

JUMO



Leitfähigkeitsmessung, Konzentration, TDS



Reinhard Manns

Leitfähigkeitsmessung, Konzentration, TDS

Dipl.-Ing. (FH) Reinhard Manns

Bemerkung

Diese Broschüre wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Für mögliche Irrtümer übernehmen wir keine Gewähr. Maßgebend sind in jedem Fall die Betriebsanleitungen zu den entsprechenden Geräten.

Vorwort

Die Leitfähigkeitsmessung ist eine einfach durchzuführende Messtechnik zur Bestimmung und Überwachung der Gesamtsalzkonzentration in Wässern. Sie ist in vielen Bereichen der industriellen und Umweltanalytik zu finden. Ob es in einer Molkerei um die Reinigung der Abfülleitungen oder im Kraftwerk um den Schutz des Kühlsystems geht, stets hängen die richtigen Maßnahmen vom Leitfähigkeitswert ab.

Die zu Grunde liegenden elektrochemischen Zusammenhänge und typischen Anwendungen, stellt dieses Kapitel in allgemein verständlicher Form dar. Außerdem werden Hinweise auf den Stand der Technik bei den Messumformern/Reglern und Sensoren für diese Messgröße gegeben.

Wir halten die Informationen zur Leitfähigkeitsmessung, Konzentration und TDS stets auf dem neuesten Stand und rufen unsere Leser dazu auf, rege an einem Erfahrungs- und Wissensaustausch mitzuarbeiten.

Gerne nehmen wir Ihre Anregungen und Diskussionsbeiträge entgegen.

Fulda, im April 2012

Dipl.-Ing. (FH) Reinhard Manns



JUMO GmbH & Co. KG

Moritz-Juchheim-Straße 1

36039 Fulda, Germany

Telefon: +49 661 6003-714

Telefax: +49 661 6003-605

E-Mail: analysenmesstechnik@jumo.net

Internet: www.jumo.net

Nachdruck mit Quellennachweis gestattet!

Teilenummer: 00411335

Buchnummer: FAS 624

Druckdatum: 2012-04

1	Einleitung	7
2	Grundlagen	9
2.1	Motivation von Normen	9
2.2	Methoden zur Leitfähigkeitsmessung	10
2.2.1	Allgemeines	10
2.2.2	Die Zellenkonstante	11
2.2.3	Wechselspannung	12
2.2.4	Messprinzipien	13
2.2.5	Induktiver Sensor	15
2.2.6	Auswahlhilfe	16
3	Messtechnik	17
3.1	Aufbau einer Prozesseinrichtung	17
3.1.1	Sensoren	17
3.1.2	Armaturen	18
3.1.3	Messumformer/Regler	18
3.1.4	Leitungsmaterial/Anschlussleitung	20
3.2	Inbetriebnahme der Messeinrichtung	21
3.2.1	Messort	21
3.2.2	Kalibrieren/Justieren	21
3.2.3	Messbedingungen	23
3.2.4	Referenzlösungen	26
4	Anwendungen	27
4.1	Abwasserreinigungsanlagen	27
4.2	Galvanikanlagen	27
4.3	Getränkeabfüllanlagen	28
4.4	Kraftwerke	29
4.5	Pharmazie	31
4.6	Vollentsalzungsanlagen	32
4.7	Konzentrationsmessungen	33
5	Qualitätssicherung	35
5.1	Dokumentation	35
5.2	Wartung	37
5.3	Probleme/Maßnahmen	39
5.4	Reinigung	40



Inhalt

5.5	Prüfmöglichkeiten vor Ort	40
5.6	Lagerung des Sensors	41
6	Quellenangabe	43

Die Messung der elektrolytischen Leitfähigkeit (Konduktometrie) ist nach der pH-Wert-Messung die in der Betriebsmesstechnik am häufigsten eingesetzte elektrochemische Messmethode. Sie wird seit mehr als 100 Jahre in der betrieblichen Praxis verwendet. Die üblichen Messwerte bewegen sich je nach Anwendung beginnend $< 1 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei Reinstwasser über ca. $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ($1 \text{ mS}/\text{cm}$) bei Trinkwasser bis $> 100 \text{ mS}/\text{cm}$ bei Reinigungslösungen (verdünnte Säuren und Laugen).

Die meisten im Wasser gelösten Feststoffe sind Salze. Diese liegen dann als Elektrolyte (hydratisierte Kationen und Anionen) vor. Durch die Messung dieses Parameters kann demzufolge eine erste schnelle Online-Bewertung der Wasserqualität erfolgen. Je niedriger der gemessene Wert, umso weniger Salze/Schmutz wird im Wasser vermutet. Im Gegensatz wird bei hoher Leitfähigkeit eine hohe Salzkonzentration vermutet.

Da diese Messmethode auf alle Salze anspricht, also unspezifisch ist, ist eine Aussage um welches Salz oder um welche Kombination von Salzen es sich handelt nicht möglich. Diese Eigenheiten und weitere Punkte werden im weiteren Verlauf behandelt.

1 Einleitung

3

2.1 Motivation von Normen

Die Leitfähigkeit¹ (γ)² sagt aus, wie gut ein Material den elektrischen Strom leitet. Bei Metallen ist es die Bewegung von Elektronen, die für den Stromfluss sorgen. Bei wässrigen Lösungen übernehmen Ionen den Ladungstransport. Ionen entstehen beim Lösen von Salzen, Säuren oder Laugen. Je mehr Ionen in der Flüssigkeit vorhanden sind, desto besser leitet sie den Strom.

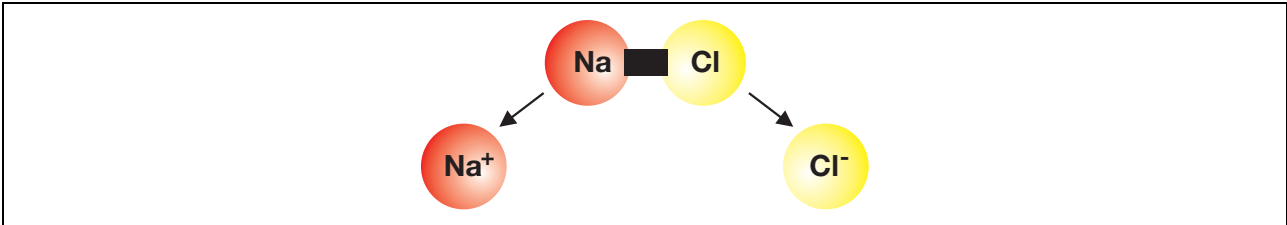


Abbildung 1: Salze dissoziieren in positiv und negativ geladene Ionen

Dieser Zusammenhang zwischen der Ionenkonzentration und der Fähigkeit den elektrischen Strom zu leiten, macht die Leitfähigkeit zu einer interessanten Messgröße in der Wasseranalytik. Sie eignet sich hervorragend für die Bestimmung der Konzentration der gelösten Salze.

Bei der Leitfähigkeitsmessung liegt das Ergebnis nicht in mg/l oder Prozent vor, sondern als Leitfähigkeitswert in S/m (Siemens pro Meter). In der Praxis sind die Untereinheiten $\mu\text{S/cm}$ und mS/cm gebräuchlich.

	S/m	S/cm	mS/cm	$\mu\text{S/cm}$
S/m	1	0,01	10	10.000
S/cm	100	1	1.000	1.000.000
mS/cm	0,1	0,001	1	1.000
$\mu\text{S/cm}$	0,000 1	0,000 001	0,001	1

Tabelle 1: Umrechnung von Leitfähigkeitseinheiten

Einen Bezug für den Zusammenhang zwischen der Salzkonzentration und der Leitfähigkeit gibt die folgende Tabelle wieder.

Wasser bzw. wässrige Lösung	Leitfähigkeitsbereich bei 25°C	Salzkonzentration
Reinstwasser	0,055 $\mu\text{S/cm}$	0 mg/l
Vollentsalztes Wasser	0,055 bis 2 $\mu\text{S/cm}$	0 bis 1 mg/l
Regenwasser	10 bis 50 $\mu\text{S/cm}$	5 bis 20 mg/l
Grund-, Oberflächen- und Trinkwasser	50 bis 1000 $\mu\text{S/cm}$	20 bis 50 mg/l
Meerwasser	20 bis 60 mS/cm	10 bis 40 g/l
Kochsalzlösung	77 bis 250 mS/cm	50 bis 250 g/l

Tabelle 2: Beispiele für Leitfähigkeitswerte

¹ Genau handelt es sich um die spezifische elektrische Leitfähigkeit.

² Das Symbol für elektrische Leitfähigkeit war κ (Kappa) oder auch χ (Chi). Seit 1993 ist es nach europäischer Normung laut EN 27888 γ (Gamma).

2 Grundlagen

2.2 Methoden zur Leitfähigkeitsmessung

2.2.1 Allgemeines

Das Grundprinzip der Leitfähigkeitsmessung ist bei allen Methoden gleich: Das Messgerät erzeugt über die Messlösung eine elektrische Spannung. In Abhängigkeit von der Leitfähigkeit fließt ein elektrischer Strom. Je nach Methode oder Anwendung hält das Messgerät das Spannungssignal konstant und registriert die Änderung des elektrischen Stroms oder es hält den Wert für den Strom konstant und wertet die Spannungsänderung aus.

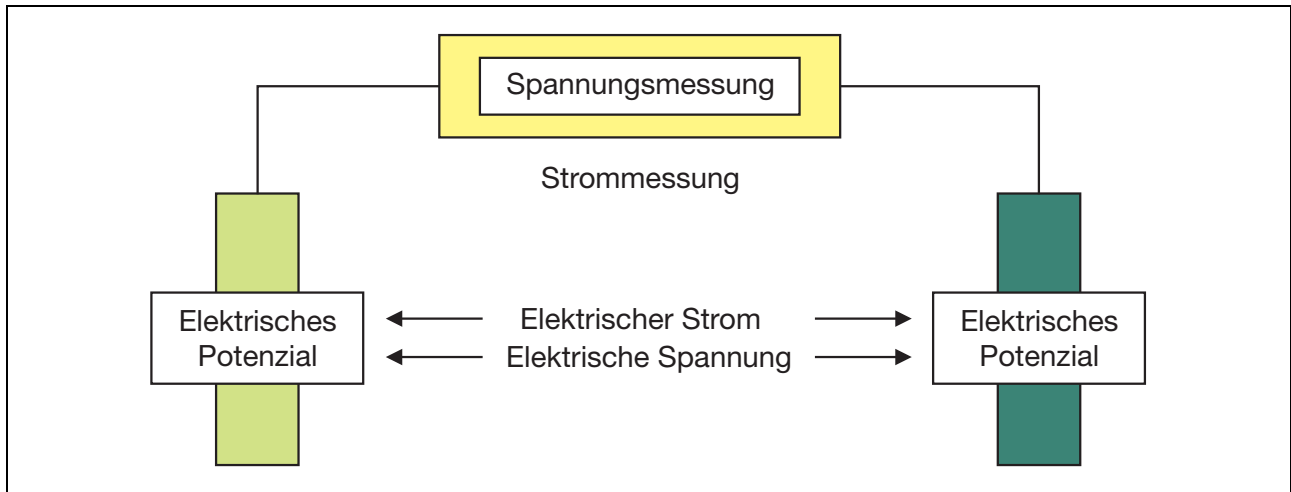


Abbildung 2: Schema eines Leitfähigkeitssensors

Beide Messprinzipien basieren auf dem Ohm'schen Gesetz:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1}{G} \quad (1)$$

R: Elektrischer Widerstand

I: Elektrischer Strom

U: Elektrische Spannung bzw. für die Leitfähigkeit umgewandelt

G: Leitwert

$$\gamma = \frac{I}{U} \cdot K \quad (2)$$

γ : (spezifische) elektrische Leitfähigkeit

I: Elektrischer Strom

U: Elektrische Spannung

K: Zellenkonstante

Bei konstanter Spannung nimmt der Strom proportional mit der Leitfähigkeit zu. Bei konstantem Strom nimmt die Spannung bei steigender Leitfähigkeit ab. Wie aus dem Ohm'schen Gesetz ersichtlich ist, handelt es sich bei Leitfähigkeitsmessungen eigentlich um Widerstandsmessungen. Der Kehrwert I/U macht aus dem Widerstand den Leitwert.

2.2.2 Die Zellenkonstante

Sowohl der Widerstand als auch der Leitwert hängen von den Dimensionen des elektrischen Leiters ab. Die Länge und die Fläche des Leiters bestimmen die Zellenkonstante.

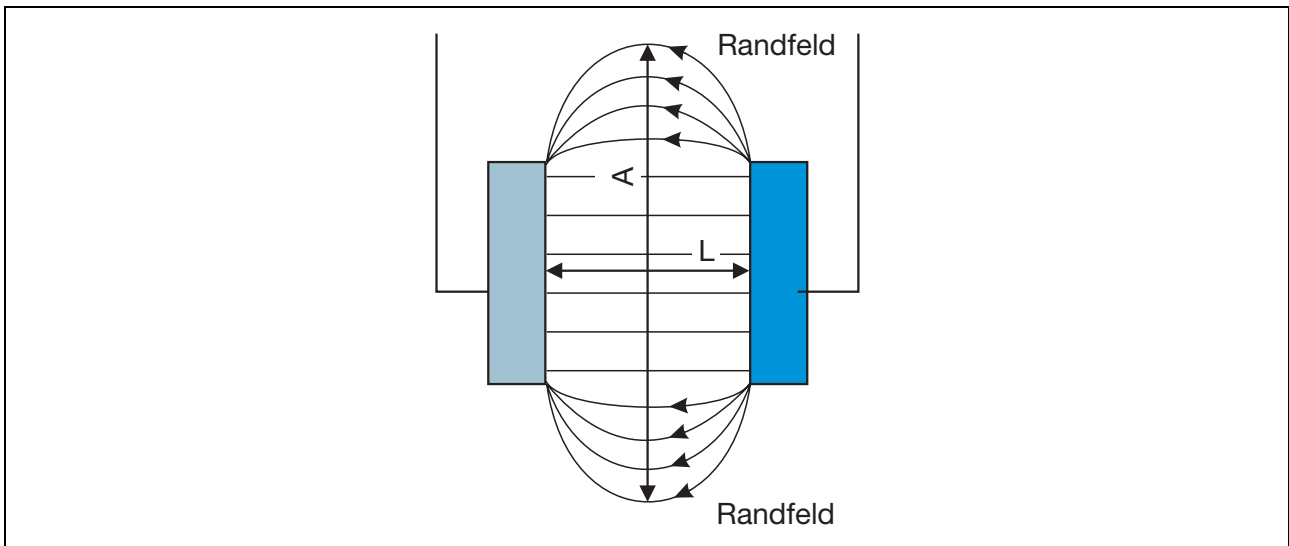


Abbildung 3: Schematische Darstellung der aktiven Fläche

Bei einer geringen Länge des Leiters stehen die Elektroden dicht beieinander. Je geringer der Abstand zwischen den Elektroden ist, desto geringer ist der Widerstand der Messlösung. Der Einfluss der Elektroden auf die Ionen nimmt zu.

Eine große Fläche des Leiters ist gleichbedeutend mit großen Elektrodenflächen. Je größer die Flächen der Elektroden sind, desto geringer ist der Widerstand der Messlösung. Mit zunehmenden Flächen gelangen immer mehr Ionen in den Einflussbereich der Elektroden.

Die Fläche des elektrischen Leiters ist in der Regel größer als die Elektrodenfläche. Die Elektroden wirken nicht nur auf Ionen, die sich direkt zwischen den Elektrodenflächen, sondern auch auf solche, die sich auf Randfeldern befinden. Der Einfluss der Elektrodenrandfelder auf die Ionen nimmt mit dem Abstand ab. Begrenzt sein können die Randfelder durch die Konstruktion der Zelle oder den Einbauort, z. B. Rohrwände.

Diese Einflüsse sind in der Zellenkonstante berücksichtigt:

$$K = \frac{L}{A} \quad (3)$$

K: Zellenkonstante
L: Länge des Leiters
A: Fläche des Leiters

Somit handelt es sich bei der (spezifischen) elektrischen Leitfähigkeit γ um eine stoffspezifische Größe, welche im Gegensatz zum Leitwert G nicht von geometrischen Faktoren abhängt. Den genauen Wert für die Zellenkonstante ergibt eine Kalibrierung mit einer Referenzlösung, deren temperaturabhängige Leitfähigkeit bekannt ist.

Auf die Konstanz der Zellenkonstante haben mehrere Faktoren Einfluss. Es sind mechanische, chemische und elektrische Faktoren zu nennen.

2 Grundlagen

Der mechanische Faktor rührt einerseits von den Fertigungstoleranzen und andererseits von den während des Betriebs auftretenden temperaturbedingten Längenänderungen ab. Die Fertigungstoleranzen werden durch die Kalibrierung mit Referenzflüssigkeiten ausgeglichen. Temperaturbedingte Längenänderungen werden schon während der Konstruktion der Zelle berücksichtigt und minimiert. Der chemische Faktor tritt zwangsläufig bei höheren Leitfähigkeiten auf und ist unter dem Begriff Polarisation bekannt. Gegen diesen Effekt helfen nur Anpassungen der verwendeten Materialien der Zelle und Optimierung der Messfrequenz des Messumformers.

Der elektrische Faktor fällt bei niedrigsten Leitfähigkeiten ins Gewicht. Hier sind möglichst kleine Messfrequenzen zu verwenden, damit die kapazitiven Einflüsse des Leitungsmaterials und des Sensors keine unzulässigen Messwertverfälschungen erzeugen.

Vor allem der chemische Faktor erzwingt verschiedene Zellenausführungen (Zellenkonstanten und Zellenmaterialien) für die unterschiedlichen Messbereiche.

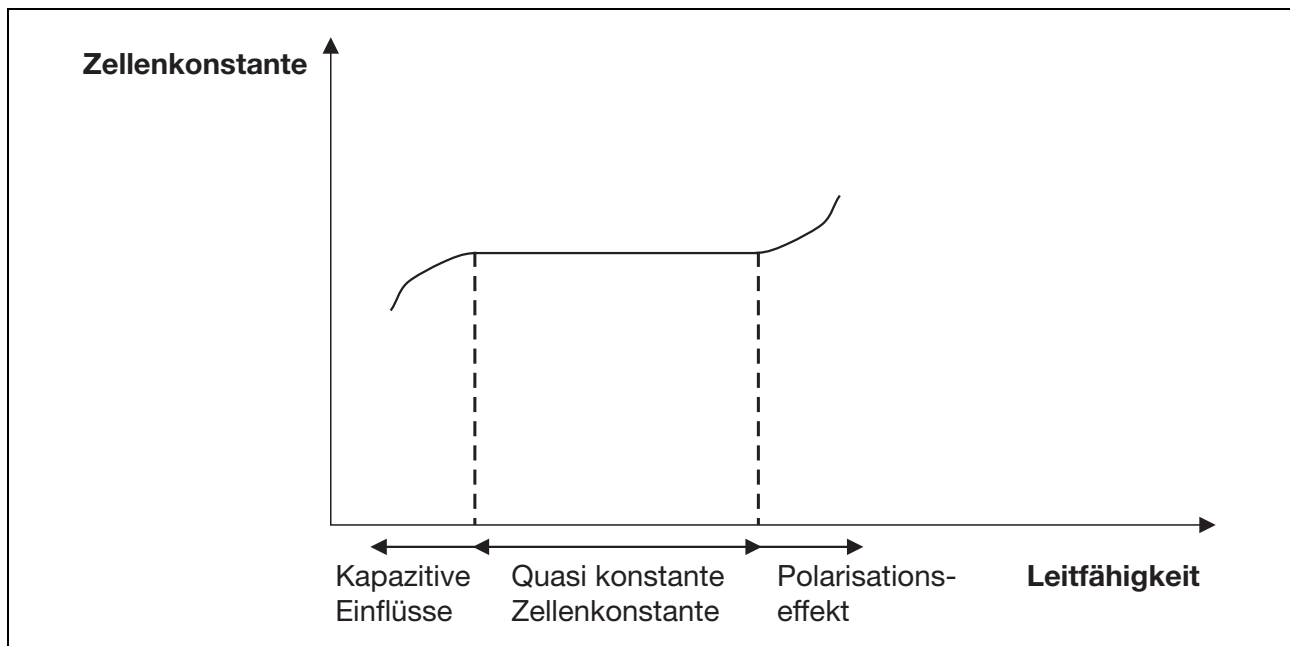


Abbildung 4: Einflüsse auf die Zellkonstante

2.2.3 Wechselspannung

Der elektrische Strom zwischen den Elektroden hängt von der Bewegung der Ionen in der Messlösung ab. Die Ionen bewegen sich während der Messung auf die jeweils entgegen gesetzt geladene Elektrode zu. Jedes Ion, das an eine der Elektrodenoberflächen gelangt, gleicht einen Teil der Spannung zwischen den Elektroden aus. Da es nicht mehr beweglich ist, blockiert es den Stromfluss. Diesem Effekt (Polarisation) kann eine Wechselspannung entgegenwirken. Durch den ständigen Wechsel der Polarität gelangt nur eine geringe Ionenmenge an die Elektroden, und dies auch nur für eine kurze Dauer. Je mehr Ionen die Lösung enthält, also je höher die Leitfähigkeit ist, desto höher muss die Frequenz sein, die das Messgerät verwendet, um eine Polarisation der Elektroden vorzubeugen.

Moderne Messgeräte (z. B. der Messumformer/Regler JUMO dTRANS CR 02) passen die Messfrequenz dem Messbereich an, um optimale Messergebnisse zu erzielen.

2.2.4 Messprinzipien

- konduktives Prinzip: Zwei-Elektrodensensoren, Vier-Elektrodensensoren
- induktives Prinzip

Zwei-Elektrodensensoren

Es ist die einfachste Bauform für einen Leitfähigkeitssensor. Für die allgemeine Betriebsmesstechnik sind Zwei-Elektrodensensoren völlig ausreichend. Diese Zelle besteht aus zwei Elektroden und einem Schaft, der die beiden Elektroden fixiert. Zwischen den Elektroden liegt eine konstante Wechselspannung an. Der über die Messlösung fließende Strom ist das Messsignal.

Bei diesem Zellentyp kommt es je nach Anwendungszweck auf die Zellenkonstante und die Beschaffenheit der Elektrodenoberfläche an.

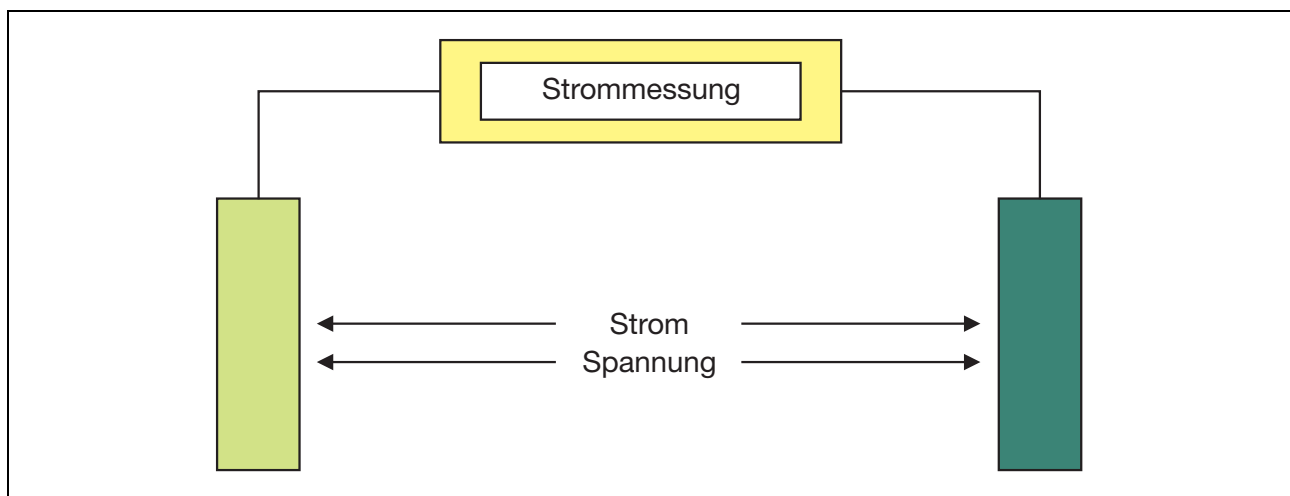


Abbildung 5: Schema eines Zwei-Elektrodensensors

Eine kleine Zellenkonstante bedeutet ein großes Messsignal. Für kleine Leitfähigkeitswerte ist dieser Effekt erwünscht. Bei höheren Messwerten kann es die Aufnahmefähigkeit des Messgerätes überfordern. Die optimale Zellenkonstante ist somit eine Frage des Messbereiches.

Beispiel-Anwendungen	Leitfähigkeitsbereich	Zellenkonstante
Destillat, Kondensat, Reinst-, vollentsalztes Wasser	$\gamma < 10 \mu\text{S/cm}$	$K \leq 0,1 \text{ cm}^{-1}$
Grund-, Oberflächen- und Trinkwasser	$\gamma < 10 \dots 10.000 \mu\text{S/cm}$	$K \leq 1 \text{ cm}^{-1}$
Meerwasser und Salzlösungen	$\gamma > 10 \text{ mS/cm}$	$K \leq 10 \text{ cm}^{-1}$

Tabelle 3: Zellenkonstante für verschiedene Leitfähigkeitsbereiche mit Beispiel-Anwendung

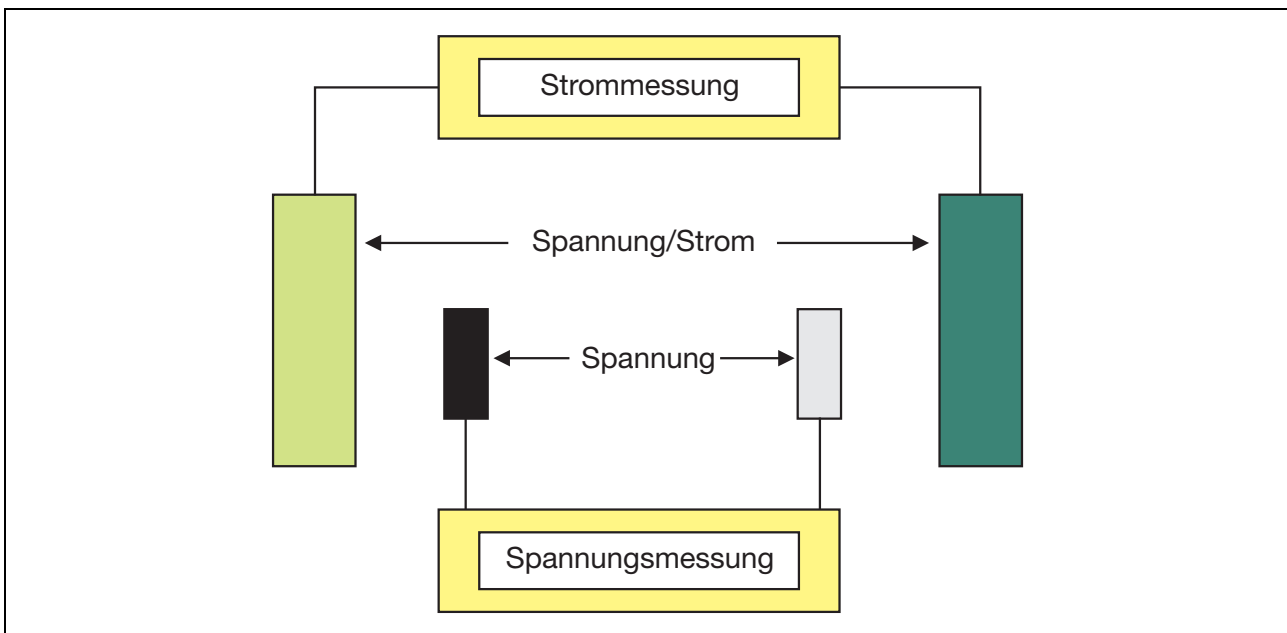
Bei Sensoren mit einer Konstante $K \leq 0,1 \text{ cm}^{-1}$ sind die Elektrodenoberflächen glatt, um das Einstellverhalten bei kleinen Leitfähigkeiten zu verbessern.

Sensoren mit einer Konstante $K > 0,1$ haben raue Elektrodenoberflächen, um die Neigung bei höheren Leitfähigkeitswerten zu polarisieren, zu mindern.

2 Grundlagen

Vier-Elektrodensensoren

Die Sensoren enthalten zwei Elektrodenpaare. Ein Paar misst den Strom, der über die Messlösung fließt, das zweite die über die Messlösung anliegende Spannung.



3

Abbildung 6: Schema einer Vier-Elektrodensensoren

Vorteil der Vier-Elektrodensensoren ist die Unempfindlichkeit gegenüber störenden Widerständen, wie z. B. durch lange Anschlussleitungen, Verschmutzungen oder durch Polarisierung. Diese Effekte führen zu Minderbefunden, da sie die von den Elektroden an die Messlösung angelegte Spannung reduzieren. Das zweite Elektrodenpaar erfasst die Spannung über die Messlösung. Das Messgerät kann einen störenden Widerstand auf Basis der gemessenen Strom-/Spannungswerte der beiden Elektrodenpaare durch eine elektronische Anpassung berücksichtigen.

Das Konduktometer berechnet den Leitfähigkeitswert nach der Gleichung (2):

$$\gamma = \frac{I}{U} \cdot K \quad (4)$$

γ : (spezifische) elektrische Leitfähigkeit

I: Elektroscher Strom

U: Elektrische Spannung

K: Zellenkonstante

Ein zusätzlicher Widerstand, z. B. ein Schmutzbelag, verringert den Strom und die Spannung stets im gleichen Verhältnis. Da das Messgerät beide Größen misst kann es, innerhalb seiner Spezifikationen, den Leitfähigkeitswert berechnen.

Beispielanwendung:

CIP-Prozesse in Pharma-/Bioprozessen reinigen z. B. mit Lauge (Messwerte im mS/cm-Bereich) und „End-Spülen“ mit z. B. VE-Wasser (Messwert um ca. 5 μ S/cm).

In Kombination mit entsprechenden Messgeräten (z. B. JUMO dTRANS CR 02 bzw. JUMO AQUIS 500 CR) kann mit einer Messstelle der komplette Prozess überwacht werden.

2.2.5 Induktiver Sensor

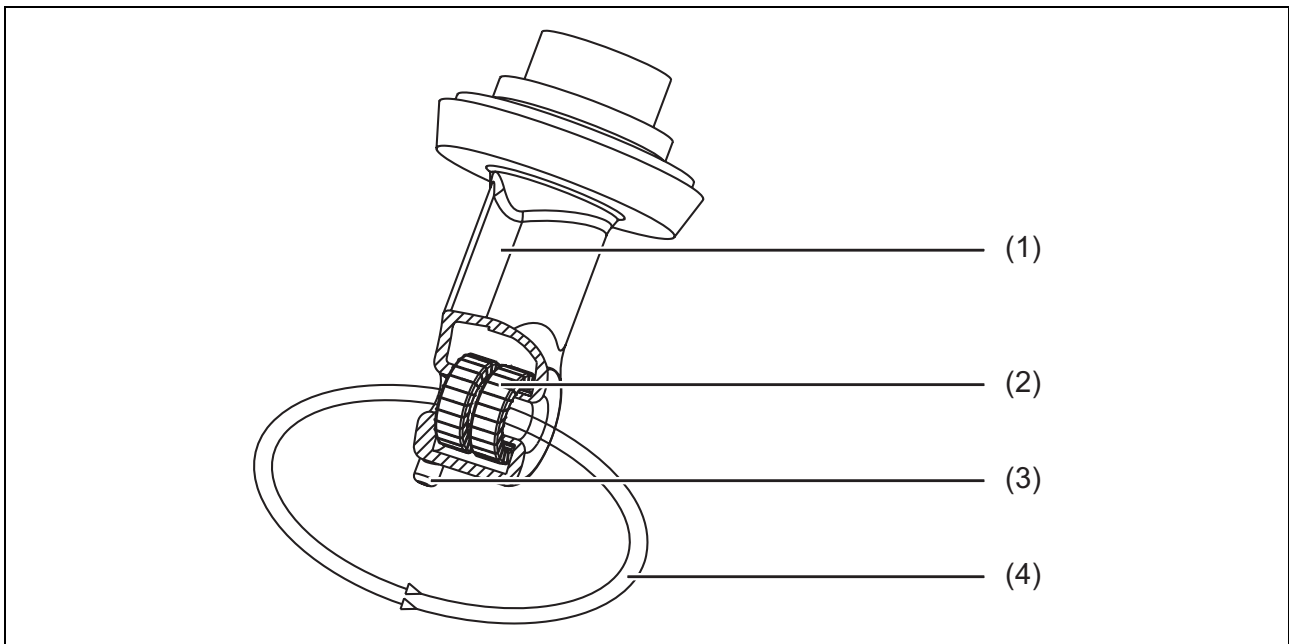


Abbildung 7: Schematische Darstellung eines induktiven Sensors

- | | | | |
|---|---------------------|---|----------------------|
| 1 | Sensorkörper (PEEK) | 2 | Messspulen |
| 3 | Temperaturfühler | 4 | Flüssigkeitsschleife |

Bei dieser Zelle ersetzen zwei Spulen die Elektroden. Eine der Spulen ist die Erregerspule. In dieser Spule fließt ein Wechselstrom, der ein Magnetfeld im Umfeld der Spule erzeugt. Im Kern der Spule befindet sich die Messlösung. Das Magnetfeld der Spule induziert in der Messlösung den zur Messung notwendigen Stromfluss.

Der in der Messlösung fließende Strom erzeugt seinerseits ein Magnetfeld. Dieses Magnetfeld induziert in der zweiten Spule (Empfängerspule) einen Wechselstrom mit der dazugehörigen Spannung.

Die Spannung der Empfängerspule hängt direkt von dem in der Messlösung fließenden Strom, also von der Leitfähigkeit ab.

Da ein Magnetfeld auch über ein Kunststoff- oder Teflonrohr wirkt, ist kein direkter Kontakt der Spulen mit der Messlösung notwendig. Die Vorteile dieser kontaktlosen Messtechnik sind offensichtlich. Die Messung aggressiver Medien, wie Säuren oder Laugen, ist problemlos möglich. Hohe Leitfähigkeiten können keine Polarisierungseffekte und somit keine Minderbefunde verursachen.

2 Grundlagen

2.2.6 Auswahlhilfe



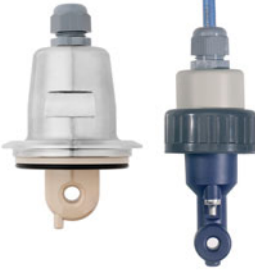

Messwert/Anforderung	Messprinzip	Sensor-Beispiel	Mögliche Anwendung
$\gamma < \text{ca. } 50 \mu\text{S/cm}$	<ul style="list-style-type: none"> Zwei-Elektroden-Prinzip 		<ul style="list-style-type: none"> Rein- und Reinstwasser RO-Wasser EDI-Wasser
$\text{ca. } 50 \mu\text{S/cm} < \gamma < \text{ca. } 30 \text{ mS/cm}$ saubere Medien (keine Beläge)	<ul style="list-style-type: none"> Zwei-Elektroden-Prinzip Induktiv 		<ul style="list-style-type: none"> Trinkwasserüberwachung einfache Spülprozesse
$\gamma > \text{ca. } 50 \mu\text{S/cm}$ Verschmutzung/Beläge (z. B. Öl, Fett, Kalk) möglich Chemikalien	<ul style="list-style-type: none"> Induktiv 		<ul style="list-style-type: none"> Molkerei, Brauerei CIP Konzentrationsmessung Aufschärfungen
$1 \mu\text{S/cm} < \gamma < 600 \text{ mS/cm}$ hohe Dynamik eine Einbaustelle	<ul style="list-style-type: none"> Vier-Elektroden-Prinzip 		<ul style="list-style-type: none"> CIP Bio-/Pharmaprozesse

Tabelle 4: Auswahlhilfe

Das optimale Konduktometer hängt von der jeweiligen Anwendung ab. Im Labor sind es Tischgeräte, vor Ort Handmessgeräte und für eine kontinuierliche Messung im Prozess Messumformer.

Für alle Anwendungen, bei denen ein vollständiges Bild über den Salzgehalt eines Wassers notwendig ist, gibt es keine Alternative zur kontinuierlichen Messung.

3.1 Aufbau einer Prozesseinrichtung

Der Begriff Messeinrichtung umfasst die komplette, zur Leitfähigkeitsmessung verwendete Geräteausrüstung, bestehend aus:

- Leitfähigkeitsgeber (Sensor)
- Eintauch- oder Durchflussarmatur
- Messumformer (Messgerät)
- Anschlussleitung

3.1.1 Sensoren

Zwei- und Vier-Elektrodensensoren bestehen aus einem Schaft und den Elektroden, wichtig für die Anwendung ist die Zellenkonstante und die Beschaffenheit der Elektrodenoberflächen.

Leitfähigkeit:

$\gamma \leq 10 \mu\text{S/cm}$:	Zwei-Elektrodensensoren $K \leq 0,1 /\text{cm}$, glatte Elektrodenflächen
$\gamma > 10 \mu\text{S/cm}$ bis $\leq 10 \text{mS/cm}$:	Induktive-, Zwei- oder Vier-Elektrodensensoren $K \leq 1 /\text{cm}$, raue Elektrodenflächen
$\gamma > 10 \text{mS/cm}$:	Induktive- oder Vier-Elektrodensensoren $K \geq 1 /\text{cm}$, raue Elektroden

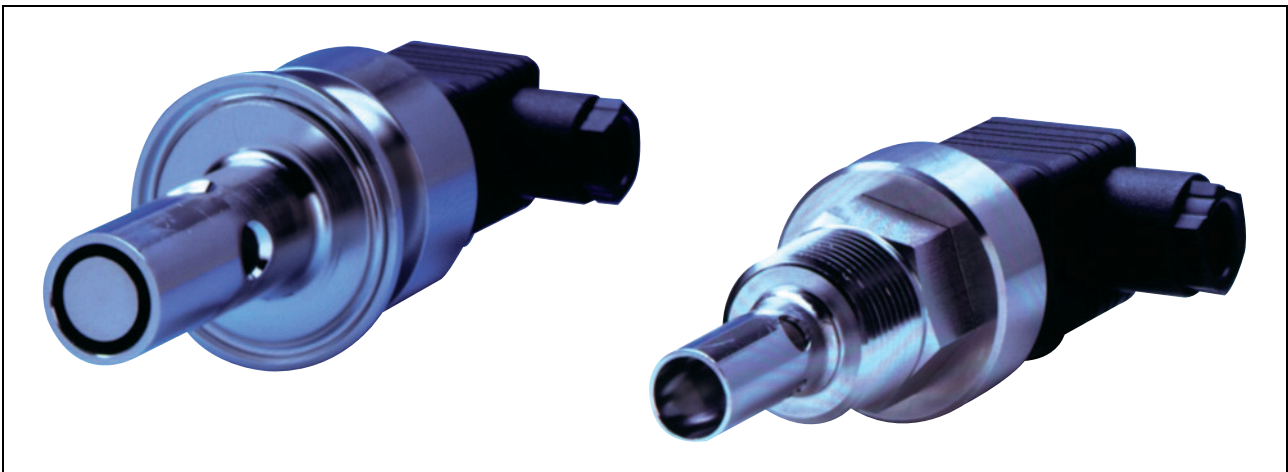


Abbildung 8: Zwei-Elektrodensensoren mit Zellkonstante $K = 0,01$ (links) und $K = 0,1$ (rechts)

3 Messtechnik

3.1.2 Armaturen

Armaturen dienen der Befestigung und dem Schutz des Sensors. Eintaucharmaturen ermöglichen nicht nur eine Messung an der Oberfläche der Flüssigkeit, sondern auch in der Tiefe. Diverse Befestigungselemente und Zubehörteile ermöglichen die Montage an fast allen Behältern.

Gebräuchlicherweise werden die Eintaucharmaturen aus Polypropylen (PP) gefertigt und in Eintauchlängen bis 2000 mm geliefert.

Es stehen für besondere Zwecke aber auch andere Materialien (z. B. V4A) zur Verfügung. Durchflussarmaturen ermöglichen die Messung direkt in Messgutförderleitungen oder im Bypass dieser Leitungen.

Für alle Armaturen gilt, dass sie gut zugänglich angebracht sein müssen, um die regelmäßige Wartung und Prüfung der Sensoren zu ermöglichen. Ein Wechsel des Sensors sollte jederzeit ohne größeren Aufwand realisierbar sein.

Bei der Montage der Sensoren ist darauf zu achten, dass das Randfeld (Kapitel 2.2.2 „Die Zellenkonstante“) nicht gestört wird. D. h. es muss immer ein Mindestabstand zwischen Sensor und begrenzender Fläche (Rohrwandung, Behälterwandung ö. ä.) eingehalten werden.

3.1.3 Messumformer/Regler

Der Messumformer hat die Aufgabe, das Signal des Sensors aufzubereiten. Hierbei wird das Sensorsignal in ein Normsignal (z. B. Stromsignal $I = 4 \dots 20 \text{ mA}$) umgewandelt und kann so direkt an eine nachgeschaltete SPS oder Dosiereinheit weitergegeben werden. Diese übernehmen die Anzeige und die Regelung der Leitfähigkeit. Ist eine Anzeige vor Ort erforderlich, kommen entsprechende Schalttafelgebäude zum Einsatz. Für die Montage vor Ort sind entsprechende Aufbaugehäuse oder spezielle Geräte mit Vor-Ort-Gehäusen lieferbar. Die meisten der heute erhältlichen Geräte sind Mikroprozessorgeräte, die individuell an die jeweilige Messstrecke angepasst werden können. Diese Anpassung umfasst einerseits die Kalibrierung der Zellenkonstante und andererseits die Kalibrierung des Temperaturkoeffizienten (Kapitel 3.2.2 „Kalibrieren/Justieren“).

Für die Regelung der Leitfähigkeit kommen hauptsächlich Grenzwertregler zum Einsatz.



Abbildung 9: Messumformer/Regler für Leitfähigkeit, TDS, Widerstand, Einheitssignale und Temperatur JUMO dTRANS CR 02; Schalttafelgehäuse (links) und Aufbaugehäuse (rechts)



Abbildung 10: JUMO AQUIS 500 CR - Messumformer/Regler für Leitfähigkeit, TDS, Widerstand und Temperatur



Abbildung 11: Kopfmessumformer JUMO CTI-750 - mit Edelstahlgehäuse (rechts), abgesetzte Version mit Kunststoffgehäuse (links)

3 Messtechnik

3.1.4 Leitungsmaterial/Anschlussleitung

Aufgrund der modernen und präzisen Messtechnik der heutigen Messumformer sind nur noch wenige Punkte bei der Wahl des Leitungsmaterials zu berücksichtigen wie z. B.

- als Leitungsmaterial sollte eine abgeschirmte Steuerleitung zum Einsatz kommen
- die Leitungsführung sollte stets direkt sein, d. h. Klemmdosen, nachträgliche Kabelverlängerungen oder Zwischenstecker sollten vermieden werden
- die Leitungen nicht parallel zu Leitungen größerer elektrischer Verbraucher führen

Geeignete Anschlussleitung: z. B. JUMO-Typ 2990-9 (Längenangabe) - 0

3.2 Inbetriebnahme der Messeinrichtung

3.2.1 Messort

Nach der Wahl einer optimalen Messeinrichtung folgt die Inbetriebnahme. Sie umfasst nicht nur die Montage der Messeinrichtung, sondern auch die Wahl des richtigen Messortes. Die Messeinrichtung zeigt jeweils nur den Leitfähigkeitswert an, der am Ort der Messung herrscht. Vorgaben für die Wahl des Messortes geben z. B. anwendungsorientierte Normen und Verordnungen.

3.2.2 Kalibrieren/Justieren

Für die Installation genügt es, die Zellenkonstante auf die Angaben in der Anleitung zum Sensor einzustellen. Zur Prüfung der einwandfreien Funktion des Messumformers sind Prüfwiderstände erhältlich. Diese Widerstände simulieren einen definierten Leitfähigkeitswert. Während der Prüfung muss der Temperaturkoeffizient auf 0%/K eingestellt sein!

Kalibrieren der Zellenkonstante

Produktionsbedingt unterliegen die Zellenkonstanten handelsüblicher Zellenabweichungen von bis zu $\pm 10\%$. Dies erscheint nur bei erster Betrachtung sehr ungenau zu sein – ein falsch eingestellter Temperaturkoeffizient kann wesentlich größere Messfehler zur Folge haben.

Im Normalfall, d. h. bei höheren Leitfähigkeitsmessbereichen, spielt die „Ungenauigkeit“ der Zellenkonstanten praktisch keine Rolle. Bei Inbetriebnahme einer Leitfähigkeitsmessstelle können – bei höheren Anforderungen an die Messgenauigkeit – Sensor, Messleitung und Messumformer durch den Inbetriebnehmer oder bei Wartungen durch den Servicetechniker, aufeinander abgestimmt werden. Hierzu bieten moderne Messumformer (z. B. der JUMO dTRANS CR 02) umfangreiche Möglichkeiten (z. B. automatische Bestimmung der Zellenkonstanten, Kalibrieren mit Referenzlösungen.). Die Zeitabstände zwischen zwei Kalibrierungen sind vom Einsatzgebiet des Sensors abhängig.

Der Temperaturkoeffizient (α)

Die Leitfähigkeit einer Lösung ist temperaturabhängig; deshalb müssen für eine ordnungsgemäße Messung sowohl die Temperatur als auch der Temperaturkoeffizient der Messlösung bekannt sein. Die Temperatur kann entweder mit einem Temperaturfühler (z. B. Pt100 oder Pt1000) automatisch gemessen werden oder sie muss vom Anwender manuell eingestellt werden. Der Temperaturkoeffizient kann vom Leitfähigkeits-Messumformer automatisch ermittelt oder manuell eingegeben werden. Auch hier stellt der JUMO dTRANS CR 02 entsprechende Kalibrierroutinen zur Verfügung.

3 Messtechnik

T [°C]	Tk [%/K]					
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
0	0,0	-12,5	-25,0	-37,5	-50,0	-62,5
10	0,0	-7,5	-15,0	-22,5	-30,0	-37,5
20	0,0	-2,5	-5,0	-7,5	-10,0	-12,5
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5
40	0,0	7,5	15,0	22,5	30,0	37,5
50	0,0	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5
60	0,0	17,5	35,0	52,5	70,0	87,5
70	0,0	22,5	45,0	67,5	90,0	112,5
75	0,0	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0
80	0,0	27,5	55,0	82,5	110,0	137,5
90	0,0	32,5	65,5	97,5	130,0	162,5
100	0,0	37,5	75,0	112,5	150,0	187,5

Tabelle 5: Änderung der Leitfähigkeit in % in Abhängigkeit der tatsächlichen Temperatur [°C] und des tatsächlichen Temperaturkoeffizienten [%/K], Referenztemperatur 25 °C

3

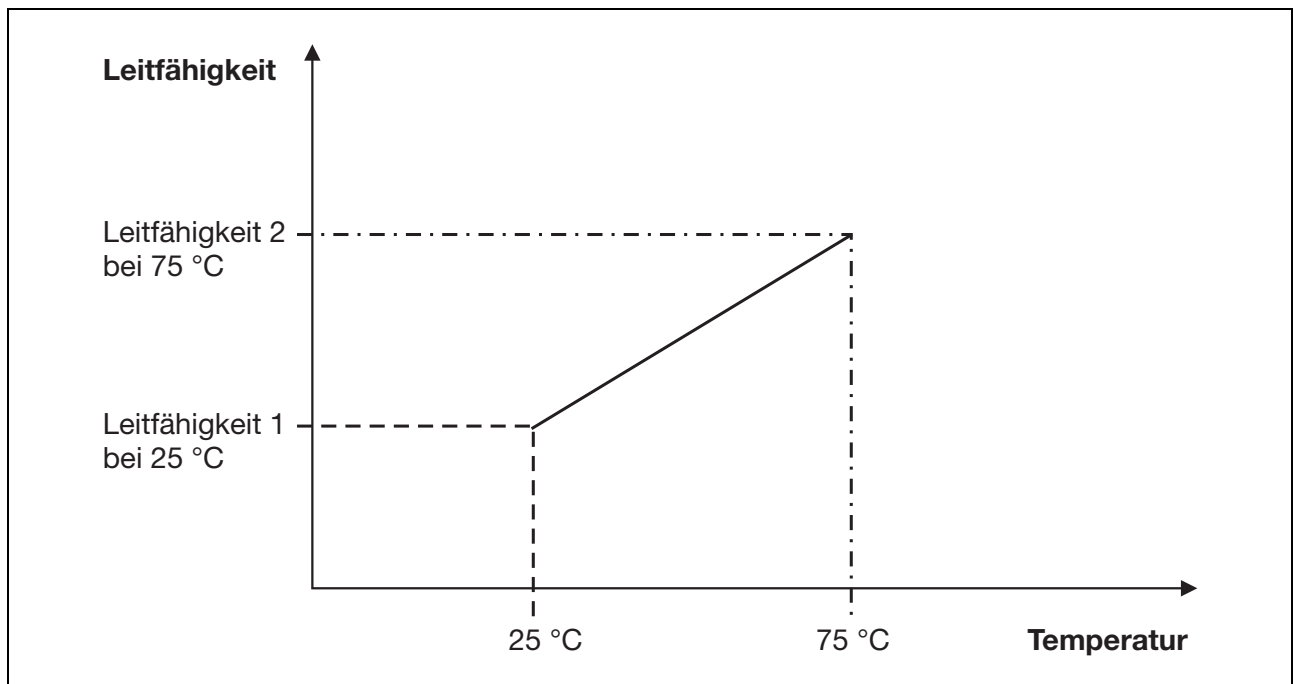


Abbildung 12: Leitfähigkeit einer Lösung bei unterschiedlichen Temperaturen.
Im Beispiel ist die Leitfähigkeit 2 ca. doppelt so hoch wie die Leitfähigkeit 1.

Beispiel

Bei einer tatsächlichen Temperatur von 75 °C und einem realen Temperaturkoeffizienten von 2 %/K ändert sich die Leitfähigkeit um 100 %; d. h. sie verdoppelt sich!

Konsequenz

Ein Gerät ohne Temperaturkompensation zeigt im Gegensatz zu einem Gerät mit korrekt eingestellter Temperaturkompensation den doppelten Wert an.

3.2.3 Messbedingungen

Die einwandfreie Messung setzt Kenntnisse einiger wichtiger Einflussgrößen der Leitfähigkeitsmessung voraus.

Temperatur/Temperaturkoeffizient/Referenztemperatur

Die Leitfähigkeit hängt außer von der Salzkonzentration auch von der Temperatur ab. Da nur die Salzkonzentration von Interesse ist, kompensiert das Messgerät den Temperatureinfluss. Es rechnet den gemessenen Leitfähigkeitswert auf eine Referenztemperatur um. Das heißt, das Messgerät zeigt nicht den Leitfähigkeitswert an, den die Messlösung gerade hat, sondern einen Wert, den die Lösung bei der Referenztemperatur haben würde. Bei einer geänderten Messlösungstemperatur bleibt der angezeigte Wert unverändert.

T [°C]	Tk [%/K]						
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
0	-50,0	-37,5	-25,0	-12,5	0,0	12,5	25,0
10	-30,0	-22,5	-15,0	-7,5	0,0	7,5	15,0
20	-10,0	-7,5	-5,0	-2,5	0,0	2,5	5,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	10,0	7,5	5,0	2,5	0,0	-2,5	-5,0
40	30,0	22,5	15,0	7,5	0,0	-7,5	-15,0
50	50,0	37,5	25,0	12,5	0,0	-12,5	-25,0
60	70,0	52,5	35,0	17,5	0,0	-17,5	-35,0
70	90,0	67,5	45,0	22,5	0,0	-22,5	-45,0
75	100,0	75,0	50,0	25,0	0,0	-25,0	-50,0
80	110,0	82,5	55,0	27,5	0,0	-27,5	-55,0
90	130,0	97,5	65,0	32,5	0,0	-32,5	-65,0
100	150,0	112,5	75,0	37,5	0,0	-37,5	-75,0

Tabelle 6: Anzeigefehler in % bei falsch eingestelltem Temperaturkoeffizienten, Temperaturkoeffizient der Messlösung 2,0 %/K, Referenztemperatur 25 °C

Beispiel

Bei einer aktuellen Temperatur von 75 °C und einem am Gerät eingestellten Temperaturkoeffizienten von 1 %/K ist der angezeigte Messwert bezogen auf den tatsächlichen Wert um 50 % zu hoch.

Die **Referenztemperatur** ist je nach Anwendung auf 25 °C oder 20 °C festgelegt. Hierbei sind die Leitfähigkeitswerte bezogen auf T = 20 °C stets niedriger als die auf T = 25 °C bezogenen Werte. Für Trinkwasser (Temperaturkoeffizient α ca. 2,1 %/K) beträgt der Unterschied der Anzeigewerte 10,5 %.

3 Messtechnik

T [°C]	Tk [%/K]						
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
0	50	40	30	20	10	0	-10
10	30	25	20	15	10	5	0
20	10	10	10	10	10	10	10
25	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
30	-10	-5	0	5	10	15	20
40	-30	-20	-10	0	10	20	30
50	-50	-35	-20	-5	10	25	40
60	-70	-50	-30	-10	10	30	50
70	-90	-65	-40	-15	10	35	60
75	-100	-72,5	-45	-17,5	10	37,5	65
80	-110	-80	-50	-20	10	40	70
90	-130	-95	-60	-25	10	45	80
100	-150	-110	-70	-30	10	50	90

Tabelle 7: Anzeigedifferenz in % bei unterschiedlicher Referenztemperatur von Betriebs- und Referenzmessgerät sowie abweichender Einstellung des Temperaturkoeffizienten am Referenzmessgerät, Temperaturkoeffizient beim Betriebsmessgerät 2,0 %/K, Referenztemperatur am Betriebsmessgerät 25 °C, Referenztemperatur am Referenzmessgerät 20 °C

Beispiel

Bei einer aktuellen Temperatur von 40 °C und einem am Referenzgerät eingestellten Temperaturkoeffizienten von 2,5 %/K zeigt das Betriebsmessgerät 20 % mehr an, als das Referenzgerät.

Jede Messlösung zeigt ein individuelles Temperaturverhalten. Bei Grund-, Oberflächen-, Trink- und kommunalem Abwasser nimmt die Leitfähigkeit, bezogen auf den Leitfähigkeitswert bei T = 25 °C, um 2,1 %/K zu.

Für die Temperaturkompensation, also das Umrechnen auf den Wert einer Referenztemperatur, enthält das Messgerät eine mathematische Funktion, die Temperaturkompensationsfunktion. Der Temperaturkoeffizient kennzeichnet das Temperaturverhalten der Messlösung und muss dementsprechend eingestellt sein.

Messlösung	Temperaturkoeffizient	Temperaturbereich
Kaliumchlorid $C_{(KCl)} = 0,01 \text{ mol/l}$	$\alpha (25 \text{ °C}) \approx 1,9 \text{ %/K}$	$\vartheta = 18 \dots 25 \text{ °C}$
Phosphorsäure $C_{(H_3PO_4)} = 0,01 \text{ mol/l}$	$\alpha (25 \text{ °C}) \approx 0,9 \text{ %/K}$	$\vartheta = 18 \dots 25 \text{ °C}$
Salzsäure $C_{(HCl)} = 0,01 \text{ mol/l}$	$\alpha (25 \text{ °C}) \approx 1,4 \text{ %/K}$	$\vartheta = 18 \dots 25 \text{ °C}$

Tabelle 8: Beispiele für Temperaturkoeffizienten

Die Leistungsfähigkeit der Temperaturkompensation ist einfach prüfbar:

- Messlösung auf Referenztemperatur ($\pm 1 \text{ K}$) temperieren
- Leitfähigkeit messen und notieren

- Messlösung um ca. 10 K erwärmen bzw. abkühlen. Es dürfen keine Substanzen durch chemische Reaktionen, Ausfällungen oder Ausgasen, verlorengehen
- die Differenz zum Wert bei der Referenztemperatur entspricht der Messabweichung aufgrund der Temperaturkompensation; gegebenenfalls den Temperaturkoeffizienten auf das Verhalten der Messlösung einstellen

Schmutz und Beläge

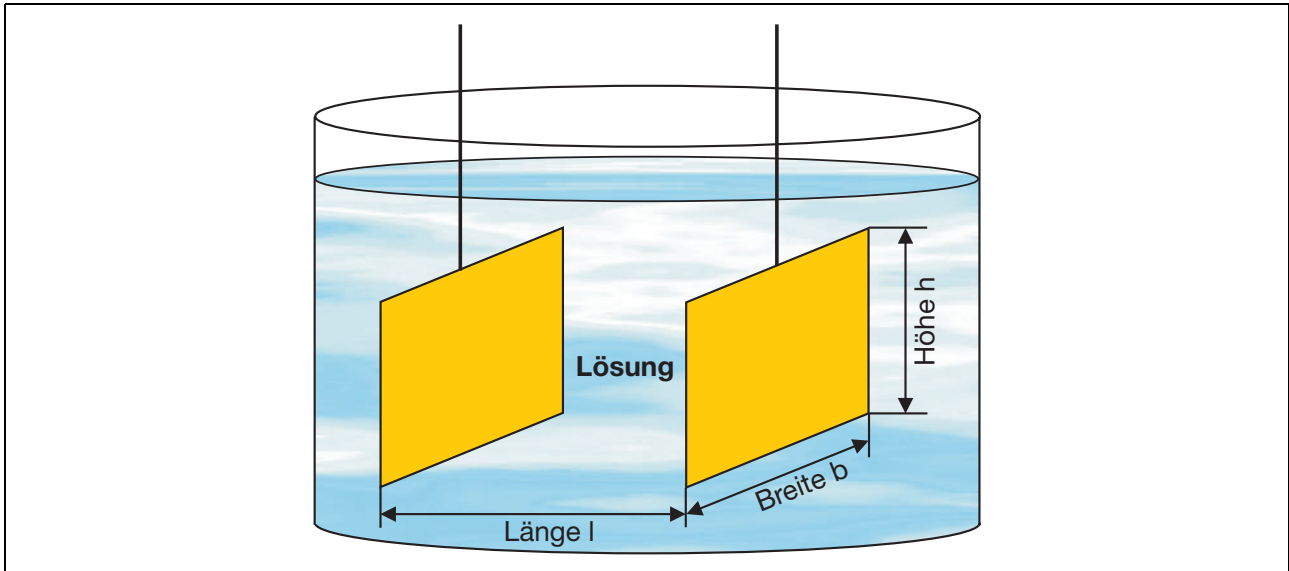


Abbildung 13: Reale Elektroden in einer Messlösung

Schmutz auf den Elektroden führt, durch die Verringerung der Fläche der Elektrode, zu einem kleineren Messwert. Bei einem Zwei-Elektrodensensor erhält das Messgerät nur das Stromsignal. Für den Spannungswert verwendet es die an die Elektroden des Sensors angelegte Klemmspannung. Bei einem Belag auf den Elektroden erhält das Gerät nur das geringere Stromsignal und berechnet einen zu kleinen Wert für die Leitfähigkeit.

Vor einer Messung sollte sichergestellt sein, dass der Sensor einen einwandfreien Zustand aufweist. Der Zustand lässt sich mit einer Referenzlösung feststellen:

- Temperaturkoeffizient am Messumformer auf 0 %/K stellen
- Referenzlösung auf die Referenztemperatur ± 1 K temperieren (20 °C oder 25 °C)
- Sensor mit etwas Referenzlösung spülen
- Leitfähigkeit der Referenzlösung messen und mit dem Soll-Wert für die Referenzlösung vergleichen

Kaliumchloridkonzentration	Leitfähigkeit bei 20 °C	Leitfähigkeit bei 25 °C
$C_{(KCl)} = 0,01$ mol/l	1278 μ S/cm	1413 μ S/cm
$C_{(KCl)} = 0,1$ mol/l	12,2 mS/cm	12,9 mS/cm
$C_{(KCl)} = 3$ mol/l	275 mS/cm	298 mS/cm

Tabelle 9: Leitfähigkeiten typischer Referenzlösungen

- bei einer zu großen Messabweichung die Elektroden des Sensors reinigen

3 Messtechnik

Polarisation

Zur Messung wird eine Wechselspannung verwendet. Das Messgerät erhöht die Frequenz mit zunehmender Leitfähigkeit. Bei Zwei-Elektrodensensoren gibt es jedoch stets eine maximale Leitfähigkeit, ab der die Polarisation nicht mehr vollständig zu unterbinden ist, es kommt zu deutlichen Minderbefunden. Diese Minderbefunde treten bei induktiven und Vier-Elektrodensensoren nicht auf.

3.2.4 Referenzlösungen

Referenzlösungen dienen als Kalibriermittel für die Messeinrichtung. Es handelt sich um wässrige Kaliumchloridlösungen mit bekannten Leitfähigkeitswerten. Nach ihren Eigenschaften sind Referenzlösungen in primäre Referenzlösungen, sekundäre Referenzlösungen und Arbeits-Referenzlösungen unterschieden.

Primäre Referenzlösungen weisen die geringste Unsicherheit der Leitfähigkeitswerte ($U(\gamma) = 0,03 \%$) auf. Sie werden vorwiegend in den metrologischen Instituten eingesetzt.

Sekundäre Referenzpufferlösungen haben die gleiche Zusammensetzung primärer Lösungen. Die Unsicherheit der Leitfähigkeitswerte liegt bei $U(\gamma) = 0,12 \%$.

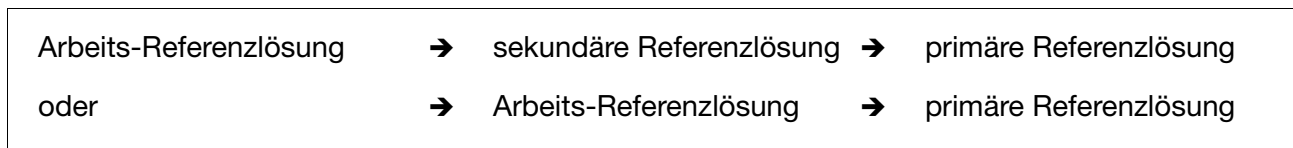
Arbeits-Referenzlösungen sind Lösungen für die Praxis; ihre Unsicherheit hängt vom Hersteller ab, sollten jedoch im Bereich von $U(\gamma) \pm 0,4 \%$ bis $U(\gamma) \pm 1 \%$ liegen. Arbeits-Referenzlösungen sind bestens für Kalibrierungen von Betriebs- und Handmesseinrichtungen geeignet.

Referenzlösungen gibt es für den Bereich von etwa $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ bis zu $10 \text{ mS}/\text{cm}$. Für höhere Werte stehen Empfehlungen für die Herstellung entsprechender Lösungen zur Verfügung.

Es genügt eine der Lösungen, um den oberen Teil des zulässigen Messbereiches zu prüfen. Störende Einflüsse, wie die Polarisation oder Schmutz, wirken sich hier am deutlichsten aus.

Häufig ist von der Rückführbarkeit der Referenzlösungen die Rede. Die Rückführbarkeit bezieht sich auf deren Leitfähigkeitswert. Es bedeutet, dass der Leitfähigkeitswert direkt oder über Zwischenlösungen (z. B. sekundäre Referenzlösung) gegen eine primäre Referenzlösung vom Hersteller geprüft wurde.

Beispiel



Die Rückführung der Leitfähigkeitswerte ist eine Grundlage für die Berechnung der Unsicherheit.

Leitfähigkeitsmessungen sind in vielen Bereichen der Technik und des Umweltschutzes von Bedeutung. Je nach Anwendung findet die Messung im Labor, mit einem Handgerät vor Ort oder kontinuierlich, z. B. im Prozess, statt.

Folgende praktische Anwendungsfälle sollen etwas genauer betrachtet werden:

Die Leitfähigkeitsmessung in

- Abwasserreinigungsanlagen
- Galvanikanlagen
- Getränkeabfüllanlagen
- Kraftwerken
- Pharmazie
- Vollentsalzungsanlagen und
- Konzentrationsmessungen

4.1 Abwasserreinigungsanlagen

Die Leitfähigkeit häuslicher Abwässer ist etwas höher als die des in der Gegend verwendeten Trinkwassers. Je höher der Leitfähigkeitswert für das Trinkwasser ist, desto geringer fällt die relative Zunahme bei den Abwasserwerten aus. Leitfähigkeitsmesseinrichtungen sind in kommunalen Abwasserreinigungsanlagen nur vorhanden, wenn industrielle Einleitungen eine stärkere Zunahme der Leitfähigkeit erwarten lassen. Häufiger sind Leitfähigkeitsmesseinrichtungen in industriellen Anlagen vertreten, wie folgende Beispiele zeigen sollen.

Die Messeinrichtung hängt von der Art der Verschmutzungen, der Temperatur oder auch chemischen Angriffen ab.

In Bezug auf Verschmutzungen sind Vier-Elektrodensensoren (Messungen in Becken und Gerinnen) oder induktive Sensoren (Messungen in Leitungen oder bei aggressiven Abwässern) optimal.

Bei Abwässern, die mit signifikanten Mengen an Chemikalien belastet sind und/oder große Temperaturschwankungen aufweisen, sollte der Messumformer einen ausreichend großen Einstellbereich für den Temperaturkoeffizienten zur Verfügung stellen.

4.2 Galvanikanlagen

Das Wasser der Spülbäder fließt in einem Kreislauf. Ein Ionenaustauscher entsalzt es, bevor es zurück in das Spülbecken gelangt. Die ionogenen Inhaltsstoffe des Spülwassers halten die Ionenaustauscherharze zurück. Diese Substanzen fallen bei der Regeneration in konzentrierter Form jedoch in geringen Flüssigkeitsmengen an.

Der Ionenaustauscher reagiert nicht auf das Volumen des Wassers, sondern auf dessen Salzlast. Da sich durch die Regeneration der Harze der Gesamtsalzgehalt im Abwasser mindestens verdoppelt, kommt es auf ein Minimieren des Gesamtsalzeintrages an. Dies lässt sich durch Standspülen oder langsam durchflossenes Vorspülen erreichen.

Die Konzentration einer einzelnen Standspüle soll im Mittel 10 % des vorhergegangenen Prozesswassers nicht überschreiten. Sehr günstig ist daher eine Vorspülkaskade.

Das Reinwasser soll für die meisten Zwecke eine Leitfähigkeit von weniger 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ besitzen. Eine Standardmesseinrichtung ist für diese Anwendung ausreichend.

4 Anwendungen

4.3 Getränkeabfüllanlagen

Getränkeabfüllanlagen, sei es für Bier, Limonade, Milch oder Wein, stellen besonders hohe Anforderungen hinsichtlich der Hygiene. Dies gilt in Hinsicht auf den Verbraucherschutz als auch für die Haltbarkeit der Getränke.

Nach einem Abfüllvorgang werden die Tanks und Leitungen gründlich gereinigt. Wichtig ist ein anschließender Spülvorgang, der das Reinigungsmittel vollständig beseitigt. Ein zu langer Spülvorgang erhöht zum einen die Kosten für die Frischwasserzufuhr, zum anderen nimmt das Abwasservolumen unnötig zu.

Die Leitfähigkeitsmessung bietet gleichzeitig die Möglichkeit, die Konzentration des Reinigungsmittels zu kontrollieren und den genauen Zeitpunkt für dessen anschließende Beseitigung zu bestimmen.

Der Sensor muss den manchmal sehr aggressiven und heißen Reinigungsmitteln widerstehen können und für die bisweilen sehr hohen Leitfähigkeitswerten geeignet sein. Ideal für diese Anwendung ist die induktive Messtechnik, da die Messeinrichtung selbst keinen Kontakt mit der Messlösung hat.

Der Messumformer sollte variabel auf das Temperaturverhalten der Messlösung einstellbar sein, da die Temperatur und das Temperaturverhalten der Spüllösungen zwischen den Spülvorgängen stark variieren können.

3

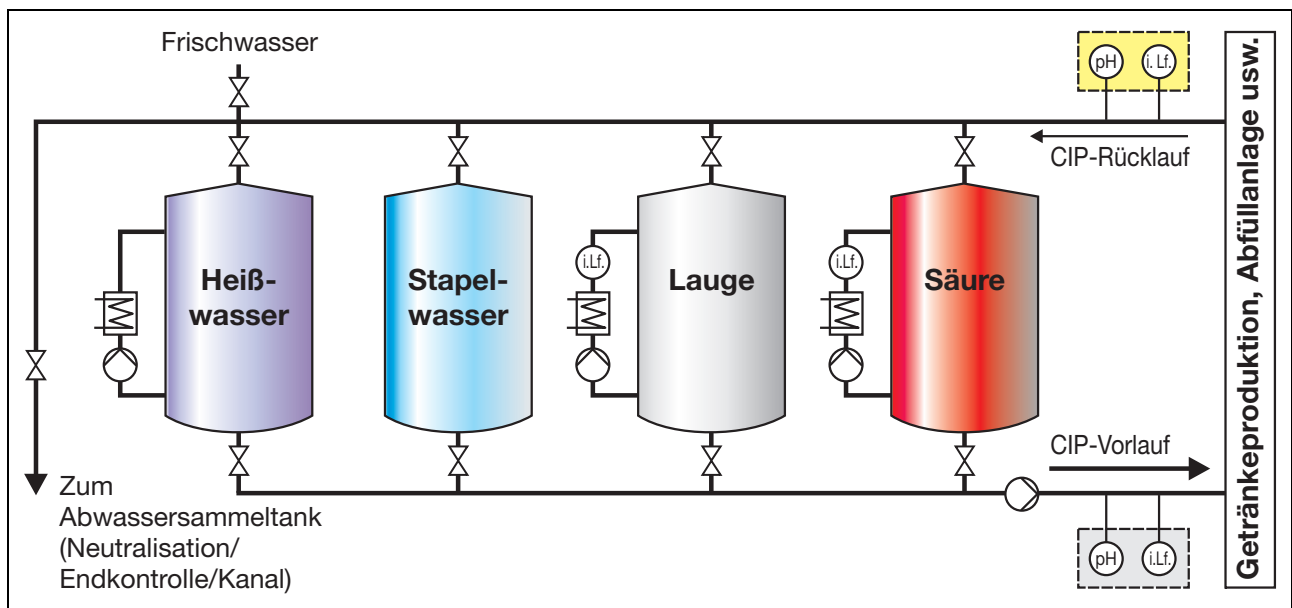


Abbildung 14: Prinzipbild einer CIP-Anlage

4.4 Kraftwerke

Allgemeines

Für den Gebrauch in Kraftwerken ist besonders reines Wasser notwendig. Dieses Wasser hat den Nachteil, dass es sehr aggressiv ist und erhebliche Korrosionsschäden verursachen kann. Erst nachdem ein Wasser eine Anzahl an Vorbehandlungsschritten durchlaufen hat, ist es im Kraftwerk verwendbar.

Kesselspeisewasser

Das Kesselwasser dient zur Dampferzeugung. Beim Verdampfungsprozess bleiben gelöste Verunreinigungen zurück, sodass deren Konzentration mit der Zeit zunimmt. Bei zu hohen Konzentrationen lagern sich gefährliche Deckschichten an den Kesselwänden ab. Die Wärmeisolation der Deckschicht kann die Leistungsfähigkeit des Kessels leicht um mehr als 10 % mindern.

Beschädigungen der Deckschicht in Verbindung mit einer lokalen Überhitzung des Wasser führten in der Vergangenheit wiederholt zu Kesselexplosionen. Das Zuführen von Kesselspeisewasser dient daher nicht nur als Ersatz für das verdampfte Kesselwasser, sondern es muss gleichzeitig die Konzentration der Verunreinigungen senken. Das Kesselspeisewasser selbst soll möglichst frei von gelösten Substanzen sein, lediglich ein Alkalisierungsmittel, z. B. Ammoniak, darf vorhanden sein.

Die Grenze für die Wasserverunreinigungen ist über den Langlier-Index aus der Leitfähigkeit berechenbar. Sie ist für das Kesselspeisewasser auf $\gamma (25\text{ °C}) = 0,2\ \mu\text{S/cm}$ festgelegt.

Kondensat

Das durch Kondensieren des Wasserdampfs aufgefangene Wasser hat eine derartige hohe Reinheit, dass es direkt wieder zur Kesselspeisung verwendbar ist. Es handelt sich praktisch um destilliertes Wasser.

Allerdings können Verunreinigungen durch ein Leck der Kondensatorkühlung in das Kondensat gelangen. Selbst kleine Leckagen lassen sich jedoch durch einen Vergleich der Leitfähigkeitswerte, vor und nach der Kühlung, sofort feststellen.

Kühlwasser

Um die Generatoren vor Korrosionsschäden zu schützen, ist auch hier eine hohe Reinheit des Wassers im Kühlwasserkreislauf notwendig. Ein hoher Sicherheitsgrad vor Korrosionsschäden lässt sich durch drei im System angeordnete Leitfähigkeitsmessstellen erreichen. Ist bei zwei der drei Messstellen der Grenzwert überschritten, wird eine Notabschaltung ausgelöst.

Messung

Reines Wasser stellt erhebliche Anforderungen an die verwendete Messtechnik. Bereits kleinste Verunreinigungen aus der Luft oder des Materials der Messeinrichtung können die Leitfähigkeit deutlich erhöhen. Die Leitfähigkeitsmessung wird daher im Durchfluss gemessen. Das Material des Sensors und des Durchflussgefäßes dürfen nicht selbst die Leitfähigkeit beeinflussen, wie es z. B. bei Verwendung von Glas der Fall ist. Für diese Anwendung haben sich Sensoren und Gefäße aus VA-Stahl bestens bewährt.

Reinstwasser hat eine sehr niedrige Leitfähigkeit. Eine Zellenkonstante von $K = 0,1\ \text{cm}^{-1}$, besser $K = 0,01\ \text{cm}^{-1}$, ist eine Voraussetzung für ein ausreichendes Messsignal des Sensors.

Eine weitere Maßnahme zur Verstärkung des Messsignals ist ein vor dem Sensor angebrachter, stark saurer Ionenaustauscher. Er verstärkt das Signal um einen Faktor 3 bis 4, weil enthaltene Kationen gegen Wasserstoffionen mit einer höheren Äquivalenzleitfähigkeit ausgetauscht werden. Des Weiteren beseitigt der Austauscher den störenden Einfluss des Alkalisierungsmittels.

Eine bedeutende Eigenschaft des Messumformers ist die Temperaturkompensation. Beim Kondensator ist die Temperatur vor dem Kühler deutlich höher als dahinter. Um auch kleine Leitfähigkeitsdifferenzen sicher erkennen zu können, muss der Umformer die beiden Werte zuverlässig

4 Anwendungen

auf die Referenztemperatur kompensieren. Im Kühlsystem unterscheiden sich die Temperaturen durch die räumliche Trennung der Messstellen. Erst eine zuverlässige Temperaturkompensation macht den Vergleich der Messwerte möglich.

Das Temperaturverhalten bei diesen sehr niedrigen Leitfähigkeiten hängt von zwei Faktoren ab.

Es sind

- die Eigenleitfähigkeit des Wassers und
- die Leitfähigkeit der gelösten Substanzen

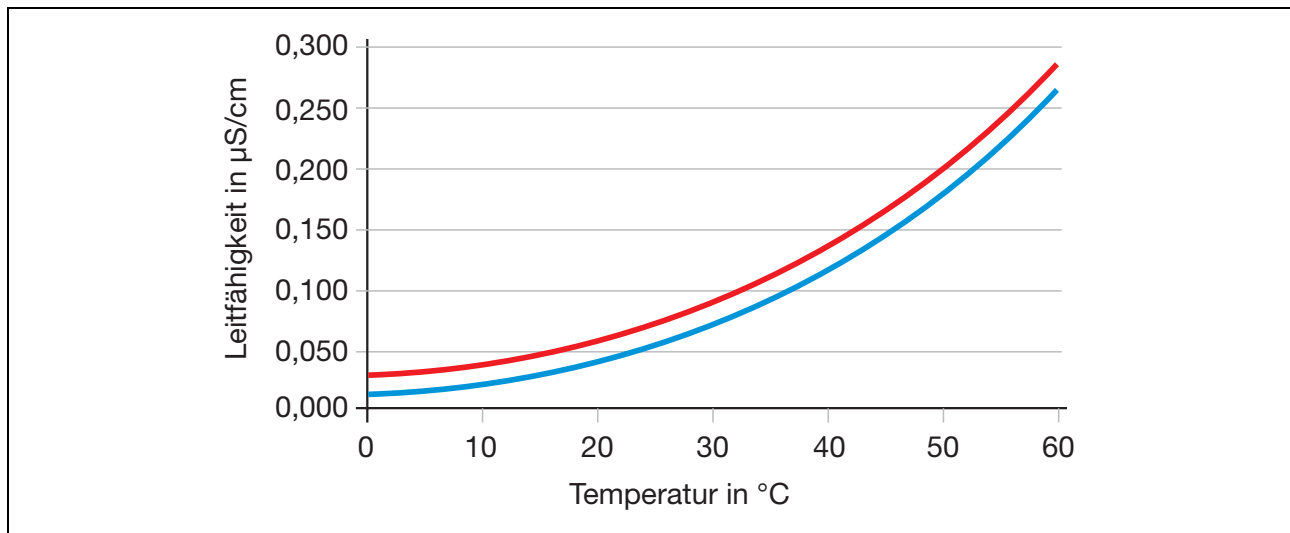


Abbildung 15: Gesamtleitfähigkeit des Wassers (helle Linie), Eigenleitfähigkeit des Wassers (schwarze Linie)

Das Temperaturverhalten der Eigenleitfähigkeit des Wasser entsteht im Wesentlichen durch die Dissoziation der Wassermoleküle und die Viskosität des Wassers. Dieses Verhalten ist sehr stark ausgeprägt.

Moderne Messumformer für Leitfähigkeitsmessung im Reinstwasser berücksichtigen diese Zusammenhänge bei der Temperaturkompensation automatisch (siehe auch Kapitel „Reinstwassermessung“).

4.5 Pharmazie

Die pharmazeutische Industrie verwendet Wasser, das den Anforderungen der nach USP (water conductivity <645>) entsprechen muss. Die Entscheidung, ob ein Wasser geeignet ist oder nicht, hängt von der Leitfähigkeit und vom pH-Wert ab.

Messung

Die Leitfähigkeitsmessung erfolgt unkompensiert. Die Messwertwerte dürfen hierbei die Grenzwerte folgender Tabelle nicht übersteigen:

Temperatur in °C	Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$	Temperatur in °C	Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$
0	0,6	55	2,1
5	0,8	60	2,2
10	0,9	65	2,4
15	1,0	70	2,5
20	1,1	75	2,7
25	1,3	80	2,7
30	1,4	85	2,7
35	1,5	90	2,7
40	1,7	95	2,9
45	1,8	100	3,1
50	1,9	-	-

Tabelle 10: USP-Grenzwerte nach water conductivity <645>, Stage 1

Kohlensäuretest (Stage 2)

Sollte der Wert dennoch höher sein, gibt es noch zwei Testverfahren, bei deren positivem Ergebnis die Verwendung des Wassers noch zulässig ist.

Die Wasserprobe wird bei einer Temperatur von $\vartheta = 25 \pm 1$ °C stark gerührt. Beträgt der Leitfähigkeitswert maximal 2,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, so ist das Wasser für die Produktion nutzbar. Bei einem höheren Wert muss eine pH-Messung die Entscheidung über die Verwendbarkeit des Wassers bringen.

pH-Test

Ein Zusatz von 0,3 ml gesättigte Kaliumchloridlösung pro 100ml Wasserprobe erfolgt, um die pH-Messung zu stabilisieren. Die Temperatur soll während der Messung konstant 25 ± 1 °C betragen. Der gemessene pH-Wert muss nun zwischen 5,0 und 7,0 liegen. Weiterhin darf die Leitfähigkeit der Messlösung die folgenden Tabellenwerte nicht übersteigen.

4 Anwendungen

pH	Leitfähigkeit in $\mu\text{S/cm}$	pH	Leitfähigkeit in $\mu\text{S/cm}$
5.0	4,7	6.1	2.4
5,1	4,1	6.2	2.5
5.2	3,6	6,3	2.4
5.3	3.3	6,4	2.3
5,4	3,0	6.5	2.2
5,5	2.8	6.6	2.1
5,6	2.6	6.7	2,6
5.7	2.5	6.8	3,1
5,8	2,4	6,9	3,8
5,9	2.4	7,0	4.6
6.0	2,4		

Tabelle 11: USP-Grenzwerte nach water conductivity <645>, Stage 3

Für die Verwendung in der pharmazeutischen Industrie muss der Hersteller des Leitfähigkeitsmessgerätes ein Kalibrierzertifikat liefern.

Die Auflösung des Gerätes muss mindestens $0,1 \mu\text{S/cm}$ betragen.

Die Unsicherheit des Gerätes (ohne Unsicherheit der Zelle) soll höchstens $U(\gamma) \pm 0,1 \mu\text{S/cm}$ betragen. Die maximale Unsicherheit bezogen auf den Sensor beträgt $U(\gamma) \pm 2 \%$.

3

4.6 Vollentsalzungsanlagen

Entionisiertes Wasser gehört in analytischen Laboratorien und auch in vielen Bereichen der Industrie zu einer selbstverständlichen Gegebenheit.

Das Wasser entsteht vorwiegend in Ionenaustauscheranlagen, aber auch durch Umkehr-Osmose und Destillation.

Die Leitfähigkeit soll dem vorgesehenen Verwendungszweck angepasst sein. Verschiedene „Laborwasserqualitäten“ werden z. B. in DIN ISO 3696 („Wasser für analytische Zwecke“) oder in ASTM D 1193-99e1 („Standard specification for reagent water“) definiert.

Besonders Ionenaustauscher haben nur eine begrenzte Kapazität. Ist diese überschritten, können zuerst Natrium- bzw. Chloridionen die Barriere, die der Austauscher darstellt, durchbrechen. Die Leitfähigkeit des Wassers nimmt zu und zeigt die Erschöpfung des Austauschermaterials an.

Eine kontinuierliche Überwachung verhindert, dass Wasser einer minderen Qualität zum Gebrauch kommt. Der Sensor und das Durchflussgefäß sollten aus Stahl bestehen. Materialien wie Glas verursachen Überbefunde durch die Abgabe von ionischen Bestandteilen.

Beim Messumformer ist die Temperaturkompensation bedeutend. Das Temperaturverhalten bei sehr niedrigen Leitfähigkeiten hängt von zwei Faktoren ab. Es sind

- die Eigenleitfähigkeit des Wassers
- und die Leitfähigkeit der gelösten Substanzen

Nach Erschöpfung des Austauschermaterials durchdringen zuerst Natrium- und Chloridionen den Austauscher. Diese Ionen weisen ein eigenes Temperaturverhalten auf. Moderne Messumformer für Leitfähigkeitsmessung im Reinstwasser berücksichtigen diese Zusammenhänge bei der Temperatur-Kompensation automatisch.

4.7 Konzentrationsmessungen

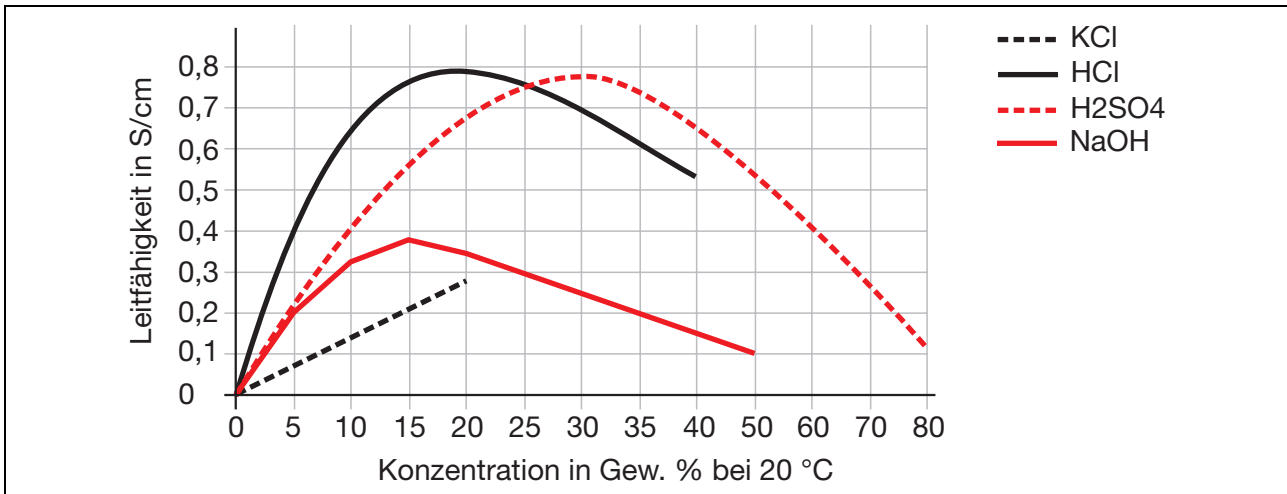


Abbildung 16: Konzentrationsabhängigkeit der Leitfähigkeit (für verschiedene Stoffe)

Ein Leitfähigkeitsmesswert gibt keine Information über die Art der gelösten Substanzen. Den Messwert können beliebige Ionen erzeugt haben. Für Lösungen wechselnder oder einer unbekanntem Zusammensetzung steht der Leitfähigkeitsmesswert stellvertretend für einen Konzentrationswert.

Anders sieht es für Lösungen bekannter Zusammensetzungen aus. In diesem Fall kann die Leitfähigkeitsmessung sehr genaue Konzentrationswerte liefern. Auf Basis einer Tabelle oder einer Kalibrierfunktion ist die Umrechnung des Leitfähigkeitswertes direkt in den entsprechenden Konzentrationswert möglich.

In einigen Anwendungsbereichen ist die Anzeige eines Konzentrationswertes anstelle des Leitfähigkeitswertes üblich (z. B. Aufschärfen von Säuren bzw. Laugen).

Der Zusammenhang von Leitfähigkeit und Konzentration von Säuren und Laugen ist in weiten Bereichen nicht linear und kann daher nur von mikroprozessor gesteuerten Geräten in benötigter Genauigkeit reproduzierbar dargestellt werden.

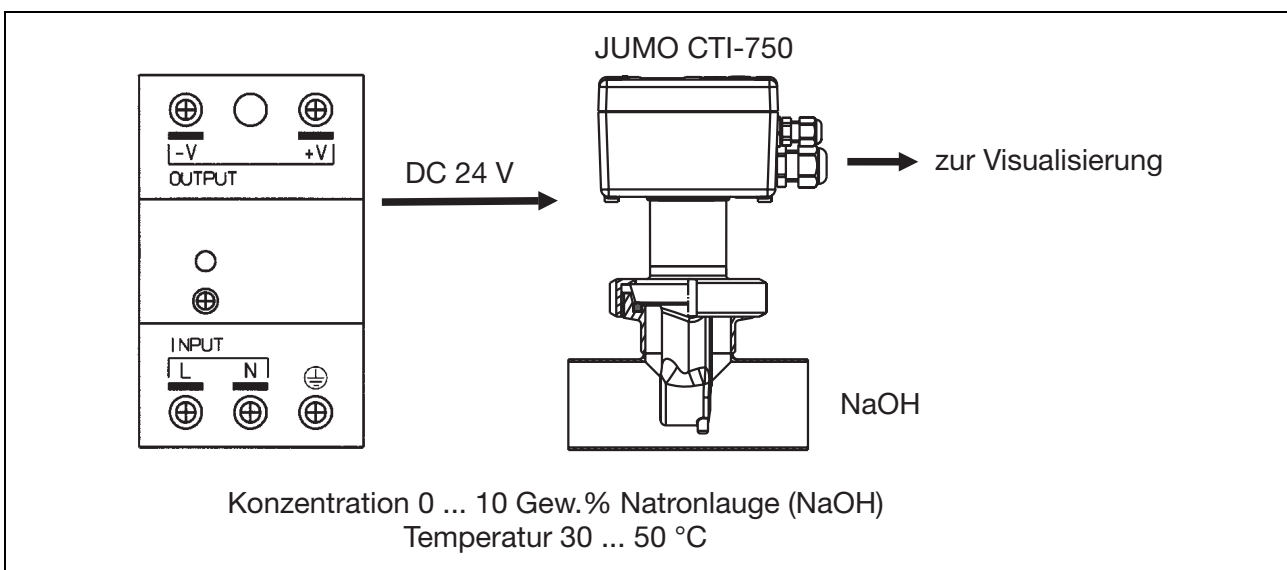


Abbildung 17: Der JUMO CTI-750 errechnet direkt die aktuelle Konzentration

4 Anwendungen

TDS (Total Dissolved Solids oder der in Deutschland gebräuchliche Begriff Filtrattrockenrückstand) Dieser Wert ist z. B. für die Grundwasseranalytik und auch den Kraftwerksbereich von Bedeutung. Weiterhin wird dieser Wert zur Bewertung der Trinkwasserqualität (z. B. in den USA, arabischen und asiatischen Ländern) herangezogen.

Verschiedene Organisationen haben zu diesem Thema Grenzwerte veröffentlicht.

- WHO (**World Health Organisation**) < 1000 mg/l
- USEPA (**United States Environmental Protection Agency**) < 500 mg/l

Die normgerechte Bestimmung erfolgt gravimetrisch, d. h.

- Probe filtrieren
- Filtrat eindampfen
- Rückstand wiegen

Zur Online-Messung benutzt man die Leitfähigkeitsmessung. Es genügt ein einziges Mal, den Umrechnungsfaktor zu bestimmen. Er entspricht dem Verhältnis zwischen dem Leitfähigkeitswert des Wassers und dem Wert für den gravimetrisch bestimmten Filtrattrockenrückstand. Der Faktor bewegt sich im Bereich von 0,55 bis 1,0. Ein allgemein üblicher Wert für Trinkwasser liegt bei ca. 0,67. Bei modernen Geräten, wie z. B. dem JUMO AQUIS 500 CR, kann dieser Faktor individuell eingegeben und damit eine möglichst exakte Messung erreicht werden.

Salinität

In der Meerwasseranalytik ist die Angabe der **Salinität** gebräuchlich. Früher bezog sich der Salinitätswert in ‰ auf die International Oceanographic Tables (IOT), in denen die Leitfähigkeitswerte auf eine Salzlösung bezogen sind, deren Zusammensetzung der mittleren Zusammensetzung von Meerwasser entspricht. Heute ist der Salinitätswert dimensionslos und auf eine Kaliumchloridlösung (32,4356 g/Kg) bezogen.

Natriumchloridäquivalent

Im Kraftwerksbereich ist das Natriumchloridäquivalent gebräuchlich. Dieser Wert gibt die Leitfähigkeit in mg/l NaCl wieder. Diese Angabe beruht auf der Kenntnis, dass Natrium- und Chloridionen zuerst durch die Ionenaustauscheranlage schlüpfen.

Der Begriff Qualitätssicherung bezog sich früher im Wesentlichen auf die Herstellung von Erzeugnissen, z. B. Stereoanlagen, Messgeräte oder Käse. Die Analytik war ein Mittel zum Nachweis der Qualität. Im Rahmen der GLP und Zertifizierungsmaßnahmen, z. B. nach ISO 9000 mussten sich auch Laboratorien im Rahmen von Standardarbeitsvorschriften (SOP) stärker mit Fragen zur Qualität von Messverfahren und Messwerten auseinandersetzen. Dieser Prozess setzte sich stetig fort, sodass heute auch in der Prozessmesstechnik Regeln zur Qualitätssicherung einzuhalten sind. Beispiele hierfür sind die Merkblätter der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), die Richtlinie in den Deutschen Einheitsverfahren ENV ISO 13530 oder das Merkblatt der Abwassertechnischen Vereinigung ATV-DVWK M 704.

Wie genau ist ein Leitfähigkeitsmesswert?

Eine Antwort zur Genauigkeit von Messwerten ist praktisch nicht möglich. Die Angabe der Genauigkeit setzt voraus, dass der wahre Messwert bekannt ist - dies ist in der Praxis nicht der Fall. Schätzen lässt sich die Unsicherheit eines Messwertes. Der Begriff „schätzen“ sollte jedoch nicht mit dem Begriff „ungefähr“ assoziiert werden, sondern mit einer fachkundigen Beurteilung.

Die Angabe, dass die Unsicherheit $U(\gamma) \pm 5\%$ beträgt, sagt aus, dass der wahre Leitfähigkeitswert der Messlösung mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % um nicht mehr als $\Delta\gamma \pm 25 \mu\text{S}/\text{cm}$ von einem Messwert $\gamma = 500 \mu\text{S}/\text{cm}$ abweicht. Bei Halbieren des Wertes für die Unsicherheit beträgt die Wahrscheinlichkeit nur noch 67 %.

Die Kenntnis der Unsicherheit kann besonders für Betriebsmessungen bedeutend sein. Es geht z. B. um die Frage, wann ist ein Grenzwert überschritten.

Beispiel

Für die Leitfähigkeit ist ein Grenzwert von $\gamma = 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ angegeben und der Messwert ist $\gamma = 970 \mu\text{S}/\text{cm}$ mit einer Unsicherheit $U(\gamma) \pm 6\%$. Obwohl der Messwert $\gamma = 970 \mu\text{S}/\text{cm}$ noch unter dem Grenzwert liegt, besteht ein Risiko, dass eine Grenzwertüberschreitung vorliegt. Erst bei einem Wert von kleiner $\gamma = 940 \mu\text{S}/\text{cm}$ ist eine Grenzwertüberschreitung nahezu - jedoch nicht völlig - ausgeschlossen.

Maßnahmen zur Qualitätssicherung tragen wesentlich zur Minderung der Unsicherheit bei.

5.1 Dokumentation

Ein wesentliches Element der Qualitätssicherung ist die Dokumentation aller für die Messung relevanten Informationen. Die Aufzeichnungen dienen als Nachweis für den Zustand der Messeinrichtung und natürlich des Messgutes. Über größere Zeiträume gesammelte Messwerte sind ein gutes Fundament, auf dem Entscheidungen möglich sind, z. B.:

- zur Wartung der Messeinrichtungen
- zur Steuerung der Wasserparameter
- zur Fehlersuche bei Störungen oder
- für den Neuerwerb von Messmitteln

Voraussetzung für diese und weitere Möglichkeiten ist die vollständige Dokumentation der Messwerte und der Bedingungen, unter denen die Werte erhalten wurden. Dies umfasst die Messbedingungen, Daten der Kalibrierungen und Prüfungen sowie Angaben zur verwendeten Messeinrichtung.

Die Dokumentation soll vollständig, gut lesbar und verständlich aufgebaut sein, sodass es auch nach langen Zeiträumen möglich ist, Sachverhalte zu klären.

Die Messwerte werden normalerweise bereits durch den Messumformer aufgezeichnet.

5 Qualitätssicherung

Allgemeine Angaben

Ein Journal sollte alle Daten über die Messstelle, die Messeinrichtung und eventuell durchgeführte Serviceleistungen enthalten:

- Bezeichnung und Ort der Messstelle
- genaue Anschrift eines Ansprechpartners
- Seriennummern der Bauteile der Messeinrichtung
- Anschaffungs- und Inbetriebnahmedatum der Messeinrichtung
- Datum und Grund von Reparaturen sowie
- Name und Anschrift des Dienstleisters für Service- und Reparaturmaßnahmen

Kalibrierdaten

Ein Kalibrierprotokoll sollte folgende Daten enthalten:

- Bezeichnung und Ort der Messstelle
- Seriennummern der Bauteile der Messeinrichtung
- Name des Bearbeiters
- Bezeichnung, Seriennummer und Haltbarkeitsdatum der verwendeten Referenzlösungen sowie
- Datum und Daten der Kalibrierung
(z. B. Messwert, Temperaturwert, Soll-Wert der Referenzlösung)

Messwerte

Aufzeichnungen für die Messwerte sollten zusätzlich Angaben zum Datum, Uhrzeit und relevanten Begleitparametern enthalten, z. B. Angabe der Temperatur.

Sonstige Angaben

Zur vollständigen Dokumentation gehören die zur Messung verwendete Verfahrensbeschreibungen inklusive der Beschreibungen für Kalibrierungen, Justiervorgänge, Wartung und Lagerung der Messeinrichtung. Weiterhin sollen alle Gebrauchsanleitungen und sonstigen Vorschriften sowie Anweisungen im Dokumentationsordner hinterlegt sein.

5.2 Wartung

Eine Messeinrichtung, und besonders Sensoren, altern in Abhängigkeit von den Messbedingungen. Verschleiß und Verschmutzungen schränken ihre Zuverlässigkeit ein und verursachen Messabweichungen. Regelmäßige Prüfungen helfen unzuverlässige Bauteile zu erkennen und sie z. B. durch Reinigung wieder in einen einwandfreien Zustand zu versetzen.

Zwischen den Kalibrierungen ist eine Störung der Messfunktion nur anhand der aufgezeichneten Messwerte zu erkennen.

Eine Störung kann sich durch streuende oder von bisher gewohnten Erfahrungswerten abweichende Messwerte zeigen. Die Entscheidung, ob ein normales Ereignis vorliegt oder ein Eingreifen notwendig ist, sollte auf Basis der dokumentierten Daten erfolgen.

Streuende Messwerte

Streuende Messwerte allein sind noch kein Hinweis auf eine Störung. Die Streuung hat meist in normalen Änderungen des Wassers bzw. der Messlösung oder im Messverfahren ihre Ursache.

Ein Grund, warum eine Messeinrichtung streuende Werte verursachen kann, ist z. B. eine falsch eingestellte Temperaturkompensation. Das Messgerät reagiert nun auf Temperaturänderungen mit streuenden Messwerten.

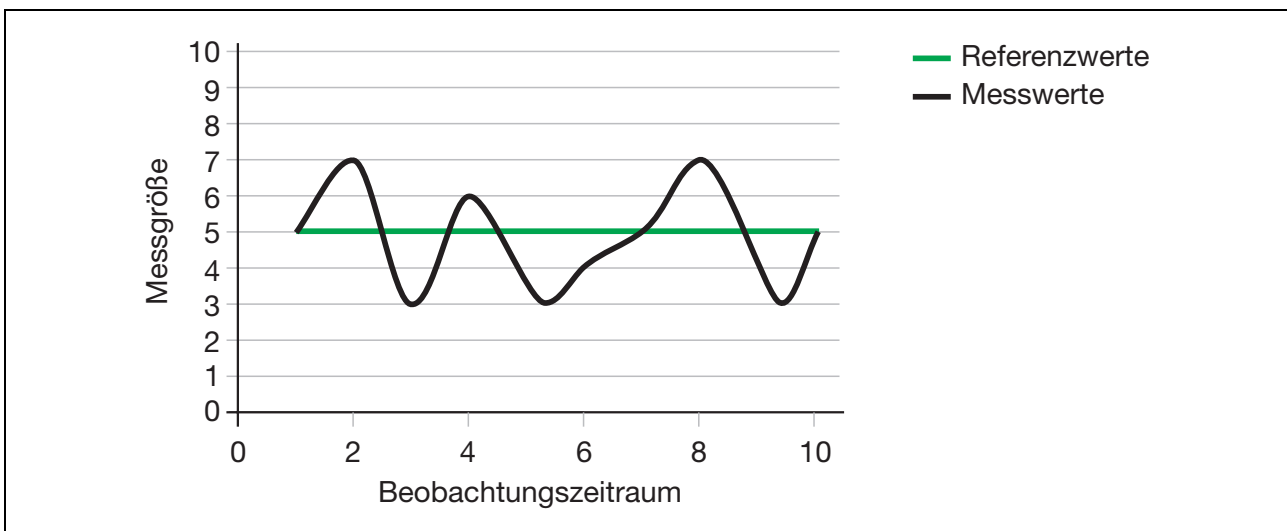


Abbildung 18: Die Messwerte streuen unregelmäßig um die Sollwerte

5 Qualitätssicherung

Driftende Messwerte

„Driften“ bezeichnet den Vorgang beständig zu- bzw. abnehmender Werte.

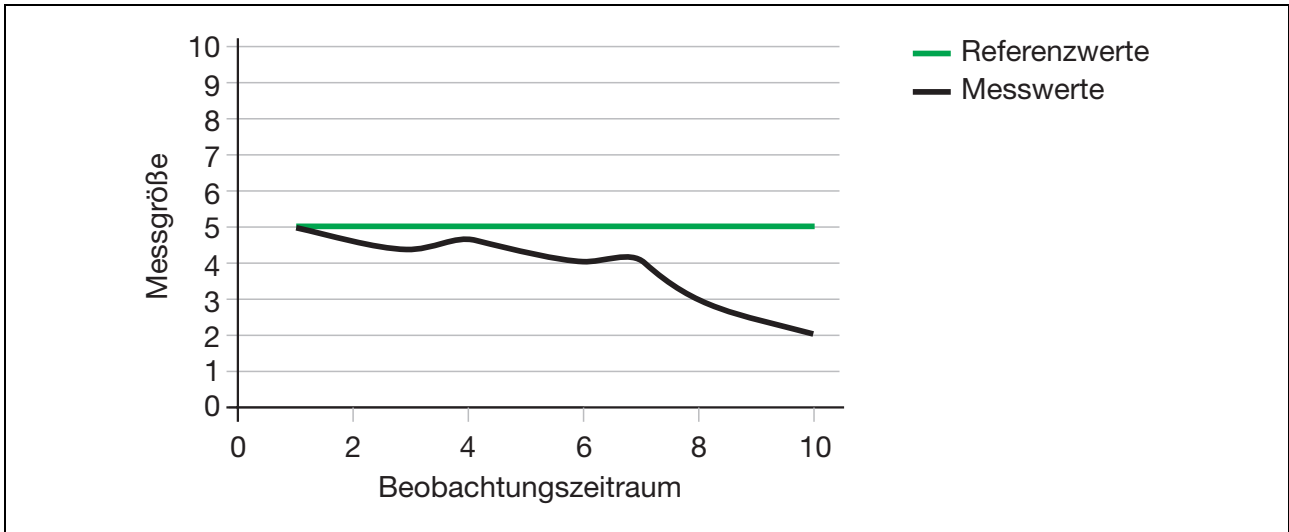


Abbildung 19: Die Abweichung zwischen des Mess- und Sollwerten nimmt mit der Zeit zu

Zunehmende Werte stehen nicht mit der Messeinrichtung in Verbindung. Die Ursache abnehmender Werte kann auf eine Verschmutzung einer Zwei-Elektrodensensoren bei einer Leitfähigkeit über 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zurückzuführen sein. Schmutzbeläge erhöhen den Widerstand auf den Elektroden, sodass der Strom abnimmt.

Plötzliche Messabweichungen

Tritt eine deutliche Messwertänderung innerhalb weniger Minuten ein, ist eine elektrische Störung wahrscheinlich. Es kann jedoch auch einfach sein, dass der Sensor nicht mehr ins Wasser taucht.

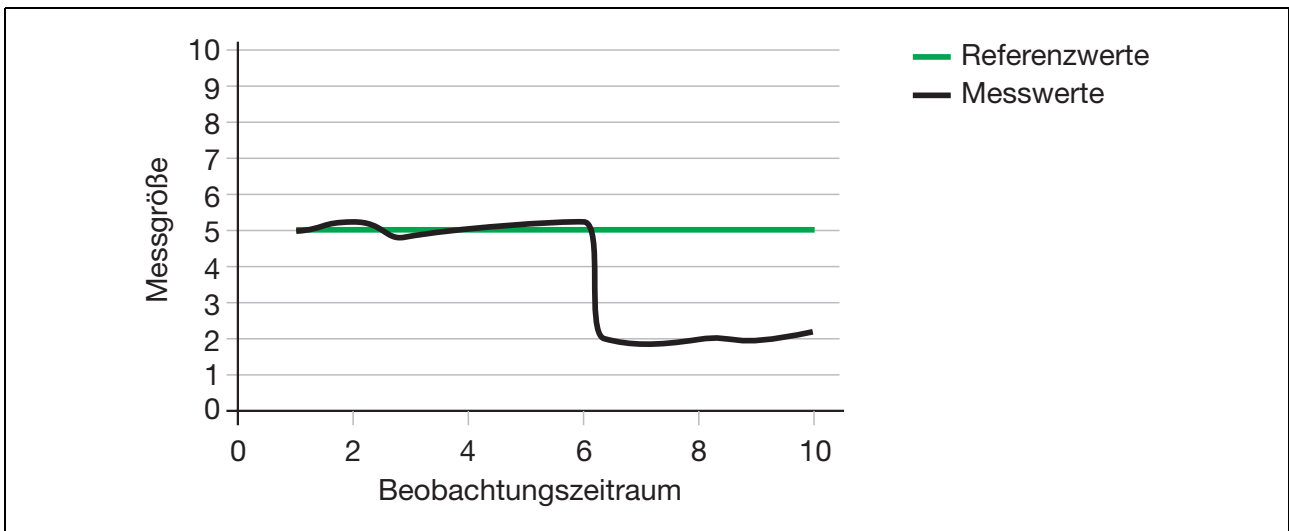


Abbildung 20: Innerhalb weniger Minuten tritt eine deutliche Abweichung vom Sollwert auf

5.3 Probleme/Maßnahmen

Problem	mögliche Ursache	Maßnahme
Keine Messwertanzeige bzw. stetiger Ausgang	Spannungsversorgung fehlt	Spannungsversorgung prüfen, Klemmen prüfen
Messwertanzeige „000“ bzw. Stetiger Ausgang „0 %“	Sensor nicht im Medium eingetaucht, Behälterniveau zu niedrig	Behälter füllen
	Durchflussarmatur verstopft	Durchflussarmatur reinigen
	Sensor defekt	Sensor prüfen
	Fühlerleitung defekt	Fühlerleitung prüfen
Falsche oder schwankende Messwertanzeige	Sensor nicht tief genug eingetaucht	Behälter bzw. Durchflussarmatur füllen
	Keine Durchmischung	Für gute Durchmischung sorgen, beim Sensor auf allseitig ca. 5 mm freie Umspülung achten
	Luftblasen	Montageort prüfen
	Elektrische Störungen	Spannungsversorgung auf unzulässige Störungen (z. B. schlechte Isolation von Frequenzumrichtern) prüfen, Leitungsmaterial der Fühlerleitung prüfen (abgeschirmte Leitungen verwenden), Leitungsführung prüfen (keine parallele Verlegung zu größeren elektrischen Verbrauchern)
	Beläge auf den Messflächen	Sensoren reinigen, siehe Kapitel 5.4 „Reinigung“
	Temperaturkoeffizient nicht korrekt	Temperaturkoeffizient korrekt ermitteln, siehe Kapitel 3.2.2 „Kalibrieren/Justieren“
	Unterschiedliche Temperaturkoeffizienten von Betriebs- und Referenzmessgerät	siehe Kapitel 3.2.3 „Messbedingungen“
	Unterschiedliche Referenztemperaturen von Betriebs- und Referenzmessgerät	siehe Kapitel 3.2.3 „Messbedingungen“
	Polarisation	Bei hohen Leitfähigkeiten (größer ca. 10 mS/cm) induktives Messprinzip verwenden, siehe Kapitel 2.2.4 „Messprinzipien“ bzw. Kapitel 3.1.1 „Sensoren“

Tabelle 12: Möglichkeiten zur Problembeseitigung

5 Qualitätssicherung

5.4 Reinigung

Tritt bei der Prüfung in der Referenzlösung eine zu große Messabweichung auf, so ist das Reinigen oder der Austausch des Sensors die einzig wirkungsvolle Maßnahme, um die Störung zu beheben. Das Reinigungsmittel hängt grundsätzlich von der Art der Verschmutzung ab. In den meisten Fällen reicht warmes Wasser mit etwas Haushaltsspülmittel, um Fette und Öle zu beseitigen. Kalk- oder Eisenoxidbeläge lassen sich mit Essig, Zitronensäure oder verdünnter Salzsäure entfernen.

Hinweis

Sensoren mit platinieren Platinelektroden niemals mechanisch reinigen. Jegliche mechanische Berührung schädigt die platinierete Oberfläche und ist lediglich durch eine neue Platinierung zu beheben.

5.5 Prüfmöglichkeiten vor Ort

Immer wieder wird dem Hersteller von Mess- und Regeltechnik die Frage nach der Messsicherheit bei Dauermessung gestellt. Insbesondere bei Reinstwasser sind Vergleichsmessungen oft nur über Laboranalysen möglich.

Folgende Möglichkeiten stehen dem Anlagenbetreiber vor Ort zur Verfügung:

Prüfen des Messumformers

Der Messumformer kann mit Präzisionswiderständen geprüft werden.

Hier ist jedoch davon auszugehen, dass der Messumformer (unter normalen Umständen) seine abgeglickene Genauigkeit nicht verloren hat.

Beispiel:

Vorbereitung

Abschaltung der Temperaturkompensation, d. h. den Temperaturkoeffizienten auf 0 %/K einstellen bzw. die manuelle Temperaturvorgabe auf Referenztemperatur einstellen (meist 25 °C).

Berechnung des zu erwartenden Anzeigewertes:

$$Y = \frac{K}{R} \quad (5)$$

K: Zellenkonstante (Einstellung des Messumformers) [1/cm]

R: Widerstandswert des Referenzwiderstandes [Ω]

Y: Anzeige des Gerätes [$\mu\text{S}/\text{cm}$ bzw. mS/cm]

Wertebeispiel

Im Betrieb ist am Messumformer ein Leitfähigkeitssensor mit der Zellenkonstante 1,0 [1/cm] angeschlossen. An Stelle des Leitfähigkeitssensors soll nun ein Widerstand mit 1000 [Ω] angeschlossen werden.

$$\frac{1,0 [1/\text{cm}]}{1000 [\Omega]} = 0,001 [\text{S}/\text{cm}] = 1 \text{ mS}/\text{cm} = 1.000 \mu\text{S}/\text{cm} \quad (6)$$

Der Messumformer sollte 1 mS/cm bzw. 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ anzeigen.

Es sind natürlich die Genauigkeiten des Messumformers und des Widerstandes zu berücksichtigen.

Neubestimmung der Zellenkonstanten

Da der Sensor dem Messmedium und den darin enthaltenen Inhaltsstoffen ausgesetzt ist, ist es sinnvoll, sie in regelmäßigen Abständen zu prüfen (Bestimmung der Zellenkonstanten).

Prüfintervalle

Die Festlegung der Prüfintervalle obliegt dem Anlagenbetreiber oder aber gesetzlichen Bestimmungen. Bei diesem Vorgang wird der Messumformer auf die neue (veränderte) Zellenkonstante abgestimmt.

Vergleichsmessung

Durch eine Vergleichsmessung mit einem Referenzgerät kann die Zellenkonstante der Reinstwassersensor neu bestimmt werden. Hier ist darauf zu achten, dass bei beiden Messgeräten (JUMO- und Referenzgerät) die Temperaturkompensation ausgeschaltet ist, d. h. auf 0 %/K steht. Damit wird erreicht, dass der aktuell an der Leitfähigkeitssensor anliegende Wert angezeigt wird. Eventuell unterschiedliche Anzeigewerte, bedingt durch unterschiedlich arbeitende Temperaturkompensationen, werden dadurch vermieden.

Bestimmung beim Hersteller

Sind beim Anwender keine entsprechenden Mess- und Prüfmittel vorhanden, kann die Zellenkonstante des Sensors auch beim Hersteller (z. B. JUMO) neu bestimmt werden.

In diesem Fall kann es angebracht sein, einen zweiten ausgemessenen Leitfähigkeitssensor vor Ort zu haben, um Stillstandszeiten zu vermeiden.

5.6 Lagerung des Sensors

Leitfähigkeitssensoren lassen sich problemlos trocken aufbewahren und sind gut lagerfähig.

Hinweis

Ablagerungen durch Staub, Rückstände von verdunstetem Kondenswasser, Oberflächenveränderungen durch aggressive Atmosphären u. a. m. verändern die Zellenkonstante (Kapitel 5.3 „Probleme/Maßnahmen“).

Sensoren mit platinieren Platinelektroden unbedingt in entionisiertem Wasser aufbewahren. Ein Austrocknen schädigt die platinieren Oberfläche und ist lediglich durch eine neue Platinieren zu beheben.

5 Qualitätssicherung

3

- ASTM D1125
Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water
- ASTM D1193
Standard Specification for Reagent Water
- ASTM D 5391
Standard Test Method for Electrical Conductivity and Resistivity of a Flowing High Purity Water Sample
- DIN V EN V 13005
Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen,
Deutsche Fassung ENV 13005
- DIN EN 27888
Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit
- DIN ISO 3696,
Wasser für analytische Zwecke
- Kremer M.,
Dokumentierte Reinheit, Dokumentierte Reinheit von Messsystemen für Reinstwasser,
Chemie Technik 29, Nr. 5,
2000
- Morash K. R., Thornton R. D. ...,
Measurement of the resistivity of high-purity water at elevated temperature,
Ultra-pure water journal,
1994
- United States Pharmacopeia, (USP), water conductivity <645> in der aktuellen Fassung
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
Rückführbare Bestimmung der elektrolytischen Leitfähigkeit,
www.ptb.de
- Wu Y. C.,
Absolute Determination of Electric Conductivity
for Primary Standard KCl Solutions from 0 to 50 °C,
Journal of Solution Chemistry, Vol. 20, No. 4,
1991

6 Quellenangabe

3

Fachliteratur von JUMO – Lehrreiches für Einsteiger und Praktiker

Nicht nur bei der Herstellung von JUMO-Produkten, auch beim späteren Einsatz ist Know-How gefragt. Deshalb bieten wir unseren Anwendern von uns erstellte Publikationen zu Themen der Mess- und Regelungstechnik an.

Die Publikationen sollen Einsteigern und Praktikern die unterschiedlichsten Anwendungsgebiete schrittweise näher bringen. Hierbei werden überwiegend allgemeine Themenbereiche, zum Teil aber auch JUMO-spezifische Anwendungen, erläutert.

Zusätzlich zur JUMO-Fachliteratur, bieten wir Ihnen neben unseren Software-Downloads die Möglichkeit der direkten Online-Bestellung von Prospekten und CD-ROM-Katalogen.



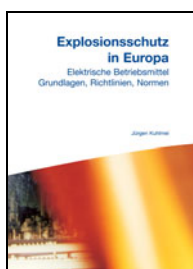
Elektrische Temperaturmessung mit Thermoelementen und Widerstandsthermometern *Matthias Nau*

FAS 146
Teile-Nr.: 00074750
ISBN: 978-3-935742-06-1
kostenfrei



Regelungstechnik Grundlagen für den Praktiker *Manfred Schleicher*

FAS 525
Teile-Nr.: 00314836
ISBN: 978-3-935742-00-9
kostenfrei



Explosionsschutz in Europa Elektrische Betriebsmittel Grundlagen, Richtlinien, Normen *Jürgen Kuhlmei*

FAS 547
Teile-Nr.: 00324966
ISBN: 978-3-935742-08-5
kostenfrei



Reinstwassermessung *Reinhard Manns*

FAS 614
Teile-Nr.: 00369643
kostenfrei



Messung der Redoxspannung *Ulrich Braun*

FAS 615
Teile-Nr.: 00373848
kostenfrei



Amperometrische Messung von freiem Chlor, Chlordioxid und Ozon *Dr. Jürgen Schleicher*

FAS 619
Teile-Nr.: 00394969
kostenfrei



Thyristor-Leistungssteller Grundlagen und Tipps für den Praktiker *Manfred Schleicher, Winfried Schneider*

FAS 620
Teile-Nr.: 00398728
ISBN: 978-3-935742-04-7
kostenfrei



Messung des pH-Wertes *Matthias Kremer*

FAS 622
Teile-Nr.: 00403231
kostenfrei

Fachliteratur von JUMO – Lehrreiches für Einsteiger und Praktiker



Leitfähigkeitsmessung, Konzentration, TDS *Reinhard Manns*

FAS 624
Teile-Nr.: 00411335
kostenfrei



Messunsicherheit einer Temperaturmesskette mit Beispielrechnungen *Gerd Scheller, Stefan Krummeck*

FAS 625
Teile-Nr.: 00413510
ISBN: 978-3-935742-12-2
kostenfrei



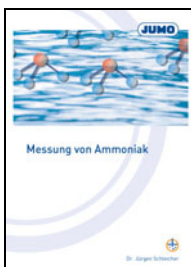
Messung von Wasserstoffperoxid/ Peressigsäure *Dr. Jürgen Schleicher*

FAS 628
Teile-Nr.: 00420695
kostenfrei



Funktionale Sicherheit SIL *Dr. Thomas Reus Matthias Garbsch*

FAS 630
Teile-Nr.: 00463374
kostenfrei



Messung von Ammoniak *Dr. Jürgen Schleicher*

FAS 631
Teile-Nr.: 00481786
kostenfrei



Analysemesstechnik in flüssigen Medien Ein Handbuch für Praktiker *Dr. Öznur Brandt, Ulrich Braun, Matthias Kremer, Reinhard Manns, Dr. Jürgen Schleicher*

FAS 637
Teile-Nr.: 00526103
ISBN: 978-3-935742-16-0
kostenfrei

Besuchen Sie unsere Website auf www.jumo.net und überzeugen Sie sich von der umfangreichen Produktpalette für die verschiedensten Einsatzgebiete. Dort finden Sie weitere Informationen und die richtigen Ansprechpartner für Ihre Wünsche, Fragen, Anregungen und Bestellungen.



More than **sensors + automation**

www.jumo.net