

# Geleidendheidsmetingen en de glastechniek

Th. W. Rejda

H. de Jong, Yokogawa Electrofact b.v., Amersfoort

**Naast de pH en Redox metingen (zie Mikroniek nr. 3, 4 en 5 van 1983) kan de glastechniek óók hier een aanzienlijke bijdrage leveren bij metingen van geleidendheid van de vloeistoffen in laboratoria en industrie.**

Om het natuurkundige verschijnsel geleidendheid te kunnen begrijpen moeten we eerst het begrip "elektrische weerstand" nader verklaren.

Het was de Duitse natuurkundige Georg Simon Ohm, die in 1827 als eerste het verband legde tussen de elektrische grootheden "spanning", "stroom" en "weerstand". Hij heeft experimenteel aangetoond dat de hoeveelheid van elektrische stroom door een groot aantal materialen direct proportioneel was aan het spanningsverschil (potentiaal) over de lengte van dat materiaal. Dus als het spanningsverschil  $E$  (in Volts) tussen twee uiteinden van een geleider (een stuk draad b.v.) verdubbelt, heeft dat als gevolg, dat de stroom (in Ampères) ook twee keer zo groot wordt.

De verhouding  $E/I$  blijft in zo'n geval kennelijk onveranderd. Deze verhouding is in analogie met de hydraulica (de leer van waterdruk) elektrische weerstand gaan heten en de weerstandseenheid is naar Ohm genoemd. Wiskundig is de wet van Ohm als:

$$E = I.R$$

gedefinieerd, waarin

$E$  - de spanning is in Volts

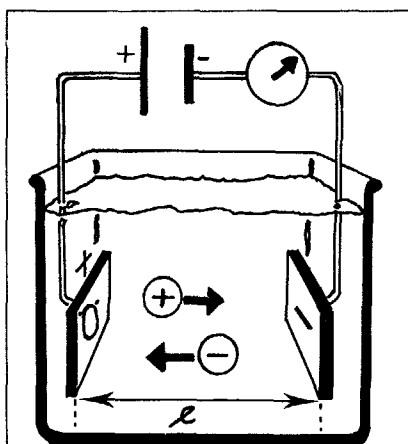
$I$  - de stroom is in Ampères en

$R$  - de weerstand is in Ohms.

In de bovengenoemde vorm geldt dit alléén voor de gelijkstroom. Met enkele aanpassingen is de wet van Ohm ook voor de wisselstroom te gebruiken, men spreekt hier echter over de impedantie (uit het Latijn impedo = ik verhinder). De geleiding van een vaste stofgeleider of metaal heeft als grondslag de beweging van kleine materie deeltjes - elektronen - die per definitie een negatieve lading dragen. In zo'n voorstelling van zaken lopen de elektronen van een plaats van hogere spanning naar de plaats van lagere spanning.

Zoals al gezegd, gebeurt dit hoofdzakelijk in metalen en vaste stofgeleiders. In de vloeistoffen is de geleiding

echter veroorzaakt door de aanwezigheid van een ander soort elementaire deeltjes, ionen. Men onderscheidt hier de positief geladen deeltjes, die door de negatieve elektrode (katode) worden aangetrokken en dus kationen heten en de deeltjes die een negatieve lading dragen en door de positieve elektrode (anode) worden aangetrokken en overeenkomstig anionen zijn genoemd. Omdat de ionen vrijelijk door de vloeistof kunnen bewegen en hun lading aan de elektroden kunnen afstaan, wordt er hierdoor een elektrisch circuit gesloten en er kan een stroom gaan lopen. Figuur 1 geeft een zeer vereenvoudigde voorstelling van dit gebeuren.



$l$ : afstand tussen de elektroden

"O": oppervlakte van de elektroden

Figuur 1

Voor de goede orde willen wij hier ook een derde soort geleiding in de materie noemen, de halfgeleiding, waar de geleiding door het verspringen van lading wordt mogelijk gemaakt. Voor dit soort geleiding gelden er andere wetten en men treft hem vooral aan in

de transistoren en chips. Voor de geleiding in vloeistoffen is de wet van Ohm ook van toepassing, zij het met beperkingen. Bij de vloeistoffen spreekt men over de geleidendheid  $G$ , die eigenlijk niets anders is dan de omgekeerde weerstand  $R$ . Dus men kan ook schrijven:

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

De eenheid van de geleidendheid is naar de Duitse industriële Siemens genoemd als het symbool van de waardering van zijn pionierswerk op het gebied van galvanotechniek. Eén Siemens is dus gelijk aan

$$\frac{1}{\text{Ohm}} \text{ of } \text{Ohm}^{-1}.$$

Vroeger werd ook de eenheid mho (omgekeerde Ohm) gebruikt, we raden echter aan om deze niet te gebruiken. De lezer zal zich zo langzamerhand wel afvragen waarom de geleidendheid van een vloeistof nu zo interessant is en wat doet men ermee.

Het is dus duidelijk, dat als er in een vloeistof meer of minder ionen aanwezig zijn, er per tijdseenheid meer of minder ladingtransport kan plaatsvinden en daardoor dus meer of minder stroom loopt. De hoeveelheid aanwezige ionen staat in een zéér nauwe relatie tot de concentratie en hierdoor is de geleidendheid, respectievelijk de specifieke geleidendheid een maat van concentratie van alle aanwezige ionen, in de te meten vloeistof. Specifieke geleidendheid  $\kappa$  (kappa) is de geleiding van een volume-eenheid van een vloeistof tussen de elektroden die op een gegeven afstand zijn geplaatst en een gegeven oppervlak hebben. Gewoonlijk is het volume in  $\text{cm}^3$  of  $\text{m}^3$  uitgedrukt, maar ook andere eenheden zijn bekend (b.v. cub. ft.). Specifieke geleidendheid wordt uitgedrukt in Siemens per meter of Siemens per centimeter (S/m of S/cm). Als we figuur 1 weer te hulp roepen, zal de specifieke geleidendheid van het volume tussen de twee elektroden in onze meetopstelling uitgedrukt kunnen worden als:

$$\kappa = G \cdot \frac{l}{O}$$

waarbij G de totale geleidendheid van de vloeistof tussen de electroden in Siemens is  
 l de afstand tussen de electroden in cm of m is  
 0 het oppervlak van de electroden in cm<sup>2</sup> of m<sup>2</sup> is.

De verhouding  $\frac{l}{0}$  is de zgn. celconstante C en haar dimensie  $\frac{m}{m^2} = m^{-1}$  of cm<sup>-1</sup>.

We kunnen dan de vergelijking voor de specifieke geleidendheid herschrijven als:

$$\kappa = G.C$$

De konstante C is door de constructie van de cel bepaald en in praktijk varieert deze van 0,01 tot 10 cm<sup>-1</sup>, ook andere celconstanten zijn natuurlijk denkbaar. We nemen voor het gemak

aan, dat de celconstante gedurende de hele meting en ook bij verschillende temperaturen (hierover straks meer) werkelijk onveranderd blijft. Omdat C een gegeven is en wij die zelf kiezen, blijft nu alleen nog de G over om te meten, om de waarde van  $\kappa$  te weten te komen.

We hebben reeds gezegd dat G een omgekeerde weerstand is en als zodanig vrij makkelijk te meten is. Een onbekende weerstand kan men met behulp van een brug van Wheatstone meten, (figuur 2.).

We hebben al gezegd, dat we de invloed van temperatuur op de afmetingen van de cel in onze berekeningen kunnen verwaarlozen, wat we echter niet mogen verwaarlozen is de verandering van de geleidendheid zelf met de temperatuur. Bij een hogere temperatuur wordt de vloeistof als het

ware minder dik, de viscositeit neemt af en de ionen kunnen nu gemakkelijker door de vloeistof bewegen. We zien, dat de geleidendheid dan toeneemt, wat eigenlijk wil zeggen, dat de weerstand van de vloeistof afneemt, dit in tegenstelling tot metalen of vaste stof geleiders, waarvan de weerstand juist met stijgende temperatuur toeneemt.

### Konstruktie aspecten van geleidendheid cellen.

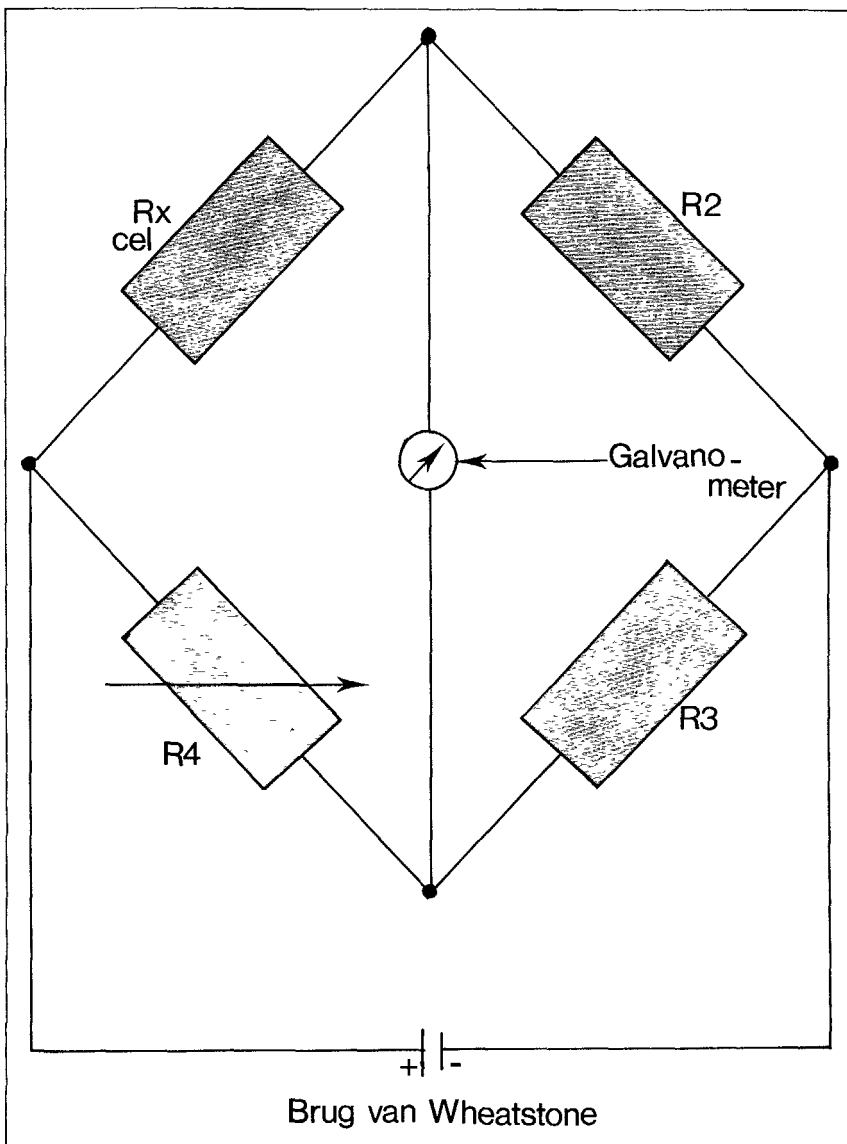
In figuur 1 hebben we reeds aangegeven hoe de geleidendheid gemeten kan worden m.b.v. twee electroden, die we in een vloeistof plaatsen. Zo'n meetaanordening vaak aangevuld met een temperatuurvoeler, noemt men geleidendheidscel. In de meeste gevallen bestaat de te meten vloeistof uit water, waarin de uiteenlopende chemische stoffen opgelost kunnen zijn. Deze stoffen vormen doorgaans ionen en kunnen dus gemeten worden. Het zijn juist vaak de meest agressieve stoffen zoals anorganische- en organische logen en zuren, maar óók zouten en opgeloste gassen, die de ionen vormen en daardoor voor de geleidendheidsmeting vatbaar zijn. Men realiseert zich zeker, dat dit enorme eisen stelt aan de constructie-materialen van de cellen, waarmee in deze uiteenlopende procesvloeistoffen gemeten wordt.

Een geleidendheidscel is schematisch aangegeven in figuur 3.

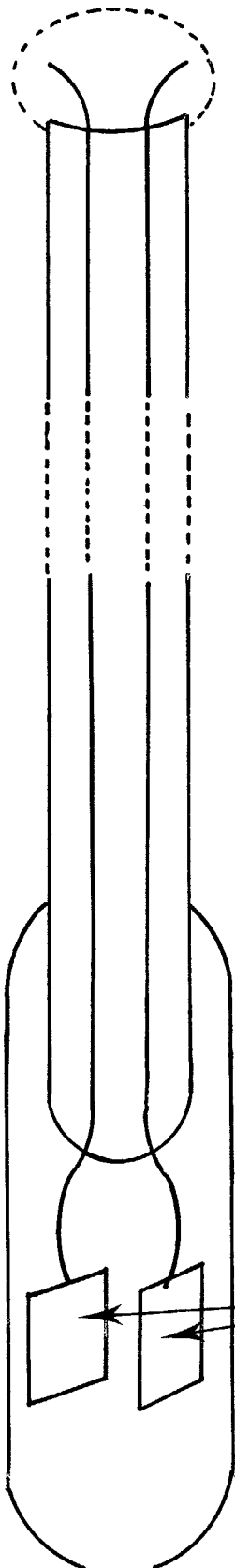
De eerste cellen, die voor nauwkeurige laboratorium metingen zijn ontwikkeld, waren uit zacht glas, waarin platina elektroden zijn ingesmolten (figuur 4)

Om polarisatie van de elektroden tegen te gaan werd het platina elektrolytisch gezwart. Deze mechanisch zeer gevoelige laag moest ook regelmatig vernieuwd worden. Polarisation is een elektrochemisch verschijnsel, dat ontstaat door de interactie van de ionen met het oppervlak van het electrode materiaal. Het is altijd ongewenst omdat het de nauwkeurigheid van de meting negatief beïnvloedt. Door de keuze van meerdere elektroden, elektrode materialen en meetstroomfrequenties kan de polarisation in grote mate onderdrukt worden.

In figuur 5 wordt een industriële cel getoond, die speciaal ontworpen is voor het meten van geleidendheid in oleum (rokend zwavelzuur).

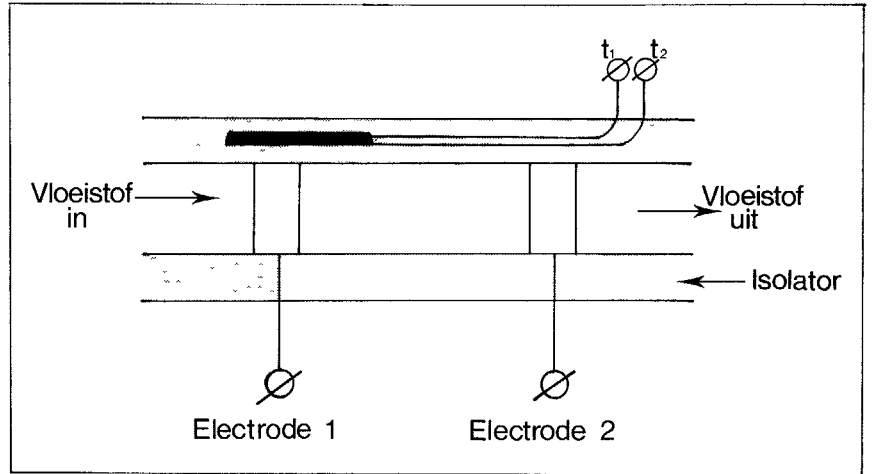


Figuur 2

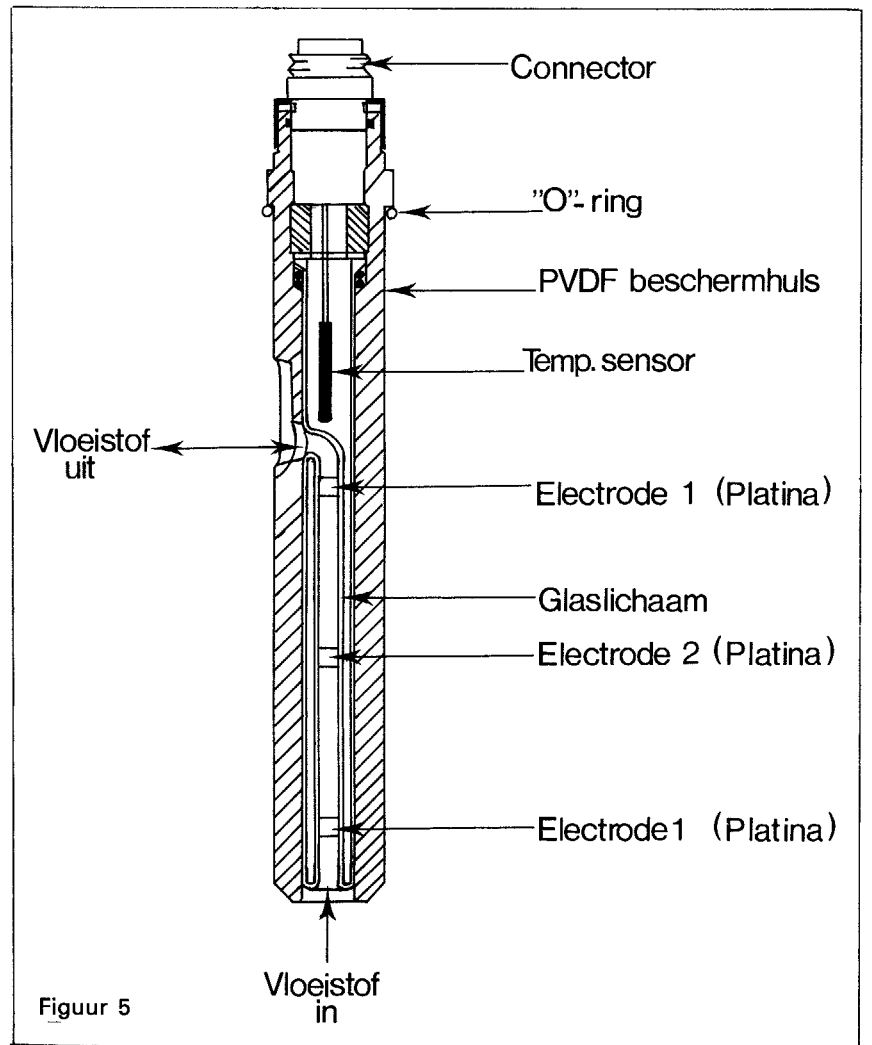


Platina elektroden gezwart

Figuur 4



Figuur 3



Figuur 5

Het omhulsel van de cel is uit PTFE vervaardigd. Voor een betere temperatuurrepons is de temperatuursensor in thermischgeleidend vet geplaatst. Oleum is één van de meest agressieve stoffen en het is juist de combinatie glas en platina met een stukje uitgekende glastechniek, die de meting in

zo'n zéér corrosief medium überhaupt mogelijk maakt. Soortgelijke cellen vinden uiteraard ook hun toepassing in andere chemische processen.

Voor minder agressieve stoffen zijn andere materiaal-kombinaties in de praktijk beschikbaar. Een zeer gangbare constructie vormen de koolstofringen ingebed in epoxy-hars. Ook roestvrij staal is een goed materiaal vooral voor cellen met een lage celkonstante, waarbij de afstand ten opzichte van het oppervlak zeer kritisch is.

### Toepassingen

Geleidendheidsmetingen vinden veelvuldig hun toepassing in de industrie

en het laboratorium. Typische voorbeelden hiervan zijn de bewaking van de demineralisatie installaties van water-kwaliteitsbehandeling, ketelvoedingwater, stoom en condensaat bewaking, ketelspui-regeling enz. Een ander voorbeeld is reeds genoemd: zwavelzur en oleum, verder is er nog de zuurconcentratie meting in de galvanische baden en ertswinning en verwerking. Vaak wordt het zgn. CIP (cleaning in place) proces met behulp van geleidendheid bestuurd in de voedingsmiddelen industrie (melk, limonades, bier).

Ook in de medische wereld worden regelmatig geleidendheidsmetingen verricht om b.v. het zoutgehalte te

kontrolleren bij de nierdialyse of in het bloed of plasma.

Wij sluiten deze serie artikelen over de kwaliteitsmetingen in de industrie af in de hoop, dat de glastechniek en haar beoefenaars, de glastechnici ook in de toekomst net zo vindingrijk blijven, als in het verleden het geval was en dat we de toepassingen van steeds betere materialen en materiaalcombinaties tegemoet kunnen zien. Men denkt in dit verband m.n. aan de nieuwe technieken zoals laserlassen, chemical vapor deposition op glas en keramiek, waardoor technische oplossingen gecreeerd worden voor problemen die voor kort onopgelost moesten blijven.

**WAGELAAR  
GLASINSTRUMENTEN**



zoekt op korte termijn:

**een jonge  
glasinstrumentmaker**

met glas „A” (Leiden)

**WAGELAAR  
GLASINSTRUMENTEN**

VISSERINGWEG 5  
1112 AS DIEMEN  
TEL. 020-980855