

Metrosensor-Elektroden



Präzision ist kein Zufall!

Inhaltsverzeichnis

Welche Elektrode für welche Applikation?	6-7	Wie entsteht ein Metrosensor?	78-79
Elektrodenempfehlungen für die pH-Messung	6		
Elektrodenempfehlungen für die Titration	7		
Elektrodenkatalog	8-69	Theoretische Grundlagen	80-101
iTrodes	8-9	1. Grundlagen der Potentiometrie	80-88
Getrennte pH-Elektroden	12-13	1.1. Messkettenaufbau	80
Elektroden für die pH-Messung	14-17	1.2. Vom Potential zur Ionenkonzentration – die Nernst-Gleichung	80-81
Elektroden für die pH-Titration	18-21	1.3. Messelektroden	82
Spezialelektroden für die pH-Messung/pH-Titration	22-25	1.3.1. pH-Glaselektroden	82-86
Getrennte Metall- und Kohlelektroden	28-29	1.3.2. Metallelektroden	86-88
Titroden	30-31	1.3.3. Ionenselektive Elektroden	88-90
Kombinierte Metallelektroden	32-33	1.4. Bezugslektroden	90
Elektroden für die Voltammetrie	34-37	1.4.1. Silber/Silberchlorid-Bezugssystem	90
Elektroden für die Karl-Fischer-Titration	38-41	1.4.2. Metrosensor «Long Life»-Bezugssystem	91
Ionenselektive Elektroden und Zubehör	44-47	1.4.3. Diaphragmen	91-94
Tensidelektroden und Zubehör	48-51	1.4.4. Bezugslektrolyte und Brückenelektrolyte	95
Bezugslektroden	54-57	2. Grundlagen der Konduktometrie	96-100
Konduktometrische Messzellen	60-65	2.1. Allgemeines	96-99
Temperaturfühler	66-67	2.2. Leitfähigkeitsmessung nach USP und Pharm. Europe (EP)	99-100
Sensoren für die Photometrie	68-69	3. Temperaturmessung	101
Zubehör	71-77	Anhang	102-106
Elektrodenanteile und sonstiges Zubehör	72-73	Technische Spezifikationen	102-106
Ionenstandards, Pufferlösungen, Elektrolyte	74-75		
Elektrische Verbindungen	76-77		

Der Name Metrohm steht für 65 Jahre Erfahrung in der Ionenanalytik – warum sollen Sie sich den Kopf zerbrechen, wenn wir es schon für Sie getan haben?

Metrohm-Applikationsbulletins – Vorschriften, die garantiert funktionieren.

Die Metrohm-PACs (Potentiometric Analysis Collections) – sie beinhalten fertig ausgearbeitete Methoden, sind auf dem neuesten Stand der Technik und immer konform zu den jeweiligen Normen und Bestimmungen.

- **Surf PAC** – die wichtigsten Methoden in der Tensidanalytik.
- **Oil PAC** – die wichtigsten Methoden für die Analyse von Erdölprodukten.

- **Pharm PAC** – die wichtigsten Methoden für die Bestimmung von pharmazeutischen Wirkstoffen nach europäischen und US-Pharmakopöen.
- **Wine PAC** – die wichtigsten Methoden in der Weinanalytik.
- **Plate PAC** – die wichtigsten Methoden für die Analyse von galvanischen Bädern.
- **Food PAC** – die wichtigsten Methoden in der Nahrungsmittelanalytik.



Holen Sie sich Ihr Know-how vom Marktführer!
www.metrohm.com



Elektrodenkatalog

Die Abbildungen der Artikel sind, sofern nicht anders angegeben, ungefähr in Originalgrösse.

Sofern nicht anders angegeben, sind alle kombinierten pH-Elektroden mit dem Bezugsselektrolyten $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$ (Bestellnummer 6.2308.020) gefüllt.

Die Abkürzung «LL-Bezugssystem» steht für das Metro-sensor-«Long Life»-Bezugssystem. Nähere Informationen hierzu finden Sie im Theorieteil, Kapitel 1.4.2.

«DJ» steht hier für «Double Junction». Diese Elektroden sind mit einer Brückenelektrolytkammer ausgerüstet; der Brückenelektrolyt ist auswechselbar, lässt sich also ans Messgut anpassen.

Ausführliche Informationen zu den technischen Spezifikationen sind im Anhang «Technische Spezifikationen» zu finden. Die elektrochemischen Parameter beziehen sich auf 25 °C, die Ausflussraten auf einen hydrostatischen Druck einer 10 cm hohen Wassersäule. Mit «Schaftlänge» ist die Länge von der Elektrodenspitze bis zur Unterkante des Elektrodensteckkopfes bezeichnet. Die Einbaulänge ist die Länge von der Elektrodenspitze bis zur Oberkante des Normschliffes. Dies entspricht bei flexiblen Schliffhülsen der Länge bis unter die Elektrolytnachfüllöffnung. Alle flexiblen Schliffhülsen besitzen die Grösse Normschliff 14/15.

Materialabkürzungen:

EP	Epoxid
PE	Polyethylen
PEEK	Polyetheretherketon
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
PCTFE	Polychlortrifluoroethylen
PMMA	Polymethylmethacrylat
PTFE	Polytetrafluorethylen

Elektroden für die pH-Messung

6

Applikation	Einzelheiten	Elektrode	Bestellnummer	Seite
Universell	Klare, wässrige Lösungen, pH 0...14 Universeller Einsatz im Labor, pH 0...14 Routinemessung in gleichartigen Proben pH 1...11	Primatrode mit NTC	6.0228.010	14
		Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
		Ecotrode Gel mit NTC	6.0221.600	14
Wasser	Allgemein (demineralisiertes Wasser, Trinkwasser, Prozesswasser, Meerwasser Umweltbereich)	Aquatrode Plus mit Pt 1000	6.0257.000	16
Abwasser	Allgemein Sulfidhaltige Abwässer	Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
		Profitrode	6.0255.100	18
Bodenproben	Allgemein (wässrige Suspensionen)	Flachmembran-pH-Elektrode	6.0256.100	22
Landwirtschaft Gartenbau Pflanzenzucht	Dünger	Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
	Eiweisshaltige Lösungen	Porotrode	6.0235.200	22
	Jauche	Profitrode	6.0255.100	18
	Kleine Probenvolumina, Nährböden	Biotrode	6.0224.100	22
	Nährlösungen	Viscotrode	6.0239.100	24
Lebensmittel Genussmittel	Allgemein Eiweisshaltige Lebensmittel, Bier Brot, Fleisch, Käse, Teig (Einstichmessungen) Frucht- und Gemüsesäfte, Wein, Spirituosen Trinkwasser	Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
		Porotrode	6.0235.200	22
		Einstichelektrode	6.0226.100	22
		Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
		Aquatrode Plus mit Pt 1000	6.0257.000	16
Pharmazie Biologie	Cremes, Flüssigformulierungen, Medizinale Sirup, Mundspüllösungen, Rohstoffkontrolle gemäss Pharmakopöen Dialyselösungen, Urin Eiweisshaltige Lösungen Infusionslösungen Kleine Probenvolumina, Magensaft, Serum Pilotanlage	Viscotrode	6.0239.100	24
		Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
		Porotrode	6.0235.200	22
		Aquatrode Plus mit Pt 1000	6.0257.000	16
		Biotrode	6.0224.100	22
		Syntrode mit Pt 1000	6.0248.0X0	24
		Viscotrode	6.0239.100	24
Kosmetik	Allgemein (Emulsionen, Shampoos, Duschbäder, Flüssigseifen, Lotionen, Mundspülungen, Parfüms) Haut (Oberflächen) Make-up	Viscotrode	6.0239.100	24
		Flachmembran-pH-Elektrode	6.0256.100	22
		Mikro-Elektrode	6.0234.100	24
Waschmittel Detergenzien	Allgemein (Reiniger, Spülmittel, Waschmittel, Tensidlösungen) Proben mit pH-Werten >10 Hochviskose Proben	Viscotrode	6.0239.100	24
		Profitrode	6.0255.100	18
		Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
Leder Papier Textilien	Bleich- und Färbereibäder, Gerblaugen Feuchtwasser für Offsetdruck, Leim Leder, Papier, Textilien (Oberfläche) Waschlaugen	Profitrode	6.0255.100	18
		Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
		Flachmembran-pH-Elektrode	6.0256.100	22
		Viscotrode	6.0239.100	24
Farben Lacke Lösungsmittel	Beizen (Holz), Farbbäder, Tinten Dispersionen, Emulsionen, Harze, Lacke, Suspensionen Farbanstriche (Oberflächen) Nichtwässrige, polare Lösungsmittel	Profitrode	6.0255.100	18
		Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
		Flachmembran-pH-Elektrode	6.0256.100	22
		EtOH-Trode	6.0269.100	16
Galvanik Metallverar- beitung	Allgemein (Ätz-, Beiz- und Entfettungsbäder, alkalische Galvanik- und Phosphatierbäder) Saure Galvanikbäder Bohrölemulsionen	Profitrode	6.0255.100	18
		Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
		Viscotrode	6.0239.100	24
Spezielle Anwendungen	Einstichmessungen Eiweisshaltige Lösungen Proben mit pH-Werten >12 und Temperatur 50...80 °C Temperatur 80...100 °C	Einstichelektrode	6.0226.100	22
		Porotrode	6.0235.200	22
		Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
	Ionenarme, schlecht gepufferte Lösungen Kleine Probenvolumina	Unitrode mit Pt 1000 Bezugselektrolyt: Idrolyt	6.0258.600	16
		Aquatrode Plus mit Pt 1000	6.0257.000	16
		Biotrode	6.0224.100	22
		Flachmembran-pH-Elektrode	6.0256.100	22
		Flachmembran-pH-Elektrode	6.0256.100	22
		Profitrode	6.0255.100	18
	Oberflächenmessungen Fotobäder, konzentrierte Säuren Emulsionen/Suspensionen Ethanolhaltige Treibstoffe/E85	Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	16
		EtOH-Trode	6.0269.100	16

Elektroden für die Titration

Applikation	Einzelheiten	Elektrode	Bestellnummer	Seite
Wässrige Säure/Base Titrations	Allgemein	Ecotrode Plus	6.0262.100	18
	Routinemessung in gleichartigen Proben	Ecotrode Gel	6.0221.100	18
	Alkalische Proben, Bayerlaugen	Unitrode	6.0259.100	18
	Titrationen bei hohen Temperaturen	Unitrode mit Bezugselektrolyt Idrolyt	6.0259.100	18
	Säuregehalt alkoholischer Getränke	Unitrode mit Pt 1000	6.0258.600	18
	Titrationen mit kleinen Probenvolumina	Mikro-Elektrode	6.0234.100	24
		Flachmembran-Elektrode	6.0256.100	22
	Titrationen in ionenarmen wässrigen Medien	Aquatrode Plus	6.0253.100	20
	Carbonathärte, Säurekapazität von Wasser, p- & m-Wert	Aquatrode Plus mit Pt 1000	6.0257.000	16
	Galvanik-, Ätz- und Phosphatierbäder	Profitrode	6.0255.100	18
	Ätzbäder, fluorid- oder flusssäurehaltig	Kombinierte Antimon-Elektrode	6.0421.100	32
	Eiweisshaltige Proben	Porotrode	6.0235.200	22
Nichtwässrige Säure/Base-Titrations	Titrationen mit Perchlorsäure, Cyclohexylamin, alkoholischer HCl, Bestimmung der Basenzahl (TBN) von Erdölprodukten	Solvotrode mit c(LiCl) = 2 mol/L in Ethanol	6.0229.100	20
	Titrationen mit alkoholischer KOH, NaOH und TBAOH, Kalium-Methylat, Bestimmung der Säurezahl (TAN) von Erdölprodukten, freie Fettsäuren/ Hydroxylzahl in Ölen und Fetten	Solvotrode mit c(TEABr) = 0.4 mol/L in Ethylenglycol	6.0229.100	20
Redox-Titrations Titriermittel: Arsenit, Cersulfat Eisen(III), Iod, Kaliumbromat Natriumnitrit Oxalsäure, Permanganat, Thiosulfat, Titan(III), Hg(NO ₃) ₂	Titrationen ohne Veränderung des pH-Wertes	Pt-Titrode	6.0431.100	30
	Titrationen mit Veränderung des pH-Wertes	Kombinierte LL-Pt-Ring-Elektrode	6.0451.100	32
	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) in Wässern	Kombinierte LL-Au-Ring-Elektrode	6.0452.100	32
	Penicillin, Ampicillin	Kombinierte LL-Au-Ring-Elektrode	6.0452.100	32
	Bromatometrie, Iodometrie, Cerimetrie nach Pharm. Europe & USP	Pt-Titrode	6.0431.100	30
Karl-Fischer-Reagenz	Wasserbestimmung nach Karl Fischer	Doppel-Pt-Draht-Elektrode	6.0338.100	38
Titrationen im Modus «I_{pot}»		Doppel-Pt-Draht-Elektrode	6.0341.100	38
Fällungstitrations Titriermittel: Silbernitrat	Chlorid allgemein, Kochsalzgehalt in Lebensmitteln	Ag-Titrode	6.0430.100	30
	Chlorid in Dialyse- und Infusionslösungen	Ag-Titrode mit Ag ₂ S-Überzug	6.0430.100	30
	Titrationen nach Pharm. Europe & USP	Ag-Titrode mit Ag ₂ S-Überzug	6.0430.100	30
	Bestimmung von Schwefelwasserstoff, Mercaptanen, Carbonylsulfiden, Sulfiden	Ag-Titrode mit Ag ₂ S-Überzug	6.0430.100	30
	Chlorid, Bromid, Iodid und Cyanid in Galvanikbädern	Ag-Titrode mit Ag ₂ S-Überzug	6.0430.100	30
Fluorid/Flusssäure in Ätzbädern	F-ISE – Kristallmembran	6.0502.150	44	
Komplexometrie Titriermittel: EDTA, Complexon® III und IV	Rücktitration des Ba ²⁺ -Überschusses mit EDTA	Ca ²⁺ -ISE-Polymermembran	6.0508.110	44
	Bestimmung von Ca ²⁺ , Mg ²⁺ in wässrigen Lösungen (nach AB 125)	Ca ²⁺ -ISE-Polymermembran	6.0508.110	44
	Bestimmung von Al, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Fe, Mg, Ni, Pb, Zn	Cu ²⁺ -ISE-Kristallmembran	6.0502.140	44
Photometrische Titrations	Farbindikatoren wie Xylenolorange, N,N-Diethyl-1,4-phenyldiamin, Phenolphthalein, Thorin, Dichlorophenolindophenol	Spectrosense 523 nm	6.5501.100 Titrimo 6.5501.200 Titrimo	68
	Farbindikatoren wie Dimethylsulfonazo III, Hydroxynaphtholblau, Eriochromschwarz T, HHSNN, Diphenylaminosulfonat, Murexid	Spectrosense 610 nm	Titrimo plus 6.5501.110 Titrimo 6.5501.210 Titrimo Titrimo plus	68
Tenside in nicht-wässrigen Medien Aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe, Ketone, Benzin, Kerosin, Di- und Trichlorethan	Titration von anionischen und kationischen Tensiden, Titrationen in Chloroform, ölhaltigen Formulierungen wie Kühlschmierstoffe, Bohr- und Schneideöle, ölhaltigen Duschbäder, pH<10	Surfactrode Resistant	6.0507.130	48
	Titration von anionischen und kationischen Tensiden, Titration von Tensid-Formulierungen, Waschpulvern, Seifen, pH>10	Surfactrode Refill	6.0507.140	48
Tenside in wässrigen Medien	Titration von kationischen Tensiden	«Cationic Surfactant»-Tensidelektrode	6.0507.150	48
	Titration von anionischen Tensiden	«Ionic Surfactant»-Tensidelektrode	6.0507.120	48
	Titration von nichtionischen Tensiden Titration von pharmazeutischen Wirkstoffen mit Natriumtetraphenylborat	NIO-Elektrode	6.0507.010	48

iTrodes – Die intelligenten Elektroden

Die iTrodes

Die iTrodes der neuen intelligenten Elektrodengeneration unterstreichen Metrohms langjährige Vorreiterrolle in der potentiometrischen Titration.

Die zur Titration verwendete Elektrode ist der wichtigste Bestandteil eines jeden Titriersystems. Aber ausgerechnet sie bildete bis jetzt die letzte Lücke in der Rückverfolgbarkeit. Der Titrand mit iConnect schliesst diese Lücke und garantiert damit eine vollständige Rückführbarkeit des Analysenergebnisses auf jede an der Analyse beteiligte Komponente.

Der digitale Ausweis – Verwechslungen ausgeschlossen

Der in den Elektrodenkopf integrierte Chip ermöglicht die Speicherung von wichtigen Sensordaten wie Artikel- und Seriennummer, Kalibrierdaten, Kalibrierhistorie, Nutzungsdauer und Gültigkeitsdauer der Kalibrierung.

Alle Sensordaten werden beim Anschluss der iTrode an den Titrand automatisch eingelesen. Eine Verwechslung oder Fehler beim Editieren sind damit ausgeschlossen.

Die Elektrode wird automatisch identifiziert. Stimmt die Elektrode nicht mit der in der Methode definierten überein, so wird der Anwender informiert. Die Verwendung einer falschen Elektrode ist damit ausgeschlossen.

Speicherung der Kalibrierdaten – Ausreisser haben keine Chance

Überwachungsfunktionen ermöglichen den Ausschluss von Elektroden, deren Kalibrierdaten ausserhalb der Grenzwerte liegen oder deren Kalibrierung bereits abgelaufen ist.

Wird der Sensor an verschiedenen Geräten benutzt oder will man verhindern, dass ein ungeübter Anwender die Elektrode an seinem eigenen Gerät kalibrieren muss, dann kann die Elektrode unter definierten Bedingungen an einem anderen Gerät kalibriert werden. Die Kalibrierdaten im Speicherchip machen die Elektrode übertragbar; sie muss also nicht jedes Mal neu kalibriert werden, wenn sie mit einem anderen Gerät verwendet wird.

854 iConnect – Messeingang «on a chip»

Die Farbe Metrohm-Grün stand schon immer für fortschrittlichste Technik: Dank modernster Elektronik hat Metrohm einen kompletten Messeingang auf die Grösse einer Briefmarke komprimiert. Damit findet dieser im Kopf des Elektrodenkabels Platz. Der Messeingang wird automatisch erkannt und durch eine eigene Seriennummer identifiziert.

Digitale Datenübertragung

Der Analog/Digital-Wandler der neuesten Generation im 854 iConnect wandelt das analoge Messsignal der iTrode noch direkt am Sensor in einen digitalen Impuls um. Dieses digitale Messsignal ist nicht mehr anfällig gegen elektrostatische Einflüsse. Damit ist immer eine störungsfreie Übertragung garantiert, egal wie lang das Elektrodenkabel ist.

Nehmen Sie doch einfach den Messeingang mit!

Mit dem 854 iConnect werden Sensor und Messeingang immer zusammen kalibriert und die Kalibrierdaten in der intelligenten Elektrode abgespeichert. Da der Messeingang nicht mehr fest im Messgerät verbaut ist, können Elektrode und 854 iConnect an unterschiedlichen Titratoren eingesetzt werden. Die Kalibrierprozedur ist nicht mehr an einen bestimmten Titrator gebunden.

iTrodes können mit dem 867 pH Module oder den 888 und 90x Titrandos eingesetzt werden.



**Bestellinformationen**

iAquatrode Plus mit Pt 1000	6.0277.300
iUnitrode mit Pt 1000	6.0278.300
iSolvotrode	6.0279.300
iEcotrode plus	6.0280.300
iAg-Titrode	6.0470.300
iPt-Titrode	6.0471.300
iConnect	2.854.0010





Geben Sie Ihrer Messung den Feinschliff!

Höchste Präzision und leichte Pflege – das sind die beiden herausragenden Eigenschaften von Unitrode und Aquatrode Plus. Der konstante Elektrolytausfluss des gegen Verschmutzung weitgehend unempfindlichen Festschliffdiaphragmas garantiert ein rauschames Messsignal selbst in schwierigen Proben und unabhängig von den Messbedingungen. Weitere Details finden Sie im Theorieteil auf Seite 92.

Getrennte pH-Glaselektroden

12

Getrennte pH-Glaselektrode

- Elektrisch abgeschirmt
- Blaues T-Glas für zuverlässige Ergebnisse, wie z. B. in der Differenzpotentiometrie in nichtwässrigen Medien
- Optimale Länge für Probenwechsleranwendungen

Technische Spezifikationen

pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...80 °C
Einbaulänge	142 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	15 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Differenzpotentiometrie

Für die Differenzpotentiometrie werden neben der Messelektrode noch eine Bezugslektrode und eine zusätzliche Hilfselektrode benötigt. Die Abschirmung der Bezugslektrode muss mit derjenigen der Messelektrode identisch sein.

Bezugslektroden für die Differenzpotentiometrie (siehe Abschnitt «Bezugslektroden»)

- Ag/AgCl-DJ-Bezugslektrode, Länge 125 mm, Metrohm-Steckkopf G
Ohne Elektrolytfüllung, ohne Kabel 6.0729.100
Gefüllt mit LiCl_{sat} in Ethanol, ohne Kabel 6.0729.108
- Ag/AgCl-DJ-Bezugslektrode, Länge 162 mm, Metrohm-Steckkopf G
Ohne Elektrolytfüllung, ohne Kabel 6.0729.110

Hilfselektroden für die Differenzpotentiometrie, Metrohm-Steckkopf B (siehe Abschnitt «getrennte Metallelektroden»)

Getrennte Pt-Draht-Elektrode	6.0301.100
Getrennte Pt-Stift-Elektrode	6.1241.040 + 6.1248.000
Getrennte Pt-Ring-Elektrode	6.0351.100

**Bestellinformationen**

Getrennte pH-Glaselektrode, ohne Kabel

6.0150.100

Elektroden für die pH-Messung

14

Die Primatrode mit NTC – der kostengünstige Einstieg in die GLP-konforme pH-Messung

- Für niederschlags-, protein- und sulfidfreie Lösungen
- Langlebige Standardelektrode
- Bruchsicherer Kunststoffschafft
- Stossschutz für die Glasmembran
- Fixkabel (Länge 1.2 m)
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem
- Variante 6.0228.020 mit wasserdichtem Stecker I für die Verwendung mit dem 826 pH mobile (IP67)

Technische Spezifikationen

Primatrode

Schaftmaterial	PP
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...80 °C
Temperaturfühler	NTC
Diaphragma	Keramikstift
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	15 mm

Die Solitrode mit Pt 1000 – robust und zuverlässig, ideal für den Routineeinsatz im Labor

- Für niederschlags-, protein- und sulfidfreie Lösungen
- Langlebige Standardelektrode
- Bruchsicherer Kunststoffschafft
- Stossschutz für die Glasmembran
- Fixkabel (Länge 1.2 m)
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Solitrode

Schaftmaterial	PP
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...80 °C
Temperaturfühler	Pt 1000
Diaphragma	Keramikstift
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	15 mm

Ecotrode Gel – die wartungsfreie Lösung

- Ideal für Routinemessungen in gleichartigen Proben
- Wartungsfrei
- Alterungsindikator
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Ecotrode Gel

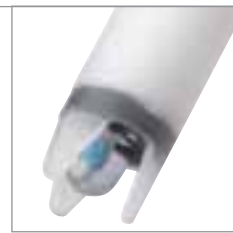
Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	1...11
Temperaturbereich	0...60°C
Temperaturfühler	NTC
Diaphragma	Twin pore
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf U

So liegen Ihre Elektroden richtig:

Schnelligkeit ist keine Hexerei, sondern eine Frage der Aufbewahrung! Metrohm empfiehlt für alle kombinierten pH-Glaselektroden mit $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$ als Bezugsselektrolyt die patentierte Aufbewahrungslösung 6.2323.000. Diese verhindert das Altern der Glasmembran und garantiert dadurch schnelle Ansprechzeiten wie am ersten Tag. Weitere Informationen finden Sie im Theorieteil im Kapitel 1.3.1. «pH-Glaselektroden».



Primatrod
der kostengünstige
Einstieg in die GLP-
konforme pH-Messung



Solitrod
Robust und zuverlässig
beim Routineinsatz
im Labor



Ecotrod Gel
die wartungsfreie
Lösung



Bestellinformationen

Primatrod mit NTC, Fixkabel mit Stecker F + 1 x 2 mm	6.0228.010
Primatrod mit NTC, Fixkabel mit Stecker I (IP67) + 1 x 2 mm	6.0228.020
Solitrod ohne Temperaturfühler, ohne Kabel	6.0220.100
Solitrod mit Pt 1000, Fixkabel Stecker F + 2 x 4 mm	6.0228.000
Ecotrod Gel mit NTC, ohne Kabel, Steckkopf U	6.0221.600

Elektroden für die pH-Messung

16

Die Unitrode mit Pt 1000 – High Performance in schwierigen Proben und bei hohen pH-Werten

- Universell einsetzbar, selbst in Farbstoffen, Pigmenten, Tinten, Suspensionen, Harzen und Polymeren
- Gegen Verschmutzung unempfindliches Festschliffdiaphragma
- Hohe Temperaturbeständigkeit und sehr geringer Alkalifehler
- Kurze Einstellzeiten bei Temperaturveränderungen
- Aussenelektrolyt Idrolyt für Temperaturen von 80...100 °C
- Fixkabel (Länge 1.2 m) oder mit Steckkopf U und abnehmbarem Kabel
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Die Aquatrode Plus mit Pt 1000 – ideal für wässrige, schlecht gepufferte Lösungen

- Spezial-Elektroden Glas: präzise Messwerte und sehr kurze Ansprechzeiten, selbst in ionenarmen, schlecht gepufferten Lösungen wie Trink-, Oberflächen- und Regenwasser und anderen schlecht leitenden Lösungen
- Wartungsfreier Bezugselektrolyt (Gel)
- Variabler Brückenelektrolyt für Spezialanwendungen
- Gegen Verschmutzung unempfindliches Festschliffdiaphragma
- Optimierte Länge für Probenwechsleranwendungen
- Fixkabel (Länge 2 m)
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

EtOH-Trode – die Spezialistin für Ethanol

- Zur pHe-Messung in Ethanol entwickelt
- Spezial-Membranglas
- Sehr präzises Schliffdiaphragma
- Double-Junction System zur freien Wahl des Elektrolyten (z.B. 3 M KCl in ASTM D 6423, 1 M LiCl in EN 15490).
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Unitrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...100 °C
Temperaturfühler	Pt 1000
Diaphragma	Festschliff
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	25 mm

Technische Spezifikationen

Aquatrode Plus

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...13
Temperaturbereich	0...60 °C
Temperaturfühler	Pt 1000
Diaphragma	Festschliff
Einbaulänge	125/260 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm

Technische Spezifikationen

EtOH-Trode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...12
Temperaturbereich	0...80°C
Diaphragma	Festschliff
Einbaulänge	145 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Wellness für die Elektrode

Nur eine präventive und regelmässige Pflege der Glasmembran und des Diaphragmas garantiert auf lange Zeit zuverlässige Messergebnisse. Eine Reinigung durch Ätzung mit toxischen Chemikalien oder eine mechanische Behandlung des Diaphragmas ist nicht nur kompliziert und teuer, sondern beschleunigt zudem die Alterung der pH-Glaselektrode. Das Pflegeset 6.2325.000 wurde für eine einfache und sanfte Reinigung von pH-Glaselektroden mit Flüssigelektrolyt entwickelt. Durch eine regelmässige Anwendung kann deren Lebensdauer deutlich verlängert werden.



EtOH-Trode

Die Spezialistin für die pH_{He}-Messung



Unitrode

High-Performance auch in schwierigen Proben und bei hohen Temperaturen



Aquatrode Plus

Schnelle Ansprechzeiten und höchste Präzision in schlecht gepufferten Lösungen dank Spezial- Elektrodenglas und Festschliffdiaphragma



Bestellinformationen

Unitrode mit Pt 1000, Fixkabel Stecker F + 2 x B (4 mm)	6.0258.000
Unitrode mit Pt 1000, Fixkabel Stecker F + 2 x 2 mm	6.0258.010
Unitrode ohne Temperaturfühler, ohne Kabel	6.0259.100
Unitrode mit Pt 1000, ohne Kabel, Steckkopf U	6.0258.600
Aquatrode Plus ohne Temperaturfühler, Länge 125 mm, ohne Kabel	6.0253.100
Aquatrode Plus ohne Temperaturfühler, Länge 260 mm, ohne Kabel	6.0253.120
Aquatrode Plus mit Pt 1000, Länge 125 mm, Fixkabel Stecker F + 2 x B (4 mm)	6.0257.000
Aquatrode Plus mit Pt 1000, Länge 260 mm, Fixkabel Stecker F + 2 x B (4 mm)	6.0257.020
EtOH-Trode ohne Temperaturfühler, ohne Kabel	6.0269.100

Elektroden für die pH-Titration

Ecotrode Gel – die wartungsfreie Lösung

- Ideal für Routinemessungen in gleichartigen Proben
- Wartungsfrei
- Alterungsindikator
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Ecotrode Gel

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	1...11
Temperaturbereich	0...60 °C
Diaphragma	Twin pore
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Die Ecotrode Plus – hohe Ausdauer im Routineeinsatz zum fairen Preis

- Für Säure/Base-Titrationen in verschiedenartigen Lösungen
- Gegen Verschmutzung unempfindliches Festschliffdiaphragma
- Ideal für den routinemässigen Laborgebrauch
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Ecotrode Plus

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...13
Temperaturbereich	0...80 °C
Diaphragma	Festschliff
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Die Profitrode – professionelles Arbeiten in schwierigsten Matrices

- Für schwierige Matrices (Galvanikbäder, Niederschläge, sulfidhaltige Proben etc.)
- Flexibles Schliffdiaphragma, besonders leicht zu reinigen
- Double-Junction-Bauweise
- In verschiedenen Längen erhältlich (113/170/310 mm)
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Profitrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...80 °C
Diaphragma	Flexibler Schliff
Einbaulänge	113/170/310 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	30 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Die Unitrode – High Performance in schwierigen Proben und bei hohen pH-Werten

- Universell einsetzbar, selbst in Farbstoffen, Pigmenten, Tinten, Suspensionen, Harzen und Polymeren
- Gegen Verschmutzung unempfindliches Festschliffdiaphragma
- Hohe Temperaturbeständigkeit und sehr geringer Alkalifehler
- Kurze Einstellzeiten bei Temperaturveränderungen
- Aussenelektrolyt Idrolyt für Temperaturen von 80...100 °C
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Unitrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...100 °C
Diaphragma	Festschliff
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	25 mm



Bestellinformationen

Ecotrode Gel ohne Temperaturfühler, ohne Kabel	6.0221.100
Ecotrode Plus, ohne Kabel	6.0262.100
Profitrode, Länge 113 mm, ohne Kabel	6.0255.100
Profitrode, Länge 170 mm, ohne Kabel	6.0255.110
Profitrode, Länge 310 mm, ohne Kabel	6.0255.120
Unitrode mit Pt 1000, Fixkabel Stecker F + 2 x B (4 mm)	6.0258.000
Unitrode mit Pt 1000, Fixkabel Stecker F + 2 x 2 mm	6.0258.010
Unitrode ohne Temperaturfühler, ohne Kabel	6.0259.100
Unitrode mit Pt 1000, ohne Kabel, Steckkopf U	6.0258.600

Elektroden für die pH-Titration

20

Die Aquatrode Plus – ideal für wässrige, schlecht gepufferte Lösungen

- Präzise Messwerte und sehr kurze Ansprechzeiten in ionenarmen oder schlecht gepufferte Lösungen – wie Trink-, Oberflächen- und Regenwasser – dank Spezial-Membranglas und optimiertem, gegen Verschmutzung unempfindlichem Festschliff-diaphragma
- Wartungsfreier Bezugs-elektrolyt (Gel)
- Variabler Brückenelektrolyt für Spezialanwendungen
- Optimierte Länge für Probenwechsleranwendungen
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Aquatrode Plus

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...13
Temperaturbereich	0...60 °C
Diaphragma	Festschliff
Einbaulänge	125/260 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Die Solvotrode – Platz sparende Alternative für die Titration in nichtwässrigen Medien

- Für nichtwässrige Titrations im Pharmabereich
- Für die Bestimmung von TAN/TBN nach ASTM D4739, D2896 und D664 und DIN ISO 3771 und DIN EN 12634
- Bezugs-elektrolyt: LiCl(sat) in Ethanol
- Schnelles Ansprechen und stabile Messwerte in organischen Lösungsmitteln
- Abschirmung gegen elektrostatische Effekte
- Flexibles Schliffdiaphragma, besonders leicht zu reinigen
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Solvotrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...70 °C
Diaphragma	Flexibler Schliff
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Trinkwasseranalytik – ist es egal, bei welcher Rührgeschwindigkeit titriert wird?

Beim Rühren in ionenarmen Lösungen treten an pH-Elektroden mit Keramikstiftdiaphragma Strömungspotentiale auf, die den Messwert verfälschen. Bei einer SET-Titration, z. B. bei einer Titration auf einen definierten pH-Wert, kann es erhebliche Auswirkungen auf die Richtigkeit des Ergebnisses haben, wenn am Ausgangs- bzw. am Endpunkt der Titration ein falscher Wert gemessen wird. Warum Sie dieses Problem mit der Aquatrode Plus getrost vergessen können, erfahren Sie auf Seite 93.



Solvotrode

Platz sparende Alternative für die
Titration in
nichtwässrigen Medien



Aquatrode Plus

Schnelle Ansprechzeiten und
höchste Präzision
in schlecht gepufferten Lösungen
dank Spezial-Elektroden-
glas und
Festschliffdiaphragma



Bestellinformationen

Solvotrode, ohne Kabel	6.0229.100
Aquatrode Plus ohne Temperaturfühler, Länge 125 mm, ohne Kabel	6.0253.100
Aquatrode Plus ohne Temperaturfühler, Länge 260 mm, ohne Kabel	6.0253.120
Aquatrode Plus mit Pt 1000, Länge 125 mm, Fixkabel Stecker F + 2 x B (4 mm)	6.0257.000
Aquatrode Plus mit Pt 1000, Länge 260 mm, Fixkabel Stecker F + 2 x B (4 mm)	6.0257.020

Spezialelektroden für die pH-Messung/pH-Titration

22

Die Biotrode – pH-Messung in kleinen Volumina

- Sehr geringe Eintauchtiefe und sehr geringer Durchmesser der Elektrodenspitze (3 mm), hervorragend geeignet für kleine Messgefäße
- Für eiweisshaltige Proben und Lösungen mit organischen Anteilen
- Sehr geringer Elektrolytausfluss (Idrolyt)
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Biotrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	1...11
Temperaturbereich	0...60 °C
Diaphragma	Platinzwirn
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	3 mm
Minimale Eintauchtiefe	7 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Die Einstich-Elektrode – pH-Messung in halbfesten Proben

- Robuste Elektrodenspitze für Messungen in halbfesten Proben wie Käse, Fleisch, Früchten etc.
- Wartungsfreier Bezugselektrolyt (Gel)
- Problemlos zu reinigendes Diaphragma
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Einstich-Elektrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	1...11
Temperaturbereich	0...40 °C
Diaphragma	Twin pore
Einbaulänge	98 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	6 mm
Minimale Eintauchtiefe	10 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Die Flachmembran-Elektrode – pH-Messung auf Oberflächen und in kleinen Probevolumina

- Für die pH-Messung auf Oberflächen wie Papier, Textilien, Leder oder Bodenproben (wässrige Suspensionen)
- Messung/Titration in kleinen Probevolumina
- Vollständig aus Glas mit feinst geschliffener Fläche
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Flachmembran-Elektrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...80 °C
Diaphragma	Festschliff
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	1 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Die Porotrode – pH-Messung in eiweisshaltigen Proben

- Für die pH-Messung in stark verschmutzten, eiweisshaltigen oder viskosen Proben
- Wartungsarmes Kapillardiaphragma
- Polymerelektrolyt Porolyt für gleichmässigen Elektrolytausfluss
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Porotrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...80 °C
Diaphragma	Keramikkapillaren
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G



Bestellinformationen

Biotrode, ohne Kabel	6.0224.100
Einstich-pH-Glaselektrode, ohne Kabel	6.0226.100
Flachmembran-pH-Glaselektrode, ohne Kabel	6.0256.100
Porotrode, ohne Kabel	6.0235.200

Spezialelektroden für die pH-Messung/pH-Titration

24

Die Mikro-Elektrode – Routineeinsatz am Probenwechsler und in kleineren Messgefäßen

- Für einfache Säure/Base-Titrationen in wässrigen Lösungen
- In verschiedenen Längen erhältlich (113/168 mm)
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Mikro-Elektrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...80 °C
Diaphragma	Keramikstift
Einbaulänge	113/168 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	6.4 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Die Viscotrode – universelle Anwendung in viskosen Medien

- Für viskose, eiweiss- oder sulfidhaltige Medien
- Lösbares Schlifffdiaphragma, besonders leicht zu reinigen
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Viscotrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...80 °C
Diaphragma	Lösbarer Schliff
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	30 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

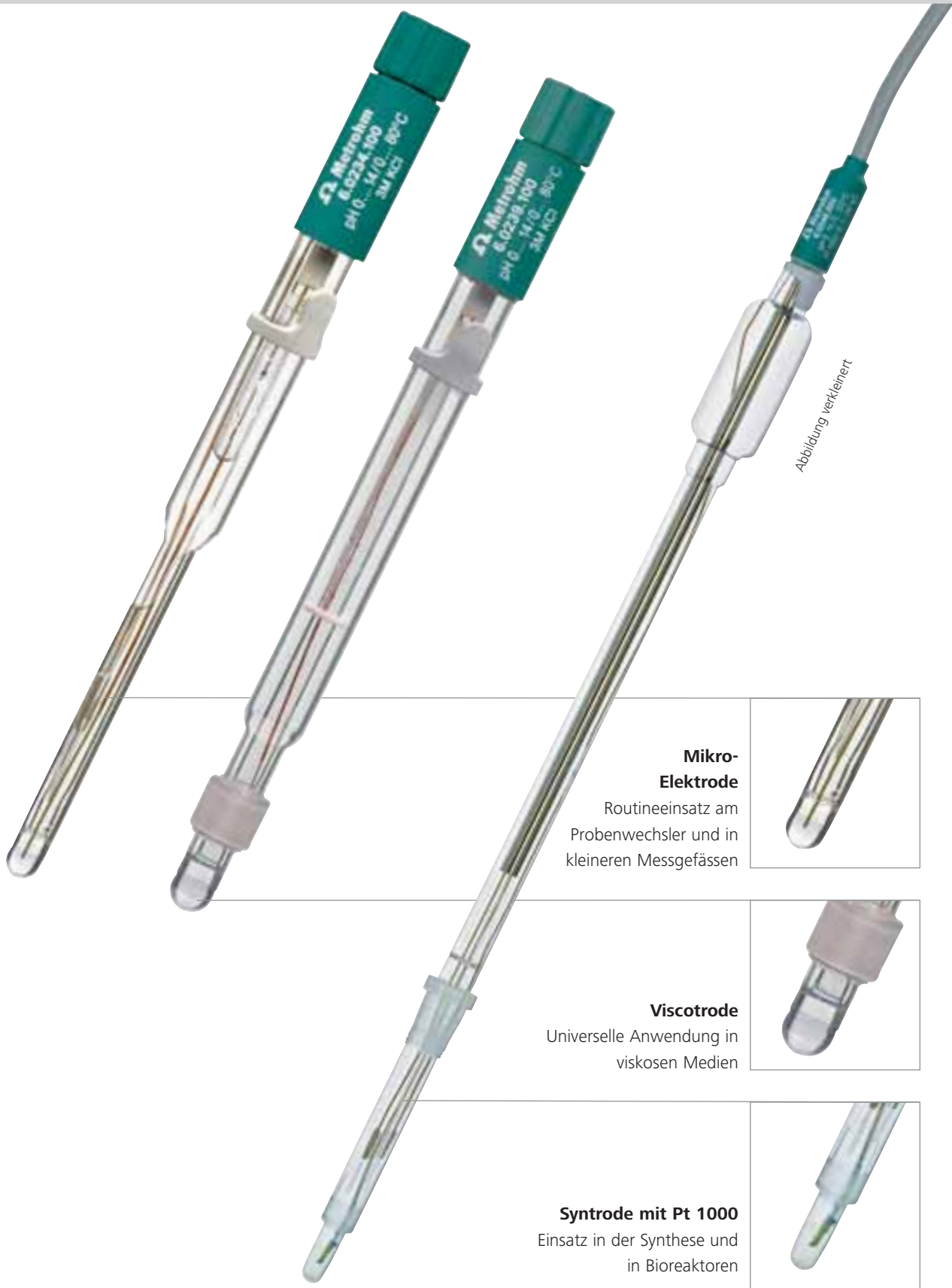
Die Syntrode mit Pt 1000 – Einsatz in der Synthese und in Bioreaktoren

- Wartungsarm dank Vorratsgefäß für Bezugselektrolyten
- Gegen Verschmutzung unempfindliches Festschliff-Diaphragma
- Hohe Temperaturbeständigkeit
- In verschiedenen Längen erhältlich (288/438 mm)
- Fixkabel (Länge 2/3 m)
- Langzeitstabiles LL-Bezugssystem

Technische Spezifikationen

Syntrode

Schaftmaterial	Glas
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...100 °C
Temperaturfühler	Pt 1000
Diaphragma	Festschliff
Einbaulänge	288/438 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	25 mm



Mikro-Elektrode

Routineeinsatz am Probenwechsler und in kleineren Messgefäßen



Viscotrode

Universelle Anwendung in viskosen Medien



Syntrode mit Pt 1000

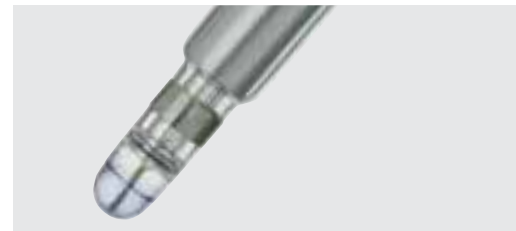
Einsatz in der Synthese und in Bioreaktoren



Bestellinformationen

Mikro-Elektrode, Länge 113 mm, ohne Kabel	6.0234.100
Mikro-Elektrode, Länge 168 mm, ohne Kabel	6.0234.110
Viscotrode, ohne Kabel	6.0239.100
Syntrode mit Pt 1000, Länge 288 mm, Fixkabel 2 m, Stecker F + 2 x B (4 mm)	6.0248.020
Syntrode mit Pt 1000, Länge 438 mm, Fixkabel 3 m, Stecker F + 2 x B (4 mm)	6.0248.030





High-Performance-Metallelektroden für die Redox- und Fällungstitrations-, Voltammetrie- und Wasserbestimmung nach Karl Fischer.

Getrennte Metall- und Kohleelektroden

28

Getrennte Pt-Draht-Elektrode

- Elektrodenspitze aus Pt-Draht (0.8 x 6 mm)
- Als Hilfselektrode für die Differenzpotentiometrie

Technische Spezifikationen

Getrennte Pt-Draht-Elektrode

Schaftmaterial	Glas
Messbereich	-2000...2000 mV
Temperaturbereich	-20...70 °C
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	10 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf B

Getrennte Doppel-Pt-Blechelektrode

- Für bivoltammetrische Titrationsen
- Für Titrationsen mit konduktometrischer Endpunkterkennung

Technische Spezifikationen

Getrennte Doppel-Pt-Blechelektrode

Schaftmaterial	Glas
Messbereich	-2000...2000 mV
Temperaturbereich	-20...70 °C
Einbaulänge	101 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	10 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Getrennte Metallring-Elektroden

Getrennte Ag-Ring-Elektrode

- Für Fällungstitrationsen von Haliden, Sulfiden, Schwefelwasserstoff, Mercaptanen und Cyaniden
- Erhältlich mit oder ohne Ag₂S-Überzug (bei Bestellung angeben)

Technische Spezifikationen

Getrennte Metallring-Elektroden

Schaftmaterial	Glas
Messbereich	-2000...2000 mV
Temperaturbereich	-20...80 °C
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	7 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Getrennte Pt-Ring-Elektrode

- Für alle Standard-Redox-Titrationsen

Getrennte Au-Ring-Elektrode

- Für die Ferrometrie (Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs, CSB)
- Für die Bestimmung von Penicillin und Ampicillin
- Für Titrationsen mit Hg(NO₃)₂
- Für Redox-Titrationsen in Gegenwart von Chrom oder Eisen

Getrennte Metallstift-Elektroden

- Bestehend aus separatem Elektrodenschaft aus PP und auswechselbaren Metallstiften (76 mm x 2 mm) aus Platin, Silber, Gold, Wolfram oder Glassy Carbon

Technische Spezifikationen

Getrennte Metallstift-Elektroden

Gesamtlänge	162 mm
Einbaulänge	140 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	8 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf B

Reinheitsgrade

Pt	99.90 %
Ag	99.99 %
Gold	99.99 %
W	99.95 %



Bestellinformationen

Getrennte Pt-Draht-Elektrode	6.0301.100
Getrennte Doppel-Pt-Blech-Elektrode	6.0309.100
Getrennte Ag-Ring-Elektrode	6.0350.100
Getrennte Pt-Ring-Elektrode	6.0351.100
Getrennte Au-Ring-Elektrode	6.0352.100
Schaft für getrennte Metallstift-Elektrode	6.1241.040
Elektrodenstift Pt	6.1248.000
Elektrodenstift Ag	6.1248.010
Elektrodenstift Au	6.1248.030
Elektrodenstift Glassy Carbon	6.1248.040
Elektrodenstift W	6.1248.050

Titroden – die wartungsfreien Metallelektroden

30

Die Pt-Titrode/Pt-Mikro-Titrode

- Für Redox-Titrationen ohne Veränderung des pH-Wertes
- Für die Bromatometrie, Jodometrie und Cerimetrie nach Pharm. Europe & USP
- Wartungsfreies Bezugssystem (pH-Glasmembran)

Die Ag-Titrode/Ag-Mikro-Titrode

- Für Fällungstitrationen ohne Veränderung des pH-Wertes
- Für Fällungstitrationen von Haliden, Sulfiden, Schwefelwasserstoff, Mercaptanen und Cyaniden
- Für Titrationen nach Pharm. Europe & USP
- Erhältlich mit oder ohne Ag_2S -Überzug (bei Bestellung angeben)
- Wartungsfreies Bezugssystem (pH-Glasmembran)

Die Au-Mikro-Titrode

- Für die Ferrometrie (Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs, CSB)
- Für die Bestimmung von Penicillin und Ampicillin
- Für Titrationen mit $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$
- Für Redox-Titrationen in Gegenwart von Chrom oder Eisen
- Wartungsfreies Bezugssystem (pH-Glasmembran)

Technische Spezifikationen

Titroden

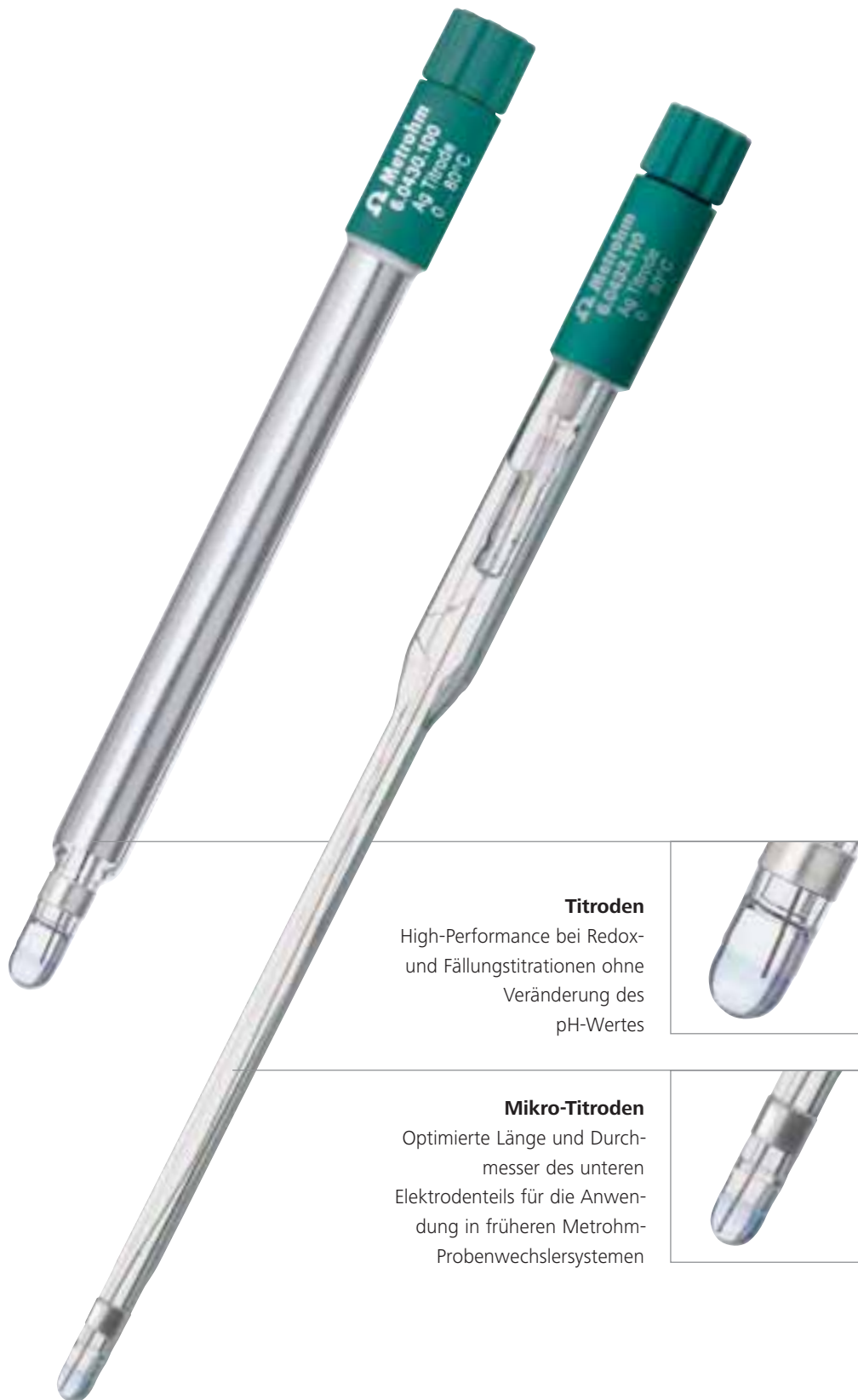
Schaftmaterial	Glas
Messbereich	-2000...2000 mV
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...80 °C
Bezugssystem	pH-Glaselektrode
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Mikro-Titroden

Schaftmaterial	Glas
Messbereich	-2000...2000 mV
pH-Bereich	0...14
Temperaturbereich	0...80 °C
Bezugssystem	pH-Glaselektrode
Einbaulänge	178 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	6.4 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Die Ag-Titroden: mit oder ohne Überzug lieferbar

Je nach Anwendung (siehe Applikationslisten) empfiehlt sich die Verwendung einer Ag-Titrode mit oder ohne Ag_2S - bzw. AgBr -Überzug. Wir liefern Ihnen Ihre Ag-Titrode gegen Aufpreis gerne mit dem entsprechenden Überzug, bitte bei der Bestellung angeben.



Titroden

High-Performance bei Redox- und Fällungstitrations ohne Veränderung des pH-Wertes



Mikro-Titroden

Optimierte Länge und Durchmesser des unteren Elektrodenteils für die Anwendung in früheren Metrohm-Probenwechslersystemen



Bestellinformationen

Ag-Titrode, ohne Kabel	6.0430.100
Ag-Titrode, mit Ag ₂ S-Überzug, ohne Kabel	6.0430.100S
Ag-Titrode, mit AgBr-Überzug, ohne Kabel	6.0430.100Br
Pt-Titrode, ohne Kabel	6.0431.100
Mikro-Ag-Titrode, ohne Kabel	6.0433.110
Mikro-Pt-Titrode, ohne Kabel	6.0434.110
Mikro-Au-Titrode, ohne Kabel	6.0435.110

Kombinierte Metallelektroden

32

Die kombinierte Ag-Ring-Elektrode

- Für Fällungstitrations von Haliden, Sulfiden, Schwefelwasserstoff, Mercaptanen und Cyaniden mit Veränderung des pH-Wertes
- Erhältlich mit oder ohne Ag₂S-Überzug (bei Bestellung angeben)

Die kombinierte Pt-Ring-Elektrode

- Für Redox-Titrations mit Veränderung des pH-Wertes

Die kombinierte Au-Ring-Elektrode

- Für die Ferrometrie (Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs CSB)
- Für die Bestimmung von Penicillin und Ampicillin

Die kombinierte Sb-Elektrode

- Für die pH-Titration in flusssäurehaltigen oder stark hygroskopischen Matrices
- Bruchsicherer Kunststoffschafft

Technische Spezifikationen

Kombinierte Ag-Ring-Elektrode

Schaftmaterial	Glas
Messbereich	-2000...2000 mV
Temperaturbereich	-5...80 °C
Bezugssystem	Ag-Draht + AgCl
Bezugselektrolyt	c(KNO ₃) = 1 mol/L
Diaphragma	Keramikstift
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	15 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Kombinierte Pt-Ring-Elektrode/Au-Ring-Elektrode

Schaftmaterial	Glas
Messbereich	-2000...2000 mV
Temperaturbereich	-5...80 °C
Bezugssystem	LL-System
Bezugselektrolyt	c(KCl) = 3 mol/L
Diaphragma	Keramikstift
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	15 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Technische Spezifikationen

Die kombinierte Sb-Elektrode

Schaftmaterial	PP
pH-Bereich	2...11
Temperaturbereich	0...70 °C
Bezugssystem	LL-System
Bezugselektrolyt	c(KCl) = 3 mol/L
Diaphragma	Keramikstift
Einbaulänge	113 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	15 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G



**Kombinierte
Metallringelektroden**

High Performance bei Redox- und
Fällungstitrations mit
Veränderung des pH-Wertes



**Kombinierte
Sb-Elektrode**

pH-Titration in flusssäure-
haltigen Lösungen



Bestellinformationen

Kombinierte Ag-Ring-Elektrode, ohne Kabel	6.0450.100
Kombinierte Ag-Ring-Elektrode, mit Ag ₂ S-Überzug, ohne Kabel	6.0450.100S
Kombinierte Pt-Ring-Elektrode, ohne Kabel	6.0451.100
Kombinierte Au-Ring-Elektrode, ohne Kabel	6.0452.100
Kombinierte Sb-Elektrode, ohne Kabel	6.0421.100

Elektroden für die Voltammetrie

Die nachfolgend beschriebenen Elektroden können in verschiedenen Metrohm-Voltammetrie-Geräten eingesetzt werden: 663 VA-Stand, 694 VA-Stand, 747 VA-Stand, 757 VA Computrace und 797 VA Computrace.

MME – Multi-Mode-Elektrode

- Universell einsetzbare Arbeitselektrode für die Polarographie und Voltammetrie
- Bestimmung von Schwermetallionen, organischen Substanzen, Anionen
- Bestimmungsbereich: ppm bis ppt
- Universell, robust, langlebig, einfache Wartung, keine elektrochemische Konditionierung notwendig
- Wird ohne Glaskapillare geliefert

Glaskapillaren

nicht silanisierte Glaskapillaren

- Standardkapillare für die Polarographie und die Stripping-Voltammetrie in alkalischen Lösungen
- Universell einsetzbar bei allen pH-Werten in wässrigen und nichtwässrigen Lösungen

silanisierte Glaskapillaren

- Silanisierte Kapillare für die Stripping-Voltammetrie in sauren bis schwach alkalischen Lösungen
- Stabile Tropfenbildung in sauren oder leicht alkalischen Lösungen (pH<10).
- Applikationen mit grossen Quecksilbertropfen und/oder langer Anreicherungsdauer
- Lange Lebensdauer

Bestellinformationen

MME – Multi-Mode-Elektrode	6.1246.020
Glaskapillaren nicht silanisiert, 10 Stück	6.1226.030
Glaskapillaren silanisiert, 10 Stück	6.1226.050



RDE – Rotierende Scheibenelektroden

Eine RDE besteht jeweils aus Antriebsachse und austauschbarem Elektrodentip.



Bestellinformationen

Antrieb zu rotierender Scheibenelektrode (RDE)	6.1204.210
Antrieb zu rotierender Scheibenelektrode (RDE) mit Titanachse und Quecksilberkontakt	6.1204.220
Stopfen	6.2709.040

Elektrodentips für die RDE

Bestellnummer	Elektrodentip	Anwendungen	Bestimmungsbereich
6.1204.180	Ultra-Trace-Graphit	Analyse von Schwermetallen mit anodischer Stripping-Voltammetrie (Quecksilberfilmtechnik) und mit adsorptiver Stripping-Voltammetrie (ohne Verwendung eines Quecksilberfilms)	ppb bis ppt
6.1204.110	Glassy Carbon	Analyse von Schwermetallen mit anodischer Stripping-Voltammetrie (Quecksilberfilmtechnik), kinetische und thermodynamische Untersuchungen in der Elektrochemie	ppb bis ppt
6.1204.120	Platin Ø 2 mm nicht poliert	Anwendung: kinetische und thermodynamische Untersuchungen in der Elektrochemie	ppm bis ppt
6.1204.130	Silber	Analyse von Halogeniden und Pseudohalogeniden	ppb bis ppt
6.1204.140	Gold	Analyse von Quecksilber und anderen Metallionen mit anodischer Stripping-Voltammetrie	ppb bis ppt
6.1204.150	Gold	Mit seitlich angebrachter Elektrode für die Arsenbestimmung mit anodischer Stripping-Voltammetrie nach Application Bulletin 226	ppb bis ppt
6.1204.160	Platin Ø 2 mm poliert	Analyse von organischen Additiven in galvanischen Bädern mit der «Cyclic Voltammetric Stripping»-Technik (CVS), kinetische und thermodynamische Untersuchungen in der Elektrochemie	ppm bis ppt
6.1204.170	Platin Ø 3 mm poliert	Analyse von organischen Additiven in galvanischen Bädern mit der «Cyclic Voltammetric Stripping»-Technik (CVS), kinetische und thermodynamische Untersuchungen in der Elektrochemie	ppm bis ppt
6.1204.190	Platin Ø 1 mm poliert, Schaft im Glas	Analyse von organischen Additiven in galvanischen Bädern mit der «Cyclic Voltammetric Stripping»-Technik (CVS), kinetische und thermodynamische Untersuchungen in der Elektrochemie	ppm bis ppt
6.1204.610	Platin Ø 2 mm poliert, Schaft im Glas	von organischen Additiven in galvanischen Bädern mit der «Cyclic Voltammetric Stripping»-Technik (CVS), kinetische und thermodynamische Untersuchungen in der Elektrochemie	ppm bis ppt

Elektroden für die Voltammetrie

36

Bezugselektroden für Metrohm-VA-Stände

Bezugselektrode aus Kunststoff mit

Keramikdiaphragma, gefüllt

- Universelle Double-Junction-Bezugselektrode für die Voltammetrie
- Innensystem gefüllt mit $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$
- Wässrige Lösungen, Spuren- und Ultraspurenbereich, CVS
- Geringe Verschleppungseffekte, tiefe Blindwerte

Bezugselektrode aus Kunststoff mit

Keramikdiaphragma, trocken

- Double-Junction-Bezugselektrode. Innensystem trocken
- Untersuchungen in organischen Lösungsmitteln mit beliebigen Elektrolytlösungen
- Geringe Verschleppungseffekte, tiefe Blindwerte

LL-Bezugselektrode aus Kunststoff mit

Keramikdiaphragma, gefüllt

- Double-Junction-Bezugselektrode für die Untersuchung von Galvanikbädern mit «Cyclic Voltammetric Stripping» (CVS)
- Innensystem gefüllt mit $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$
- Sehr stabiles Bezugspotential

LL- Bezugselektrode aus Glas, gefüllt

- Double-Junction-Bezugselektrode für die Untersuchung von Galvanikbädern mit «Cyclic Voltammetric Stripping» (CVS)
- Sehr stabiles Bezugspotential
- Wartungsfrei

Bezugselektrode aus Glas mit Schliffdiaphragma

- Double-Junction-Bezugselektrode mit trockenem Innensystem
- Für wässrige sowie nichtwässrige Lösungen
- Einfacher Elektrolytwechsel, geringe Ausflussrate

Hilfselektroden für Metrohm-VA-Stände

Platin-Hilfselektrode

- Universelle Hilfselektrode für die Voltammetrie
- Für alle Applikationen mit der MME sowie mit der rotierenden Platin-Scheibenelektrode
- Robust, einfache Wartung

Glassy-Carbon-Hilfselektrode

- Für alle Applikationen mit rotierenden Scheibenelektroden sowie mit der MME
- Inerte Oberfläche, keine Kontamination der Messzelle mit Platin

Bestellinformationen

Ag/AgCl-Bezugselektrode	6.0728.020
Elektrolytgefäß für Bezugselektrode	6.1245.010

Ag/AgCl-Bezugselektrode (trocken)	6.0728.010
Elektrolytgefäß für Bezugselektrode	6.1245.010

LL-Ag/AgCl-Bezugselektrode	6.0728.030
Elektrolytgefäß für Bezugselektrode	6.1245.010

LL-Ag/AgCl (Gel) Bezugs-Elektrode	6.0728.040
Elektrolytgefäß für Bezugselektrode	6.1245.010

LL-Ag/AgCl (Gel) Bezugs-Elektrode	6.0730.000
-----------------------------------	------------

LL-Ag/AgCl(Gel)-Bezugs-Elektrode Glas	6.0728.000
Elektrolytgefäß für Bezugselektrode	6.1245.010

Platin-Hilfselektrode	6.0343.000
-----------------------	------------

Halter Hilfselektrode	6.1241.020
Glassy-Carbon-Stab	6.1247.000



Arbeitselektroden für die Autolab RDE

Bestellnummer	Elektrodentip	Anwendungen	Bestimmungsbereich
6.1204.300	Glassy Carbon	Analyse von Schwermetallen mit anodischer Stripping-Voltammetrie (Quecksilberfilmtechnik), kinetische und thermodynamische Untersuchungen in der Elektrochemie	ppb bis ppt
6.1204.310	Platin	Kinetische und thermodynamische Untersuchungen in der Elektrochemie	
6.1204.320	Gold	Analyse von Quecksilber und anderen Metallionen mit anodischer Stripping-Voltammetrie	ppm bis ppt
6.1204.330	Silber	Analyse von Halogeniden und Pseudohalogeniden	ppb bis ppt

Elektroden für die Karl-Fischer-Titration

38

Doppel-Platindraht-Indikatorelektroden

Indikatorelektrode für die volumetrische

KF-Bestimmung

- Für die KFT-Ausrüstung der Titrino-Linie, Titrandos und Titroprozessoren
- Für Titrationsen im Modus «I_{pot}»
- Auch für KF-Coulometer 685 und 737

Technische Spezifikationen

Messbereich	-2000...2000 mV
Temperaturbereich	-20...70 °C
Einbaulänge	96 mm
Schaftdurchmesser	8 mm
Minimale Eintauchtiefe	5 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Indikatorelektrode für die 756 und 831

KF-Coulometer und die 851 und 852 Titrandos

- Mit Normschliff 14/15

Technische Spezifikationen

Messbereich	-2000...2000 mV
Temperaturbereich	-20...70 °C
Einbaulänge	101 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	8.75 mm
Minimale Eintauchtiefe	10 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Indikatorelektrode für KF-Probenwechsler

- Fixkabel (Länge 2 m mit Stecker F)

Technische Spezifikationen

Messbereich	-2000...2000 mV
Temperaturbereich	-20...70 °C
Einbaulänge	103 mm
Schaftdurchmesser	5.3 mm
Minimale Eintauchtiefe	10 mm



Bestellinformationen

Indikatorelektrode für die KF-Coulometer 684 + 737

6.0338.100

Indikatorelektrode für die KF-Coulometer 756 + 831

6.0341.100

Indikatorelektrode für die KF-Probenwechsler 814 + 815

6.0340.000

Elektroden für die Karl-Fischer-Titration

40

Generatorelektroden

Generatorelektrode mit Diaphragma für die 684, 737 KF-Coulometer

- Mit Fixkabel (Länge 1 m, Stecker H)

Technische Spezifikationen

Temperaturbereich	-20...70 °C
Einbaulänge	65 mm
Schaftdurchmesser	24 mm
Minimale Eintauchtiefe	15 mm

Diaphragmalose Generatorelektrode für die 684, 737 KF-Coulometer

- Normschliff 29/22 und Metrohm-Steckkopf G
- Benötigt Kabel 6.2104.120 für die Verbindung mit KF-Coulometern

Technische Spezifikationen

Temperaturbereich	-20...70 °C
Einbaulänge	110 mm
Schaftdurchmesser	24 mm
Minimale Eintauchtiefe	15 mm

Generatorelektrode mit Diaphragma für die 756, 831 KF-Coulometer und 851, 852 Titrandos

- Normschliff 29/22 und Metrohm-Steckkopf G
- Benötigt Kabel 6.2104.120 für die Verbindung mit KF-Coulometern

Technische Spezifikationen

Temperaturbereich	-20...70 °C
Einbaulänge	100 mm
Schaftdurchmesser	24 mm
Minimale Eintauchtiefe	15 mm

Diaphragmalose Generatorelektrode für die 756, 831 KF-Coulometer und 851, 852 Titrandos

- Mit Normschliff 29/22 und Metrohm-Steckkopf G
- Benötigt Kabel 6.2104.120 für die Verbindung mit KF-Coulometern

Technische Spezifikationen

Temperaturbereich	-20...70 °C
Einbaulänge	100 mm
Schaftdurchmesser	24 mm
Minimale Eintauchtiefe	15 mm



6.0339.000



6.0342.110



6.0344.100



6.0345.100

Abbildungen verkleinert

Bestellinformationen

Generatorelektrode mit Diaphragma für die 684, 737 KF-Coulometer
 Diaphragmalose Generatorelektrode für die 684, 737 KF-Coulometer
 Generatorelektrode mit Diaphragma für die 756, 831 KF-Coulometer
 und 851, 852 Titrandos
 Diaphragmalose Generatorelektrode für die 756, 831 KF-Coulometer
 und 851, 852 Titrandos

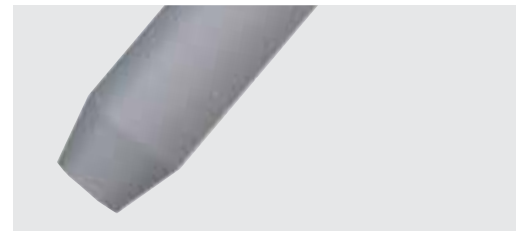
6.0339.000

6.0342.110

6.0344.100

6.0345.100





Elektroden für Ionen- und Tensidanalytik

Ionenselektive Elektroden

44

Polymermembranelektroden mit auswechselbarem Elektrodentip für K^+ und NO_3^-

- Robuste Konstruktion
- Hohe Selektivität durch in der Membran immobilisierte Ionophore
- Kurze Vorbereitungszeit durch Konditionierung in einer Standardlösung
- Für wässrige Lösungen

Kristallmembranelektroden

- Robuste Konstruktion
- Kurzfristig auch in organischen Lösungsmitteln einsetzbar
- Einfache Reinigung und Erneuerung der Elektrodenoberfläche mit Polierset

Natriumselektive Glasmembranelektrode

- Für die Natriumbestimmung in einfachen wässrigen Medien

Polymermembranelektroden für Na^+ und Ca^{2+}

- Robuste Konstruktion
- Hohe Selektivität durch in der Membran immobilisierte Ionophore
- Kurze Vorbereitungszeit durch Konditionierung in einer Standardlösung
- Für wässrige Lösungen

Ammoniakselektive Gasmembranelektrode

- Robuste Konstruktion
- Kurze Vorbereitungszeit durch Konditionierung in einer Standardlösung
- Die gasdurchlässige Teflon-Membran gewährt hohe Selektivität und verhindert Störeinflüsse durch die Messlösung
- Schneller Wechsel der Teflon-Membran dank vorgefertigter, zertifizierter Membranmodule





Ion	Artikelnr.	Membranmaterial	Min. Eintauchtiefe (mm)	Einbaulänge (mm)	Schaftdurchmesser (mm)	Temperaturbereich (°C)	Messbereich (mol/L)	pH-Bereich
Ag ⁺	6.0502.180	Kristall	1	123	12	0..80	10 ⁻⁷ ...1	2...8
Br ⁻	6.0502.100	Kristall	1	123	12	0..50	5*10 ⁻⁶ ...1	0...14
Ca ²⁺	6.0508.110	Polymer	1	123	12	0..40	5*10 ⁻⁷ ...1	2...12
Cd ²⁺	6.0502.110	Kristall	1	123	12	0..80	10 ⁻⁷ ...10 ⁻¹	2...12
Cl ⁻	6.0502.120	Kristall	1	123	12	0..50	5*10 ⁻⁵ ...1	0...14
CN ⁻	6.0502.130	Kristall	1	123	12	0..80	8*10 ⁻⁶ ...10 ⁻²	10...14
Cu ²⁺	6.0502.140	Kristall	1	123	12	0..80	10 ⁻⁸ ...10 ⁻¹	2...12
F ⁻	6.0502.150	Kristall	1	123	12	0..80	10 ⁻⁶ ...sat.	5...7
I ⁻	6.0502.160	Kristall	1	123	12	0..50	5*10 ⁻⁸ ...1	0...14
K ⁺	6.0504.110	Polymer ¹	1	123	12	0..40	10 ⁻⁶ ...1	2.5...11
Na ⁺	6.0501.100	Glas	15	86 ³	12	0..80	10 ⁻⁵ ...1	5...9
Na ⁺	6.0508.100	Polymer	1	123	12	0..40	10 ⁻⁶ ...1	3...12
NH ₄ ⁺	6.0506.100	Gasmembran	1	123	12	0..50	5*10 ⁻⁷ ...1	11
NO ₃ ⁻	6.0504.120	Polymer ¹	1	123	12	0..40	7*10 ⁻⁶ ...1	2.5...11
Pb ²⁺	6.0502.170	Kristall	1	123	12	0..80	10 ⁻⁶ ...10 ⁻¹	4...7
S ²⁻	6.0502.180	Kristall	1	123	12	0..80	10 ⁻⁷ ...1	2...12
SCN ⁻	6.0502.190	Kristall	1	123	12	0..50	5*10 ⁻⁶ ...1	2...10

¹ Elektrode mit auswechselbarem Elektrodentip

² Elektrodenschaft 6.1241.050 und Elektrodentip 6.1205.040 müssen separat bestellt werden.

³ bis Normschliff

Zubehör zu ionenselektiven Elektroden

LL ISE Reference, ohne Kabel 6.0750.100

Double-Junction-Ag/AgCl-Bezugselektrode mit Festschliffdiaphragma und optimierter Länge für Probenwechsleranwendungen. Standardmässiger Brückenelektrolyt: $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$.

LL ISE Reference

Bei sehr tiefen Ionenkonzentrationen, geringen Ionenstärken und vor allem bei wiederholten Bestimmungen mit Probenwechslersystemen ist ein stabiles, reproduzierbares Bezugspotential von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund empfiehlt Metrohm zum Arbeiten mit ionenselektiven Elektroden Bezugselektroden mit Festschliffdiaphragma. Neben einem konstanten Elektrolytausfluss von ca. 5...30 $\mu\text{L/h}$ zeigen diese Elektroden eine wesentlich geringere Beeinflussung durch die Ionenstärke der Probenlösung oder der Rührgeschwindigkeit als andere Typen von Bezugselektroden.

Polymermembranelektroden mit auswechselbarem Elektrodentip

- 6.1241.050 Elektrodenschaft für Polymermembranelektroden 6.0504.XXX
- 6.1205.020 Polymermembran-Elektrodentip K^+
- 6.1205.030 Polymermembran-Elektrodentip NO_3^-
- 6.1255.000 Membranmodul-Kit für 6.0506.100, bestehend aus 3 Membranmodulen + 50 mL Innenelektrolyt

Sonstiges Zubehör

- 6.2802.000 Polierset für Kristallmembranelektroden 6.0502.1X0 (ca. 2 g Al_2O_3 und Poliertuch)

Ionenstandards (je 250 mL), $c(\text{Ion}) = 0.1000 \pm 0.0005 \text{ mol/L}$ (auf NIST rückführbar)

KBr	6.2301.000
NaCl	6.2301.010
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	6.2301.020
NaF	6.2301.030
KI	6.2301.040
KCl	6.2301.060
CaCl_2	6.2301.070
KNO_3	6.2301.080

Pb-Ionenstandard $1.000 \text{ g/L} \pm 0.5 \%$ (250 mL)

- Pb (1.000 g/L) 6.2301.100



verkleinerte Abbildung

verkleinerte Abbildung



Die Qual der Wahl!

Worauf muss ich bei einer Ionenbestimmung besonders achten? Präzision? Zeitaufwand? Kosten?

Welche Methode ist für meine Zwecke am besten geeignet? Titration? Direktmessung? Standardaddition?

ISA? TISAB? Wann ist eine Verwendung ratsam? Welche Lösung brauche ich für meine Anwendung? Im Theorieteil in Kapitel 1.3.3. «Ionenselektive Elektroden» finden Sie Antworten auf diese Fragen und viele weitere nützliche Tipps zur Ionenbestimmung mit ionenselektiven Elektroden von Metrohm.

Elektroden für die Tensidtitration

Tensidelektroden für die Zweiphasentitration

Surfactrode Refill

- Nachfüllbare Tensidelektrode für die Titration von ionischen Tensiden in nichtwässrigen Lösungsmitteln
- Erneuerbare Elektrodenoberfläche, daher praktisch unbeschränkte Lebensdauer
- Beständig gegen nahezu alle in der Tensidanalytik gebräuchlichen Lösungsmittel (nicht gegen Chloroform)
- Besonders geeignet für die Titration von Waschmitteln und Seife

Surfactrode Resistant

- Langlebige Tensidelektrode für die Zweiphasentitration von anionischen und kationischen Tensiden in nichtwässrigen Lösungsmitteln
- Einfach zu reinigen und wartungsarm, daher besonders für den Einsatz in Probenwechslersystemen geeignet
- Beständig gegen Chloroform und alle in der Tensidanalytik üblichen Lösungsmittel
- Besonders geeignet für ölhaltige Proben, wie Bohr- und Schneideöle oder Kühlschmierstoffe

Polymermembran-Tensidelektroden für die umweltfreundliche Tensidtitration

«Cationic Surfactant»-Tensidelektrode

- Für die Titration von kationischen und anionischen Tensiden in wässrigen Matrices
- Optimiert für kationische Tenside
- Exzellentes Ansprechverhalten durch in der Membran immobilisierte Ionophore
- Bei Normalgebrauch hohe Lebensdauer

«Ionic Surfactant»-Tensidelektrode

- Für die Titration von anionischen und kationischen Tensiden in wässrigen Matrices
- Exzellentes Ansprechverhalten durch in der Membran immobilisierte Ionophore
- Bei Normalgebrauch hohe Lebensdauer

NIO-Tensidelektrode

- Für die Titration von nichtionischen Tensiden in wässrigen Matrices
- Für die Titration von Tensiden auf Basis von Polyoxyethylen-Addukten
- Für die Titration von pharmazeutischen Wirkstoffen
- Bei Normalgebrauch hohe Lebensdauer

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	PEEK
pH-Bereich	0...13
Temperaturbereich	0...40 °C
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	1 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	POM
pH-Bereich	0...10
Temperaturbereich	10...50 °C
Einbaulänge	108 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	5 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	PVC
pH-Bereich	0...12
Temperaturbereich	0...40 °C
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	2.5 mm
Länge des aktiven Teils	50 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	PVC
pH-Bereich	0...12
Temperaturbereich	0...40 °C
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	2.5 mm
Länge des aktiven Teils	50 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	PVC
pH-Bereich	0...12
Temperaturbereich	0...40 °C
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	2.5 mm
Länge des aktiven Teils	50 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G



Bestellinformationen

Surfactrode Resistent, ohne Kabel	6.0507.130
Surfactrode Refill, ohne Kabel	6.0507.140
NIO-Tensidelektrode, ohne Kabel	6.0507.010
«Ionic Surfactant»-Tensidelektrode, ohne Kabel	6.0507.120
«Cationic Surfactant»-Tensidelektrode, ohne Kabel	6.0507.150

Zubehör für Tensidelektroden

50

Nachfüllset für Surfactrode Refill

Paste für Surfactrode Refill, 3.5 g	6.2319.000
Stopfwerkzeug	6.2826.010

Reagenzien für die Tensidtitration

TEGO trant A100, Titriermittel für anionische Tenside

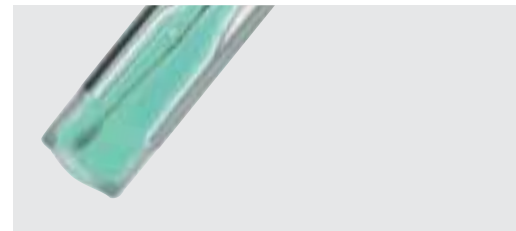
6 g	6.2317.000
60 g	6.2317.010
500 g	6.2317.020

TEGO add, Additiv für die Zweiphasentitration

50 mL	6.2317.100
500 mL	6.2317.110







Bezugselektroden – unsere besten Referenzen

Bezugselektroden

54

Double-Junction-Bezugselektroden

Ag/AgCl-Bezugselektrode mit Metrohm

Steckkopf B

- Leicht zu wechselnder Bezugs- und Brückenelektrolyt
- Variabler Elektrolytausfluss am lösbaren Schliffdiaphragma
- Erhältlich mit 125 bzw. 162 mm Schaftlänge
- Mit Normschliff 14/15
- Auf Wunsch auch mit Elektrolyt befüllt lieferbar

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	Glas
Temperaturbereich	0...80 °C
Diaphragma	Lösbares Schliffdiaphragma
Einbaulänge	97/140 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	10 mm
Bezugssystem	Ag-Draht + AgCl
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf B

Ag/AgCl-Bezugselektrode mit Metrohm

Steckkopf G

- Für die Differenzpotentiometrie mit Metrohm-Titratoren
- Leicht zu wechselnder Bezugs- und Brückenelektrolyt
- Variabler Elektrolytausfluss am lösbaren Schliffdiaphragma
- Erhältlich mit 125 bzw. 162 mm Schaftlänge
- Mit Normschliff 14/15

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	Glas
Temperaturbereich	0...80 °C
Diaphragma	Lösbares Schliffdiaphragma
Einbaulänge	97/140 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	10 mm
Bezugssystem	Ag-Draht + AgCl
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

LL ISE Reference

- Double-Junction-Ag/AgCl-Bezugselektrode
- Hohe Signalstabilität dank konstantem, reproduzierbarem Elektrolytausfluss, daher besonders für Probenwechsleranwendungen geeignet
- Gegen Verschmutzung unempfindliches Festschliffdiaphragma
- Minimale Eintauchtiefe von 1 mm

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	Glas
Temperaturbereich	0...80 °C
Diaphragma	Festschliff
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	1 mm
Bezugssystem	Ag-Draht + AgCl
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf B



Bestellinformationen

Ag/AgCl-DJ-Bezugselektrode mit Metrohm Steckkopf B

Länge 125 mm, ohne Elektrolytfüllung, ohne Kabel

6.0726.100

Länge 125 mm, gefüllt mit $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$, ohne Kabel

6.0726.107

Länge 162 mm, ohne Elektrolytfüllung, ohne Kabel

6.0726.110

Ag/AgCl-DJ-Bezugselektrode mit Metrohm Steckkopf G

Länge 125 mm, ohne Elektrolytfüllung, ohne Kabel

6.0729.100

Länge 125 mm, gefüllt mit LiCl_{sat} in Ethanol, ohne Kabel

6.0729.108

Länge 162 mm, ohne Elektrolytfüllung, ohne Kabel

6.0729.110

LL ISE Reference, ohne Kabel

6.0750.100

Bezugselektroden

56

Modulares Bezugssystem

- Bestehend aus Ag/AgCl-Bezugssystem mit Normschliff 14/15 und austauschbarem Elektrolytgefäß
- Elektrolytgefäß aus Glas mit Vorratsbehälter (ca. 5 mL) und Glasfritte
- Elektrolytgefäße ohne Vorratsbehälter, mit Keramikdiaphragma, verschiedene Diaphragmadurchmesser

Technische Spezifikationen

Ag/AgCl-Innensystem

Schaftmaterial	Glas
Temperaturbereich	0...80 °C
Schaftlänge	50 mm
Länge bis Oberkante	
Normschliff	43 mm
Schaftdurchmesser oben	12 mm
Schaftdurchmesser unten	8 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Bezugssystem	Ag-Draht + AgCl
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf B

Elektrolytgefäß mit Vorratsbehälter

Länge bis Oberkante	
Normschliff	101 mm
Schaftdurchmesser	6 mm
Schaftmaterial	Glas
Diaphragma	Glasfritte P4

Elektrolytgefäße ohne Vorratsbehälter

Länge bis Oberkante	
Normschliff	101 mm
Schaftmaterial	PTFE/Glas
Diaphragma	Keramikstift
Schaftdurchmesser	3/5.5 mm
Diaphragmadurchmesser	3 mm (PTFE)/1 mm (Glas)



Bestellinformationen

Ag/AgCl-Innensystem, ohne Kabel	6.0724.140
Elektrolytgefäß aus Glas mit Vorratsbehälter	6.1225.010
Elektrolytgefäß aus PTFE ohne Vorratsbehälter, Diaphragmadurchmesser 3 mm	6.1240.000
Elektrolytgefäß aus Glas ohne Vorratsbehälter, Diaphragmadurchmesser 1 mm	6.1240.020





Konduktometrische Messzellen und Temperaturfühler

Konduktometrische Messzellen

60

Fünf-Ring-Leitfähigkeitsmesszellen

Die modernen Fünf-Ring-Leitfähigkeitsmesszellen haben einen höheren Linearitätsbereich als die klassischen Leitfähigkeitsmesszellen und benötigen keine zusätzliche Platinierung. Der an die innere Elektrode angelegte Strom erzeugt einen Stromfluss zu den äusseren, geerdeten Elektroden, womit Einflüsse von aussen und Messfehler minimiert werden.

Sie liefern genaue Messwerte unabhängig von der Eintauchtiefe oder der Positionierung im Messgefäss («wall effect»). Störungen der potentiometrischen Messungen gehören der Vergangenheit an; Leitfähigkeit und pH-Wert können jetzt gleichzeitig im gleichen Becher gemessen werden.

Die Messzellen sind mit Stecker N zum direkten Anschluss an das 856 Conductivity Module ausgestattet.

Technische Spezifikationen

6.0915.100

Schaftmaterial	PEEK
Idealer Messbereich	$5 \dots 2 \times 10^4 \mu\text{S/cm}$
Temperaturbereich	0...70 °C
Temperaturfühler	Pt 1000
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	34 mm
Zellkonstante	0.7 cm^{-1}

Technische Spezifikationen

6.0915.130

Schaftmaterial	PEEK
Idealer Messbereich	$5 \dots 10^5 \mu\text{S/cm}$
Temperaturbereich	0...70 °C
Temperaturfühler	Pt 1000
Einbaulänge	142 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	50 mm
Zellkonstante	1 cm^{-1}



**Bestellinformationen**

Fünf-Ring-Leitfähigkeitsmesszelle $c = 0.7 \text{ cm}^{-1}$ mit integriertem Pt 1000

6.0915.100

Fünf-Ring-Leitfähigkeitsmesszelle $c = 1.0 \text{ cm}^{-1}$ mit integriertem Pt 1000

6.0915.130

Konduktometrische Messzellen

62

Konduktometrische Messzellen ohne Temperaturfühler

Konduktometrische Messzelle, $c = 0.1 \text{ cm}^{-1}$

- Platiniert
- Fixkabel (1 m) mit 2 x Stecker B

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	Glas
Messbereich	$10^{-1} \dots 10^4 \text{ } \mu\text{S/cm}$
Temperaturbereich	5...70 °C
Einbaulänge	108 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	20 mm
Minimale Eintauchtiefe	50 mm

Konduktometrische Messzelle, $c = 10 \text{ cm}^{-1}$

- Platiniert
- Fixkabel (1 m) mit 2 x Stecker B

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	Glas
Messbereich	$10 \dots 10^6 \text{ } \mu\text{S/cm}$
Temperaturbereich	5...70 °C
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	20 mm
Minimale Eintauchtiefe	80 mm

Konduktometrische Messzelle, $c = 0.9 \text{ cm}^{-1}$

- Platiniert
- Mit Normschliff 14/15
- Metrohm-Steckkopf G
- Optimale Länge für Probenwechslersysteme

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	Glas
Messbereich	$1 \dots 10^5 \text{ } \mu\text{S/cm}$
Temperaturbereich	5...70 °C
Einbaulänge	120 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	16 mm



Bestellinformationen

Konduktometrische Messzelle, $c = 0.1 \text{ cm}^{-1}$	6.0901.040
Konduktometrische Messzelle, $c = 10 \text{ cm}^{-1}$	6.0901.260
Konduktometrische. Messzelle für Probenwechsler, $c = 0.9 \text{ cm}^{-1}$, ohne Kabel	6.0910.120

Konduktometrische Messzellen

64

Konduktometrische Messzellen mit Temperaturfühler

Konduktometrische Messzelle mit Pt 100, $c = 0.8 \text{ cm}^{-1}$

- Platiniert
- Fixkabel (1.2 m) mit 4 x Stecker B

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	Glas
Messbereich	1...10 ⁵ µS/cm
Temperaturbereich	5...70 °C
Einbaulänge	123 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	40 mm

Konduktometrische Messzelle mit Pt 1000, $c = 0.8 \text{ cm}^{-1}$

- Platiniert
- Fixkabel (1.2 m) mit 4 x Stecker B

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	PP
Messbereich	1...10 ⁵ µS/cm
Temperaturbereich	5...70 °C
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	40 mm

Konduktometrische Messzelle aus Edelstahl mit Pt 1000, $c = 0.1 \text{ cm}^{-1}$

- Edelstahl-Messzelle für die Messung sehr tiefer Leitfähigkeiten
- Ideal für Anwendungen nach USP 645 und EP 2.2.38
- Fixkabel (1.2 m) mit 4 x Stecker B oder 1 x Stecker N (für 856 Conductivity Module)

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	Edelstahl
Messbereich	0...300 µS/cm
Temperaturbereich	0...70 °C
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	40 mm

Konduktometrische Messzellen für Stabilitätsmessgeräte 679, 743, 763 und 873

Konduktometrische Messzelle für 679 Rancimat

- Zellkonstante $c = 0.9 \text{ cm}^{-1}$
- Mit Festkabel (0.4 m) und speziellem Anschluss für 679 Rancimat

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	PP
Messbereich	1...10 ⁵ µS/cm
Temperaturbereich	-20...70 °C
Einbaulänge	125 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Minimale Eintauchtiefe	30 mm

Konduktometrische Messzelle für 743 Rancimat, 873 Biodiesel Ranicmat und 763 PVC Thermomat

- Zellkonstante $c = 1 \text{ cm}^{-1}$

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	PP
Messbereich	1...10 ⁵ µS/cm

Zubehör zu Konduktometrischen Messzellen:

Leitfähigkeitsstandard $\kappa = 12.87 \text{ mS/cm}$ (25 °C), 250 ml 6.2301.060

Leitfähigkeitsstandard $\kappa = 100 \text{ µS/cm}$ (25 °C), 250 ml mit DKD-Zertifikat 6.2324.010

Leitfähigkeitsstandard $\kappa = 100 \text{ µS/cm}$ (25 °C), 5 x 30 ml mit DKD-Zertifikat 6.2324.110



Abbildung verkleinert

Bestellinformationen

Konduktometrische Messzelle mit Pt 100, $c = 0.8 \text{ cm}^{-1}$	6.0908.110
Konduktometrische Messzelle mit Pt 1000, $c = 0.8 \text{ cm}^{-1}$	6.0912.110
Konduktometrische Messzelle aus Edelstahl mit Pt 1000, $c = 0.1 \text{ cm}^{-1}$, 4 x Stecker B	6.0914.040
Konduktometrische Messzelle aus Edelstahl mit Pt 1000, $c = 0.1 \text{ cm}^{-1}$, Stecker N für 856 Conductivity Module	6.0916.040
Konduktometrische Messzelle für 679 Rancimat	6.0911.120
Konduktometrische Messzelle für 743, 763 und 873	6.0913.130

Temperaturfühler

66

Temperaturfühler Pt 1000

- Präzise und schnelle Temperatureinstellung
- In verschiedenen Längen erhältlich (125/178 mm)

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	Glas
Temperaturbereich	-50...180 °C
Einbaulänge	125/178 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	5/6.4 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm
Elektrodensteckkopf	Metrohm-Steckkopf G

Temperaturfühler Pt 1000 Stahl

- Die glasfreie Alternative
- Schaft aus PEEK
- Zum Einsatz in nichtoxidierenden Medien pH 1-13
- Zur Temperaturmessung in halbfesten Materialien wie Käse, nicht in gefrorenem Fleisch u. ä.
- Fixkabel 1.2 m mit Stecker 2 x 2 mm

Technische Spezifikationen

Schaftmaterial	PEEK
Temperaturbereich	-50...100 °C
Einbaulänge	140 mm
Schaftdurchmesser	12 mm
Schaftdurchmesser unten	(75 mm) 3 mm
Minimale Eintauchtiefe	10 mm

Temperaturfühler Pt 100 für 711 Liquino, 743 Rancimat oder 763 PVC Thermomat

- Schaft aus Edelstahl
- Fixkabel mit Mini-DIN-Stecker

Technische Spezifikationen

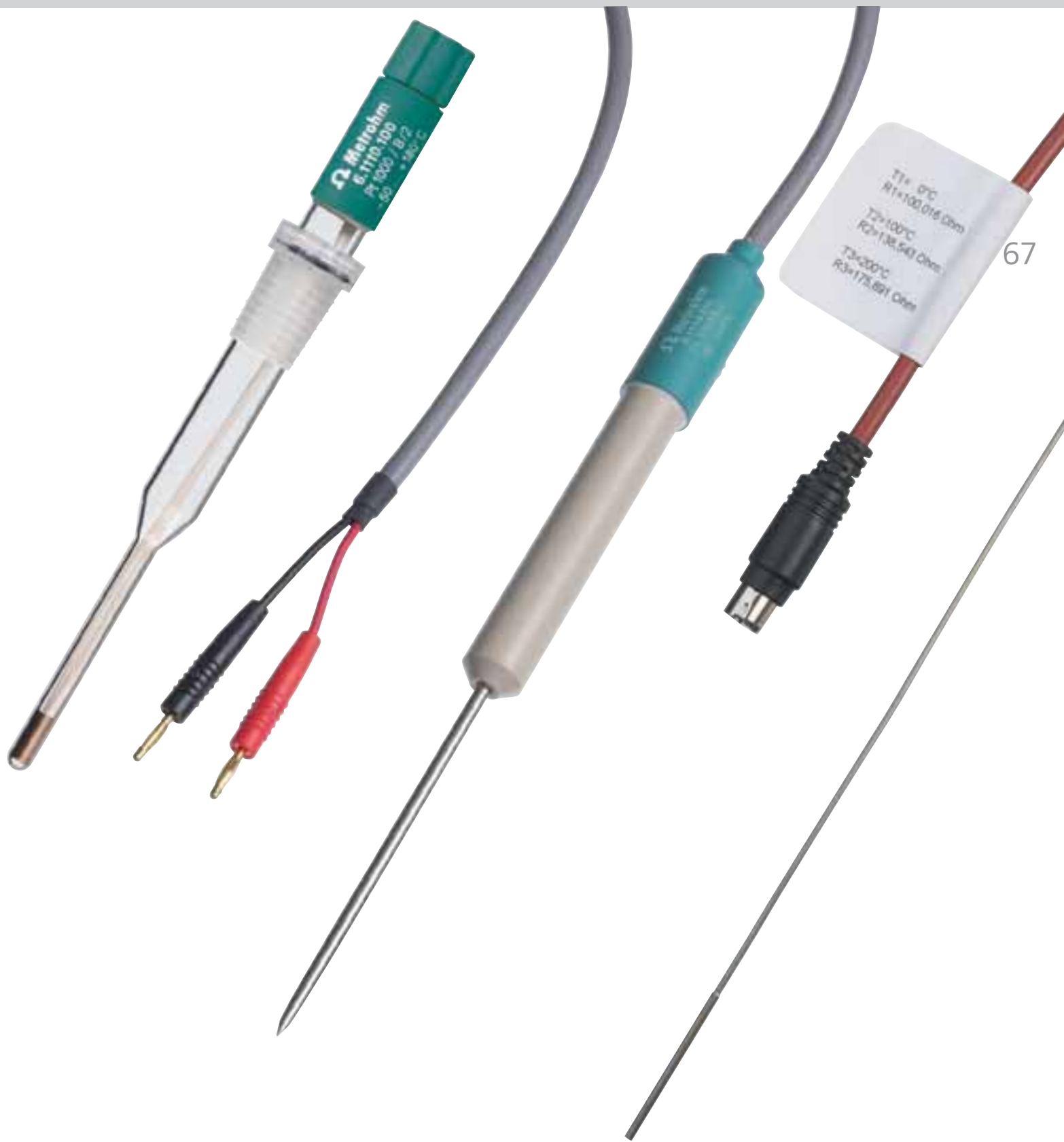
Schaftmaterial	Edelstahl
Temperaturbereich	-200...300 °C
Einbaulänge	178 mm
Schaftdurchmesser	2 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm

Temperaturfühler Pt 100 für 873 Biodiesel Rancimat

- Schaft aus Edelstahl
- Fixkabel mit Mini-DIN-Stecker

Technische Spezifikationen

Temperaturbereich	-200...300 °C
Einbaulänge	300 mm
Schaftdurchmesser	2 mm
Minimale Eintauchtiefe	20 mm



Bestellinformationen

Temperaturfühler Pt 1000, Länge 125 mm, ohne Kabel	6.1110.100
Temperaturfühler Pt 1000, Länge 178 mm, ohne Kabel	6.1110.110
Temperaturfühler Pt 1000, Stahl, Länge 140 mm, Stecker 2 x 2 mm	6.1114.010
Temperaturfühler Pt 100 für 711/743/763, Länge 175 mm	6.1111.010
Temperaturfühler Pt 100 für 873, Länge 300 mm	6.1111.020

Sensoren für die Photometrie

68

Die Titration mit photometrischer Endpunktserkennung ist ein integraler Bestandteil vieler Titrationsmethoden. Die «Spectrosense» ist ein handlicher Sensor, der wie jeder normale Metrosensor benutzt werden kann. Als Lichtquelle dienen moderne Leuchtdioden (LED), die eine durchschnittliche Betriebsdauer von 50'000 Stunden ermöglichen und selbst nach langem Gebrauch immer noch eine hohe Lichtintensität besitzen. Die Stromversorgung der Spectrosense erfolgt über den Rührer-Anschluss des Titrators, es wird kein separates Netzteil benötigt. Es stehen zwei Wellenlängen (523 und 610 nm) zur Verfügung, mit denen ein breites Spektrum an Applikationen bearbeitet werden kann.

Technische Daten	
Spectrosense	
Breite (Gehäuse)	50.3 mm
Höhe (Gehäuse)	63 mm
Tiefe (Gehäuse)	20.3 mm
Gewicht	120 g
Material (Gehäuse)	Aluminium
Schaftdurchmesser	12 mm
Material (Lichtleiter)	PMMA
Länge ohne Spiegel	129 mm
Länge mit Spiegel	145 mm
Schaftmaterial	PEEK
Lichtweg	22 mm
Material Spiegelfassung	Edelstahl
Messbereich	50...1000 mV
Temperaturbereich (Gehäuse)	0...45 °C
Temperaturbereich (Spiegel)	0...80 °C
Relative Feuchtigkeit	<80 %
pH-Bereich	0...14

Photometrische Titrationsen mit der Spectrosense: typische Applikationen

Bestimmung	Matrix	Farbindikator	Wellenlänge λ
Al	Natriumborat	Xylenorange	523 nm
Freies Chlor	Wasser	N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin	523 nm
Säurezahl	Kunststoff	Phenolphthalein	523 nm
Sulfat	Dünger	Thorin	523 nm
Vitamin C	Tabletten	Dichlorphenolindophenol	523 nm
Ba/Y/Cu	Supraleiter	Dimethylsulfonazo III	610 nm
Ca-Spuren	Sole	Hydroxynaphtholblau	610 nm
Ca/Mg	Dolomit, Trinkwasser	Eriochromschwarz T	610 nm
Fe	Mn-Erze	Diphenylaminosulfonat	610 nm
Zn	Ni-Bäder	Murexid	610 nm

Zubehör

Messmodul Spectrosense 523 nm	6.1109.100
Messmodul Spectrosense 610 nm	6.1109.110
Spiegel für Spectrosense (Lichtweg 22 mm)	6.1250.010
Stromversorgungskabel Titrino – Spectrosense	6.2108.130
Stromversorgungskabel Titrande/Titrino plus – Spectrosense	6.2151.070
Kabel für Messeingang, Stecker F/F-Winkel, Länge 1 m	6.2116.020



Bestellinformationen

Spectrosense 523 nm zu Titrino, komplett, mit Spiegel (Lichtweg 22 mm) und allen benötigten Kabeln	6.5501.100
Spectrosense 610 nm zu Titrino, komplett, mit Spiegel (Lichtweg 22 mm) und allen benötigten Kabeln	6.5501.110
Spectrosense 523 nm zu Titrando/Titrino plus, komplett, mit Spiegel (Lichtweg 22 mm) und allen benötigten Kabeln	6.5501.200
Spectrosense 610 nm zu Titrando/Titrino plus, komplett, mit Spiegel (Lichtweg 22 mm) und allen benötigten Kabeln	6.5501.210





Zubehör zu Metrosensoren

Zubehör zu Metrosensoren

72

Schliffhülsen für Metrohm-Elektroden

- 6.1236.020 Schliffhülse aus PP, Normschliff 14/15 mit O-Ring
- 6.1236.030 Schliffhülse aus PP, Normschliff 14/15 mit O-Ring, für Probenwechsler
- 6.1236.040 Schliffhülse aus Silikonkautschuk, Normschliff 14/15
- 6.1236.050 Schliffhülse aus PE, Normschliff 14/15

Sonstiges Zubehör

- 6.2008.040 Aufbewahrungsgefäß aus PE
 - Länge 130 mm
 - Durchmesser 16 mm
 - Schliff Konus oder Normschliff 14/15
- 6.1243.020 Ersatz-Schliffdiaphragma für Profitrode 6.0255.1XX (Glashülse und Kunststoffring)
- 6.1243.030 Ersatz-Schliff für Bezugs Elektroden 6.0726.1XX und 6.0729.1XX
- 6.2615.050 Elektrodenständer für 11 Elektroden und 3 Pufferflaschen 50 mL





6.1236.020



6.1236.030



6.1236.040



6.1236.050



Ionenstandards, Pufferlösungen, Elektrolyte

74

Ionenstandards (auf NIST rückführbar)

Ionenstandard	Bestellnummer
KBr-Ionenstandard (250 mL, $c(\text{Ion}) = 0.1000 \pm 0.0005 \text{ mol/L}$)	6.2301.000
NaCl-Ionenstandard (250 mL, $c(\text{Ion}) = 0.1000 \pm 0.0005 \text{ mol/L}$)	6.2301.010
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ -Ionenstandard (250 mL, $c(\text{Ion}) = 0.1000 \pm 0.0005 \text{ mol/L}$)	6.2301.020
NaF-Ionenstandard (250 mL, $c(\text{Ion}) = 0.1000 \pm 0.0005 \text{ mol/L}$)	6.2301.030
KI-Ionenstandard (250 mL, $c(\text{Ion}) = 0.1000 \pm 0.0005 \text{ mol/L}$)	6.2301.040
KCl-Ionenstandard (250 mL, $c(\text{Ion}) = 0.1000 \pm 0.0005 \text{ mol/L}$)	6.2301.060
CaCl_2 -Ionenstandard (250 mL, $c(\text{Ion}) = 0.1000 \pm 0.0005 \text{ mol/L}$)	6.2301.070
KNO_3 -Ionenstandard (250 mL, $c(\text{Ion}) = 0.1000 \pm 0.0005 \text{ mol/L}$)	6.2301.080
Pb-Ionenstandard (50 mL, $c(\text{Ion}) = 1.000 \text{ g/L}$)	6.2301.100
Leitfähigkeitsstandard $\kappa = 100 \mu\text{S/cm}$ (25 °C), für USP <645> und EP 2.2.38 (250 ml) mit DKD-Zertifikat	6.2324.010
Leitfähigkeitsstandard $\kappa = 100 \mu\text{S/cm}$ (25 °C), für USP <645> und EP 2.2.38 (5 x 30 ml in Sachets)	6.2324.110
Leitfähigkeitsstandard $\kappa = 12.87 \text{ mS/cm}$ (25 °C)	6.2301.060

Puffer- und Kalibrierlösungen (auf NIST rückführbar)

Artikel	Bestellnummer
Puffersatz (je 50 mL Konzentrat pH = 4.00 pH = 7.00 KCl-Lösung 3 mol/L)	6.2302.010
Puffersatz (je 50 mL Konzentrat pH = 4.00, 7.00, 9.00)	6.2304.000
Puffersatz pH = 4.00 (3 x 50 mL Konzentrat)	6.2305.010
Puffersatz pH = 7.00 (3 x 50 mL Konzentrat)	6.2305.020
Puffersatz pH = 9.00 (3 x 50 mL Konzentrat)	6.2305.030
Redoxstandard (250 mL, ergibt mit Bezugsselektrode Ag/AgCl/c(KCl) = 3 mol/L $U = +250 \pm 5 \text{ mV}$ (20 °C); auch als Puffer pH = 7 verwendbar)	6.2306.020
Gebrauchsfertige Pufferlösung pH = 4.00 (500 mL), gefärbt, mit Papierversiegelung	6.2307.100
Gebrauchsfertige Pufferlösung pH = 7.00 (500 mL), gefärbt, mit Papierversiegelung	6.2307.110
Gebrauchsfertige Pufferlösung pH = 9.00 (500 mL), farblos, mit Papierversiegelung	6.2307.120
Gebrauchsfertige Pufferlösung pH = 4.00 (30 x 30 mL in Sachets) mit DKD-Zertifikat	6.2307.200
Gebrauchsfertige Pufferlösung pH = 7.00 (30 x 30 mL in Sachets) mit DKD-Zertifikat	6.2307.210
Gebrauchsfertige Pufferlösung pH = 9.00 (30 x 30 mL in Sachets) mit DKD-Zertifikat	6.2307.220
Gebrauchsfertige Pufferlösungen pH = 4.00, 7.00, 9.00 (je 10 x 30 mL in Sachets) mit DKD-Zertifikat	6.2307.230



Elektrolyte, Aufbewahrungslösung, pHit Kit

Artikel	Bestellnummer
Elektrolytlösung $c(\text{KCl}) = \text{sat.}$ 250 mL (Aufbewahrung Gelelektroden)	6.2308.000
Elektrolytlösung $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$, 250 mL (für Ag/AgCl-Bezugssysteme)	6.2308.020
KCl-Lösung gesättigt, versteift, 250 mL	6.2308.030
Idrolyt, 250 mL (für Biotrode 6.0224.100 bzw. für pH-Messung $>80 \text{ }^\circ\text{C}$ mit Unitrode)	6.2308.040
Elektrolytlösung $c(\text{KNO}_3) = 1 \text{ mol/L}$, 250 mL (Bezugselektrolyt für kombinierte Ag-Elektrode und Zwischenelektrolyt für Ag/AgCl-Bezugssysteme)	6.2310.010
Elektrolytlösung (nichtwässrig), LiCl_{sat} in Ethanol, 250 mL (Zwischenelektrolyt für Titrationsen in nichtwässrigen Lösungen und Bezugselektrolyt für Solvotrode 6.0229.100)	Kontaktieren Sie Ihre Metrohm-Vertretung
Elektrolytlösung (nichtwässrig), $c(\text{LiCl}) = 2 \text{ mol/L}$ in Ethanol, 250 mL (Zwischenelektrolyt für Titrationsen in nichtwässrigen Lösungen und Bezugselektrolyt für Solvotrode 6.0229.100)	Kontaktieren Sie Ihre Metrohm-Vertretung
Elektrolytlösung $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$, 1000 mL (für Ag/AgCl-Bezugssysteme)	6.2313.000
Elektrolyt für NH_3 -Elektroden, 50 mL (Innenelektrolyt für Elektrode 6.0506.100)	6.2316.030
Porolyt, 50 mL (für Porotrode 6.0235.200)	6.2318.000
Elektrolytlösung (nichtwässrig), $c(\text{Tetraethylammoniumbromid}) = 0.4 \text{ mol/L}$ in Ethylenglykol, 250 mL (Zwischenelektrolyt für Titrationsen in nichtwässrigen Lösungen und Bezugselektrolyt für Solvotrode 6.0229.100)	6.2320.000
Aufbewahrungslösung für kombinierte pH-Glaselektroden mit Bezugselektrolyt $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$	6.2323.000
pHit Kit – Pflegekit für Elektroden, enthält je 50 ml Reinigungslösung, KCl-Lösung $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$, Aufbewahrungslösung und 2 Aufbewahrungsgefäße	6.2325.000
Elektrolyt KCL-Gel $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$, 50 ml (nur als Aussenelektrolyt VA Referenzelektroden, z.B. 6.0728.040)	6.2308.060




Abbildungen verkleinert

Anschluss von pH-Elektroden, ionenselektiven Elektroden (ISE) und Metallelektroden mit Metrohm-Steckkopf G an Metrohm-Geräte

Elektrodensteckkopf	Kabel	Bestellnummer	Messgerät
 Steckkopf G	Steckkopf G – Stecker F, 1 m	6.2104.020	Für Messeingänge «pH/ISE» und «Ind» der Titroprozessoren, Titrinos und Titrandos, pH-/Ionenmeter ≥ 691
	Steckkopf G – Stecker F, 2 m	6.2104.030	
	Steckkopf G – Stecker F, 3 m	6.2104.040	
	Steckkopf G – Stecker E (DIN 19262), 1 m	6.2104.050	Für Metrohm-pH-Meter <691
	Steckkopf G – Stecker E (DIN 19262), 2 m	6.2104.060	
	Steckkopf G – Stecker E (DIN 19262), 3 m	6.2104.070	
	Elektrodenkabel für Generatorelektroden 6.0342.110, 6.0344.100 und 6.0345.100	6.2104.120	KF-Coulometer
pH-Elektroden mit Fixkabel, Stecker B (2 mm)	Adapter Stecker B (2 mm)/4 mm	6.2103.150	 Titrimos (nur Pt 1000) pH-Meter ≤ 744 (nur Pt 1000)
pH-Elektroden mit Fixkabel Stecker B (4 mm)	Adapter Stecker B (4 mm)/2 mm (rot)	6.2103.130	780/781/Titrandos Pt 1000 (2 mm)
	Adapter Stecker B (4 mm)/2 mm (schwarz)	6.2103.140	
 Steckkopf U	Steckkopf U – Stecker F+ 2xB (2 mm), 1 m	6.2104.600	
	Steckkopf U – Stecker F+ 2xB (2 mm), 2 m	6.2104.610	

Anschluss von konduktometrischen Messzellen und Temperaturfühlern mit Steckkopf G an Metrohm-Geräte

Elektrodensteckkopf	Kabel	Bestellnummer	Messgerät
 Steckkopf G	Steckkopf G – Stecker 2 x B (4 mm), 1 m	6.2104.080	712 Konduktometer, Messeingänge Pt 100/Pt 1000 (4 mm)
	Steckkopf G – Stecker 2 x B (4 mm), 2 m	6.2104.110	
	Steckkopf G – Stecker 2 x 2 mm, 1 m	6.2104.140	780/781/Titrandos Pt 1000 (2 mm)
	Steckkopf G – Stecker 2 x 2 mm, 2 m	6.2104.150	

Anschluss von Bezugselektroden und getrennten Metallelektroden an Metrohm-Geräte

Elektrodensteckkopf	Kabel	Bestellnummer	Messgerät
Steckkopf G (6.0729.XXX)	Steckkopf G – Stecker F, 1 m	6.2104.020	Für Messeingänge «Ind II» der Titroprozessoren und Titrinos und zum Anschluss an einen Metrohm-Differenzverstärker
	Steckkopf G – Stecker F, 2 m	6.2104.030	
	Steckkopf G – Stecker F, 3 m	6.2104.040	
Steckkopf B	Steckkopf B (4 mm) – Stecker B (4 mm), 1 m	6.2106.020	Für Messeingang «Ref.»
	Steckkopf B (4 mm) – Stecker B (4 mm), 2 m	6.2106.060	
	Steckkopf B (4 mm) – Stecker B (4 mm), 3 m	6.2106.050	

Anschluss von Metrohm-Elektroden mit Steckkopf G an Geräte anderer Hersteller

Elektrodensteckkopf	Kabel	Bestellnummer	Messgerät
Steckkopf G	Steckkopf G – BNC-Stecker, 1 m 	6.2104.090	Orion, Beckman, Corning, EDT, Fisher, Hanna, Mettler- Toledo, Jenway, Philips
	Steckkopf G – LEMO 	6.2104.160	Mettler
	Steckkopf G – Stecker E (DIN 19262), 1 m 	6.2104.050	Ältere Metrohm-Geräte, WTW, Knick, Schott
	Steckkopf G – Radiometer-Stecker, 1 m 	6.2104.130	Radiometer, Crison
	Steckkopf G – US-Stecker, 1 m 	6.2104.010	Ältere Orion-, Beckman- und Fisher-Geräte

Abbildungen verkleinert

Wie entsteht ein Metrosensor?

78

Unsere Präzision ist kein Zufall ...

Immer schön cool bleiben!

Jahrzehntelange Erfahrung und eine ruhige Hand im Umgang mit den Rohstoffen sorgen dafür, dass bei uns die Chemie immer stimmt. Die richtige Zusammensetzung der Glasmischung und grösstmögliche Sorgfalt beim Schmelzen garantieren die einwandfreie Qualität des Membranglases.



Wir haben den Dreh raus!

Viel Fingerspitzengefühl benötigen unsere Mitarbeiter beim Verschmelzen des Membranglases mit dem Elektrodenkörper. Dass dies alles andere als eine Zitterpartie ist, sieht man unseren Elektroden auf den ersten Blick an.





Unsere Mitarbeiter sind auch nur Menschen!

Bei manchen Fertigungsprozessen, wie z. B. dem Schleifen unserer Festschliffdiaphragmen, hat selbst ein geübtes Auge keine Chance mehr. Solche Aufgaben werden von modernsten Maschinen ausgeführt, mit einer Präzision, die ihresgleichen sucht.



Elektroden mit Brief und Siegel!

Bevor wir unsere Elektroden auf die Reise schicken, werden sie noch einmal einer nasschemischen, rechnergestützten Prüfung unterzogen. Am Ende geben wir es Ihnen sogar schriftlich, dass Sie unseren Elektroden voll vertrauen können: Jede Elektrode wird mit einem individuellen Prüfzertifikat ausgeliefert.

Die Herkunftsgarantie:

Präzision und garantierte Zuverlässigkeit – der Name Metrohm steht für höchste Qualität in der Ionenanalytik. Überzeugen Sie sich selbst!



1. Grundlagen der Potentiometrie

1.1. Messkettenaufbau

Die Messanordnung in der Potentiometrie besteht immer aus zwei Elektroden, der Messelektrode, auch Indikator-elektrode genannt, und der Bezugs-elektrode, auch Referenzelektrode genannt. Beide Elektroden werden als Halbzellen bezeichnet. Zusammen liefern diese in Lösung ein bestimmtes Potential. Das Potential ergibt sich je nach Aufbau der Halbzellen aus der Summe mehrerer Einzelpotentiale. Potentialbestimmende Übergänge ergeben sich immer an den Phasengrenzen, z. B. von der Messlösung zur Elektrodenoberfläche.

pH-Messkette

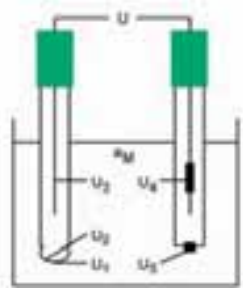


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer pH-Messkette

Messelektrode – Glaselektrode (links)

- U_1 = Galvanipotential der Messlösung gegen die Glasmembran
- U_2 = Galvanipotential der Glasmembran gegen den Innenelektrolyten
- U_3 = Galvanipotential des Innenelektrolyten gegen die innere Ableitelektrode

Bezugs-elektrode – Silber/Silberchlorid (rechts)

- U_4 = Galvanipotential der Bezugs-elektrode
- U_5 = Diaphragmapotential (Diffusionspotential)
- a_M = Aktivität des Messions in der Probenlösung

Durch einen geeigneten Aufbau der Elektroden werden die Potentiale U_2 , U_3 und U_4 konstant gehalten. Konstruktive Massnahmen und die Wahl eines geeigneten Bezugs-elektrolyten tragen dazu bei, dass auch U_5 möglichst konstant bleibt. Im Idealfall ist das gemessene Potential ausschliesslich von dem Potential abhängig, das sich zwischen Glasmembran und Lösung einstellt. Aus praktischen Gründen werden die Halbzellen der Messelektrode und der Bezugs-elektrode in der Regel in einer Messkette zusammengefasst, man spricht dann von einer kombinierten pH-Elektrode.

Redox-Messkette

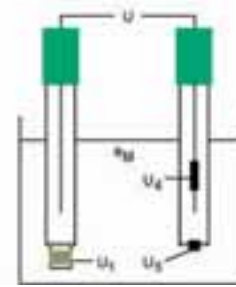


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Redox-Messkette

Messelektrode – Metallelektrode (links)

- U_1 = Redoxpotential der Messlösung gegen die Metalloberfläche

Bezugs-elektrode – Silber/Silberchlorid (rechts)

- U_4 = Galvanipotential der Bezugs-elektrode
- U_5 = Diaphragmapotential (Diffusionspotential)
- a_M = Aktivität des Messions in der Probenlösung

Für Metallelektroden entfallen die potentialbildenden Übergänge U_2 und U_3 der pH-Elektroden. In Abhängigkeit von der jeweiligen Applikation kann an Stelle einer Silber/Silberchlorid-Bezugs-elektrode auch eine pH-Glaselektrode als Bezugs-elektrode verwendet werden. Bei den kombinierten Redox-Elektroden bzw. Titroden von Metrohm sind die Halbzellen ebenfalls zu einer Messkette zusammengefasst

1.2. Vom gemessenen Potential zur Ionenkonzentration

Da jedes Ion von Ionen entgegengesetzter Ladung abgeschirmt wird, ist es – vereinfacht gesprochen – nicht mehr so wirksam wie ein freies Ion (vgl. Debye-Hückel-Gesetze). Dies betrifft sowohl die Reaktionsfähigkeit als auch die Grösse der Potentiale an der Messelektrode. Der unter anderem in der Nernst-Gleichung verwendete Begriff der Aktivität des Messions a_M ist mit der meist analytisch interessierenden Konzentration c_M über den Aktivitätskoeffizienten γ verknüpft:

$$a_M = \gamma \cdot c_M$$

(1)

Für verdünnte Lösungen mit Konzentrationen $c_M \leq 0.001$ mol/L geht der Aktivitätskoeffizient γ gegen 1 und die Aktivität des Ions entspricht in erster Näherung seiner Konzentration. γ ist eine Funktion des Gesamtelektrolytgehaltes.

Der mathematische Zusammenhang zwischen der Aktivität a_M eines Messions in Lösung und dem zwischen Bezugs- und Messelektrode gemessenen Potential ist in der Nernst-Gleichung beschrieben. Diese gilt nur für den (idealen) Fall, dass eine Elektrode ausschliesslich auf eine einzige Ionensorte anspricht. Die in der Regel konstanten Potentiale U_2 bis U_5 bei pH-Elektroden bzw. U_4 und U_5 bei Redox-Elektroden gehen als Potential U_0 in die Nernst-Gleichung ein.

$$U = U_0 + \frac{2.303 * R * T}{z * F} * \log a_M$$

(Nernst-Gleichung) (2)

- U = gemessenes Potential
- U_0 = temperaturabhängige Standardspannung der Messkette
- R = allgemeine Gaskonstante $8.315 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- T = Temperatur in Kelvin
- z = Ionenwertigkeit einschliesslich Vorzeichen
- F = Faradaykonstante $96485.3 \text{ C mol}^{-1}$

Der in der Nernst-Gleichung vor dem Logarithmus stehende Ausdruck wird als Nernst-Spannung U_N (auch Nernst-Steilheit) bezeichnet.

$$U_N = \frac{2.303 * R * T}{z * F}$$

(Nernst-Spannung) (3)

Ihr Wert beträgt unter Normalbedingungen ($T = 298.15 \text{ K}$ und $z = +1$) 0.059 V . Sie gibt als Faktor in der Nernst-Gleichung die theoretische Elektrodensteilheit an. U_N entspricht genau der Potentialänderung, die durch eine Änderung der Aktivität a_M um eine Zehnerpotenz bewirkt wird. Aus der Formel lässt sich erkennen, dass die Elektrodensteilheit für Elektroden, die auf zweiwertige Ionen ($z = 2$) ansprechen, nur halb so gross ist wie die von Elektroden für einwertige Ionen ($z = 1$). Ausserdem ist das Vorzeichen für kationen- und anionensensitive Messelektroden unterschiedlich, da z auch die Ladung des Ions berücksichtigt. Die Nernst-Spannung ist direkt

temperaturabhängig (vgl. Gleichung 3). Die Temperatur ist deshalb bei allen direktpotentiometrischen Messungen unbedingt zu berücksichtigen, da sonst keine korrekten Ergebnisse erhalten werden.

pH-Wert

In der Praxis – insbesondere bei der Messung des Säure-Base-Gleichgewichtes – wird häufig statt der Aktivität des Messions a_M der von Sørensen bereits 1909 eingeführte Begriff des pH-Wertes verwendet:

$$pH = -\log a_{H^+}$$

(Definition des pH-Wertes) (4)

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenaktivität einer Lösung. Der Begriff p wird häufig zur vereinfachten Darstellung sehr grosser oder kleiner Werte verwendet. So kann analog für die Aktivität eines Natriumions ein pNa^+ oder für Reaktionskonstanten pK_s als Säurekonstante oder pK_b als Basenkonstante verwendet werden. Gemeint ist damit immer der negative dekadische Logarithmus des jeweiligen Wertes. Setzt man diese Definition in die Nernst-Gleichung ein, so ergibt sich für das gemessene Potential U

$$U = U_0 - \frac{2.303 * R * T}{z * F} * pH$$

(pH-Wert und Potential) (5)

Redoxpotentiale (Metallelektroden)

Analog zur Nernst-Gleichung (Gleichung 2) ergibt sich die Formel für das aktivitätsabhängige Potential wie folgt

$$U = U_0 + \frac{2.303 * R * T}{z * F} * \log \frac{a_{ox} * a_{H^+}}{a_{red}}$$

(6)

Gleichung 6 erlaubt es meist, das Potential zu berechnen, das von einem Redoxpaar an der Messelektrode erzeugt wird. Da bei den meisten Redoxreaktionen Protonen involviert sind, ist das gemessene Potential pH-abhängig. Falls Protonenreaktionen nicht ausgeschlossen werden können, ist der pH-Wert generell mitzubestimmen oder definiert einzustellen.

1.3. Messelektroden

1.3.1. pH-Glaselektroden

Wie funktioniert eine pH-Glaselektrode?

Die Glasmembran einer pH-Glaselektrode besteht aus einem Silikat-Grundgerüst, das Lithiumionen enthält. Wird eine Glasoberfläche in eine wässrige Lösung eingetaucht, bildet sich auf der Glasoberfläche eine dünne Quellschicht (Gelschicht), in der die Glasstruktur aufgeweicht ist. Dies gilt sowohl für die Aussen- wie auch die Innenseite der Glasmembran. Da die Protonenkonzentration im Innenpuffer der Elektrode konstant ist ($\text{pH} = 7$), stellt sich auf der Innenseite der Glasmembran ein stationärer Zustand ein. Ändert sich dagegen die Protonenkonzentration in der Messlösung, kommt es in der äusseren Quellschicht zu einem Ionenaustausch und damit zu einer Veränderung des Potentials an der Glasmembran. Erst wenn dieser Ionenaustausch einen stationären Zustand erreicht hat, ist auch das Potential der Glaselektrode konstant. Die Einstellzeit einer Glaselektrode ist daher immer auch von der Dicke der Quellschicht abhängig. Durch den ständigen Kontakt mit wässrigen Lösungen wächst die Quellschicht – wenn auch sehr langsam – immer weiter an, was längere Einstellzeiten

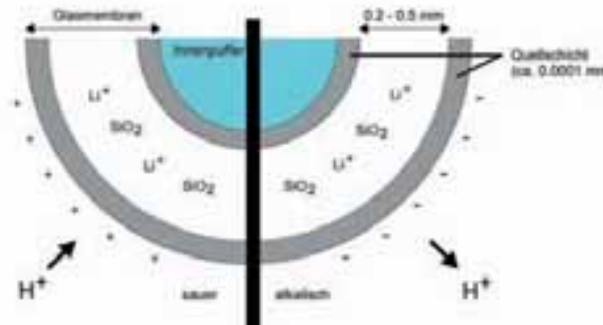


Abbildung 3: Das Silikatgrundgerüst der Glasmembran enthält unter anderem auch Lithiumionen. Bei der Ausbildung der Quellschicht an der Glasoberfläche werden diese zum Teil durch Protonen ersetzt. Verändert sich die Konzentration der Protonen in der Messlösung, muss sich in der Quellschicht erst wieder ein neuer stationärer Zustand einstellen, was eine Veränderung des Potentials an der Glasmembran zur Folge hat

zur Folge hat. Um möglichst reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, ist deshalb eine Konditionierung der Elektrode in einem geeigneten Elektrolyten unbedingt erforderlich, um einen möglichst stationären Ausgangszustand der Quellschicht zu garantieren.

Tabelle 1: Die verschiedenen Elektrodengläser der Metrohm AG im Überblick

Anwendung	U-Glas (grün)	T-Glas (blau)	M-Glas (farblos)	Aquatroden-Glas (farblos)	E-Glas (gelb)
pH-Bereich	0...14	0...14	0...14	0...13	0...13
Temperaturbereich	0...80 °C	0...80 °C	0...60 °C	0...80 °C	0...80 °C
Dauereinsatz kurzzeitig	0...100 °C				
Membran- oberfläche	Elektroden mit grosser Membran- oberfläche	Elektroden mit mittlerer bis grosser Membran- oberfläche (Minielektroden)	mit kleiner Membran- oberfläche (Mikro- elektroden)	Grosse Oberflächen	Elektroden mit mittlerer bis grosser Membran- oberfläche
Besonderheiten	Für stark alkali- sche Lösungen, Langzeitmes- sungen und Messungen bei hohen Temperaturen	Messungen in nichtwässrigen Probenlösungen	Messungen in kleinen Proben- volumina	Spricht sehr schnell an, daher beson- ders geeignet für Messungen in ionenarmen oder schlecht gepuf- ferten Lösungen	Spricht sehr schnell an, hohe Beständigkeit im Dauereinsatz
Membranwider- stand ($M\Omega$) Bezogen auf Kugelmembran 10.5 mm Durch- messer	<500	<150	<120	<250	<250

Warum gibt es unterschiedliche Glassorten für pH-Elektroden?

Je nach Anwendung werden an eine pH-Glaselektrode unterschiedliche Anforderungen gestellt. Es müssen verschiedene Eigenschaften wie Ansprechzeit, Temperaturbeständigkeit, chemische Stabilität, Form, Grösse und elektrische Eigenschaften berücksichtigt werden, um für jede Probenlösung eine möglichst optimale Elektrode bereitzustellen. Um der Vielfalt an Applikationen gerecht zu werden, stehen unterschiedliche Gläser mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung (Tabelle 1).

Warum muss man eine pH-Glaselektrode kalibrieren?

Das Potential einer Messelektrode kann immer nur relativ zu einer Bezugslektrode angegeben werden. Um die Systeme vergleichbar zu machen, definiert man den Elektrodennullpunkt bei 0 mV für pH = 7 und 298.15 K bzw. 25 °C. Die Elektrodensteilheit, das heisst die Veränderung des Messwertes mit dem pH, ist durch die Nernst-Gleichung gegeben und beträgt bei 25 °C 0.059 V pro $\Delta\text{pH} = 1$. Dies sind die idealen Werte, von denen die Metrosensor-Elektroden nur geringfügig abweichen. Der Elektrodennullpunkt liegt bei ± 0.015 V. Unter anderem bedingt durch die Alterung der Glasmembran oder die Veränderung (z.B. Verschmutzung) am Diaphragma können sich der Elektrodennullpunkt und die Elektrodensteilheit verändern. Deshalb muss das pH-Meter unter Verwendung von Pufferlösungen in regelmässigen Abständen an die Charakteristik der Elektrode angepasst, d.h. kalibriert werden.

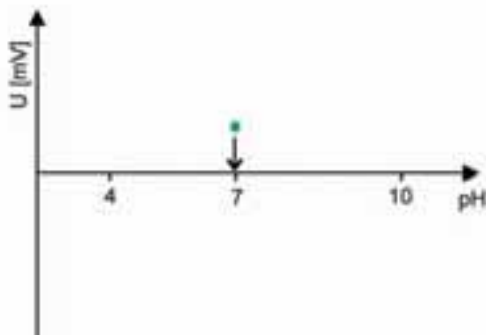


Abbildung 4: Im ersten Kalibrierschritt mit Puffer pH = 7 wird die Abweichung vom Elektrodennullpunkt bestimmt und korrigiert.

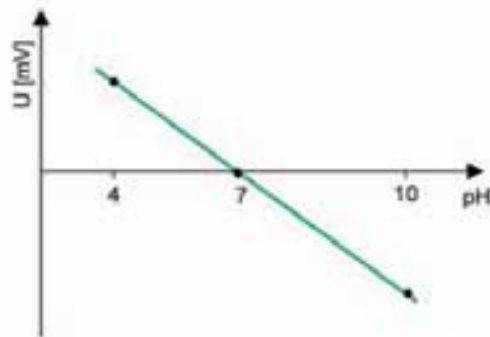


Abbildung 5: Im zweiten Kalibrierschritt wird mit einer anderen Pufferlösung die Elektrodensteilheit bestimmt und in Prozent des theoretischen Werts von 0.059 V (bei 25 °C) ausgedrückt.

Zunächst wird der Elektrodennullpunkt eingestellt (pH = 7 entsprechend 0 mV für Metrosensor-pH-Elektroden). Mit der zweiten bzw. weiteren Pufferlösungen wird die Steilheit der pH-Elektrode ermittelt. Diese Steilheit wird in Prozent des theoretischen Wertes ausgedrückt (100 % = 0.059 V pro $\Delta\text{pH} = 1$ bei 25 °C). Um spätere Messfehler zu minimieren, sollte stets darauf geachtet werden, dass der erwartete Messwert der Probenlösung immer innerhalb des durch die Pufferlösungen abgedeckten pH-Bereiches liegt. Moderne pH- und Ionenmeter wie z. B. das 780 pH-Meter und die 781 und 867 pH-/Ionenmeter erfordern keine manuelle Einstellung. Die Pufferlösungen werden automatisch erkannt und können in beliebiger Reihenfolge vorgelegt werden.

Die Kalibrierung ist stets auch eine Überprüfung der Messelektrode. Die Kalibrierpuffer weisen eine mittlere Säure-Base-Konzentration auf, und die Ionenstärke liegt im Bereich der gängigsten Messlösungen. Die Temperaturabhängigkeit der Elektrodensteilheit erfordert im Voraus die Kenntnis der Kalibrier- und Messtemperatur. Hinweise über den Elektrodenzustand geben die Elektrodensteilheit, der Elektrodennullpunkt, die Einstellzeit des Signals und dessen Strömungsabhängigkeit. Mit dem Metrohm 780 pH-/Ionenmeter, dem 780 pH-Meter und den Titrandos (in Verbindung mit PC Control oder Touch Control) kann ein automatischer Elektrodentest durchgeführt werden, der eine genaue Aussage über den Elektrodenzustand liefert und mit dem sich oft die Fehlerquelle lokalisieren lässt.

pH-Wert und Temperatur – ein unzertrennliches Paar!

Die Temperatur hat wesentlichen Einfluss auf den pH-Wert und die pH-Messung. Ist eine Elektrode bei 25 °C kalibriert, so sollte sie über den gesamten pH-Bereich linear messen und korrekte Ergebnisse liefern. Wird die Elektrode nun aber auf eine andere Temperatur gebracht, so ändert sich die Elektrodensteilheit – gemäss der Nernst-Gleichung – und eventuell auch der Elektrodennullpunkt. Der Punkt, an dem sich die beiden Kalibriergeraden (ohne Korrektur) für unterschiedliche Temperaturen schneiden, wird als Isothermenschnittpunkt bezeichnet. Dank optimiertem Innenpuffer und «Long Life»-Ableitsystem kann mit den Metrosensor-pH-Elektroden bei unterschiedlichen Temperaturen präzise gemessen werden. Das bedeutet, dass, obwohl nur bei einer Temperatur kalibriert wird, anschliessend über den gesamten Temperaturbereich gemessen werden kann. Metrosensor-pH-Elektroden weichen in ihrem realen Verhalten um maximal ± 15 mV vom idealen Verhalten ab. Trotzdem gilt, dass die Genauigkeit der Messung erhöht wird, wenn die Elektrode bei der Temperatur kalibriert wird, bei der später auch gemessen werden soll. Unter Normalbedingungen ($z = 1$, $T = 298.15$ K) beträgt die Nernst-Spannung $U_N = 59.16$ mV. Für abweichende Temperaturen kann sie anhand von Tabelle 2 in der Nernst-Gleichung korrigiert werden. Moderne pH-Meter führen die Korrektur der Temperaturabhängigkeit der Nernst-Spannung automatisch durch, wenn ein Temperaturfühler angeschlossen ist. Im Rahmen von GLP/ISO ist die Erfassung und Dokumentation der Temperatur bei allen Messungen generell erforderlich.

Es ist aber zu beachten, dass ein pH-Meter nur das Temperaturverhalten der Messkette korrigieren kann, niemals aber das Temperaturverhalten der Messlösung. Für korrekte pH-Messungen ist es unabdingbar, den pH-Wert bei der Temperatur zu vermessen, bei der die Probe entnommen wurde. So hat eine Natronlauge mit $c(\text{NaOH}) = 0.001$ mol/L bei 0 °C einen pH-Wert von 11.94, bei 50 °C gilt $\text{pH} = 10.26$ und nur bei 25 °C $\text{pH} = 11.00$. Diese pH-Veränderung ist durch die Temperaturabhängigkeit des Ionenproduktes von Wasser bedingt.

Bei manchen herkömmlichen Elektroden ist der Temperaturfühler nicht in unmittelbarer Nähe der Membran, d.h. im Fuss der Elektrode, angebracht. Dies bedeutet,

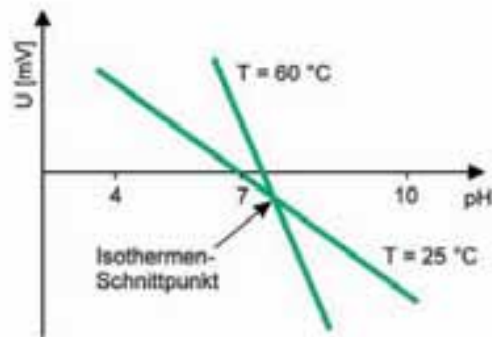


Abbildung 6: Isothermenschnittpunkt

dass er die Temperatur der Lösung nicht korrekt misst und die pH-Wert-Kompensation fehlerhaft ist, da Temperatur- und pH-Messung nicht am selben Ort erfolgen. Bei modernen pH-Elektroden sollte sich der Temperaturfühler innerhalb der Elektrode in unmittelbarer Nähe der Glasmembran befinden. Nur so ist eine präzise pH-Messung möglich. Wird der Messfühler ausserhalb der Membran angebracht, so können leicht Probleme mit der Reinigung der Elektrode entstehen.

Tabelle 2: Temperaturabhängigkeit der Nernst-Spannung U_N

Temperatur T (°C)	Steilheit U_N (mV)	Temperatur T (°C)	Steilheit U_N (mV)
0	54.20	50	64.12
5	55.19	55	65.11
10	56.18	60	66.10
15	57.17	65	67.09
20	58.16	70	68.08
25	59.16	75	69.07
30	60.15	80	70.07
35	61.14	85	71.06
37	61.54	90	72.05
40	62.13	95	73.04
45	63.12	100	74.03

Wie lagert man eine pH-Glaselektrode?

Das Quellen der Glasoberfläche ist für die Verwendung von Glas als Membran für pH-Glaselektroden unverzichtbar; ohne diese Quellschicht wäre keine pH-Messung möglich. Gläser für pH-Glaselektroden sind in ihrer Beschaffenheit dahingehend optimiert, dass möglichst nur Protonen in die Glasmembran eindringen können. Wegen des sehr langsamen, aber stetig fortschreitenden Quellvorganges des Glases ist es aber nicht zu vermeiden, dass auch andere Ionen, wie z. B. Natrium und Kalium, in das Glas eindringen. Bei höheren Konzentra-

tionen führen diese zum sogenannten Alkalifehler von Glaselektroden, d. h. der Messwert wird bei vergleichsweise niedrigen Protonenkonzentrationen verfälscht. Wird eine Glaselektrode sehr lange in einer stark kalium- oder natriumhaltigen Lösung gelagert, führt dies zu verlängerten Ansprechzeiten der Glasmembran, da die Protonen die «Fremdionen» erst wieder aus der Quellschicht verdrängen müssen.

Einer der gängigsten Elektrolyte für die pH-Messung ist $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$, da das äquitransferente KCl am Diaphragma lediglich ein sehr kleines Diffusionspotential hervorruft und zudem kostengünstig ist. Normalerweise wird eine kombinierte pH-Glaselektrode nur deshalb in $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$ gelagert, weil man sie ohne Konditionieren des Diaphragmas zum sofortigen Einsatz bereit haben will. Die Lagerung in KCl schadet allerdings langfristig dem Glas, da sie zu immer längeren Ansprechzeiten führt. Für das Glas wäre eine Aufbewahrung in destilliertem Wasser optimal, allerdings muss danach das Diaphragma erst wieder mehrere Stunden konditioniert werden. Die patentierte Aufbewahrungslösung für kombinierte pH-Glaselektroden (6.2323.000) löst genau

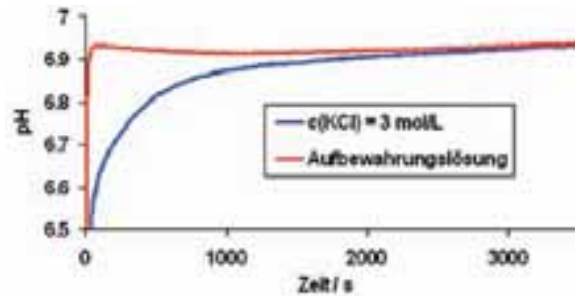


Abbildung 8: pH-Messung in $c(\text{NaHCO}_3) = 0.05 \text{ mmol/L}$. Ein in der Aufbewahrungslösung gelagertes Aquatroden-Glas zeigt eine wesentlich kürzere Ansprechzeit als ein über den gleichen Zeitraum in KCl gelagertes Elektrodenglas des gleichen Typs.

dieses Problem. Wird eine kombinierte pH-Glaselektrode in dieser Lösung aufbewahrt, bleibt die Glasmembran in Bezug auf Ansprechzeit und Alkalifehler unverändert. Wird zusätzlich noch $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$ als Bezugelektrolyt verwendet, garantiert die optimierte Zusammensetzung der Aufbewahrungslösung die ständige Betriebsbereitschaft der pH-Glaselektrode. Eine Konditionierung vor der Messung ist nicht notwendig, egal wie lange die Elektrode gelagert wurde.

Tabelle 3: Die richtige Aufbewahrung von pH-Glaselektroden:

Elektrode bzw. Bezugelektrolyt	Aufbewahrung
Getrennte pH-Glaselektrode	Dest. Wasser
Komb. pH-Glaselektrode mit $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$, Porolyt	Aufbewahrungslösung 6.2323.000
Komb. pH-Glaselektrode mit anderem Bezugelektrolyt (Idrolyt, nichtwässrig)	Aufbewahrungslösung 6.2323.000
Gel (Einstich-Elektrode, Ecotrode Gel)	$c(\text{KCl}) = \text{sat.}$ 6.2308.000

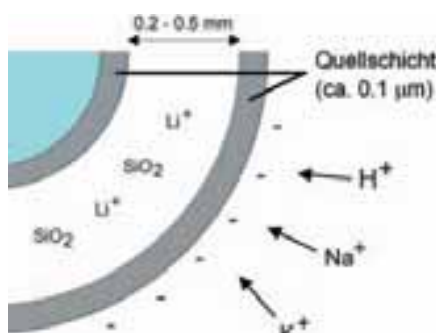


Abbildung 7: Querschnitt durch eine pH-Glasmembran. Sind mehrere Kationenarten in der Messlösung enthalten, konkurrieren diese um die freien Plätze in der aufgeweichten Quellschicht. Vor allem Kalium und Natrium können sich dabei in die Glasmembran einlagern und zu längeren Ansprechzeiten führen.

Troubleshooting

Die Ursache der meisten Störungen liegt nicht in der Messelektrode und der dort verwendeten Glasmembran begründet, sondern in der Bezugelektrode, da dort die wesentlich kritischeren Diaphragmaprobleme auftreten können. Zur Vermeidung von Fehlmessungen und zur Erhöhung der Lebensdauer muss trotzdem auf die folgenden möglichen Störquellen geachtet werden:

Tabelle 4: Mögliche Störquellen und Hilfsmassnahmen für pH-Glaselektroden

Störquelle	Auswirkungen	Massnahme	Alternativen
HF-haltige Lösungen	Ätzung und Auflösung der Glasmembran → Korrosionspotential während der Messung/ kurze Standzeit		Verwendung der Sb-Elektrode
Hoher pH-Wert und hoher Alkaligehalt	Erhöhter Alkalifehler → zu tiefer pH-Wert		Verwendung von Elektroden mit U-Glas
Hohe Temperaturen	Rascher Anstieg des Membranwiderstandes durch Alterung → erhöhte Polarisierbarkeit und Drift		Verwendung von Elektroden mit U-Glas
Messung bei tiefen Temperaturen	Hoher Membranwiderstand → Polarisierungseffekte		Verwendung von Elektroden mit T-Glas und Idrolyt als Bezugsselektrolyt
Trockenlagerung	Nullpunktsdrift	Wässern über Nacht	Aufbewahrung in Aufbewahrungslösung 6.2323.000 oder Bezugsselektrolyt
Reaktion einer Lösungskomponente mit dem Glas	Träges Einstellverhalten, Nullpunktsverschiebung, Steilheitsverlust		Andere Glassorten ausprobieren
Nichtwässrige Medien	Verminderte Empfindlichkeit	Wässern	T-Glas/nichtwässrige Elektrolytlösung
Ablagerung von Festkörpern auf Membranoberfläche	Träges Einstellverhalten, Nullpunktsverschiebung, Steilheitsverlust	Reinigung mit Lösungsmitteln oder starken Säuren	
Elektrostatische Aufladung	Träges Einstellverhalten	Elektrode nicht trockentupfen/-wischen	Messgerät erden
Ablagerung von Proteinen auf Membranoberfläche	Träges Einstellverhalten, Nullpunktsverschiebung, Steilheitsverlust	Reinigung mit 5 % Pepsin in 0.1 mol/L HCl	

Mögliche Störquellen und Pflegehinweise bei Diaphragmaproblemen finden Sie im Kapitel 1.4. über Bezugsselektroden.

1.3.2. Metallelektroden

Wie funktioniert eine Metallelektrode?

Metallelektroden besitzen eine blanke Metalloberfläche. Sind in der Probenlösung Ionen dieses Metalls enthalten, stellt sich in Abhängigkeit von der Konzentration der Metallionen ein Gleichgewicht an der Metalloberfläche ein (siehe «Theorie der elektrischen Doppelschicht» in Lehrbüchern der Elektrochemie). Es werden gleichzeitig Metallionen von der Metalloberfläche aufgenommen und von der Metalloberfläche in die Lösung abgegeben.



(8)

Dieses konzentrationsabhängige Gleichgewicht ist durch ein entsprechendes Potential E^0 (Galvanipotential) charakterisiert, z. B. besitzt das Gleichgewicht Ag/Ag^+ an einer Silberoberfläche einen Wert von $E^0 = 0.7999 \text{ V}$ (25 °C). Sind in der Probenlösung keine Ionen des entsprechenden Metalls enthalten, können Metallelektroden dennoch ein Galvanipotential ausbilden, wenn in der Probenlösung eine Redox-Reaktion abläuft.



(9)

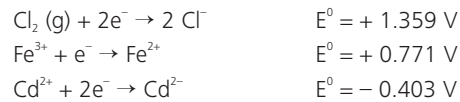
Die Elektrodenoberfläche ist dabei inert gegenüber der Redox-Reaktion. Es werden keine Metallionen aus dem Metall herausgelöst, die Metalloberfläche dient in diesem Fall lediglich als Katalysator für die Elektronen. Da Gold- und Platinelektroden chemisch weitgehend inert sind, werden sie für die Messung von Redoxpotentialen eingesetzt. Silberelektroden werden ausschliesslich als Indikatorelektroden für Titrationsen verwendet.

Kalibrierung einer Metallelektrode

Zur raschen Überprüfung einer Metall- bzw. Redox-elektrode werden Redoxpufferlösungen (6.2306.020) verwendet. Da die Potentialprägung durch die Redoxpufferlösungen sehr hoch ist, werden Verschmutzungen an der Metallelektrode oft nicht erkannt. Redoxpufferlösungen eignen sich deshalb eher zur Überprüfung der Bezugslektrode. Ist das Potential verschoben, so ist die Metallelektrode verschmutzt, der Redoxpuffer teiloxidiert oder die Bezugslektrode in ihrer Funktion beeinträchtigt. Keinesfalls sollte die angezeigte Spannung auf den Sollwert nachgestellt werden.

Wird in schwach redoxgepufferten Lösungen gemessen, so empfiehlt sich eine geeignete Vorbehandlung der Metallelektrode, um die Oberflächenbeschaffenheit möglichst den Messbedingungen anzupassen (abrasive Vorbehandlung: Elektrode vorsichtig mit Schmirgelpaste reinigen. Die Bezugslektrode kann entweder gegen eine zweite geprüfte Bezugslektrode in Pufferlösung 4 und 7 (Einstellverhalten und Bezugspotential) oder aber mit Hilfe des Redoxpuffers geprüft werden.

In der Literatur finden sich gewöhnlich die so genannten Standardredoxpotentiale E^0



Der Nullpunkt dieser Systeme ist (willkürlich) mit der Normalwasserstoffelektrode (NWE) definiert, der ein Standardpotential von 0 mV zugewiesen wird. Werden Elektronen von einem Redoxsystem an die NWE abgegeben, wird diese also reduziert, bekommt das Redoxpaar ein negatives Vorzeichen, werden Elektronen aufgenommen, wird die NWE also oxidiert, resultiert eine Redoxspannung mit positivem Vorzeichen. Die Normalwasserstoffbezugselektrode ist nur schwer zu handhaben. Die Spezifikationen der NWE schreiben vor, dass ein platinierter Platindraht verwendet wird, der von Wasserstoffgas mit einem Wasserstoffpartialdruck von 1.0 bar umspült ist, und dass die Aktivität der Wasserstoffionen in der Lösung, in die der umspülte Platindraht eintaucht, genau 1.00 mol/L ist. Übliche Alternative ist die Ag/AgCl/KCl-Bezugslektrode. Diese zeigt eine $E^0 = + 207.6 \text{ mV}$ bei $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$ und $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Zur Kontrolle der getrennten und kombinierten Metallelektroden kann der Metrohm-Redoxstandard (6.2306.020) eingesetzt werden. Platin und Goldelektroden liefern gegen die Ag/AgCl/KCl-Bezugslektrode ($c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$ und $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) eine Spannung von $+ 250 \pm 5 \text{ mV}$.

Tabelle 5: Messdaten für den Redoxstandard 6.2306.020 in Abhängigkeit von der Temperatur

Temp. (°C)	10	20	25	30	40	50	60	70
mV ± 5	+ 265	+ 250	+ 243	+ 236	+ 221	+ 207	+ 183	+ 178
pH ± 0.05	7.06	7.02	7.00	6.99	6.98	6.97	6.97	6.98

Wird nicht mit einer Ag/AgCl/KCl-Bezugslektrode $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$ sondern mit einer Ag/AgCl/KCl-Bezugslektrode $c(\text{KCl}) = \text{sat.}$ gemessen, so ist bei $25 \text{ }^\circ\text{C}$ um $+ 10 \text{ mV}$ und der bei der Messung mit einer Hg/Hg₂Cl₂/KCl-Kalomelbezugslektrode, die sich aus toxikologischen Gründen nicht mehr im Metrohm-Programm befindet, um -37 mV zu korrigieren.

Die Überprüfung der Titroden erfolgt mit einer Standardtitration, da keine geeigneten Kalibrier- bzw. Pufferlösungen zur Verfügung stehen. Z. B. kann der zertifizierte Ionenstandard $c(\text{NaCl}) = 0.1 \text{ mol/L}$ (6.2301.010) mit einer Silbernitrat-Masslösung titriert werden. Tests zur Überprüfung von Metallelektroden können Metrohm Applikation Bulletin AB 48 entnommen werden.

Troubleshooting

Tabelle 6: Störungen bei Messungen mit Metallelektroden

Elektrode	Störquelle	Auswirkungen	Reinigung	Alternativen
Ag	Elektrodingifte wie S^{2-} , I^- , Br^-	Passivierung der Ag-Schicht → träges Einstellverhalten	Reinigung mit Abrasivmitteln	
Pt/Au	Fette oder Öle	Isolierende Schicht → träges Einstellverhalten, Fehlpotential	Reinigung mit Lösungsmittel	
	Schwach redox-gepufferte Lösung	Adsorbierte Ionen an Oberfläche (z.B. Oxide) → träges Einstellverhalten	Abrasiv, oxidativ (bei oxidierenden Lösungen) oder reduzierend (bei reduzierenden Lösungen) Vorbehandlung	Verwendung von Au oder Pt
	CSB-Bestimmung	Deaktivierung von Pt		Verwendung von Au

1.3.3. Ionenselektive Elektroden

Wie funktioniert eine ionenselektive Elektrode?

Eine ionenselektive Elektrode (ISE) kann ein Ion gezielt aus einer Mischung von Ionen in einer Lösung erkennen. Es gibt verschiedene Arten von ionenselektiven Elektroden, die am weitesten verbreiteten Typen sind:

Glasmembran:	Grundgerüst aus Silikatglas mit Hohlräumen für H^+ und Na^+
Kristallmembran:	Kristallgitter, das definierte Lücken für das Mession enthält
Polymermembran:	Polymermembran, die ein Molekül (= Ionophor) enthält, das speziell nur das Mession bindet

Im Gegensatz zu Metallelektroden misst eine ISE kein Redox-Potential. Ist in der Probenlösung das Mession enthalten, kann dieses in die Membran eindringen. Dabei werden die elektrochemischen Eigenschaften der Membran verändert, was eine Potentialänderung bewirkt. Eine einhundertprozentige Selektivität für genau eine Ionensorte ist allerdings nur selten möglich. Die meisten ionenselektiven Elektroden weisen «nur» eine besondere Empfindlichkeit für eine spezielle Ionensorte auf, reagieren aber auch auf Ionen mit ähnlichen chemischen Eigenschaften oder ähnlicher Struktur (siehe Tabelle 7). Aus diesem Grund muss bei der Wahl der ISE immer die Querempfindlichkeit zu anderen Ionen, die in der Probenlösung enthalten sein können, berücksichtigt werden.

Eines der bekanntesten Beispiele für eine Querempfindlichkeit ist der so genannte Alkalifehler von pH-Glaselektroden. Bei manchen Glassorten erstreckt sich der lineare Bereich nicht über den ganzen pH-Bereich von 0 bis 14, sondern es ist zu beobachten, dass es bei hohen pH-Werten zu einer Abweichung von der Linearität kommt. Ursache hierfür ist, dass bei sehr geringen H^+ -Konzentrationen in der Lösung vorhandene Alkaliionen (evtl. durch Abscheidung aus der Gefäßwand) den Messwert verfälschen. Leider zeigen nur die wenigsten ionenselektiven Elektroden einen ähnlich grossen Linearitätsbereich wie pH-Glaselektroden. In der Regel ist der Gebrauch einer ISE auf 6-8 Konzentrationsdekaden beschränkt. Wird am Rande des Linearitätsbereiches einer ISE gemessen, muss die Nernst-Gleichung (Gl. (5), Abschnitt 1.2.) für die Auswertung des gemessenen Potentials um den Beitrag des jeweiligen Störions erweitert werden:

$$U = U_0 + \frac{2.303 * R * T}{z * F} * \log (a_M + K_S * a_S)$$

(Nicolskii-Gleichung) (10)

K_S ist der so genannte Selektivitätskoeffizient der ionenselektiven Elektrode für das Störion S. Er ist ein Faktor, der den Einfluss des Störions im Verhältnis zum Mession beschreibt. Diese Selektivitätskoeffizienten sind für die jeweils wichtigsten Störionen einer ISE bekannt und somit kann einfach abgeschätzt werden, ob ein in der Probenlösung enthaltenes Störion den Messwert beeinflusst oder nicht.

Direktmessung oder Standardaddition?

Oft stellt sich die Frage, welches Bestimmungsverfahren für welche Probe am geeignetsten ist. Prinzipiell kann eine Ionenmessung mit ionenselektiven Elektroden mittels drei verschiedener Verfahren durchgeführt werden:

Direktmessung

Die Direktmessung ist vor allem bei hohem Probenumsatz oder bei bekannter, einfacher Zusammensetzung der Probenlösung von Vorteil. Die ionenselektive Elektrode wird vor der eigentlichen Messung mit speziellen Standardlösungen des Messions dem Verfahren nach analog den pH-Glaselektroden kalibriert und kann anschliessend für mehrere Bestimmungen in Serie verwendet werden.

Standardaddition

Die Standardaddition empfiehlt sich, wenn nur gelegentlich eine Bestimmung durchgeführt wird oder wenn die Zusammensetzung der Probe unbekannt ist. Zu der Probenlösung werden in mehreren Schritten definierte Volumina einer Standardlösung des Messions zugesetzt. Aus dem Anfangspotential und den einzelnen Potentialstufen der Standardzugabe wird dann die Konzentration in der Ausgangslösung berechnet. Der Vorteil der Standardaddition ist, dass die ISE direkt in der Probenlösung kalibriert wird und damit alle Matrixeffekte eliminiert werden.

Probenaddition

Analog zur Standardaddition, allerdings werden hier zu einer definierten Menge eines Ionenstandards definierte Volumina der Probenlösung zugesetzt.

Moderne Ionenmeter wie die 781 und 867 Ionenmeter von Metrohm können diese Additionsverfahren automatisch durchführen. Die Zugabe der Proben- bzw. Standardlösung wird dabei vom Ionenmeter – mit nur einem Tastendruck – automatisch gesteuert und anhand der Nikolskii-Gleichung ausgewertet.

ISA und TISAB – wann und warum?

Der Aktivitätskoeffizient eines Ions (Abschnitt 1.2.) ist eine Funktion des Gesamtelektrolytgehalts. Aus diesem Grund muss darauf geachtet werden, dass ionenselektive Messungen in Lösungen mit annähernd gleicher Ionenstärke durchgeführt werden. Um dies zu erreichen, sollten der Probenlösung so genannte ISA-Lösungen (Ionic Strength Adjustment) oder TISAB-Lösungen (Total Ionic Strength Adjustment Buffer) zugesetzt werden (siehe Tabelle 7). Diese sind chemisch inert und besitzen eine so grosse Ionenstärke, dass die Ionenstärke der Probenlösung nach deren Zugabe vernachlässigt werden kann.

Tabelle 7: Störionen und empfohlene ISA- bzw. TISAB-Lösungen zu ionenselektiven Elektroden

Ion	Membranmaterial	pH-Bereich ¹	ISA bzw. TISAB ²	wichtigste Störionen ³	Anmerkungen
Ag ⁺	Kristall	2...8	c(KNO ₃) = 1 mol/L	Hg ²⁺ , Proteine	1) Der angegebene pH-Bereich gilt nur für ionenselektive Elektroden der Metrohm AG 2) Alternativen bzw. genaue Zusammensetzungen sind der Gebrauchsanweisung «Ion Selective Electrodes (ISE)», Bestellnummer 8.109.1476 zu entnehmen 3) Genauere Angaben zu den Störionen sowie weitere Störeinflüsse sind der Gebrauchsanweisung «Ion Selective Electrodes (ISE)», Bestellnummer 8.109.1476 zu entnehmen
Br ⁻	Kristall	0...14	c(KNO ₃) = 1 mol/L	Hg ²⁺ , Cl ⁻ , I ⁻ , S ²⁻ , CN ⁻	
Ca ²⁺	Polymer	2...12	c(KCl) = 1 mol/L	Pb ²⁺ , Fe ²⁺ , Zn ²⁺ , Cu ²⁺ , Mg ²⁺	
Cd ²⁺	Kristall	2...12	c(KNO ₃) = 1 mol/L	Ag ⁺ , Hg ²⁺ , Cu ²⁺	
Cl ⁻	Kristall	0...14	c(KNO ₃) = 1 mol/L	Hg ²⁺ , Br ⁻ , I ⁻ , S ²⁻ , S ₂ O ₃ ²⁻ , CN ⁻	
CN ⁻	Kristall	10...14	c(NaOH) = 0.1 mol/L	Cl ⁻ , Br ⁻ , I ⁻	
Cu ²⁺	Kristall	2...12	c(KNO ₃) = 1 mol/L	Ag ⁺ , Hg ²⁺ , S ²⁻	
F ⁻	Kristall	5...7	NaCl/Eisessig/CDTA	OH ⁻	
I ⁻	Kristall	0...14	c(KNO ₃) = 1 mol/L	Hg ²⁺ , S ²⁻ , S ₂ O ₃ ²⁻	
K ⁺	Polymer	2.5...11	c(NaCl) = 0.1...1 mol/L	TRIS ⁺ , NH ₄ ⁺ , Cs ⁺ , H ⁺	
Na ⁺	Glas	5...9	C(TRIS) = 1 mol/L	H ⁺ , Li ⁺ , K ⁺ , Ag ⁺	
Na ⁺	Polymer	3...12	c(CaCl ₂) = 1 mol/L	SCN ⁻ , K ⁺ , lipophile Ionen	
NH ₄ ⁺	Gasmembran	11	–	–	
NO ₃ ⁻	Polymer	2.5...11	c((NH ₄) ₂ SO ₄) = 1 mol/L	Cl ⁻ , Br ⁻ , NO ₂ ⁻ , OAc ⁻	
Pb ²⁺	Kristall	4...7	c(NaClO ₄ ·H ₂ O) = 1 mol/L	Ag ⁺ , Hg ²⁺ , Cu ²⁺	
S ²⁻	Kristall	2...12	c(NaOH) = 2 mol/L	Hg ²⁺ , Proteine	
SCN ⁻	Kristall	2...10	c(KNO ₃) = 1 mol/L	Cl ⁻ , Br ⁻ , I ⁻ , S ²⁻ , S ₂ O ₃ ²⁻ , CN ⁻	

Troubleshooting

Tabelle 8: Mögliche Störquellen und Hilfsmassnahmen für ionenselektive Elektroden

Elektrode	Störquelle	Auswirkungen	Massnahme
Ionenselektive Kristallmembran	Löseprozesse, Oxidationsprozesse	Rauhe Oberfläche → träges Einstellverhalten, geringere Nachweisgrenze	Polieren mit Poliertuch
	Elektrodengifte	Bildung schwerer löslicher Salze auf der Elektrodenoberfläche als mit Mession → Nullpunktverschiebung, reduzierter Linearitätsbereich	Polieren mit Poliertuch, störendes Ion maskieren
Ionenselektive Polymermembran	Löseprozesse	Diffusion in die Membran oder Herauslösen von Membrankomponenten	Eliminierung der störenden Komponenten
NH ₃ -Sensor	Flüchtige Basen (Amine)	Der Elektrolyt wird kontaminiert → Verschiebung der Kalibriergerade, beschränkte Linearität	Elektrolyt wechseln
	Tenside	Membrane wird benetzt → träges Einstellverhalten	Membrane auswechseln

1.4. Bezugs Elektroden

Bezugs Elektroden sind meist Elektroden 2. Art. Bei diesem Elektrodentypus befindet sich eine Metallelektrode in Kontakt mit einem schwerlöslichen Salz dieses Metalls. Das Potential ist nur von der Löslichkeit des Salzes abhängig. Elektroden 2. Art reagieren in erster Näherung nicht selbst mit der Lösung und liefern deshalb ein konstantes Potential.

Die gebräuchlichste Bezugs Elektrode ist die Silber/Silberchlorid-Bezugs Elektrode (Ag/AgCl/KCl). Auf den Einsatz der früher häufig verwendeten Kalomelektrode (Hg/Hg₂Cl₂/KCl) wird heute weitestgehend verzichtet, da Quecksilber und seine Salze hochgiftig sind und alle Applikationen auch mit der Silber/Silberchlorid-Bezugs Elektrode ausgeführt werden können. Die Normalwasserstoffelektrode NWE zählt ebenfalls zu den Elektroden

2. Art. Sie wird allerdings nur zu Kalibrierzwecken eingesetzt. Einige Titrations bieten die Möglichkeit, pH-Glaselektroden als Bezugs Elektroden einzusetzen. Auch wenn im Verlauf der Titrations Protonen umgesetzt werden, kann in der Regel eine präzise Endpunktsbestimmung erfolgen.

1.4.1. Silber/Silberchlorid-Bezugs Elektrode

Die Silber/Silberchlorid-Bezugs Elektrode enthält als Ableit element das System Silber/Silberchlorid/Kaliumchlorid-lösung: Ag/AgCl/KCl. Die Bezugs Elektrode ist meist mit c(KCl) = 3 mol/L oder mit gesättigter KCl-Lösung gefüllt. In den Tabellen 9 und 10 sind die Potentiale der Bezugs Elektrode in Abhängigkeit vom Bezugs Elektrolyten und der Temperatur angegeben. Diese Werte wurden jeweils unter isothermen Bedingungen gegen die Normalwasserstoffelektrode gemessen.

Tabelle 9: Temperatur- und Konzentrationsabhängigkeit der Standardredoxpotentiale der Silber/Silberchlorid-Bezugs Elektrode

Temp. (°C)	0	+10	+20	+25	+30	+40	+50	+60	+70	+80	+90	+95
E ⁰ (mV) mit c(KCl) = 3 mol/L	+224.2	+217.4	+210.5	+207.0	+203.4	+196.1	+188.4	+180.3	+172.1	+163.1	+153.3	+148.1
E ⁰ (mV) mit c(KCl) = sat.	+220.5	+211.5	+201.9	+197.0	+191.9	+181.4	+170.7	+159.8	+148.8	+137.8	+126.9	+121.5

Tabelle 10: Konzentrationsabhängigkeit der Standardredoxpotentiale der Silber/Silberchlorid-Bezugs Elektrode

c(KCl) / mol/L (25 °C)	0.1	1.0	3.0	3.5	sat.
E ⁰ (mV)	+291.6	+236.3	+207.0	+203.7	+197.0

1.4.2. Das MetroSensor-«Long Life»-Bezugssystem

Die meisten Elektroden sind mit dem Silber/Silberchlorid-Bezugssystem ausgestattet. Das Löslichkeitsprodukt von Silberchlorid in Wasser ist sehr klein (10^{-10} mol/L). In der konzentrierten, chloridhaltigen Lösung des Bezugs-elektrolyten bilden sich aber lösliche Komplexe der Reihe $(\text{AgCl}_2)^-$, $(\text{AgCl}_3)^{2-}$, $(\text{AgCl}_4)^{3-}$ aus. Das Bezugssystem birgt daher einige Probleme in sich. Ausserhalb der Elektrode ist die Chloridkonzentration häufig niedriger und das komplex gebundene Silberchlorid fällt im Bereich des Diaphragmas («liquid junction») aus. Die Folge: Ausgefällenes Silberchlorid blockiert das Diaphragma, die Einstellzeiten der pH-Elektrode verlängern sich und nach einiger Zeit wird die Elektrode träge. Ein weiteres Problem stellt die Temperaturabhängigkeit des Löslichkeitsproduktes von AgCl dar. Wird die Elektrode auf eine andere Temperatur gebracht, muss sich das für die Bezugs-elektrode potentialbestimmende Gleichgewicht neu einstellen. Je grösser die Oberfläche mit festem AgCl im Verhältnis zum Elektrolytvolumen ist, desto kürzer ist dieser Zeitraum. Das «Long Life»-Bezugssystem verhindert hohe Konzentrationen von komplexem AgCl im Aussen-elektrolyten, da das Silberchloridreservoir durch eine hochwirksame Diffusionssperre mit dem Aussen-elektrolyten verbunden ist. Die Konzentration der Silberkomplexe im Bezugs-elektrolyten bleibt gering. Selbst nach einem Jahr erreicht die Konzentration von

Silberchlorid im Aussen-elektrolyten erst 5 % des Sättigungswertes.

Die Vorteile des «Long Life»-Bezugssystems auf einen Blick:

- lange Lebensdauer der Elektrode
- kurze Einstellzeiten bei pH-Änderung
- schnelle Reaktion auf Temperaturwechsel
- weniger empfindlich gegen Elektrodenriffe, z.B. S^{2-}

Die Blockierung des Diaphragmas durch auskristallisiertes AgCl hat Auswirkungen auf den Elektrolytaustritt. Beim Einsatz des «Long Life»-Bezugssystems nimmt der Fluss der KCl-Lösung durch das Diaphragma in deionisiertem Wasser nur geringfügig ab.

Da im «Long Life»-Bezugssystem das Silberchlorid in einem geringen Volumen Kaliumchloridlösung vorhanden ist, stellt sich das thermodynamische Gleichgewicht zwischen Silber, Silberchlorid (fest) und Silberchlorid (gelöst) sehr schnell ein und das Potential der Bezugs-elektrode stabilisiert sich nach sehr kurzer Zeit.

1.4.3. Diaphragmen

Fehlmessungen, instabile Messwerte und sehr lange Einstellzeiten haben ihre Ursache meist in der «liquid junction» zwischen Messlösung und Bezugs-elektrode. Die dort entstehenden Diffusions-, Strömungs- und Donnanpotentiale – die zusammengefasst meist als Diaphragmapotential bezeichnet werden – haben verschiedene Ursachen und können die Messwerte erheblich verfälschen. Der Messfehler kann grosse Ausmasse annehmen, wenn unter den folgenden Bedingungen gemessen wird:

- mit verstopften, kaum noch durchlässigen Diaphragmen,
- in ionenarmen Lösungen mit ungeeigneten Diaphragmen,
- in starken Säuren und Laugen mit ungeeigneten Diaphragmen,
- in kolloidalen Lösungen.

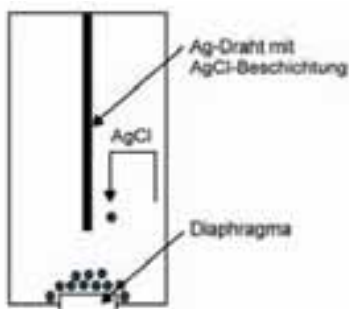


Abbildung 9: Konventionelles Ag/AgCl/KCl-System. Ausserhalb der Elektrode ist die Chloridkonzentration meistens geringer als im Elektrolytraum. Die löslichen Silberchlorid-Komplexe fallen in der Nähe des Diaphragmas aus und können es dadurch blockieren.

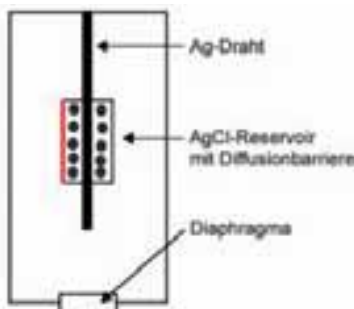


Abbildung 10: Das Metrohm «Long Life»-Bezugssystem. Das gelöste AgCl wird in der AgCl-Kartusche zurückgehalten und kann das Diaphragma nicht mehr blockieren.

In all diesen Fällen können nicht tolerierbare Fehler auftreten. Bei der Wahl der Elektrode und damit des optimalen Diaphragmatyps stehen deshalb folgende Fragen im Vordergrund:

- Reagiert der Bezugs elektrolyt mit der Messlösung unter Bildung eines Niederschlages im Diaphragma?
- Verändert der ausfliessende Elektrolyt die Zusammensetzung der Messlösung in nicht akzeptabler Weise?
- Besteht die Gefahr der Ablagerung von Komponenten der Messlösung auf dem Diaphragma?
- Ist die chemische Beständigkeit gegeben?
- Können physikalische Parameter wie Strömung, Druck oder Temperatur zu Messfehlern führen?
- Lässt der Prozess eine Wartung/Reinigung der Elektrode in bestimmten Intervallen zu?
- Ist eine kurze Einstellzeit und/oder hohe Reproduzierbarkeit gefordert?

Mit der richtigen Wahl der Elektrode kann der Reinigungs- und Wartungsaufwand meist erheblich verringert werden. Ursache der häufigsten Messprobleme ist die Kontamination des Diaphragmas. Bei pH-Elektroden liegt das Augenmerk der Wartungsmassnahmen deshalb beim Diaphragma und erst in zweiter Linie bei der pH-Membran. Falls mit den vorhandenen Mitteln nicht eruiert werden kann, ob die Indikatorelektrode oder die Bezugs elektrode einer Reinigung/Regenerierung bedarf, wird vorteilhaft zuerst die Bezugs elektrode behandelt. Um den mannigfaltigen Anforderungen gerecht zu werden, stehen verschiedene Diaphragmatypen zur Verfügung. Für die Elektrodenempfehlungen in den Applikationslisten auf den Seiten 6 und 7 sind diese Anforderungen bereits berücksichtigt.

Keramikstiftdiaphragmen

Keramikstiftdiaphragmen sind häufig verwendete Diaphragmen. Sie eignen sich vor allem für klare, wässrige Probenlösungen. Sie haben in der Regel Porendurchmesser bis 1 μm bei einer Länge und einem Durchmesser von jeweils rund 1 mm. Hieraus ergibt sich eine Ausflussgeschwindigkeit des Elektrolyten von bis zu 25 $\mu\text{L/h}$, je nach Zustand des Diaphragmas. Folglich muss der Bezugs elektrolyt nur selten nachgefüllt werden; mit einem Keramikstiftdiaphragma versehene Elektroden sind deshalb besonders gut für Langzeitmessungen geeignet.

Andererseits neigen Keramikdiaphragmen aufgrund ihrer kleinen Poren und der grossen polaren Oberfläche ($>>500 \text{ mm}^2$) zu Blockierungen und sollten daher nicht in niederschlaghaltigen Lösungen verwendet werden. Ein wichtiger Fortschritt in Bezug auf die Verhinderung der Blockierung des Diaphragmas durch Silberchlorid und Silbersulfid konnte durch die Einführung des «Long Life»-Bezugssystem erzielt werden (vgl. Kapitel «Das Metrosensor-Long Life-Bezugssystem»).

Schliffdiaphragmen mit festem oder lösbarem Schliff

Schliffdiaphragmen mit festem oder lösbarem Schliff werden u. a. in ionenarmen Medien eingesetzt, da sie ein ruhiges Signal bei nur geringer Strömungsabhängigkeit liefern. Die Gefahr der Blockierung durch Silberchlorid oder Niederschläge in der Probenlösung ist aufgrund der grossen Fläche verhältnismässig gering. Strömungspotentiale, die bei Messungen in bewegten bzw. gerührten Lösungen auftreten können, bleiben vernachlässigbar klein. Diese Eigenschaften sind bei einer SET-Titration auf einen definierten pH- oder Potentialwert besonders wichtig. Ein Beispiel: Die Bestimmung der Carbonatalkalität mittels SET-Titration auf pH 5.4 nach ISO 9963-2 ist in der Routineanalytik von Trinkwasser eine weit verbreitete Methode. Bei einer Titration kann nicht auf das Rühren verzichtet werden, d. h. aus einem falsch gemessenen pH-Wert oder Potential zu Beginn der Titration resultiert zwangsläufig ein falscher Endpunkt. Die Abbildungen 11 und 12 zeigen klar den Unterschied zwischen der speziell für diese Anwendung entwickelten Aquatrode Plus (6.0253.100) und einer herkömmlichen pH-Glaselektrode mit Keramikstiftdiaphragma.

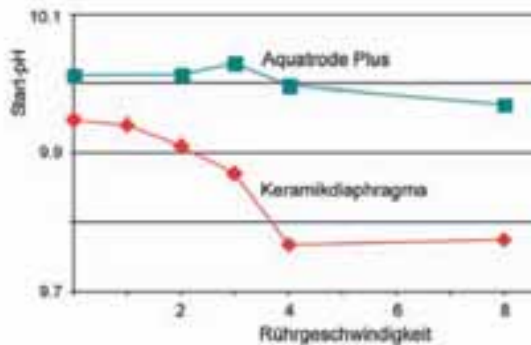


Abbildung 11: Gemessener pH-Wert einer Lösung mit $c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.14 \text{ mmol/L}$. Die Aquatrode Plus weicht selbst unter starkem Rühren nur um ca. 0.05 pH-Einheiten (das entspricht ca. 3 mV) vom ungerührten Wert ab, die pH-Glaselektrode mit Keramikstiftdiaphragma dagegen um ca. 0.2 pH-Einheiten.

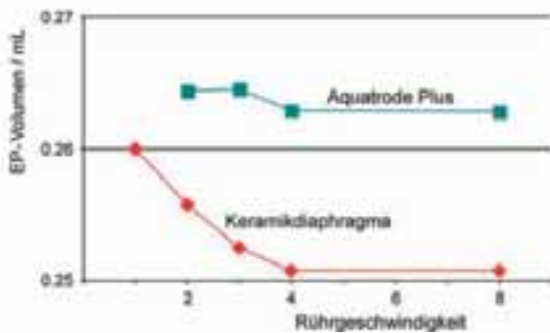


Abbildung 12: Endpunkt-Volumina der SET-Titration einer Lösung mit $c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.14 \text{ mmol/L}$ mit dem Titranten $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.035 \text{ mol/L}$ auf pH 5.4. Die Endpunkte der Aquatrode Plus sind von der Rührgeschwindigkeit nahezu unabhängig. Bei höheren Rührgeschwindigkeiten beträgt die Abweichung der pH-Elektrode mit Keramikdiaphragma vom theoretischen Sollwert ca. 5 %.

Festschliffdiaphragmen besitzen einen gleichmässigen reproduzierbaren Elektrolytausfluss und sind daher besonders für den Einsatz mit Probenwechslern geeignet.

Lösbare Schliffdiaphragmen lassen sich einfach reinigen und sind daher besonders für Anwendungen geeignet, bei denen eine Verschmutzung des Diaphragmas nicht verhindert werden kann. Der Ausfluss des Elektrolyten kann bis 100 $\mu\text{L/h}$ betragen und liegt in der Regel deutlich über der Menge Elektrolyt, die durch ein Keramik-

oder Festschliffdiaphragma austritt. Die ringförmige Geometrie und die kleine polare Oberfläche des Schliffdiaphragmas wirken sich günstig auf die Messung aus. Durch den höheren Elektrolytfluss wird die Messlösung stärker beeinflusst als beim Einsatz eines Keramikstiftdiaphragmas, ausserdem muss der Bezugs elektrolyt bei Dauermessungen in der Regel einmal täglich nachgefüllt werden.

Kapillardiaphragma

Bei pH-Messungen in kritischen Proben kommt es mit herkömmlichen Keramikdiaphragmen leicht zu Blockierungen der sehr kleinen Poren. Das in der Porotrode (6.0235.200) verwirklichte Konzept mit zwei Keramik-Kapillaren und einer Flussrate von 15...25 $\mu\text{L/h}$ sorgt zum einen für ungehinderten Kontakt zwischen Bezugs elektrolyt und Messlösung (Phasengrenze flüssig/flüssig), zum anderen sind die beiden Kapillaren der Porotrode praktisch unempfindlich gegenüber Verschmutzungen. Die Bezugs elektrode ist mit dem speziell für diese Elektrode entwickelten Porolyten gefüllt. Der konstante Ausfluss des Porolyten sorgt für eine rasche und reproduzierbare Potentialeinstellung. Die Ausflussrate und damit die Nachfüllintervalle sind mit denen herkömmlicher Elektroden vergleichbar. Weitergehende Wartungsarbeiten sind nicht erforderlich. Messungen in problematischen Proben können mit dem in der Porotrode verwirklichten Konzept einfach und reproduzierbar ausgeführt werden. Der pH-Wert von proteinhaltigen Proben, zum Beispiel Milch und Bier, lässt sich jetzt ohne Diaphragmaprobleme bestimmen. Im Gegensatz zu traditionellen pH-Elektroden misst die Porotrode selbst bei hohen Tensidkonzentrationen korrekt.

Twin pore-Diaphragma

Die pH-Messung in halbfesten Medien wie Käse, Fleisch und Früchten stellt besondere Anforderungen an eine Elektrode. Proteine, Fette, Kohlenhydrate und andere halbfeste Stoffe aus Nahrungsmitteln neigen dazu, das in den meisten pH-Elektroden eingesetzte feinporige Keramikdiaphragma zu blockieren, denn diese Substanzen haften ausserordentlich gut an der feinporigen Keramikoberfläche. Mit der Entwicklung der Einstich-Elektrode (6.0226.100) und des Polymerelektrolyten konnten diese Probleme elegant beseitigt werden: Zwei Lochdiaphragmen übernehmen die Funktion der «liquid junction» zwischen Messgut und Bezugselektrode. Der an die Öffnungen angrenzende, mit Kaliumchlorid dotierte und verfestigte Polymerelektrolyt ist weitgehend inert gegenüber Verschmutzungen durch protein- und fetthaltige Medien. Die Unempfindlichkeit gegenüber Verschmutzungen, die gegen eindringende Elektrodengifte wirksam geschützte Bezugselektrode und der optimierte Innenpuffer der Messelektrode verleihen der Einstich-Elektrode eine hervorragende Langzeitstabilität: Der Elektrodennullpunkt

bleibt auch bei Einsatz in schwierigen Medien langfristig stabil. Die Verwendung des Polymerelektrolyten macht das Nachfüllen eines flüssigen Bezugselektrolyten überflüssig.

Auch die neuen Ecotrode Gel-Elektroden (6.0221.X00) sind mit diesem Diaphragma, das einen geringen Wartungsaufwand ermöglicht, ausgestattet.

Platinzwirn

In Kombination mit dem glycerinhaltigen Bezugselektrolyten Idrolyt eignet sich das Platinzwirn-Diaphragma hervorragend für Anwendungen in biologischen Medien. Durch Verwendung eines Elektrolyten mit niedrigem KCl-Gehalt wird die Ausfällung von Proteinen unterdrückt. Das Multikapillarsystem (Kanäle zwischen den Platindrähten) vermindert Verschmutzungseffekte, und das elektrisch leitende Platin setzt die Einstellzeit und den Diaphragmawiderstand herab. In stark redoxgepufferten Lösungen können allerdings Querempfindlichkeiten auftreten.

Reinigung und Pflege von Diaphragmen

Tabelle 11: Reinigungsempfehlungen für Diaphragmen

Art des Diaphragmas	Art der Verschmutzung	Reinigung
Allgemein	Präventive und regelmässige Pflege	pHit Kit 6.2325.00 gemäss Anleitung
	Niederschläge von Silberhalogeniden und Silbersulfiden	Diaphragma mehrere Stunden in eine Lösung von Thioharnstoff 7 % in HCl 0.1 mol/L eintauchen.
	Proteine, Polypeptide	Diaphragma mehrere Stunden in eine Lösung von Pepsin 5 % in HCl 0.1 mol/L eintauchen.
	Suspensionen, Feststoffe, Harze, Leim, Öle, Fette	Elektrode mit geeignetem Lösungsmittel reinigen
Festschliff	Alle Arten von Verschmutzung	Bezugselektrolyten absaugen und Elektrode in die entsprechende Reinigungslösung eintauchen.
Lösbarer Schliff	Alle Arten von Verschmutzung	Die Schliffhülse lockern (gegebenenfalls unter Verwendung von heissem Wasser) und entsprechend der Art der Verschmutzung reinigen.
Kapillare	Elektrolytausfluss unterbrochen	Leichten Gegendruck an Elektrolyteinfüllöffnung anlegen

1.4.4. Bezugs- und Brückenelektrolyte

Der Bezugs- oder Brückenelektrolyt steht über das Diaphragma in galvanischem Kontakt mit der Messlösung. Messlösung und Elektrolyt bilden eine Phasengrenze mit unterschiedlichen Ionenkonzentrationen auf beiden Seiten. Dieser Konzentrationsunterschied bewirkt die Diffusion der Ionen zur jeweils anderen Seite und aufgrund der unterschiedlichen Ionenbeweglichkeiten bildet sich ein so genanntes Diffusionspotential aus. Um eine hohe Messgenauigkeit zu erzielen, muss die Elektrolytzusammensetzung so gewählt werden, dass möglichst

vernachlässigbare Diffusionspotentiale entstehen, was mit $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$ weitgehend erreicht wird. Zum einen sind die Ionenbeweglichkeiten von K^+ und Cl^- praktisch gleich, zum anderen ist die Ionenkonzentration in der Probenlösung im Vergleich zu $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$ normalerweise vernachlässigbar gering. Deshalb wird standardmässig in den kombinierten Metrohm-Elektroden und Bezugs Elektroden der äquitransferente KCl-Elektrolyt verwendet. Gewisse Medien erfordern jedoch andere Elektrolytzusammensetzungen, um Effekte, die zusätzlich zum Diffusionspotential auftreten, zu unterdrücken.

Tabelle 12: Alternativen zum Standardbezugselektrolyten $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$

Medium	Probleme mit dem Standardelektrolyten $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$	Alternativer Elektrolyt
Silberionen	Reaktion mit Cl^- unter Ausfällung von AgCl → Träges Einstellverhalten	KNO_3 1 mol/L (oder Titrode bei mehr oder weniger konstantem pH-Wert)
Nichtwässrig	Ausfällung von KCl, Lösungen und Elektrolyt nicht mischbar → Unruhiges Signal	LiCl 2 mol/L in Ethanol oder LiCl gesättigt in Ethanol
Ionenarmes Wasser Proteine/Polypeptide	Kontamination des Mediums mit Salz → Drift Ausfällung der Proteine mit KCl und AgCl → Nullpunktverschiebung/verminderte Steilheit	KCl-Lösung geringerer Konzentration Idrolyt ¹
Halbfeste Substanzen	Verschmutzung des Diaphragmas → Nullpunktverschiebung/träges Einstellverhalten	Festelektrolyt in Kombination mit Twin pore-Diaphragma
Tenside (Proteine)	Adsorption auf Diaphragma → Nullpunktverschiebung/verminderte Steilheit	Porolyt ²

¹ Idrolyt ist ein Elektrolyt auf Glycerinbasis, dessen Chloridionenaktivität derjenigen einer KCl-Lösung mit $c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$ entspricht. Diese letztere kann also ohne weiteres durch Idrolyt ersetzt werden. Idrolyt eignet sich ausgezeichnet für eiweisshaltige Lösungen und wässrige Lösungen mit organischem Anteil.

² Porolyt ist eine durch Polymerisation gelierte KCl-Lösung und findet in Elektroden mit Kapillardiaphragma (Porotrode) Verwendung.

Tabelle 13: Elektrolytausflussraten und Viskositäten

Elektrolyt	Viskosität (25 °C) (mPas)	Ausflussrate $\mu\text{L/h}$ (10 cm Wassersäule)				
		Keramikstift	Flexibler Schliff	Festschliff	Keramikkapillare	Pt-Zwirn
$c(\text{KCl}) = 3 \text{ mol/L}$	~1	Standardelektrode 5...25 Mikroelektrode 5...15	\varnothing 10 mm: 20...100 \varnothing 5 mm: 5...30	5...30	–	–
$c(\text{KNO}_3) = 1 \text{ mol/L}$	~1	10...25	\varnothing 10 mm: 20...100 \varnothing 5 mm: 5...30	–	–	–
Idrolyt	8...10	–	–	–	–	3...25
Porolyt	1200...1500	–	–	–	5...30	–

2. Grundlagen der Konduktometrie

96

2.1. Allgemeines

Konduktometrie bedeutet Leitfähigkeitsmessung – ein Konduktometer misst die elektrische Leitfähigkeit von Ionen in Lösung. Hierzu wird zwischen zwei Elektroden ein elektrisches Feld angelegt. Die Ionen wandern in diesem Feld. Die Anionen wandern zur Anode und die Kationen zur Kathode. Um Stoffumsetzungen und die Ausbildung von Diffusionsgrenzschichten (Polarisation) an den Elektroden zu vermeiden, wird mit Wechselspannung gearbeitet. Es gilt dabei die Faustregel, dass mit zunehmender Ionenkonzentration die Frequenz der Wechselspannung erhöht werden muss.

Die Ionenwanderung im elektrischen Feld hängt von vielen Faktoren ab. Die Temperatur hat entscheidenden Einfluss auf die Viskosität der Lösung und damit auf die Beweglichkeit der Ionen. Mit steigender Temperatur nimmt die Viskosität ab und die Leitfähigkeit zu. Dissoziationskonstanten sind ebenfalls temperaturabhängige Größen. Deshalb ist es wichtig, bei konstanter Temperatur zu messen oder Temperaturänderungen mit Hilfe des so genannten Temperaturkoeffizienten zu kompensieren. Der Temperaturkoeffizient der meisten Salzlösungen liegt bei ca. 2 %/°C, ist jedoch in stark verdünnten Lösungen von der Temperatur abhängig.

Die eigentliche Messgröße der Leitfähigkeitsmessung ist der elektrische Widerstand der Lösung. Die Leitfähigkeit ist also ein Summenparameter, der alle gelösten Ionen umfasst. Die Leitfähigkeit kann nicht für die Bestimmung einer einzelnen Ionensorte verwendet werden, es sei denn, die Probe ist eine Lösung eines einzigen Salzes oder die Konzentrationen anderer Ionen sind bekannt. Der reziproke Wert des gemessenen Widerstandes der Lösung, der so genannte Leitwert L mit der Einheit Siemens ($S = \Omega^{-1}$) ist für sich alleine nur wenig aussagekräftig, da die Geometrie der Messzelle berücksichtigt werden muss. Die Zellkonstante c einer konduktometrischen Messzelle

$$c = \frac{\text{Abstand der Platinbleche}}{\text{Elektrodenoberfläche}} \text{ [cm}^{-1}\text{]}$$

Zellkonstante (11)

muss bekannt sein. Das Messergebnis wird als spezifische Leitfähigkeit κ , z. B. mit der Einheit Siemens pro cm ($S \cdot \text{cm}^{-1}$) angegeben.

$$\kappa = L * c \text{ [S cm}^{-1}\text{]}$$

Spezifische Leitfähigkeit (12)

Die Konduktometer müssen daher vor jeder Messung durch Ermittlung der Zellkonstante in einer Lösung bekannter spezifischer Leitfähigkeit kalibriert werden. Die spezifische Leitfähigkeit ist für viele Salze in unterschiedlichen Konzentrationen tabelliert. Die spezifische Leitfähigkeit κ ist über die konzentrationsabhängige Äquivalenzleitfähigkeit Λ_i mit der Konzentration c_i der Einzelionen i verknüpft. Die Äquivalenzleitfähigkeit Λ_i steht in Analogie zum Aktivitätskoeffizienten γ (vgl. Kapitel 1.2.) und ist ebenfalls eine konzentrationsabhängige Größe.

$$\kappa = \sum (\Lambda_i * z_i * c_i)$$

Spezifische Leitfähigkeit und Konzentration (13)

Bei grosser Verdünnung, d.h. $c_i \leq 0.001$ mol/L kann die Äquivalenzleitfähigkeit Λ_i der tabellierten Äquivalenzleitfähigkeit bei unendlicher Verdünnung gleichgesetzt werden.

Tabelle 14: Leitfähigkeit K verschiedener Materialien und Lösungen

Leiter	T (K)	Leitfähigkeit aufgrund von	Leitfähigkeit K ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
Metallisches Kupfer	273	Elektronenleitung	645'000'000'000
Kaliumhydroxidlösung ($c = 1 \text{ mol/L}$)	291	Ionenleitung infolge vollständiger Dissoziation von KOH	184'000
KCl-Lösung ($c = 0.1 \text{ mol/L}$)	293	Ionenleitung infolge vollständiger Dissoziation von KCl	11'660
Brackwasser	273	Ionenleitung infolge von Dissoziation von Salzen und Kohlensäure	20'000 bis 1'000'000
Essigsäure ($c = 1 \text{ mol/L}$)	291	Ionenleitung infolge teilweiser Dissoziation der $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	1'300
Trinkwasser	298	Ionenleitung infolge von Dissoziation von Salzen und Kohlensäure	10 bis 2'000
Graphit	273	Elektronenleitung	1'200
Destilliertes H_2O	273	Ionenleitung infolge von Salzverunreinigungen, Dissoziation von Wasser und Kohlensäure	0.06...10
Reinstwasser	273	Ionenleitung infolge von geringer Eigendissoziation	0.056
Reines Benzol	273	Ionenleitung infolge von Dissoziation von Wasserspuren	0.00000005

Die Konduktometrie wird für Direktmessungen und in der Titration eingesetzt. Die Grundlagen sind für beide Verfahren identisch. Während in der Direktmessung der absolute Wert interessiert, betrachtet man in der Titration die Veränderung der Messwerte. Die Direktmessung wird häufig für die Überwachung von Oberflächenwässern, Wasserwerken, Wasserentsalzungsanlagen und in der Reinstwasserherstellung eingesetzt, wo bestimmte Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen. Die Leitfähigkeitsdetektion wird meist bei Fällungstitrationen eingesetzt. Der Äquivalenzpunkt wird dort an einem Minimum der Leitfähigkeit erkannt. Der absolute Wert ist nur von untergeordneter Bedeutung.

Leitfähigkeitsmessung

Während die Messgeräte in der Potentiometrie standardisiert sind (Eingangsimpedanz $>10^{12} \Omega$, Nullpunkt bei pH 7), trifft dies bei Konduktometern nicht zu. Der Einfluss der Kabelkapazität, die Höhe der Messfrequenz, der Bereich der Leitfähigkeit und der einstellbaren Zellkonstante, die Methode der Leitfähigkeitsmessung (phasenempfindlich, frequenzabhängig, bipolarer Puls etc.) ist unterschiedlich und vom Gerätetyp abhängig. Bei der Lösung von Applikationsproblemen muss somit das Gerät in die Betrachtungen mit einbezogen werden. Wichtige Parameter sind:

- Qualität der Platinierung (Platinschwarz) \rightarrow hohe Seriekapazität C_s
- Grösse der Elektrodenfläche $A \rightarrow$ hohe Seriekapazität C_s
- Zellkonstante c
- Messfrequenz f
- Kabelkapazität C_p
- Kabelwiderstand R_k
- Messbereich des Gerätes (Widerstandsbereich)

Die Wahl der richtigen Zellkonstante

Für konduktometrische Messzellen ist die Zellkonstante c definiert. Eine Messzelle mit zwei parallelen Elektroden im Abstand von 1 cm und einer Fläche von je 1 cm² hat theoretisch die Zellkonstante $c = l \cdot A^{-1} = 1 \text{ cm}^{-1}$. Die Zellkonstante ist nie genau gleich $l \cdot A^{-1}$, da das elektrische Feld nicht streng homogen verläuft. Für die Auswahl der richtigen Messzelle gelten die in Tabelle 15 aufgeführten Faustregeln:

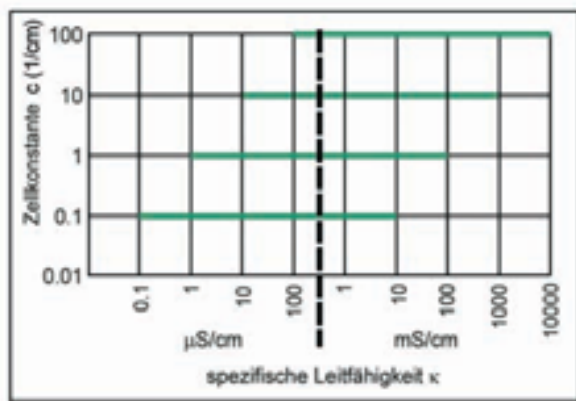


Abbildung 13: Zellkonstanten und empfohlene Leitfähigkeitsintervalle

Störungen, Pflege

Leitfähigkeitsmesszellen mit Pt-Bleichen

Die Leitfähigkeitszellen weisen einen hochporösen schwarzen Platinüberzug auf, um Polarisierungseffekte in höher leitenden Medien zu vermeiden. Die Eigenschaften dieses Überzuges können sich aber mit der Zeit verändern (Verschmutzung, Abtragung des Platinüberzuges etc.), wodurch die Zellkonstante verändert werden kann. Daher ist die Kalibrierung der konduktometrischen Messzelle vor einer Messung unbedingt notwendig, um Messfehler zu vermeiden. Bei Zellen mit einer Zellkonstante $< 1 \text{ cm}^{-1}$ wird zu deren exakten Bestimmung ein Leitfähigkeitsstandard mit ca. $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ empfohlen. Wird in gut leitenden Medien gemessen, so empfiehlt sich zusätzlich eine Überprüfung der Aktivität der Platinschicht, z.B. in einer $0,1 \text{ mol/L}$ KCl-Lösung. Wird eine tiefere spezifische Leitfähigkeit angezeigt, ist eine Reinigung mit geeigneten Oxidations- oder Lösungsmitteln erforderlich.

Bei Messungen in ionenarmem Wasser kann auf häufiges Kalibrieren verzichtet werden, da hier die Aktivität (Seriekapazität) der Platinschicht von geringer Bedeutung ist und nicht mit Ablagerungen von hochisolierenden Stoffen zu rechnen ist. Nach der Kalibrierung muss die Messzelle gründlich gespült werden, um Verfälschungen der Messergebnisse durch anhaftende KCl-Lösung zu vermeiden.

Tabelle 15: Empfohlene Zellkonstanten

Zellkonstante	Probe
$c = 0,1 \text{ cm}^{-1}$	Für sehr schlecht leitende Lösungen wie destilliertes Wasser, vollentsalztes oder teilentsalztes Wasser etc. Für Anwendungen nach USP <645> und EP 2.2.38
$c = 1 \text{ cm}^{-1}$	Für mässig leitende Lösungen wie Trinkwasser, Oberflächenwasser, Abwasser etc.
$c = 10 \text{ cm}^{-1}$	Für gut leitende Lösungen wie Meerwasser, Spülwasser, physiologische Lösungen etc.
$c = 100 \text{ cm}^{-1}$	Für sehr gut leitende Lösungen wie Galvanikbäder, Sole etc.

Leitfähigkeitsmesszellen aus Edelstahl

Diese sind in der Regel wesentlich unempfindlicher gegenüber Verschmutzung oder Korrosion. Nichtsdestotrotz sollten diese Messzellen ebenfalls vor den Mes-

sungen kalibriert werden, um eine grösstmögliche Messgenauigkeit zu erreichen. Zur Reinigung sollten nur Wasser bzw. Ethanol verwendet werden.

Tabelle 16: Leitfähigkeitsmessung – Störungen

Störquelle	Auswirkungen	Massnahmen
Tiefe Leitfähigkeit mit offenem Gefäss	Zu hohe Werte, Drift	Atmosphärisches CO ₂ mittels Inertgas (Ar, N ₂) austreiben oder Durchflusszelle verwenden, Einschleppen von Salzlösungen (z.B. zu häufiges Kalibrieren, ungenügendes Spülen) vermeiden
Öle, Fällungsprodukte	Isolierende Schicht auf Elektroden → Zellkonstante nimmt zu, Messbereich nach höheren Werten limitiert	Reinigung mit Lösungs- oder Oxidationsmitteln
Temperatur instabil	Instabile Werte	Temperaturkompensation, wenn der Temperaturkoeffizient bekannt ist, oder thermostatisieren (Temperaturkoeffizient i. A. ca. 2 %/°C)
Leitwert abhängig von der Lage der Elektrode	Streifelder ausserhalb des Elektroden-schaftes (insbesondere bei Zellen mit Konstante >1 cm ⁻¹ kritisch) → Messwert verschoben	Gefässabstand bei Kalibrierung und Messung beachten oder Zellkonstante 1 cm ⁻¹ wählen 5-Ring-Leitfähigkeitsmesszellen verwenden
Fremdsalze	Verschleppung von Restsalzen beim Wechsel in Lösungen geringerer Leitfähigkeit → Drift nach höheren Werten	Gute vorgängige Spülung der Elektrode
Luftblasen	Luftblase sitzt zwischen Elektrodenplatten → unruhiges Signal	Durch Klopfen Luftblase entfernen

2.2. Leitfähigkeitsmessung in Wasser für den pharmazeutischen Gebrauch nach USP und Pharm. Europe (EP)

Für die Leitfähigkeitsmessung in Wasser für den pharmazeutischen Gebrauch («water for injections») nach USP <645>, EP 2.2.38 bzw. der EP 4.8-07/2004:0169 werden besondere Anforderungen gestellt. Neben einem Präzisionskonduktometer mit abschaltbarer Temperaturkompensation sind eine konduktometrische Messzelle

und ein Leitfähigkeitsstandard zu verwenden, die eine Bestimmung der Zellkonstante mit einer Messunsicherheit von maximal 2 % ermöglichen. Die Messung der Probe sollte dann unter Luftausschluss bzw. in einer Durchflusszelle durchgeführt werden, um die Aufnahme von Kohlendioxid zu verhindern. Die Probe erfüllt die Spezifikation, wenn eine der folgenden drei Bedingungen erfüllt ist.

Stufe 1:

Die Probe wird ohne weitere Vorbehandlung und ohne Temperaturkompensation direkt gemessen. Erfüllt das Wasser die in Tabelle 17 angegebene Spezifikation, gilt der Test als bestanden.

Stufe 2:

Werden die Bedingungen von Stufe 1 nicht erfüllt, muss wie folgt fortgefahren werden: Die Leitfähigkeit von mindestens 100 mL der Probe wird unter starkem Rühren bei $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ gemessen, sobald die durch die Aufnahme von Kohlendioxid verursachte Drift kleiner als $0.1\text{ }\mu\text{S/cm}$ pro fünf Minuten ist. Ist der gemessene Wert kleiner als $2.1\text{ }\mu\text{S/cm}$, gilt der Test als bestanden.

Stufe 3:

Erfüllt die Probe auch die Spezifikation aus Stufe 2 nicht, versetzt man exakt 100 mL Probe mit 0.3 mL einer gesättigten KCl-Lösung und misst den pH-Wert dieser Lösung auf 0.1 pH-Einheiten genau. Nur wenn die Leitfähigkeit die in Tabelle 18 aufgeführte Bedingung erfüllt, gilt der Test als bestanden; anderenfalls kann das Wasser nicht für pharmazeutische Zwecke benutzt werden.

Tabelle 17: Erste Stufe der Leitfähigkeitsmessung nach USP <645> und EP 4.8-07/2004:0169.

Temperatur	Leitfähigkeit nicht grösser als ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatur	Leitfähigkeit nicht grösser als ($\mu\text{S/cm}$)
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 18: pH- und Leitfähigkeitskriterien für Stufe 3:

pH	Leitfähigkeit nicht grösser als ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Leitfähigkeit nicht grösser als ($\mu\text{S/cm}$)
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		

3. Temperaturmessung

Von der Vielfalt der angebotenen Elektroden sind nur wenige mit einem integrierten Temperaturfühler ausgerüstet. Der Entscheid, ob eine Temperaturmessung/-kompensation erforderlich ist, hängt von den Genauigkeitsanforderungen ab. Unterschiedliche Diffusionspotentiale, z.B. in hochkonzentrierten oder stark verdünnten Lösungen, Veränderung des Diaphragmas oder des Membranglases, können Messfehler zur Folge haben, die den Fehler weit übersteigen, der durch den Verzicht

auf eine Temperaturkompensation entsteht. Unter diesen Umständen kann auf die Verwendung eines Temperaturfühlers verzichtet werden.

Wird jedoch eine hohe Reproduzierbarkeit der Messwerte verlangt oder müssen GLP-Auflagen erfüllt werden, so ist eine Temperaturmessung/-kompensation unabdingbar.

Tabelle 19: Temperaturmessung respektive Temperaturkompensation ja oder nein?

Messanforderungen	Temperaturkompensation oder -messung
Sind GLP-Anforderungen zu erfüllen?	Ja: Temperaturmessung
Ist hohe Messgenauigkeit gefordert?	Ja: Temperaturkompensation (vgl. Nernst-Spannung)
Direktmessung?	Ja: Temperaturkompensation (vgl. Nernst-Spannung)
Titration?	Nein: Relativmessung
Weisen die Proben einen pH-Wert um 7 auf?	Ja: Temperaturkompensation nicht zwingend (geringer Einfluss, da sich der Elektrodennullpunkt bei pH = 7 befindet), evtl. Temperaturmessung
Liegen die pH-Werte deutlich ausserhalb pH 7?	Ja: Temperaturkompensation (vgl. Nernst-Spannung)
Wird bei verschiedenen Temperaturen gemessen?	Ja: Temperaturkompensation/-messung (vgl. Nernst-Spannung)
Ist der pH-Wert der Messlösung stark temperaturabhängig?	Ja: Temperaturmessung (Angabe der Messtemperatur)
Verlangt die Anwendung andere Diaphragmentypen als Keramikstifte, Festschliffdiaphragma oder Twin pore-Diaphragma?	Ja: Separater Temperaturfühler (Elektroden mit integriertem Temperaturfühler sind nur mit Keramikstift und Festschliff erhältlich)
Ist die Standzeit der Elektrode zu kurz?	Ja: Zur Kostenreduktion separater Temperaturfühler

Technische Spezifikationen

6.01-6.02 pH-Glas-Elektroden	Max. Einbaulänge (mm)	Schaftdurchmesser (mm)	Schaftdurchmesser unten (mm)	Min. Eintauchtiefe (mm)	Schaftmaterial	Steckkopf	Temperaturfühler	Temperaturbereich kurzfristig (°C)	Temperaturbereich langfristig (°C)	Form	pH-Bereich
6.0150.100	142	12	12	15	Glas	G		0...80	0...80	Kugel	0...14
6.0220.100	113	12	12	15	PP	G		0...80	0...80	Halbkugel	0...14
6.0221.100	125	12	12	20	Glas	G		0...60	0...60	Halbkugel	1...11
6.0221.600	125	12	12	20	Glas	G	NTC	0...60	0...60	Halbkugel	1...11
6.0224.100	113	12	3	7	Glas	G		0...60	0...60	Halbkugel	1...11
6.0226.100	98	12	6	10	Glas	G		0...60	0...40	Nadel	1...11
6.0228.000	113	12	12	15	PP	Fixkabel mit Stecker F	Pt1000 (4 mm)	0...80	0...80	Halbkugel	0...14
6.0228.010	113	12	12	15	PP	Fixkabel mit Stecker F	NTC (2 mm)	0...80	0...80	Halbkugel	0...14
6.0228.020	113	12	12	15	PP	Fixkabel mit Stecker I (IP67)	NTC (2 mm)	0...80	0...80	Halbkugel	0...14
6.0229.100	113	12	12	30	Glas	G		0...70	0...70	Kugel	0...14
6.0233.100	113	12	12	20	Glas	G		0...80	0...80	Halbkugel	0...14
6.0234.100	113	12	6.4	20	Glas	G		0...80	0...80	Halbkugel	0...14
6.0234.110	168	12	6.4	20	Glas	G		0...80	0...80	Halbkugel	0...14
6.0235.200	125	12	12	20	Glas	G		0...80	0...80	Halbkugel	0...14
6.0239.100	113	12	12	30	Glas	G		0...80	0...80	Halbkugel	0...14
6.0248.020	288	12	12	25	Glas	Fixkabel mit Stecker F	Pt1000 (4 mm)	0...100	0...80	Zylinder	0...14
6.0248.030	438	12	12	25	Glas	Fixkabel mit Stecker F	Pt1000 (4 mm)	0...100	0...80	Zylinder	0...14
6.0253.100	125	12	12	20	Glas	G		0...60	0...60	Kugel	0...13
6.0255.100	113	12	12	30	Glas	G		0...100	0...70	Zylinder	0...14
6.0255.110	170	12	12	30	Glas	G		0...100	0...70	Zylinder	0...14
6.0255.120	310	12	12	30	Glas	G		0...100	0...70	Zylinder	0...14
6.0256.100	125	12	12	1	Glas	G		0...70	0...60	Flachmembran	0...13
6.0257.000	125	12	12	20	Glas	Fixkabel mit Stecker F	Pt1000 (4 mm)	0...60	0...60	Kugel	0...13
6.0257.020	260	12	12	20	Glas	Fixkabel mit Stecker F	Pt1000 (4 mm)	0...60	0...60	Kugel	0...13
6.0258.000	113	12	12	25	Glas	Fixkabel mit Stecker F	Pt1000 (4 mm)	0...100	0...80	Zylinder	0...14
6.0258.010	113	12	12	25	Glas	Fixkabel mit Stecker F	Pt1000 (2 mm)	0...100	0...80	Zylinder	0...14
6.0258.600	113	12	12	30	Glas	K	Pt1000	0...100	0...80	Zylinder	0...14
6.0259.100	113	12	12	25	Glas	G		0...100	0...80	Zylinder	0...14
6.0262.100	113	12	12	20	Glas	G		0...80	0...80	Halbkugel	0...13
6.0269.100	125	12	12	20	Glas	G		0...80	0...80	Kugel	0...13
6.0277.300	125	12	12	20	Glas	K	Pt1000	0...60	0...60	Kugel	0...13
6.0278.300	113	12	12	30	Glas	K	Pt1000	0...100	0...80	Zylinder	0...14
6.0279.300	113	12	12	30	Glas	K		0...70	0...70	Kugel	0...14
6.0280.300	113	12	12	20	Glas	K		0...80	0...80	Halbkugel	0...13

Membranglas	Membranwiderstand (M Ω)	Elektrodennullpunkt (mV)	Elektrodensteilheit	Asymmetriepotential (mV)	Diaphragma	Referenzelektrolyt	Elektrolytaustritt (μ L/h)	Referenzsystem	Referenzwiderstand (k Ω)
T	40...150	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	-	c(KCl)=3 mol/L	-	-	-
T	200...400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Keramik	c(KCl)=3 mol/L	3...10	LL-System	5
E	<400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Twin pore	Gel	0	LL-System	<20
E	<400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Twin pore	Gel	0	LL-System	<20
M	300...600	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Platinzwirn	Idrolyt	3...30	LL-System	30
T	200...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Twin pore	Gel	0	LL-System	20
T	200...400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Keramik	c(KCl)=3 mol/L	3...10	LL-System	5
T	200...400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Keramik	c(KCl)=3 mol/L	3...10	LL-System	5
T	200...400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Keramik	c(KCl)=3 mol/L	3...10	LL-System	5
T	40...150	10...60	>0.90	0... \pm 15	Schliff	LiCl/EtOH	0.4...1.2	LL-System	<100
T	150...400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Keramik	c(KCl)=3 mol/L	10...25	LL-System	5
T	200...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Keramik	c(KCl)=3 mol/L	5...15	LL-System	5
T	200...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Keramik	c(KCl)=3 mol/L	5...15	LL-System	5
T	200...400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Doppelkapillare (Keramik)	Porolyt	5...30	LL-System	<15
T	150...400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Schliff	c(KCl)=3 mol/L	20...100	LL-System	5
U	150...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	3...30	LL-System	5
U	150...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	3...30	LL-System	5
A	80...200	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L (gel)	5...20	LL-System	50
U	150...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Schliff	c(KCl)=3 mol/L	20...100	LL-System	5
U	150...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Schliff	c(KCl)=3 mol/L	20...100	LL-System	5
U	150...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Schliff	c(KCl)=3 mol/L	20...100	LL-System	5
spez.	<2000	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	<2	LL-System	5
A	80...200	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L (gel)	5...20	LL-System	50
A	80...200	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L (gel)	5...20	LL-System	50
U	150...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	3...30	LL-System	5
U	150...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	3...30	LL-System	5
U	150...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	3...30	LL-System	5
U	150...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	3...30	LL-System	5
E	150...400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	5...30	LL-System	5
E	80...200	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	5...30	LL-System	10
A	80...200	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	Gel	5...20	LL-System	50
U	150...500	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	3...30	LL-System	5
T	40...500	10...60	>0.90	0... \pm 15	Schliff	LiCl/EtOH	0.4...1.2	LL-System	<100
E	<400	0... \pm 15	>0.97	0... \pm 15	Festschliff	c(KCl)=3 mol/L	5...30	LL-System	<5

Technische Spezifikationen

104

6.03 Getrennte Metallelektroden	Max. Einbaulänge (mm)	Schaftdurchmesser (mm)	Schaftdurchmesser unten (mm)	Min. Eintauchtiefe (mm)	Schaftmaterial	Steckkopf	Art	Temperaturbereich kurzfristig (°C)	Temperaturbereich langfristig (°C)	Form	Messbereich	pH-Bereich
6.0301.100	125	12	12	10	Glas	G	Pt	-20...70	-20...70	Draht	-2000...2000 mV	0...14
6.0309.100	101	12	12	10	Glas	G	Pt	-20...70	-20...70	Blech	-2000...2000 mV	0...14
6.0338.100	96	8	8	5	Glas	G	Pt	-20...70	-20...70	Draht	-2000...2000 mV	0...14
6.0340.000	103	5.3	5.3	10	Glas	Fixkabel/ Stecker F	Pt	-20...70	-20...70	Draht	-2000...2000 mV	0...14
6.0341.100	101	12	8.75	10	Glas	G	Pt	-20...70	-20...70	Draht	-2000...2000 mV	0...14
6.0343.000	86	8	8	10	Kunststoff	Klemmanschluss VA	Pt	0...80	0...80	Stift	-2000...2000 mV	0...14
6.0344.100	147	24	24	15	Glas	G	Pt	-20...70	-20...70	Netz/Netz		0...14
6.0345.100	147	24	24	15	Glas	G	Pt	-20...70	-20...70	Netz/Blech		0...14
6.0350.100	125	12	12	7	Glas	G	Ag	-20...80	-20...80	Ring	-2000...2000 mV	0...14
6.0351.100	125	12	12	7	Glas	G	Pt	-20...80	-20...80	Ring	-2000...2000 mV	0...14
6.0352.100	125	12	12	7	Glas	G	Au	-20...80	-20...80	Ring	-2000...2000 mV	0...14

6.04 Kombinierte Metallelektroden	Max. Einbaulänge (mm)	Schaftdurchmesser (mm)	Schaftdurchmesser unten (mm)	Min. Eintauchtiefe (mm)	Schaftmaterial	Steckkopf	Art	Temperaturbereich kurzfristig (°C)	Temperaturbereich langfristig (°C)	Form	Messbereich	pH-Bereich	Diaphragma	Referenzelektrolyt	Elektrolytaustritt (µL/h)	Diaphragmawiderstand (kΩ)	Referenzsystem	Referenzwiderstand (kΩ)
6.0421.100	113	12	12	10	Noryl/ PP	G	Sb-Stift	0...70	0...70			2...11	Keramik	c(KCl)= 3 mol/L	3...10	1.2...1.8	LL-System	5
6.0430.100	125	12	12	20	Glas	G	Ag/pH	0...80	0...80	Ring/ Halbkugel	-2000...2000 mV	0...14					pH	150...400
6.0431.100	125	12	12	20	Glas	G	Pt/pH	0...80	0...80	Ring/ Halbkugel	-2000...2000 mV	0...14					pH	150...400
6.0433.110	178	12	6.4	15	Glas	G	Ag/pH	0...80	0...80	Ring/ Halbkugel	-2000...2000 mV	0...14					pH	200...500
6.0434.110	178	12	6.4	15	Glas	G	Pt/pH	0...80	0...80	Ring/ Halbkugel	-2000...2000 mV	0...14					pH	200...500
6.0435.110	178	12	6.4	15	Glas	G	Au/pH	0...80	0...80	Ring/ Halbkugel	-2000...2000 mV	0...14					pH	200...500
6.0450.100	113	12	12	15	Glas	G	Ag	-5...80	-5...80	Ring	-2000...2000 mV	0...14	Keramik	c(KNO ₃)= 1 mol/L	10...25	0.4...0.9	LL-System	5
6.0451.100	113	12	12	15	Glas	G	Pt	-5...80	-5...80	Ring	-2000...2000 mV	0...14	Keramik	c(KCl)= 3 mol/L	10...25	0.4...0.9	LL-System	5
6.0452.100	113	12	12	15	Glas	G	Au	-5...80	-5...80	Ring	-2000...2000 mV	0...14	Keramik	c(KCl)= 3 mol/L	10...25	0.4...0.9	LL-System	5
6.0470.300	125	12	12	20	Glas	K	Ag/pH	0...80	0...80	Ring/ Halbkugel	-2000...2000 mV	0...14					pH	150...400
6.0471.300	125	12	12	20	Glas	K	Pt/pH	0...80	0...80	Ring/ Halbkugel	-2000...2000 mV	0...14					pH	200...500

6.05 Ionenselektive Elektroden	Max. Einbaulänge (mm)	Schaftdurchmesser (mm)	Schaftdurchmesser unten (mm)	Min. Eintauchtiefe (mm)	Schaftmaterial	Steckkopf	Art	Temperaturbereich kurzfristig (°C)	Temperaturbereich langfristig (°C)	Form	Messbereich	pH-Bereich
6.0501.100	86	12	12	20	Glas	G	Glas (Na)	0...80	0...80	Kugel	1x10 ⁻⁵ ...1 mol/L	5...9
6.0502.100	123	12	12	1	EP	G	Kristall (Br)	0...50	0...50	plan	5x10 ⁻⁶ ...1 mol/L	0...14
6.0502.110	123	12	12	1	EP	G	Kristall (Cd)	0...80	0...80	plan	1x10 ⁻⁷ ...0.1 mol/L	2...12
6.0502.120	123	12	12	1	EP	G	Kristall (Cl)	0...50	0...50	plan	5x10 ⁻⁶ ...1 mol/L	0...14
6.0502.130	123	12	12	1	EP	G	Kristall (CN)	0...80	0...80	plan	8x10 ⁻⁶ ...10 ⁻² mol/L	10...14
6.0502.140	123	12	12	1	EP	G	Kristall (Cu)	0...80	0...80	plan	1x10 ⁻⁸ ...0.1 mol/L	2...12
6.0502.150	123	12	12	1	EP	G	Kristall (F)	0...80	0...80	plan	1x10 ⁻⁶ ...sat. mol/L	5...7
6.0502.160	123	12	12	1	EP	G	Kristall (I)	0...50	0...50	plan	5x10 ⁻⁸ ...1 mol/L	0...14
6.0502.170	123	12	12	1	EP	G	Kristall (Pb)	0...80	0...80	plan	1x10 ⁻⁶ ...0.1 mol/L	4...7
6.0502.180	123	12	12	1	EP	G	Kristall (Ag/S)	0...80	0...80	plan	1x10 ⁻⁷ ...1 mol/L	2...12
6.0502.190	123	12	12	1	EP	G	Kristall (SCN)	0...50	0...50	plan	5x10 ⁻⁶ ...1 mol/L	2...10
6.0504.100	123	12	12	1	EP/PVC	G	Polymer (Ca)	0...40	0...40	plan	5x10 ⁻⁷ ...1 mol/L	2.5...11
6.0504.110	123	12	12	1	EP/PVC	G	Polymer (K)	0...40	0...40	plan	1x10 ⁻⁶ ...1 mol/L	2.5...11
6.0504.120	123	12	12	1	EP/PVC	G	Polymer (NO ₃)	0...40	0...40	plan	7x10 ⁻⁶ ...1 mol/L	2.5...11
6.0506.100	123	12	12	5	PEEK/POM	G	NH ₃ -permeable Folie	0...40	0...40	plan	5x10 ⁻⁶ ...1 mol/L	11
6.0507.010	123	12	2.5	20	PPO	G	nichtionische Tenside	0...40	0...40	Stift	tensidabhängig	0...12
6.0507.120	123	12	2.5	20	PPO	G	nichtionische Tenside	0...40	0...40	Stift	tensidabhängig	0...12
6.0507.130	108	12	12	1	POM	G	ionische Tenside	10...50	10...50	plan	tensidabhängig	0...10
6.0507.140	123	12	12	1	PEEK	G	ionische Tenside	0...40	0...40	plan	tensidabhängig	0...13
6.0507.150	123	12	2.5	20	PPO	G	ionische Tenside	0...40	0...40	Stift	tensidabhängig	0...12
6.0508.100	123	12	12	1	PVC	G	Polymer (Na)	0...40	0...40	plan	5x10 ⁻⁷ ...1 mol/L	3...12
6.0508.110	123	12	12	1	PVC	G	Polymer (Ca)	0...40	0...40	plan	5x10 ⁻⁷ ...1 mol/L	2...12

Technische Spezifikationen

106

6.07 Bezugsselektroden	Max. Einbaulänge (mm)	Schaftdurchmesser (mm)	Schaftdurchmesser unten (mm)	Min. Eintauchtiefe (mm)	Schaftmaterial	Steckkopf	Temperaturbereich kurzfristig (°C)	Temperaturbereich langfristig (°C)	Diaphragma	Referenzelektrolyt	pH-Bereich	Diaphragmawiderstand (kΩ)	Referenzsystem	Referenzwiderstand (kΩ)
6.0724.140	43	12	8	20	Glas	B	0...80	0...80						
6.0726.100	97	12	12	10	Glas	B	0...80	0...80	Schliff	variabel	variabel	variabel	Ag-Draht/AgCl	variabel
6.0726.107	97	12	12	10	Glas	B	0...80	0...80	Schliff	c(KCl)=3 mol/L	5...30	<1	Ag-Draht/AgCl	<1
6.0726.108	97	12	12	10	Glas	B	0...80	0...80	Schliff	LiCl(sat) in Ethanol	0.1...0.8	< 200	Ag-Draht/AgCl	<200
6.0726.110	108	12	8	10	Glas	B	0...80	0...80	Schliff	variabel	variabel	variabel	Ag-Draht/AgCl	variabel
6.0727.000	83	18	18		PTCFE	Steckerstift 2 mm			Keramik	c(KCl)=3 mol/L		0.4...0.9		
6.0728.000	65	12	7	10	PTCFE	Klemmschraube	0...60	0...60	Keramik	variabel			Ag-Draht/AgCl	
6.0728.010	78	15	12	10	PTCFE	Klemmschraube	0...60	0...60	Keramik	variabel			Ag-Draht/AgCl	
6.0728.020	78	15	12	10	PTCFE	Klemmschraube	0...60	0...60	Keramik	c(KCl)=3 mol/L			Ag-Draht/AgCl	
6.0728.030	78	15	12	10	PTCFE	Klemmschraube	0...60	0...60	Keramik	c(KCl)=3 mol/L			LL-System	
6.0729.100	97	12	12	10	Glas	G	0...80	0...80	Schliff	variabel	variabel	variabel	Ag-Draht/AgCl	variabel
6.0729.108	97	12	12	10	Glas	G	0...80	0...80	Schliff	LiCl(sat) in Ethanol	0.1...0.8	<200	Ag-Draht/AgCl	<200
6.0729.110	140	12	12	10	Glas	G	0...80	0...80	Schliff	variabel	variabel	variabel	Ag-Draht/AgCl	variabel
6.0733.100	125	12	12	10	Glas	B	0...80	0...80	Keramik	c(KCl)=3 mol/L	5...15	0.4...0.9	LL-System	3
6.0736.110	178	12	6.4	10	Glas	B	0...80	0...80	Schliff	variabel	variabel	variabel	Ag-Draht/AgCl	variabel
6.0750.100	125	12	12	1	Glas	B	0...80	0...80	Festschliff	variabel	5...30	variabel	Ag-Draht/AgCl	variabel

6.08-6.11 Kohleelektroden, Leitfähigkeitszellen, Temperatursensoren	Einbaulänge (mm)	Schaftdurchmesser (mm)	Schaftdurchmesser unten (mm)	Min. Eintauchtiefe (mm)	Schaftmaterial	Steckkopf	Art	Temperaturbereich kurzfristig (°C)	Temperaturbereich langfristig (°C)	Messbereich	Temperaturfühler
6.0901.040	108	12	20	50	Glas	Fixkabel 2x8 (4 mm)	Pt platinert	5...70	5...70	0.1...10000 µS/cm	
6.0901.260	125	12	20	80	Glas	Fixkabel 2x8 (4 mm)	Pt platinert	5...70	5...70	10...1000000 µS/cm	
6.0908.110	123	12	12	40	Glas	Fixkabel 4x8 (4 mm)	Pt platinert	5...70	5...70	1...100000 µS/cm	Pt100
6.0910.120	120	12	12	16	Glas	G	Pt platinert	5...70	5...70	1...100000 µS/cm	
6.0912.110	125	12	12	30	PP	Fixkabel 4x8 (4 mm)	Pt platinert	5...70	5...70	1...100000 µS/cm	Pt1000
6.0914.040	125	12	12	35	Stahl, rostfrei	Fixkabel 4x8 (4 mm)	Stahl, rostfrei	-20...150	-20...150	0...300 µS/cm	Pt1000
6.0915.100	125	12	12	34	PEEK	Fixkabel, Stecker N	5-Ring, Pt	0...70	0...70	5...20000 µS/cm (ideal)	Pt1000
6.0915.130	142	12	12	50	PEEK	Fixkabel, Stecker N	5-Ring, Pt	0...70	0...70	5...100000 µS/cm (ideal)	Pt1000
6.0916.100	133	12	12	35	Stahl, rostfrei	Fixkabel, Stecker N	Stahl, rostfrei	-20...150	-20...150	0...300 µS/cm	Pt1000
6.1103.000	121	12	5	20	Glas	Fixkabel 2x8 (4 mm)		-50...100	-50...100	-50...100 °C	Pt100
6.1110.100	125	12	5	20	Glas	G		-50...180	-50...180	-50...180 °C	Pt1000
6.1110.110	178	12	6.4	20	Glas	G		-50...180	-50...180	-50...180 °C	Pt1000
6.1114.010	140	12	3	10	PEEK	Fixkabel, Stecker 2x2 B	Edelstahl	-50...100	-50...100	-50...100	Pt1000

www.metrohm.com