



(10) **DE 10 2010 060 465 A1** 2012.05.10

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 060 465.8**

(51) Int Cl.: **G01N 27/04** (2006.01)

(22) Anmeldetag: **09.11.2010**

(43) Offenlegungstag: **10.05.2012**

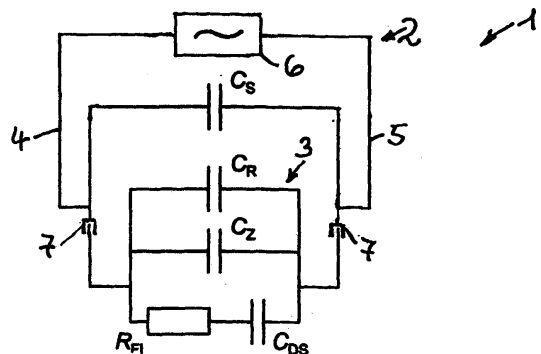
(71) Anmelder:  
**Riegel, Harald, 70499, Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**gleich Anmelder**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Kalibrierung einer Leitfähigkeitsmesszelle**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zu Kalibrierung einer in einem Messaufbau (2) befindlichen Leitfähigkeitsmesszelle (3) zur Bestimmung der Leitfähigkeit eines flüssigen Mediums, insbesondere Reinstwasser, mittels zweier in einem vorgegebenen Abstand zueinander in dem flüssigen Medium angeordneten, mit einer Wechselspannung beaufschlagten Elektroden vorgegebener Fläche und einer durch Abstand und Elektrodenfläche vorgegebenen, zu kalibrierenden Zellkonstante. Um die Zellkonstante unabhängig von Kalibrationsflüssigkeiten mit vorgegebener Leitfähigkeit und/oder Referenzmesszellen durchführen zu können, wird eine elektrische Kapazität der Zellkonstante mittels einer an die Elektroden angelegten Wechselspannung in einem Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 1 MHz im flüssigen Medium ermittelt und anschließend die Zellkonstante aus der ermittelten Kapazität und der Permittivität des in der Zellkonstante enthaltenen flüssigen Mediums bestimmt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zu Kalibration einer in einem Messaufbau befindlichen Leitfähigkeitsmesszelle zur Bestimmung der Leitfähigkeit eines flüssigen Mediums, insbesondere Reinstwasser, mittels zweier in einem vorgegebenen Abstand zueinander in dem flüssigen Medium angeordneten, mit einer Wechselspannung beaufschlagten Elektroden vorgegebener Fläche und einer durch Abstand und Elektrodenfläche vorgegebenen, zu kalibrierenden Zellkonstante.

**[0002]** Messaufbauten mit Leitfähigkeitsmesszellen, die nach dem konduktiven Messprinzip arbeiten, indem eine Wechselspannung an direkt mit einem flüssigen Medium in Verbindung stehenden Elektroden angelegt und die zur Leitfähigkeit des flüssigen Mediums proportionale elektrische Signalantwort in einem Messgerät ausgewertet wird, sind aus der Analysen- und Prozessmesstechnik bekannt. Aus der DE 198 44 489 A1 ist ein derartiges Verfahren zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit von Flüssigkeiten offenbart. Die Auswertung der elektrischen Signalantwort erfolgt dabei unter Zugrundelegung eines Ersatzschaltbilds der Leitfähigkeitsmesszelle, das zumindest aus einem Kondensator und einem hierzu parallelgeschalteten Widerstand gebildet ist. Um insbesondere störende Polarisierungseffekte zu vermeiden, werden dabei die Fläche der Elektroden und deren Abstand zueinander an den Messbereich der Leitfähigkeitsmesszelle angepasst. Diese Anpassung liefert eine für jede Leitfähigkeitsmesszelle typische Zellkonstante, die zudem produktionstechnisch bedingten Schwankungen unterworfen ist und sich über Gebrauchsdauer verändern kann, so dass ein Messaufbau mit einer derartigen Leitfähigkeitsmesszelle unter gegebenen Umständen kalibriert werden muss.

**[0003]** Hierzu wird die Leitfähigkeitsmesszelle mit Kalibrationsflüssigkeiten vorgegebener Leitfähigkeit beaufschlagt und der sich beispielsweise bei einer Wechselspannung von 1 kHz einstellende Widerstand gemessen. Aus dem Widerstand wird mittels des Ersatzschaltbilds die Zellkonstante bestimmt. Die Leitfähigkeit der Kalibrationsflüssigkeiten soll zur Vermeidung von Messfehlern im Bereich der Leitfähigkeiten des zu messenden flüssigen Mediums liegen. Insbesondere bei flüssigen Medien mit geringer Leitfähigkeit, beispielsweise Reinstwasser, stellt die Bereitstellung stabiler Kalibrationsflüssigkeiten einen hohen Aufwand dar. Die Verwendung von Referenzzellen, die präzise die Leitfähigkeit des flüssigen Mediums bestimmen und dadurch eine Kalibration der Zellkonstante mittels der so gewonnenen Leitfähigkeit des flüssigen Mediums erlaubt, verlagert den Kalibrationsaufwand mittels Kalibrationsflüssigkeiten lediglich auf die Referenzzelle. Weiterhin sind bei einem Einbau in einen Messbehälter wie Kessel zusätzliche Behälteröffnungen zu schaffen. Die Kalibration wird weiterhin durch die große Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeitsmesszelle während einer Kalibration mittels Kalibrationsflüssigkeiten erschwert, die zusätzlich eine aufwendige Temperaturmessung während der Kalibration mit entsprechenden Einschwingzeiten der Temperatur insbesondere zwischen der zu kalibrierenden Leitfähigkeitsmesszelle und der Referenzzelle erforderlich macht.

**[0004]** Aufgabe der Erfindung ist daher, ein Verfahren zur Kalibrierung einer Leitfähigkeitsmesszelle vorzuschlagen, die ohne Kalibrationsflüssigkeiten und Referenzzellen auskommt.

**[0005]** Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zu Kalibration einer in einem Messaufbau befindlichen Leitfähigkeitsmesszelle zur Bestimmung der Leitfähigkeit eines flüssigen Mediums, insbesondere Reinstwasser, mittels zweier in einem vorgegebenen Abstand zueinander in dem flüssigen Medium angeordneten, mit einer Wechselspannung beaufschlagten Elektroden vorgegebener Fläche und einer durch Abstand und Elektrodenfläche vorgegebenen, zu kalibrierenden Zellkonstante gelöst, wobei eine elektrische Kapazität der Zellkonstante mittels einer an die Elektroden angelegten Wechselspannung in einem Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 1 MHz, bevorzugt zwischen 10 kHz und 1 MHz im flüssigen Medium ermittelt und anschließend die Zellkonstante aus der ermittelten Kapazität und der Permittivität des in der Zellkonstante enthaltenen flüssigen Mediums bestimmt wird.

**[0006]** Durch die Betrachtung der Leitfähigkeitsmesszelle als Kondensator wie – je nach geometrischer Ausführung – Plattenkondensator, Zylinderkondensator oder dergleichen, bei der das flüssige Medium damit das Dielektrikum mit einer vorgegebenen Permittivität darstellt, kann erfindungsgemäß ein Zusammenhang zwischen der Zellkonstante und der elektrischen Kapazität, die als Signalantwort auf die an die Elektroden angelegte Wechselspannung in einem Messgerät erfasst und berechnet wird, hergestellt werden, der im Wesentlichen unabhängig von der Leitfähigkeit des zwischen den Elektroden in der Leitfähigkeitsmesszelle vorhandenen flüssigen Mediums ist. Insbesondere für Medien geringer Leitfähigkeit wie Reinstwasser und/oder Verwendung eines flüssigen Mediums zur Kalibration, dessen Leitfähigkeit beziehungsweise Dielektrizitätskonstante im Messbereich des zu messenden flüssigen Mediums liegt – dies ist in der Regel bei Kalibrationen einer sogenannten In-Line-Messung sowieso der Fall –, ist der Fehler einer Änderung der Dielektrizitätskonstante über die Leitfähigkeit im Wesentlichen vernachlässigbar. Es kann daher sowohl auf aufwendige Messungen der aktuel-

len Leitfähigkeit mittels Referenzzellen und Kalibrierung der Leitfähigkeitsmesszelle auf die hierdurch ermittelte Leitfähigkeit als auch auf eine aufwendige Behandlung der Leitfähigkeitsmesszelle mit schwer herzustellenden Kalibrationsflüssigkeiten insbesondere in In-Line-Anwendungen verzichtet werden. Bis auf die Abstimmung des Messgeräts und gegebenenfalls die Zuleitungskabel von diesem zur Messzelle auf die anzuwendenden Wechselspannungen und deren Auswertung sind an dem Messaufbau keine weiteren Vorkehrungen zu treffen, so dass das Verfahren in einfacher Weise, kostengünstig und mit wenig Aufwand durchgeführt werden kann. Die Messung wird bevorzugt in einem flüssigen Medium durchgeführt, das eine Leitfähigkeit innerhalb des Leitfähigkeitsbereichs des zu messenden Mediums aufweist. Besonders vorteilhaft ist die Durchführung der Messung in dem Messmedium, da hier keinerlei Zugriffe auf den Einbau der Leitfähigkeitsmesszelle stattfinden und die Kalibration in-situ quasi zwischen Messvorgängen durchgeführt werden kann. Die Kalibration kann hierbei von dem Messgerät automatisiert vorgenommen werden, da keinerlei Handhabungsvorgänge durch Wartungspersonal durchzuführen sind. Scheitert die Kalibration, kann an dem Messgerät eine entsprechende Status- oder Warnmeldung ausgegeben werden.

**[0007]** Zur Ermittlung der Zellkonstante  $k$  beispielsweise einer Messzelle mit parallel zueinander angeordneten Elektroden wird erfindungsgemäß eine Beziehung der Zellkonstante  $k$  hergestellt, die sich in bekannter Weise aus der Elektrodenfläche  $A$  der Elektroden der Leitfähigkeitsmesszelle, die gemäß dem Ersatzschaltbild den Plattenflächen eines Kondensators entsprechen und dem Elektrodenabstand  $l$ , der gemäß dem Ersatzschaltbild dem Plattenabstand der Platten eines Kondensators entspricht, nach Gleichung (1) wie folgt ergibt:

$$k = l/A. \quad (1)$$

**[0008]** Die elektrische Zellkapazität  $C_Z$  der Leitfähigkeitsmesszelle mit der Zellkonstanten  $k$  ergibt sich demnach entsprechend der eines Plattenkondensators zu

$$C_Z = \epsilon_0 \epsilon_R / k \quad (2)$$

mit der Permittivität  $\epsilon_0$  des Vakuums und  $\epsilon_R$  für die Permittivität des Wassers. Für andere Elektrodenformen und Zellgeometrien ergibt sich die Zellkapazität entsprechend. Es hat sich dabei gezeigt, dass die Permittivität der Zellkonstante über den Leitfähigkeitsumfang des Messbereichs, insbesondere in Reinstwasser ausreichend konstant ist und der aufgrund der Änderung dieser abhängig von einer sich ändernden Leitfähigkeit gegenüber Kalibrationsfehlern bei der Herstellung, Bereitstellung und Anwendung von Kalibrationsflüssigkeiten, Temperaturkompensation der Leitfähigkeitsmessung und dergleichen wesentlich kleiner ist. In besonders kritischen Anwendungen, beispielsweise bei stark wechselnden Temperaturen, kann ein gegebenenfalls großen Einfluss auf die Messgenauigkeit der elektrischen Kapazität ausübender Temperaturgang durch die Bestimmung dessen Temperaturabhängigkeit der Permittivität kompensiert werden, indem beispielsweise die ermittelte oder simulierte Temperaturabhängigkeit in dem Messgerät abgelegt und mittels der durch den in der Leitfähigkeitsmesszelle vorhandenen Temperaturfühler erfassten Temperaturen kompensiert werden.

**[0009]** Durch Auflösung der Gleichung (2) nach der Zellkonstanten  $k$  kann diese mithilfe der unmittelbar erfassbaren elektrischen Kapazität in einfacher Weise kalibriert werden. Als besonders vorteilhaft hat sich dabei die Anwendung einer Wechselspannung von 100 kHz auf die Elektroden erwiesen, abhängig von der Art des zu messenden flüssigen Mediums, dem konstruktiven Aufbau der Leitfähigkeitsmesszelle, der Leitungslänge zwischen Messgerät und Leitfähigkeitsmesszelle und gegebenenfalls weiteren Parametern kann die Wechselspannung innerhalb eines bevorzugten Frequenzbereichs von 10 kHz und 1 MHz variiert werden. Es versteht sich, dass der Frequenzbereich im messtechnischen Sinne erweitert werden kann, wenn spezielle Anforderungen dessen Erweiterung in vorteilhafter Weise nahelegen.

**[0010]** Im Falle nicht vernachlässigbarer Leitungslängen und einer Eigenkapazität der Leitfähigkeitsmesszelle kann in der ermittelten Kapazität neben der Zellkapazität  $C_Z$  eine Störkapazität  $C_S$  auftreten. Nach dem erfinderischen Gedanken wird diese separat bestimmt und anschließend eliminiert, indem diese beispielsweise von der gemessenen Kapazität  $C$  subtrahiert wird. Gemäß einem Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird die Störkapazität mittels einer an die Elektroden angelegten Wechselspannung in einem Frequenzbereich zwischen 10 kHz und 1 MHz an Luft ermittelt und von der gemessenen Kapazität subtrahiert. Hierzu wird die Leitfähigkeitsmesszelle unter entleerten Bedingungen vermessen, wenn beispielsweise der Messbehälter entleert ist. Dabei müssen die Bestimmung der Kapazität in flüssigem Medium und der Störkapazität nicht zwangsläufig zeitlich hintereinander erfolgen. Vielmehr kann bevorzugt einmalig bei Inbetriebnahme des Messaufbaus oder in größeren Zeitintervallen als die Kalibration der Zellkonstante eine Bestimmung der Störkapazität erfolgen, deren Wert in dem Messgerät abgelegt und zur Kompensation von zwischenzeitlich erfolgenden Kalibrationen der Zellkonstante aufgerufen und verarbeitet wird.

**[0011]** An Luft wird die Permittivität der Leitfähigkeitsmesszelle zu  $\epsilon = 1$ , gegenüber einer Permittivität von  $\epsilon_R \approx 80$  im flüssigen Medium in Form von Wasser, so dass die aus Messungen der Kapazität  $C_L$  an Luft und der Kapazität  $C_W$  im Wasser ermittelte Kapazität im Wesentlichen die Zellkapazität  $C_Z$  zur Ermittlung der Zellkonstante  $k$  gemäß der nach  $k$  aufgelösten Gleichung (2) wie folgt bestimmt wird:

$$C_Z = (C_W - C_L) \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r - 1} \quad (3)$$

**[0012]** In einer alternativen Ausführungsform des Verfahrens, die beispielsweise erfolgen kann, wenn die Leitfähigkeitsmesszelle nicht ausgebaut werden kann und/oder entsprechend lange Zuführungsleitungen wie Zuführungskabel verwendet werden, kann die im Wesentlichen auf die Kabellänge der zwischen dem Messgerät und der Leitfähigkeitsmesszelle verlegten Verbindungsleitungen rückführbaren Störkapazität  $C_S$  bestimmt werden, indem die Verbindungsleitungen von der Leitfähigkeitsmesszelle getrennt werden und in die Verbindungsleitung anstatt der Leitfähigkeitsmesszelle ein hochohmiger Widerstand, beispielsweise mit 100 kOhm bis 10 MOhm, bevorzugt 1 MOhm eingeschaltet wird. Da dieser Widerstand im Wesentlichen kapazitätsfrei ist, ergibt sich eine gemessene Kapazität als Störkapazität  $C_S$ . Die auf diesem Wege bestimmte Störkapazität  $C_S$  wird in einfacher Weise von der Zellkapazität  $C_Z$  subtrahiert. Es hat sich insbesondere bei einer Leitfähigkeitsmesszelle mit nicht vernachlässigbarer Störkapazität  $C_S$  als vorteilhaft erwiesen, wenn diese beispielsweise mittels kurzen, im Wesentlichen kapazitätsfreien oder eine vernachlässigbare Kapazität aufweisenden Kabeln und einer an die Elektroden an Luft angelegten Wechselspannung ermittelt und mit dieser die Störkapazität korrigiert wird. Dabei kann bei einmaliger Bestimmung ermittelten Störkapazitäten von beispielsweise kleiner 0,1 pF von einer weiteren Korrektur abgesehen werden. Eine Bestimmung der Zellkapazität  $C_Z$  der Leitfähigkeitsmesszelle mittels einer Bestimmung der Gesamtkapazität  $C_{\text{mitZelle}}$  und Störkapazität  $C_S$  der Verbindungsleitungen mittels eines hochohmigen Widerstands wird vorteilhafterweise nach der folgenden Gleichung (4) bestimmt:

$$C_Z = C_{\text{mitZelle}} - C_S \quad (4)$$

**[0013]** Zur Ermittlung einer Restkapazität  $C_R$  der Leitfähigkeitsmesszelle, die den Einfluss des Messaufbaus der Leitfähigkeitsmesszelle erfasst, wird besonders genau mittels kurzer Kabel bestimmt, indem die Leitfähigkeitszelle im flüssigen Medium und an Luft gemessen wird. Es ergibt sich daraus die Restkapazität  $C_R$  aus der Gleichung (5) wie folgt:

$$C_R = \frac{\epsilon_r C_{0,L} - C_{0,W}}{\epsilon_r - 1} \quad (5)$$

**[0014]** Hierbei sind  $C_{0,W}$  die bestimmte Kapazität des Messaufbaus mit kurzen Kabeln vernachlässigbarer Kapazität in Wasser und  $C_{0,L}$  die bestimmte Kapazität des Messaufbaus mit kurzen Kabeln vernachlässigbarer Kapazität an Luft.

**[0015]** Mittels der beschriebenen Verfahren werden vorteilhafterweise Abweichungen der Zellkonstante über die Betriebszeit der Leitfähigkeitszelle kompensiert, die beispielsweise aus Veränderungen der Elektrodenform, Spaltbildung zwischen Einbettmaterial der Elektroden und den Elektrodenhaltern und dergleichen resultieren. Treten an den Elektroden Verschmutzungen, beispielsweise Fettfilme und dergleichen auf, ändern sich zwar die geometrischen Abmessungen der Leitfähigkeitsmesszelle und damit die Zellkonstante nicht, eine Messung wird aber infolge von Elektrodenpolarisation verfälscht. Es hat sich daher als vorteilhaft erwiesen, eine Polarisation der Elektroden mittels einer Phasenverschiebung einer angelegten Wechselspannung in einem Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 5 kHz zu ermitteln. Wird eine Polarisation beispielsweise durch Überschreiten einer vorgegebenen Schwelle der Phasenverschiebung erkannt, kann eine Frequenz der angelegten Wechselspannung von beispielsweise 1 kHz während einer Messung der Leitfähigkeit und/oder während der Kalibration erhöht werden. Alternativ oder zusätzlich kann in dem Messgerät eine entsprechende Status- oder Warnmeldung ausgegeben werden.

**[0016]** Die Erfindung wird anhand der in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) dargestellten Zusammenhänge einer Leitfähigkeitsmesszelle näher erläutert. Dabei zeigen:

**[0017]** [Fig. 1](#) ein Ersatzschaltbild einer Leitfähigkeitsmesszelle in einem Messaufbau,

[0018] **Fig. 2** ein Diagramm des Phasenwinkels über die Frequenz einer an die Leitfähigkeitsmesszelle angelegten Wechselspannung und

[0019] **Fig. 3** ein Diagramm der Impedanz der Leitfähigkeitsmesszelle als Signalantwort über die Frequenz einer an die Leitfähigkeitsmesszelle angelegten Wechselspannung.

[0020] Die **Fig. 1** zeigt das Ersatzschaltbild **1** des Messaufbaus **2** mit der Leitfähigkeitsmesszelle **3**, die mittels der Steckverbindungen **7** und den Verbindungsleitungen **4, 5** mit dem Messgerät **6** verbunden ist. Die Leitfähigkeitsmesszelle **3** ist in dem Ersatzschaltbild **1** als in Reihe geschalteter Lösungswiderstand  $R_{Fi}$  und der Doppelschichtkapazität  $C_{DS}$  mit der hierzu parallel geschalteten Zellkapazität  $C_Z$  dargestellt. Für die Messung der Leitfähigkeit mittels der Elektroden der Leitfähigkeitsmesszelle **3** ist der Lösungswiderstand  $R_{Fi}$  zuständig, der die Leitfähigkeit des flüssigen Mediums wiedergibt und bei Reinstwasser beispielsweise 2 kOhm beträgt, was einer Leitfähigkeit von ca.  $25 \mu S/m$  entspricht. Die hohe Doppelschichtkapazität  $C_{DS}$ , die sehr groß gegenüber der Zellkapazität  $C_Z$  ist, ist durch Ladungs- und Umladungsvorgänge an den Oberflächen der Elektroden bedingt und beträgt bei üblichen Elektrodenflächen ca. 100  $\mu F$ . Die Zellkapazität  $C_Z$  repräsentiert die elektrische Kapazität des Elektrodenaufbaus mit den Elektrodenflächen, deren Abstand voneinander und des dazwischen befindlichen Dielektrikums, während einer Messung das zu messende flüssige Medium, beispielsweise Wasser wie Reinstwasser. Aus den geometrischen Abmessungen der Elektroden und deren Abstand zueinander leitet sich sowohl die Zellkonstante der Leitfähigkeitsmesszelle **3** als auch in Verbindung mit dem verwendeten Dielektrikum die Permittivität des im Ersatzschaltbild **1** als Kondensator mit der Zellkapazität  $C_Z$  dargestellten Bauteils ab. Durch den in Gleichung (1) dargestellten Zusammenhang zwischen der Zellkonstante  $k$  und der Zellkapazität  $C_Z$ , die in Reinstwasser ungefähr 1 nF betragen kann, kann durch Messung dieser die Zellkonstante  $k$  ohne Kenntnis des Lösungswiderstands  $R_{Fi}$  ermittelt werden. Das flüssige Medium geht in die Bestimmung der Zellkonstante ausschließlich in Form der Permittivität ein, deren Änderung über die Leitfähigkeit unter den vorgegebenen Messbedingungen vernachlässigbar ist.

[0021] Infolge der großen Unterschiede der Doppelschichtkapazität  $C_{DS}$  und der Zellkapazität  $C_Z$  in Höhe mehrerer Größenordnungen können diese bei Beaufschlagung der Elektroden mit Wechselspannung geeigneter Frequenz nahezu störungsfrei unterschieden werden. Als Störung für die Kalibration der Zellkonstante mittels der Zellkapazität  $C_Z$  können sich Kabelkapazitäten in Form der Störkapazitäten  $C_S$  und Eigenkapazitäten der Leitfähigkeitsmesszelle **3** in Form der Restkapazität  $C_R$  bemerkbar machen. Diese werden durch entsprechende Kompensationsmessungen eliminiert, indem beispielsweise die Leitfähigkeitsmesszelle **3** an Luft gemessen wird, wobei sich die Permittivität signifikant erniedrigt und die Störkapazitäten praktisch ausschließlich bestimmt werden und nach deren Bestimmung von dem für die Zellkapazität abgezogen werden. Alternativ können die Steckverbindungen **7** gelöst und die Verbindungsleitungen unter Einschaltung eines hochohmigen Widerstands vermessen werden. Die Restkapazität  $C_R$  wird dabei – soweit mit beispielsweise 2 pF nicht vernachlässigbar – mit kurzen Kabeln bestimmt.

[0022] Das in **Fig. 2** gezeigte Diagramm **8** eines simulierten Zusammenhangs zwischen dem im Messgerät **6** ermittelten Phasenwinkel  $\phi$  und der Frequenz  $f$  der von dem Messgerät **6** an die Elektroden der Leitfähigkeitsmesszelle angelegten Wechselspannung am Beispiel für eine angenommene Zellkapazität  $C_Z$  von 1 nF beziehungsweise 3 nF. Bei kleinen Frequenzen bis zu 10 Hz wird der Einfluss der Doppelschichtkapazität  $C_{DS}$  deutlich. Im Bereich zwischen 10 Hz und 1000 Hz macht sich der Einfluss des Lösungswiderstands  $R_{Fi}$  im Wesentlichen ohne Phasenwinkeleinfluss bemerkbar, so dass in diesem Frequenzbereich bevorzugt die Leitfähigkeitsmessung durchgeführt wird.

[0023] Bei Frequenzen größer 1000 Hz kann der Einfluss der Zellkapazität  $C_Z$  ausgewertet werden. In diesem Frequenzbereich kann daher die Bestimmung der Zellkapazität erfolgen. Je nach Größe der Zellkonstante – hier macht sich insbesondere der Unterschied der Zellkonstanten und daher der Zellkonstante bemerkbar – wird eine geeignete Kalibrationsfrequenz bevorzugt zwischen 100 kHz und 1 MHz gewählt.

[0024] **Fig. 3** zeigt das Diagramm **9**, das die Impedanz  $Z$  über die Frequenz der an die Elektroden der Leitfähigkeitsmesszelle **3** der **Fig. 1** angelegten Wechselspannung in einer Simulation für zwei Zellkapazitäten  $C_Z$  in Höhe von 1 nF beziehungsweise 3 nF zeigt. Hierbei wird deutlich, dass die Impedanz  $Z$  bei Frequenzen größer 10 kHz, insbesondere größer 100 kHz von der Zellkapazität  $C_Z$  abhängt und damit zur Bestimmung der Zellkonstante ausgewertet werden kann.

## Bezugszeichenliste

|                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| <b>1</b>              | Ersatzschaltbild        |
| <b>2</b>              | Messaufbau              |
| <b>3</b>              | Leitfähigkeitsmesszelle |
| <b>4</b>              | Verbindungsleitung      |
| <b>5</b>              | Verbindungsleitung      |
| <b>6</b>              | Messgerät               |
| <b>7</b>              | Steckverbindung         |
| <b>8</b>              | Diagramm                |
| <b>9</b>              | Diagramm                |
| <b>C<sub>DS</sub></b> | Doppelschichtkapazität  |
| <b>C<sub>R</sub></b>  | Restkapazität           |
| <b>C<sub>S</sub></b>  | Störkapazität           |
| <b>C<sub>Z</sub></b>  | Zellkapazität           |
| <b>f</b>              | Frequenz                |
| <b>phi</b>            | Phasenwinkel            |
| <b>R<sub>Fi</sub></b> | Lösungswiderstand       |
| <b>Z</b>              | Impedanz                |

**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 19844489 A1 [[0002](#)]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Kalibration einer in einem Messaufbau (2) befindlichen Leitfähigkeitsmesszelle (3) zur Bestimmung der Leitfähigkeit eines flüssigen Mediums, insbesondere Reinstwasser, mittels zweier in einem vorgegebenen Abstand zueinander in dem flüssigen Medium angeordneten, mit einer Wechselspannung beaufschlagten Elektroden vorgegebener Fläche und einer durch Abstand und Elektrodenfläche vorgegebenen, zu kalibrierenden Zellkonstante, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine elektrische Kapazität der Zellkonstante mittels einer an die Elektroden angelegten Wechselspannung in einem Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 1 MHz im flüssigen Medium ermittelt und anschließend die Zellkonstante aus einer aus der gemessenen Kapazität ermittelten Zellkapazität ( $C_Z$ ) und der Permittivität des in der Zellkonstante enthaltenen flüssigen Mediums bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine in einer gemessenen Kapazität enthaltene, durch den Messaufbau (2) bedingte Störkapazität ( $C_S$ ) vor Bestimmung der Zellkonstante eliminiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Störkapazität ( $C_S$ ) mittels einer an die Elektroden angelegten Wechselspannung in einem Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 1 MHz an Luft und in Wasser ermittelt und von der gemessenen Kapazität subtrahiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Störkapazität ( $C_S$ ) mittels eines anstatt der Leitfähigkeitsmesszelle (3) an Verbindungsleitungen (4, 5) des Messaufbaus (2) angeschlossenen hochohmigen Widerstands und einer Wechselspannung in einem Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 1 MHz ermittelt und von der gemessenen Kapazität subtrahiert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine verbleibende Restkapazität ( $C_R$ ) der Leitfähigkeitsmesszelle (3) mittels kurzen Kabeln mit vernachlässigbarer Kabelkapazität und einer an die Elektroden an Luft angelegten Wechselspannung ermittelt und mit dieser die Störkapazität ( $C_S$ ) korrigiert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Störkapazität ( $C_S$ ) unabhängig von Kalibrationszyklen der Kalibration ermittelt und in einem Messgerät (6) zur Eliminierung von Kapazitäten während einer Kalibration abgelegt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das flüssige Medium während der Kalibration bezüglich seiner Leitfähigkeit innerhalb eines zu messenden Leitfähigkeitsbereichs liegt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Polarisation der Elektroden mittels einer Phasenverschiebung einer angelegten Wechselspannung in einem Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 5 kHz ermittelt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei erkannter Polarisation eine Frequenz während einer Messung der Leitfähigkeit und/oder während der Kalibration erhöht wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

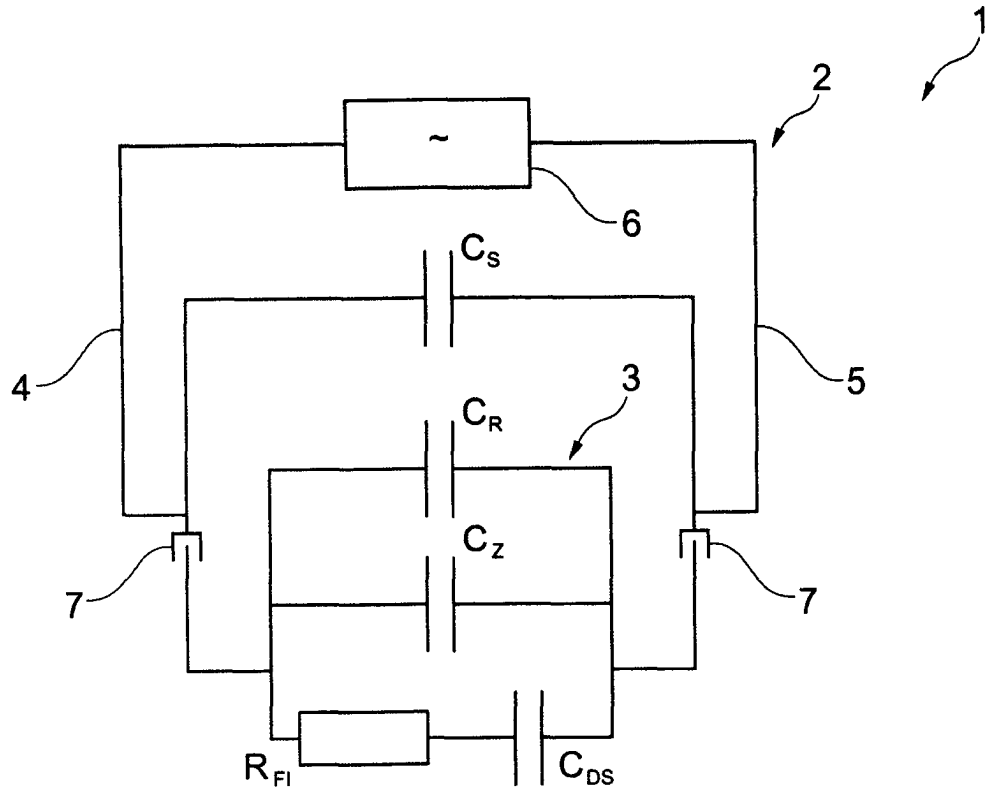


Fig. 1

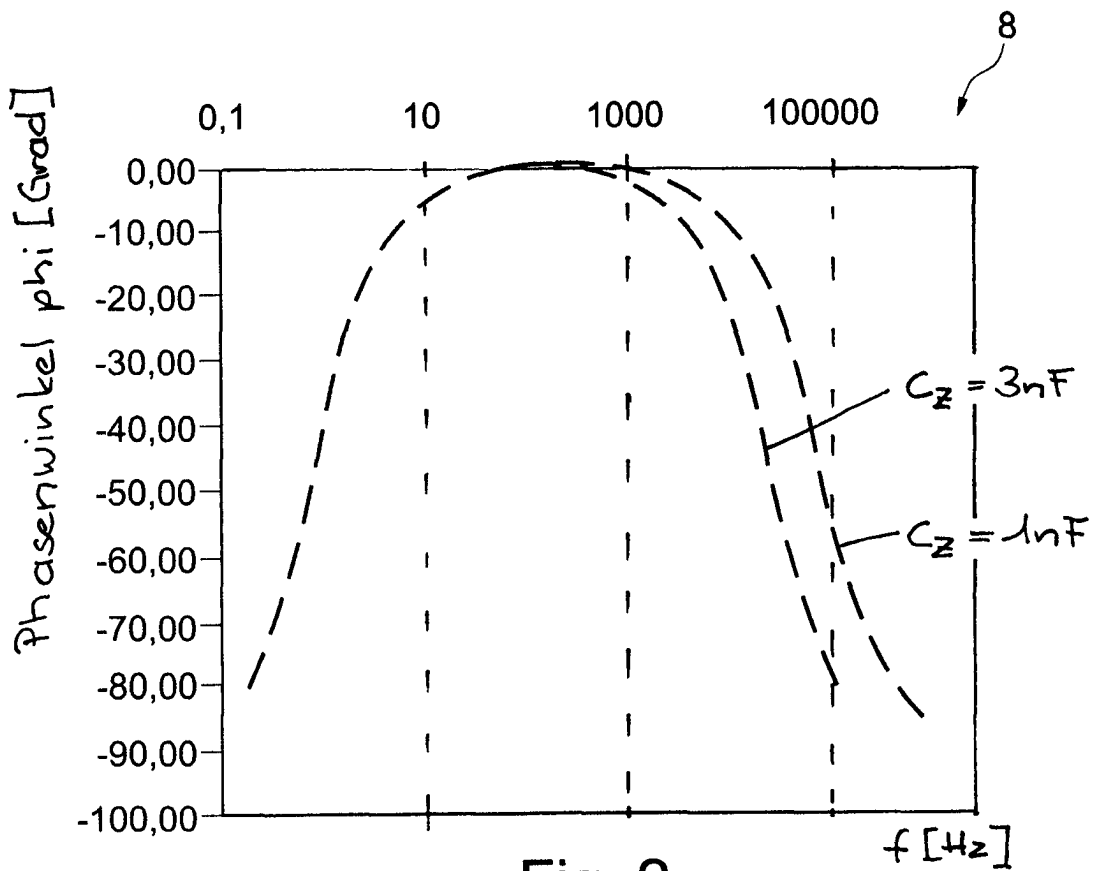


Fig. 2

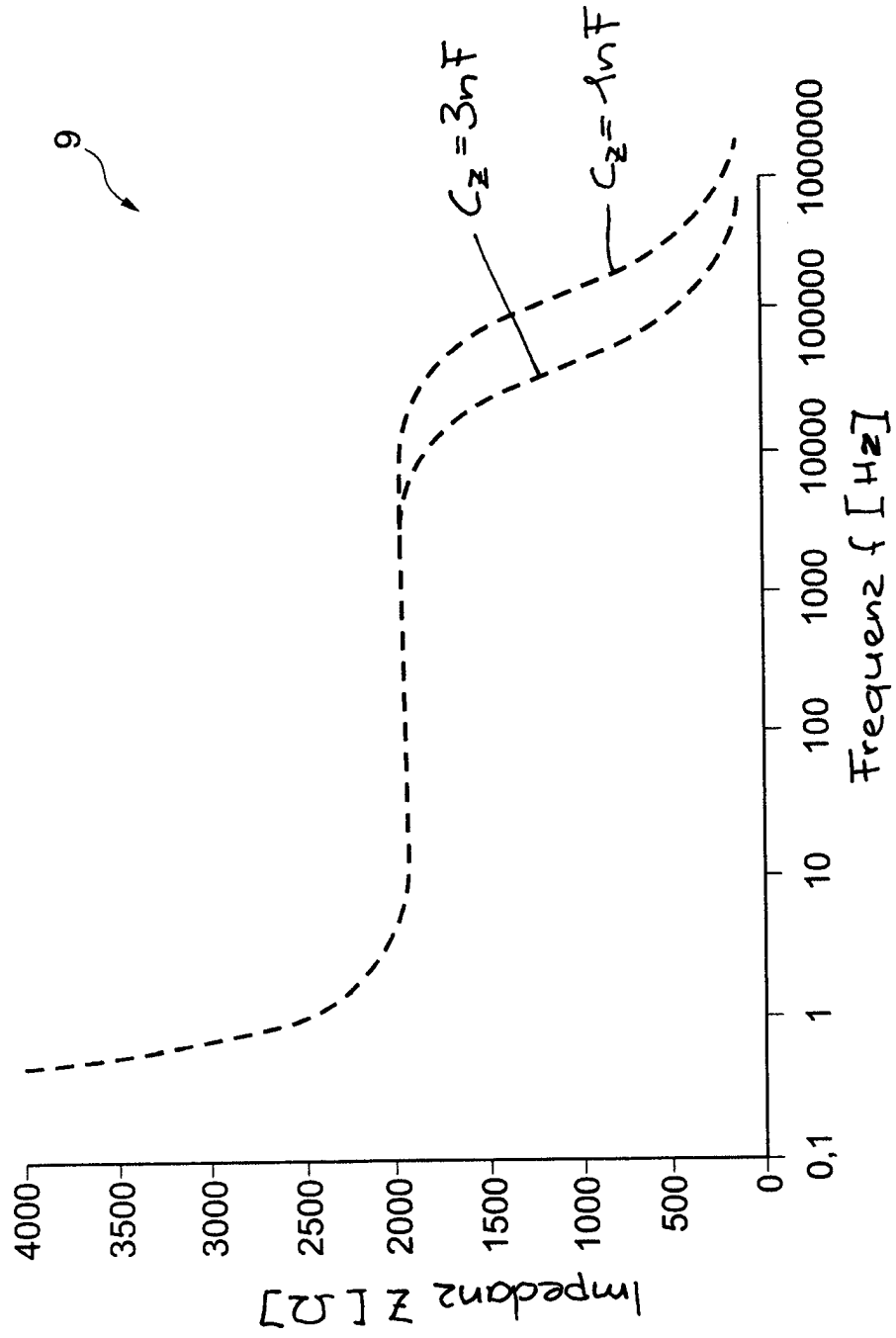


Fig. 3