

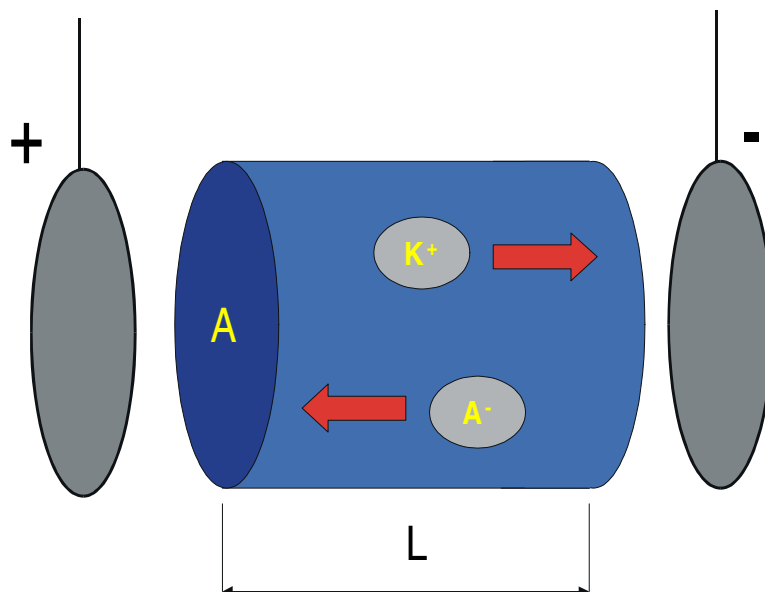
Leitfähigkeit

Grundlagen

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit und der elektrische Leitwert sind ein Maß für die Fähigkeit einer Lösung, eines Metalls, eines Gases, kurz aller Materialien, den elektrischen Strom zu leiten. In Lösungen wird der Strom durch Kationen und Anionen getragen, in Metallen durch Elektronen. Hat eine Substanz einen hohen elektrischen Leitwert G ist der elektrische, bzw. ohmsche Widerstand R niedrig. Der elektrische Leitwert G ist der Kehrwert des Widerstands

$$G = \frac{1}{R}$$

R hat als Einheit Ohm und G hat Siemens. An dieser Stelle ist ein Vorgriff auf die Meßtechnik sinnvoll. Um den elektrischen Leitwert zu messen, legt man Elektrodenpaaren eine Spannung an und mißt den fließenden Strom. Die Kationen wandern dabei zur negativen Elektrode, die Anionen zur positiven, die Lösung stellt einen elektrischen Leiter dar. Ein Leiter ist bestimmt durch Länge und Querschnitt. Je kleiner der Elektrodenabstand l und je größer die Elektrodenfläche A desto größer ist bei gleicher Elektrolytkonzentration und gleicher Spannung der meßbare Strom.



Der elektrische Leitwert G ergibt sich aus der Beziehung:

$$G = \gamma \cdot \frac{A}{l} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{A}{l}$$

mit A als Elektrodenfläche, l als Elektrodenabstand, γ als spezifischer Leitfähigkeit und ρ als spezifischem Widerstand. γ und ρ sind Stoffkonstanten mit den Einheiten S/m und $\Omega \cdot m$. Diese Beziehung verdeutlicht zudem den Zusammenhang zwischen spezifischer

Leitfähigkeit γ und dem Leitwert G . Für die spezifische Leitfähigkeit sind neben γ auch σ und κ als Formelzeichen gebräuchlich.

Der Quotient aus Länge und Fläche ist die Zellkonstante K (deshalb die Einheit m^{-1}).

$$K = \frac{l}{A}$$

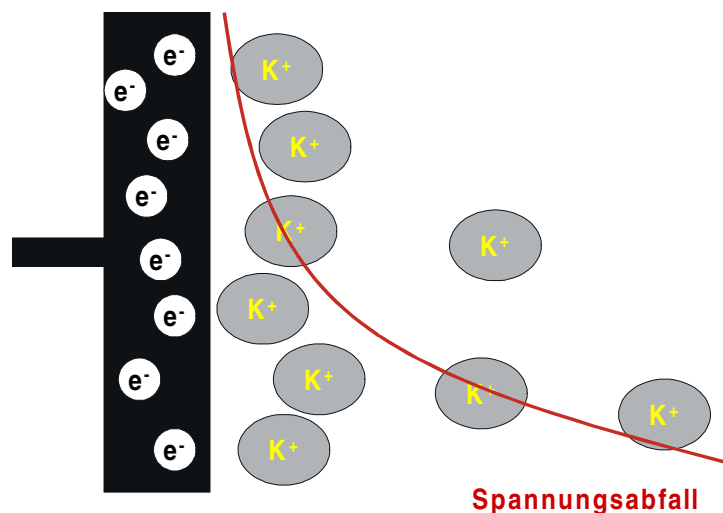
Bei bekannter Zellkonstante wird dementsprechend die spezifische Leitfähigkeit aus dem gemessenen Leitwert bestimmt und stellt das Ergebnis einer Leitfähigkeitsmessung dar.

Leitfähigkeitsmeßzellen

Grundsätzlich bestehen Leitfähigkeitsmeßzellen aus Elektrodenpaaren, denen eine Spannung angelegt wird. Der fließende Strom wird gemessen und die Leitfähigkeit berechnet.

Dies gilt aber nur sehr vereinfacht. Die angelegte Spannung ist eine Wechselspannung, um Polarisierungseffekte verringern zu können.

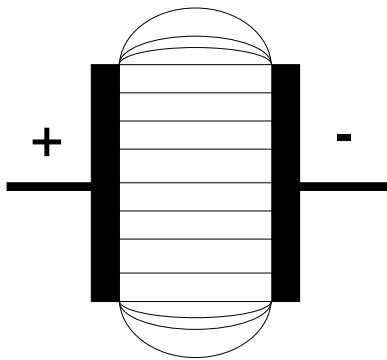
Unter Polarisierung einer Leitfähigkeitsmeßzelle versteht man Effekte, die an der Grenzfläche zwischen Metall und Flüssigkeit bei Stromfluß auftreten und die Leitfähigkeit der Lösung verändert erscheinen lassen. Liegt an einer Elektrode eine Spannung an, baut sich eine Kondensatorschicht (Doppelschicht) auf, weil die Elektrode entgegengesetzt geladene Ionen anzieht.



Mit zunehmender Entfernung von der Elektrode in die Lösung fällt damit die effektive Spannung immer weiter ab. Verringern bzw. verhindern kann man Polarisierungseffekte durch das Anlegen einer Wechselspannung und durch optimierte Elektrodenoberflächen. In einem Wechselfeld können sich ungleiche Ladungsverteilungen, wie im obigen Bild dargestellt, nicht so leicht ausbilden, weil die Ionen abwechselnd von den beiden Elektroden angezogen werden. Kationen und Anionen schwingen im Rhythmus der angelegten Frequenz um ihren Platz. Vergleichbar ist dieser Effekt mit einem Tauziehen zweier gleich starker Mannschaften.

Je höher die angelegte Frequenz desto geringer sind die zu erwartenden Polarisierungseffekte. Da die Meßfrequenz bei hoher Leitfähigkeit gerätetechnisch beschränkt ist, muß passendes Elektrodenmaterial verwendet werden, in der Regel Graphit oder platinisiertes Platin. Die Auswahl richtet sich nach dem gewünschten Meßbereich der Leitfähigkeitsmessung.

Die „klassische“ Leitfähigkeitsmeßzelle besteht aus einem Elektrodenpaar. Eine Weiterentwicklung stellt die Vier-Elektroden-Meßzelle TetraCon[®] von WTW dar. Sie besitzt neben dem Stromelektrodenpaar ein Spannungselektrodenpaar. Dadurch wird der ohmsche Spannungsabfall in der stromdurchflossenen Lösung bestimmt. Mit bekannter Stromstärke und dem gemessenen Spannungsabfall, ergibt sich der Leitwert der Lösung. Bei dieser Meßmethode werden Polarisationswiderstände nicht erfaßt. Eine Vier-Elektrodenzelle ist zudem unempfindlich gegenüber Meßfehlern durch Verschmutzungen.



Die Zellkonstante K kann nicht durch reines „Abmessen“ von Elektrodenabstand und Fläche bestimmt werden. Da die Feldlinien im direkten Bereich zwischen den Elektroden zwar linear verlaufen, an den Rändern aber Streufelder bilden, ist die für die Messung relevante Elektrodenfläche größer als die tatsächliche geometrische Fläche. Man begegnet diesem Effekt, indem die Zellen kalibriert werden. Durch eine Eichlösung mit bekannter Leitfähigkeit, in der Regel einer 0.01 mol/L KCl-Lösung, wird die Zellenkonstante bestimmt. Auf diesen Punkt wird im weiteren noch detaillierter eingegangen.

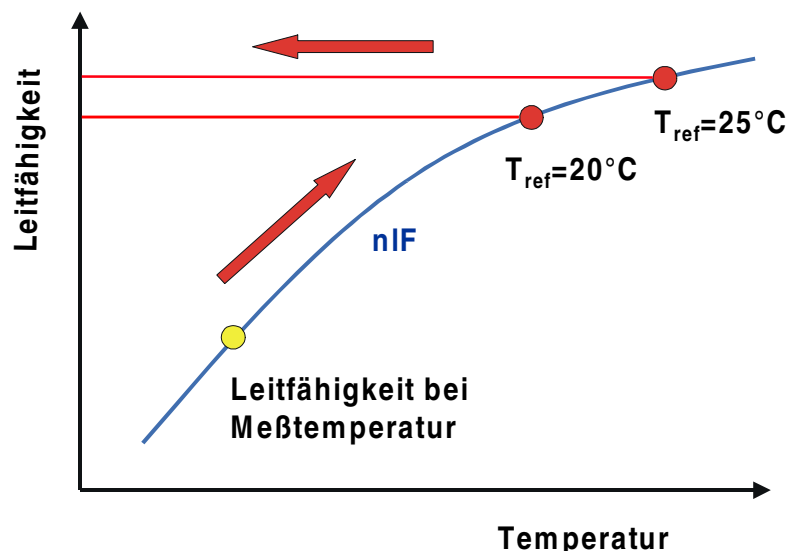
Temperaturkompensation

Die Leitfähigkeit ist eine stark temperaturabhängige Größe. Als Beispiel sei eine 0,01 molare Kaliumchloridlösung angeführt. Die Leitfähigkeit dieser Lösung beträgt bei 20°C 1278 $\mu\text{S}/\text{cm}$, bei 25°C hingegen 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dies führt dazu, daß man Meßwerte der gleichen Probe, die bei unterschiedlichen Temperaturen bestimmt werden, praktisch nicht miteinander vergleichen kann. Aus diesem Grund wurde die Referenztemperatur eingeführt. Sie ist in der Regel 20°C oder 25°C. Leitfähigkeitsmessungen laufen üblicherweise wie folgt ab. Das Meßgerät nimmt die tatsächliche Leitfähigkeit und Temperatur auf, rechnet anhand der Temperaturkompensationsfunktion auf die Referenztemperatur um und zeigt die Leitfähigkeit bei der Referenztemperatur an. Leitfähigkeitsmessung und Temperaturmessung sind zwangsläufig zusammengehörig und moderne WTW Leitfähigkeitsmeßzellen besitzen deshalb integrierte Temperaturmeßfühler.

Je nach Art der verwendeten Meßlösung müssen unterschiedliche Temperaturkompensationsfunktionen verwendet werden.

- lineare Funktion
- nichtlineare Funktion (nIF) für natürliche Wässer nach EN 27 888 (DIN 38 404)
- nichtlineare Funktion für Reinstwasser (zusätzliche Berücksichtigung der Eigenleitfähigkeit des Wassers)
- nichtlineare Funktionen für spezielle Lösungen
- keine Kompensation

Das folgende Beispiel verdeutlicht das Meßprinzip der Leitfähigkeitsmessung für eine Meßprobe (z.B. Abwasser) mit einer nIF Temperaturkompensation.



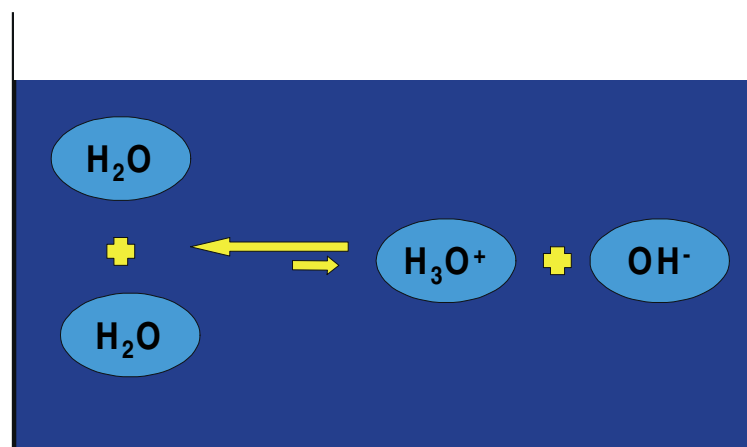
Lineare Funktionen finden z.B. für Salzlösungen, Säuren und Laugen Verwendung. Viele untersuchte wässrige Flüssigkeiten genügen aber der linearen Abhängigkeit nicht. Die Temperaturabhängigkeit kann nur durch nichtlineare Funktionen wie die nichtlineare Funktion für natürliche Wässer, also für Grund-, Oberflächen-, Trink- und Abwasser, beschrieben werden. Hochleistungskonduktometer von WTW ermöglichen eine automatische Bestimmung von nichtlinearen Funktionen für spezielle Meßproben durch den Anwender. Dabei wird die zu untersuchende Probe erwärmt bzw. abgekühlt, das

Konduktometer nimmt die Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur auf und führt die entsprechende Kurvenanpassung durch.

Als Beispiel für typische Leitfähigkeiten sind ausgewählte Werte in der folgenden Tabelle angeführt:

	Leitfähigkeit bei 25°C
Reinstes Wasser	0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Entionisiertes Wasser	1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Regenwasser	50 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Trinkwasser	500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Industrielles Abwasser	5 mS/cm
Meerwasser	50 mS/cm
1 mol/L NaCl	85 mS/cm
1 mol/L HCl	332 mS/cm

Auch reinstes Wasser besitzt eine Leitfähigkeit! Diese hat ihre Ursache in der Eigendissoziation von Wasser, das entsprechend dem Löslichkeitsprodukt Oxonium- und Hydroxidionen bildet.



Kalibrierung und Analytische Qualitätssicherung

Kalibrierung

Zunächst eine Vorbemerkung. Die Begriffe Kalibrieren und Justieren werden meist synonym verwendet. Streng genommen bezeichnet Kalibrieren jedoch einen Vergleich mit Sollwerten und eine Beurteilung ob Toleranzen eingehalten werden. Beim Justieren wird eine Einstellung aktiv verändert und angepaßt.

Anders als bei pH- und Sauerstoffmessung verändert bzw. verbraucht sich bei der Leitfähigkeitsmessung die Meßzelle durch die Messung nicht. Dies gilt zumindest bei ordnungsgemäßem Gebrauch. Die Meßzelle besteht aus Edelstahl, Platin, platinieren Platin- oder Graphitelektrodenpaaren, die chemisch resistent sind, und deren Geometrie die Zellkonstante bestimmt.

Die Meßzellen werden mit einer festgelegten und geprüften Zellkonstante ab Werk geliefert und der Anwender kann die Messung starten ohne die Zellkonstante vorher bestimmen zu müssen. Die produktionstechnisch bedingten Toleranzen der Zellenkonstante liegen je nach Meßbereich zwischen 1,5% und 2%. Sollten sehr genaue Messungen durchgeführt werden kann die Zellenkonstante mit Kaliumchloridlösungen exakt eingestellt werden. Dies gilt grundsätzlich für neue Zellen oder bei einem Zellenwechsel.



Dabei empfiehlt sich die Verwendung von vorgefertigten KCl-Lösungen, weil hierbei keine Fehler aufgrund von Verdünnung oder verunreinigten Substanzen (KCl bzw. Wasser) zu befürchten sind.

Eine Kalibrierung der Leitfähigkeitszelle ist im Sinne von Überprüfen zu verstehen, nicht im Sinne von Justieren, da eine Änderung der Zellenkonstante im Regelfall durch Verschmutzung bedingt ist. Ein Justieren auf die aktuelle Verschmutzung sollte logischerweise nicht stattfinden, besser ist es die Zelle zu reinigen.

Die EN 27 888 empfiehlt ein regelmäßiges Prüfen mindestens alle sechs Monate. Dabei muß die der Zellenkonstante entsprechende Kalibrierstandardlösung verwendet werden.

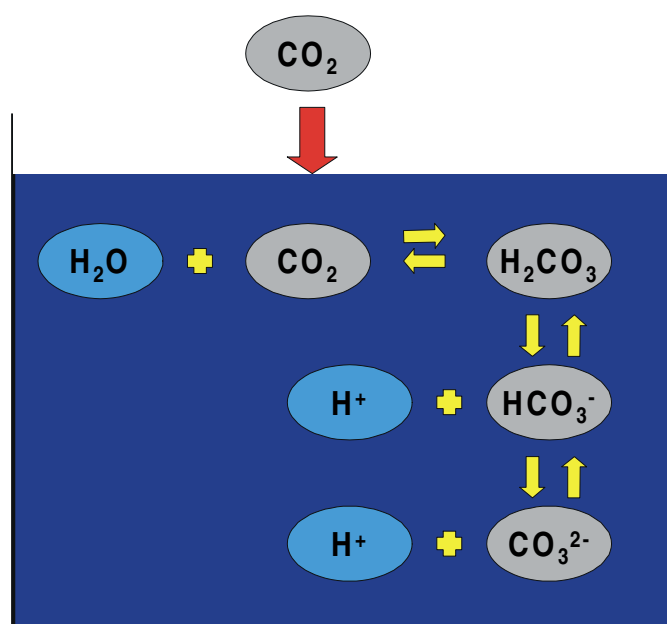
Bei den zu verwendenden Lösungen handelt es sich um unterschiedlich konzentrierte Kaliumchloridlösungen.

Meßbereich	Elektrodenmaterial	Empfohlene Standardlösung $c_{(KCl)}$ [mol/L]	Elektrische Leitfähigkeit bei 25°C [mS/cm]
$\leq 200 \mu\text{S/cm}$	Stahl, Platin	0,001	0,147
$\leq 200 \mu\text{S/cm}$	Platiniertes Platin, Graphit	0,01	1,413
$\leq 2 \text{ mS/cm}$	Platiniertes Platin, Platin, Graphit	0,01	1,413
$\leq 300 \text{ mS/cm}$	Platin, Graphit	3	ca. 300
$\geq 300 \mu\text{S/cm}$	Platin, Graphit		

Für den Meßbereich bis $2 \mu\text{S/cm}$, also nur für Reinstwasser, wie etwa Kesselspeisewasser, und für entionisierte Wässer sind keine Verschmutzungen zu erwarten. Für diesen Leitfähigkeitsmeßbereich kann keine Überprüfung mit einer Kalibrierstandardlösung erfolgen, da eine ausreichend stabile praktisch nicht hergestellt werden kann.

Problematisch wäre auch die Verwendung einer derartigen Kalibrierstandardlösung, weil jeglicher Kontakt mit Luft vollkommen auszuschließen ist. In Luft befindliches Kohlendioxid würde im Wasser gelöst und mit Wasser Hydrogencarbonat- bzw. Carbonationen bilden.

Diese ionischen Bestandteile liefern dramatische Änderungen der gemessenen Leitfähigkeit und somit sinnlose Ergebnisse.



Die Beachtung des Einflusses von Kohlendioxid gilt sowohl für die Kalibrierung als auch die eigentliche Messung. Es muß unter Luftabschluß bzw. unter Schutzgas gearbeitet werden.

Zur Überprüfung einer Reinstwassermeßzelle ist ein einfacher Funktionstest am sinnvollsten. Liefert die Zelle für entionisiertes Wasser plausible Werte, sind Störungen im wesentlichen auszuschließen.

Überprüft man Zellen für einen Leitfähigkeitsbereich kleiner als $200\mu\text{S}/\text{cm}$

muß man bedingt durch das Elektrodenmaterial unterscheiden:

Blanke Platin- oder Stahlelektroden polarisieren bei hohen Leitfähigkeiten, weshalb auf eine $0,001\text{ mol/L}$ KCl-Lösung ausgewichen werden muß. Eine $0,001\text{ molare}$ KCl-Lösung kann durch 1+9 Verdünnung von käuflich erhältlicher $0,01\text{ mol/L}$ KCl-Lösung hergestellt werden (Wasserqualität beachten!).

Für platinisiertes Platin bzw. Graphit empfiehlt es sich fertige $0,01\text{ mol/L}$ KCl-Lösung von WTW zu verwenden, weil dadurch mögliche Fehlerquellen in der Herstellung ausgeschlossen werden können.

Für den Meßbereich bis $2\text{ mS}/\text{cm}$

ist ebenfalls die Verwendung der bereits fertigen

$0,01\text{ mol/L}$ KCl-Lösung möglich, womit zusätzliche Fehlerquellen in der Herstellung der Prüflösung auszuschließen sind.

Im Meßbereich bis $300\text{ mS}/\text{cm}$

kann nur eine einfache Überprüfung vorgenommen werden, indem die 3 molare , silberchloridfreie KCl-Lösung der pH-Messung verwendet wird. Das Ergebnis sollte in der Größenordnung von $300\text{ mS}/\text{cm}$ liegen.

Einstellen und Prüfen der Zellenkonstante

Leitfähigkeitsmessungen sind extrem empfindlich gegenüber ionischen Verunreinigungen. Die gereinigte oder neue Leitfähigkeitszelle sollte deshalb mit etwas Standardlösung gespült werden, bevor sie in die Prüflösung eingetaucht wird. Für Labormesszellen, wie der TetraCon® 325, empfiehlt es sich die Sonde direkt in frisch geöffnete Kalibrierstandardfläschchen zu tauchen, um Verschmutzungen durch das Probengefäß auszuschließen. Ist dies nicht möglich, sollten die zu verwendenden Gefäße mit Standardlösung gespült werden.

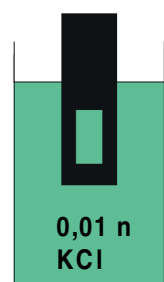
Einen Sonderfall nehmen Streufeldzellen ein. Die Elektroden sind an der Stirnseite des Schafts angebracht (z.B. TetraCon® 700 für die Online-Messung). Die Zellenkonstante ist von der Größe und Art des Streufeldes abhängig. Das Streufeld wiederum wird durch Begrenzungen, wie etwa des Gefäßbodens oder des Einbaurohres verändert. Als Folge dessen muß die Justierung bzw. Prüfung der Sonde bei einem Rohreinbau im eingebauten Zustand durchgeführt werden. Für die anderen Fälle ist ein Mindestabstand zur Gefäßwand einzuhalten. Der Meßwert muß unabhängig von der Größe des Gefäßes bzw. dem Volumen der Standardlösung sein.

Wird eine Justierung der Zellenkonstante zur Erhöhung der Meßgenauigkeit durchgeführt (nicht zum Kompensieren von Verschmutzungen!), gilt es zu beachten, ob das Konduktometer eine automatische Kalibrierfunktion, wie bei modernen WTW-Konduktometern der Fall, besitzt.

Wenn ja, genügt es, die Zelle in 0,01 mol/L KCl-Lösung zu tauchen und den Justiervorgang zu starten. Hintergrund ist, daß die Temperaturkompensationsfunktion der Kalibrierstandardlösung im Gerät gespeichert ist. Das Gerät mißt bei diesem Vorgang die Leitfähigkeit und verändert die berechnete Zellenkonstante derart, daß bei der eingestellten Bezugstemperatur die entsprechende Leitfähigkeit der Standardlösung erreicht wird. Nach Beendigung wird die justierte Zellenkonstante angezeigt.

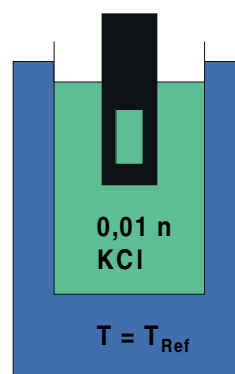
Bei Geräten ohne Kalibrierautomatik wird dieser Vorgang vom Benutzer durchgeführt. Zu beachten ist dabei in diesem Fall, daß die Justierung in thermostatisiertem Zustand geschieht. Die Kontrolllösung und die Meßzelle müssen Bezugstemperatur haben. Hintergrund beim Einstellen der Zellkonstante ist der gleiche. Die Zellkonstante wird so verändert, daß bei der Referenztemperatur möglichst genau die entsprechende Leitfähigkeit erreicht wird. Möglichst genau deshalb, weil die Auflösung der Zellenkonstante meist nicht groß genug ist, um ein Einstellen auf den exakten Wert (z.B. 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ für 0,01 molare KCl-Lösung bei 25°C) zu ermöglichen.

Automatische
Kalibrierfunktion



$T = \text{konstant}$

Keine automatische
Kalibrierfunktion



$T = T_{\text{Ref}}$

Hinweis:

Falls die Leitfähigkeitsmeßzelle nach Beendigung der Justierung weiterhin in die Kalibrierstandardlösung getaucht wird und auf den normalen Meßmodus mit z.B. einer nIF Temperaturkompensationsfunktion umgestellt wird, ergibt sich in der Regel ein anderer Meßwert. (Grund: Andere Temperaturkompensationsfunktion!)

Wird lediglich eine Kontrollmessung ohne Justierung der Zellenkonstanten mit der Kalibrierstandardlösung durchgeführt, gilt es die richtige Temperaturkompensationsfunktion zu beachten.

Der Wert der linearen Temperaturkompensation für die 0,01 molare KCl-Lösung beträgt 1,9%/K für eine Referenztemperatur von 20°C und 2,1% /K für eine Referenztemperatur von 25°C.

Alternativ kann die Kontrolllösung exakt auf Referenztemperatur thermostatisiert werden, wodurch ein Einstellen der entsprechenden Temperaturkompensationsfunktion nicht mehr notwendig ist.

Bei einem Wechsel der Leitfähigkeitsmeßzelle darf zudem nicht übersehen werden, die eventuell andere Zellenkonstante am Leitfähigkeitsmeßgerät zu übernehmen!

Prüfen des Konduktometers

Die primäre Meßgröße des Leitwertes ist der Widerstand. Ein Konduktometer kann durch zertifizierte Prüf Widerstände auf seine Funktion hin getestet werden. WTW bietet hierfür einen Satz von sechs unterschiedlichen Widerständen an, die anstelle der Meßzelle an das Gerät angeschlossen werden.



Liegen die angezeigten Meßwerte innerhalb der im Zertifikat angegebenen Toleranz, ist die Funktionssicherheit gegeben. Werden Werte außerhalb der Toleranz angezeigt, muß das Gerät zur Reparatur eingesandt werden. Das von WTW angebotene Prüfset gestattet die Überprüfung im Rahmen der ISO 9000. Es ermöglicht die Rückführbarkeit der gemessenen Werte auf nationale Normale.

Messung und Analytische Qualitätssicherung

Welche Meßzelle für welche Anwendung

Ähnlich der pH-Messung hängt die Auswahl der verwendeten Leitfähigkeitszelle von der Applikation ab. Es gilt wiederum die Tatsache, daß der notwendige Aufwand um so größer ist, je sauberer die zu untersuchende Meßprobe ist. Hierzu seien ein paar Beispiele angeführt, aber auch darauf verwiesen, daß eine große Anzahl von Spezialzellen zur Verfügung steht:



Die **Standard-Leitfähigkeitsmeßzelle TetraCon® 325** besitzt Graphitelektroden in Vierleitertechnik, ist somit unempfindlich gegen Verschmutzung und leicht zu reinigen; ihr Anwendungsbereich ist die Routineanalytik, der Meßbereich liegt zwischen $1\mu\text{S}/\text{cm}$ und $2\text{ S}/\text{cm}$.



Für teilwässrige und hochaggressive Medien empfiehlt sich die Verwendung der **TetraCon® 325 Pt** mit einem Meßbereich zwischen $1\mu\text{S}/\text{cm}$ und $1\text{ S}/\text{cm}$. Die Elektroden bestehen aus Platin und sind dadurch sehr resistent gegen aggressive Medien.

**LR 325/01**(0,001 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

Sollte in Reinstwasser, wie etwa Kesselspeisewasser oder Ionenaustauschwasser gemessen werden, ist eine Messung in einem Durchflußgefäß notwendig. Der Kontakt mit Luft muß ausgeschlossen werden. Ursache ist wiederum das Kohlendioxid in der Luft, welches in Wasser Kohlensäure bildet und zu einer Veränderung der Leitfähigkeit führt. Je nach gewünschtem Meßbereich bieten sich zwei Elektroden an.

**LR 325/001**(0,0001 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

Der besondere Tip und zur Wiederholung:

Zwei Punkte werden bei der Leitfähigkeitsmessung häufig übersehen.

Das Ergebnis wird in der Regel auf die Referenztemperatur bezogen. Diese ist meist 25°C! Beträgt die am Gerät eingestellte Referenztemperatur nun 20°C erhält man einen deutlich anderen Wert, der nichts mit einer Fehlmessung zu tun hat, sondern lediglich einen anderen Bezug hat.

Zur Berechnung der Leitfähigkeit bei der Referenztemperatur rechnet das Gerät mit einer charakteristischen Funktion von der aktuellen Meßguttemperatur um. Wenn diese Funktion nicht der Probe entspricht, erhält man einen falschen Wert. Will man beispielsweise eine Kochsalzlösung untersuchen, braucht man eine lineare Funktion und nicht die nichtlineare Funktion für natürliche Wässer.

Diese beiden Punkte sollten bei jeder Messung berücksichtigt, richtig eingestellt und entsprechend der AQS auch dokumentiert werden.

Driftkontrolle

Eine Driftkontrolle, wie bei den Parametern pH und Sauerstoff, macht im Falle der Leitfähigkeitsmessung keinen Sinn, da der angezeigte Meßwert der aktuelle Meßwert ist. Eine meßtechnisch bedingte Zeitverzögerung tritt nicht auf.

Reinigung der Zellen

Als Reinigungsmittel für organischen Verunreinigungen hat sich warmes Wasser mit etwas Haushaltsspülmittel bewährt, eventuell kann auch Spiritus verwendet werden. Kalkhaltige Verschmutzungen reinigt man am besten mit zehnpromzentiger Zitronensäure. **Ein mechanisches Reinigen von Graphit-, Stahl- oder blanken Platinelektroden ist mit einer weichen Bürste möglich. Dabei muß gewährleistet sein, daß die Oberfläche der Elektroden in keinem Fall verkratzt wird! Es dürfen keine harten Gegenstände, wie etwa Schraubenzieher, verwendet werden.**



Auch die Verwendung einer Bürste sollte sorgfältig überlegt sein. **Platinierte Platinelektroden dürfen nur chemisch gereinigt werden, weil auch die weichste Bürste die Platinschicht der Elektroden beschädigen würde.** Ein Regenerieren einer beschädigten oder stark verschmutzten Elektrodenoberfläche ist durch Platinieren der Elektrodenoberflächen möglich. Hierzu sei auf den WTW Applikationsbericht 243 verwiesen.

Lagerung der Meßzellen

Ähnlich der Unterschiede beim Reinigen der Meßzellen gibt es für die Aufbewahrung Punkte, die beachtet werden müssen. **Zellen aus blankem Platin, Stahl oder Graphit werden trocken gelagert. Platinierte Platinelektroden hingegen dürfen nicht austrocknen. Sie müssen in entionisiertem Wasser aufbewahrt werden.**

Praktische Übungen

Vorbereitung

Alle praktischen Versuche sollten in einem geeigneten Labor durchgeführt werden, da nur hier die Arbeitssicherheit gewährleistet werden kann. Dieser Hinweis gilt generell. Für die folgend beschriebenen Versuche zur Leitfähigkeitsmessung treten allerdings keine Gefahren durch die verwendeten Chemikalien auf, da KCl-Lösung ungiftig ist und nur abwaschbare Salzränder hinterlassen kann. Dennoch sollte im analytischen Bereich die Beachtung von Sicherheitsregeln routinemäßig eingehalten werden.

Sicherheitshinweise

Allgemeine Verhaltensregeln für den Umgang mit chemischen Substanzen

An einem Arbeitsplatz, an dem mit Chemikalien gearbeitet wird, ist man angehalten:

- die Hinweise auf den Chemikalienflaschen zu beachten
- Schutzausrüstung zu tragen (Brille, Handschuhe...)
- offene Behältnisse nie auf andere Personen zu richten
- nicht zu essen, zu trinken, zu rauchen
- eine einwandfreie Entsorgung zu ermöglichen
- verkleckerte Chemikalien ordnungsgemäß zu beseitigen
- bei auftretenden Schwierigkeiten Fachpersonal hinzuzuziehen



Mit diesen kurzen Hinweisen hoffen wir, ein erfolgreiches und unbelastetes Praktikum zu ermöglichen.

Folgende Geräte und Einrichtungen müssen vorhanden sein:

	Abwaschbare Tische
	Unempfindlicher Fußboden
	Fließendes Wasser
	Augendusche

Checkliste Meßplatz

	1 Leitfähigkeitsmeßgerät	z.B. LF 330/340, inoLab Cond
	1 Leitfähigkeitsmeßzelle	Zum Meßgerät passend
	1 Kalibrierstandard	0,01 mol/L KCl-Lösung
	1 Stativ	Zum Befestigen der Meßkette
	1 Magnetrührer mit Rührfisch	
	2 Bechergläser (150ml)	
	Frisches dest. Wasser	
	Spritzflasche mit dest. Wasser	
	Schutzbrille, Handschuhe und Kittel	
	Kugelschreiber und Block, Taschenrechner, fusselfreie Tücher	

**Kalibrierstandardlösungen
müssen über jeden Zweifel erhaben sein!**

Unbedingt beachten: keine Kalibrierstandardlösungen unbekannter Herkunft oder Geschichte verwenden! Idealerweise fertige, frisch geöffnete Kalibrierstandardlösungen verwenden, die anschließend verworfen werden.

Praktische Übungen

1. Kalibrieren der Meßzelle

Den sauberen Sensor mit Kalibrierstandardlösung (0.01 mol/L KCl) spülen und anschließend in die Lösung tauchen

- Überprüfen der eingestellten Zellkonstanten
Referenztemperatur auf 25°C und lineare Temperaturkompensation auf 2,1%/K stellen.
Angezeigten Wert mit dem Sollwert von 1413mS/cm vergleichen.
- Manuelles Einstellen der Zellenkonstanten
Veränderung der Zellenkonstanten unter Beobachtung der Änderung der Leitfähigkeit.
(Achtung: Hier wird auf ein Thermostatisieren verzichtet, weil im nächsten Schritt die Zellenkonstante automatisch kalibriert wird!
Falls die Zellenkonstante nur manuell eingestellt werden kann, muß auf Referenztemperatur thermostatisiert werden!)
- Automatisches Einstellen der Zellkonstante anhand der Bedienungsanleitung

2. Einfluß der Referenztemperatur

- Leitfähigkeit von 0.01 mol/L KCl bei einer Referenztemperatur von 20°C bestimmen
Lineare Temperaturkompensation mit 1.9%/K
- Leitfähigkeit von 0.01 mol/L KCl bei einer Referenztemperatur von 25°C bestimmen
Lineare Temperaturkompensation mit 2.1%/K

3. Einfluß der eingestellten Temperaturkompensationsfunktion

Die Meßwerte für Leitungswasser (Referenztemperatur 25 °C) sollen mit der nIF, mit einer linearen Funktion (2.1 %/K) und ohne Temperaturkompensation (0,0 %/K) bestimmt und verglichen werden.

4. Einfluß von Kohlendioxid auf die Messung ionenarmer Proben

Frisches destilliertes Wasser sollte mit einem Magnetrührfisch 15 Minuten gerührt werden. Die Leitfähigkeit sollte dabei kontinuierlich verfolgt werden. (nIF-Funktion und 25°C Referenztemperatur)

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 27888, Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit, 11/93