

2/2001

Februar

atp

Automatisierungs-
technische Praxis

Auswahlkriterien für Radarsysteme zur
Füllstandmessung in der Chemischen Industrie

Sonderdruck

Endress + Hauser

The Power of Know How



Oldenbourg



Auswahlkriterien für Radarsysteme zur Füllstandmessung in der Chemischen Industrie

Michael J. Heim und Andreas Mayr, Endress+Hauser GmbH

Die Leistungsfähigkeit aber auch die Vielfalt von Radarsystemen zur Füllstandmessung hat sich in den letzten drei Jahren erheblich gesteigert. Für den Einsatz von Radarsystemen sind die jeweiligen Anwendungen hinsichtlich ihrer anlagentechnischen und verfahrenstechnischen Spezifikation genau zu durchleuchten, um die jeweils kostengünstigste Lösung definieren zu können. In dem Artikel werden hierzu Kriterien genannt. Insbesondere wird erläutert, wie und warum auch bei Radarsystemen applikationsspezifisch die ideale Trägerfrequenz (z.B. 6 GHz bzw. 26 GHz) und der jeweilige Antennentyp bestimmt werden müssen.

Selection criteria for level radar in the chemical industrie

During the past three years the performance but also the variety of level radar devices has been increased significantly. For the use of radar systems the application has to be analysed according to the process and the tank specific requirements. Only then a cost effective solution can be defined. This article describes criteria for the proper selection of radar devices. Especially the choice of the frequency (e.g. 6 GHz or 26 GHz) and the antenna types are discussed.

1. Einführung

In der industriellen Messtechnik spielt die kontinuierliche Füllstandmessung von Flüssigkeiten eine wichtige Rolle – sie stellt mit rund 12 Prozent aller Messstellen etwa 1,8 Mrd. DM Umsatz pro Jahr dar. Innerhalb der Füllstandmesstechnik kann seit Jahren ein klarer Trend zu den berührungslosen Messverfahren, vor allem den so genannten Laufzeitverfahren (time of flight measurements) erkannt werden. Diesen wurde von Anfang an eine günstigere Cost of Ownership als den berührenden Messverfahren zuerkannt, wobei die prinzipiellen technischen Vorteile (keine mechanisch bewegten Teile, kein unmittelbarer Kontakt zu den Medien/Produkten, ...) hervorgehoben wurden.

Gut zehn Jahre nach Einführung von Ultraschall-Laufzeitmessungen etablierten sich die ersten Radar-Laufzeitmessungen zunächst in der hochgenauen Bestimmung von Tankständen (tank gauging, eichpflichtiger Verkehr). Diese Anwendungen boten anwendungstechnisch relativ geringe Schwierigkeiten (ideal ruhige Oberflächen als Reflektor), hohe Messstellenpreise und die Bereitschaft der Anwender, relativ kurze Wartungszyklen zu ermöglichen.

Anders in der Prozessmesstechnik: Hier wurde die anfänglich hohe Erwartungshaltung von ernüchternden Betriebserfahrungen relativiert, und das positive Image der modernen Verfahren begann Schaden zu nehmen. Im Rückblick zeigt sich, dass hierzu mehrere Faktoren wesentlich beitrugen:

- Viele Anwender setzten die neuen Laufzeitverfahren zu Beginn gerade in solchen Problemfällen ein, in denen die bisherigen *berührenden* Messverfahren nicht überzeugt hatten.

- Die Grenzen der Radartechnik waren weder den Herstellern noch den Anwendern in hinreichendem Maße bekannt. Es brauchte Zeit für die Erkenntnis, dass in der industriellen Radarmesstechnik der gesamte Tank einen Teil des Sensors darstellt und somit bei der Auslegung der Systeme zu betrachten ist.
- Die Betriebstauglichkeit der modernen Verfahren war oft nicht in dem erforderlichen Maß in der Praxis erprobt.
- Manche Hersteller ließen sich zu nahezu unseriösen Leistungsangaben hinreißen und schadenen damit nicht nur dem eigenen Ruf, sondern auch dem Vertrauen in das Verfahren.
- Die Anforderungen besonders hinsichtlich der Unterstützung einer erfolgreichen Inbetriebnahme wurden unterschätzt.

Heute haben sowohl Hersteller als auch Anwender dazu gelernt, und es wurde vor allem in eine deutlich gesteigerte Performance der Systeme investiert. Noch vor etwas über drei Jahren, zur Zeit der ACHEMA 1997, lagen die maximalen Genauigkeiten der Radarfüllstandsmessung (Prozessmessungen) in der Regel bei ± 10 mm, die maximalen Prozessbedingungen bei etwa 200 °C und 64 bar. Zur ACHEMA 2000 haben sich diese Kennziffern auf ± 3 mm, 400 °C und über 160 bar verschoben, und das bei insgesamt günstigeren Messstellenpreisen.

Auch im Bereich der hochgenauen Füllstandmessungen ist ein Trend zu kleineren, leichteren, skalierbaren und somit preisgünstigeren Systemen erkennbar. Erstmals können damit mm-genaue Messungen als Einzelmessstellen auch in der Prozessmesstechnik mit vertretbaren Kosten eingesetzt werden.

Für den Anwender der Radarfüllstandmesstechnik bleibt da scheinbar kein Wunsch offen – eine kompetente Beratung bei der Systemauswahl vorausgesetzt. Der folgende Beitrag soll hierzu eine Übersicht geben und auch auf die noch weiterhin verbleibenden Anwendungsgrenzen hinweisen. Der Artikel beschreibt hierzu zunächst wichtige Auswahlkriterien, die auf die prozess- und anlagentechnischen Randbedingungen der Anwendung eingehen. Anschließend werden gerätetechnische Merkmale vorgestellt, die in einem letzten Schritt den verschiedenen Anwendungsklassen zugeordnet werden.

2. Anwendungsmerkmale

Für den Einsatz von Radarfüllstandsystemen ist neben den offensichtlichen Kriterien wie Temperatur, Druck und der Dielektrizitätskonstanten (DK) des Mediums die Beschaffenheit der Produktoberfläche das wichtigste Anwendungsmerkmal. Zusätzlich können auch unterschiedliche Behältergeometrien ein Entscheidungsmerkmal bilden. Deshalb lassen sich auch die Anwendungsfälle hinsichtlich dieser primären Kriterien ordnen.

2.1 Ruhige Oberflächen (Lagertanks)

In sehr vielen Lagertanks bilden sich aufgrund einer bodennahen Befüllung oder des Einsatzes von Tauchrohren sehr ruhige Produktoberflächen aus, siehe Fall a) und b) in Bild 1. In dem in Fall a) symbolisch dargestellten Beispiel eines sehr großen Lagertanks wird für den eichpflichtigen Verkehr (custody transfer) eine Genauigkeit der Füllstandmessung von $\pm 3 \text{ mm}$ ($\pm 1/8''$) unter Anwendungsbedingungen gefordert. Vom Hersteller entsprechender Füllstandmesssysteme wird darüber hinaus ein Zertifikat verlangt, das eine Messgenauigkeit von mindestens $\pm 1 \text{ mm}$ ($\pm 1/16''$) gegenüber einer Referenzmessstrecke mit mindestens $\pm 0,5 \text{ mm}$ ($\pm 1/32''$) Genauigkeit nachweist [1].

In Anwendungen der Bestandsführung (inventory control), wie sie auch in Tanks des Falles b) durchgeführt wird, genügt hingegen eine *Anwendungsgenauigkeit* von $\pm 5 \text{ mm}$ bzw. eine *Referenzgenauigkeit* von $\pm 3 \text{ mm}$. In Tanks der Form b) finden sich häufig auch ortsfeste Einbauten wie Grenzschalter, Heizschlangen und Stützen, die von der Radarmessung geeignet ausgeblendet werden müssen. Eine zusätzliche Anforderung an die Radarfüllstandmesstechnik stellen hier die oft relativ kleinen Stützen mit geringen Wandabständen dar.

2.2 Bewegte Oberflächen (Zwischenlager / Pufferbehälter)

Von Anwendungen mit ruhigen Oberflächen können solche unterschieden werden, in denen eine Befüllung *frei von oben/von der Seite* oder eine Produktdurchmischung über Mischdüsen zu einer Oberflächenbewegung im Tank führen, siehe Fall c) in Bild 1. Schaumbildung und Spritzer stellen hier weitere Anforderungen an eine Füllstandmessung. In solchen Anwendungen ist eine Genauigkeit von $\pm 10 \text{ mm}$ in der Praxis ausreichend.

2.3 Stark bewegte Oberflächen (Rührwerksbehälter)

Als dritter Fall können Prozessanwendungen eingeordnet werden, in denen Rührwerke zu starken Turbulenzen und Tromben der Produktoberfläche führen, siehe Fall d) in Bild 1. Zusätzlich können die Rührflügel (mehrstufige Rührwerke) während der Messung den Radarstrahl durchqueren und die daraus resultierenden Störsignale müssen unterdrückt werden. Die Anforderungen an die Genauigkeit sind in solchen Anwendungen geringer, allerdings ist die Zuverlässigkeit der Messung gerade während der Reaktionsphase sehr wichtig. Eine weitere Anforderung stellen hier höhere Drücke (bis 100 bar, in Offshore-Anwendungen gar 150 bar) und höhere Temperaturen (bis 400 °C) in den meist relativ kleinen Behältern dar.

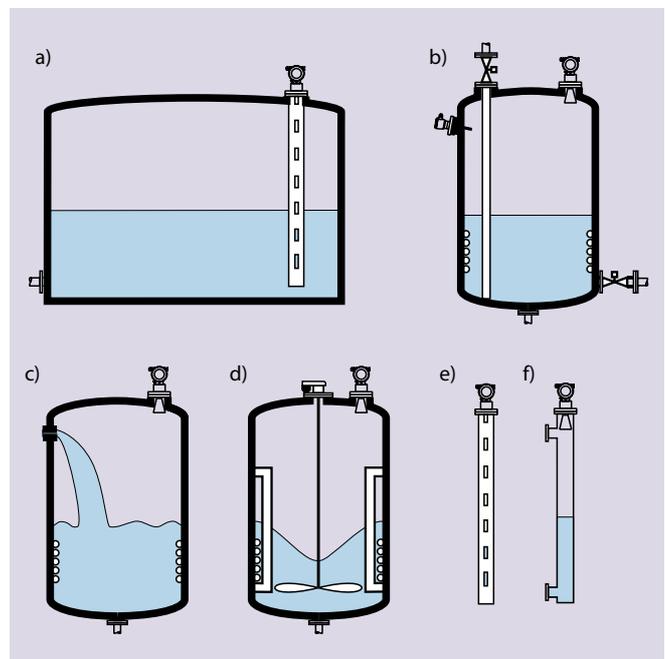


Bild 1: Die Oberflächenbewegung kann als primäres Entscheidungskriterium für die Auswahl eines geeigneten Radarsystems angesehen werden.

a und b): Ruhige Oberfläche in Lagertank und Tank mit Tauchrohr

c): Bewegte Oberfläche in Tank mit *freier* Befüllung

d): Stark bewegte Oberfläche in Prozessbehälter

e) und f): Ruhige Oberfläche in Schwallrohr und Bypass

2.4 Ruhige Oberflächen in Schwallrohr oder Bypass

Berührungslose Radarfüllstandsysteme werden gerade im mm-genauen eichpflichtigen Verkehr (tank gauging) häufig als Ersatz für mechanische Systeme eingesetzt. Dabei sollen die ehemals unabdingbaren Schwallrohre (Fall e) in Bild 1 mit ihren oft zufällig verteilten Bohrungen und Schlitzen weiter verwendet werden. In Prozessanwendungen hingegen werden Verdränger- und Schwimmersysteme auch in vorhandenen Bypassen (Fall f) in Bild 1 durch Radarsysteme mit einer Genauigkeitsforderung von $\pm 3 \text{ mm}$ ersetzt. Es treten hier gegensätzliche Effekte auf: Gerade für Produkte mit

geringer Dielektrizitätszahl (1,4...1,8) wirken sich Bypass und Schwallrohr vorteilhaft auf die Messungen aus, da sie als *Hohlleiter* die Energieverluste über die Entfernung minimieren. Auf der anderen Seite sorgt im Bypass die obere Tankverbindung für sehr starke Störreflexionen, vor allem bei niederen Radarfrequenzen.

3. Gerätetechnische Merkmale

3.1 Puls contra FMCW?

Füllstand-Radarsysteme arbeiten heute zumeist nach dem Puls- oder dem FMCW-Verfahren. Das *Frequency Modulated Continuous Wave*-Verfahren, bei dem die Sendefrequenz variiert wird und die Frequenzänderung des empfangenen gegenüber dem aktuell gesendeten Signals als Maß für die

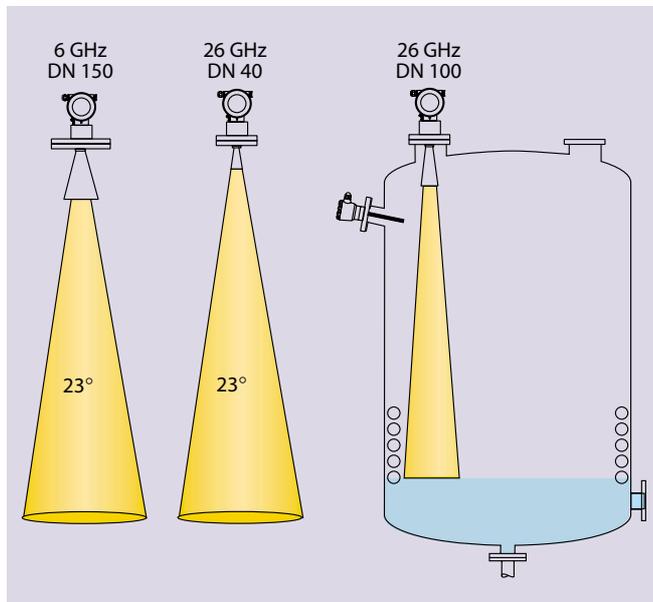


Bild 2: Strahlwinkel und Horndurchmesser bei verschiedenen Trägerfrequenzen.

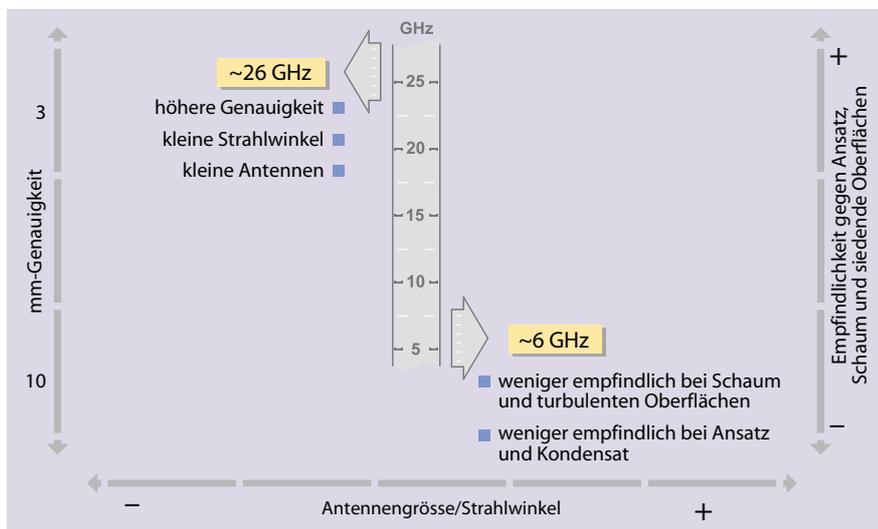


Bild 3: Einfluss der Trägerfrequenz von Radarsystemen auf Strahlwinkel und Störimpfindlichkeit.

Signallaufzeit genutzt wird, war technisch früher realisierbar, wenn auch mit nicht unerheblichem Aufwand für die Temperaturstabilisierung und die Signaltransformation. Die resultierenden hohen Kosten stellten allerdings im Bereich der eichfähigen Messungen kein Problem dar, womit erklärbar ist, dass sich Radarsysteme in diesem Bereich relativ früh etabliert haben.

Puls-Verfahren arbeiten mit Signalen konstanter Frequenz, die von Quarzoszillatoren erzeugt und kontrolliert werden; die kurzen Signallaufzeiten lassen sich durch geeignete Samplingverfahren beherrschen. Vorteilhaft ist hier der geringe Energiebedarf, was die erstmalige Realisierung von 2-Draht-Messumformern gestattete. Zusätzlich erlaubt die geringe abgestrahlte Leistung die Verwendung von Puls-Radar auch ohne Einschränkung außerhalb metallisch geschlossener Behälter, z.B. in Kunststofftanks.

Angesichts der hohen installierten Basis beider Radarverfahren und der beiden Varianten erteilten Zulassungen für den Einsatz in hochgenauen Anwendungen des eichpflichtigen Verkehrs kann jedoch kein Verfahren für sich in Anspruch nehmen, praxistauglicher als das andere zu sein, wenn sich auch ein klarer Preisvorteil für die Puls-System abzeichnet [2].

3.2 Frequenzwahl: 6 GHz oder 26 GHz?

Mit zunehmender Arbeitsfrequenz nimmt die Antennenbaugröße eines Radarsystems ab – ein Vorteil vor allem in kleinen Tanks. Gleichzeitig wird auch der Strahlwinkel bei gleichem Antennendurchmesser mit wachsender Frequenz reduziert (Bild 2), womit Störeffekte vermieden und die Anwendungsgenauigkeit gesteigert wird. Es ist allerdings nicht möglich – wie vereinzelt dargestellt – gleichzeitig den Antennendurchmesser und den Strahlwinkel zu reduzieren. Auf der anderen Seite nimmt die Empfindlichkeit gegenüber Schaum, Kondensat, Ansatz und bewegten Oberflächen zu (Bild 3). Besonders bei einigen Medien wie Ammoniak sind Arbeitsfrequenzen oberhalb von 6 GHz problematisch: Aufgrund der (druckverbreiterten) Absorptionsbanden wird ein erheblicher Teil der Sendeenergie absorbiert.

Bei der Diskussion der Arbeitsfrequenzen ist zu beachten, dass eine mittlere Frequenz von 10 GHz nicht einfach einen Kompromiss darstellt, sondern hinsichtlich beider sich widersprechender Anforderungen – Unempfindlichkeit gegen Prozessbedingungen und kleine Antennen/enge Strahlwinkel – Nachteile in Kauf nimmt. Die Wahl der richtigen Arbeitsfrequenz ist deshalb ein entscheidender Faktor für die Auslegung einer Radarfüllstandmessung.

3.3 Antennentechnik

Im Vergleich zu den bereits diskutierten gerätetechnischen Merkmalen wird

der Stellenwert der Antentechnik oft unterschätzt. Die Abstrahlcharakteristik ist messtechnisch von hoher Bedeutung. Für den Anwender sind aber auch sicherheitstechnische Eigenschaften wie eine gasdichte Durchführung als *second line of defense* vor allem bei der Messung von toxischen Medien und die Leitfähigkeit der Antenne – gerade auch bei PTFE Antennen – als Schutz vor statischer Aufladung von großer Bedeutung. Darüber hinaus spielt die Dichtungsfreiheit, die Korrosionsbeständigkeit und die Materialwahl für die verschiedenen Zulassungen eine große Rolle. In aggressiven Medien empfiehlt sich z. B. der Einsatz von komplett PTFE-plattierten Stabantennen, die keine prozessberührenden Dichtungen aufweisen. Für diese stehen sogar FDA/3A-Zulassungen für hygienische und pharmakologische Prozessanforderungen zur Verfügung. Eine alternative Lösung stellt hier der Einsatz von emaillierten Hornantennen dar.

Als Beispiel für den Einfluss der Antennenkonstruktion auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems soll hier die Planarantenne für den Schwallrohreinsatz genannt werden (Bild 4). Aufgrund der konzentrischen Anordnung vieler Einzelantennen kann hier ein für Schwallrohre vorteilhaft zu verwendender Ausbreitungsmodus der elektromagnetischen Wellen erzeugt werden, der hinsichtlich Schlitzgeometrie und -anordnung, Schweißnähten, Ansatz, Rost und ähnlichen Praxiseinflüssen unempfindlich ist. Das Energiemaximum der Sendeleistung liegt bei dieser Mode auf dem halben Radius (in Bild 4 fett gezeichnete Linie), sodass die Wand-Wechselwirkungen minimiert sind. Demgegenüber senden Hornantennen so genannte TE11 Moden aus, deren elektrische und magnetische Feldlinien offene Enden auf die

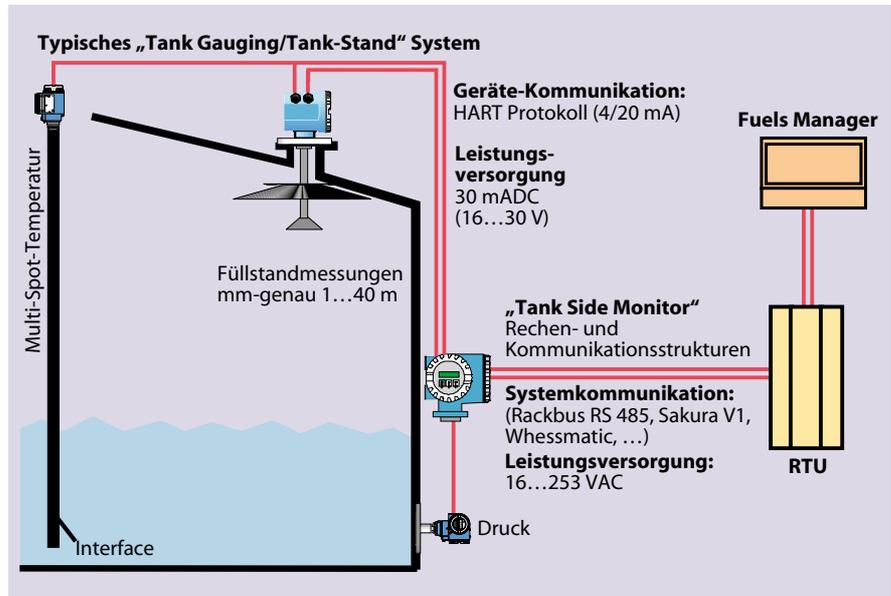


Bild 5: Gesamtsystem zur eichfähigen (Volumen-) Messung.

Rohrinnenseite aufweisen und somit eher von starkem Ansatz etc. beeinflussbar sind.

3.4 Skalierbarkeit

Gerade für hochgenaue Messungen haben sich Radarsysteme etabliert, deren Funktionalität die messtechnischen und kommunikationstechnischen Aufgaben weit übersteigen. Zusätzliche Messgeräte können von diesen Systemen aus gespeist und angesprochen werden; rechentechnische Funktionen wie die Kompensation der Tankbewegung können im Transmitter vorgenommen werden. Diese Großsysteme sind allerdings für Anwender mit weniger umfangreichen Messaufgaben überentwickelt und zu teuer. Ein wichtiges Merkmal stellt somit dar, inwieweit Zusatzfunktionen auf externe Geräte ausgelagert werden können. Bild 5 zeigt hierzu beispielhaft eine Lösung mit einem so genannten *Tank Side Monitor*, der Rechen- und Gatewayfunktionen übernimmt.

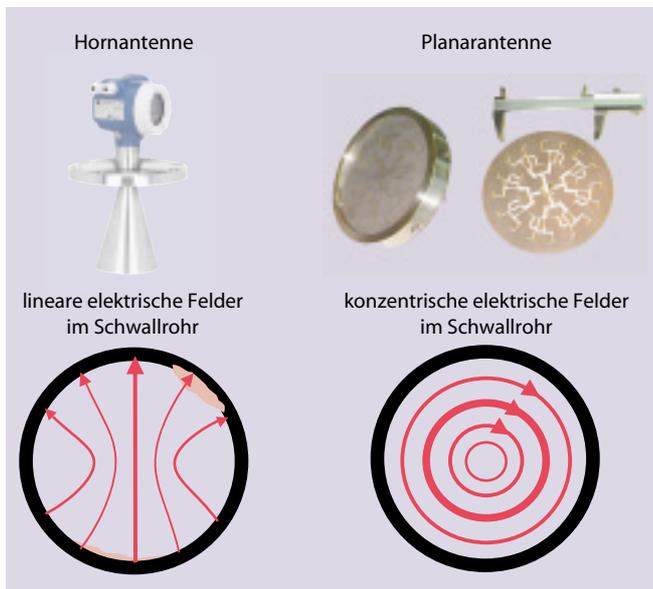


Bild 4: Das elektrische Feld bei Horn- und Planarantennen.

4. Zuordnung geeigneter Radarsysteme zu den verschiedenen Anwendungsklassen

4.1 Hochgenaue (eichpflichtige) Füllstandmessung bei ruhigen Oberflächen

Hochgenaue Füllstandmessungen finden in zwei Bereichen Anwendung, der

- geeichten *Volumenmessung* großer Lagertanks der Petrochemie sowie für hochveredelte chemische Fluide, als auch der
- mm-genauen *Füllstandmessung* (als *stand alone*-Versionen).

Bei der *Volumenmessung* wird die Füllstandmessung in der Regel mit Druck- und Temperaturmessungen verrechnet, um die im Tanklager befindliche Gesamtmenge des Pro-

dukts zu ermitteln (Bild 5). Es liegt auf der Hand, dass angesichts der hohen Genauigkeitsansprüche auch bei der Füllstandmessung Korrekturen aufgrund der temperatur- und druckabhängigen Lage der Referenzpunkte sowie der thermischen und hydrostatischen Tankausdehnung vorgenommen werden müssen. Die Korrektur erfolgt im Allgemeinen über Kennfelder („strapping-tables“).

Die genannten Rechenfunktionen lassen sich vorteilhaft mit Hilfe eines von der eigentlichen Füllstandmessung getrennten Rechen- und Kommunikationssystems lösen, in Bild 5 *Tank Side Monitor* genannt. Hierdurch wird dem Anwender eine offene Wahl hinsichtlich der einzusetzenden Messverfahren und -systeme ermöglicht. Außerdem können an der gemeinsamen Schnittstelle des „Rechensystems“ alle Kommunikationsprotokolle (Modbus, Profibus, ...) des jeweils branchenspezifisch eingesetzten Leitsystems bedient werden.

Zunehmend finden jedoch auch ungeeichte, aber ebenfalls hochgenaue *mm-genaue Füllstandmessungen* Einzug in die Chemische Industrie. Auch hier können nun mm-genaue Radarsysteme eingesetzt werden, deren Genauigkeit auf einer zusätzlichen Auswertung der Reflexionssignale beruht. Entgegen der bei Systemen bis 3 mm Genauigkeit üblichen Amplituden- bzw. Betragsauswertung der empfangenen Energie wird bei diesen Systemen zusätzlich die Phasenlage des Empfangssignals bezüglich eines Referenzsignals betrachtet. Anwendungsvorteile von Radarsystemen mit einer Trägerfrequenz von 6 GHz gegenüber solchen mit 10 GHz oder mehr sind ebenfalls in [2] beschrieben.

Für *Freifeldanwendungen*, d. h. solchen Tankinstallationen, in denen wie in Bild 1a) die Mikrowellen frei in das Tankinnere strahlen können, eignet sich für mm-genaue Messungen vor allem der Einsatz einer Parabolantenne, siehe Bild 6. Hier kann mit großer Apertur der bestmögliche Strahlungskegel erreicht werden. Während planare Freiraumantennen

in der Regel sehr nahe an die Tankwand installiert werden müssen, lassen Parabolantennen eine weitgehend freie Wahl des Wandabstands zu. Durch eine patentierte Kompensation der Mehrwegeausbreitung können auch bei wandnaher Installation hohe Messgenauigkeiten erreicht werden [EP 99 11 36 85.4].

Wird vom Anwender nur eine reine mm-genaue Füllstandmessung erwünscht, dann sollten aus Kosten- und Einfachheitsgründen Radarsysteme eingesetzt werden, die keine unnötige Funktionalität in Form zusätzlicher Druck-, Temperatur oder anderer Sensoreingänge beinhalten. Moderne Systeme zeichnen sich außerdem durch einen geringen Energiebedarf aus, sodass die Verkabelung über Standard-Signalleitungen mit 24VDC Stromversorgung ausgeführt werden kann. Radarsysteme in eigensicherer Ausführung (Ex ia) bieten dem Anwender den Vorteil, dass auch während des Betriebs das Gehäuse geöffnet werden kann – auch dies ist keine Selbstverständlichkeit bei mm-genaue Radarsystemen.

4.2 Füllstandmessung für die Bestandsführung bei ruhigen Oberflächen

Für die mit Bild 1b) eingeführten Anwendungsmerkmale und einer geforderten Anwendungsgenauigkeit von ± 5 mm eignet sich insbesondere der Einsatz eines Radarsystems mit 26 GHz Arbeitsfrequenz. Hohe Genauigkeit und die sehr enge Strahlbündelung stellen hier die entscheidenden Vorteile dar. Besonders bei symmetrischen Einbauten wie Heizschlangen treten verglichen mit niedrigen Frequenzen, deutlich schwächere Störreflexionen auf, was zur Erhöhung der Anwendungssicherheit führt. Bei kleinen Behältern, wie sie vor allem auch in der pharmazeutischen Produktion auftreten, kommen die kleinen Hornantennen (ab 1 1/2“ – siehe Bild 6) zum Einsatz. Neben den geringen Stutzenabmessungen ist es vor allem vorteilhaft, dass bedingt durch die kurze Baulänge dieser Antennen, die Behälter voll ausgelastet werden können.

Die angebotenen Hornversionen sind hinsichtlich Materialbeständigkeit, Druck und Temperatur an die jeweilige Anwendung anzupassen. Einschränkungen der hohen Frequenz bestehen nur – wie in Abschnitt 3.2 diskutiert – beim Auftreten von Schaum.

4.3 Füllstandmessung bei leicht bewegten Oberflächen

Für den mit Bild 1c) eingeführten Fall können die jeweiligen Vorteile beider Arbeitsfrequenzen genutzt werden. 26-GHz-Systeme empfehlen sich für Montagepositionen, in denen ein enger Strahlwinkel von größter Wichtigkeit ist, z. B. bei Einbauten, die sich im Bereich des Radars befinden.



Bild 6: Radargerät mit Parabolantenne bzw. kleinem Horn (26 GHz).

Schaumbildung, wie sie z. B. bei freier Befüllung von oben entstehen kann, ist in jedem Fall ein K.O.-Kriterium für die hohe Frequenz. Aber auch bei niedrigen Frequenzen erfordert das Auftreten von Schaum im Allgemeinen eine Versuchsmessung, da die Reflexionseigenschaften von Schaum u.a. von der Blasengröße und der Dielektrizität des Produkts abhängen und nur sehr schwer vorhergesagt werden können. Als Alternative kann in solchen Fällen eine Differenzdruckmessung empfohlen werden. Starke Ansatzbildung auf der Antenne oder das Auftreten von Dämpfen, die Mikrowellen absorbieren (z. B. Ammoniak NH_3), sind ebenfalls Gründe, Geräte mit niedrigen Frequenzen einzusetzen.

4.4 Füllstandmessung bei stark bewegten Oberflächen

Prozessanwendungen nach Bild 1d) sollten immer mit der niedrigen Arbeitsfrequenz von 6 GHz gelöst werden. Während der Laufzeit des Rührwerks ist neben der Oberflächenbewegung bis hin zur Trombenbildung in der Mehrzahl der Fälle mit dem Auftreten von Schauminseln zu rechnen. Spritzer des Mediums auf die Antennen lassen sich oftmals nicht vermeiden, was dann zu Ansatzbildung führen kann. Auch die teilweise hohen Anforderungen an Temperatur und Druck in diesen Anwendungen können – zumindest derzeit – nur mit Geräten niedriger Frequenz gelöst werden.

Zusätzlich ist hier die Messgeschwindigkeit der eingesetzten Systeme wichtig. Aufgrund ihrer vergleichsweise unbeschränkten Leistungsreserve kann bei extremen Bedingungen der Einsatz von 4-Draht-Systemen empfohlen werden. Dazu gehören vor allem Anwendungen mit mehrstufigen Rührwerken, Strombrechern, etc. Eine entscheidende Rolle spielt hier neben der Auswahl des richtigen Radarsystems aber vor allem der Einbauort.

4.5 Füllstandmessung in Schwallrohren und Bypass

Für mm-genaue Schwallrohrenanwendungen werden die in Abschnitt 3.3 näher beschriebenen Planarantennen mit einer Arbeitsfrequenz von 6 GHz empfohlen. Gerade hinsichtlich der recht willkürlich orientierten Bohrungen und Schlitze in Schwallrohren großer Lagertanks bietet die TE01 Mode dieser Antenne hohe Anwendungssicherheit.

Für Standardanwendungen sind wieder Geräte mit 26 GHz vorteilhaft. Die Messbedingungen in Rohren sind definiert, und es kann hier eine optimale Genauigkeit erreicht werden. Es ist allerdings darauf zu achten, dass Horn- und Rohrdurchmesser gleich groß sind, damit keine Messfehler durch Mehrmodenausbreitung erzeugt werden. Bei Schwallrohren mit Zwischengrößen können Hornantennen problemlos gekürzt und damit auf Maß gebracht werden.

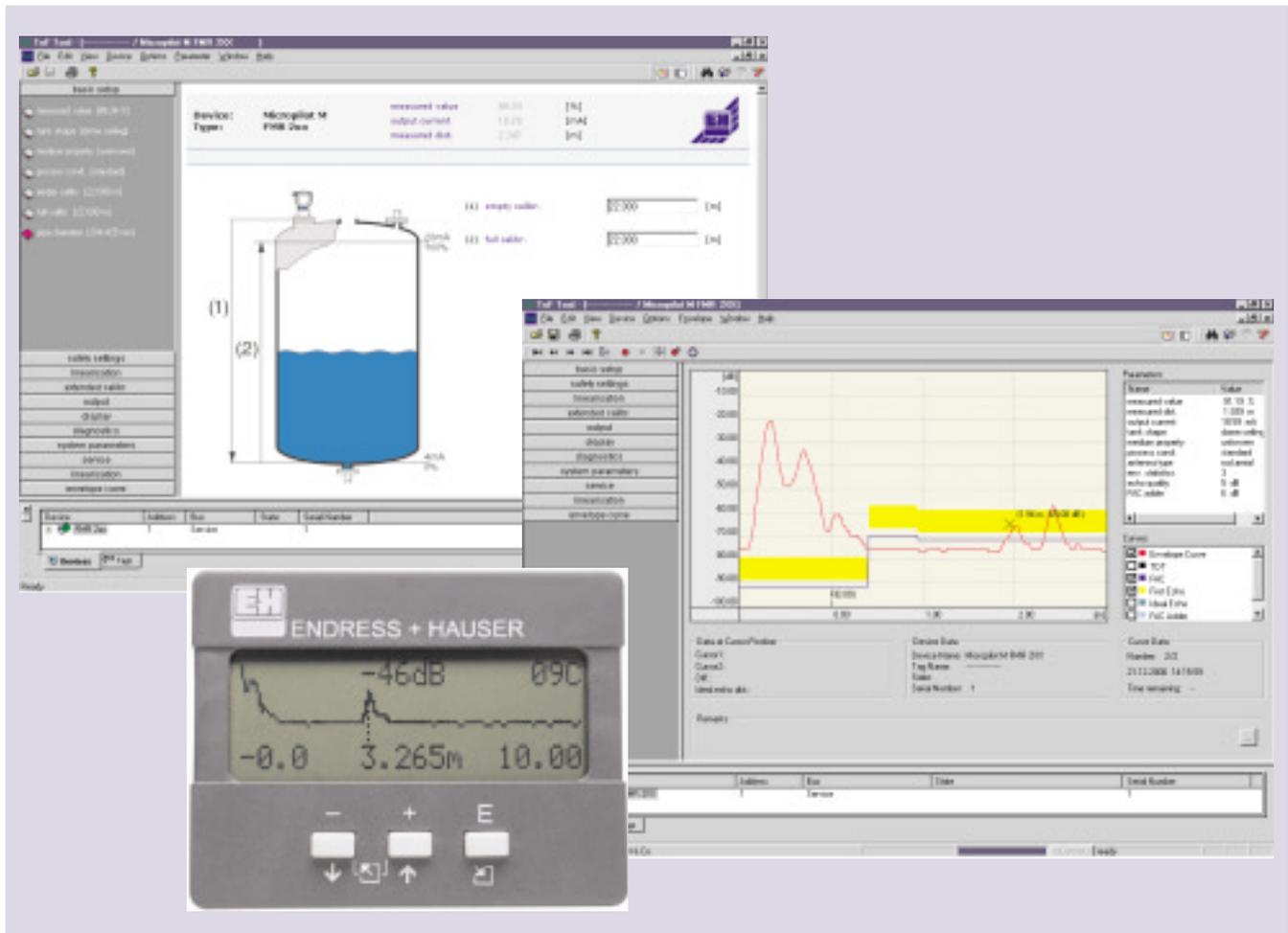


Bild 7: Inbetriebnahme- und Diagnosewerkzeug für Laufzeitverfahren.

Auch in Bypassanwendungen haben sich 26-GHz-Systeme bewährt, da diese sich als vorteilhaft hinsichtlich der Störreflexionen im Bereich der oberen Tankverbindung erwiesen haben und die Hornantennen klein genug für die übliche Dimensionierung sind.

6. Ausblick

Die beschriebene Vielfalt der Hauptmerkmale von Radarsystemen (Trägerfrequenzen, Antennen, Ex-Schutzgruppen, ...) birgt für die Anwender gerade auch in der betrieblichen Praxis die Gefahr der *Komplexität*. Besonderes Augenmerk wird deshalb bei neuen Entwicklungen auf folgende Punkte gelegt:

- Ein *einheitliches* und *durchgängiges* „look and feel“ der Systeme über die verschiedenen Typen hinweg,
- die Bereitstellung von einheitlichen *Werkzeugen* zur Inbetriebnahme, Diagnose und Dokumentation,
- einfache, verständliche *Prozeduren* (*Montage, Inbetriebnahme, Wartung*), die von den Anwendern keine Spezialkenntnisse erfordern.

Dem wird in modernen Radarlinien sowohl durch Hardware als auch Softwaremerkmale Rechnung getragen. Großzügige Vor-Ort-Anzeigen mit einem Klartextmenu, in dem auch Meldungen und Alarme sowie Handlungshinweise in verständlicher Form erscheinen, sind dabei unabdingbar. Parallel werden rechnergestützte Werkzeuge angeboten, die in übersichtlicher Form die einzelnen Arbeitsschritte erleichtern und in Windows-Manier kontextsensitive Hilfen und Erklärungen anbieten. Durch geführte, anwendungsspezifische InbetriebnahmeprozEDUREN können hier typische Feh-

lerquellen von vorneherein minimiert werden. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme ist die Beurteilung der Messsicherheit z.B. durch eine Hüllkurvendarstellung („der Blick in den Tank“) von Bedeutung. Bild 7 zeigt zu diesen Punkten beispielhaft die Ansicht eines Inbetriebnahme- und Diagnosewerkzeugs sowie der Vor-Ort-Anzeige für das Füllstandradar der Firma Endress+Hauser.

Literatur

- [1] American Petroleum Institut (API): Measurement Standards. Chapter 3: Tank gauging. 6th draft of the proposed second edition, august 1999.
- [2] Heim, M.: Puls-Radar zur mm-genauen Füllstandmessung. tm – Technisches Messen 67 (2000) H. 5, S. 208-213.



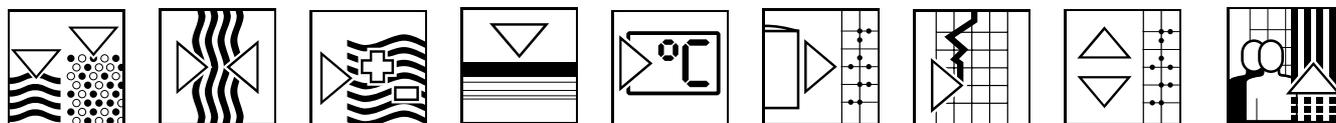
Dr.-Ing. *Michael Heim* und Dr.-rer. nat. *Andreas Mayr* sind Produktmanager für Füllstandmessgeräte bei Endress+Hauser GmbH+Co.

Adresse: Endress+Hauser GmbH+Co., Hauptstraße 1, D-79689 Maulburg, Tel. (0 76 22) 28-19 96 bzw. 28-25 76, E-Mail: michaelj.heim@pcm.endress.com



Dr.-rer. nat. *Andreas Mayr*

Adresse: siehe oben. Tel. (0 76 22) 28-19-96. E-Mail: andreas.mayr@pcm.endress.com



Vertriebszentrale Deutschland

Endress+Hauser
Messtechnik GmbH+Co.
Colmarer Straße 6
D-79576 Weil am Rhein

Tel: 0 76 21 / 9 75 - 01
Fax: 0 76 21 / 9 75 - 555
E-Mail: Info@de.endress.com
Internet: www.de.endress.com

Endress + Hauser

The Power of Know How

