

ELEKTRISCHE GELEIDBAARHEID

1 TOEPASSINGSGEBIED

Deze procedure beschrijft de bepaling van de elektrische geleidbaarheid in water (bijvoorbeeld grondwater, eluaten,...).

De beschreven methode is bruikbaar voor alle types water in een gebied van 1 tot 20 000 mS/m. De geleidbaarheid is een maatstaf voor de ionenactiviteit in water of voor de aanwezigheid van gedissocieerde stoffen in een waterige oplossing.

Oplossingen van de meeste anorganische zuren, basen en zouten zijn relatief goede geleiders.

Organische bestanddelen, niet gedissocieerd in waterige oplossingen, zijn zwakke stroomgeleiders.

2 DEFINITIES

2.1 Specifieke geleidbaarheid, elektrische geleidbaarheid (γ)

Sterke zuren, basen en de meeste zouten zijn, wanneer ze opgelost zijn in een relatief groot volume water, praktisch volledig gesplitst in ionen. Deze ionen zijn in staat elektrische stroom te geleiden, vandaar dat dergelijke oplossingen goede geleiders zijn van de elektrische stroom (elektrolyten). De geleidbaarheid van een oplossing is eigenlijk niets anders dan de omgekeerde waarde van de elektrische weerstand en wordt daarom uitgedrukt in omgekeerde ohm (ohm^{-1}) of siemens (S). Onderstaande formules verduidelijken het begrip elektrische weerstand en geleidbaarheid:

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

Formule 1: Wet van Ohm

hierin is:

I	stroomsterkte (A)
E	spanning (V)
R	weerstand (Ω)

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s}$$

Formule 2

hierin is:

R	weerstand (Ω)
ρ	specifieke weerstand afhankelijk van het soort elektrolyten (Ωm)
l	afstand tussen de elektroden (m)
s	oppervlakte van de elektroden (m^2)
l/s	celconstante (m^{-1})

De specifieke weerstand is de weerstand van een elektrolytoplossing, die zich bevindt tussen twee elektroden van elk 1 cm^2 oppervlakte en 1 cm van elkaar geplaatst.

$$\rho = \frac{S}{l}$$

Formule 3

De specifieke geleidbaarheid (elektrische geleidbaarheid) (γ) is het omgekeerde van de specifieke weerstand (ρ). Ze wordt uitgedrukt in siemens per meter.

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (\Omega^{-1}/m \text{ of } S/m = 10^3 \text{ mS/m} = 10^4 \text{ } \mu\text{S/cm})$$

Formule 4

We kunnen zeggen dat de geleidbaarheid van een oplossing gelijk is aan de som van de beweeglijkheden van de samenstellende ionen, wanneer de oplossing in een elektrisch veld wordt geplaatst.

Indien er een gekende potentiaal aanwezig is tussen twee elektroden in een geleidbaarheids cel, dan zal de corresponderende stroom een maat zijn voor de geleidbaarheid. De hoeveelheid van de stroom is afhankelijk van de concentratie van de ionen, van de aard van de ionen, van de temperatuur van de oplossing en van de viscositeit van de oplossing.

Omwille van de grote invloed van temperatuurschommelingen op de geleidbaarheid, is het noodzakelijk dat de metingen gebeuren bij een constante temperatuur of dat er een temperatuurscorrectie wordt toegepast.

2.2 Celconstante (K)

De celconstante is de waarde als resultaat van de volgende vergelijking:

$$K = \frac{l}{A} \quad (m^{-1})$$

Formule 5

hierin is:

- l de lengte van een elektrische geleider, de afstand tussen de elektroden (m)
- A de oppervlakte van een elektrische geleider, de oppervlakte van de elektroden (m²)

De celconstante is dus afhankelijk van de geometrie van de cel.

2.3 Temperatuurscoëfficiënt (α)

De temperatuurscoëfficiënt van de geleidbaarheid, $\alpha_{\theta,25}$ wordt gegeven door de volgende vergelijking:

$$\alpha_{\theta,25} = \frac{1}{\gamma_{25}} \cdot \left(\frac{\gamma_{\theta} - \gamma_{25}}{\theta - 25} \right) \cdot 100 \quad (\%K^{-1} \text{ of } \%^{\circ}C^{-1})$$

Formule 6

hierin zijn θ en 25 °C de temperaturen, waarbij de geleidbaarheden γ_{θ} en γ_{25} respectievelijk werden gemeten.

2.4 Temperatuurscorrectiefactor (f)

De temperatuurscorrectiefactor is een factor die gebruikt wordt om de temperatuursafhankelijkheid van de geleidbaarheid te corrigeren. Als men meetresultaten met elkaar wil gaan vergelijken is het noodzakelijk dat deze gecorrigeerd worden naar een op voorhand gekozen referentietemperatuur (25°C), ook al verschilt de temperatuur van het watermonster maar gering met deze referentietemperatuur. Het omrekenen van de geleidbaarheid bij een welbepaalde temperatuur naar de geleidbaarheid bij 25°C (γ_{25}) kan met de volgende formule:

$$\gamma_{25} = \frac{\gamma_{\theta}}{1 + (\alpha/100)(\theta - 25)}$$

Formule 7

hierin is:

α	de temperatuurscoëfficiënt
γ_{θ}	de geleidbaarheid bij de specifieke meettemperatuur
θ	de meettemperatuur (°C)

3 OPMERKINGEN

- Richtlijn voor de conservering en behandeling van watermonsters wordt gegeven in WAC/II/A/010.
- De geleidbaarheidsmeting kan gestoord worden door de aanwezigheid van onopgeloste stoffen (vetten, oliën, minerale stoffen, metaaldeeltjes, enz).
- Eventuele luchtbellens tussen de elektroden kunnen de meting storen.
- Bij monsters waarvan de geleidbaarheid kleiner is dan 1 mS/m wordt de meting gestoord door de invloed van de lucht (eventuele opname van CO₂).
- Na de monstername dient de geleidbaarheid zo snel mogelijk gemeten te worden. Tijdens het transport en het bewaren van het monster zijn veranderingen mogelijk.
- Voor het bewaren, conditioneren, reinigen en regenereren van de elektrode wordt verwezen naar de aanbevelingen van de producent.

4 MONSTERBEHANDELING

Tijdens het transport en het bewaren van het monster zijn veranderingen in de elektrische geleidbaarheid mogelijk. De meting ervan moet daarom direct bij de monstername, of zo snel mogelijk (binnen 24 u) gebeuren zodat veranderingen tijdens het transport en de eventuele bewaring minimaal zijn.

5 APPARATUUR EN MATERIAAL

5.1 Apparatuur

- 5.1.1 geleidbaarheidsmeter voorzien van een geleidbaarheidscel en een temperatuurssensor (5.1.2) voor temperatuurscorrectie. Bij voorkeur is de geleidbaarheidsmeter uitgerust met een regeleenheid voor de celconstante. Vele toestellen bevatten een correctie voor de celconstante als een integrale functie. Daardoor bekomt men een directe uitlezing van de elektrische geleidbaarheid. Indien dit niet het geval is, moet de uitlezing op het toestel vermenigvuldigd worden met de celconstante om de exacte geleidbaarheid te bekomen;

- 5.1.2 temperatuursensor tot op 0,1 °C nauwkeurig. Voor routinematige metingen wordt een tolerantie van 0,5 °C toegelaten;
- 5.1.3 thermostatisch waterbad waarin men de temperatuur stabiel kan houden op 25 °C ± 0,1 °C. Voor routinematige metingen wordt een tolerantie van 0,5 °C toegelaten.

6 REAGENTIA EN OPLOSSINGEN

6.1 Reagentia

- 6.1.1 ultra puur water, elektrische geleidbaarheid kleiner dan 0,1 mS/m, equivalent met een weerstand groter dan 0,01 MΩ m bij 25 °C. Het wordt aangeraden water te gebruiken van een waterzuiveringssysteem dat ultra puur water levert met een weerstand groter dan 0,18 MΩm (doorgaan door leveranciers uitgedrukt als 18 MΩcm). Wanneer men van waters met een zeer lage ionenactiviteit de geleidbaarheid wil meten, dan moet men toch rekening houden met de bijdrage (< 0,1 mS/m) van het ultra puur water.

6.2 Oplossingen

- 6.2.1 Kaliumchloride, KCl, 0,1 mol/l
Droog enkele grammen kaliumchloride bij 105 °C gedurende 2 uur, los vervolgens 7,456 g van het gedroogde kaliumchloride op in water (6.1.1) en leng aan tot 1000 ml. De geleidbaarheid van deze oplossing bij 25 °C bedraagt 1290 mS/m;
- 6.2.2 Kaliumchloride, KCl, 0,01 mol/l
Leng 100 ml kaliumchloride oplossing 0,1 mol/l (6.2.1) met water (6.1.1) aan tot 1000 ml. De geleidbaarheid van deze oplossing bij 25 °C bedraagt 141 mS/m;
- 6.2.3 Kaliumchloride, KCl, 0,001 mol/l
Leng 100 ml kaliumchloride oplossing 0,01 mol/l (6.2.2) met water (6.1.1) aan tot 1000 ml. De geleidbaarheid van deze oplossing bij 25 °C bedraagt 14,7 mS/m;
- 6.2.4 In Tabel 1 worden kaliumchloride oplossingen van verschillende concentratie weergegeven met hun respectievelijke geleidbaarheid bij 25 °C. Deze oplossingen kunnen als alternatief voor de bovenstaande kaliumchloride oplossingen (6.2.1 tot 6.2.3) als standaarden gebruikt worden.

Concentratie KCl (mol/l)	Geleidbaarheid bij 25 °C (mS/m)
0,0001	1,49
0,0005	7,39
0,001	14,7
0,005	72,0
0,01	141
0,02	277
0,05	670
0,1	1290
0,2	2480

Tabel 1: De elektrische geleidbaarheid van kaliumchloride oplossingen van verschillende concentraties

- 6.2.5 Natriumchloride, NaCl, 0,05 %
Deze oplossing kan als alternatief voor de kaliumchloride oplossingen (6.2.1 tot 6.2.4) gebruikt worden om de celconstante te controleren. De geleidbaarheid van deze oplossing bij 25 °C bedraagt 101,5 mS/m.

7 PROCEDURE

7.1 Controle van de celconstante

De celconstante van de meetcel wijzigt in de loop van de tijd tengevolge van contaminatie. Om de celconstante te controleren maakt men gebruik van de kaliumchloride oplossingen (6.2.1 tot 6.2.4) of van de natriumchloride oplossing (6.2.5) waarvan de geleidbaarheid gekend is. Gebruik een oplossing waarvan de geleidbaarheid in de buurt ligt van de geleidbaarheid van de te meten monsters. Meet de geleidbaarheid van deze oplossing. De gemeten geleidbaarheid mag maximaal 5 % afwijken van de theoretische geleidbaarheid. Indien de afwijking groter is wordt de celconstante op de geleidbaarheidsmeter aangepast. Voor een gedetailleerde werkbeschrijving wordt verwezen naar de instructies van de fabrikant. Controleer de celconstante minstens éénmaal om de 6 maanden.

7.2 Meten van de monsters

Men brengt de monsters in evenwicht bij de temperatuur van 25°C in een thermostatisch waterbad. Eens het evenwicht bereikt is wordt de meetcel gespoeld met meerdere kleine hoeveelheden van het monster vooraleer de meting aanvangt. Men dompelt de meetcel en de temperatuursensor in het meetvat en wacht tot een constante uitlezing op het toestel wordt verkregen. Men noteert de uitgelezen waarde voor de geleidbaarheid samen met de temperatuur van het monster. Indien noodzakelijk wordt gecorrigeerd voor de celconstante (zie paragraaf 5.1.1). Wanneer metingen bij 25 °C niet mogelijk zijn (b.v. ter velde), dan wordt de geleidbaarheid van het staal gemeten bij een gekende temperatuur θ en gaat men het resultaat corrigeren naar de referentietemperatuur van 25°C (zie paragraaf 7.3).

7.3 Temperatuurscorrectie

Wanneer metingen bij 25 °C niet mogelijk zijn (b.v. ter velde), dan wordt de geleidbaarheid van het staal gemeten bij een gekende temperatuur θ en gaat men het resultaat corrigeren naar de referentietemperatuur van 25°C.

Wanneer geleidbaarheidsmetingen gecorrigeerd worden t.o.v. de referentietemperatuur, dan is het noodzakelijk om de temperatuurscoëfficiënt van het monster te kennen. Deze is specifiek voor ieder monster.

Indien de temperatuurscoëfficiënt van de monsters niet gekend is, kan deze experimenteel bepaald worden. De temperatuurscoëfficiënt mag afgeleid worden uit de geleidbaarheden experimenteel bepaald bij 25 °C \pm 0,1 °C en bij temperaturen $\theta \pm 0,1$ °C (zie paragraaf 2.3). Voor de bepaling van de temperatuurscoëfficiënt wordt het monster gethermostatiseerd op de referentietemperatuur. Na indompelen van de geleidbaarheidscel en temperatuursensor in het te meten monster wordt de geleidbaarheid bij een constante uitlezing genoteerd. Vervolgens wordt het monster verwarmd of gekoeld tot op een meettemperatuur θ en de geleidbaarheid wordt opnieuw gemeten. Met behulp van Formule 6 wordt de temperatuurscoëfficiënt berekend.

Door gebruik te maken van de juiste temperatuurscorrectiefactor (zie paragraaf 2.4) kan de gemeten geleidbaarheid bij een temperatuur θ gecorrigeerd worden naar de geleidbaarheid bij de referentietemperatuur van 25 °C. Met behulp van Formule 7 kan de temperatuurscorrectiefactor berekend worden.

Opmerking 1: De temperatuurscoëfficiënt (en bijgevolg ook de temperatuurscorrectiefactoren) is (zijn) specifiek voor ieder monster. In de praktijk echter blijken de verschillen verwaarloosbaar klein te zijn. Daarom wordt voor de temperatuurscoëfficiënt een vaste waarde van 1,9 tot 2 % gehanteerd. Een automatische temperatuurscorrectie module op de geleidbaarheidsmeter laat toe om de gemeten geleidbaarheid bij een temperatuur θ automatisch naar de elektrische

geleidbaarheid bij 25 °C om te rekenen. Om deze toestellen te kalibreren moeten de instructies van de fabrikant nauwlettend opgevolgd worden.

8 UITDRUKKING VAN DE RESULTATEN

Het resultaat wordt uitgedrukt als de elektrische geleidbaarheid (in mS/m of een andere geldige eenheid (zie paragraaf 2.1)) bij de referentietemperatuur van 25°C. Voor metingen die niet bij deze temperatuur zijn uitgevoerd, wordt de gecorrigeerde waarde gerapporteerd en wordt eveneens de effectieve temperatuur waarbij de meting werd uitgevoerd, meegegeven.

9 REFERENTIES

- ISO 7888:1985 Water quality – Determination of electrical conductivity
- NBN EN 27888:1994 Waterkwaliteit - Bepaling van de elektrische geleidbaarheid
- Handbook of chemistry and physics (CRC) 56th edition