



(10) **DE 10 2019 102 142 A1** 2020.07.30

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 102 142.1**  
 (22) Anmeldetag: **29.01.2019**  
 (43) Offenlegungstag: **30.07.2020**

(51) Int Cl.: **G01R 27/26 (2006.01)**  
**G01N 27/22 (2006.01)**  
**G01F 23/26 (2006.01)**  
**G01F 23/284 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Endress+Hauser SE+Co. KG, 79689 Maulburg, DE**

(74) Vertreter:  
**Andres, Angelika, Dipl.-Phys., 79576 Weil am Rhein, DE**

(72) Erfinder:  
**Blödt, Thomas, 79585 Steinen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>10 2006 019 688</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2012 106 938</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2015 117 205</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2016 120 231</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2016 / 0 113 113</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2017/ 045 788</b>	<b>A1</b>

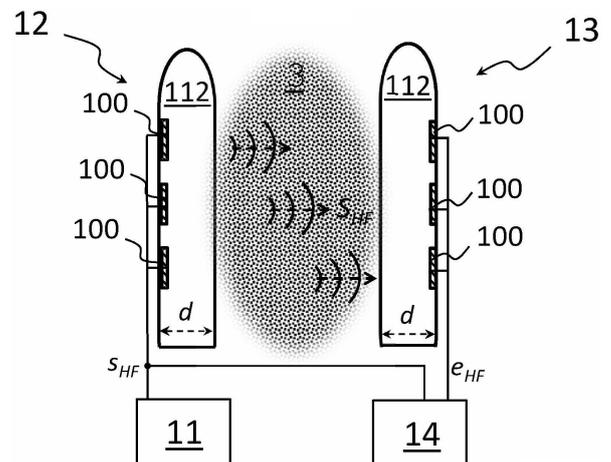
**DEVINE, Peter: Radar Level measurement - the user's guide. Burgess Hill, West Sussex, United Kingdom: VEGA Controls Ltd., 2000. - ISBN 0-9538920-0-X. - Inhaltsverzeichnis**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Messgerät**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Messgerät (1) und eine entsprechendes Verfahren zur Messung eines Dielektrizitätswertes (DK) eines Füllgutes (3). Das Messgerät umfasst folgende Komponenten: Eine Signalerzeugungseinheit (11) zur Ansteuerung einer Sende-Einheit (12) mittels eines elektrischen Hochfrequenz-Signals ( $s_{HF}$ ), so dass ein Radar-Signal ( $S_{HF}$ ) in Richtung des Füllgutes (3) ausgesendet wird; Eine Empfangs-Einheit (13) zum anschließenden Empfang des Radar-Signals ( $S_{HF}$ ), und: Eine Auswertungseinheit (14), um anhand des Empfangs-Signals ( $e_{HF}$ ) eine Amplitude des Empfangs-Signals ( $e_{HF}$ ), eine Phasenverschiebung und/oder eine Signal-Laufzeit des Radar-Signals ( $S_{HF}$ ) zu ermitteln. Anhand der ermittelten Signal-Laufzeit, der Phasenverschiebung und/oder der ermittelten Amplitude kann der Dielektrizitätswert (DK) bestimmt werden. Erfindungsgemäß umfassen die Sende-Einheit (12) bzw. die Empfangs-Einheit (13) mindestens zwei Strahlelemente (100), die in einer korrespondierenden Anzahl an Zeilen (201, 202, 203) untereinander angeordnet sind. Durch die pro Zeile (201, 202, 203) zunehmende Phasenverzögerung erhöht sich der Messbereich, über den der Dielektrizitätswert (DK) bestimmt werden kann.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Messgerät zur Bestimmung des Dielektrizitätswertes eines Füllgutes sowie ein Verfahren zum Betrieb des Messgerätes.

**[0002]** In der Automatisierungstechnik, insbesondere in der Prozessautomatisierungstechnik, werden vielfach Feldgeräte eingesetzt, die zur Erfassung und/oder zur Beeinflussung von Prozessvariablen dienen. Zur Erfassung von Prozessvariablen werden Sensoren eingesetzt, die beispielsweise in Füllstandsmessgeräten, Grenzstandmessgeräten, Durchflussmessgeräten, Druck- und Temperaturmessgeräten, pH-Messgeräten, Leitfähigkeitsmessgeräten, oder Dielektrizitätswert-Messgeräten zum Einsatz kommen. Sie erfassen die entsprechenden Prozessvariablen, wie Füllstand, Grenzstand, Durchfluss, Druck, Temperatur, pH-Wert, Redoxpotential, Leitfähigkeit, oder den Dielektrizitätswert. Dabei werden unter dem Begriff „Behälter“ im Rahmen der Erfindung auch nicht-abgeschlossene Behältnisse, wie beispielsweise Becken, Seen oder fließende Gewässer verstanden. Eine Vielzahl dieser Feldgeräte wird von der Firma Endress + Hauser hergestellt und vertrieben.

**[0003]** Die Bestimmung des Dielektrizitätswertes (auch bekannt als „Dielektrizitätskonstante“, „Dielektrizitätszahl“ oder „Relative Permittivität“) ist sowohl bei Feststoffen, als auch bei flüssigen Füllgütern, wie beispielsweise Treibstoffen, Abwässern oder Chemikalien von großem Interesse, da dieser Wert einen zuverlässigen Indikator für Verunreinigungen, den Feuchtegehalt oder die Stoffzusammensetzung darstellen kann. Zur Bestimmung des Dielektrizitätswertes kann nach dem Stand der Technik vor allem bei flüssigen Füllgütern auf das kapazitive Messprinzip zurückgegriffen werden. Dabei wird der Effekt genutzt, dass sich die Kapazität eines Kondensators proportional mit dem Dielektrizitätswert desjenigen Mediums, das sich zwischen den zwei Elektroden des Kondensators befindet, ändert.

**[0004]** Alternativ ist es auch möglich, den Dielektrizitätswert eines (flüssigen) Mediums in einem Behälter-Inneren quasi parasitär bei dessen Füllstandsmessung mitzubestimmen. Dies erfordert das Messprinzip des geführten Radars, bei dem Mikrowellen über einen elektrisch leitfähigen Wellenleiter in das Medium geführt werden. Beschrieben ist diese kombinierte Füllstands- und Dielektrizitäts-Messung in der Offenlegungsschrift DE 10 2015 117 205A1.

**[0005]** Eine weitere Alternative zum kapazitiven oder Mikrowellen-basierten Dielektrizitätswert-Messung besteht in induktiver Messung. Dieses Messprinzip beruht darauf, dass die resultierende Impedanz einer Spule nicht nur von ihrer Windungszahl, dem Windungsmaterial und dem Material des Spu-

lenkerns abhängt, sondern auch vom Füllgut, das jeweils an die Spule angrenzt und somit vom Magnetfeld der Spule durchdrungen wird. Dementsprechend kann der Dielektrizitätswert mittels Messung der komplexen Spulen-Impedanz bestimmt werden.

**[0006]** Auf Basis der oben genannten Messprinzipien ist gegebenenfalls eine sehr genaue Bestimmung des Dielektrizitätswertes möglich. Allerdings nimmt der Wertebereich, in dem der Dielektrizitätswert bestimmbar ist, in der Regel umso mehr ab, je genauer der Wert messbar ist. Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Messgerät bereitzustellen, mit dem der Dielektrizitätswert über einen möglichst großen Wertebereich bestimmbar ist.

**[0007]** Die Erfindung löst diese Aufgabe durch ein Messgerät zur Messung eines Dielektrizitätswertes eines Füllgutes, das folgende Komponenten umfasst:

- Eine Signalerzeugungseinheit, die konzipiert ist, um
- eine Sende-Einheit derart mittels eines elektrischen Hochfrequenz-Signals anzusteuern, dass die Sende-Einheit ein Radar-Signal in Richtung des Füllgutes aussendet,
- eine Empfangs-Einheit, die so im Behälter anordbar ist, um das Radar-Signal nach Durchlauf durch das Füllgut als Empfangs-Signal zu empfangen, und
- eine Auswertungseinheit, die ausgelegt ist, um zumindest anhand des Empfangs-Signals
  - eine Amplitude des Empfangs-Signals, eine Phasenverschiebung des Empfangs-Signals zum Hochfrequenz-Signal und/oder eine Signallaufzeit des Radar-Signals zwischen der Sende-Einheit und der Empfangs-Einheit zu ermitteln, und
  - um anhand der ermittelten Signallaufzeit, der Phasenverschiebung und/oder der ermittelten Amplitude den Dielektrizitätswert zu bestimmen.

**[0008]** Zur Erhöhung des Messbereichs zeichnet das erfindungsgemäße Messgerät dadurch aus, dass die Sende-Einheit und/oder die Empfangs-Einheit zumindest zwei Strahlelemente, die in einer korrespondierenden Anzahl an Zeilen untereinander angeordnet sind, umfassen/umfasst. Dabei ist in Bezug zur jeweils anderen Einheit, also der Sende- oder Empfangs-Einheit, vor den Strahlern eine das Radar-Signal transmittierende Schicht angebracht.

**[0009]** Unter dem Begriff „Einheit“ wird im Rahmen der Erfindung prinzipiell jede elektronische Schaltung verstanden, die für ihren Einsatzzweck geeignet ausgelegt ist. Es kann sich also je nach Anforderung um eine Anlogschaltung zur Erzeugung bzw. Verarbei-

tung entsprechender analoger Signale handeln. Es kann sich jedoch auch um eine (halbleiterbasierte) Digitalschaltung wie einem FPGA oder einen Speichermedium in Zusammenwirken mit einem Programm handeln. Dabei ist das Programm ausgelegt, die entsprechenden Verfahrensschritte durchzuführen bzw. die notwendigen Rechenoperationen der jeweiligen Einheit anzuwenden. In diesem Kontext können verschiedene elektronische Einheiten des Messgerätes im Sinne der Erfindung potentiell auch auf einen gemeinsamen physikalischen Speicher zurückgreifen bzw. mittels derselben physikalischen Digitalschaltung betrieben werden.

**[0010]** Im Kontext dieser Erfindung definiert sich der Begriff „Radar“ als allgemein als Signal bzw. elektromagnetische Welle mit einer Frequenz zwischen 0.03 GHz und 300 GHz. Bezüglich des erfindungsgemäßen Messgerätes ist es jedoch von Vorteil, wenn die Signalerzeugungseinheit ausgelegt ist, das Hochfrequenz-Signal mit einer Frequenz oberhalb von 1 GHz zu erzeugen.

**[0011]** Unter der Funktion eines „Strahlelementes“ wird im Rahmen der Erfindung zum einen die Wirkweise von Antennen im Allgemeinen verstanden, wonach das Radar-Signal im Nahfeld als auch im Fernfeld abgestrahlt wird. Unter Strahlelementen werden jedoch auch jegliche Elemente verstanden, die Radar-Signale lediglich im Nahfeld abstrahlen. Aufgrund der reziproken Eigenschaften des Sendens und Empfangens gilt diese Eigenschaft analog zur Abstrahlung ebenso für den Empfang des Radar-Signals.

**[0012]** Erfindungsgemäß wird der Effekt genutzt, dass zwischen den einzelnen Zeilen eine zu- bzw. abnehmende Phasenverzögerung eingestellt werden kann. Diese bewirkt einen Messbereich-erhöhenden Effekt, wie es analog hierzu in der Audiotechnik als „Dynamik-Kompression“ bzw. in der Bildverarbeitung als „Tone Mapping“ bekannt ist.

**[0013]** Zum einen ist es möglich, eine zunehmende Phasenverzögerung pro Zeile zu erreichen, indem dem zumindest einen Strahlelement jeder Zeile zumindest ein Verzögerungsglied derart vor- bzw. nachgeschaltet wird, so dass das Hochfrequenz-Signal pro Zeile mit jeweils einer definiert zunehmenden Phasen-Verzögerung ausgesendet wird, bzw. dass das durch das zumindest eine Strahlelement empfangene Empfangs-Signal mit zunehmender Zeile um jeweils eine definiert zu- oder abnehmende Phase verzögert ist. Realisiert werden kann ein Verzögerungsglied beispielsweise, wie es in der Veröffentlichungsschrift DE102012106938 A1 beschrieben ist.

**[0014]** Alternativ kann die Phase des Radar-Signals Zeilen-abhängig verzögert werden, indem die Sendeeinheit und die Empfangs-Einheit derart zueinander verkippt werden, dass das zumindest eine Strahlele-

ment jeder Zeile mit zunehmender Zeile einen jeweils zu- oder abnehmenden Abstand zu dem zumindest einen Strahlelement der korrespondierenden Zeile der jeweils anderen Einheit aufweist. Diese Variante der verkippten Anordnung beschränkt sich nicht allein darauf, dass beide Einheiten (Sende- und Empfangs-Einheit) eine korrespondierende Anzahl an Zeilen, in denen jeweils zumindest ein Strahlelement angeordnet ist, umfassen.

**[0015]** Darüber hinaus besteht eine weitere Möglichkeit zur Realisierung der Zeilenabhängigen Phasenverzögerung darin, dass die transmittierende Schicht eine Dicke aufweist, die pro Zeile jeweils definiert zu- oder abnimmt. Vor allem, wenn die pro Zeile zunehmende Phasenverzögerung des Radar-Signals durch eine zu- oder abnehmende Schichtdicke der transmittierenden Schicht eingestellt werden soll, bietet es sich an, die transmittierende Schicht aus einem Material zu fertigen, dass eine relativen Dielektrizitätszahl zwischen 2 und 40 aufweist, bzw. wenn dieses Material eine magnetische Permeabilität zwischen 0, 5 und 10 aufweist. Dementsprechend können als potentielle Materialien beispielsweise:

- Keramiken wie  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,
- (Glasfaserverstärkte) Kunststoffe, wie insbesondere PE, PP, PTFE,
- oder metallische Gläser, wie beispielsweise gemäß der Veröffentlichungsschrift US 20160113113 A1 beschrieben,

eingesetzt werden.

**[0016]** Im Rahmen der Erfindung ist es nicht vorgeschrieben, wie viele Strahlelemente pro Zeile angeordnet sind. Zu einer Vergrößerung der Apertur in seitlicher Richtung und somit zu einer Steigerung der Auflösung der Dielektrizitätswert-Messung ist es jedoch vorteilhaft, wenn pro Zeile zumindest zwei, insbesondere mehr als 5 Strahlelemente an der Sendeeinheit bzw. der Empfangs-Einheit angeordnet sind. Im Falle mehrerer Strahlelemente pro Zeile bietet es sich an, wenn eine Leiterbahnstruktur an der Sendeeinheit bzw. der Empfangs-Einheit die Strahlelemente einer Zeile derart symmetrisch kontaktiert, dass das Hochfrequenz-Signal bzw. das Empfangs-Signal an jedem Strahlelement der jeweiligen Zeile phasengleich ist. Hierdurch wird verhindert, dass die Strahlelemente der selben Zeile unterschiedliche Phasenverzögerungen hervorrufen.

**[0017]** Neben der Anzahl an Strahlelementen ist es zudem nicht fest vorgegeben, wie viele Zeilen die Sendeeinheit oder die Empfangs-Einheit umfasst. Da auch mit steigender Anzahl an Zeilen die Apertur erhöht wird bzw. Auflösung der Dielektrizitätswert-Messung steigt, ist es jedoch von Vorteil, wenn die Sendeeinheit bzw. die Empfangs-Einheit mehr als zwei, insbesondere mehr als 5 Zeilen mit jeweils

zumindest einem Strahlelement umfassen/umfasst. Zur kompakten Auslegung der Sende-Einheit und der Empfangs-Einheit ist es allgemein von Vorteil, die Strahlelemente als Planar-Strahler, insbesondere als Patch-, Spiral-, Dipol- oder Fraktal-Antennen auszu-legen.

**[0018]** Das anzuwendende Verfahren zur Bestimmung der Signallaufzeit des Radar-Signals (und somit zur Bestimmung des Realteils des Dielektrizitäts-wertes) ist erfindungsgemäß nicht fest vorgegeben. So kann als Messprinzip beispielsweise das Pulslaufzeit-Verfahren, das FMCW-Verfahren (Akronym für „Frequency Modulated Continuous Wave“) oder ein Phasenauswertungs-Verfahren, wie bspw. ein interferometrisches Verfahren, angewendet werden. Die Messprinzipien des FMCW- und Pulsradar- basierten Laufzeit-Messverfahren werden beispielsweise in „Radar Level Measurement“; Peter Devine, 2000 beschrieben.

**[0019]** Wenn das Messgerät die Signallaufzeit mittels des FMCW-Verfahrens bestimmen soll, so ist die Signalerzeugungseinheit auszulegen, um das Hochfrequenz-Signal derart mit einer variierenden Frequenz zu erzeugen, so dass die Auswertungseinheit die Signal-Laufzeit anhand einer Differenzfrequenz zwischen dem ausgesendeten Radar-Signal und dem empfangenen Radar-Signal bestimmen kann. Bei Implementierung des Pulslaufzeit-Verfahrens ist die Signalerzeugungseinheit auszulegen, um das Hochfrequenz-Signal derart pulsförmig zu erzeugen, so dass die Auswertungseinheit die Signal-Laufzeit anhand einer Pulslaufzeit zwischen der Sende-Einheit und der Empfangs-Einheit bestimmen kann. Unabhängig vom Messprinzip zur Bestimmung der Laufzeit ist es von Vorteil, wenn die Signalerzeugungseinheit ausgelegt ist, das Hochfrequenz-Signal mit einer Frequenz von mindestens 1 GHz zu erzeugen. Je höher die Frequenz eingestellt wird, desto kompakter kann das Messgerät insgesamt ausgelegt werden. Außerdem kann bei höheren Frequenzen auch der Dielektrizitätswert von Füllgütern mit höherer elektrischer Leitfähigkeit, wie beispielsweise salzhaltigen Flüssigkeiten, bestimmt werden, ohne dass ein Kurzschluss zwischen der Sende-Einheit und der Empfangs-Einheit verursacht wird.

**[0020]** Analog zum erfindungsgemäßen Messgerät wird die Aufgabe, die der Erfindung zugrunde liegt, zudem durch ein entsprechendes Messverfahren gelöst, mittels dem ein Dielektrizitätswert eines in einem Behälter befindlichen Füllgutes bestimmt werden kann. Korrespondierend zum Messgerät umfasst das Messverfahren folgende Verfahrensschritte:

- Aussenden eines Radar-Signals in Richtung des Füllgutes,
- Empfang des Radar-Signals nach Durchlauf durch das Füllgut,

- Bestimmung einer Amplitude des empfangenen Radar-Signals, einer Phasenverschiebung zwischen Aussenden und Empfang des Radar-Signals und/oder einer Signal-Laufzeit zwischen Aussenden und Empfang des Radar-Signals, und

- Ermittlung des Dielektrizitätswertes anhand der Amplitude, der Phasenverschiebung und/oder der Signallaufzeit.

**[0021]** Das Verfahren zeichnet sich analog zum erfindungsgemäßen Messgerät dadurch aus, dass das Radar-Signal über Strahlelemente, die in zumindest zwei untereinander angeordneten Zeilen angeordnet sind, derart ausgesendet und/oder empfangen wird, so dass das von dem zumindest einen Strahlelement pro Zeile empfangene Empfangs-Signal mit zunehmender Zeile um jeweils eine definiert zu- oder abnehmende Phase verzögert ist.

**[0022]** Anhand der nachfolgenden Figuren wird die Erfindung näher erläutert. Es zeigt:

**Fig. 1:** eine schematische Anordnung eines erfindungsgemäßen Messgerätes an einem Behälter,

**Fig. 2:** einen prinzipiellen Aufbau des erfindungsgemäßen Messgerätes,

**Fig. 3:** eine Frontalansicht der Sende-Einheit bzw. der Empfangs-Einheit, und

**Fig. 4:** eine mögliche symmetrische Ansteuerung der Strahlelemente in einer Zeile der Sende-Einheit bzw. der Empfangs-Einheit.

**[0023]** Zum allgemeinen Verständnis des erfindungsgemäßen Messgerätes **1** ist in **Fig. 1** eine schematische Anordnung des Messgerätes **1** an einem geschlossenen Behälter **2** gezeigt. Es versteht sich dabei von selbst, dass die Erfindung auch an offenen Behältnissen wie Rohren eingesetzt werden kann. In dem in **Fig. 2** gezeigten Behälter **2** befindet sich ein Füllgut **3**, dessen Dielektrizitätswert **DK** zu bestimmen ist. Hierzu ist das Messgerät **1** seitlich an einem Anschluss des Behälters **2**, wie bspw. einem Flanschanschluss angeordnet. Dabei ist das Messgerät **1** so ausgelegt, dass eine Sende-Einheit **12** und eine Empfangs-Einheit **13** des Messgerätes **1** über die Innenwand des Behälters **2** hinaus in das Behälter-Innere abstehen und dadurch in Kontakt mit dem Füllgut **3** stehen. Diese Einheiten **12**, **13** sind in der gezeigten Ausführungsform parallel, also ohne Verkipfung zueinander ausgerichtet. Dabei befindet sich das Füllgut **3** zumindest teilweise zwischen diesen zwei Einheiten **12**, **13** befindet.

**[0024]** Bei dem Füllgut **3** kann es sich um Flüssigkeiten wie Getränke, Lacke, Zement oder Treibstoffe wie Flüssiggase oder Mineralöle handeln. Denkbar ist jedoch auch die Verwendung des Messgerätes **1**

bei Schüttgut-förmigen Füllgütern **3**, wie bspw. Getreide oder Mehl. Je nach Art des Füllgutes **3** weist es also einen sehr unterschiedlichen Dielektrizitätswert **DK** auf. Dementsprechend muss das Messgerät **1** ausgelegt sein, den Dielektrizitätswert **DK** in einem sehr weiten Messbereich bestimmen zu können.

**[0025]** Das Messgerät **1** kann mit einer übergeordneten Einheit **4**, zum Beispiel einem Prozessleitsystem, verbunden sein. Als Schnittstelle kann etwa „PROFIBUS“, „HART“ oder „Wireless HART“ implementiert sein. Hierüber kann der Dielektrizitätswert **DK** übermittelt werden. Es können aber auch anderweitige Informationen über den allgemeinen Betriebszustand des Messgerätes **1** kommuniziert werden.

**[0026]** Der prinzipielle schaltungstechnische Aufbau des Messgerätes **1** wird anhand von **Fig. 2** näher veranschaulicht: Wie zu erkennen ist, dient die Sendeeinheit **12** zum Aussenden eines Radar-Signal  $S_{HF}$ . Die parallel gegenüber angeordnete Empfangseinheit **13** dient zum Empfang des Radar-Signals  $S_{HF}$ , nachdem es das Füllgut **3** zwischen den zwei Einheiten **12**, **13** durchdrungen hat.

**[0027]** Zur Erzeugung des Radar-Signals  $S_{HF}$  steuert eine Signalerzeugungseinheit **11** die Sendeeinheit **12** mittels eines entsprechenden Hochfrequenz-Signals  $s_{HF}$  an. Dabei wird die Wellenlänge des Radar-Signals  $S_{HF}$  durch die Frequenz des Hochfrequenz-Signals  $s_{HF}$  festgelegt. Da der Dielektrizitätswert **DK** des Füllgutes **3** erfindungsgemäß durch Messung der Amplitude des empfangenen Radar-Signals  $S_{HF}$  bzw. durch Messung der Signal-Laufzeit zwischen der Sendeeinheit **12** und der Empfangseinheit **13** ermittelt wird, ist die Empfangseinheit **13** an eine hierzu ausgelegte Auswertungseinheit **14** angeschlossen. Hierdurch empfängt die Auswertungseinheit **14** das an der Empfangseinheit **13** eintreffende Radar-Signal  $S_{HF}$  entsprechend als elektrisches Empfangssignal  $e_{HF}$ . Da sich die Amplitude proportional zum Imaginärteil des Dielektrizitätswertes **DK** verhält, kann anhand der Amplitude des empfangenen Radar-Signals  $S_{HF}$  der Imaginärteil bestimmt werden. Analog gilt dies für die Signal-Laufzeit bzw. die Phasenverschiebung und den Realteil des Dielektrizitätswertes **DK**.

**[0028]** Da es erfindungsgemäß nicht fest vorgeschrieben ist, welches Messprinzip zur Bestimmung der Signal-Laufzeit des Radar-Signals  $S_{HF}$  eingesetzt wird, sind die Auswertungseinheit **14** und der Signalerzeugungseinheit **11** in Abhängigkeit des implementierten Messprinzips auszulegen. Hierbei kann auf jeweils bekannte Schaltungskomponenten zurückgegriffen werden: Im Fall von FMCW kann die Signalerzeugungseinheit **11** auf Basis einer PLL („Phase Locked Loop“) aufgebaut sein; Die Auswertungseinheit **14** kann mittels eines Mischers das

gesendete Hochfrequenz-Signal  $s_{HF}$  mit dem Empfangssignal  $e_{HF}$  mischen, um anhand der Differenzfrequenz des gemischten Signals die Laufzeit zu ermitteln. Dies kann beispielsweise per FFT („Fast Fourier Transformation“) des gemischten Signals  $e_{HF}$  mittels eines entsprechenden Rechenblocks erfolgen.

**[0029]** Bei Implementierung des Puls-Laufzeit-Verfahrens kann die Signalerzeugungseinheit **11** zur pulsförmigen Erzeugung des Hochfrequenz-Signals  $s_{HF}$  einen entsprechend zyklisch angesteuerten Oszillator, beispielsweise einen spannungsgesteuerten Oszillator oder lediglich einen Quarzoszillator, umfassen. Die Auswertungseinheit **14** kann das Empfangssignal  $e_{HF}$  beim Puls-Laufzeit-Verfahren durch Unterabtastung verarbeiten. Somit kann die Auswertungseinheit **14** die Signal-Laufzeit des korrespondierenden Signalmaximums anhand des abgetasteten und somit zeitgedehnten Signals ermitteln. Es versteht sich im Zusammenhang der Laufzeit-Bestimmung von selbst, dass alternativ zum Puls-Laufzeit-Verfahren oder dem FMCW-Verfahren jegliche andere geeignete Methode zur Bestimmung der Signal-Laufzeit angewendet werden kann. Eine weitere mögliche Methode zur Laufzeit-Bestimmung ist beispielsweise in der Veröffentlichungsschrift WO 2017045788 A1 beschrieben.

**[0030]** Bezüglich der Struktur können die Sendeeinheit **12** und die Empfangseinheit **13** prinzipiell analog aufgebaut sein: Kern der Erfindung ist hierbei, dass die Sendeeinheit **12** und/oder die Empfangseinheit **13** nicht nur ein Strahlelement **100** aufweisen, sondern zumindest zwei Strahlelemente **100**, die zeilenförmig untereinander angeordnet sind. Bei der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsvariante weisen beide Einheiten **12**, **13** drei Zeilen **201**, **202**, **203** auf, in denen jeweils Strahlelemente **100** angeordnet sind (vgl. auch **Fig. 3**). Vor den Strahlelementen **100** (in Bezug zur jeweils anderen Einheit **12**, **13**) ist zu deren Schutz gegen das Füllgut **3** jeweils eine Schicht **112** angebracht, die für das Radar-Signal  $S_{HF}$  transmittierend ist. Geeignete Schicht-Materialien sind beispielsweise  $Al_2O_3$ , PE, PP, PTFE oder metallische Gläser.

**[0031]** Im Sinne der Erfindung sind die Strahlelemente **100** der einzelnen Zeilen **201**, **202**, **203** so durch die Sendeeinheit **12** bzw. die Empfangseinheit **13** anzusteuern, dass das von den Strahlelementen **100** empfangene Empfangssignal  $e_{HF}$  mit zunehmender Zeile **201**, **202**, **203** um jeweils eine definiert zu- oder abnehmende Phase verzögert wird. Dies kann prinzipiell auf zwei Arten implementiert werden: Zum einen kann das Radar-Signal  $S_{HF}$  bereits an der Sendeeinheit **12** mit pro Zeile zunehmender Phasenverzögerung ausgesendet werden. Alternativ oder zusätzlich hierzu kann die pro Zeile zunehmende Phasenverzögerung auch an der Empfangseinheit **13** herbeigeführt werden. Durch die

pro Zeile **201, 202, 203** zunehmende Phasenverzögerung erhöht sich der Messbereich, über den der Dielektrizitätswert **DK** bestimmt werden kann.

**[0032]** Sowohl im Fall der Sende-Einheit **12** als auch im Fall der Empfangs-Einheit **13** ist eine entsprechende Realisierung der pro Zeile **201, 202, 203** zunehmenden Phasenverzögerung wiederum auf verschiedene Arten möglich: Beispielsweise kann die transmittierende Schicht **112** eine pro Zeile **201, 202, 203** zu- oder abnehmende Schichtdicke **d** aufweisen, so dass sich ein Keil- oder Stufen-förmiger Querschnitt dieser Schicht **112** ergibt. Hierdurch liegt jeder Zeile **201, 202, 203** eine verschieden lange „quasi-optische“ Signal-Laufstrecke des Radar-Signals  $S_{HF}$  zugrunde, wodurch sich eine entsprechende Phasenverzögerung zwischen den Zeilen **201, 202, 203** der jeweiligen Einheit **12, 13** einstellt. Da eine höhere Dielektrizitätszahl der Schicht **112** eine höhere „Brechung“ des Radar-Signals  $S_{HF}$  erzeugt, ist es von Vorteil, wenn die Schicht **112** einen relativen Dielektrizitätszahl zwischen 2 und 40 aufweist, bzw. wenn das Material eine magnetische Permeabilität zwischen 0, 5 und 10 aufweist.

**[0033]** Anstelle einer zunehmenden Schichtdicke **d** der transmittierenden Schicht **112** kann der gleiche Effekt erzielt werden, indem die Sende-Einheit **12** und die Empfangs-Einheit **13** entsprechend verkippt zueinander ausgereicht werden. Da die Schichtdicke **d** bei der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsvariante über die Zeilen **201, 202, 203** konstant ist und keine Verkipfung eingestellt ist (die Sende-Einheit **12** und die Empfangs-Einheit **13** sind parallel zueinander ausgerichtet), ist die pro Zeile **201, 202, 203** zunehmende Phasenverzögerung dort jedoch durch die eine entsprechende Ansteuerung der einzelnen Zeilen **201, 202, 203** durch die Signal-Erzeugungseinheit **11** bzw. durch die Auswertungseinheit **14** einzustellen. Hierzu können den Zeilen **201, 202, 203** wie in **Fig. 3** gezeigt ist, je nach einzustellender Phasenverzögerung, entsprechende Verzögerungsglieder **15** vorgeschaltet (bzw. im Falle der Empfangs-Einheit **13** nachgeschaltet) werden.

**[0034]** Die in **Fig. 3** gezeigte, serielle Anordnung der zwei Verzögerungselemente **15** bewirkt in Bezug auf die drei Zeilen **201, 202, 203**, dass die Antennen **100** untersten Zeile **203** nicht verzögert werden, während die oberste Zeile **201** im Vergleich zur zweiten Zeile **202** die doppelte Phasenverzögerung erfährt (vorausgesetzt, beide Verzögerungsglieder **15** erzeugen dieselbe Phasenverzögerung). Pro Zeile **201, 202, 203** nimmt also die Phasenverzögerung um den Wert jeweils eines Verzögerungsgliedes **15** ab. Zwecks individueller Anpassung der Phasenverzögerung können die Phasenverzögerungsglieder **15** natürlich auch so konzipiert werden, dass sie nicht dieselbe Phasenverzögerung hervorrufen.

**[0035]** Aufgrund der hohen Frequenz des Radar-Signals im GHz-Bereich ist es zwecks kompakter Auslegung vorzuziehen, wenn die Strahlelemente **100** als Planar-Strahler ausgelegt sind. Beispielsweise können die Strahlelemente **100** als Patch-, Spiral- oder Fraktal-Antennen ausgelegt werden, die auf einem Leiterplattensubstrat angeordnet sind. Somit können die Strahlelemente **100** analog zu Leiterbahnen bspw. als Kupferlage aufgebracht bzw. strukturiert werden. Bei einer Frequenz zwischen 2 GHz und 30 GHz ist die Kantenlänge der Patch-Antennen zwischen 0,2 mm und 50 mm zu dimensionieren. Sofern kein Fernfeld ausgebildet werden soll, ist die Kantenlänge deutlich kleiner als ein Viertel der Wellenlänge des Radar-Signals  $S_{HF}$  zu bemessen. Eine Abstrahlung lediglich im Nahfeld weist den Vorteil auf, dass das Radar-Signal  $S_{HF}$  mit höherer Sende-Leistung ausgestrahlt werden kann, ohne gegen behördliche Funk-Zulassungsvorschriften zu verstoßen.

**[0036]** Sofern die Strahlelemente **100** der Sende-Einheit **12** bzw. der Empfangs-Einheit **13** auf einem Leiterplattensubstrat angebracht sind, können die Strahlelemente **100** über entsprechende Leiterbahnen, die insbesondere als Mikrostreifenleitungen ausgelegt sein können, mit der Signalerzeugungseinheit **11** bzw. der Auswertungseinheit **14** kontaktiert werden.

**[0037]** Damit die Strahlelemente **100** der jeweiligen Zeile **201, 202, 203** nicht untereinander (sofern die Zeile mehr als ein Strahlelement **100** umfasst) eine abweichende Phase bezüglich des Radar-Signals  $S_{HF}$  hervorrufen, ist die Weglänge jeder Leiterbahn zum entsprechenden Strahlelement **100** der jeweiligen Zeile **201, 202, 203** gleich lang auszulegen. Eine mögliche Variante, dies bei einer geraden Anzahl an Strahlelementen **100** pro Zeile **201, 202, 203** zu realisieren, ist in **Fig. 4** gezeigt. Dort sind die vier Strahlelemente **100** einer Zeile **201, 202, 203** über eine baumförmige Leiterbahnstruktur **300** auf ein Potential zusammengefasst. Dabei umfasst die Leiterbahnstruktur **300** zwei Ebenen der Verästelung, wobei auf jeder Ebene jeweils zwei gleich lange Leiterbahnäste zu den Strahlelementen **100** abzweigen. Hierdurch sind die Strahlelemente **100** dieser Zeile **201, 202, 203** symmetrisch kontaktiert, so dass das Hochfrequenz-Signal  $s_{HF}$  bzw. das Empfangs-Signal  $e_{HF}$  an jedem Strahlelement **100** der jeweiligen Zeile **201, 202, 203** phasengleich ist.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Messgerät
<b>2</b>	Behälter
<b>3</b>	Füllgut
<b>4</b>	Übergeordnete Einheit
<b>11</b>	Signalerzeugungseinheit

<b>12</b>	Sende-Einheit
<b>13</b>	Empfangs-Einheit
<b>14</b>	Auswertungs-Einheit
<b>15</b>	Verzögerungsglied
<b>100</b>	Strahlelemente
<b>112</b>	Transmittierende Schicht
<b>201-203</b>	Zeilen
<b>300</b>	Leiterbahnstruktur
<b>DK</b>	Dielektrizitätswert
<b>d</b>	Dicke der transmittierenden Schicht
<b>eHF</b>	Empfangs-Signal
<b>S<sub>HF</sub></b>	Radar-Signal
<b>s<sub>HF</sub></b>	Hochfrequenz-Signal

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102015117205 A1 [0004]
- DE 102012106938 A1 [0013]
- US 20160113113 A1 [0015]
- WO 2017045788 A1 [0029]

## Patentansprüche

1. Messgerät zur Messung eines Dielektrizitätswertes (DK) eines Füllgutes (3), umfassend:

- Eine Signalerzeugungseinheit (11), die konzipiert ist, um
- eine Sende-Einheit (12) derart mittels eines elektrischen Hochfrequenz-Signals ( $s_{HF}$ ) anzusteuern, dass die Sende-Einheit (12) ein Radar-Signal ( $S_{HF}$ ) in Richtung des Füllgutes (3) aussendet,
- eine Empfangs-Einheit (13), die so im Behälter (2) anordbar ist, um das Radar-Signal ( $S_{HF}$ ) nach Durchlauf durch das Füllgut (3) als Empfangs-Signal ( $e_{HF}$ ) zu empfangen, und
- eine Auswertungs-Einheit (14), die ausgelegt ist, um zumindest anhand des Empfangs-Signals ( $e_{HF}$ )
  - eine Amplitude des Empfangs-Signals ( $e_{HF}$ ), eine Phasenverschiebung des Empfangs-Signals ( $e_{HF}$ ) zum Hochfrequenz-Signal ( $s_{HF}$ ) und/oder eine Signallaufzeit des Radar-Signals ( $S_{HF}$ ) zwischen der Sende-Einheit (12) und der Empfangs-Einheit (13) zu ermitteln, und
  - um anhand der ermittelten Signal-Laufzeit, der Phasenverschiebung und/oder der ermittelten Amplitude den Dielektrizitätswert (DK) zu bestimmen,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

die Sende-Einheit (12) und/oder die Empfangs-Einheit (13) zumindest zwei Strahlelemente (100), die in einer korrespondierenden Anzahl an Zeilen (201, 202, 203) untereinander angeordnet sind, umfassen/umfasst, wobei in Bezug zur jeweils anderen Einheit (12, 13) vor den Strahlern (100) eine für das Radar-Signal ( $S_{HF}$ ) transmittierende Schicht (112) angebracht ist.

2. Messgerät nach Anspruch 1, wobei dem zumindest einen Strahlelement (100) jeder Zeile (201, 202, 203) zumindest ein Verzögerungsglied (15) derart vor- bzw. nachgeschaltet ist, dass das Hochfrequenz-Signal ( $s_{HF}$ ) pro Zeile (201, 202, 203) mit jeweils einer definiert zunehmenden Phasen-Verzögerung ausgesendet wird,

bzw. dass das durch das zumindest eine Strahlelement (100) empfangene Empfangs-Signal ( $e_{HF}$ ) mit zunehmender Zeile (201, 202, 203) um jeweils eine definiert zu- oder abnehmende Phase verzögert ist.

3. Messgerät nach Anspruch 1, wobei die Sende-Einheit (12) und die Empfangs-Einheit (13) derart verkippt zueinander angeordnet sind, dass die zumindest ein Strahlelement (100) jeder Zeile (201, 202, 203) mit zunehmender Zeile (201, 202, 203) einen jeweils zu- oder abnehmenden Abstand zu dem zumindest einen Strahlelement (100) der korrespondierenden Zeile (201, 202, 203) der jeweils anderen Einheit (12, 13) aufweist, sofern beide Einheiten (12, 13) eine korrespondierende Anzahl an Zeilen, in denen jeweils zumindest ein Strahlelement (100) angeordnet ist, umfassen.

4. Messgerät nach Anspruch 1, wobei die transmittierende Schicht (112) eine Dicke (d) aufweist, die pro Zeile (201, 202, 203) jeweils definiert zu- oder abnimmt.

5. Messgerät nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei pro Zeile (201, 202, 203) zumindest zwei, insbesondere mehr als 5 Strahlelemente (100) angeordnet sind.

6. Messgerät nach Anspruch 5, wobei eine Leiterbahnstruktur (300) an der Sende-Einheit (12) bzw. der Empfangs-Einheit (13) die Strahlelemente (100) einer Zeile (201, 202, 203) derart symmetrisch kontaktiert, dass das Hochfrequenz-Signal ( $s_{HF}$ ) bzw. das Empfangs-Signal ( $e_{HF}$ ) an jedem Strahlelement (100) der jeweiligen Zeile (201, 202, 203) phasengleich ist.

7. Messgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Sende-Einheit (12) bzw. die Empfangs-Einheit (13) mehr als zwei, insbesondere mehr als 5 Zeilen (201, 202, 203) mit jeweils zumindest einem Strahlelement (100) umfassen/umfasst.

8. Messgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die transmittierende Schicht (112) aus einem Material gefertigt ist, dass eine relative Dielektrizitätszahl zwischen 2 und 40 aufweist, und/oder wobei das Material, aus dem transmittierende Schicht (112) gefertigt ist, eine magnetische Permeabilität zwischen 0,5 und 10 aufweist.

9. Messgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Signalerzeugungseinheit (12) ausgelegt ist, das Hochfrequenz-Signal ( $s_{HF}$ ) derart mit einer variierenden Frequenz (f) zu erzeugen, dass die Signal-Laufzeit mittels der Auswertungs-Einheit (14) anhand einer Frequenzdifferenz zwischen dem ausgesendeten Radar-Signal ( $S_{HF}$ ) und dem empfangenen Radar-Signal ( $S_{HF}$ ) bestimmbar ist.

10. Messgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Signalerzeugungseinheit (12) ausgelegt ist, das Hochfrequenz-Signal ( $s_{HF}$ ) derart pulsformig auszusenden, dass die Signal-Laufzeit mittels der Auswertungs-Einheit (14) anhand einer Pulslaufzeit zwischen der Sende-Einheit (12) der Empfangs-Einheit (13) bestimmbar ist.

11. Messgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Signalerzeugungseinheit (11) ausgelegt ist, das Hochfrequenz-Signal ( $s_{HF}$ ) mit einer Frequenz von mindestens 1 GHz zu erzeugen.

12. Messgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Strahlelemente (100) als Planar-Strahler, insbesondere als Patch-, Spiral- oder Fraktal-Antennen ausgelegt sind.

13. Verfahren zur Messung eines Dielektrizitätswertes (DK) eines in einem Behälter (2) befindlichen Füllgutes (3) mittels des Messgerätes (1) nach einer der vorhergehenden Ansprüche, folgende Verfahrensschritte umfassend:

- Aussenden eines Radar-Signals ( $S_{HF}$ ) in Richtung des Füllgutes (3),
- Empfang des Radar-Signals ( $S_{HF}$ ) nach Durchlauf durch das Füllgut (3),
- Bestimmung einer Amplitude des empfangenen Radar-Signals ( $S_{HF}$ ), einer Phasenverschiebung zwischen Aussenden und Empfang des Radar-Signals ( $S_{HF}$ ) und/oder einer Signallaufzeit zwischen Aussenden und Empfang des Radar-Signals ( $S_{HF}$ ), und
- Ermittlung des Dielektrizitätswertes (DK) anhand der Amplitude, der Phasenverschiebung und/oder der Signallaufzeit, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Radar-Signal ( $S_{HF}$ ) über Strahlelemente (100), die in zumindest zwei untereinander angeordneten Zeilen (201, 202, 203) angeordnet sind, derart ausgesendet und/oder empfangen wird, so dass das von dem zumindest einen Strahlelement (100) pro Zeile (201, 202, 203) empfangene Empfangs-Signal ( $e_{HF}$ ) mit zunehmender Zeile (201, 202, 203) um jeweils eine definiert zu- oder abnehmende Phase verzögert ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

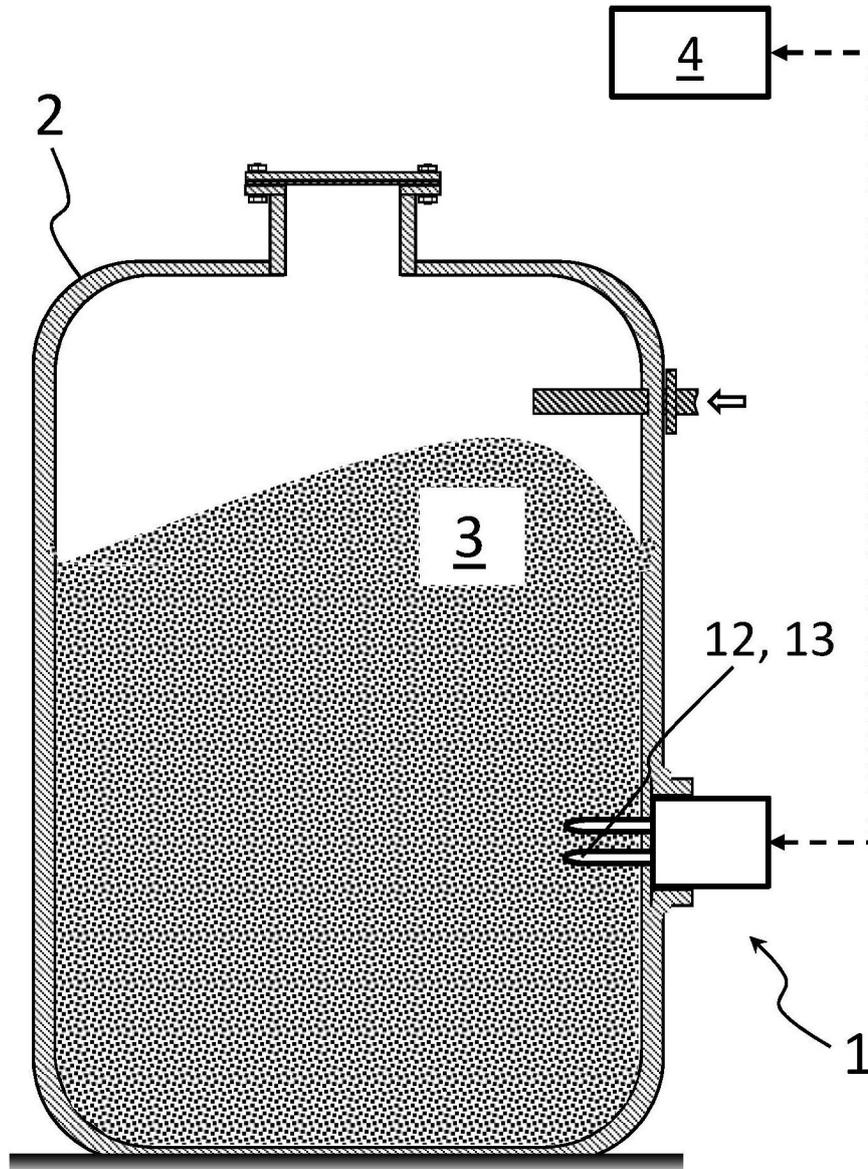
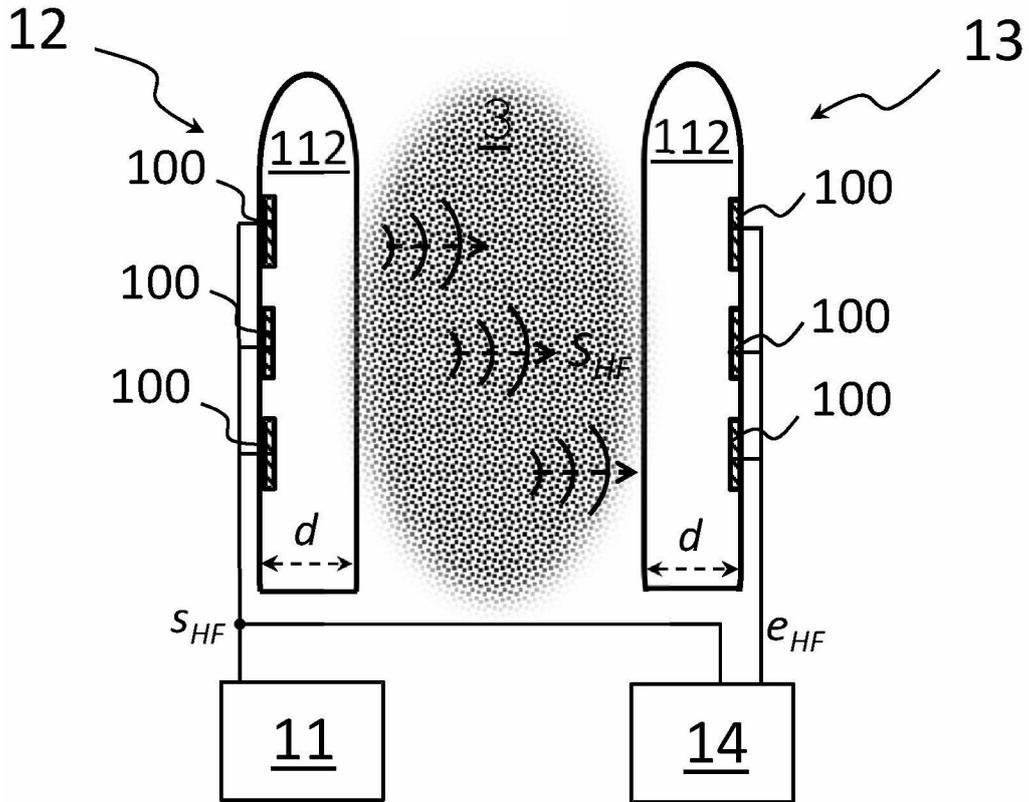
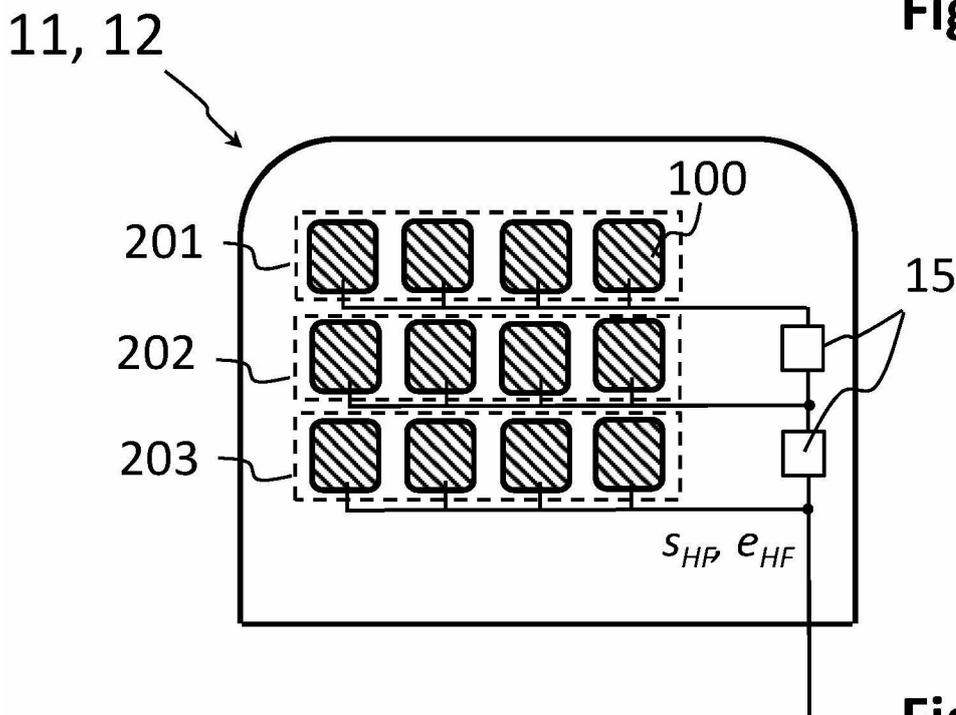


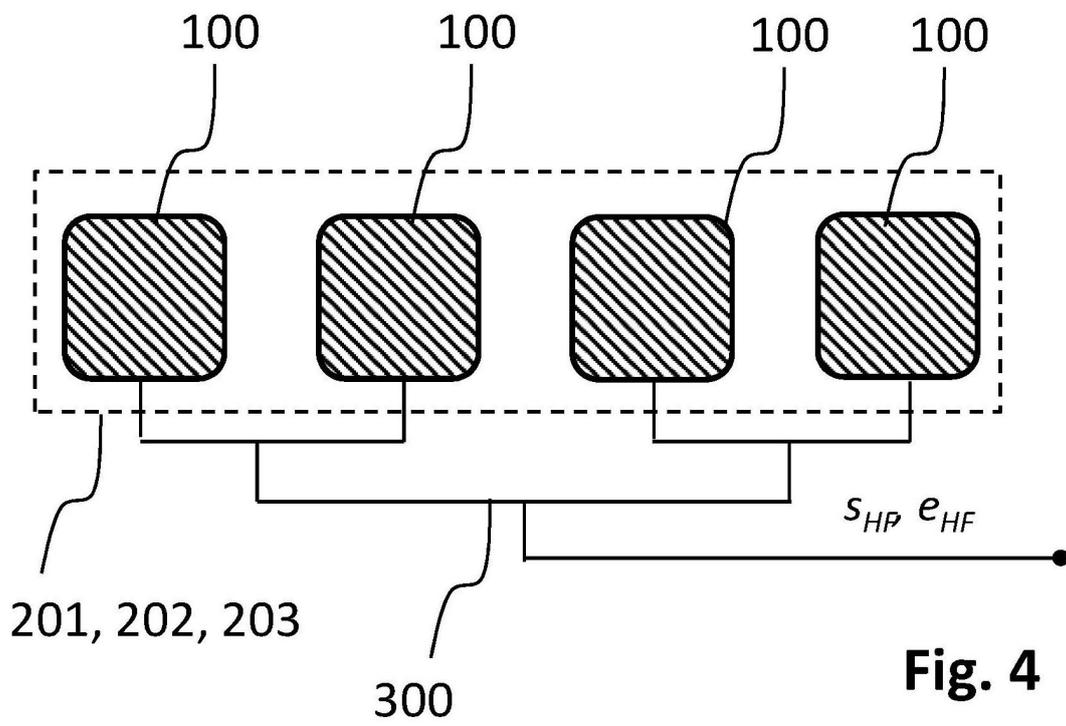
Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**