

Geleidbaarheid



Reinier Visser

Inleiding

Waarom meten we geleidbaarheid ?

Omdat met andere meetprincipes niet snel concentratie te bepalen is van zouten

- | | |
|---|---|
| ■ pH | Zuren, logen (H_3O^+ , OH^-) H^+ -ion |
| ■ Chloor | specifiek |
| ■ Zuurstof | specifiek |
| ■ Absorptie (UV, VIS IR) | Concentratie |
| ■ spektrum absorptie (zonder/met reagentia) | Groot deel specifiek |
| ■ Troebelheid | Vaststof-aandeel |
| ■ Refraktie | bijv. suikergehalte |
| ■ Dichtheid | Bijv. Coriolis |
| ■ Viscositeit | Somparameter |

Wet van Ohm

Geleidbaarheid is een afgeleide van de wet van Ohm:

$$I = \frac{U}{R}$$

U = Spanning [V]
R = Weerstand [Ω]
I = Stroom [A]

Door het aanbrengen van een gedefinieerde spanning **U** op een elektrische geleider gaat de stroom **I** lopen, die van de weerstand **R** afhankelijk is.

Het omgekeerde van de weerstand R is de **geleidbaarheid G** met als eenheid Siemens. In de USA wordt hiervoor vaak Mho (omgekeerde van Ohm gebruikt).

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

G = geleidbaarheid [S]

Soortelijke weerstand

De **soortelijke weerstand** ρ van elektrische geleiders is te berekenen als de oppervlakte **A** en de lengte **l** van de geleider bekend zijn:

$$\rho = R \frac{A}{l}$$

ρ = soortelijke weerstand [Ω/m]
 l = lengte [m]
 A = oppervlakte [m^2]

De **soortelijke geleiding** χ in **vloeistoffen** is het omgekeerde van de soortelijke weerstand:

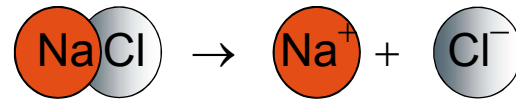
$$\chi = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} \frac{l}{A}$$

χ = soortelijke geleiding [$\frac{\text{S}}{\text{m}}$]

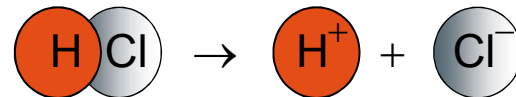
Stroom transport in vloeistoffen

Waar in elektrische geleiders de stroom door vrije elektronen mogelijk is, zijn in vloeistoffen vrije **ionen** voor het stroomtransport verantwoordelijk.

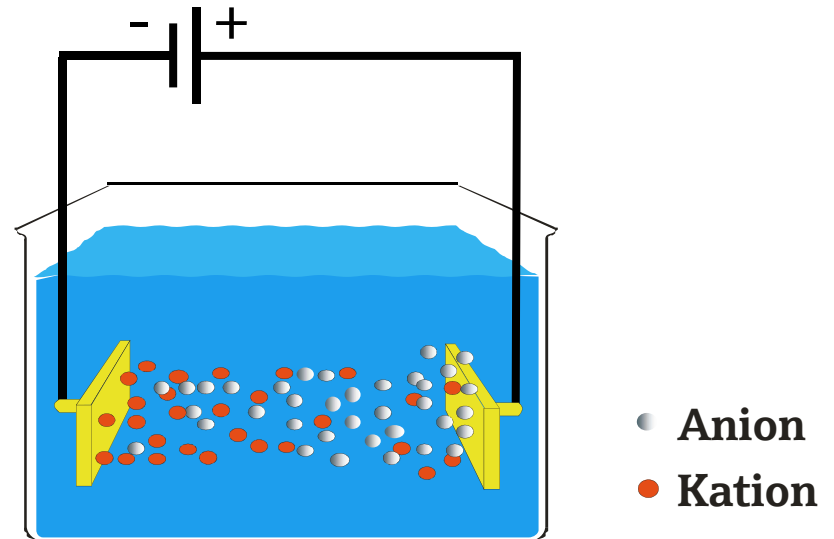
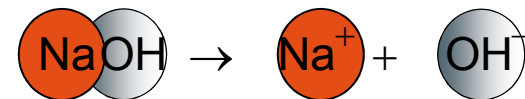
zout:



zuur:

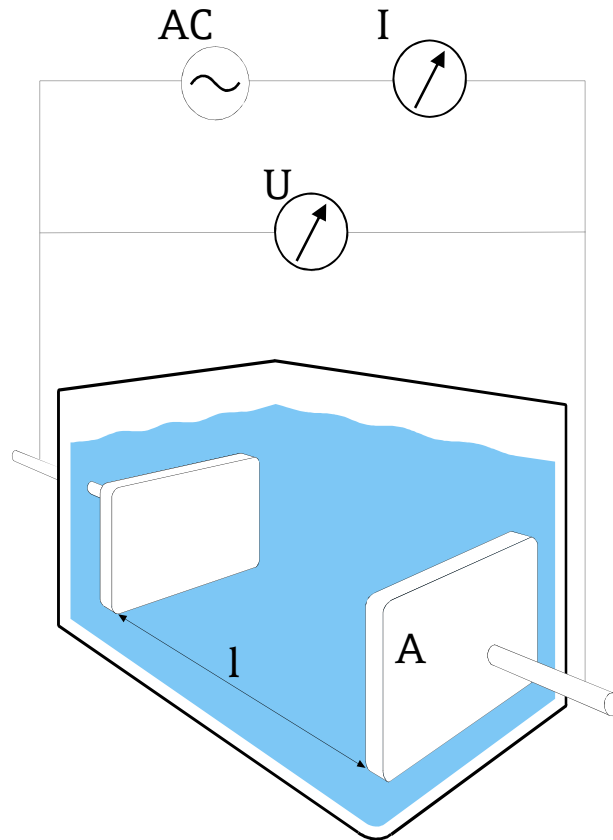


Bases:



Door oplossen (**dissosiatie**) van moleculen ontstaan positieve ionen (**Kationen, K⁺**) en negatieve ionen (**Anionen, A⁻**).

2-electroden meetprincipe



Bij geleidbaarheid meetcellen wordt de **cel constante k** door de afmetingen van de cel bepaald.

Het is de verhouding tussen de **afstand l** en het **oppervlak A**

$$k = \frac{l}{A} \quad \left[\frac{1}{\text{cm}} \right]$$

De specifieke geleidbaarheid:

$$\chi = \frac{l}{U} k \quad \left[\frac{\text{S}}{\text{cm}} \right]$$

Geleidbaarheid in vloeistoffen

De geleidbaarheid van een vloeistof wordt naast temperatuur door meerdere factoren beïnvloed. Deze staan in de volgende vergelijking:

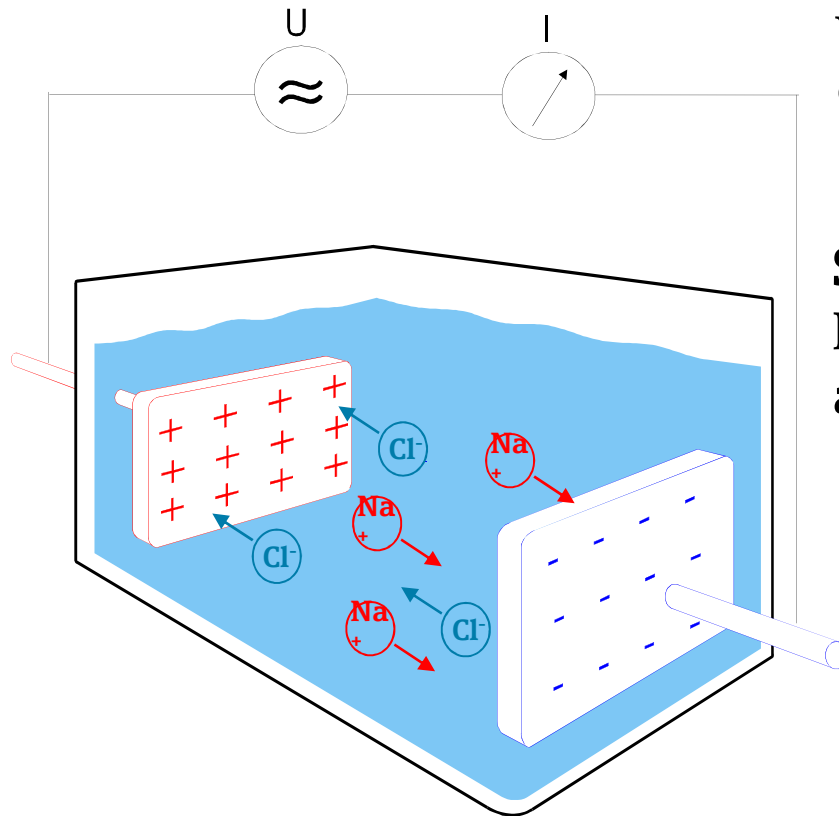
$$\chi = n \cdot c \cdot F \cdot (I^+ + I^-)$$

Met de constante van Faraday :

$$F = 96463 \frac{\text{As}}{\text{mol}}$$

- het aantal **n** ionen
- de concentratie **c** van de oplossing $[\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}]$
- de beweegbaarheid **I⁺** van de kationen $[\frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}]$
- de beweegbaarheid **I⁻** van de anionen $[\frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}]$

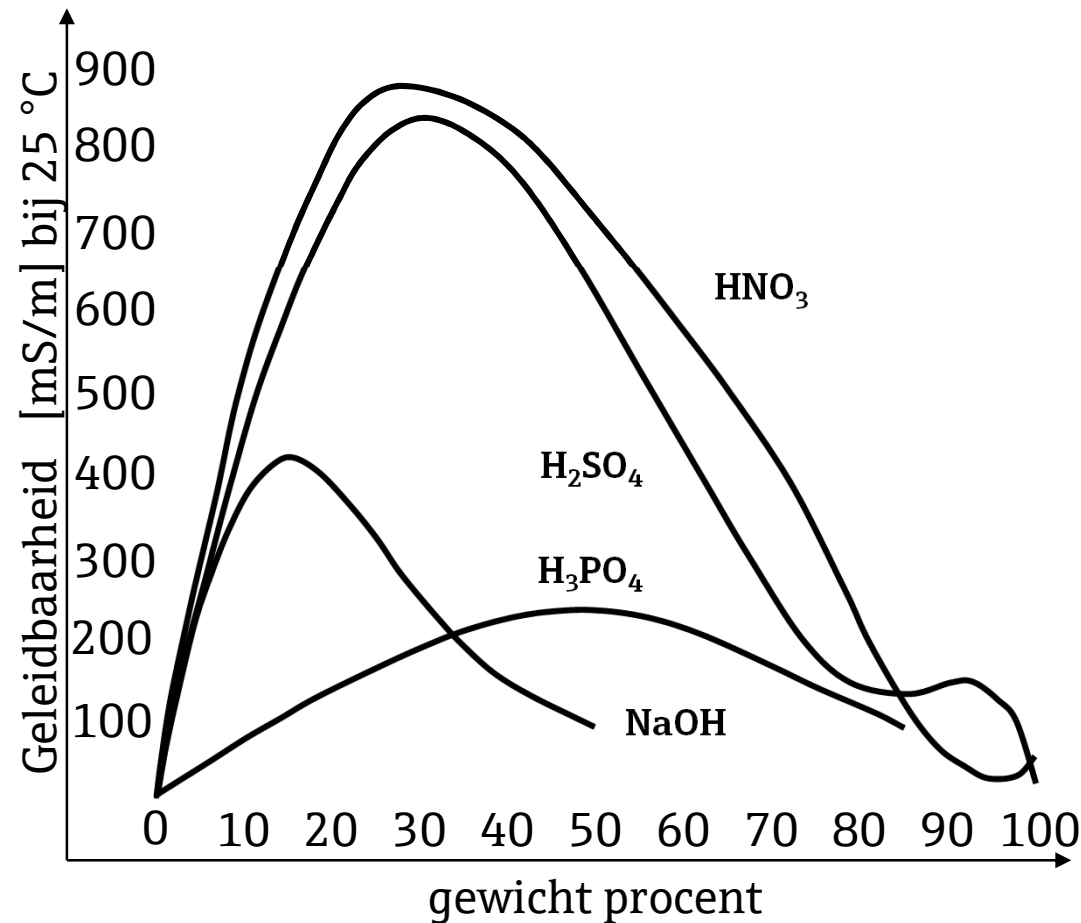
Sterke en zwakke elektrolyten



Zwakke elektrolyten (b.v. KCl, NaCl, Water) dissociëren niet volledig in ionen als ze worden opgelost.

Sterke elektrolyten (b.v. NaOH, H_2SO_4 , HCl) dissociëren volledig als ze worden opgelost in water.

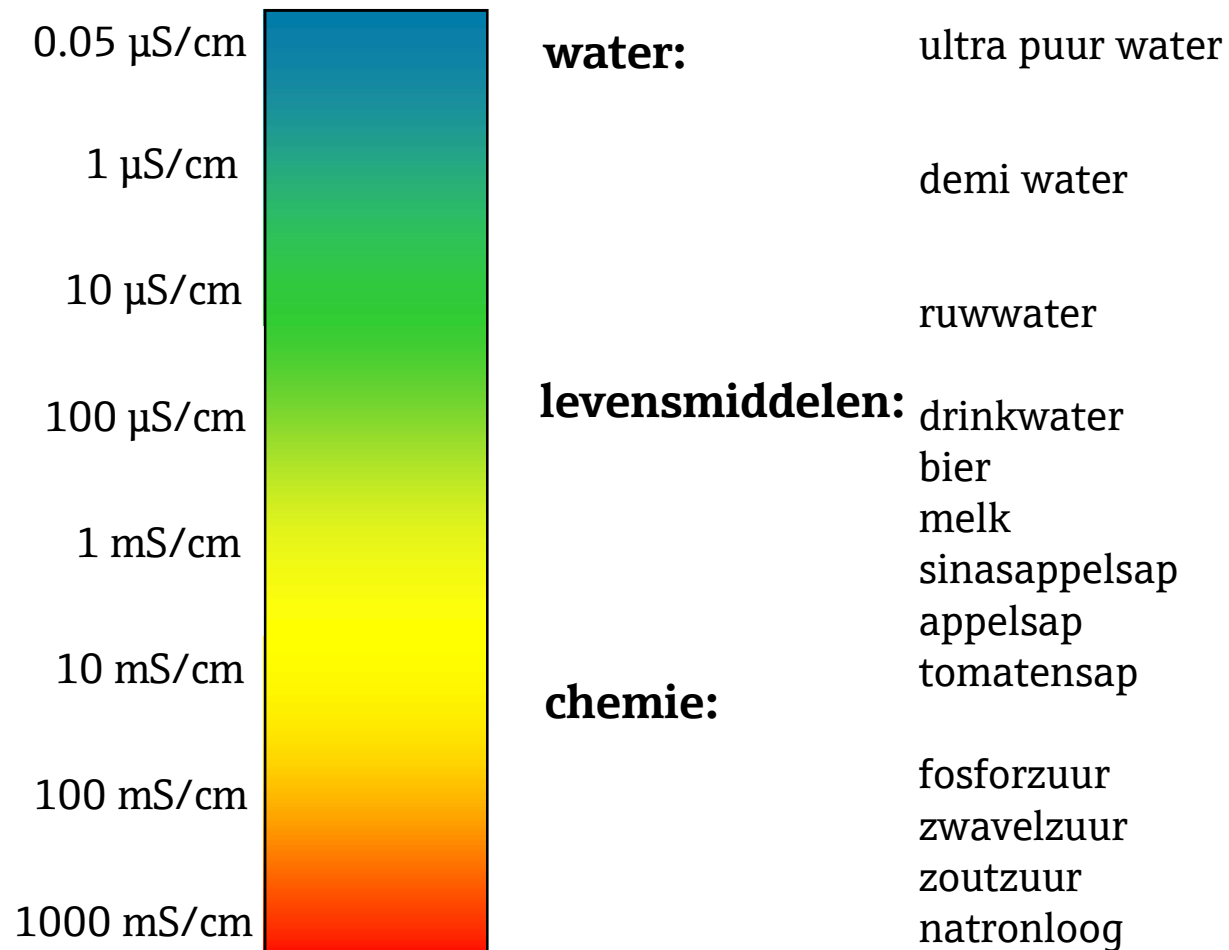
Geleidbaarheid van sterke elektrolyten

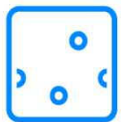


Na het bereiken van een maximale waarde, neemt de geleidbaarheid weer af.

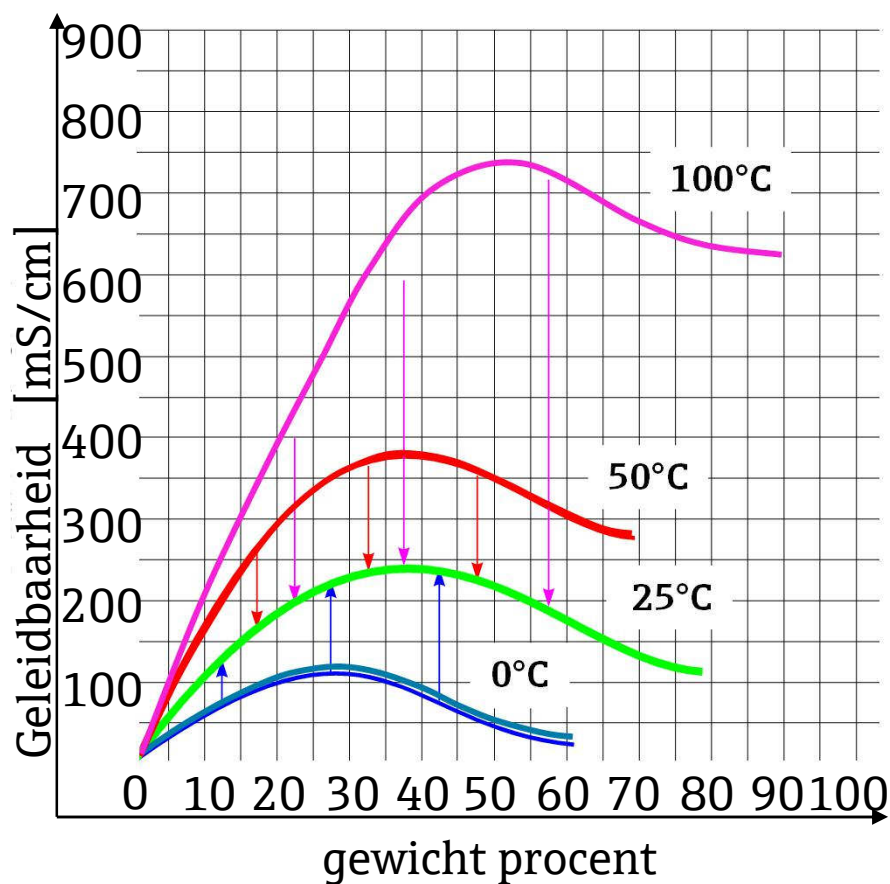
Toename van ionen leidt tot een interferentie tussen de vrije ionen waarmee de bewegelijkheid en daarmee de geleidbaarheid afneemt.

Geleidbaarheid van diverse bekende media





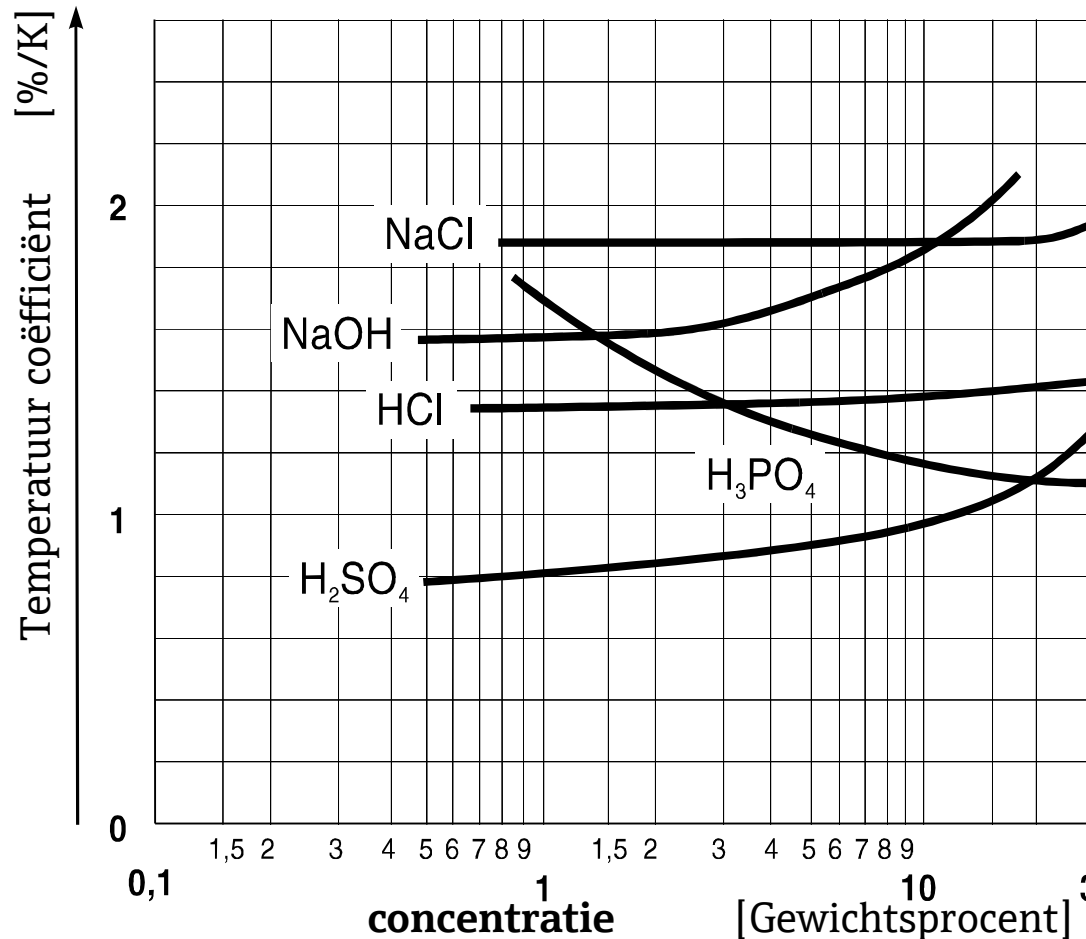
Temperatuur invloed op geleidbaarheid



De geleidbaarheid van een oplossing wordt volgens ISO terug gerekend naar de geleidbaarheid bij een referentietemperatuur van 25°C.

In afnemende mate wordt In Nederland de verouderde DIN norm van 20°C nog gebruikt.

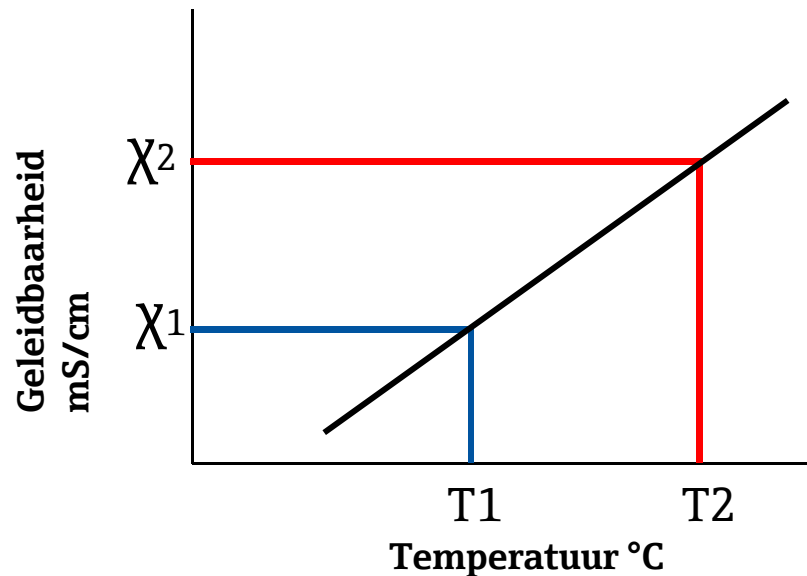
Temperatuur coëfficiënt alpha α



Temperatuur correctie coëfficiënt alpha (α) is een stof specifieke waarde die voor ieder elektrolyt verschillend is.

De α waarde is concentratie afhankelijk, er is helaas nooit sprake van een echte lineaire compensatie!

Lineaire temperatuur compensatie met coëfficiënt α



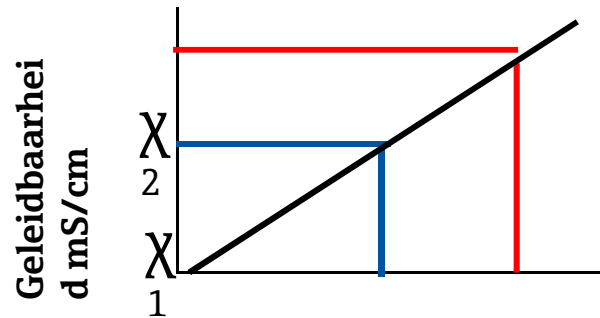
$$\alpha = \frac{\left(\frac{\chi_2}{\chi_1} - 1 \right) \times 100}{T_2 - T_1}$$

Bij een onbekend product moet eerst proefondervindelijk de $\alpha \left[\frac{\%}{K} \right]$ worden bepaald.

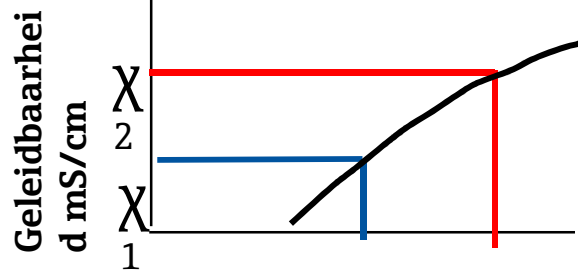
Het is aan te bevelen eerst de ongecompenseerde geleidbaarheid bij 25°C vast te stellen en vervolgens de ongecompenseerde geleidbaarheid bij de proces temperatuur.

De α kan vervolgens berekend worden met de formule.

Beperkingen lineaire temperatuur compensatie



Lineaire temperatuur
correctie



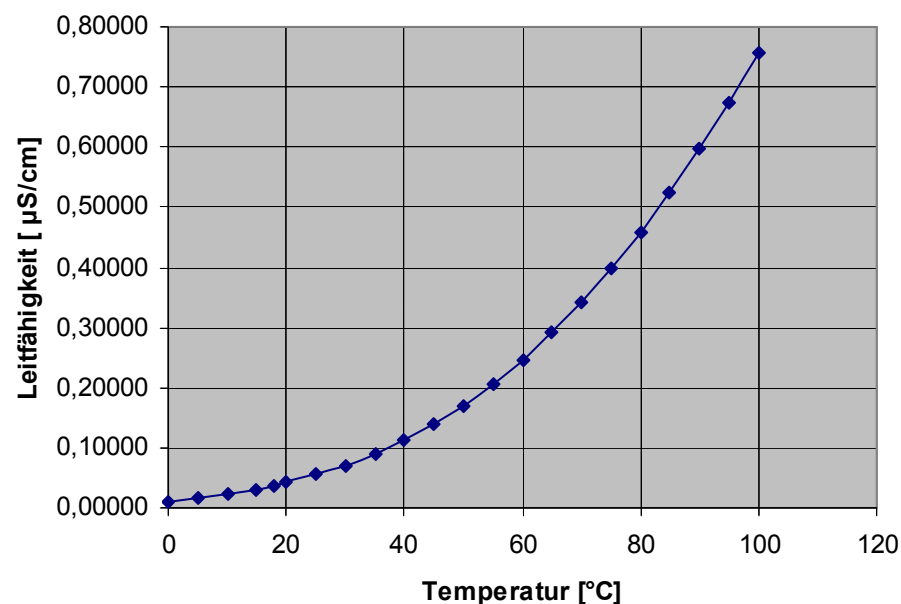
Werkelijke temperatuur verloop
(voorbeeld)

Bij het gebruik van lineaire temperatuur compensatie wordt er op twee temperaturen goed gemeten, bij 25°C en (alleen als de alpha waarde correct bepaald is) op de proces temperatuur.

Op tussenliggende waarden zal de meting afwijken, afhankelijk van hoe lineair het product is.

Ultra puur water: temperatuur invloed

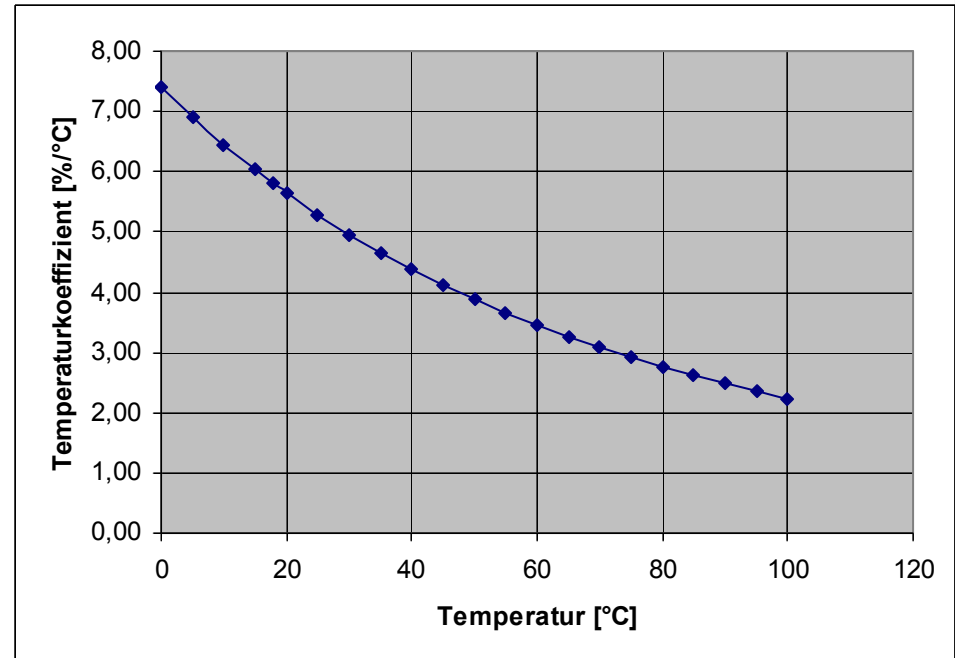
Temperatuur [°C]	Leitfähigkeit [$\mu\text{S/cm}$]	Widerstand [Mohm]
0	0,01161	86.14
5	0,01661	60.21
10	0,02315	43.21
15	0,03153	31.71
18	0,03754	26.64
20	0,04205	23.78
25	0,05508	18.15
30	0,07096	14.09
35	0,09005	11.10
40	0,11270	8.88
45	0,13930	7.18
50	0,17020	5.88
55	0,20550	4.86
60	0,24570	4.06
65	0,29120	3.43
70	0,34160	2.93
75	0,39780	2.51
80	0,45930	2.18
85	0,52580	1.90
90	0,59770	1.67
95	0,67530	1.48
100	0,75690	1.32



De geleidbaarheid van ultra puur water stijgt sterk met toenemende temperatuur.

Ultra puur water temperatuur coëfficiënt

Temperatuur [°C]	Temperaturkoeff. [% / °C]
0	7,40
5	6,90
10	6,45
15	6,03
18	5,80
20	5,65
25	5,29
30	4,96
35	4,66
40	4,38
45	4,12
50	3,88
55	3,66
60	3,45
65	3,26
70	3,08
75	2,91
80	2,76
85	2,61
90	2,48
95	2,35
100	2,23



De temperatuur coëfficiënt α van ultra puur water is zeer hoog en neemt bij stijgende temperatuur sterk af.

Geleidbaarheid meetcellen

Conductieve meetcellen



CLS 12



CLS 15



CLS21

inductieve meetcellen



CLS50

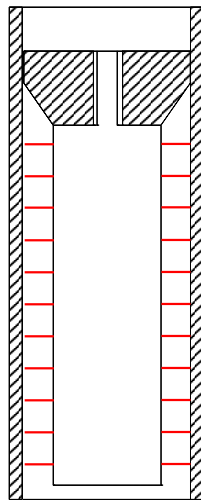


CLS54

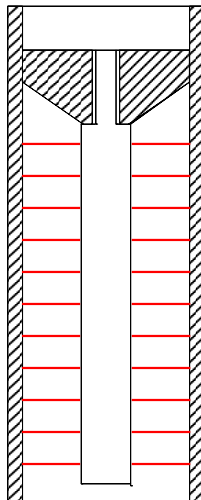
2 elektroden meetcel

kleine celconstante:

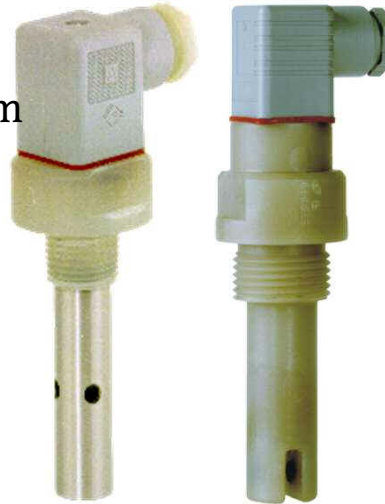
- voor laag meetbereik $\mu\text{S}/\text{cm}$
- korte elektroden afstand
- groot elektroden oppervlak



$k = 0,01 / \text{cm}$



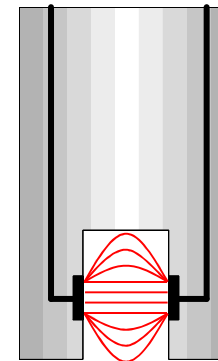
$k = 0,1 / \text{cm}$



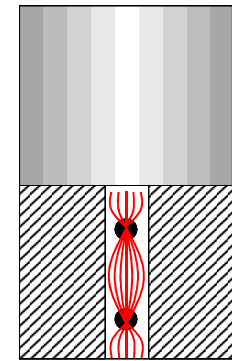
$$k = \frac{l}{A}$$

grote celconstante :

- voor hoog meetbereik mS/cm
- klein elektroden oppervlak
- grote elektroden afstand

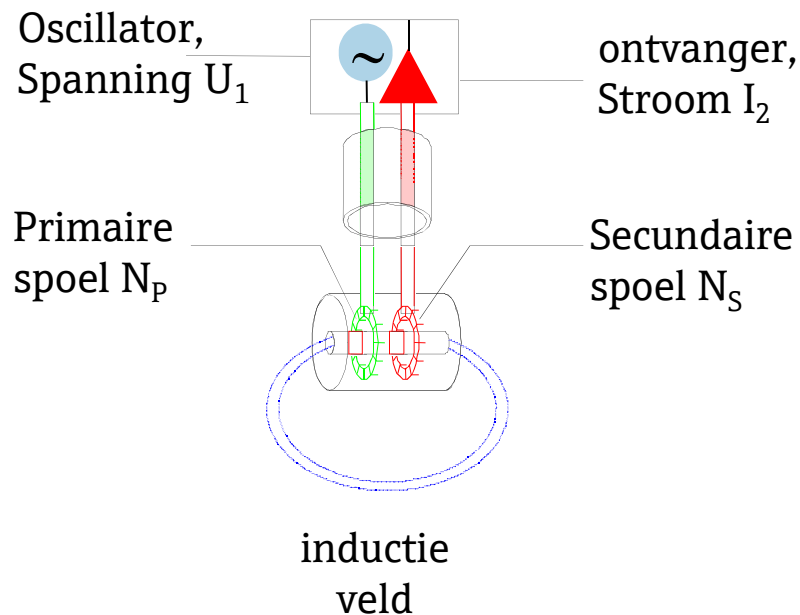


$k = 1 / \text{cm}$



$k = 10 / \text{cm}$

Principe van inductieve cel



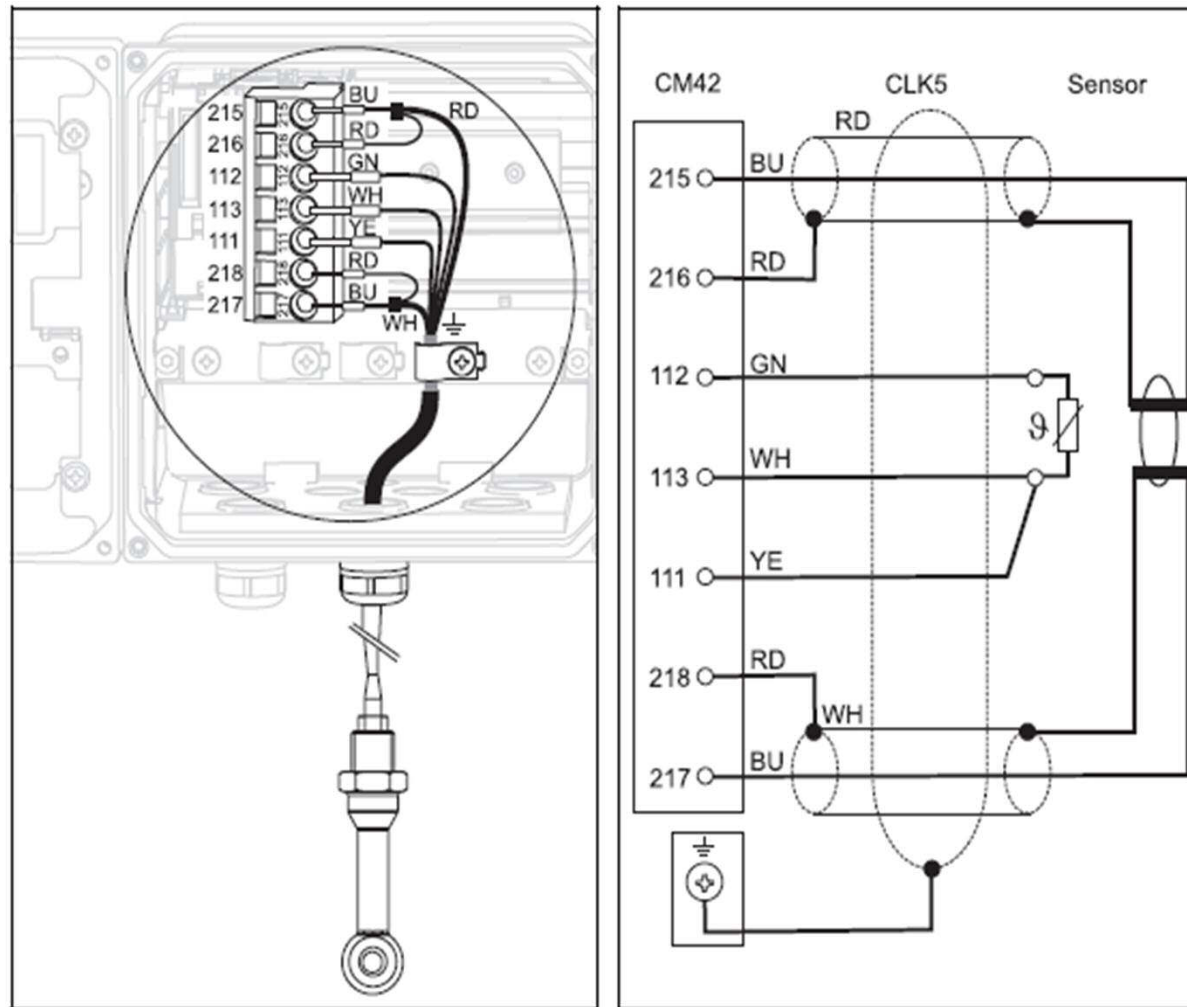
Het inductieve meetprincipe heeft geen galvanisch contact tussen product en de meetcel. Pas toepasbaar in media van minimaal $10\mu\text{S}/\text{cm}$

Voordeel:

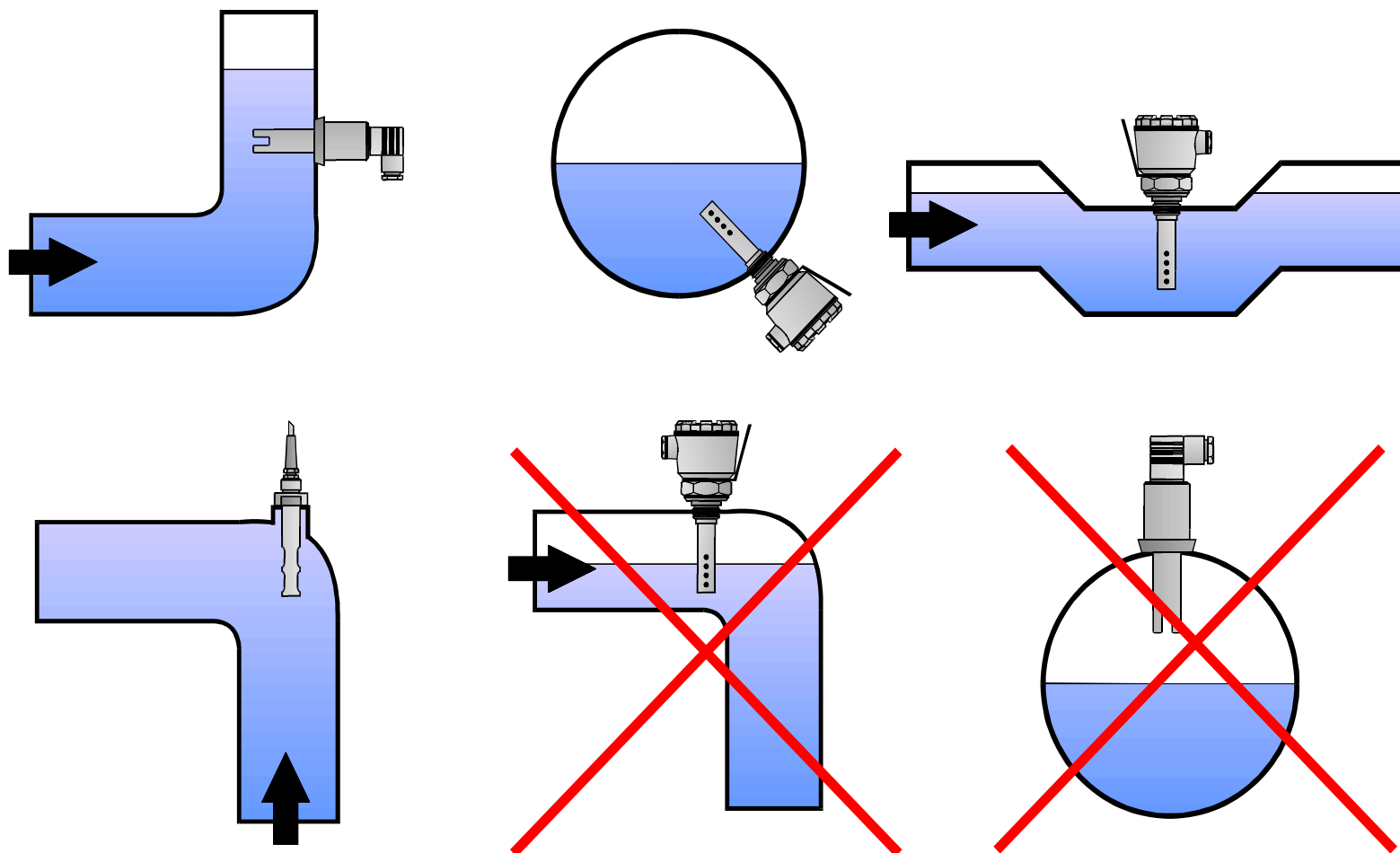
- toepasbaar in oplossingen van hoge concentratie
- groter meetbereik
- vervuiling ongevoelig
- galvanische scheiding

$$\chi = \frac{I_2}{U_1} k N^2 \left[\frac{\text{S}}{\text{cm}} \right]$$

Wiring of analog conductivity sensor in Liquiline CM42



Inbouw van geleidbaarheid meetcel



Tips voor installatie:

Zorg dat de meetcel goed bereikbaar is i.v.m. uitbouw voor reinigen en kalibratie van de meetcel. Denk aan de veiligheid voor de uitvoerende.

Plaats een eventuele aftapkraan voor vergelijkmetingen zo dicht mogelijk bij meetcel. Een decimeter tot maximaal een meter. Als product heet is of onder druk staat, label de kraan dan deugdelijk.

Houd de kabel lengte zo kort als mogelijk

Bij meting in het hoge mS/cm bereik gaat de kabel weerstand een te grote rol spelen

Bij een meting in het lage $\mu\text{S}/\text{cm}$ bereik gaat de kabel capaciteit een te grote rol spelen

Verwijder de zwarte halfgeleider van de speciale coaxkabels, let ook op dat dit in alle lasdozen gebeurt. Leg de sensor kabel nooit parallel aan een voedingskabel in b.v. een kabelgoot, zorg dat kabel altijd droog blijft!

In bedrijf nemen van de meting

De sensor aansluiten aan de meetversterker maar nog niet inbouwen!

Stel het juiste meetbereik in, kies ATC bij elektrode met pt100, anders MT

Stel de juiste k- factor van de bijbehorende meetcel in

Stel de juiste α waarde in voor de temperatuur compensatie in

Alleen voor inductieve meetcellen, voer een airset van de sensor uit

Houd de droge sensor in de lucht en controleer of de meetversterker 0,00 aanwijst op het display

Stel de stroomuitgang in op het gewenste meetbereik

Stel de grenswaarde, regel en alarm contacten in

Monteer de sensor op inbouwplaats en controleer de aanwijzing

Berekenen simulatie weerstand

$$G = \frac{1}{R} \text{ [S]}$$

$$\chi = \frac{1}{R} \text{ K[S/cm]}$$

$$R_{\text{sim}} = \frac{K}{\chi}$$

Waarbij:

K = K factor van aangesloten meetcel

En:

Met χ [S/cm] is de uitkomst in [Ω]

Met χ [mS/cm] is de uitkomst in [$k\Omega$]

Met χ [μ S/cm] is de uitkomst in [$M\Omega$]

Droge controle van geleidbaarheids meetversterker

De meetcel moet worden uitgebouwd en op vervuiling worden gecontroleerd, reinigen bij vervuiling.

Een conductieve meetcel moet van de kabel worden losgenomen ter controle van de meetversterker.

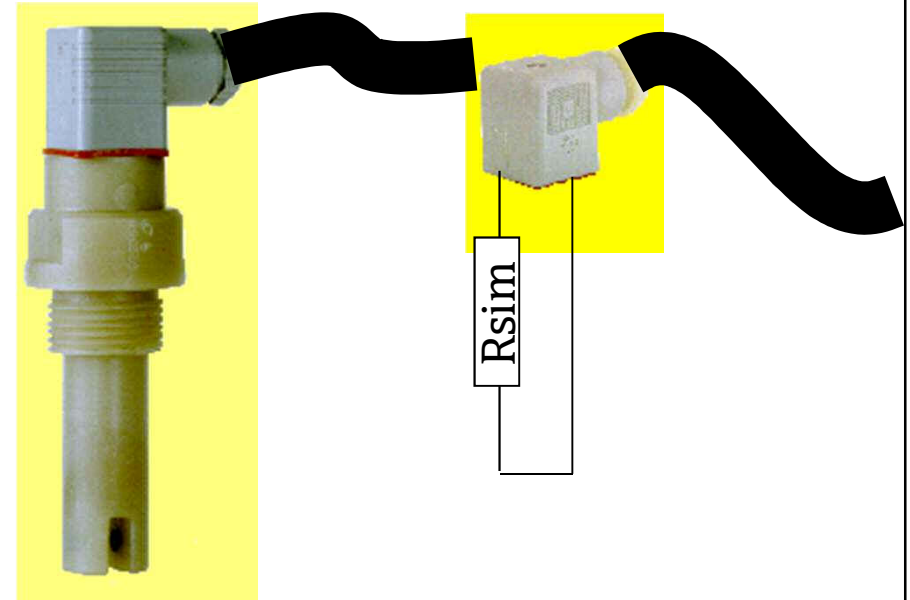
Een inductieve meetcel blijft aan kabel zitten ter controle van de meetversterker **en sensor**.

Houd rekening met de temperatuur compensatie. Stel de meetversterker in op manuele temperatuur compensatie van 25°C of sluit een (regelbare) pt100 simulatie weerstand aan i.p.v. de pt100 in de sensor

Weerstand simulatie bij conductieve cel (niet memosens)

Haal de steker los van de meetcel en sluit op de steker in plaats van de sensor een simulatie weerstand aan.

Voer de controle uit bij precies 25°C of stel de versterker in op manuele temperatuur compensatie.
Of sluit op de steker ook een pt100 vervangingsweerstand van 109,72 Ω aan.



De losgenomen meetcel kan met een Megger op inwendige sluiting gecontroleerd worden

Weerstand simulatie bij inductieve cel (ook memosens)

Haal een draad van minimaal $0,75\text{mm}^2$ door het gat in de sensor. Maak een gesloten loop door de simulatie weerstand in serie aan te sluiten.

Voer de controle uit bij precies 25°C of stel de versterker in op manuele temperatuur compensatie. Of haal de draden van de pt100 los en sluit een vervangingsweerstand van $109,72\ \Omega$ aan.



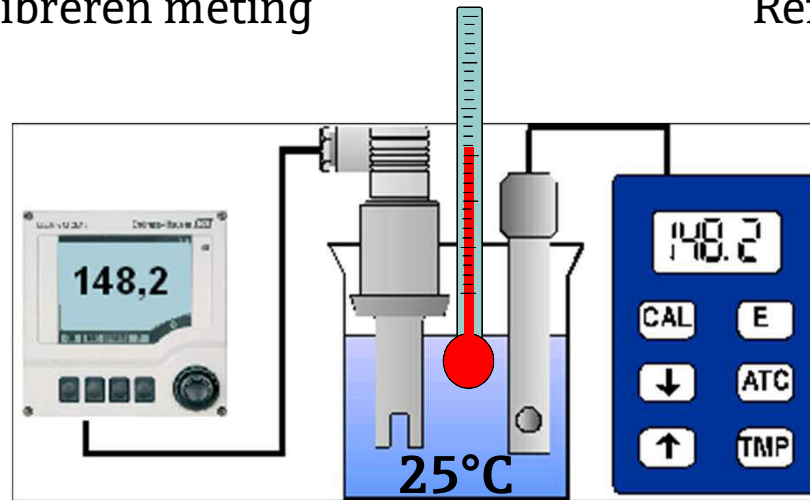
K factor van CLS54	= 5,2
K factor van CLS52	= 5,90
K factor van CLS50	= 1,98
K factor CLD633/133	= 8,5

Kalibratie

Methode 1: temperatuur op 25 graden brengen

Te kalibreren meting

Referentie meting



- ① Kalibratie vloeistof op exact 25°C brengen en stabiel houden
- ② Temperatuur stabilisatie afwachten (aanwijzing in de gaten houden)
- ③ De te kalibreren meting op de waarde van de referentie meting kalibreren

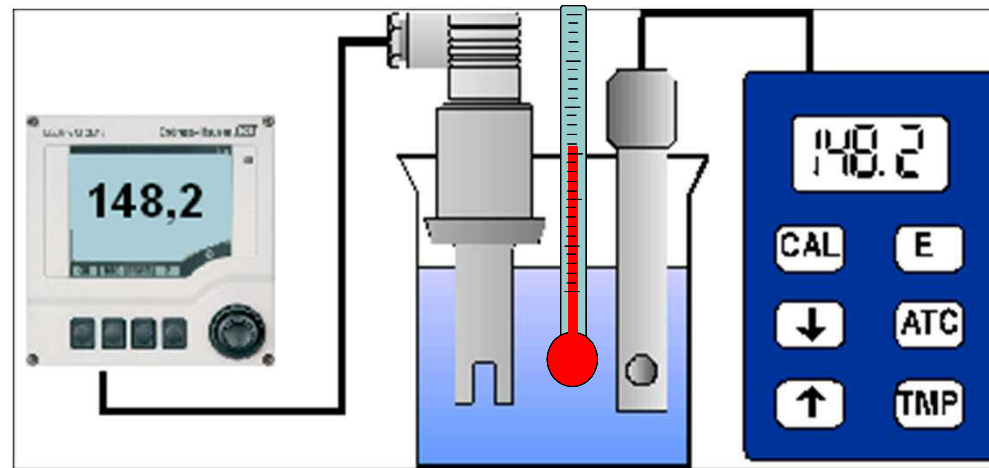
Bij 25 graden heeft de temperatuur compensatie geen invloed op het resultaat, deze methode is aan te bevelen.

Kalibratie

Methode 2: ongecompenseerde geleidbaarheid

Te kalibreren meting

Referentie meting



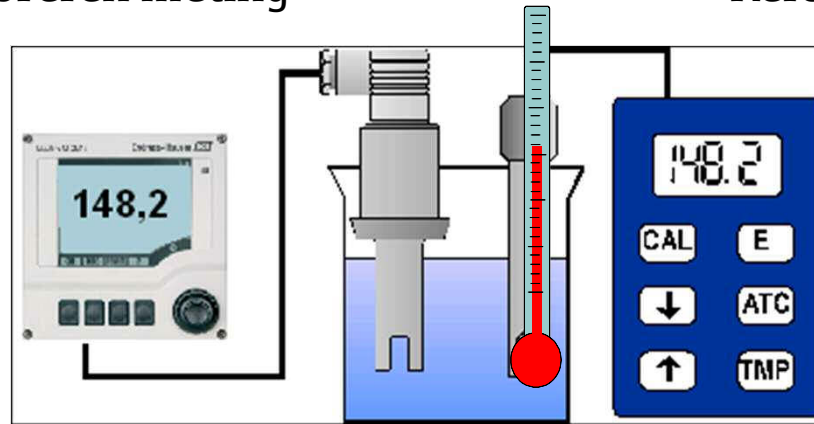
- ① referentie meting op $\alpha = 0.0\%/K$ instellen (ATC= uit)
- ② temperatuur stabilisatie afwachten (aanwijzing in de gaten houden)
- ③ de absolute temperatuur speelt geen rol
- ④ de te kalibreren meting op de waarde van de referentie meting kalibreren

Kalibratie

Methode 3: met instelbare kalibratie-ATC

Te kalibreren meting

Referentie meting



- ① van de te kalibreren meting (de kalibratie- α) op de α van referentie meting instellen
- ② temperatuur stabilisatie afwachten (aanwijzing in de gaten houden)
- ③ de absolute temperatuur speelt geen rol
- ④ de te kalibreren meting op de waarde van de referentie meting kalibreren

Kalibratie met kalibratie vloeistoffen

- T.b.v. controlemiddel bewaking naar ISO 9001
- Nauwkeurigheid $\pm 0.5\%$
- herleidbaar naar internationale Standaard: SRM van het NIST
- Met certificaat
- gelijkblijvende hoge kwaliteit door gravimetrische bereiding



Kalibratie vloeistof: 107.0 mS/cm
12.64 mS/cm
1.406 mS/cm
149.6 µS/cm
74 µS/cm

Kalibratie met kalibratie vloeistoffen

Berekening van ongecompenseerde waarde:

Kalibrierlösung	Rohleitwert κ
CLY11-A	$\kappa [\mu\text{S/cm}] = 74,028 + 1,4504 (T-T_0) + 0,0030 (T-T_0)^2$
CLY11-B	$\kappa [\mu\text{S/cm}] = 149,75 + 2,9240 (T-T_0) + 0,00616 (T-T_0)^2$
CLY11-C	$\kappa [\text{mS/cm}] = 1,4072 + 0,0271 (T-T_0) + 0,00005 (T-T_0)^2$
CLY11-D	$\kappa [\text{mS/cm}] = 12,654 + 0,24034 (T-T_0) + 0,00049 (T-T_0)^2$
CLY11-E	$\kappa [\text{mS/cm}] = 107,08 + 1,8862 (T-T_0) + 0,00222 (T-T_0)^2$

$$T_0 = 25^\circ\text{C}$$

Berekening van temperatuur coëfficiënt :

Kalibrierlösung	Temperaturkoeffizient α
CLY11-A	$\alpha [\%/K] = 1,96 + 0,004 (T-T_0)$
CLY11-B	$\alpha [\%/K] = 1,95 + 0,004 (T-T_0)$
CLY11-C	$\alpha [\%/K] = 1,93 + 0,004 (T-T_0)$
CLY11-D	$\alpha [\%/K] = 1,90 + 0,004 (T-T_0)$
CLY11-E	$\alpha [\%/K] = 1,76 + 0,002 (T-T_0)$

Conducual CLY421

Gecertificeerde referentiemeting voor meetbereiken kleiner dan $20\mu\text{S}/\text{cm}$

- Kalibratie herleidbaar naar SRM via NIST en DKD
- Kalibratie conform ASTM 5391-93
- Digitale sensor met memosens technologie
- Doorstrooming instelbaar en contoleerbaar conform ASTM 5391
- 2 draads meetversterker CM42 in accubedrijf, hierdoor flexibel inzetbaar



Bedankt voor de aandacht

