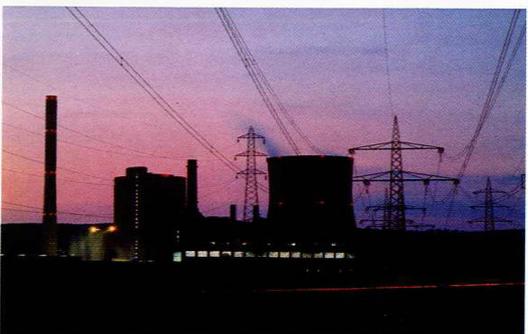


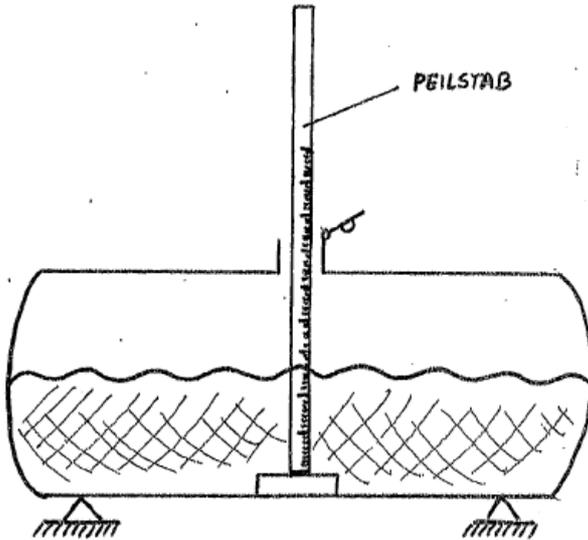
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5. Füllstandssensoren



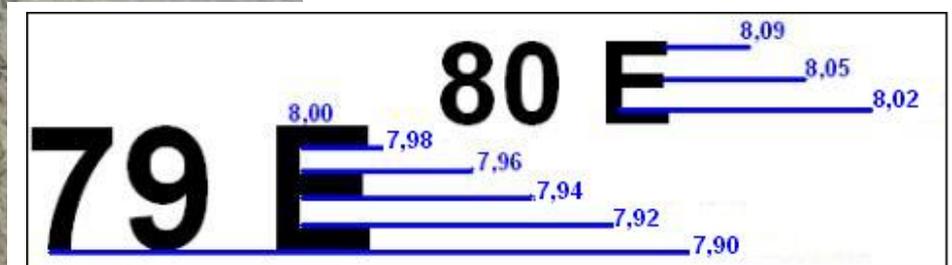
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.1 Peilstab, Pegelmessung



Ölmesstab

Pegelmessung

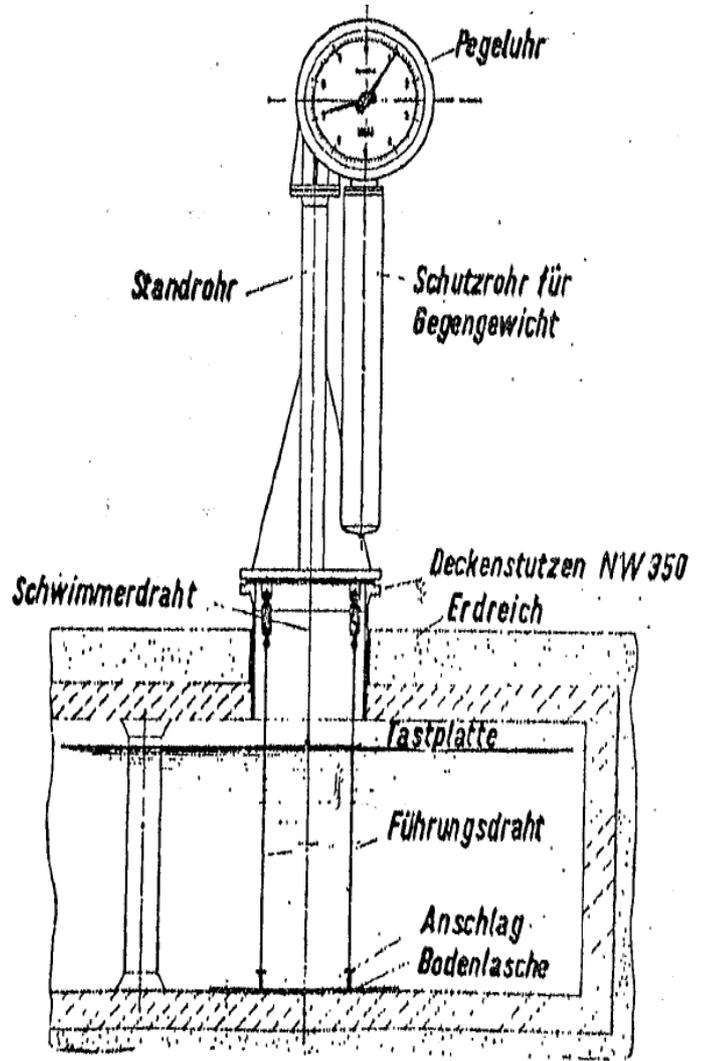


Ein Querbalken im Zeichen „E“, entspricht 2 cm.

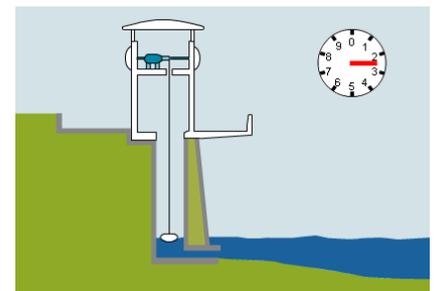
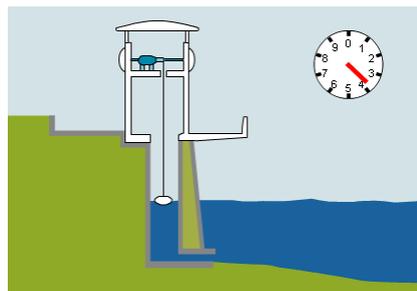
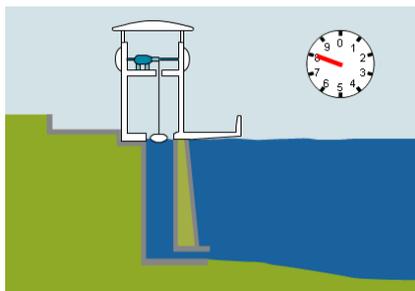
Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.2 Pegeluhr



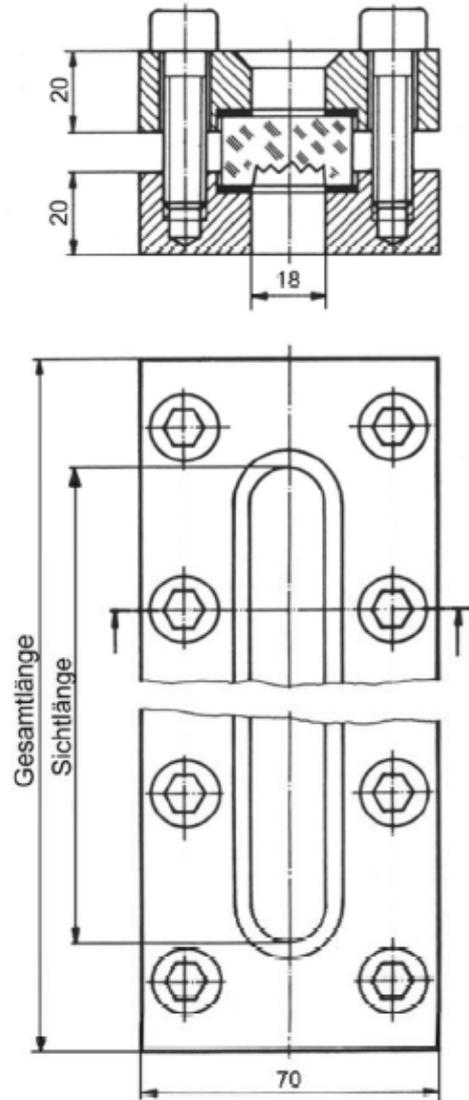
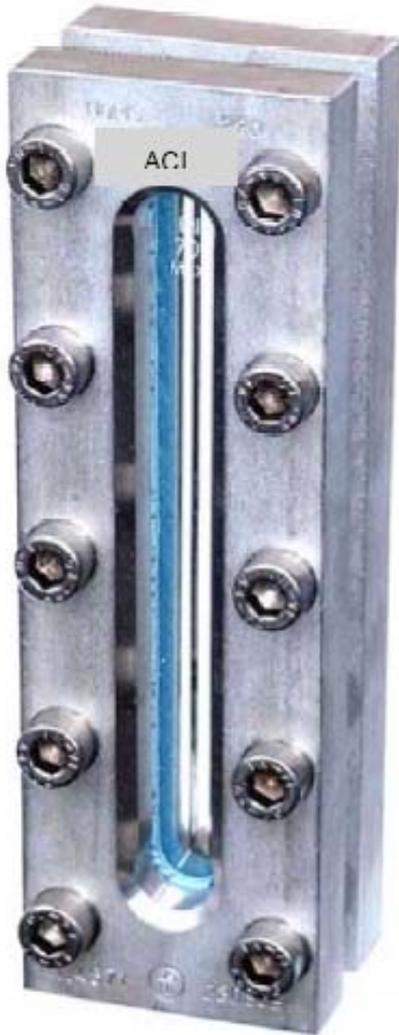
Schwimmerniveaumessung
Schwimmer = Tastplatte



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.3 Niveau-Schauglas



Zur Flüssigkeitsstandanzeige, Sichtkontrolle und zur Beobachtung an Behältern, Kesseln und Silos.

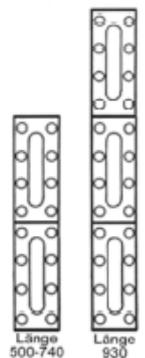
Betriebsbedingungen:

Temperatur : 280°C
Druck : 16 bar

Abmessungen:

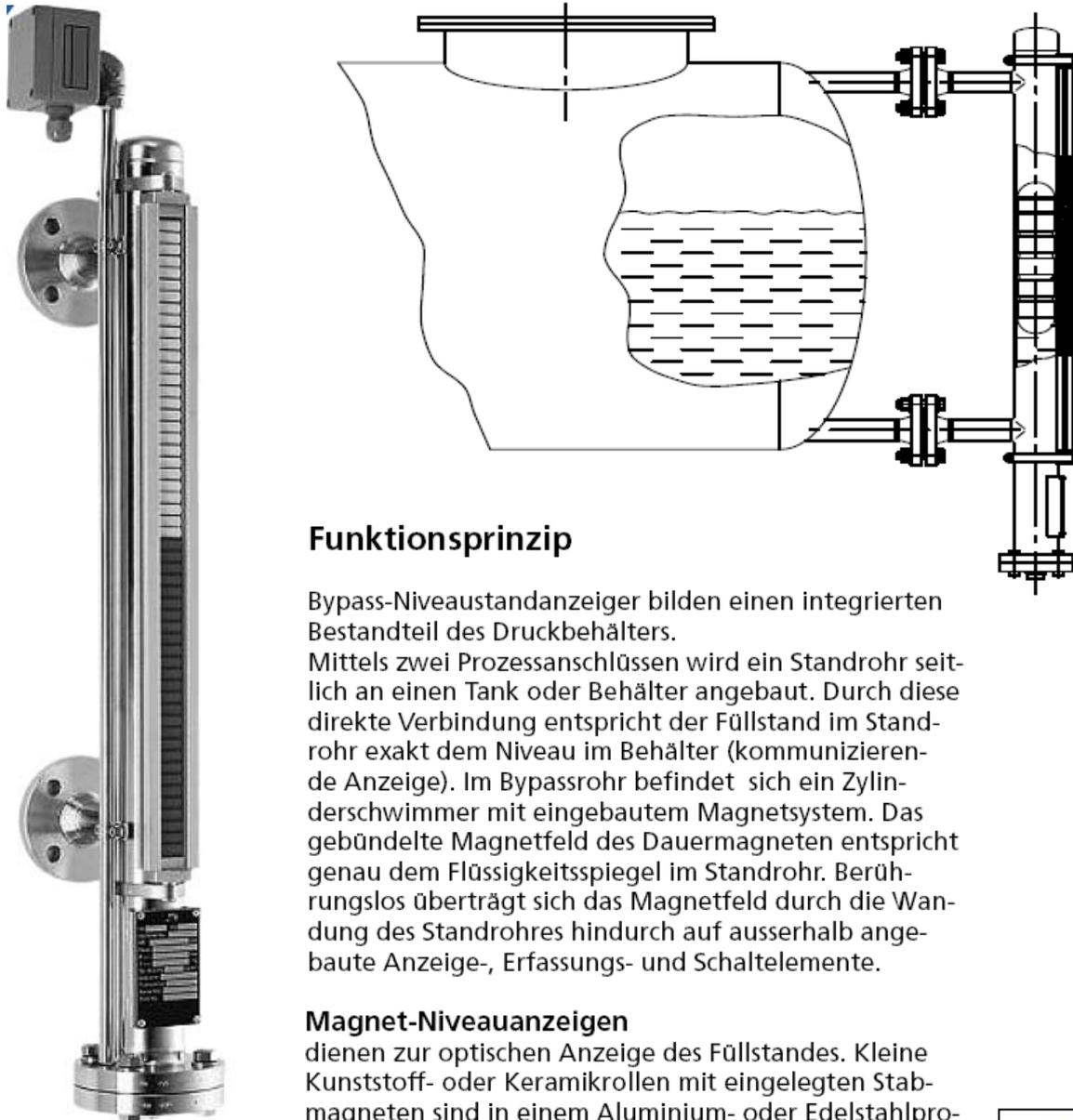
Gesamtlänge	170	220	250	310	370	500	620	740	930
Sichtlänge	120	170	200	260	320	450	570	690	880
Glasgröße L x 34 x 17	140	190	220	280	340	220	280	340	280
Sicht verdeckt						50	50	50	2x50
Anzahl Schrauben	8	10	12	14	16	24	28	32	42

Anm.: Bei Gesamtlänge 500 bis 740mm sind 2 Gläser bzw. bei Gesamtlänge 930mm 3 Gläser eingebaut



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.4 Bypass-Magnetklappenanzeiger



Funktionsprinzip

Bypass-Niveaustandanzeiger bilden einen integrierten Bestandteil des Druckbehälters. Mittels zwei Prozessanschlüssen wird ein Standrohr seitlich an einen Tank oder Behälter angebaut. Durch diese direkte Verbindung entspricht der Füllstand im Standrohr exakt dem Niveau im Behälter (kommunizierende Anzeige). Im Bypassrohr befindet sich ein Zylinderschwimmer mit eingebautem Magnetsystem. Das gebündelte Magnetfeld des Dauermagneten entspricht genau dem Flüssigkeitsspiegel im Standrohr. Berührungslos überträgt sich das Magnetfeld durch die Wandung des Standrohres hindurch auf ausserhalb angebaute Anzeige-, Erfassungs- und Schaltelemente.

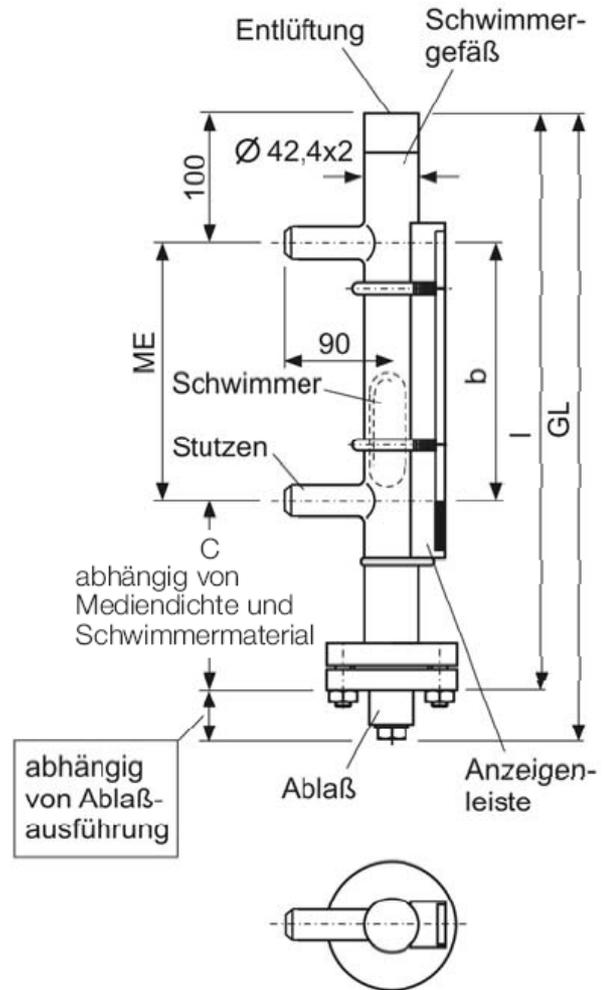
Magnet-Niveauanzeigen

dienen zur optischen Anzeige des Füllstandes. Kleine Kunststoff- oder Keramikrollen mit eingelegten Stabmagneten sind in einem Aluminium- oder Edelstahlprofil angeordnet. Entsprechend dem Füllstand im Standrohr werden diese Rollen bei steigendem Niveau von weiss auf rot und bei fallendem Niveau von rot auf weiss gedreht. Ohne Zuführung von Hilfsenergie kann so der Füllstand im Behälter kontinuierlich angezeigt werden.

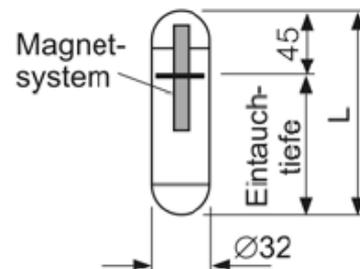


Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



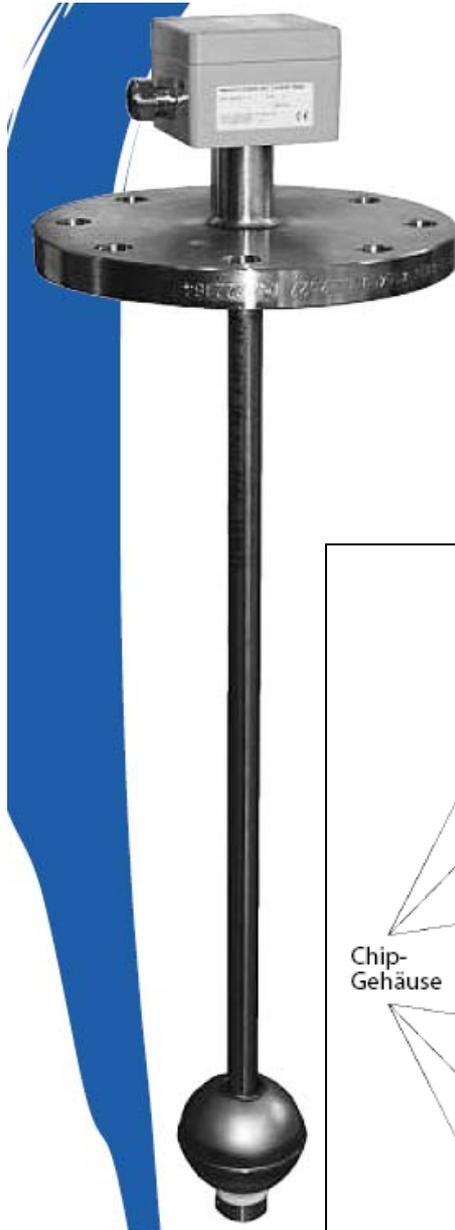
Schwimmer



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.5 Schwimberniveaumessung

Niveau - Messwertgeber 1001 Beschreibung und Arbeitsweise

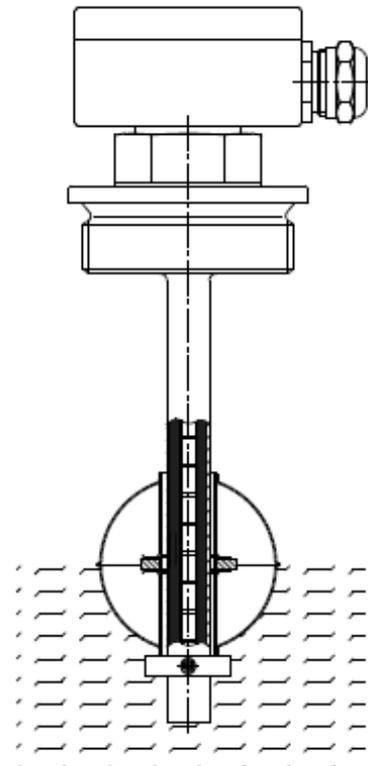
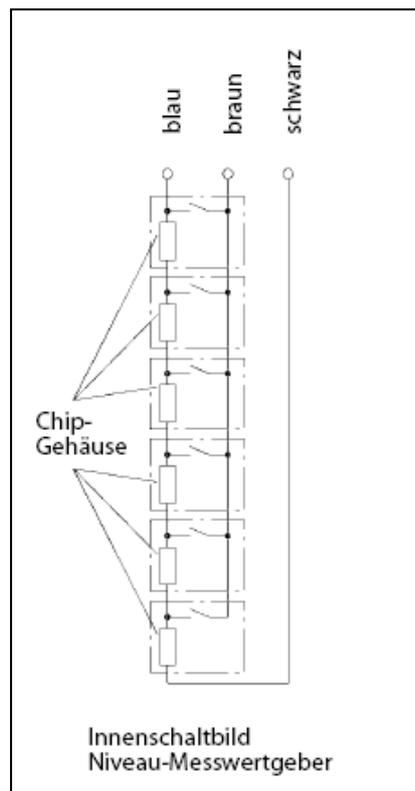


Niveau - Messwertgeber 1001 dienen als Messwertaufnehmer zur elektrisch kontinuierlichen Fernanzeige des Füllstandes. Messwertgeber arbeiten nach dem Schwimmerprinzip.

Das Magnetfeld, welches sich im Kugel- oder Zylinder-Schwimmer befindet, betätigt durch die Wandung des Gleitrohres hindurch sehr kleine Reedkontakte, die an einer Widerstandsmesskette eine Messspannung unterbrechungslos abgreifen.

Diese Messspannung ist proportional zur Höhe des Füllstandes (Dreileiter-Potentiometerschaltung). Die Rasterung der Reedkontakte wird in verschiedenen Abständen hergestellt.

In Verbindung mit einem Messumformer kann der Widerstandswert in ein genormtes Analogsignal umgewandelt werden.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.6 Verdränger-Niveaumessung

Auszug aus der Inbetriebnahme- und
Wartungsanleitung Typ: 144LD
Foxboro/ Eckardt Niveaumessumformer

Diese Niveaumessmethode beruht auf der Umsetzung des Prinzips des Archimedis. (Siehe auch VDI/VDE 3519 Blatt 1 "Verdrängermethode") Jeder Körper erfährt, abhängig von der Dichte des ihn umgebenden Mediums, eine archimedische Auftriebskraft.

Dies wird zur Füllstands-, Dichte- und Trennschichtmessung ausgenutzt, indem ein Verdrängerkörper mit konstantem Querschnitt in den Behälter eingehängt wird. Seine Auftriebskraft ist proportional zum Füllstand und wird in ein Messsignal umgeformt. Bei Trennschicht- und Dichtemessungen muss der Körper komplett eingetaucht sein. Wichtig ist, dass der Verdränger über den Messbereich möglichst keine Lageänderung erfährt.

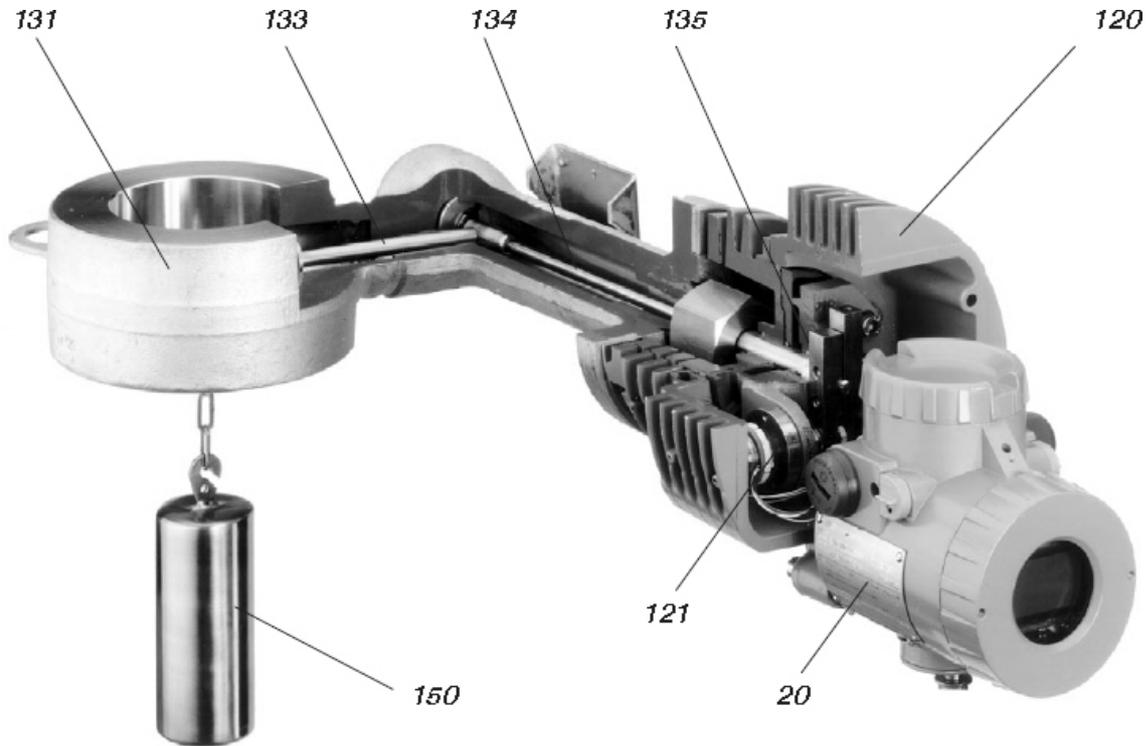
Die Auftriebskraft des Verdrängerkörpers **150** wird vom Übertragungshebel **133** über ein Torsionsrohr **134** auf den Klemmhebel **135** des Aufnehmers übertragen, wo sie auf das freie Ende der Messzelle **121** wirkt. Auf der Messzelle sind 4 Metall-Dünnschicht-Dehnmessselemente aufgesputtert, die ihren Widerstand im Verhältnis der Zug- bzw. Druckspannung ändern. Diese 4 Dehnmessselemente sind als Wheatstone'sche Vollbrücke geschaltet, die aus dem Verstärker versorgt wird.

Die der einwirkenden Gewichtskraft proportionale Spannung an der Brückendiagonalen wird dem elektronischen Verstärker als Eingangssignal zugeführt.

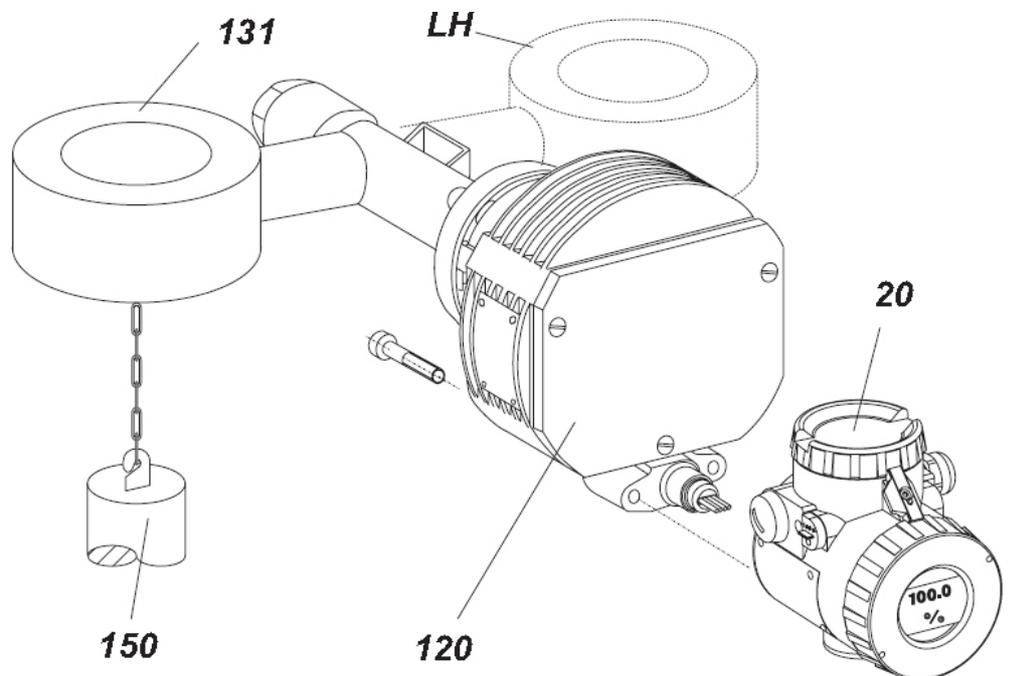
Der Verstärker wandelt diese Spannung in ein Gleichstromsignal 4 bis 20 mA bzw. in ein Digitalsignal um. Die Versorgung des Verstärkers erfolgt aus dem Signalstromkreis in Zweileitertechnik.

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



- 20** Verstärker
- 120** Aufnehmergehäuse
- 121** Messzelle
- 131** Sandwich-Gehäuse mit Kühlkörper und Torsionsrohr
- 133** Übertragungshebel
- 134** Torsionsrohr
- 135** Klemmhebel
- 150** Verdrängerkörper mit Aufhängekette
- LH** Ausführung für linksseitigen Anbau



Brühl

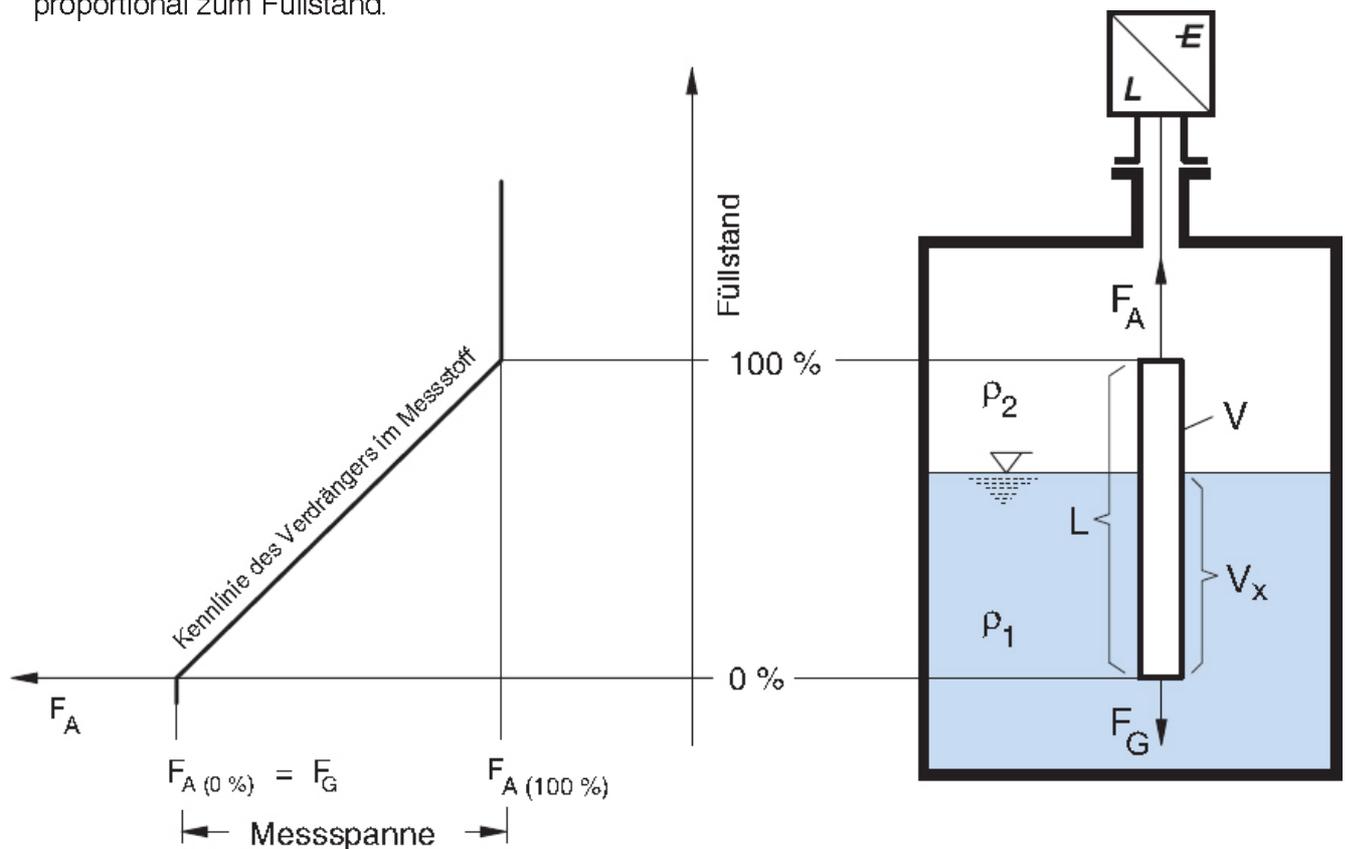
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Für die am Verdränger angreifende Auftriebskraft F_A gilt allgemein:

$$F_A = V_x \cdot \rho_1 \cdot g + (V - V_x) \cdot \rho_2 \cdot g$$

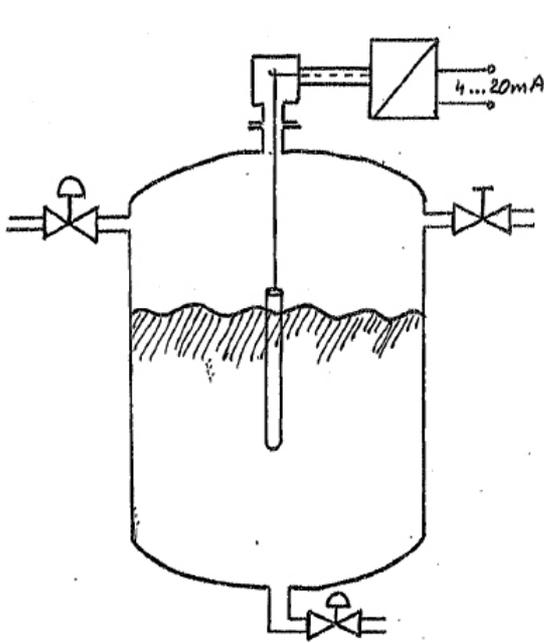
- F_A Auftriebskraft
- V Volumen des Verdrängers
- V_x Volumen des durch den Messkörper verdrängten Stoffes mit der Dichte ρ_1
- ρ_1 mittlere Dichte des schweren Stoffes
- ρ_2 mittlere Dichte des leichteren Stoffes
- g örtliche Fallbeschleunigung
- F_G Gewichtskraft des Verdrängerkörpers

Die am Messumformer wirkende Kraft ist umgekehrt proportional zum Füllstand.

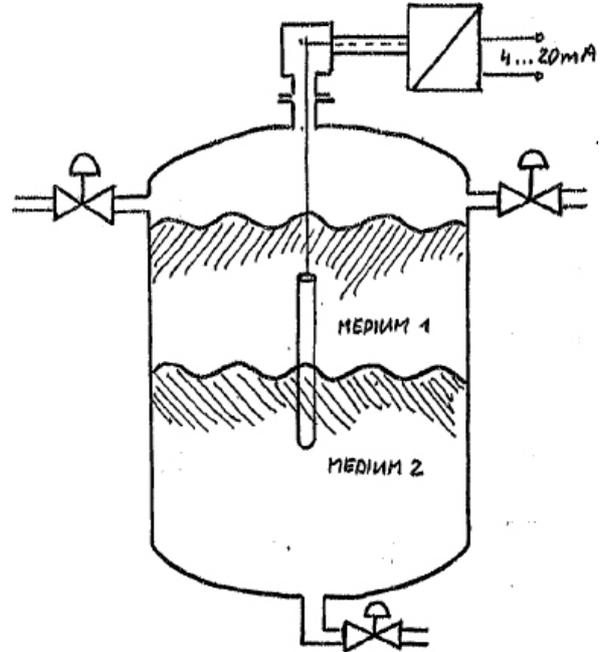


Brühl

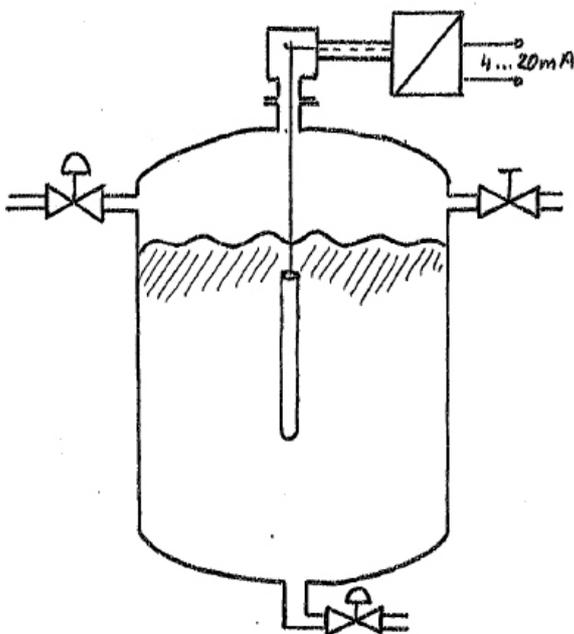
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Niveaumessung



Trennschichtmessung



Dichtemessung



AUFTRIEBSKRAFT:

$$F = m \cdot g$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V$$

$$V = A \cdot h$$

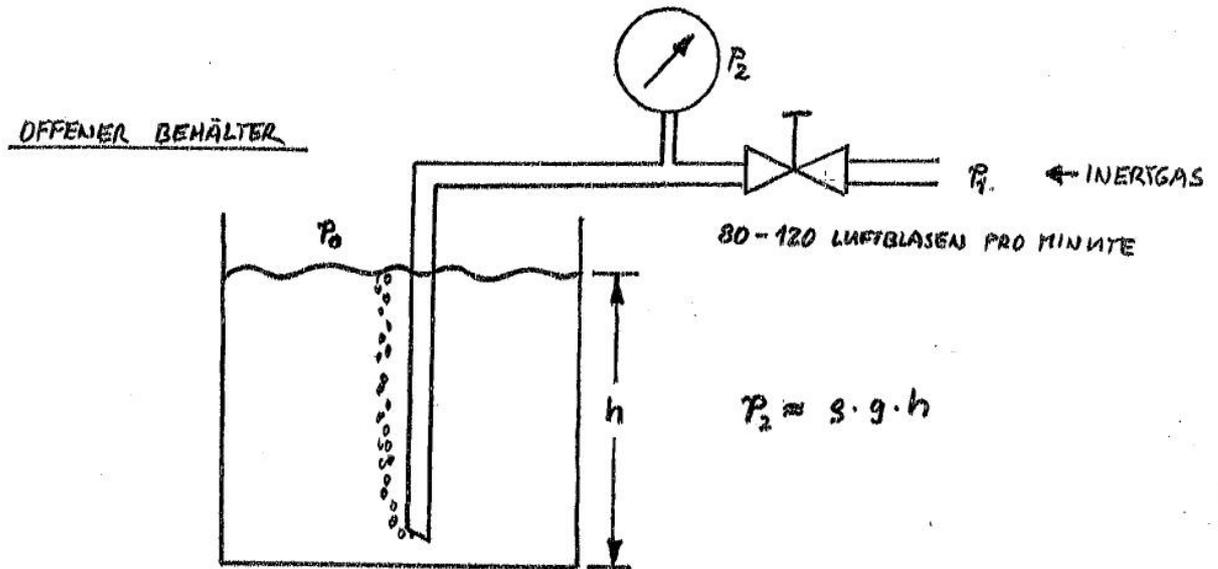
$$F_A = A \cdot h \cdot \rho \cdot g$$

- F_A = AUFTRIEBSKRAFT
- $A \cdot h$ = VOLUMEN DES VERDRÄNGERS (EINTAUCHVOLUMEN)
- ρ = SPEZ. GEWICHT DER FLÜSSIGKEIT
- g = ERDBESCHLEUNIGUNG

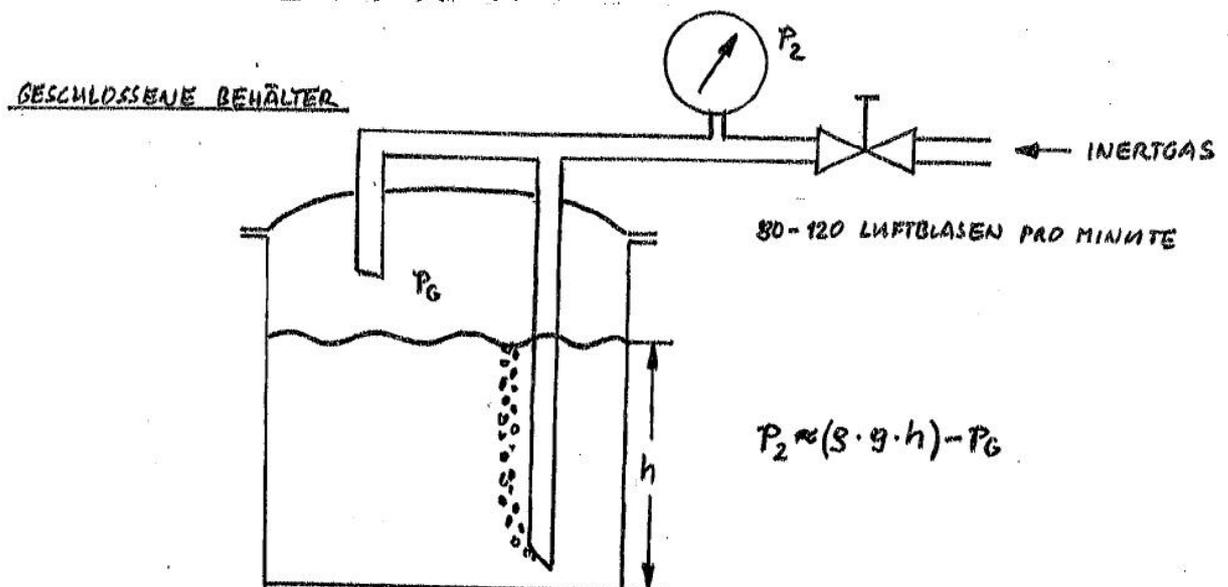
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.7 Niveaumessung nach dem Einperlverfahren

Offener Behälter



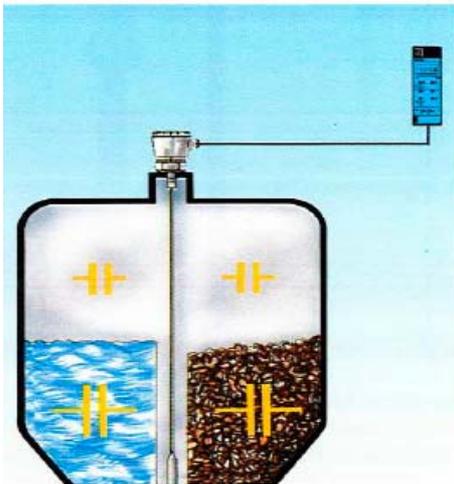
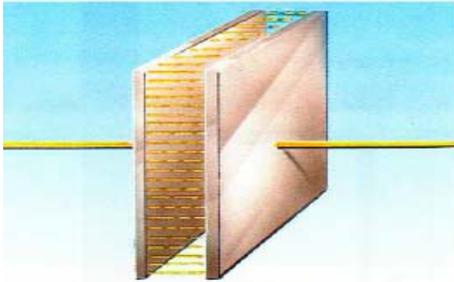
Geschlossener Behälter



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.8 Kapazitive Niveaumessung



Funktionsprinzip

Die Meßsonde bildet mit der metallischen Behälterwand einen Kondensator. Die Kapazität wird dabei durch die Fläche der "Kondensatorplatten" (Sonde und Behälterwand) und dem Abstand zueinander sowie Art und Beschaffenheit des Füllgutes (Dielektrikum) bestimmt. Mit Befüllen des Behälters erhöht sich die Kapazität des Kondensators. Im Elektronikeinsatz der Sonde wird durch diese Kapazitätsänderung ein füllstandsproportionales Signal erzeugt. In nachfolgenden Schalt- oder Meßgeräten wird dieses Signal ausgewertet.

Der "Kondensator" wird gebildet aus Sonde und Behälterwand. Durch das Füllgut wird die Kapazität beeinflusst.



Kontinuierliche Füllstand-Überwachung mit kapazitiver Sonde in der Sudpfanne einer Brauerei

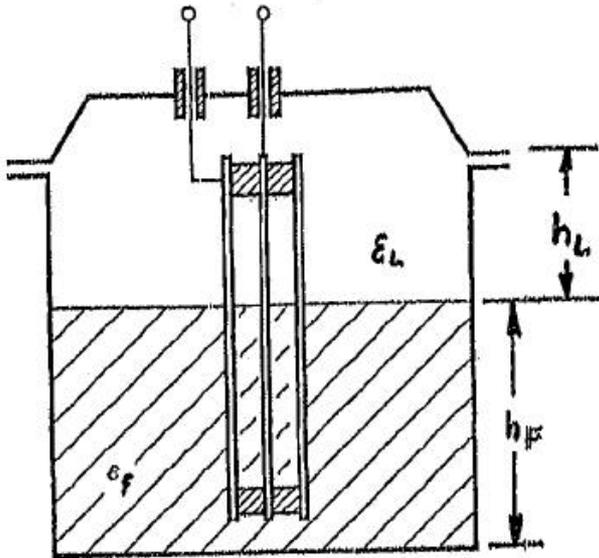


Kapazitive Füllstandmeßeinrichtung zur Niveau-Konstanthaltung an einer Nougat-Gießmaschine in einer Schokoladenfabrik

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Messung in einem Behälter mit isolierender Flüssigkeit



$$\epsilon_L = 1$$

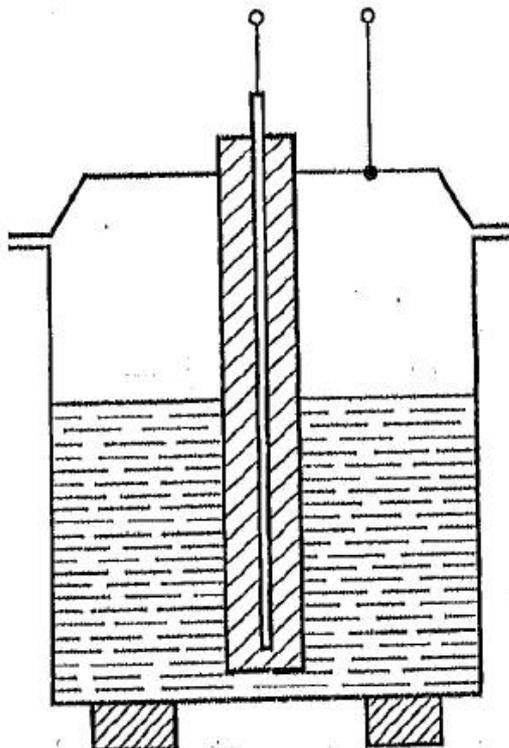
$$C_g = K(h_L \cdot 1 + h_f \cdot \epsilon_f)$$

$$h_L = h - h_f$$

$$\frac{C_g}{K} = h - h_f + h_f \cdot \epsilon_f$$

Messung in einem Behälter mit leitender Flüssigkeit

Fl



K: ENTHÄLT ALS KONST. ALLE ABMESSUNGEN UND GRÖSSEN, DIE SICH NICHT ÄNDERN

h_L : HÖHE DES LEERTEILS

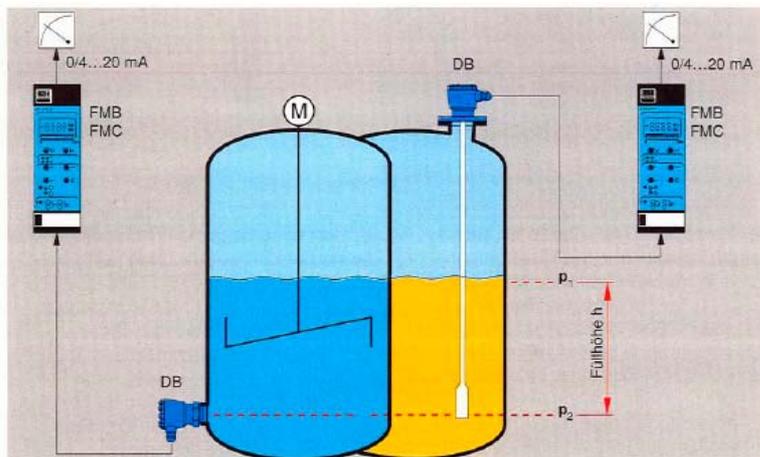
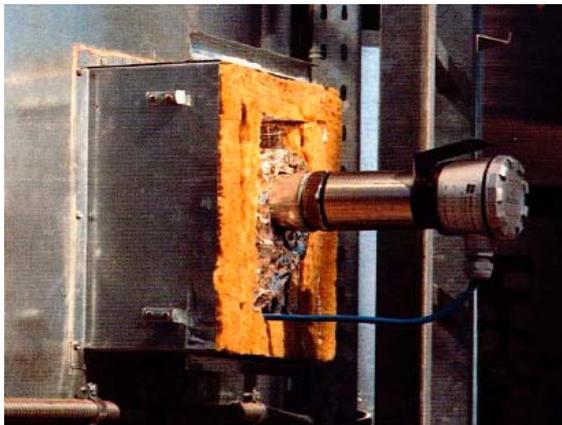
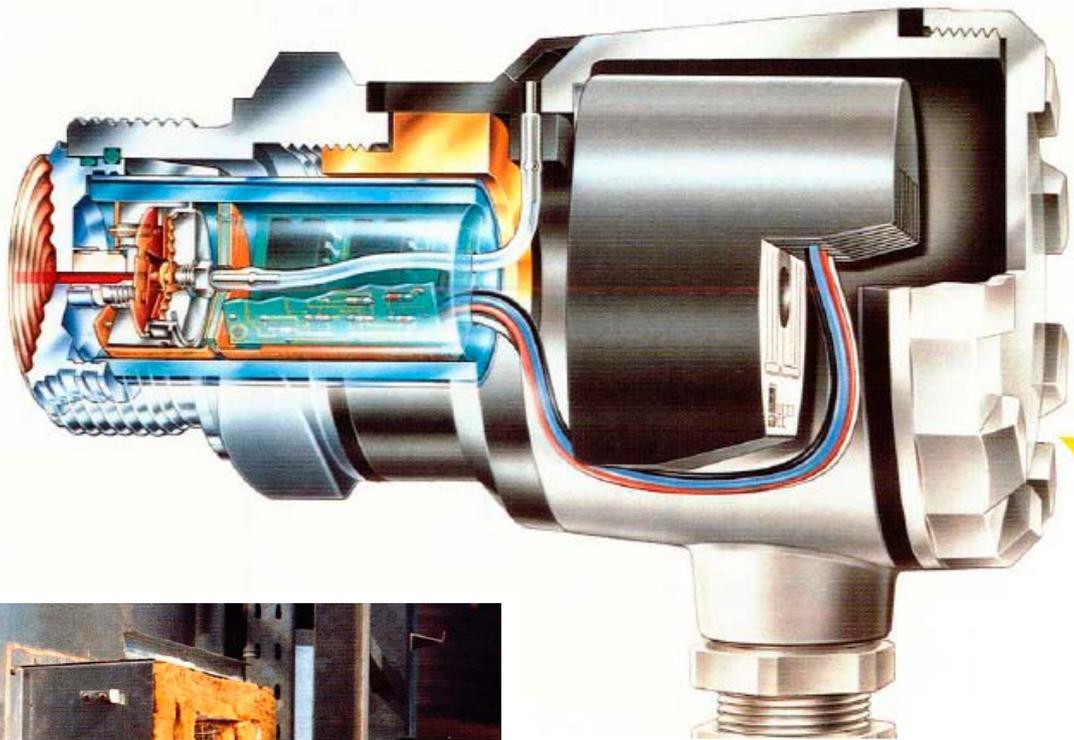
h_f : HÖHE DER FÜLLUNG

ϵ_f : DIELEKTRIZITÄTSKONSTANTE DER FÜLLUNG

$$h_f = \frac{1}{\epsilon_f - 1} \left(\frac{C_g}{K} - 1 \right)$$

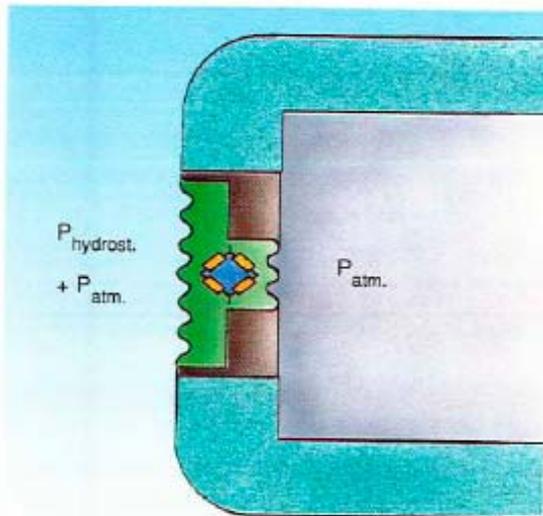
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.9 Hydrostatische Niveaumessung



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

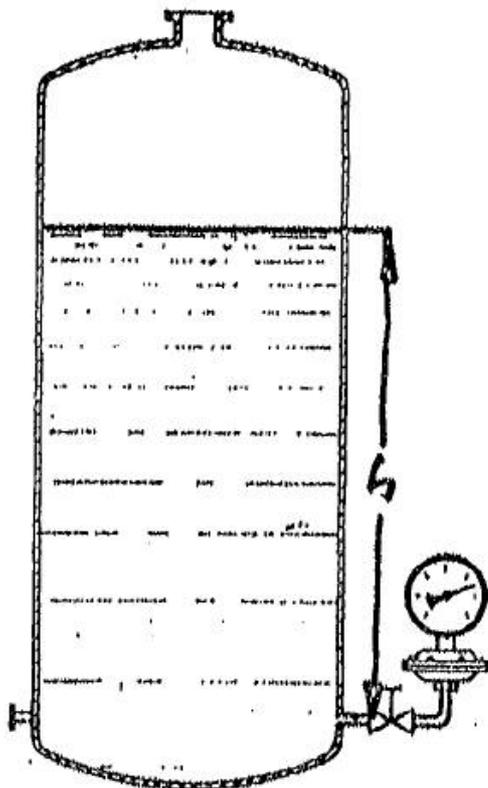


Funktionsprinzip

Beim hydrostatischen Meßprinzip nutzt man den Schweredruck einer Flüssigkeit zur kontinuierlichen Füllstandmessung. Der auf die Druckmeßzelle einwirkende hydrostatische Druck wird in ein füllhöhenproportionales elektrisches Signal umgesetzt. Durch nachgeschaltete Meßgeräte kann der Meßwert angezeigt und als normiertes Strom- / Spannungssignal ausgegeben werden. Unter Berücksichtigung der Behältergeometrie ist auch die Volumenanzeige z.B. in %, kg, hl oder m³ möglich.

Hermetisch geschlossene Meßzelle

Bodendruckmessung am offenen Behälter



$$p = \frac{\text{Kraft } (F)}{\text{Fläche } (A)}$$

$$\text{und } p = \frac{\text{Gewicht } (G)}{\text{Fläche } (A)}$$

$$G = \text{Volumen} \cdot \text{spez. Gew.}$$

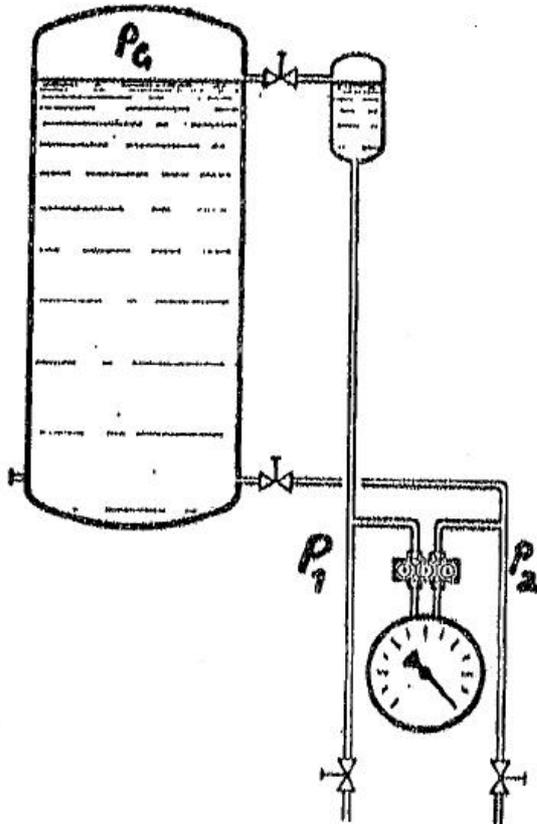
$$\Rightarrow p = \frac{V \cdot \rho}{A} \quad V = A \cdot h$$

$$\Rightarrow p = \frac{A \cdot h \cdot \rho}{A}$$

$$\Rightarrow \boxed{h = \frac{p}{\rho}}$$

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Bodendruckmessung am geschlossenen Behälter



$$\Delta p = p_1 - p_2$$

$$p_1 = p_0 + p_G$$

$$p_2 = h \cdot \gamma + p_G$$

$$\Delta p = p_0 + p_G - [h \cdot \gamma + p_G]$$

$$= p_0 - h \cdot \gamma$$

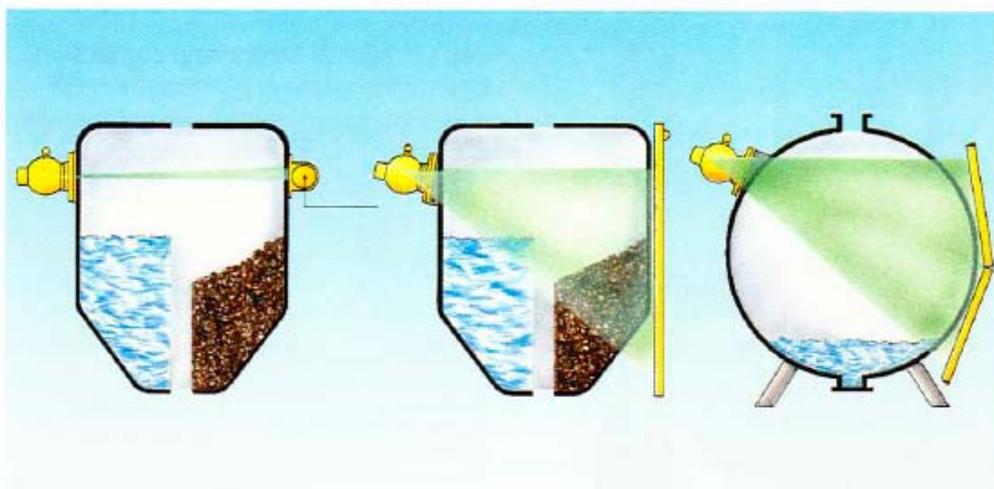
$$\Rightarrow h = \frac{p_0 - \Delta p}{\gamma}$$

Spezifisches Gewicht $\gamma = \frac{G}{V} \left[\frac{N}{m^3} \right]$ $G = m \cdot g$ (WICHTIG)

DICHTE $\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$\rho = \frac{m \cdot \gamma}{G}$

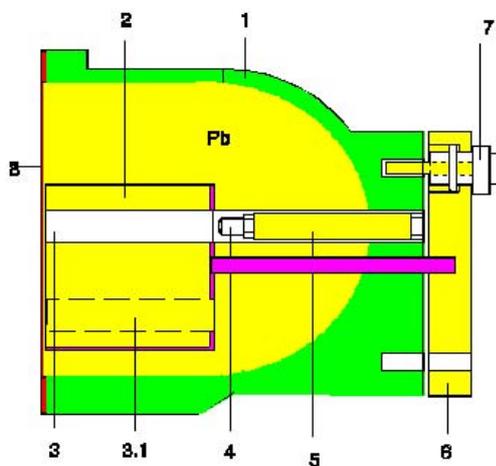
5.10 Radioaktive Niveaumessung



- die Maximum-Grenzstandererfassung
- die kontinuierliche Füllstandmessung
- die kontinuierliche Füllstandmessung in liegenden zylindrischen Behältern

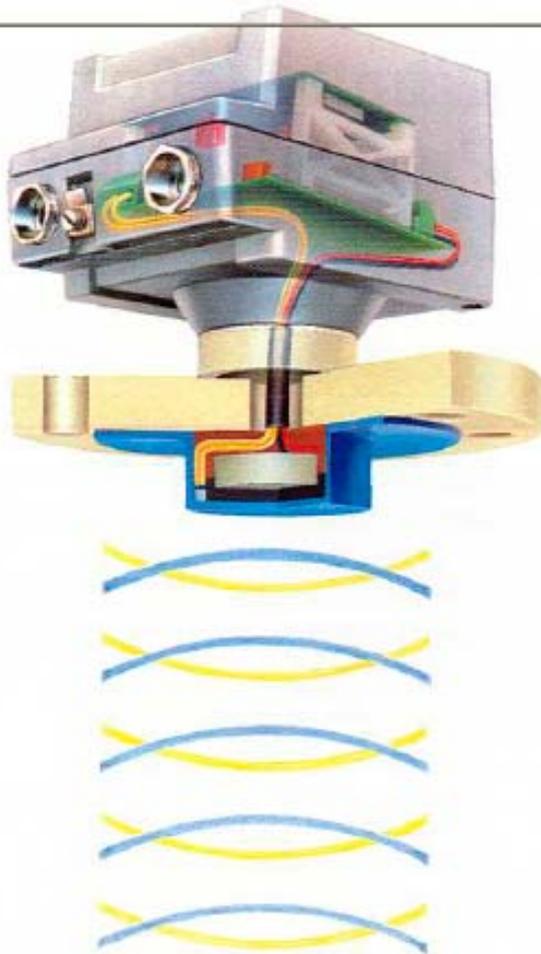
Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.11 Ultraschall-Niveaumessung



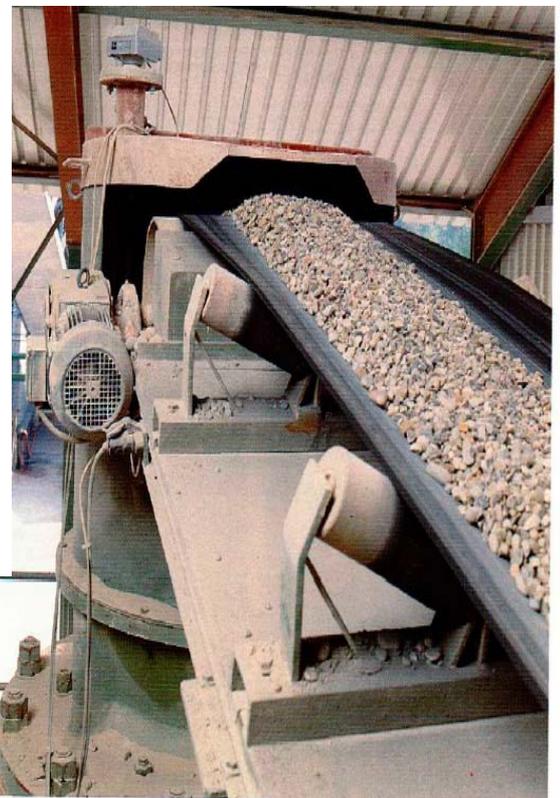
Funktionsprinzip

Beim Ultraschall-Meßprinzip wird die Schallaufzeit eines reflektierten Ultraschallimpulses gemessen.

In rascher Folge gibt der Sensor kurze Ultraschallimpulse ab, die von der Füllgutoberfläche reflektiert werden. Die Schallaufzeit wird in ein Maß für die Füllhöhe umgerechnet.

Um Temperatureinflüsse auf die Ultraschalllaufzeit zu kompensieren, sind E+H-Ultraschallsensoren standardmäßig mit einem Temperaturfühler ausgestattet. Auswirkungen einer Ansatzbildung am Sensor werden durch eine selbsttätige Nachführung der Ultraschallfrequenz ausgeglichen.

Mengensteuerung für einen Brucher durch eine Ultraschall-Meßeinrichtung



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.12 Lotsystem-Niveaumessung

Lotsysteme

Silopilot FMM 460Z: Lotsystem für leichte Schüttgüter und Flüssigkeiten. Für Silos bis 30 m Höhe. StEx-Zulassung für Zone 10 und 11

Silopilot FMM 760Z: Lotsystem mit modularem Aufbau für die optimale Anpassung, z.B.

- Meßbereich bis 70 m
- verschiedene Flansche
- verschiedene Fühlgewichte
- Zählschritte von Zentimeter- bis Dezimeterzählung möglich

Ex-Zulassung für Zone 10 und 11

Fühlgewichte

Normalgewicht: rostfreier Stahl. Für grobe Schüttgüter (Kohle, Erze, Steine) und Granulate.

Leinenbeutel: Für feine Schüttgüter und Pulver.

Skelettgewicht: Edelstahl. Für Schüttgüter bei hohen Temperaturen.

Faltschirm: Für feine Pulver.



Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

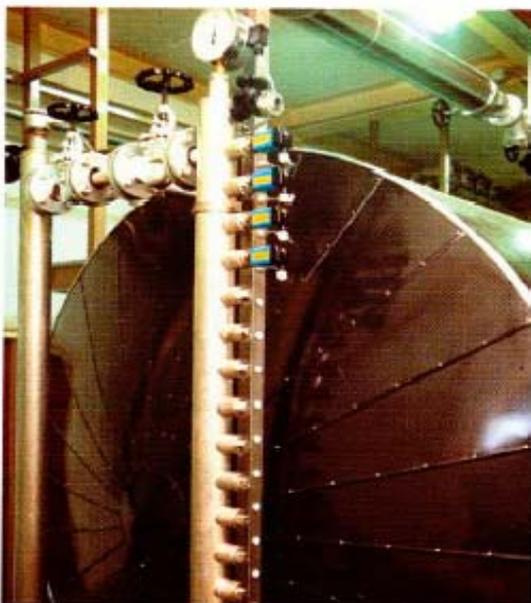
5.13 Grenzstandmessung, Schwinggabelsonde



Funktionsprinzip

Zwei auf einer Metall-Membran einander angeordnete Metallstäbe werden auf ihrer Resonanzfrequenz zum Schwingen angeregt. Der Antrieb erfolgt piezoelektrisch.

Durch die Berührung mit dem Füllgut wird das Schwingverhalten verändert. Diese Änderung der Schwingungen wird ausgewertet und in ein Schaltsignal umgesetzt.



Realisierung von 4 unabhängigen Schaltpunkten mit Liquiphant-Vibrationssonden im Standrohr eines Sammelbehälters für Kesselspeisewasser

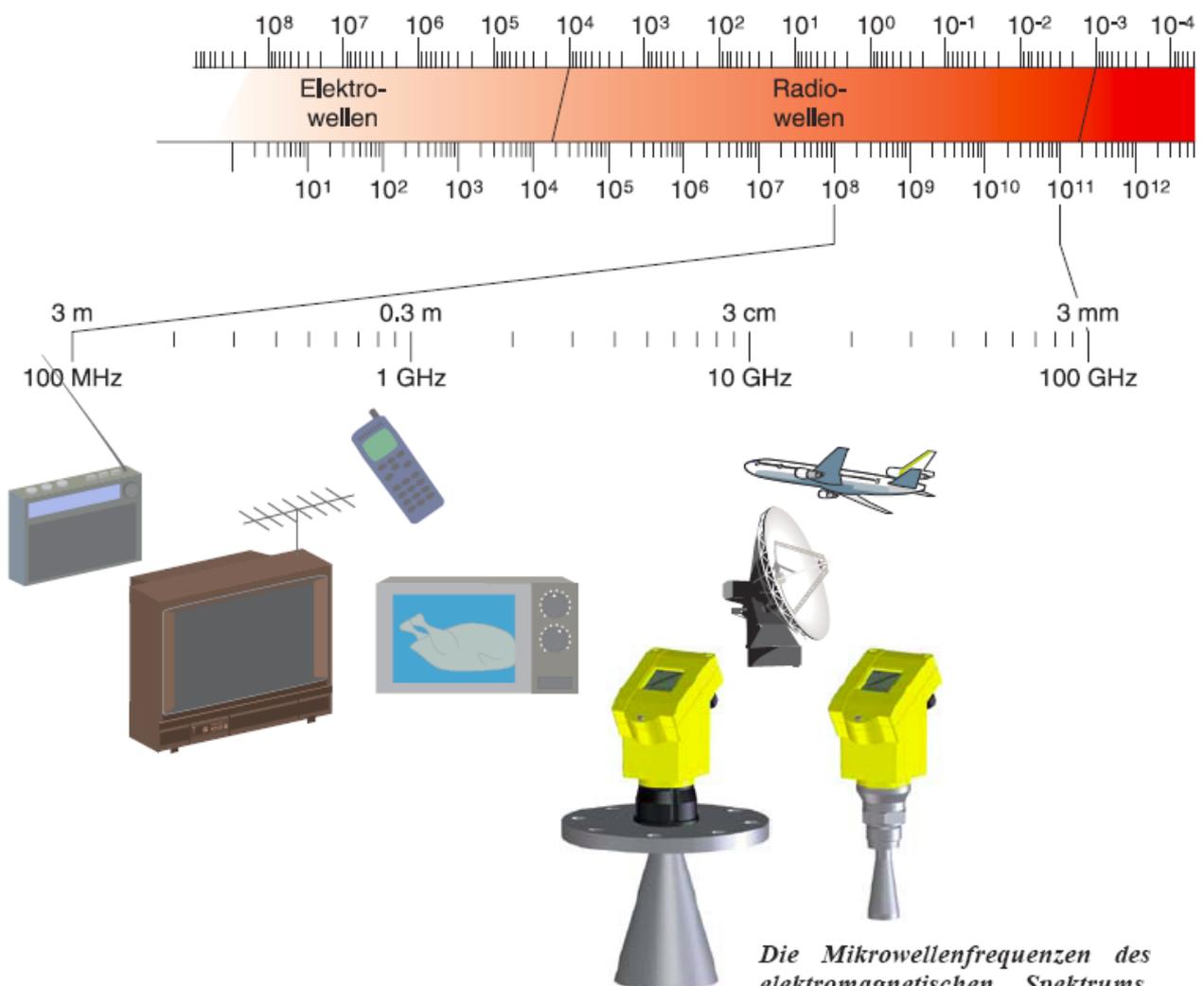


Grenzstandüberwachung mit Liquiphant-Sonden an einem Ansatzbehälter mit Rührwerk. Zuverlässige Funktion auch bei wechselnden Flüssigkeiten, unempfindlich gegen Turbulenzen, Strömungen und Schaum

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

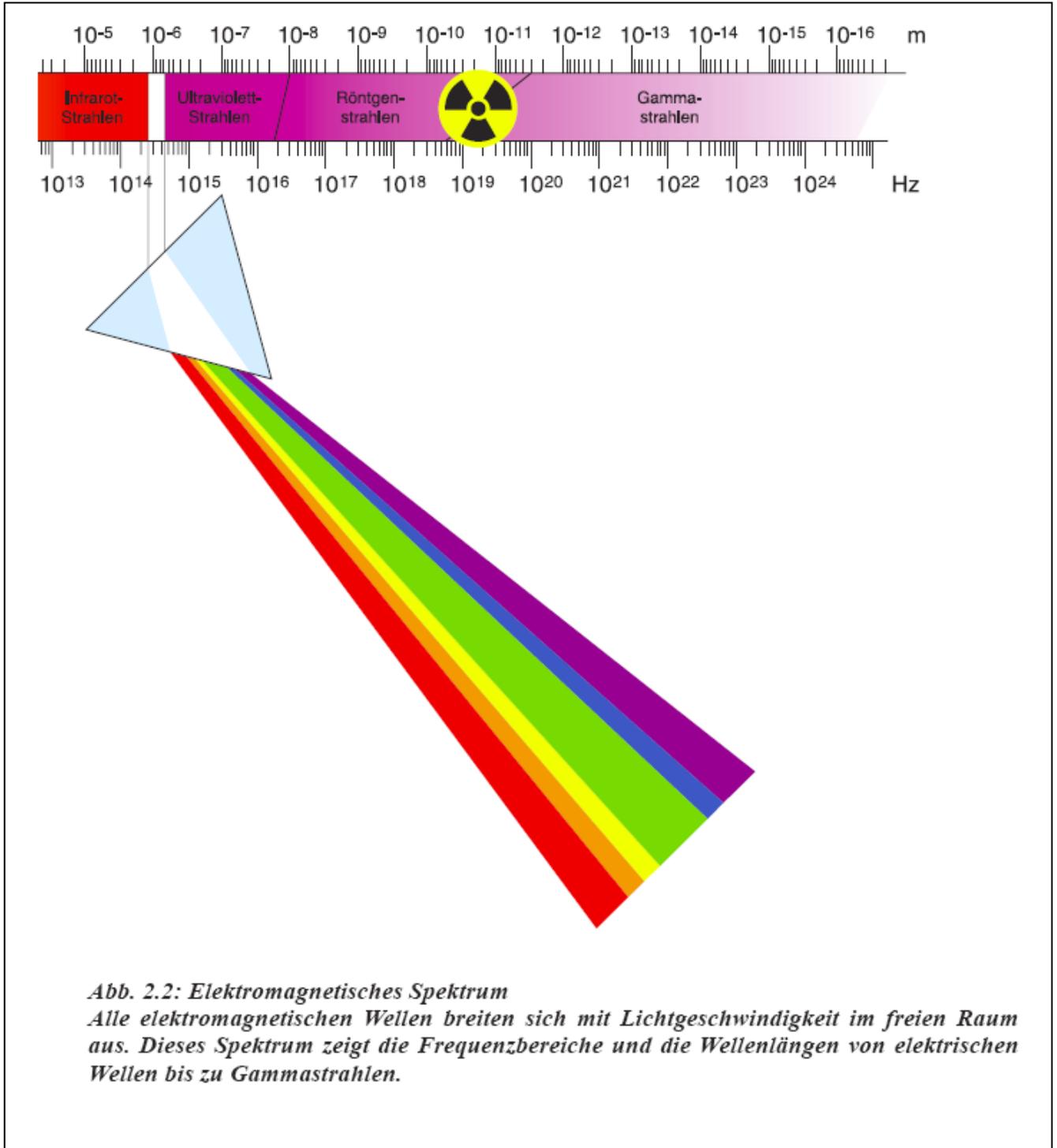
5.14 Ultraschall- und Radarniveaumessung

Das elektromagnetische Spektrum



Die Mikrowellenfrequenzen des elektromagnetischen Spektrums. Der Bereich für Radar-Füllstandmessungen liegt zwischen 6,3 GHz (4,7 cm) und 26 GHz (1,15 cm).

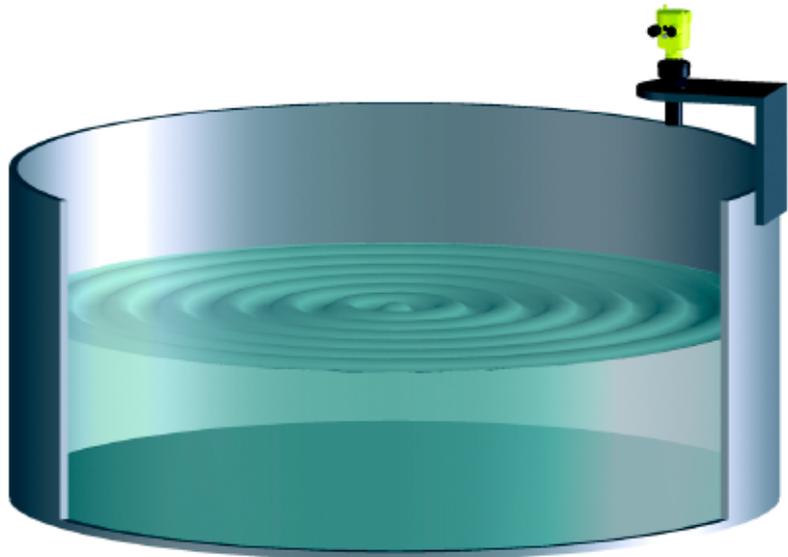
Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

5.14.1 Ultraschallniveaumessung



Messprinzip

Kurze Ultraschallimpulse im Bereich von 35 kHz bis 70 kHz werden vom Schallwandler auf das zu messende Produkt abgestrahlt, von der Füllgutoberfläche reflektiert und vom Schallwandler wieder empfangen.

Die Impulse breiten sich mit Schallgeschwindigkeit aus, die Zeit vom Senden bis zum Empfangen der Signale hängt vom Füllstand im Behälter ab. Neueste Mikroprozessortechnologie und die bewährte ECHOFOX- Software wählen das Füllstandecho auch bei Störddetektion sicher heraus und berechnen die exakte Distanz zur Füllgutoberfläche.

Ein integrierter Temperaturfühler erfasst die Temperatur im Behälter, Einflüsse auf die Schalllaufzeit können so kompensiert werden. Durch einfache Eingabe der Behälterabmessungen wird aus der Distanz ein füllstandproportionales Signal gebildet. Eine Befüllung des Behälters ist für den Abgleich nicht notwendig.

Die Vorteile der berührungslosen Messung mit VEGASON kommen klar zur Geltung: einfach und wartungsfrei. Der Verschmutzungsgrad des Wassers oder eine Verschlammung des Beckens hat keine Bedeutung, da der VEGASON auf die Oberfläche misst.

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

VEGASON 61

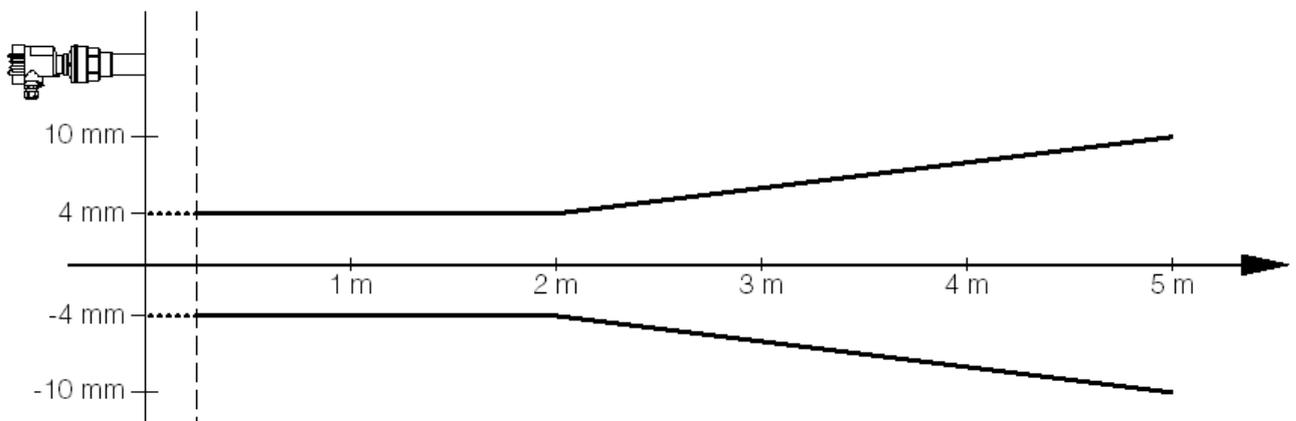


VEGASON 62



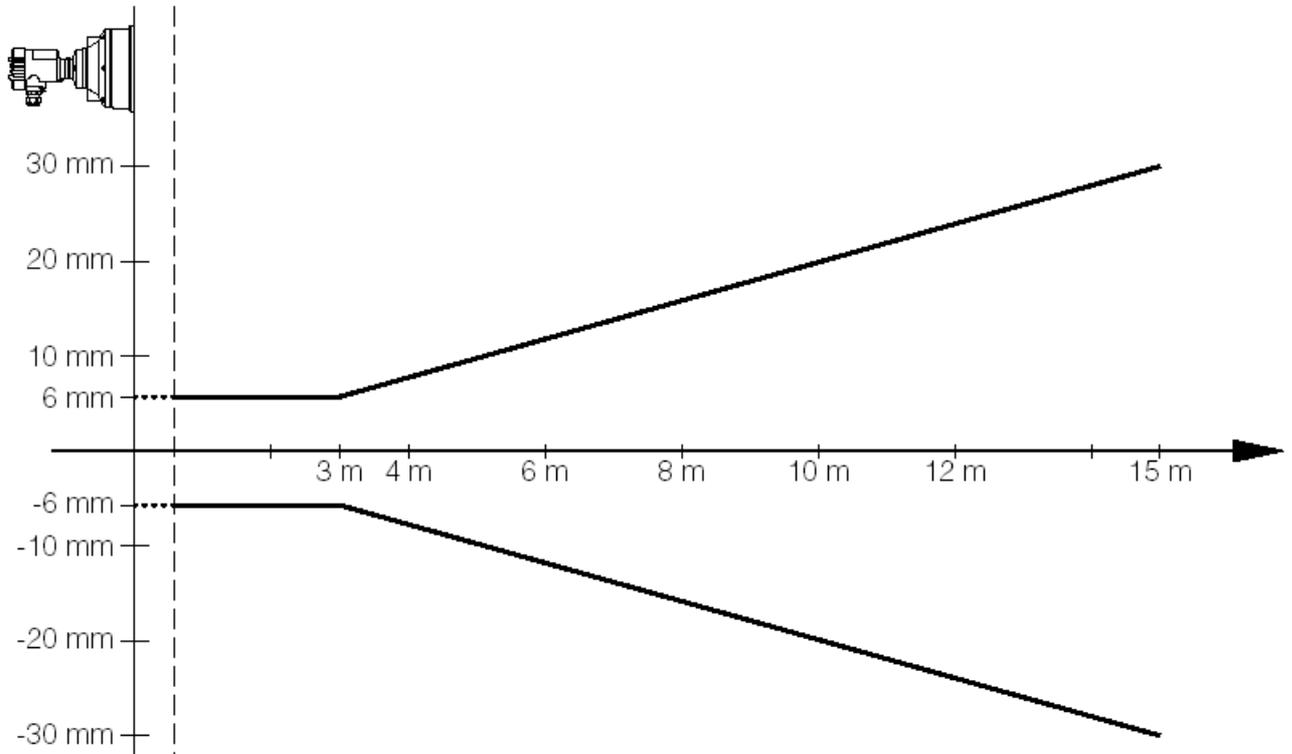
Anwendungen:	Flüssigkeiten und Schüttgüter in nahezu allen Industriebereichen, besonders in der Wasser- und Abwasserwirtschaft	Flüssigkeiten und Schüttgüter in nahezu allen Industriebereichen, besonders in der Wasser- und Abwasserwirtschaft
Messbereich:	Flüssigkeiten: 0,25 ... 5 m (0.82 ... 16.4 ft) Schüttgüter: 0,25 ... 2 m (0.82 ... 6.562 ft)	Flüssigkeiten: 0,4 ... 8 m (1.312 ... 26.25 ft) Schüttgüter: 0,4 ... 3,5 m (1.312 ... 11.48 ft)
Prozessanschluss:	G1½ A aus PVDF	G2 A aus PVDF
Prozesstemperatur:	-40 ... +80 °C (-40 ... +176 °F)	-40 ... +80 °C (-40 ... +176 °F)
Prozessdruck:	-0,2 ... 2 bar/-20 ... 200 kPa (-2.9 ... 29 psi)	-0,2 ... 2 bar/-20 ... 200 kPa (-2.9 ... 29 psi)

Messgenauigkeit



Messabweichung in mm, Messbereich in m (VEGASON 61)

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011



Messabweichung in mm, Messbereich in m (VEGASON 63)

5.14.2 Radarniveaumessung ¹⁾

1) Füllstandmessung mit Radar Leitfaden für die Prozessindustrie Peter Devine ISBN 3- 00-008216-6 © VEGA Grieshaber KG

Dielektrizitätskonstante

In der Elektrostatik hängt die Kraft zwischen zwei Ladungen von der Stärke, der Trennung der Ladungen und der Zusammensetzung des Mediums zwischen den Ladungen ab. Die Dielektrizitätskonstante ϵ ist die Eigenschaft des Mediums, welche die Größe der Kraft bewirkt. Je größer die Dielektrizitätskonstante ist, desto niedriger ist die Kraft zwischen den Ladungen. Der Wert der Dielektrizitätskonstanten im freien Raum (im Vakuum) ist:

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ Farad / Meter.}$$

Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Relative Dielektrizitätskonstante oder Dielektrizitätszahl

Das Verhältnis der Dielektrizitätskonstanten eines Mediums zu der Dielektrizitätskonstante im freien Raum ist eine dimensionslose Kennzahl, die als „relative Dielektrizitätskonstante“ oder als „Dielektrizitätszahl“ bezeichnet wird. Zum Beispiel ist die Dielektrizitätszahl von Luft bei 20°C nahe der des Vakuums (ca. 1.0005), während die Dielektrizitätszahl von Wasser bei 20°C ca. 80 ist. (DK als Abkürzung für die Dielektrizitätszahl ist weit verbreitet.) Die Dielektrizitätszahl des zu messenden Produktes ist für Radar-Füllstandmessungen sehr wichtig. In nichtleitenden Stoffen dringt ein Teil der Mikrowellenenergie durch das Produkt und der Rest wird von der Oberfläche reflektiert. Diese Eigenschaft von Mikrowellen kann vorteilhaft benutzt werden, sie kann aber auch in einigen Fällen Messprobleme verursachen.

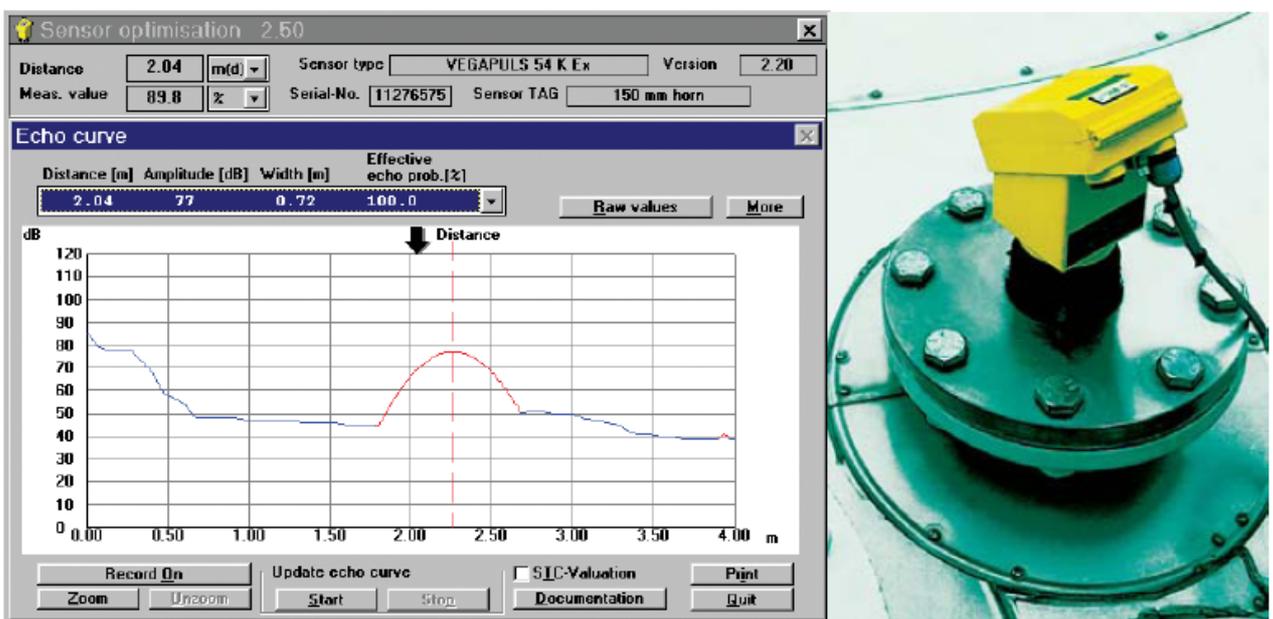
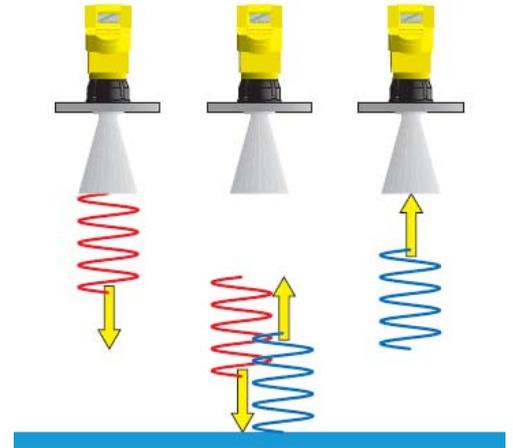


Bild 1.20 - VEGA: Umfassende Informationen sind bei der PC-Echokurve des neuesten Zweileiter-Füllstandmessgerätes verfügbar.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Funktionsweise ,Pulsradar

Extrem kurze Mikrowellenimpulse geringer Sendeleistung werden vom Antennensystem auf das zu messende Produkt abgestrahlt, von der Füllgutoberfläche reflektiert und vom Antennensystem wieder empfangen. Radarwellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Die Zeit vom Senden zum Empfangen der Signale ist proportional zum Füllstand im Behälter.



Ein spezielles Zeitdehnungsverfahren ermöglicht die sichere und genaue Messung der extrem kurzen Zeiten.

Neueste Mikroprozessortechnologie und die bewährte ECHOFOX-Software wählen das korrekte Füllstandecho aus einer Vielzahl von Störreflexionen sicher heraus und vermessen es exakt.

Durch einfache Eingabe der Behälterabmessungen kann ein füllstandproportionales Signal angezeigt werden. Der Füllstand muss zum Abgleich nicht verändert werden.



Funktionsweise, FMCW (frequenzmoduliertes Dauerstrichradar)

Das FMCW-Radarmessverfahren wird seit den Dreißigerjahren bei militärischen und zivilen Flugzeugfunkhöhenmessern verwendet. Diese Methode wurde in den frühen 70ern zur Füllstandmessung von Rohöl in Supertankern entwickelt. Anschließend wurde das gleiche Verfahren für eichfähige Füllstandmessungen in großen Lagertanks an Land benutzt. FMCW-Sender sind unlängst für Anwendungen in Prozessbehältern angepasst worden.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

FMCW- oder frequenzmoduliertes Dauerstrich-Radar ist eine indirekte Methode zur Entfernungsmessung. Die übertragene Frequenz wird zwischen zwei bekannten Werten f_1 und f_2 moduliert, und der Unterschied zwischen dem übertragenen Signal und dem Echosignal f_d wird gemessen. Diese Differenzfrequenz ist direkt proportional zur Laufzeit und somit zur Entfernung. (Beispiele für Modulationsfrequenzen von FMCW-Radar-Füllstandmessgeräten sind 8,5 bis 9,9 GHz, 9,7 bis 10,3 GHz und 24 bis 26 GHz.)

Die Theorie des FMCW-Radars ist einfach. Allerdings gibt es bei Anwendungen in Prozessbehältern viele praktische Probleme, die angesprochen werden müssen. Ein FMCW-Radar-Füllstandmessgerät benötigt einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO) um das Signal zwischen den beiden übertragenen Frequenzen f_1 und f_2 sägezahnförmig zu modulieren. Der Frequenzdurchlauf muss gesteuert werden und so linear wie möglich sein. Eine lineare Frequenzmodulation wird entweder durch eine genaue Frequenzmessung mit geschlossenem Regelkreis des Ausgangs oder durch sorgfältige Linearisierung einschließlich Temperaturkompensation des VCO-Ausgangs erreicht

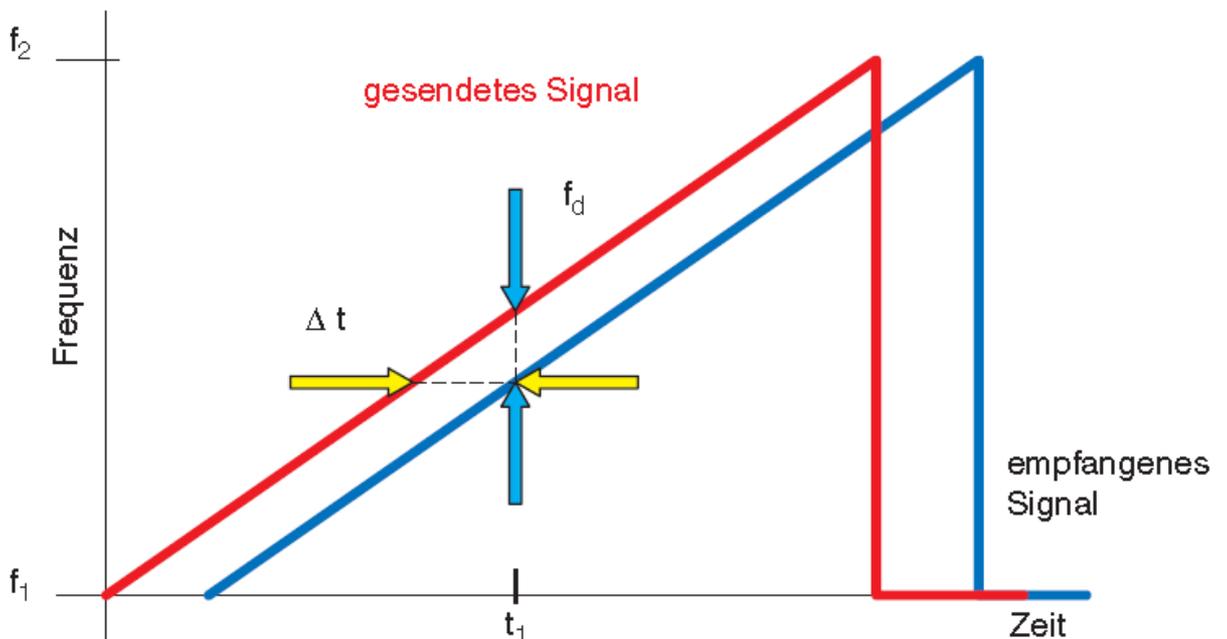


Abb. 4.1: Die FMCW-Radartechnik ist eine indirekte Methode der Füllstandmessung. f_d ist proportional zu Δt , welches proportional zur Entfernung ist.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

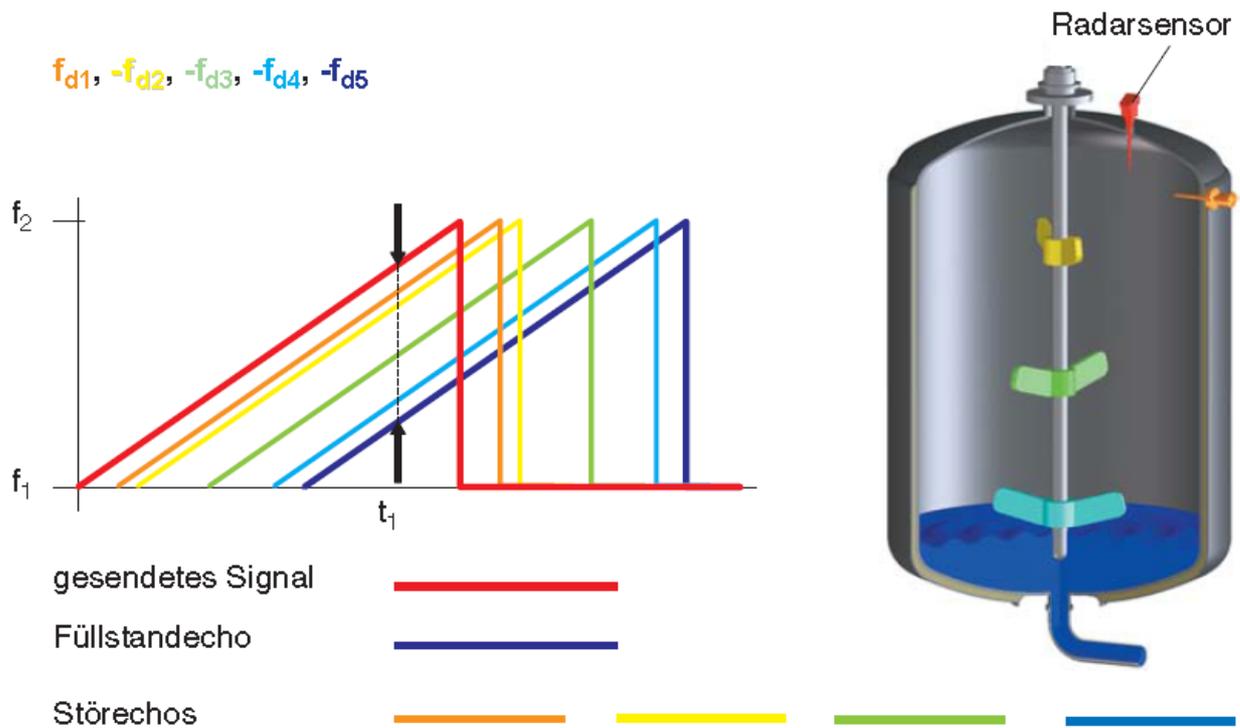


Abb. 4.3a: FMCW-Radar-Füllstandmessgerät in einem aktiven Prozessbehälter.

Unabhängig von Temperatur und Druck

Die Ausbreitung der Mikrowellen ist praktisch unbeeinflusst von der Umgebungstemperatur und vom Umgebungsdruck. Damit sind Radarsensoren ideal für den Einsatz unter schwierigsten Prozessbedingungen. Drücke von Vakuum bis 160 bar (2320 psi) und Temperaturen von $-40 \dots +400 \text{ °C}$ ($-40 \dots +752 \text{ °F}$) sind kein Problem für eine Radarmessung.

Unabhängig von den Produkteigenschaften

Schwankungen in der Produktzusammensetzung oder komplette Füllgutwechsel haben keinen Einfluss auf das Messergebnis. Ein erneuter Abgleich ist nicht notwendig.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Frequenzbereiche für alle Anwendungen

Radarsensoren von VEGA stehen in zwei verschiedenen Frequenzbereichen zur Verfügung und sind damit in einem sehr breiten Anwendungsgebiet einsetzbar. Die K-Band-Geräte arbeiten in einem Frequenzbereich über 20 GHz. Dies ermöglicht die Verwendung von sehr kleinen Antennen und entsprechend kompakten Prozessanschlüssen. Durch die hohe Signalbündelung wird eine sehr hohe Genauigkeit der Messeinrichtung erreicht. Die C-Band-Geräte zeichnen sich durch eine niedrige Frequenz um 6 GHz aus. Dadurch haben Anhaftungen und Verschmutzungen des Antennensystems oder Schaum auf der Produktoberfläche in den meisten Fällen keine Auswirkung.

Antennenformen, Hornantenne

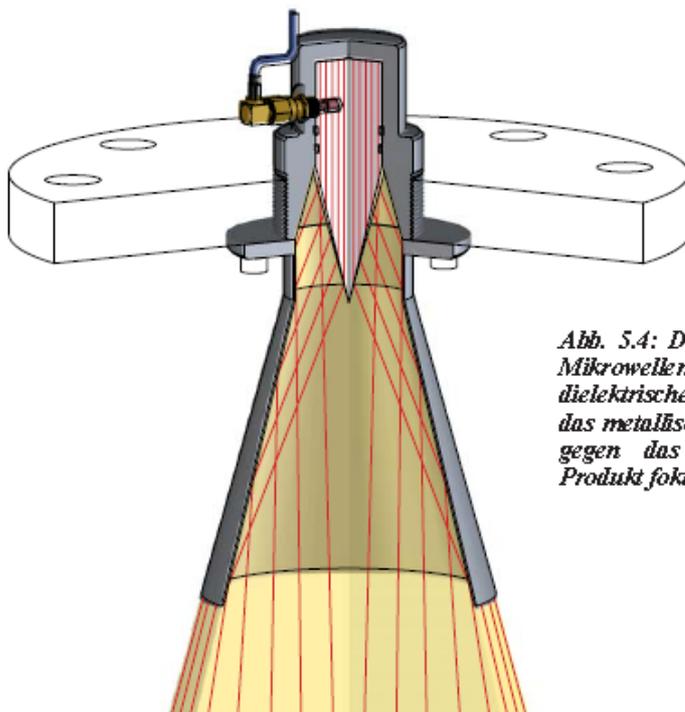
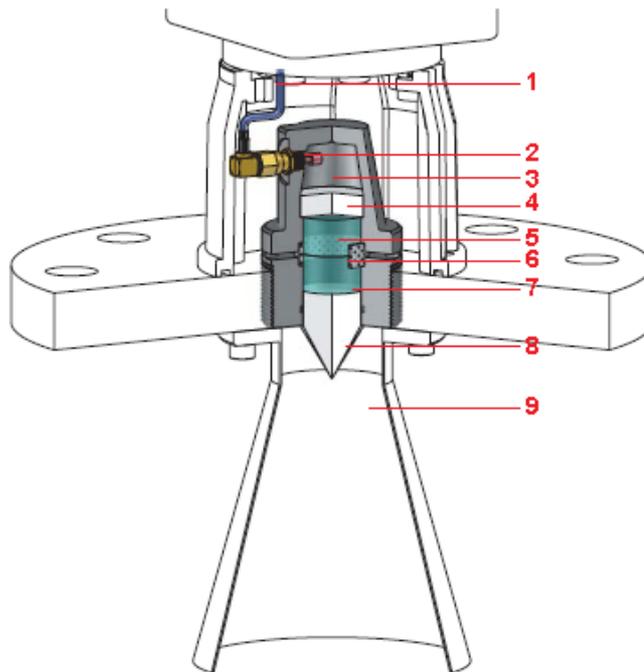


Abb. 5.4: Der Übergang der Mikrowellen vom niedrig dielektrischen Hohlleiter in das metallische Horn, wo sie gegen das zu messende Produkt fokussiert werden.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

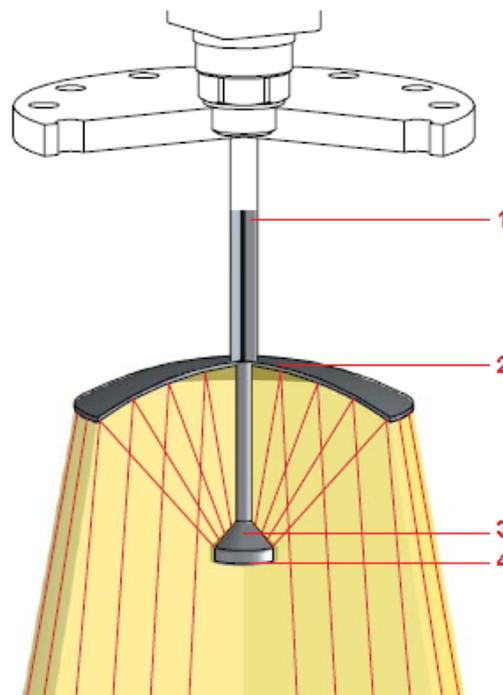
Hornantenne Ausführung I

Abb. 5.5



1. HF-Kabel
2. Signaleinkopplung
3. Hohlleiter (luftgefüllt), Übergang von rechteckigem zu kreisförmigem Querschnitt
4. PTFE Anpassung
5. glasgefüllter Hohlleiter
6. Metallgitter
7. Dichtung zwischen Glas und PTFE
8. PTFE Konus
9. metallische Hornantenne

Parabolantenne



1. Signaleinkopplung
2. Parabolischer Hauptreflektor
3. Primärstrahler
4. Subreflektor, fokussiert auf Hauptreflektor



Brühl

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

Parabolantennen werden hauptsächlich bei eichfähigen Messungen in großen Lagertanks eingesetzt. Der Nutzen von parabolischen Antennen in diesen Anwendungen ist klar. Die gute Fokussierung durch die parabolische Form ergibt einen hohen Antennengewinn.

Dies wiederum führt zu engeren Öffnungswinkeln und höherer Empfindlichkeit. Allerdings sind Parabolantennen groß, schwer, relativ komplex und teuer in der Herstellung. Diese Faktoren beschränken den Einsatz von parabolischen Antennen in den meisten Prozessanwendungen.

Der zentral zum Hauptreflektor im Brennpunkt der Antenne sitzende Subreflektor führt zu Abschattungen. Dies kann den Antennenwirkungsgrad reduzieren.

Parabolische Antennen wurden z.B. in Bitumenlagertanks eingesetzt. Dort führte ein Materialniederschlag auf dem Hauptreflektor zu einer geringeren Signalabschwächung. Sobald jedoch der Subreflektor vom Produkt überzogen wurde, führte dies zu einer drastischen Verschlechterung der Antenneneigenschaften.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Parabolantenne ein Nischenprodukt für den Einsatz bei eichfähigen Messungen in Lagertanks mit langsamen Füllstandänderungen ist. Sie ist nicht für die schwierigeren Einsatz- und Umgebungsbedingungen in den meisten Prozessbehältern geeignet.

Ingenieurwissenschaften	Mess- und Regeltechnik	Dipl.-Ing. (FH) M. Trier
Vertriebsingenieurwesen	Sensorik u. Messtechnik	15. Januar 2011

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 vermieden 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.

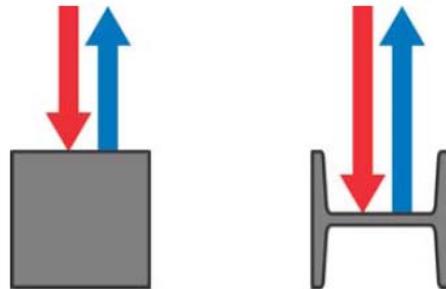


Abb. 6.9: Profile mit ebenen Flächen oder scharfen Ecken verursachen starke Störechos.

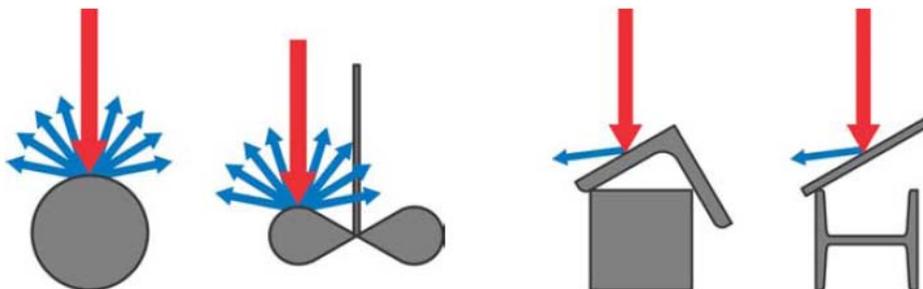


Abb. 6.10: Durch diffuse Reflexion an runden Teilen werden deutlich geringere Störechos produziert.

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