

## Technische Daten

Art des Sensors:	Analog
Ausgangsspannung:	0 bis 5 V
Messbereiche	
Kleiner Messbereich:	0 bis 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Mittlerer Messbereich:	0 bis 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Großer Messbereich:	0 bis 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Auflösung unter Verwendung eines 12 bit A/D Konverters	
Kleiner Messbereich:	0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Mittlerer Messbereich:	1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Großer Messbereich:	10 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Genauigkeit:	$\pm 1\%$ des gesamten jeweiligen Messbereichs
Reaktionszeit:	98% des Messwerts in 5 s, 100% in 15 s
Temperaturbereich:	Automatische Kompensation im Bereich 5°C ... 35°C Einsatzbereich zwischen 0°C und 80°C
Zellkonstante:	1,0 $\text{cm}^{-1}$ , Gehäusebeschichtung aus ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol), parallele Graphitplättchen
Kalibrierungsfunktionen:	
Kleiner Messbereich:	$C (\mu\text{S} / \text{cm}) = 65,7 \cdot U_{\text{out}} (\text{V})$
Mittlerer Messbereich:	$C (\mu\text{S} / \text{cm}) = 847,2 \cdot U_{\text{out}} (\text{V})$
Großer Messbereich:	$C (\mu\text{S} / \text{cm}) = 7819 \cdot U_{\text{out}} (\text{V})$
Anschluss:	IEEE1394 oder BT (British Telecom) Stecker



### Wichtiger Hinweis:

Dieses Produkt ist ausschließlich für Unterrichts- und Lehrzwecke, jedoch nicht für die kommerzielle Verwendung in Industrie, Gewerbe, Medizin oder Forschung vorgesehen.

### Garantie:

Wir garantieren, dass dieses Produkt frei von Material- und Herstellungsfehlern ist. Der Garantiezeitraum ist auf 2 Jahre ab Auslieferung beschränkt. Diese Garantie gilt nicht für Schäden am Produkt, die durch Missbrauch oder unsachgemäße Verwendung verursacht werden.

## P4231-1L Sensor Leitfähigkeit, 0...200/2000/20.000 $\mu\text{S}$ (CMA: BT27i)



### Kurzbeschreibung

Mit dem Leitfähigkeitssensor kann die elektrische Leitfähigkeit von Lösungen in 3 Bereichen, die über einen Schalter am seitlichen Sensorgehäuse ausgewählt werden können, gemessen werden:

- 0 bis 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 0 bis 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 0 bis 20.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$

Die SI-Einheit der Leitfähigkeit von Lösungen ist Siemens pro Meter (S/m). Da es sich dabei aber um eine relativ große Einheit handelt, werden die Messwerte in der Einheit  $\mu\text{S}/\text{cm}$  angegeben.

Der Leitfähigkeitssensor besteht aus einer Elektrode und einem Verstärker. Die Elektrode ist eine einfache, ABS ummantelte 2-Zellen Graphit-Elektrode. Es ist zwar nicht möglich, die Ionenart qualitativ zu bestimmen, allerdings kann über die Messung der Leitfähigkeit die absolute Konzentration der Ionen in der Lösung bestimmt werden.

Der Sensor wird von Coach 6 unterstützt und kann an einen analogen Eingang eines CMA Interface angeschlossen werden.

## Experimentiervorschläge

Der Leitfähigkeitssensor kann bei einer Vielzahl von Experimenten eingesetzt werden:

- Überprüfen des direkten Zusammenhangs zwischen Leitfähigkeit und Ionenkonzentration in einer wässrigen Lösung
- Bestimmung der Ionenkonzentration in einer Lösung
- Bestimmung der Veränderung der Leitfähigkeit im Wasser durch die Fotosynthese der Wasserpflanzen, mit der aufgrund des Verbrauchs an Kohlendioxid resultierenden Veränderung in der Konzentration an Bikarbonat-Ionen
- Beobachten der Reaktionsrate in chemischen Reaktionen, bei denen sich die Leitfähigkeit der Lösung aufgrund der Ionenkonzentration mit der Zeit verändert. Diese Veränderung der Leitfähigkeit ist eine direkte Folge der Produktion und des Verbrauchs an freien Ionen.
- Durchführen einer Leitfähigkeits-Titration zur Bestimmung des Zeitpunktes der Umsetzung der stöchiometrischen Menge zweier Substanzen
- Untersuchen der Diffusionsrate spezifischer Ionen durch eine Membran (z.B. bei einem Dialyseschlauch)
- Beobachten der Veränderungen in der Leitfähigkeit oder der Konzentration an gelösten Ionen in einem Aquarium, das Pflanzen und Tiere beherbergt. Veränderungen in der Leitfähigkeit werden dabei durch Fotosynthese und Atmung hervorgerufen.

## Handhabung

Um eine Messung durchzuführen, gehen Sie folgendermaßen vor:

- Tauchen Sie die Spitze der Leitfähigkeitselektrode für etwa 10 Minuten in destilliertes Wasser. Sollte das aus bestimmten Gründen nicht möglich sein, spülen Sie stattdessen die Spitze mit destilliertem Wasser gründlich ab.
- Trocknen Sie die Elektrode außen mit einem sauberen Papiertaschentuch. Schütteln Sie die Elektrode kräftig, um eventuell vorhandene Tropfen von der Elektroden-Zelle zu entfernen.
- Wählen Sie mit Hilfe des Schalters den für die Messung geeigneten Bereich aus.
- Verbinden Sie den Sensor mit einem Interface. In den meisten Fällen wird der Sensor vom Interface automatisch erkannt. Sollte der Sensor nicht erkannt werden, wählen Sie den Sensor händisch aus der Coach Sensorenbibliothek aus.
- Tauchen Sie den Sensor in die Probelösung ein. Beachten Sie bitte, dass die Probelösung zumindest 3 cm tief sein muss, damit die Elektroden-Zelle vollständig in die Lösung eintaucht.
- Rühren Sie vorsichtig um, damit sich vorhandene Luftbläschen in der Elektroden-Zelle auflösen. Warten Sie etwa 10 Sekunden, bis sich die Messwerte stabilisiert haben.
- Erhöhen Sie die Wartezeit, wenn Sie Messungen in einer Probeflüssigkeit mit einer Temperatur kleiner als 10°C oder höher als 35°C durchführen.
- Spülen Sie die Elektrode mit destilliertem Wasser ab, bevor Sie eine weitere Messung durchführen.
- Säubern Sie die Elektrode nach der Messung gründlich, um bei nachfolgenden Messungen jede Verunreinigung der Probelösung zu vermeiden.

### Achtung:

Die Elektrode darf nicht mit folgenden Stoffen in Verbindung gebracht werden:

- Viskose, organische Flüssigkeiten wie Schweröle
- Glycerin (Glycerol) oder Ethylenglykol
- Aceton oder unpolare Lösungsmittel wie z.B. Hexan oder Pentan.

## Verwendung mit anderen Sensoren

Verwendet man den Leitfähigkeitssensor zusammen mit anderen Sensoren in der selben Lösung und sind die Sensoren mit dem selben Interface verbunden, kann es zu einer gegenseitigen Beeinflussung der Sensoren kommen. Um die Leitfähigkeit der Lösung messen zu können, gibt der Sensor ein Spannungssignal ab, diese Spannung "stört" die Messwerterfassung anderer Sensoren. Davon sind speziell betroffen:

- Der Sauerstoffsensor
- Die pH-Elektrode
- Der Salzgehaltssensor

Es stellt kein Problem dar, mehrere Sensoren zugleich an das Messinterface anzuschließen, es sollte sich bei einer Messwerterfassung aber immer nur ein Sensor in der Probelösung befinden.

## Hinweise zur Reinigung und Lagerung

Es ist äußerst wichtig, dass die Elektrode stets in gereinigtem Zustand gelagert wird.

Abhängig von der jeweiligen Anwendung kann es erforderlich sein, die Elektrode in regelmäßigen Abständen auch während der Messungen zu reinigen.

- In den meisten Fällen reicht es, die Elektrode mit Wasser und einem milden, flüssigen Reinigungsmittel zu säubern. Tauchen Sie die Elektrode etwa 15 Minuten lang in eine entsprechend vorbereitete, warme Lösung.
- Die Elektrode kann auch mit Ethanol gereinigt werden, vorausgesetzt, die Verweildauer beträgt maximal 5 Minuten.
- Kalk- oder Hydroxidablagerungen können in einem 0,1 M Salzsäure- oder 0,5 M Essigsäurebad entfernt werden. Die maximale Verweildauer beträgt für beide Säuren 15 Minuten.

### Weitere Hinweise:

- Achten Sie darauf, dass auf der Elektrodenoberfläche im Sensorgehäuse keine Kratzer entstehen.
- Ein häufiger Fehler für ungenaue Messwerte ist eine durch andere Proben verunreinigte Lösung. Achten Sie besonders darauf, dass sich unterschiedliche Proben, selbst durch den Austausch kleinster Tropfen, nicht vermischen. Reinigen Sie die Elektrode jedes Mal mit destilliertem Wasser, wenn sie in eine andere Probelösung eingetaucht wird.
- Probenfläschchen sollten zur Vermeidung von Verdunstung immer gut verschlossen sein. Befüllen Sie die Fläschchen immer bis zum Rand mit der Probeflüssigkeit, um zu verhindern, dass sich Gase wie Kohlendioxid in der Probe lösen.
- Verwenden Sie den Sensor nicht in Situationen, in denen die Graphit-Plättchen der Elektroden-Zelle beschädigt werden könnten. Versuchen Sie nicht, das Innere der Elektroden-Zelle abzutupfen oder abzuwischen.
- Der Leitfähigkeitssensor führt im Bereich zwischen 5°C und 35°C eine automatische Temperaturkompensation durch. Trotzdem kann der Sensor auch in Lösungen ver-

wendet werden, deren Temperatur zwischen 0°C und 80°C beträgt.

- Die Elektrode misst die Leitfähigkeit nicht nur zwischen den Graphitplättchen, sondern in einem geringeren Ausmaß auch über ein elektrisches Feld, das auf der Seite der Elektrode aufgebaut wird. Bei der Verwendung von kleinen Gefäßen kann es durch die Gefäßwände zu Interferenzerscheinungen kommen. Fehlerhafte Messwerte können auch durch zu geringe Eintauchtiefe oder andere Störeinflüsse (Objekte, Gefäßboden, etc.) entstehen.

## Automatische Temperaturkompensation

Die Temperatur hat auf die Leitfähigkeit einer Flüssigkeit großen Einfluss. Obwohl die Konzentration vorhandener Ionen gleich ist, ergeben sich durch Temperaturänderungen unterschiedliche Messwerte. Mit Hilfe eines zusätzlichen, eingebauten Temperatursensors ist der Leitfähigkeitssensor in der Lage, eine Temperaturkompensation im Bereich von 5°C bis 35°C durchzuführen. Die dabei aufgenommenen Messwerte werden automatisch auf einen Referenzwert von 25°C korrigiert. Durch diese Kompensation ist der gemessene Leitfähigkeitswert im angegebenen Temperaturbereich immer derjenige, den die Flüssigkeit bei einer Temperatur von 25°C aufweist. Diese Maßnahme ermöglicht, mit ein und der selben Kalibrierung auch bei verschiedenen Temperaturen Messungen durchzuführen.

## Arbeitsweise des Sensors

Der Leitfähigkeitssensor misst in einer Flüssigkeit den Spannungsabfall an der Elektrode. Dieser Spannungsabfall hängt von der Leitfähigkeit der Flüssigkeit ab. Salz und andere anorganische Materialien lösen sich in Wasser und zerfallen in positive und negative Ionen. Diese Ionen können sich im Wasser frei bewegen und sind für die Leitfähigkeit des Wassers verantwortlich. Im Leitungswasser befinden sich bereits gelöste Salze, wie etwa Chlor, Kalzium, Magnesium oder Natrium.

Organische Stoffe wie Zucker, Öle und Alkohole verändern die Leitfähigkeit einer Flüssigkeit nicht, da sie beim Lösungsvorgang keine Ionen bilden.

Über zwei Graphitplättchen wird eine Spannung an die Flüssigkeit angelegt. Als Resultat fließt ein Strom, der vom Sensor registriert und gemessen wird. Die Leitfähigkeit der Flüssigkeit entspricht dem Kehrwert des Widerstands (1/R). Mit Hilfe des Ohm'schen Gesetzes wird aus der Spannung und der gemessenen Stromstärke der Widerstand und damit die Leitfähigkeit ( $\sigma$ ) in der Einheit Siemens pro Meter (S/m) berechnet.

Der von der Elektrode gemessene Strom hängt auch von der Geometrie der Elektrodenzelle ab. Der Quotient aus dem Abstand und dem Flächeninhalt der Graphitplättchen einer Elektrodenzelle bestimmt den Spannungsabfall für eine Flüssigkeit und wird als spezifische Zellkonstante K bezeichnet. Bei der mitgelieferten Elektrode beträgt dieser Wert 1,0 pro cm (K = 1,0 cm<sup>-1</sup>). Die Leitfähigkeit der Flüssigkeit ist schließlich das Produkt aus der Zellkonstante und dem Leitwert G der Elektrode:

$$\sigma = G \cdot K$$

Die SI-Einheit für die Leitfähigkeit einer Flüssigkeit ist Siemens pro Meter (S/m). 1 S/m ist

Sensor Leitfähigkeit, P4231-1L (CMA: BT27i) - Seite 4

ein sehr großer Wert, die Leitfähigkeit von wässrigen Lösungen wird üblicherweise in der Einheit  $\mu\text{S/cm}$  angegeben. Die folgende Tabelle zeigt die gängigsten Leitfähigkeitswerte von unterschiedlichen Flüssigkeiten:

Probe	Leitfähigkeit ( $\mu\text{S/cm}$ )
Reines Wasser	0,055
Destilliertes Wasser	0,5
Deionisiertes Wasser	0,1 - 10
Regenwasser	20 - 100
Trinkwasser	50 - 200
Tafelwasser	100 - 1.500
Flusswasser	250 - 800
Brackwasser	1.000 - 8.000
KCl 0,01 M	1.410
MgSO <sub>4</sub>	5.810
KCl 0,1 M	12.900
Meerwasser	53.000
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	82.600
KCl 1,0 M	112.000

Um eine Ablagerung von Ionen an den Elektrodenplättchen zu verhindern, verwendet der Sensor Wechselstrom als Spannungsquelle. Die daraus resultierende Umkehrung des Ionenstroms verhindert ungewollte Elektrolyse und Polarisation.

## Kalibrierung

Bei diesem Sensor handelt es sich um einen intelligenten Sensor. Dieser verfügt über einen integrierten Speicherchip (EEPROM), der Informationen über den Sensor enthält und über ein einfaches Protokoll (I<sup>2</sup>C) die Daten (Name, Menge, Einheit und Kalibrierung) an das verwendete Programm weitergibt. Der Sensor wird somit vom Interface automatisch erkannt. Falls nicht, wählen Sie bitte zur Initialisierung den Sensor aus der Coach Sensorenbibliothek aus.

ACHTUNG: Der Name des Sensors in der Datenbank der Coach-Software ist:

Leitfähigkeit (BT27i) (CMA) (0..200 $\mu\text{S}$ )

Leitfähigkeit (BT27i) (CMA) (0..2000 $\mu\text{S}$ )

Leitfähigkeit (BT27i) (CMA) (0..20000 $\mu\text{S}$ )

Der Sensor ist bei Auslieferung bereits kalibriert. Die Software „Coach“ kann daher die kalibrierten Werte automatisch anzeigen. Mit Hilfe der Software können Sie wählen, ob Sie die auf dem Sensor direkt gespeicherte Kalibrierung, oder jene von der Coach Sensorenbibliothek verwenden wollen. Zur Erhöhung der Genauigkeit kann die vordefinierte Kalibrierung verändert werden.

Die Interfaces VinciLab, ULAB, CoachLab II+ und EuroLab sind mit dem Sensor kompatibel.

Sensor Leitfähigkeit, P4231-1L (CMA: BT27i) - Seite 5

Der Ausgang des Sensors ist direkt proportional zur Leitfähigkeit der Flüssigkeit. Jeder Messbereich besitzt eine eigene Kalibrierungsfunktion:

- 0 ... 200  $\mu\text{S/cm}$ :  $C (\mu\text{S/cm}) = 65,7 \cdot U_{\text{out}}(\text{V})$
- 0 ... 2.000  $\mu\text{S/cm}$ :  $C (\mu\text{S/cm}) = 847,2 \cdot U_{\text{out}}(\text{V})$
- 0 ... 20.000  $\mu\text{S/cm}$ :  $C (\mu\text{S/cm}) = 7819 \cdot U_{\text{out}}(\text{V})$

Um eine noch höhere Genauigkeit zu erreichen, können Sie mit der Software Coach eine Benutzerkalibrierung durchführen. Vor der Kalibrierung sollte die Elektrode unbedingt gesäubert werden. Tauchen Sie die Elektrode etwa 10 Minuten lang in destilliertes Wasser oder spülen Sie die Spitze der Elektrode gründlich ab. Wischen Sie die Oberfläche des Gehäuses der Elektrodenzelle mit einem sauberen Papiertaschentuch ab. Schütteln Sie die Elektrode kräftig, damit sich Tropfen von der Elektroden-Zelle lösen. Die Oberfläche der Elektrode sollte trocken sein.

- Wählen Sie den gewünschten Messbereich aus.
- Nullpunkt-Kalibrierung: Messen Sie den Leitfähigkeitswert in Luft (nicht in einer Flüssigkeit). Geben Sie den Wert 0,0  $\mu\text{S/cm}$  ein.
- Standard-Kalibrierungspunkt: Platzieren Sie den Sensor in eine Lösung mit bekanntem Leitfähigkeitswert. Stellen Sie sicher, dass die Elektrode ganz in die Flüssigkeit eingetaucht ist (die Öffnung zur Elektrodenzelle darf sich nicht mehr über der Flüssigkeit befinden). Warten Sie einige Zeit, bis sich der Spannungswert stabilisiert. Geben Sie den entsprechenden Wert für die Standardlösung (z.B. 1.000  $\mu\text{S/cm}$ ) ein.

Das Maximum an Genauigkeit erreichen Sie, wenn Sie mehrere Standardlösungen verwenden, die den erwarteten Messbereich abdecken. Generell ist es hilfreich und auch essentiell für den Kalibrierungsvorgang, wenn man Standardlösungen zur Verfügung hat, deren Leitfähigkeit annähernd dem erwarteten Messbereich entsprechen. Weiters ist man mit Hilfe unterschiedlicher Standardlösungen immer in der Lage, die korrekte Funktion des Sensors zu überprüfen.

Bereiten Sie Ihre Standardlösungen mit Hilfe der folgenden Tabelle vor:

Menge an Kochsalz für 1 Liter Standardlösung in Gramm	Leitfähigkeitswert ( $\mu\text{S/cm}$ )
0,0474	100
0,491	1.000
1,005	2.000
5,566	10.000

Wie aus der Tabelle ersichtlich, gibt es keinen direkten Zusammenhang zwischen der Leitfähigkeit einer Flüssigkeit und der Gesamtzahl an gelösten Bestandteilen in Wasser (TDS - total dissolved solids in ppm). Allerdings können Näherungswerte verwendet werden:

- Kochsalz in hoher Konzentration:  $\text{TDS (ppm)} = S (\mu\text{S/cm}) \cdot 0,5$
- Die meisten anderen Lösungen:  $\text{TDS (ppm)} = S (\mu\text{S/cm}) \cdot 0,67$