

Leitfähigkeit

Definition

Die Leitfähigkeit ist die Fähigkeit eines Materials - ob in Form von Flüssigkeit, eines Feststoffes oder von Gas -, elektrischen Strom zu leiten.

Sie ist eine wichtige Messgröße für viele Bereiche wie etwa im Trink- und Abwasserbereich, bei industriellen Herstellungsprozessen, bei der Qualitätskontrolle oder in der Lebensmittelbranche.

Die Leitfähigkeitsmessung einer Lösung ist die der Konzentration an Gesamtionen - bestehend aus Anionen und Kationen -, die den elektrischen Strom leiten. Sie gibt folglich Aufschluss über die ionische Stärke einer Lösung, nicht jedoch über die Art der Ionen.

Ausgedrückt wird die Leitfähigkeit in $\mu\text{S/cm}$ (Mikrosiemens) oder mS/cm (Millisiemens; $1 \text{ mS/cm} = 1000 \mu\text{S/cm}$).

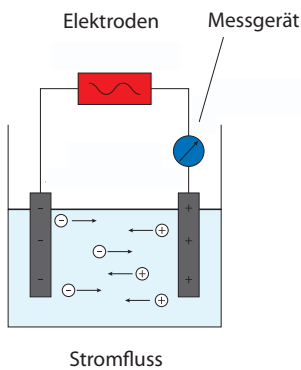
Die Leitfähigkeitsmessbereiche reichen etwa von $1 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$ bei reinem Wasser bis hin zu 1 S/cm bei stark konzentrierten Lösungen.

Leitfähigkeitsmessung

Das Leitfähigkeitsmesssystem besteht aus:

- einer Leitfähigkeitsmesszelle
- einem Temperaturfühler/-sensor
- einem Leitfähigkeitsmessgerät

Die Leitfähigkeitsmesszelle besteht aus 2 Elektroden, denen eine Wechselspannung angelegt wird, und die in eine Lösung getaucht werden. Gemessen wird der elektrische Stromfluss zwischen den beiden Elektroden.



Je nach Anwendungsbereich wird die Leitfähigkeit oder der Widerstand (Kehrwert der Leitfähigkeit) gemessen.

Der Leitfähigkeitswert einer Lösung hängt ab von:

- der Konzentration an Ionen
- der Valenz der Ionen
- der Mobilität der Ionen
- deren Temperatur

Die Leitfähigkeitssonde

Man unterscheidet 3 Arten von Leitfähigkeitssonden:

- **Amperometrische 2-Ring-Sonden:** es handelt sich hier um herkömmliche Sonden, die bei Messungen in Proben niedriger Leitfähigkeit (bis 2 mS/cm) eingesetzt werden.

Bei Messungen über mehrere weite Messbereiche, bieten sie den Nachteil, Messwerte aufgrund ihres Polarisierungseffekts zu fälschen.

- **Potentiometrische 4-Ring-Sonden:** sie werden bei Messungen über weite Messbereiche eingesetzt. Durch die beiden zusätzlichen Ringe wird dem Polarisierungseffekt entgegengewirkt.

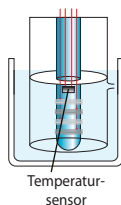
- **Induktionssonden:** sie werden hauptsächlich bei industriellen Anwendungen mit sehr hoher Leitfähigkeit und starker Verschmutzung eingesetzt.

Verhältnis Leitfähigkeit/Temperatur

Die Leitfähigkeit einer Lösung ist stark temperaturabhängig. Je höher die Temperatur, je höher der Leitwert. Diese Leitfähigkeitsveränderung wird in $\%/^{\circ}\text{C}$ ausgedrückt und ist als Temperaturkoeffizient β bekannt. Bei den meisten Anwendungen wie etwa bei Trinkwasser liegt β bei $2\%/^{\circ}\text{C}$. Um Leitfähigkeitsmesswerte vergleichbar zu machen, bezieht man die Ergebnisse auf eine sogenannte Referenztemperatur von 20 bzw. 25°C .

Temperaturkompensation

Da die Leitfähigkeit stark temperaturabhängig ist, muss bei jeder Messung die Temperatur der Probe gemessen werden. Die Temperaturkompensation besteht darin, den Leitwert unter Berücksichtigung der Referenztemperatur zu berechnen. Sie erfolgt manuell mit einem separaten Temperaturfühler oder automatisch mithilfe einer Leitfähigkeitssonde mit integriertem Temperatursensor.



Man unterscheidet 3 Arten der Temperaturkompensation:

- die lineare Temperaturkompensation: sie wird bei den meisten Anwendungen verwendet, vor allem bei Proben mittlerer oder hoher Leitfähigkeit.
- die nicht-lineare Temperaturkompensation: für natürliche Gewässer und Reinstwasser.
- keine Kompensation: gemäss der USP (United States Pharmacopeia)-Normen oder bei Messung der absoluten Leitfähigkeit.

Die Zellkonstante

Leitfähigkeitssonden bestehen aus einem Elektrodenpaar. Die Zellkonstante K ist eine wesentliche Eigenschaft der Sonde und gibt die Relation von Elektrodenabstand zu Elektrodenflächen wieder:

$$K = \text{Elektrodenabstand} \div \text{Elektrodenfläche} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

Leitfähigkeitssonden mit einer Zellkonstante $K = 1 \text{ cm}^{-1}$ sind universell einsetzbar und ermöglichen die genaue Messung von Proben sowohl mit geringer als auch mit hoher Leitfähigkeit.

Bei Proben mit sehr niedriger Leitfähigkeit, die eine sehr hohe Messgenauigkeit erfordern (wie etwa bei reinem Wasser), werden Leitfähigkeitssonden mit einer Zellkonstante von $K = 0,1 \text{ cm}^{-1}$ bevorzugt. Bei Proben mit einer sehr hohen Leitfähigkeit sind Leitfähigkeitssonden mit einer Zellkonstante von $K = 10 \text{ cm}^{-1}$ empfehlenswert.

Jede Leitfähigkeitssonde hat eine eigene Zellkonstante. Zeit, Häufigkeit der Anwendungen und Verschmutzungen führen jedoch dazu, dass sich die Zellkonstante verschiebt. Aus diesem Grunde wird empfohlen, die Zellkonstante durch Kalibrierung mit einer Leitfähigkeitslösung mit bekanntem Wert festzuhalten.

Leitfähigkeit

Anatomie einer Leitfähigkeitssonde

Der Anschluss

Die Leitfähigkeitssonden von HANNA instruments haben einen DIN Stecker mit festem Kabel.

Der Körper

HANNA Leitfähigkeitssonden sind aus robustem Kunststoff und eignen sich sowohl für Labor- als auch für Outdoor-Messungen.

Das Material

Bei den Leitfähigkeitssonden von HANNA instruments unterscheidet man 3 Arten von Material:

- Graphit: dieses Material ist besonders resistent gegen Salzablagerungen.
- Edelstahl
- Platin: die Mehrzahl der HANNA Leitfähigkeitssonden sind aus Platin. Das Material erhöht die Ansprechzeit der Sonde.

Die Lebensdauer

Im Gegensatz zu pH-Elektroden verbrauchen sich Leitfähigkeitssonden bei einer ordnungsgemäßen Handhabung nicht. Lediglich die Zellkonstante kann sich bei Veränderung der Oberfläche verschieben. Eine Veränderung der Oberfläche ist zurückzuführen auf Luftbläschen, die sich zwischen den Elektroden bilden, Fingerabdrücke, Kratzer oder Salzablagerungen.

Aufbewahrung von Leitfähigkeitssonden

Vor ihrer Aufbewahrung sind Leitfähigkeitssonden mit destilliertem Wasser abzuspülen. Dadurch werden unerwünschte Ablagerungen auf der Messoberfläche vermieden.

Tipps für genaue Leitfähigkeitsmessungen

Kalibrierung

Die Kalibrierung von Gerät und Sonde erfolgt mithilfe von Leitfähigkeitskalibrierlösungen (siehe Seite 80).

Die Kalibrierbedingungen (Temperatur usw.) sollten mit den Messbedingungen identisch sein.

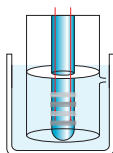
Je nach Modell und gewünschter Messgenauigkeit kann die Kalibrierung bei bis zu 5 Punkten erfolgen. In der Regel jedoch erfolgt die Kalibrierung bei einem Punkt, was für eine gute Messqualität durchaus ausreichend ist. Eine Kalibrierung bei mehreren Punkten wird bei Proben mit einer nicht-linearen Leitfähigkeitskurve empfohlen.

Häufigkeit der Kalibrierung

Die Häufigkeit der Kalibrierung hängt ab von der gewünschten Messgenauigkeit, der Anwendung oder der Art der Probe. Sie ist ein Erfahrungswert des Anwenders. Bei ordnungsgemäßer Pflege der Sonde kann die Kalibrierung bis zu 4 Wochen halten.

Eintauchtiefe der Sonde bei der Messung

Bei der Messung sollten die Sonde und deren Öffnungen in die Probe getaucht sein.



Leitfähigkeitssonden mit 2 Elektroden sollten in die Mitte des Messbechers platziert werden. Bei bestimmten Anwendungen sollte beachtet werden, dass sie Boden und Wände des Messbechers nicht berühren.

Beispiele von Leitfähigkeitsmesswerten

Leitfähigkeitsmesswerte @ 25 °C	
Reines Wasser	0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Destilliertes Wasser	0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Bergwasser	1,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Regenwasser	50 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Trinkwasser	500 bis 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Trinkwasser (max. Leitwert)	10055 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Industrieabwasser	5 mS/cm
Seewasser	52 mS/cm



Temperatursensor

Öffnungen

Messkammer

Externe Elektroden

Interne Elektroden

Pflege von Leitfähigkeitssonden

Für genaue Messergebnisse müssen Sonde und Messbecher einwandfrei sauber sein. Sie sind vor jeder Messung 2-3 Mal mit der Probe abzuspülen.

Zwischen 2 Messungen sollte die Sonde mit destilliertem Wasser abgespült werden.

Bei Verschmutzungen oder Ablagerungen ist die Leitfähigkeitssonde wie folgt zu reinigen:

- Sonde in allgemeine Reinigungslösung **HI 7061** tauchen.
- Sonde mit Methanol oder etwas Geschirrspülmittel und einer weichen Bürste reinigen. Achten Sie darauf, dass die Oberfläche (Zellkonstante!) dabei nicht beschädigt wird.

Nach jeder Reinigung sollte die Sonde sorgfältig mit destilliertem Wasser abgespült werden.

Widerstand und TDS

Widerstands-Messungen

Der Widerstand ist ein Parameter zur Bestimmung der ionischen Qualität einer Lösung. Er ist eine Messgröße bei Qualitätskontrollen von ultrareinem Wasser und bei der Analyse von durch organische Lösungen verschmutztem Wasser.

Der Widerstand ist der Kehrwert der Leitfähigkeit:

$$\text{Widerstand} = \frac{1}{\text{Leitfähigkeit}} \text{ (Ohm.cm)}$$

Er wird ausgedrückt in Ohm.cm.

Viele Messgeräte verfügen heutzutage sowohl über einen Leitfähigkeits- als auch über einen Widerstands-Messbereich (z.B. **HI 87314**, **HI 216-02** ...).

TDS-Messungen

TDS steht für *Total Dissolved Solids*, d.h. die Summe der gelösten Feststoffe in einer Lösung.

Ausgedrückt wird der TDS-Wert in ppm (parts per million) oder mg/l bzw. ppt (parts per thousand) oder g/l.

In wässrigen Lösungen verhält sich die Leitfähigkeit direkt proportional zur Konzentration der gelösten Feststoffe: je mehr gelöste Feststoffe, je höher die Leitfähigkeit. Es ergibt sich näherungsweise folgende Gleichung:

$$2 \mu\text{S/cm} = 1 \text{ ppm (mg/l)}$$

Der TDS-Wert ist oftmals eine Messgröße bei der Papierherstellung. Die meisten Messgeräte verfügen heutzutage sowohl über einen Leitfähigkeits- als auch über einen TDS-Messbereich.

TDS-Faktor

Unter TDS-Faktor versteht man den vom Messgerät verwendeten Wert zur Konvertierung der Leitfähigkeit in TDS.

Bei normalem Wasser liegt der TDS-Faktor zwischen 0,50 und 0,70. Grundsätzlich muss der TDS-Faktor zwischen 0,40 und 1,00 liegen. Je nach Modell ist der TDS-Faktor durch den Nutzer frei wählbar.

Wasserhärte

Die Wasserhärte kann mit guter Annäherung mithilfe eines Leitfähigkeits- oder TDS-Messgerätes bestimmt werden. Sie hängt hauptsächlich von der Konzentration an gelösten Calcium- und Magnesium-Ionen ab und wird ausgedrückt in deutsche Härtegrade (°dH).

$$1^\circ\text{dH} = 30 \mu\text{S/cm}$$

WICHTIG: Vor Behandlungen mit Chemikalien, die die Wasserhärte mindern, ist eine Bestimmung der Wasserhärte stets erforderlich.

Wasserhärte			
mg/l	μS/cm	°dH	Härte
0-70	0-140	0-4	sehr weich
70-150	140-300	4-9	weich
150-250	300-500	9-15	leicht hart
250-320	500-640	15-19	mässig hart
320-420	640-840	19-25	hart
> 420	> 840	> 25	sehr hart