Deckel bei der Hälfte des Radius.

Paraboleffekt

Wird ein Radarfüllstandmessgerät im Zentrum eines gewölbten Deckels montiert, empfängt der Sensor stark überhöhte Vielfachechos. Der Effekt dieser Vielfachechos kann deutlich auf der Echokurve betrachtet werden. Abb. 6.8 zeigt, dass das dritte Vielfache eine deutlich höhere Amplitude aufweist als das erste, tatsächliche Echo. Dieser Effekt kann auch in liegenden Rundtanks vorkommen. Vielfachechos können bei Pulsradar durch die Software erkannt werden, da sie zeitlich deutlich getrennt sind. Wie bereits in Kapitel 4 beschrieben, ist dies bei FMCW ein größeres Problem.

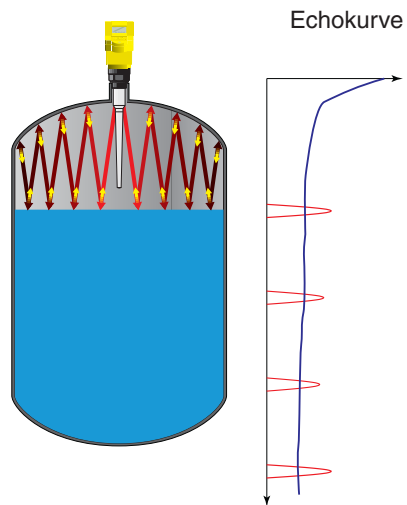


Abb. 6.8: Dieser Effekt tritt auf, wenn das Gerät in der Spitze eines gewölbten Deckels montiert werden.

Störechos

Ebene Flächen, Einbauten z.B. Versteifungen oder auch Einbauten mit scharfen Kanten verursachen große Störechos. An diesen Objekten werden hohe Störampplituden produziert. Runde Profile hingegen produzieren eine diffuse Reflexion und somit nur geringe Störechos. Sie sind deshalb vom Gerät leichter zu verarbeiten als große Störechos, die von einer ebenen Fläche stammen.

Können flache Reflexionsebenen im Messbereich des Radars nicht ver-

mieden werden, sollten diese mit einem zur Seite ablenkenden Streublech versehen werden. Die dann mehrfach gebrochenen Radarsignale sind in der Amplitude deutlich kleiner und deshalb von der Software leichter zu verarbeiten.

Diese Maßnahmen müssen umso gewissenhafter durchgeführt werden, je geringer der DK-Wert des Produkts ist und je höher die Genauigkeitsanforderungen sind.

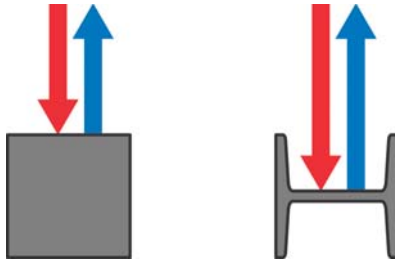


Abb. 6.9: Profile mit ebenen Flächen oder scharfen Ecken verursachen starke Störechos.

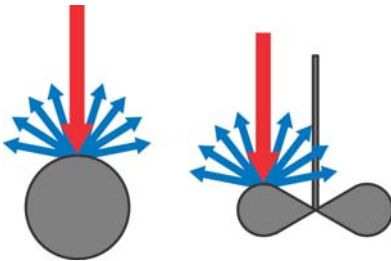


Abb. 6.10: Durch diffuse Reflexion an runden Teilen werden deutlich geringere Störechos produziert.

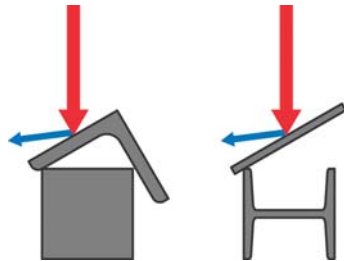
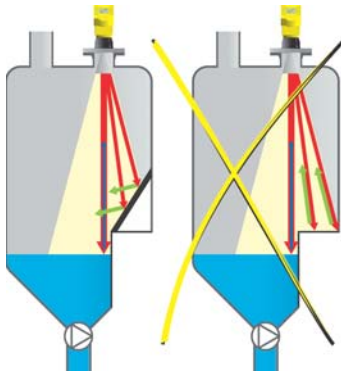


Abb. 6.11: Ein Streublech verteilt die Mikrowellenenergie zur Seite und reduziert damit die Störechoamplitude.

Vermeiden vom Störechos

Bei der Einbauposition des Radargerätes sollte darauf geachtet werden, dass sich keine Streben und kein Befüllstrom im Detektionsbereich des Radars befinden.

Die folgenden Beispiele zeigen typische Messprobleme und wie sie vermieden werden können.



Absätze

Behälterprofile mit flachen Absätzen rechtwinklig zur Hauptstrahlrichtung des Radars erzeugen starke Störechos. Durch den Einbau eines Streblechs kann die Störechoamplitude deutlich reduziert werden, um somit eine zuverlässige Messung zu ermöglichen.

Einbauten mit einer rechtwinkligen Fläche zum Sensor, z.B. Einlässe, Achsen, sollten mit einem „Dach“ versehen werden (Abb. 6.13). Hiermit wird das Radarsignal ebenfalls gestreut, die übrigen Störechos können von der Signalverarbeitungssoftware herausgefiltert werden.

Abb. 6.12: Streblech an einem Absatz im Behälter.

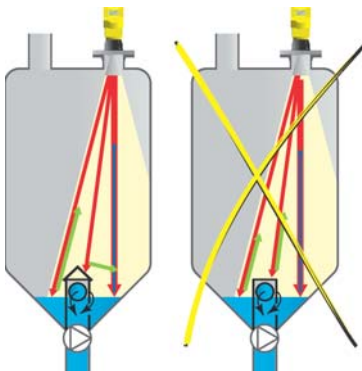


Abb. 6.13: Streblech auf Einbauten.

6. Installation

Behältereinbauten

Einbauten wie z.B. Streben, Leitern, Verstärkungen und Sonden verursachen oft Störechos. Durch einen gute Wahl der Einbauposition können viele Störechos bereits im Vorfeld vermieden werden.

Auch Schweißnähte im Behälter können Störechos produzieren. Speziell bei höherfrequenten Radargeräten, die nahe an der Wand montiert sind, können diese die Messung bei einem

schlecht reflektierenden Produkt gefährden. Durch Anbringen von kleinen Blechen können diese Störechos verkleinert werden. Die Störampplitude sinkt und kann von der Signalverarbeitung besser verwertet werden. Bei der Herstellung des Behälters können Störechos durch Verschleifen der Schweißnähte minimiert werden.

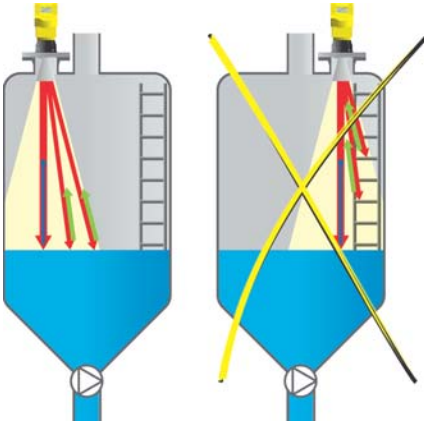


Abb. 6.14: Der Sensor sollte abseits von Einbauten, z.B. Leitern, montiert werden.

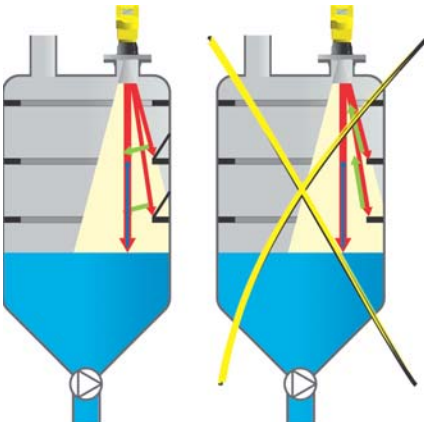


Abb. 6.15: Winkelbleche an Schweißnähten oder Verstärkungen können Störechos reduzieren.

Anhaftungen

Ist der Radarsensor zu nahe an der Behälterwand montiert, können Produkthanftungen Störechos erzeugen.

Der Sensor sollte deshalb immer etwas Abstand zur Behälterwand haben. Der ideale Kompromiss ist $\frac{1}{2}$ Radius.

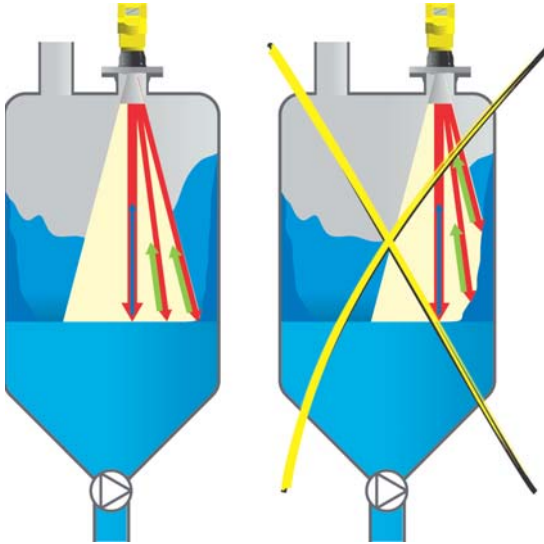


Abb. 6.16: Störechos durch Anhaftungen an der Behälterwand sollten vermieden werden.

Polarisation

Wie schon in Kapitel 2 besprochen, sind die Mikrowellen der VEGA - Radargeräte linear polarisiert.

Obwohl die Polarisation eine größere Bedeutung in Standrohren und Bypassrohren hat, kann sie auch bei Anwendung in „normalen“ Behältern von Bedeutung sein. Die Amplitude

von Störechos, z.B. von Streben oder der Behälterwand, kann oft durch Drehen des Radarsensors um 45° oder 90° reduziert werden.

Die Richtung der Polarisation wird durch das Einkoppelsystem festgelegt, es ist am Gerät durch die Position des Typenschildes erkennbar.

6. Installation

Ausrichtung des Radargerätes bei Flüssigkeitsanwendungen (Stab- oder Hornantenne)

Bei Flüssigkeitsanwendungen muss das Radar-Füllstandmessgerät möglichst senkrecht nach unten zur zu messenden Oberfläche geführt werden.

Wird das Gerät angewinkelt, sinkt die Echoamplitude und die Gefahr von Störechos wächst.

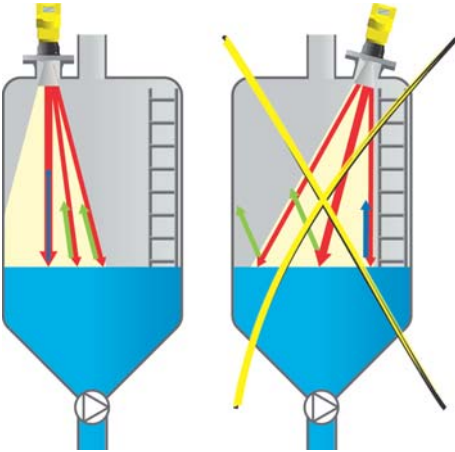


Abb. 6.17: Bei Messungen von Flüssigkeiten muss der Sensor senkrecht ausgerichtet sein.

Fließende Produkte

Ein Radarsensor sollte nicht direkt über oder in der Nähe einer Befüllung montiert werden. Dadurch wird ver-

mieden, dass anstelle der Produkt-oberfläche der Befüllstrom gemessen wird.

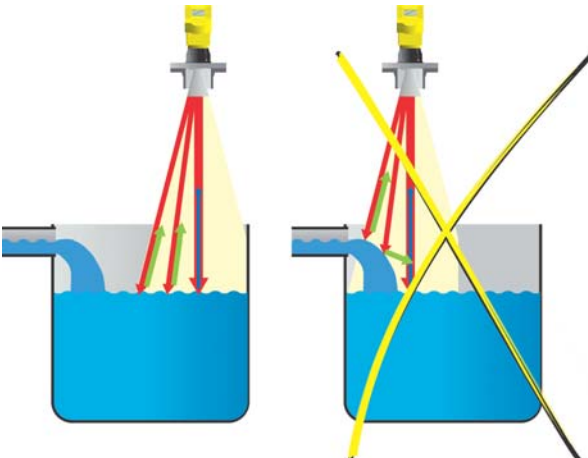


Abb. 6.18: Montieren Sie den Radarsensor abseits von Befüllströmen.

Sensor zu nah an der Behälterwand

Wird der Radarsensor zu nahe an der Behälterwand montiert, kann dies starke Interferenzen verursachen. Die Echos von Anhaftungen, Nieten oder Schweißnähten überlagern sich mit dem richtigen Echo. Es muss ausreichend Abstand vom Sensor zur Behälterwand eingehalten werden, um dies zu verhindern.

Abhängig von der Antennengröße haben verschiedene Radarfüllstand-

messgeräte unterschiedliche Öffnungswinkel (Kapitel 5: Radarantennen).

Im Allgemeinen sollte darauf geachtet werden, dass sich die Behälterwand nicht innerhalb des 3dB-Öffnungswinkels der Antenne befindet. Bei ungünstigen Einbaubedingungen bzw. Störungen durch die Behälterwand können die Messverhältnisse durch Verändern der Polarisation optimiert werden.

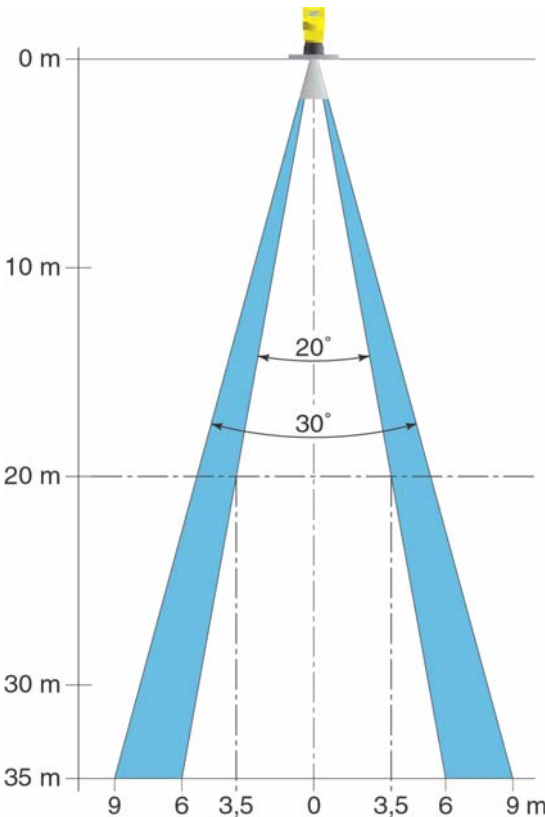


Abb. 6.19: Richtdiagramm einer Antenne mit 150 mm Durchmesser bei 6,3 GHz.

4. Standrohre und Bypassrohre

Radar-Füllstandmessgeräte werden oft für Messungen in Standrohren oder Bypassrohren eingesetzt. Diese Art von Installation kann bei Messungen mit Schaum, starken Turbulenzen, mechanisch komplexen Behältern oder bei Flüssigkeiten mit sehr niedrigem DK-Wert notwendig sein. Radar-Füllstandmessgeräte werden oft auch benutzt, um vorhandene Geräte in Rohren zu ersetzen, z.B. Verdränger und Schwimmer.

Schaumbildung

Ein dichter, leitfähiger Schaum auf dem Produkt kann die Messung stören. Unter diesen Bedingungen ist es wahrscheinlich, dass der Radarsensor die Oberfläche des Schaums messen wird. Es gibt aber auch Anwendungen mit Schaum geringer Dichte, der von Radarwellen problemlos durchdrungen wird. Allerdings kann hier keine generelle Aussage getroffen werden, deshalb muss bei Messungen mit Schaum stets mit Umsicht und Erfahrung vorgegangen werden. Lassen Sie sich bei solch einer Anwendung vom Sensorhersteller beraten.

Flüssigkeiten mit sehr niedriger Dielektrizitätszahl

Selbst nichtleitende Produkte und Flüssigkeiten mit äußerst niedriger Dielektrizitätszahl wie z.B. Flüssiggas können in Standrohren trotzdem genau und zuverlässig gemessen werden. Wie schon in Kapitel 5 erklärt, konzentriert das Standrohr die Mikrowellen und erzeugt so ein starkes Echo von der Produktoberfläche. Produkte mit Dielektrizitätszahlen bis zu 1,5 können so gemessen werden.

Turbulente Produktoberfläche

Starke Turbulenzen, verursacht durch Rührwerke oder heftige chemische Reaktionen, beeinflussen die Radarmessung. Ein Standrohr oder Bypassrohr mit hinreichender Größe erlaubt eine zuverlässige Messung sogar mit starken Turbulenzen im Behälter. Voraussetzung hierfür ist, dass das Produkt im Rohr nicht anhaftet. Leichte Anhaftungen verursachen jedoch in größeren Rohren, z.B. 100 mm Durchmesser, kaum Probleme.

Allgemeine Hinweise zur Radarmessung in Rohren

Ein Standrohr muss unten offen sein und sich über dem vollen Messbereich ausdehnen (d.h. von 0 % bis 100 % Füllstand). Zum Druckausgleich muss das Rohr über dem 100 % Punkt eine Bohrung besitzen. Ausgleichsbohrungen oder Schlitze müssen auf einer Achse liegen und dürfen maximal auf zwei gegenüberliegenden Seiten des Rohrs angebracht werden. Die Ausrichtung der Löcher zur Polarisation muss beachtet werden, bei VEGA-Sensoren müssen diese senkrecht unter dem Typschild angebracht sein.

Als eine Alternative zum Standrohr im Gefäß kann ein Radarsensor auch außerhalb des Behälters auf einem Bypassrohr installiert werden. Die Polarisation muss wie in Abb. 6.21 dargestellt, zu den Prozessverbindungen ausgerichtet werden.

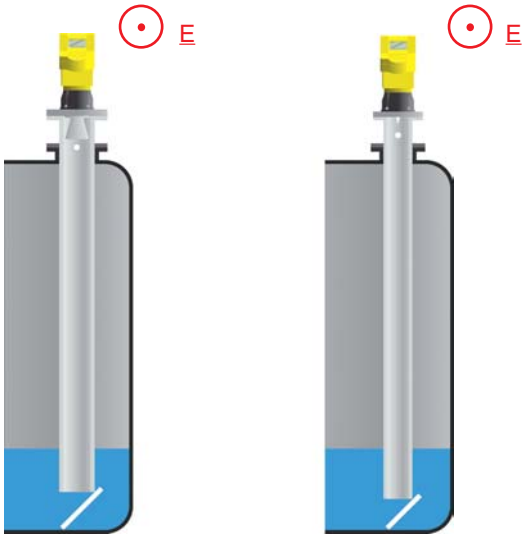


Abb. 6.20: Position von Entlüftungsbohrung und Polarisierung auf einem Standrohr.



Abb. 6.21: Polarisationsrichtung bei einem Bypassrohr.



Abb. 6.22: Installation auf einem Bypassrohr. Radarsensoren können Verdrängersysteme und Schwimmer problemlos ersetzen.

Polarisation

Die Sensorpolarisation muss in einem Bypassrohr in Richtung der Prozessverbindungen und in einem Standrohr in Richtung der Ausgleichsbohrungen oder Schlitze ausgerichtet werden. Die Löcher oder Schlitze müssen auf einer Achse liegen.

Eine korrekte Polarisation verbessert die Messung erheblich. Störechos werden dadurch reduziert und somit das Signal-Rausch-Verhältnis optimiert.

Laufzeitänderung der Mikrowellen

Wie bereits in Kapitel 2 und Kapitel 5 erklärt, reduziert sich in einem Standrohr, abhängig vom Durchmesser, der maximale Messbereich. Verursacht wird dies dadurch, dass sich die Mikrowellen im Rohr langsamer, als Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. In einem Rohr mit 50 mm Durchmesser (2") verringert sich die Laufzeit um 20 % und die maximale Länge beträgt dadurch noch 16 m. Bei einem Rohr von 100 mm Durchmesser (4") reduziert sich die nutzbare Länge auf 19 m.

Standrohr zur Messung von inhomogenen Produkten



Abb. 6.23: Durch Schlitze wird eine gute Durchmischung von inhomogenen Produkten erreicht. Die Polarisation muss in Richtung der Schlitze ausgerichtet werden.

Anhaftende Produkte

Um Messprobleme und Messfehler bei der Messung von anhaftenden Produkten in Standrohren zu vermeiden, sollte das Rohr einen Innendurchmesser von mindestens 100 mm (4") haben. Sollen inhomogene Produkte oder Produkte gemessen werden die eine Trennschicht ausbilden, muss das Standrohr Löcher oder lange Schlitz haben. Diese Öffnungen stellen sicher, dass die Flüssigkeit durchmischt wird und, dass sie sich an den richtigen Füllstand angleicht. Je inhomogener das Produkt, desto mehr Öffnungen müssen vorhanden sein.

Die Löcher und Schlitz müssen aus Gründen der Polarisation in zwei um 180° versetzten Reihen positioniert werden. Der Radarsensor muss so ausgerichtet werden, dass die Polarisation in Richtung der Löcher ausgerichtet ist.

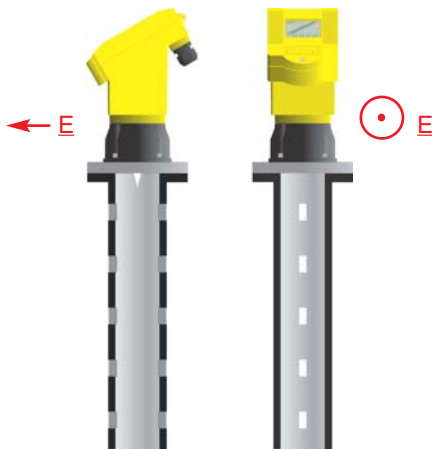


Abb. 6.24: Die Polarisation muss in Richtung der Schlitz oder Löcher ausgerichtet sein.

Messrohr mit Kugelhahn

Zur Abtrennung des Rohrs bzw. des Messgeräts vom Prozess kann ein Kugelhahn verwendet werden. Mit dem Kugelhahn ist es möglich, Wartungsarbeiten durchzuführen, ohne den Behälter zu öffnen. Dies ist bei Flüssiggas und giftigen Erzeugnissen besonders wichtig. Bei geöffnetem Ventil sollten möglichst keine Kanten im Durchlass zu sehen sein, dies würde sonst zu Störechos führen.

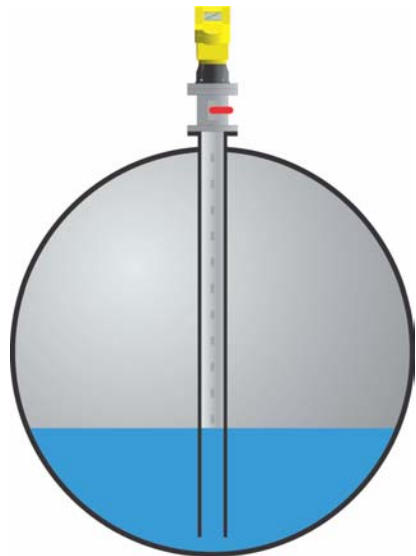


Abb. 6.25: Mit einem Kugelhahn kann der Radarsensor vom Behälter getrennt werden, ohne den Behälter zu öffnen, bzw. den Prozess zu stoppen.

Konstruktionsrichtlinien für Standrohre

Diagramm 1 (Seite 132)

Für Messung in Stand- oder Bypassrohren werden Geräte mit Flanschgrößen DN50 (2"), DN80 (3"), DN100 (4") und DN 150 (6") benutzt.

Diagramm 1 zeigt die Konstruktion eines Stand- oder Bypassrohrs mit einem Rohrdurchmesser und Flansch DN50.

Das Standrohr muss innen glatt sein (Rauigkeitswert $Rz < 30$). Ideal ist ein durchgehendes Rohr ohne Verbindungsstellen im Messbereich. Werden größere Rohrlängen benötigt, sollten die Teilstücke mit Vorschweißflanschen oder Rohrverschraubungen verbunden werden. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass die Stoßstellen möglichst spaltfrei und ohne Durchmessersprung ausgeführt werden. Beim Schweißen darf kein Verzug entstehen, die Rohrstärke muss angepasst werden, um nicht durch das Rohr durchzuschweißen.

Rauigkeiten und Schweißnähte im Rohr müssen sorgfältig entfernt werden. Diese würden sonst Störeffekte verursachen und Anhaftungen begünstigen. Schlitze und Löcher müssen sorgfältig entgratet werden.

Diagramm 2 (Seite 133)

Diagramm 2 zeigt die Konstruktion eines Standrohrs für einen Radarsensor mit einem DN100 (4") Flansch.

Radarsensoren mit Flanschen von DN80 (3"), DN100 (4") und DN150 (6") müssen zur Messung im Standrohr mit einer Hornantenne ausgerüstet sein. Der Antennendurchmesser sollte hierbei möglichst nahe am Innendurchmesser des Rohrs liegen. Zur Messung in Rohren DN50 und DN80 sind spezielle Stabantennen vorhanden. Die Flanschverbindung zum Gerät ist nicht mehr kritisch, da sie hinter der Abstrahlebene der Antenne liegt.

Bei starker Bewegung im Behälter (z.B. Rührwerk) muss das Standrohr entsprechend befestigt werden, dies gilt auch für sehr lange Rohre.

Bei der Messung von Flüssigkeiten mit niedrigem DK-Wert kann oft der Nullpunkt nicht sicher gemessen werden, oder es kommt zu starken Messfehlern im Bodenbereich. Ausgelöst wird dies dadurch, dass das Echo des Behälterbodens hinter dem Rohrende ein stärkeres Echo erzeugt, als das Produkt selbst. In solchen Anwendungen kann der Einbau eines Streublechs am Ende des Rohrs von Vorteil sein. Die Mikrowellen werden hiermit zur Seite abgelenkt und das starke Bodenecho hierdurch vermieden. Allerdings geht dadurch am Rohrende Raum verloren, da außerhalb des Rohrs nicht gemessen werden kann.

Diagramm I

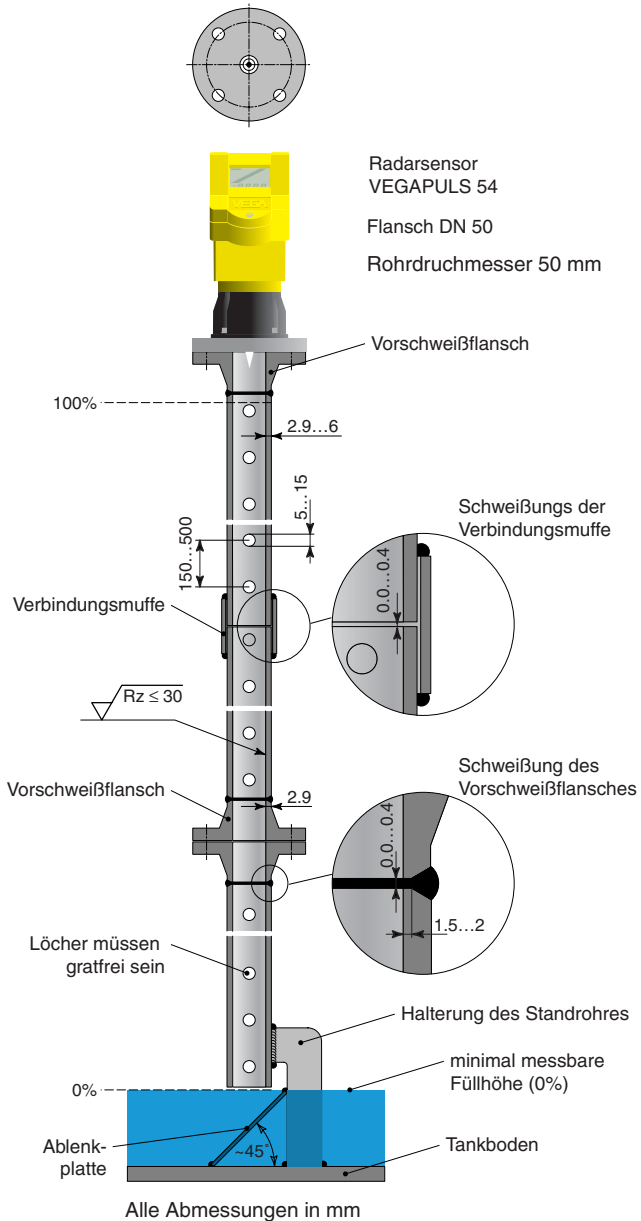


Abb. 6.26

6. Installation

Diagramm 2

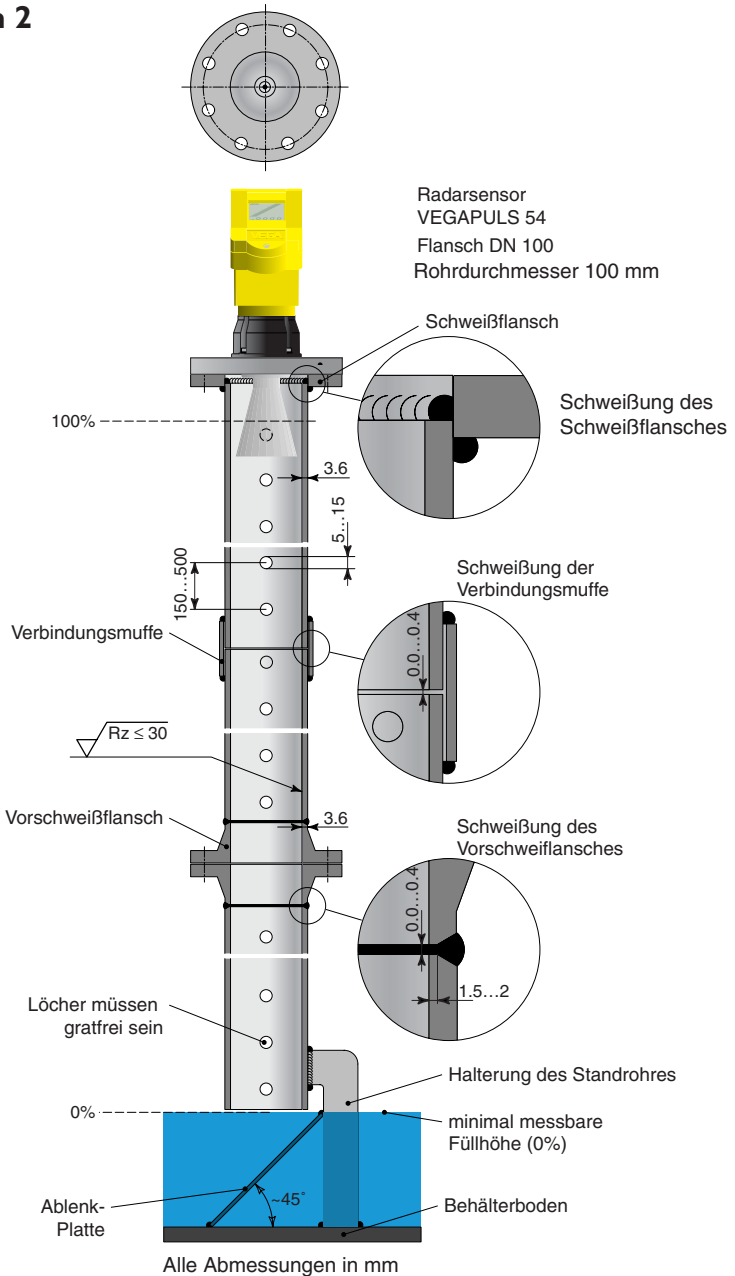


Abb. 6.27

5. Messung durch die Behälterwand und Radarfenster

Die Mikrowellensignale von Radarfüllstandmessgeräten durchdringen dielektrische Materialien wie z.B. PTFE, Polypropylen und Glas. Dies ist für einige Anwendungen sehr wichtig, z.B. bei der Messung von hochreinen Flüssigkeiten in der Pharmaindustrie oder der Halbleiterfertigung, oder bei hochaggressiven Produkten in der chemischen Industrie. In diesen Fällen ist es aus Sicherheitsgründen und im Hinblick auf die Produktqualität von Vorteil wenn der Behälter geschlossen bleibt.

Ein solche Messung ist bei Produkten mit guten Reflexionseigenschaften möglich, sie können bei geeignetem Behältermaterial direkt von oben, durch die Behälterdecke, gemessen werden. Produkte mit guter elektrischer Leitfähigkeit und mit einer Dielektrizitätszahl von mehr als 10 sind dafür geeignet. Bei Messungen in denen es prozess- oder produktbedingt zu starken Niederschlägen oder Kondensation an der Behälterdecke kommt, ist dieses Verfahren mit Vorsicht anzuwenden.

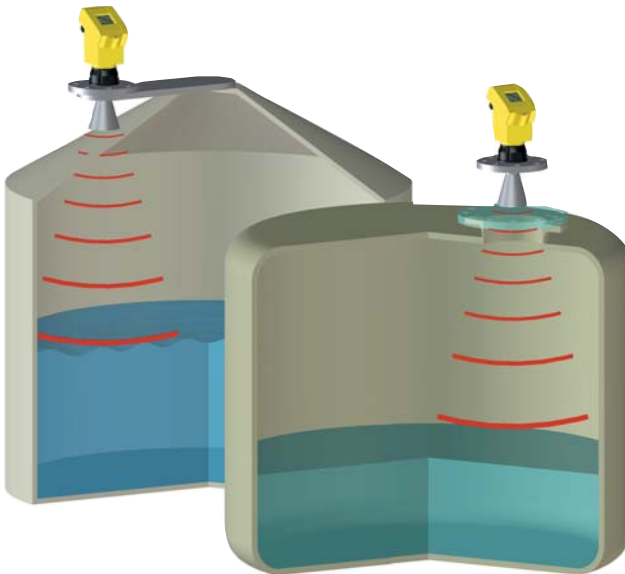


Abb. 6.28: Gut reflektierende Medien können direkt durch die Behälterwand oder durch ein Messfenster gemessen werden.

Reflexionen an der Behälterwand

Wie Licht folgen auch Mikrowellen den Gesetzen der Reflexion. Obwohl bei geeignetem Behältermaterial der größte Teil der Energie durch die Behälterwand hindurch dringt, wird immer ein Teil dort reflektiert. Bei ebener Tankdecke und Aufsetzen des Radargerätes auf dem Tank wird dieser Teil der Sendeenergie direkt in die Antenne zurückreflektiert (Abb. 6.29). Dies führt zu erhöhtem Rauschen im Nahbereich.

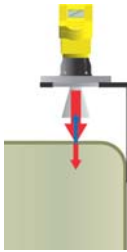


Abb. 6.29: Eine flache Behälterdecke produziert eine Störreflexion direkt zurück in die Antenne.

Die Qualität der Messung wird verbessert, wenn das Radargerät über einem schrägen Bereich des Deckels (35° bis 50°) in einem Abstand von ca. 400 mm zum Behälter montiert wird.

Der Winkel stellt sicher, dass die Reflexionen von der Tankwand nicht direkt in die Antenne strahlen und es somit nicht zu Störechos kommt. (Abb. 6.30)



Abb. 6.30: Die Messung über einem angeschrägten Bereich des Behälterdeckels verbessert die Messung deutlich.

Messung durch ein dielektrisches Fenster

Mit einem Pulsradar kann auch durch „dielektrische Fenster“ in Metalltanks gemessen werden. Das Fenster muss groß genug und sollte im

Idealfall auch angewinkelt sein. Auch hier sollte der Sensor auf Abstand zum Fenster montiert werden.

Anmerkung: Prüfen Sie die Bestimmungen für den Einsatz von Radar-Füllstandmessgeräten außerhalb von geschlossenen Behältern in ihrem Land. Die geltenden Regeln können sehr unterschiedlich sein.

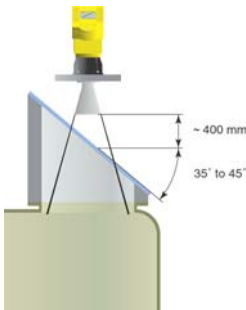


Abb. 6.31: Optimale Installation für ein 6,3 GHz-Radar zur Messung durch ein dielektrisches Fenster.

Messung durch ein dielektrisches Fenster

In einigen Ländern ist es verboten FMCW-Radar-Füllstandmessgeräte außerhalb eines Metallgefäßes zu betreiben. In solchen Fällen muss das Gerät, um die Vorteile eines „dielektrischen Fensters“ nutzen zu können, in einem metallischen Stutzen über einem Kunststoff oder Glasfenster installiert werden (Abb. 6.32). Dies kann jedoch einen hohen Störpegel verursachen.

Bei Messungen durch ein Fenster kann eine Verbesserung erzielt werden, wenn die Scheibe eine konische Form erhält (siehe Abb. 6.32). Solch eine Trennscheibe kann bei geeigneter Dimensionierung als Linse wirken und die Mikrowellen zusätzlich fokussieren. Diese Form begünstigt zusätzlich das Abfließen und Abtropfen von Kondensat.

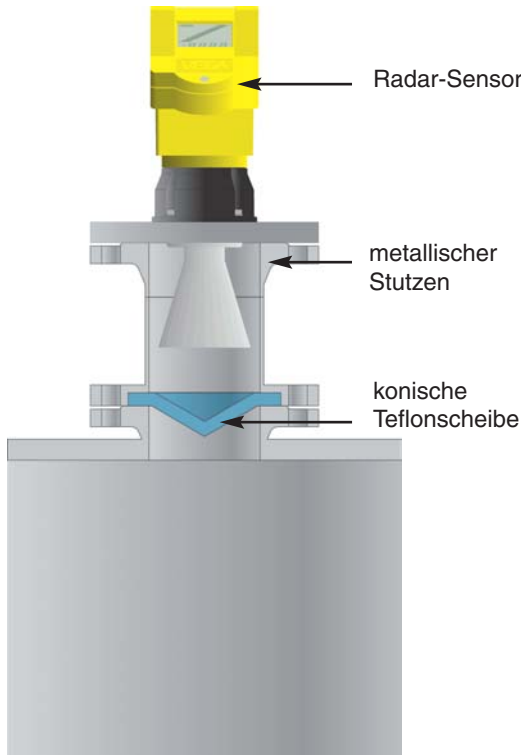


Abb. 6.32

Dimensionierung des dielektrischen Fensters

Die Wahl der richtigen Materialdicke ist für die Messung durch ein Fenster sehr wichtig.

Die entstehenden Interferenzen durch das Fenster bestehen aus zwei unterschiedlichen Echos. Das erste Echo stammt von der äußeren Oberfläche des Fenstermaterials, an der die Mikrowellen ins Fenster eindringen. An dieser ersten Oberfläche, dem Übergang von $DK = 1$ auf den DK -Wert des Fenstermaterials, gibt es eine

180°-Phasendrehung der Mikrowellen. Das zweite Echo, beim Verlassen des Fensters, besitzt keine Phasendrehung. Hier geht es von einem dichteren in ein weniger dichtes Medium. Durch Wahl der Fensterdicke als $\lambda/2$ der Mikrowellenfrequenz löschen sich diese beiden Echos aus (siehe auch Kapitel 2).

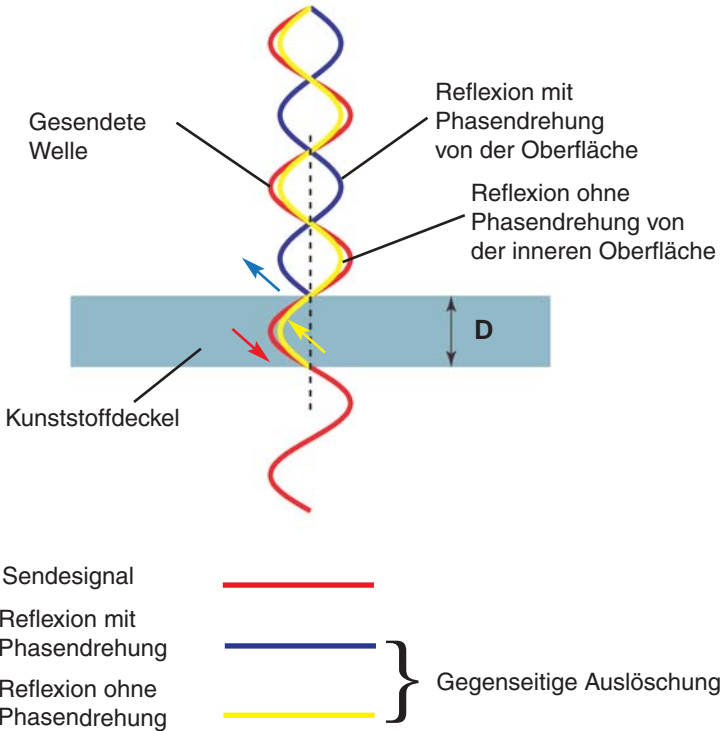


Abb. 6.33: Die optimale Dicke des Fenstermaterials beträgt $\lambda/2$ der Radarfrequenz.

Die Tabelle zeigt die optimale Dicke für die wichtigsten Kunststoffe und Gläser die zum Durchstrahlen geeignet sind. Es wird die optimale Dicke für 6,3 GHz und 26 GHz gezeigt.

Fenstermaterialien für Radarsender: Frequenz 6,3 GHz

zu durchdringendes Material	ϵ_r	optimale Dicke	D in mm
PE Polyethylen	2,3	15,5	(31; 46,5 ...)
PTFE (Teflon)	2,1	16,5	(33; 49,5 ...)
PVDF Polyvinyl	~7	9	(18; 27; 36 ...)
PP Polypropylen	2,3	15,5	(31; 46,5 ...)
Borosilikat-Glas	5,5	10	(20; 30; 40 ...)
Rassotherm-Glas	4,6	11	(22; 33; 44 ...)
Labortherm-Glas	8,1	8,5	(17; 26,5; 34...)
Quarzglas	~4	12	(24; 36; 48...)
POM Polyoxymethylen	3,7	12,5	(25;37,5; 50 ...)
Polyester	4,6	11	(22; 33; 44 ...)
Plexiglas Polyacrylat	3,1	13,5	(27; 40,5; 54 ...)
PC Polycarbonat	~2,8	14	(28; 42 ...)

Fenstermaterialien für Radarsender: Frequenz 26 GHz

zu durchdringendes Material	ϵ_r	optimale Dicke	D in mm
PE Polyethylen	2,3	3,8	(7,6; 11,4 ...)
PTFE (Teflon)	2,1	4	(8,0; 12,0 ...)
PVDF Polyvinyl	~7	1,8	(3,6; 5,4 ...)
PP Polypropylen	2,3	3,8	(7,6; 11,4 ...)
Borosilikat-Glas	5,5	2,5	(5; 7,5 ...)
Rassotherm-Glas	4,6	2,7	(5,4; 8,1 ...)
Labortherm-Glas	8,1	2	(4,0; 6,0; 8,0 ...)
Quarzglas	~4	2,9	(5,8; 8,7 ...)
POM Polyoxymethylen	3,7	3	(6,0; 9,0 ...)
Polyester	4,6	2,7	(5,4; 8,1 ...)
Plexiglas Polyacrylat	3,1	3,2	(6,4; 9,6 ...)
PC Polycarbonat	~2,8	3,6	(7,2; 10,8 ...)

Anmerkung: Die optimale Dicke kann auch durch Aufschichten einiger Lagen identischen Materials erreicht werden. Die Schichten müssen jedoch ohne Luftspalt aufeinander liegen. Vielfache der optimalen Dicke führen ebenfalls zu guten Ergebnissen, jedoch verursacht die Dicke des Fenstermaterials eine Signaldämpfung.

6. Messung von Schüttgütern mit Hornantennen

Zur Messung von Schüttgütern werden fast ausschließlich Hornantennen verwendet. Dies schließt alle pneumatisch beförderten Erzeugnisse wie Pulver, Granulate und Körner ein. Die Stabantenne hat ihre Stärke in Flüssigkeitstanks.

Die Oberflächen von Schüttgütern in Silos und Behältern sind selten flach. Bei Produkten wie z.B. Pulver oder Granulat sieht das Profil bei Befüllung und Entleerung zumeist unterschiedlich aus. Der Winkel des Schüttkegels hängt vom Produkt selbst, der Füll- und Entleermethode und von Form und Abmessungen des Silos ab.

Radar-Füllstandmessgeräte, ebenso wie Ultraschallwandler, sollten außerhalb der Mitte zum tiefsten Punkt des Behälters ausgerichtet montiert werden. Auch hier sollte das Ende des Horns mindestens 10 mm in den Behälter ragen.

Der Radarsensor wird angewinkelt montiert um immer möglichst senkrecht zur Produktoberfläche zu senden. So wird über die gesamte Füllhöhe die beste Echoamplitude erreicht.

Der Radarsensor sollte abseits vom Befüllstrom und von Einbauten montiert werden um möglichst wenig Störechos zu erhalten.

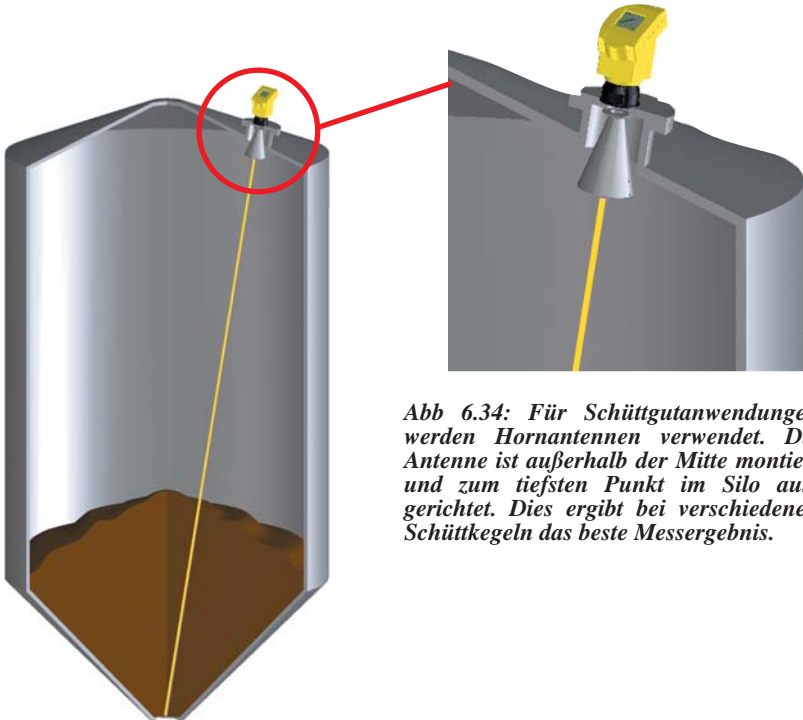


Abb 6.34: Für Schüttgutanwendungen werden Hornantennen verwendet. Die Antenne ist außerhalb der Mitte montiert und zum tiefsten Punkt im Silo ausgerichtet. Dies ergibt bei verschiedenen Schüttkegeln das beste Messergebnis.

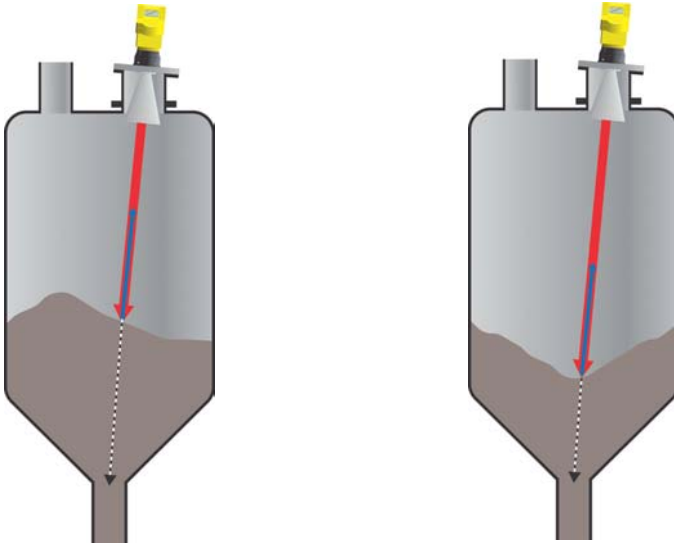


Abb. 6.35 und 6.36: Schüttkegel von typischen Schüttgutwendungen beim Befüllen und Entleeren.

Hohe Temperaturen und anhaftende Produkte

Bei Anwendungen mit hohen Temperaturen oder stark anhaftenden Staubablagerungen auf der Antenne sollte diese mit Druckluft oder Stickstoff gespült werden.

Hierzu wird der Flansch von zwei gegenüberliegenden Seiten bis zum Konus der Teflonfüllung durchbohrt. An diesen Stellen kann dann die Luft- bzw. Stickstoffspülung angeschlossen werden.

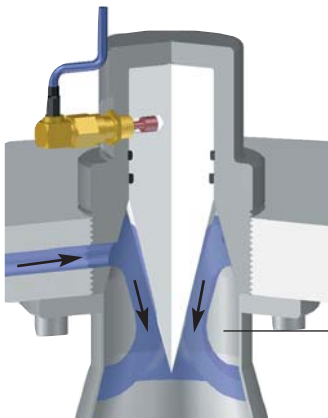


Abb. 6.37: Luft- bzw. Stickstoffspülung zum Kühlen und Reinigen der Antenne.

Luft- bzw. Stickstoff

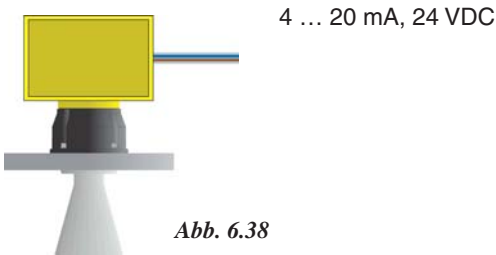
B. Elektrische Anschlussvarianten

In den vergangenen Jahren hat sich die Auswahl an unterschiedlichen Radar-Füllstandmessgeräten erhöht. Zudem haben sich eine Vielzahl von elektrischen Anschlussmöglichkeiten für Standard- und Ex-Anwendungen auf dem Markt etabliert. Diese umfassen 4 ... 20 mA- und verschiedene Feldbussensoren. Bei der Auswahl eines Radarsensors müssen die entsprechenden Verkabelungskosten berücksichtigt werden.

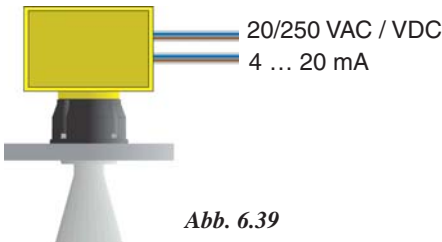
Seit ihrer Markteinführung haben sich eigensichere Zweileiter-Radarsensoren als vollwertiger Ersatz für traditionelle Sensoren wie z.B. Differenzdruckmessumformer oder Verdränger durchgesetzt. FMCW-Radarsensoren benötigen jedoch noch immer die erhöhte Energie aus einer Vierleiterversorgung. In diesem Abschnitt werden die möglichen Beschaltungskonfigurationen für alle Arten von Radar betrachtet.

I. Nicht-Ex-Anwendungen

a. 4 ... 20 mA, Zweileiter-Radarsensor



b. Vierleiter-Radarsensor mit 4 ... 20 mA Stromausgang



c. HART®-Protokoll

Die meisten Zweileiter- und Vierleiter-, 4 ... 20 mA Radar-Füllstandmessgeräte sind mit dem HART®-Protokoll, aufmoduliert auf dem Stromsignal, verfügbar. Dadurch wird Folgendes möglich:

- Fernparametrierung mit dem HART®-Handheld Programmiergerät
- Einspeisung der HART®-Daten direkt in das Prozessleitsystem
- multi-drop Betrieb mit bis zu 16 Sensoren parallel an einem Strang

d. Feldbus (VBUS)
 bis zu 15 Sensoren parallel auf zwei Drähten
 mit VEGALOG 571 und EV-Eingangskarten maximal 255 Messungen zusammenfassbar

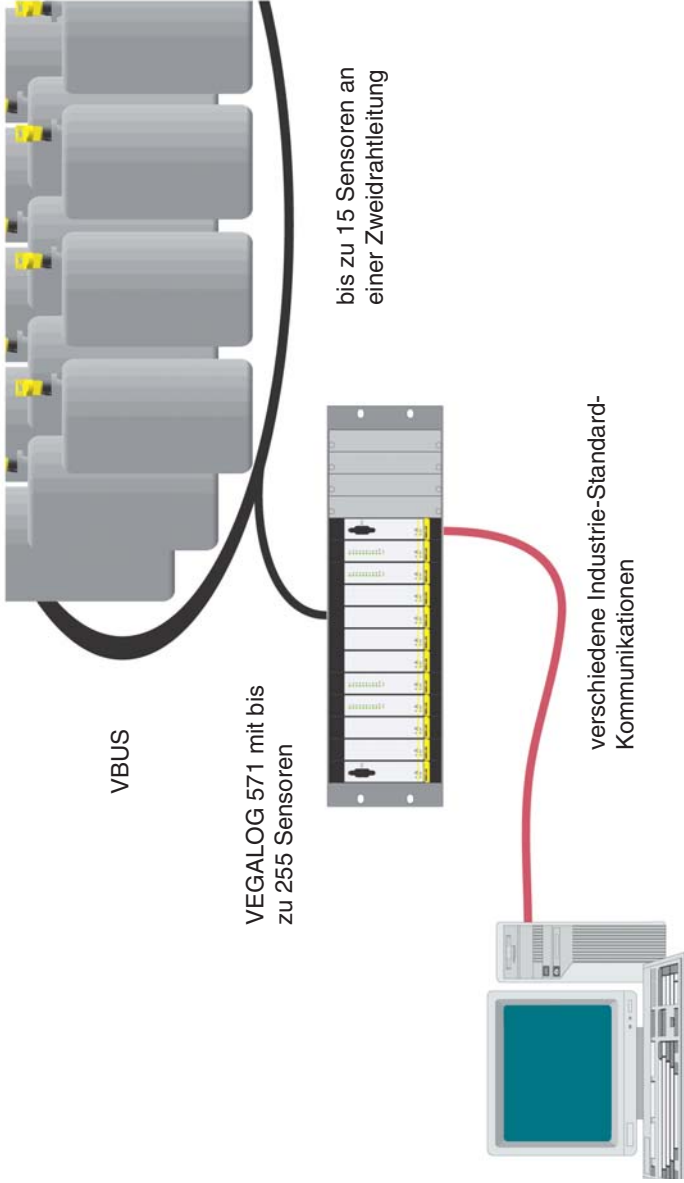


Abb. 6.40

2. Geräte für Ex-Anwendungen

a. eigensicher ia, 4 ... 20 mA, Zweileiter-Sensoren mit HART®-Protokoll

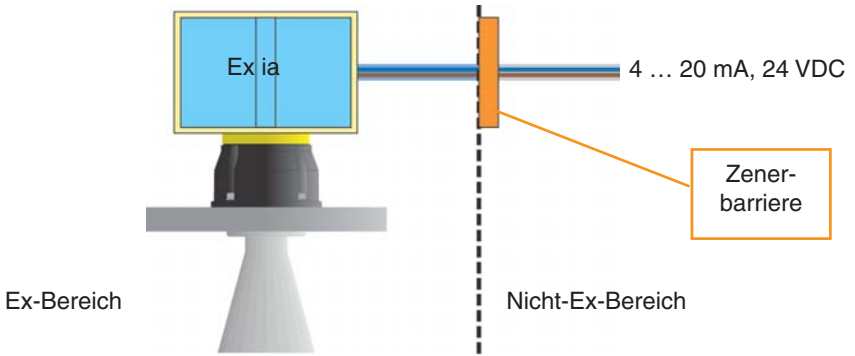


Abb. 6.42

b. 4 ... 20 mA, Zweileiter-EEx-d-ia Sensoren mit Verkabelung in erhöhter Sicherheit.

- Versorgung 12 bis 36 VDC
- Zener-Barriere in integriertem Ex-d Gehäuse, eigensicherer Gehäuseteil für Sensorelektronik und zur Bedienung
- keine zusätzliche Trennbarriere erforderlich

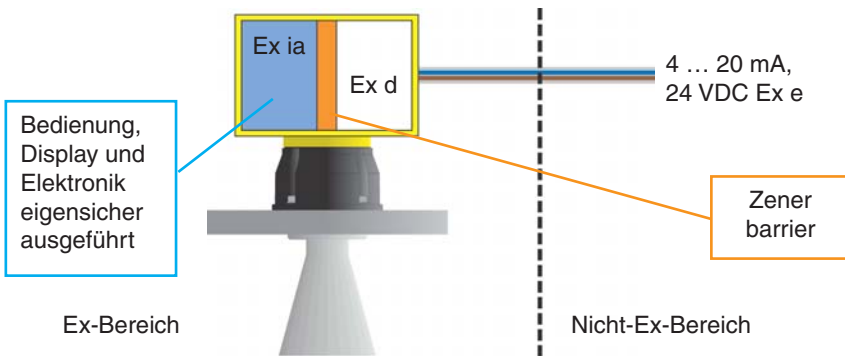


Abb. 6.43

6. Installation

c. Vierleiter, EEx d ia Versorgung

- Versorgung 24 VDC
- eigensicherer 4 ... 20 mA Stromausgang

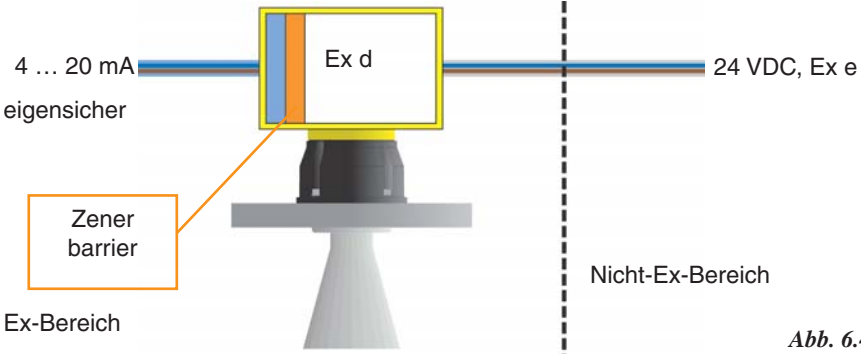


Abb. 6.44

d. Vierleiter, 4 ... 20 mA, Ex e Versorgung- Exd-Gehäuse

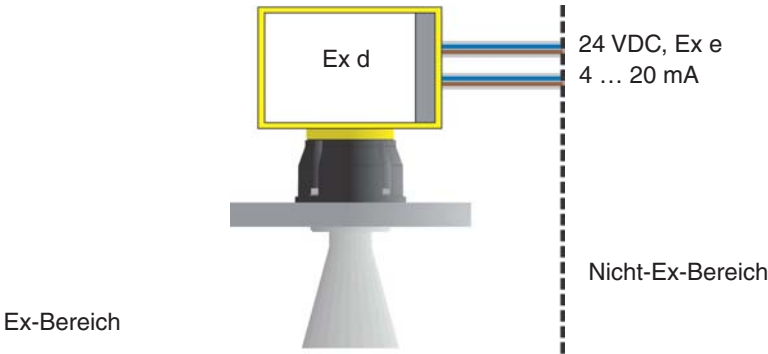


Abb.6.45

e. Vierleiter eigensicher (ib) mit Trennübertrager und Datenkoppler

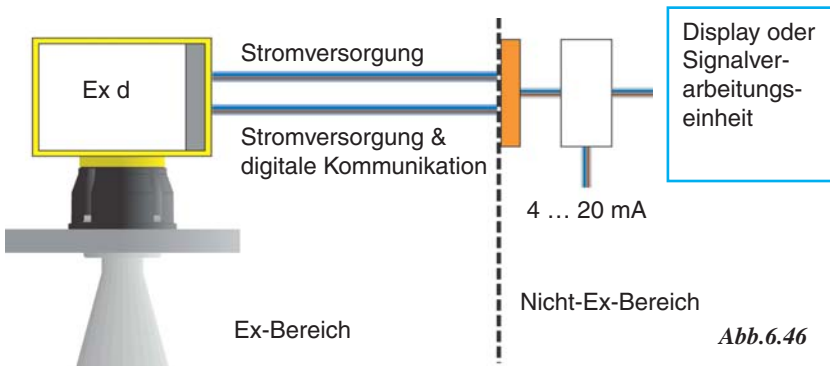


Abb.6.46

f. Feldbus (VBUS)

- max. 15 Sensoren an zwei Leitungen in Ex e, Verdrahtung in erhöhter Sicherheit
- separate Energieversorgung der Sensoren in erhöhter Sicherheit

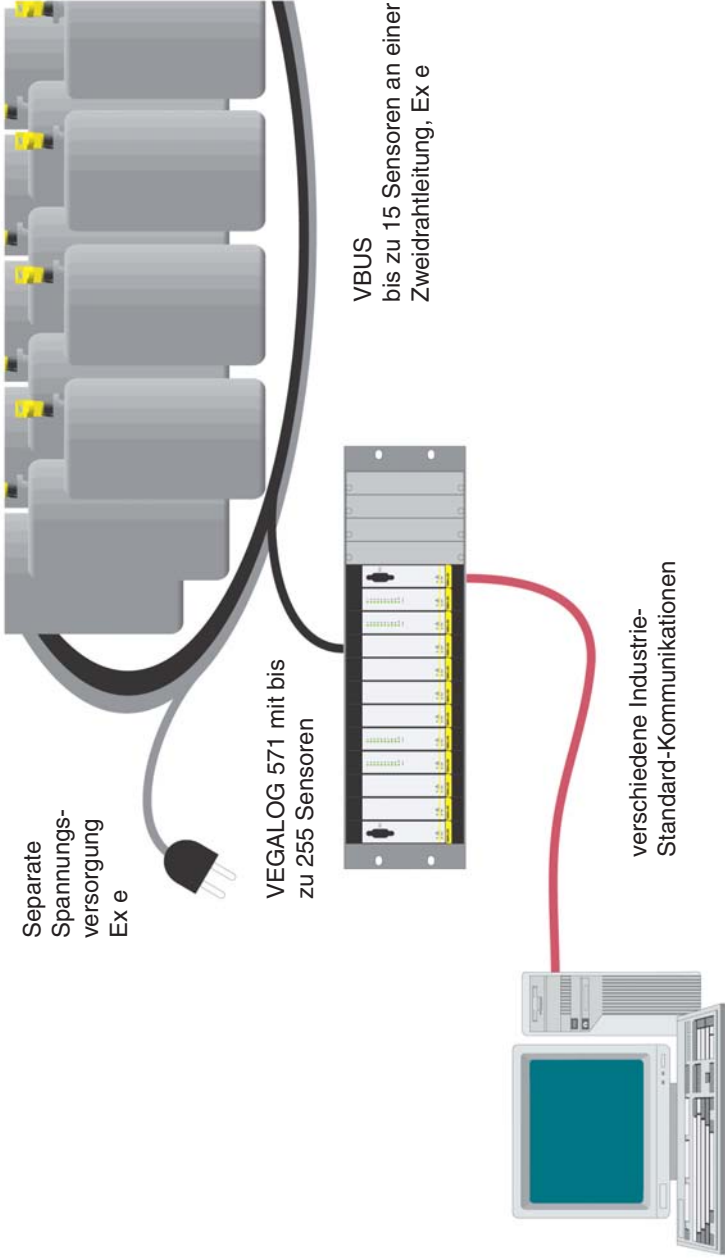


Abb 6.47

g. Feldbus (VBUS)

- max. 15 Sensoren Ex-e (je fünf Sensoren pro Strang, drei Stränge) pro VBUS-Karte
 - Verdrahtung in erhöhter Sicherheit ohne externe Versorgung
- VBUS
Fünf Sensoren an jeder Zweidrahtleitung versorgt durch diese Leitung

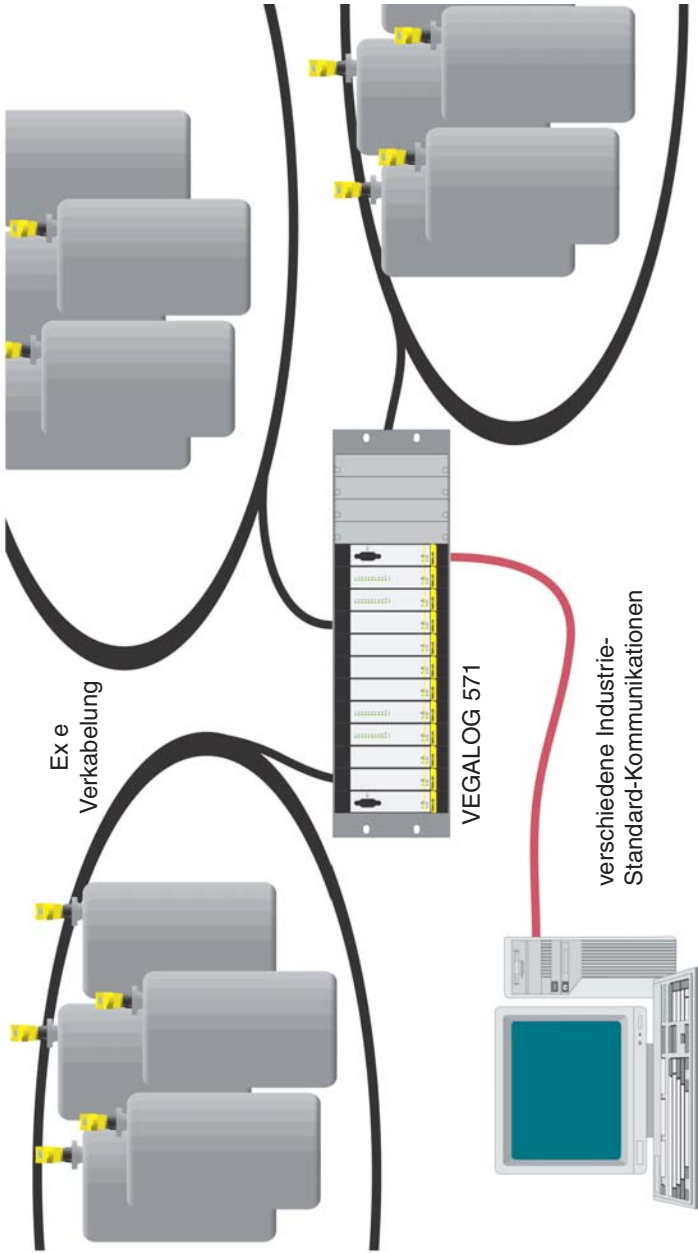
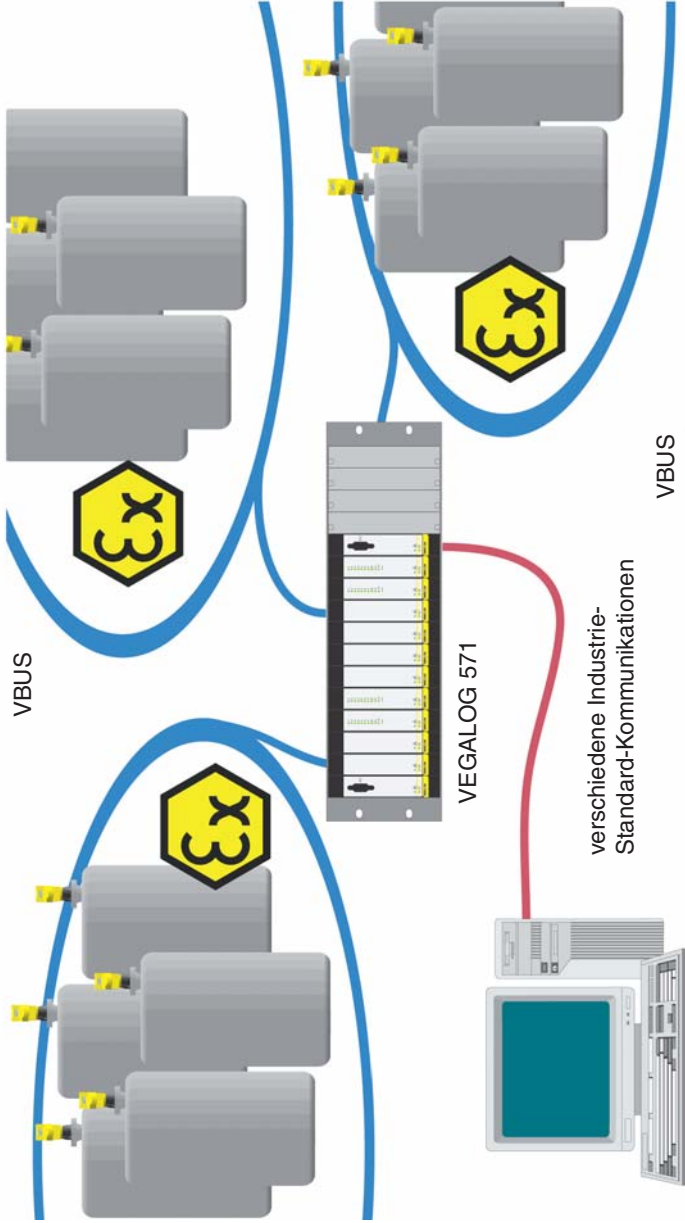


Abb. 6.48

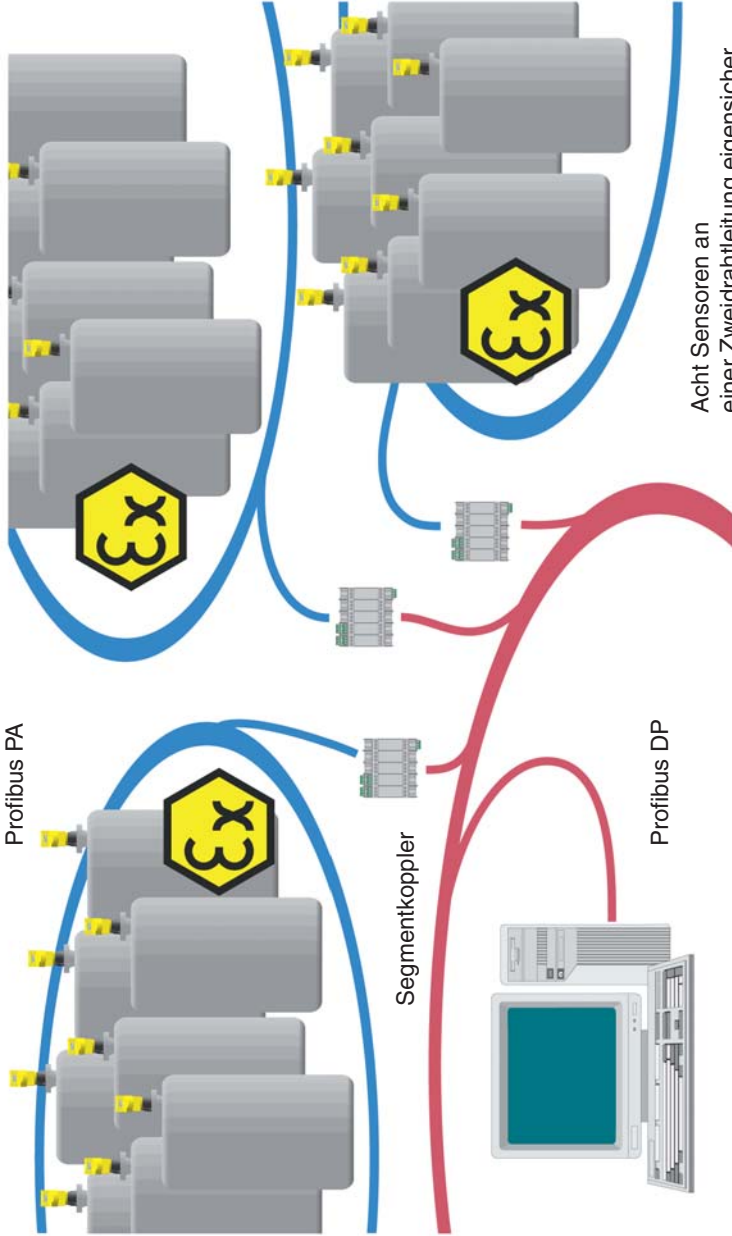
h. Feldbus (VBUS)

- max. 15 Sensoren, eigensicher Ex ia, pro Ausgangskarte
- je 5 Sensoren pro Zweileiter-Schleife, max. 3 Schleifen pro EV-Karte



VBUS
Fünf Sensoren an einer Zweidrahtleitung
eigensicher
Abb. 6.49

- i. Feldbus (Profibus PA)**
- Ex ia eigensicher, max. 8 Sensoren pro Zweier-Schleife
- Verbindung über Segmentkoppler zu Profibus DP



Acht Sensoren an einer Zweierleitung eigensicher
Abb. 6.50

Teil III

Andere Füllstandmessverfahren

Anwendungen