



# Saliniteit – Chloriniteit – Chlorositeit

RELATIES IN GEBRUIK IN ZEEWATER EN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE



12\_076

WL Rapporten

## **Saliniteit – Chloriniteit – Chlorositeit**

Relaties in gebruik in zeewater en in de Beneden-Zeeschelde

De Boeck, K.; Van Hoestenbergh, T.; Vanlierde, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Maart 2014

WL2014R12\_076\_3

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

De Boeck, K.; Van Hoestenberghe, T.; Vanlierde, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Saliniteit – Chloriniteit – Chlorositeit: Relaties in gebruik in zeewater en in de Beneden-Zeeschelde. Versie 3.0. WL Rapporten, 12\_076. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.



**Waterbouwkundig Laboratorium**

*Flanders Hydraulics Research*

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: [waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)


[www.waterbouwkundiglaboratorium.be](http://www.waterbouwkundiglaboratorium.be)

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welk andere wijze ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Documentidentificatie

Titel:	Saliniteit – Chloriniteit – Chlorositeit: Relaties in gebruik in zeewater en in de Beneden-Zeeschelde		
Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2014R12_076_3
Keywords (3-5):	Saliniteit, chloriniteit, chlorositeit, fysische parameters		
Tekst (p.):	10	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input type="checkbox"/> Ja	Uitzondering:	<input type="checkbox"/> Opdrachtgever
			<input type="checkbox"/> Intern
			<input type="checkbox"/> Vlaamse overheid
		Vrijgegeven vanaf:	
	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Goedkeuring

Auteur	Revisor	Projectleider	Verantwoordelijke (Steunpunt) HIC	Afdelingshoofd
De Boeck, K.	Van Hoestenberghe, T.	Vanlierde, E.	Deschamps, M.	Mostaert, F.
			 Coördinator Studie & Advies Verwaest, T. 	

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur(s)
1.0	16/01/2013	Conceptversie	Karen De Boeck
2.0	16/01/2013	Inhoudelijke revisie	Thomas Van Hoestenberghe
3.0	31/03/2014	Definitieve versie	Elin Vanlierde

Abstract

Op het WL wordt een waaier aan fysische parameters gemeten, waaronder parameters die betrekking hebben op het zout – en chloridegehalte van de bevaarbare waterlopen in Vlaanderen. Gezien er nog regelmatig onduidelijkheid heerst omtrent de juiste definities en berekeningsmethode voor de parameters die te maken hebben met saliniteit en chloorgehalte, biedt deze nota een overzicht van de juiste definities, formules en eenheden voor deze parameters. Ook wordt de toepasbaarheid van de aangehaalde formules in zoet/zout water toegelicht.

## Inhoudstafel

Inhoudstafel .....	I
1. Inleiding .....	1
2. Definities.....	2
3. Formules.....	3
3.1. Formules voor zeewater.....	3
3.1.1. Saliniteit - Chloriniteit .....	3
3.1.2. Chloriniteit – Chlorositeit .....	3
3.1.3. Practical salinity [psu].....	3
3.1.4. Saliniteit [g/kg].....	4
3.2. Formules voor de Zeeschelde.....	6
3.2.1. Saliniteit – Chloriniteit.....	6
3.2.2. Chloriniteit – Chlorositeit .....	6
3.2.3. Saliniteit [psu].....	6
3.2.4. Saliniteit [g/kg].....	6
4. Metingen WL .....	7
4.1. Continue metingen .....	7
4.2. Vaarten.....	7
4.3. Aanbevelingen .....	7
5. WISKI .....	9
6. Referenties .....	10

## 1. Inleiding

Op het WL wordt een waaier aan fysische parameters gemeten. Dit gebeurt enerzijds in situ, en anderzijds op waterstalen in het sedimentlabo. Een deel van deze parameters heeft betrekking op het zout – en chloridegehalte van de bevaarbare waterlopen in Vlaanderen.

Gezien er nog regelmatig onduidelijkheid heerst omtrent de juiste definities en berekeningsmethode voor de parameters die te maken hebben met saliniteit en chloorgehalte, biedt deze nota een overzicht van de juiste definities, formules en eenheden voor deze parameters. Ook wordt de toepasbaarheid van de aangehaalde formules in zoet/zout water toegelicht. In hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van welke parameters met betrekking tot zout- en chloridegehalte op moment van schrijven (23-10-2012) worden gemeten in het WL en worden verder aanbevelingen geformuleerd omtrent het belang en prioriteit van de verschillende metingen die in het WL gebeuren/kunnen gebeuren. In kader van het project '*Analyse en verbetering van meetdata – Historische sediment- en fysische parameterdata import*' zullen de meetreeksen van deze parameters worden geïmporteerd, opgeslagen en gevalideerd met de validatiesoftware WISKI (Water Information System by Kisters). Met oog op deze import, wordt in hoofdstuk 5 kort samengevat hoe de relevant bevonden parameters en formules in WISKI geïmplementeerd zullen worden.

## 2. Definities

In de loop der tijd zijn verschillende parameters en definities door elkaar gebruikt. Zo is historisch vaak gebruik gemaakt van de term 'chloridegehalte in mg/l' wanneer men chloriniteit in mg/kg' bedoelde. Om duidelijkheid te scheppen tussen de verschillende termen, zijn hieronder de definities opgesteld voor de parameters die betrekking hebben op het zout – en chloridegehalte, zoals ze zijn weergegeven in het document 'Relatie geleidendheid-chloriniteit voor de Westerschelde' (Swart, 1982).

**Saliniteit** = Het totale gewicht aan vaste stof per gewichtseenheid zeewater, als alle carbonaten zijn omgezet in oxiden, alle organische stof is geoxideerd en alle broom- en jodiumionen zijn vervangen door equivalente hoeveelheden chloorionen.

**Chloriniteit** = Het totale gewicht aan chloorionen per gewichtseenheid zeewater, als alle broom- en jodiumdionen zijn vervangen door equivalente hoeveelheden chloorionen.

**Chlorositeit** = Het totale gewicht aan chloorionen per volume eenheid zeewater, als alle broom- en jodiumdionen zijn vervangen door equivalente hoeveelheden chloorionen.

**Chloridegehalte** = het totale gewicht aan werkelijke chloorionen per gewichtseenheid water.

VLIZ (2004-2012) hanteert volgende definitie voor chloriniteit:

**Chloriniteit** = Maat voor de hoeveelheid chloride (ionische vorm van chloor) en andere haliden (ionen van chloor, broom, jood, fluor en astaat) in water. Het wordt vaak gebruikt als een maat voor het zoutgehalte of de saliniteit van zeewater (uitgedrukt in aantal gram chloride-ionen per 1000 gram zeewater).

### 3. Formules

Het meten van saliniteit heeft een lange geschiedenis van standaardisering en interpretatie achter de rug (Swart, 1982). Hieronder worden de relaties en formules voor de verschillende parameters weergegeven. Wat betreft de metingen die gebeuren binnen het WL, zijn enkel de formules voor brak en zoet water van belang, maar voor de volledigheid worden eerst ook de formules die gehanteerd kunnen worden in zeewater weergegeven.

#### 3.1. Formules voor zeewater

##### 3.1.1. Saliniteit - Chloriniteit

In 1902 stelde **Knudsen** aan de hand van analyseresultaten uit de Baltische zee de volgende relatie op tussen de saliniteit  $S$  [g/kg] en chloriniteit  $C$  [g/kg]

$$S = 1.8050 \cdot C + 0.03$$

De niet volmaakte evenredigheid in de formule van Knudsen is het gevolg van de invloed van rivierwater op de Baltische zee.

In 1962 werd door Unesco nieuw onderzoek gedaan met zeewater uit alle delen van de wereldoceanen. De relatie saliniteit-chloriniteit kan volgens **UNESCO** (1962) voor standaard zeewater worden berekend met

$$S = 1.86550 \cdot C$$

waarin Saliniteit ( $S$ ) en chloriniteit ( $C$ ) beiden zijn uitgedrukt in g/kg.

##### 3.1.2. Chloriniteit – Chlorositeit

De relatie tussen chloriniteit  $C$  [g/kg] en chlorositeit  $C'$  [g/kg] is als volgt

$$C = C' \cdot \frac{\rho}{1000}$$

met  $\rho$  = dichtheid zeewater ( $\text{kg/m}^3$ )

##### 3.1.3. Practical salinity [psu]

In 1978 is het idee om saliniteit te berekenen vanuit de relatie met chloriniteit losgelaten met de introductie van de Practical Salinity Scale. Deze formule geldt in **zeewater** en dus in het zoute gedeelte van de Schelde. Voor het brakke gedeelte dienen empirische formules worden opgesteld.

Onder 'praktische saliniteit' verstaat men de saliniteit die berekend wordt uit de geleidbaarheid bij 25°C. De omrekening van het geleidend vermogen naar een saliniteit is gedefinieerd op de geleidbaarheid van het standaard zeewater (het zogenoemde Kopenhagener water). De praktische saliniteit wordt berekend uit de gemeten geleidbaarheid, temperatuur en bij dieptemeting de druk van het oppervlaktewater volgens onderstaande Unesco-formule (UNESCO, 1982). De berekeningswijze is geldig voor een temperatuurrange van -2 tot 35°C, een druk van 0 tot 1000 bar en een saliniteit van 2 tot 42. De nauwkeurigheid van de bepaling is afhankelijk van de gebruikte meetinstrumenten.

Hieronder is de Unesco formule weergegeven voor de berekening van saliniteit in psu:

- stap 1
  - R=conductiviteit/4291.4 [mS/m]
  - t=temperatuur\* 1.00024
  - p=water pressure [bar]
- stap 2
  - $R_p = 1 + p \cdot (e_1 + e_2 \cdot p + e_3 \cdot p^2) / (1 + d_1 + d_2 \cdot t^2 + (d_3 + d_4 \cdot t) \cdot R)$
  - e1=2.070e-5
  - e2=-6.370e-10
  - e3=3.989e-15



- $d1=3.426e-2$   
 $d2=4.464e-4$   
 $d3=4.215e-1$   
 $d4=-3.107e-3$
- stap 3
    - $R_{tempm} = C_0 + C_1 * t + C_2 * t^2 + C_3 * t^3 + C_4 * t^4$
    - $C_0 = 0.6766097$
    - $C_1 = 2.00564e-2$
    - $C_2 = 1.104259e-4$
    - $C_3 = -6.9698e-7$
    - $C_4 = 1.0031e-9$
  - stap 4
    - $R_t = R / (R_p * R_{tempm})$
  - stap 5
    - $dS = (t-15) / (1 + k * (t-15)) * (b_0 + b_1 * R_t^{0.5} + b_2 * R_t + b_3 * R_t^{3/2} + b_4 * R_t^2 + b_5 * R_t^{5/2})$
    - $b_0 = 0.0005$
    - $b_1 = -0.0056$
    - $b_2 = -0.0066$
    - $b_3 = -0.0375$
    - $b_4 = 0.0636$
    - $b_5 = -0.0144$
    - $k = 0.0162;$
  - stap 6
    - $Saliniteit = a_0 + a_1 * R_t^{0.5} + a_2 * R_t + a_3 * R_t^{3/2} + a_4 * R_t^2 + a_5 * R_t^{5/2} + dS$**
    - $a_0 = 0.0080$
    - $a_1 = -0.1692$
    - $a_2 = 25.3851$
    - $a_3 = 14.0941$
    - $a_4 = -7.0261$
    - $a_5 = 2.7081$

### 3.1.4. Saliniteit [g/kg]

In de nota van Swart (1982) wordt de saliniteit S [g/kg] in zeewater als volgt berekend:

$$S = b_0 + b_1 \cdot R_t + b_2 \cdot R_t^2 + b_3 \cdot R_t^3 + b_4 \cdot R_t^4 + b_5 \cdot R_t^5 \quad \text{g/kg} \quad (3)$$

waarin:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= -0,08996 \\
 b_1 &= 28,29720 \\
 b_2 &= 12,80832 \\
 b_3 &= -10,67869 \\
 b_4 &= 5,98624 \\
 b_5 &= -1,32311
 \end{aligned}$$

Met berekening van  $R_t$  als volgt:

$$R_t = \frac{K(t)}{K_{st}(t)}$$

waarin:

$R_t$  = geleidendheidsverhouding bij  $t$  °C.

$K(t)$  = geleidendheid monster zeewater, al of niet verdund met gedestilleerd water, bij  $t$  °C.

en berekening van  $K_{st}$  als volgt:

$$K_{st}(t) = K_{st}(15) \cdot (a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3 + a_4 \cdot t^4 + a_5 \cdot t^5)$$

milli Mho/cm. (1)

waarin:

$$K_{st}(15) = 42,910 \text{ milli Mho/cm.}$$

$$\begin{aligned} a_0 &= 0,676518 \\ a_1 &= 0,200402 * 10^{-1} \\ a_2 &= 0,122700 * 10^{-3} \\ a_3 &= -0,218091 * 10^{-5} \\ a_4 &= 0,663405 * 10^{-7} \\ a_5 &= -0,956460 * 10^{-9} \end{aligned}$$

## 3.2. Formules voor de Zeeschelde

### 3.2.1. Saliniteit – Chloriniteit

Om een goede relatie te bepalen tussen temperatuur, conductiviteit enerzijds en saliniteit/chloriniteit anderzijds is het ten stelligste aangewezen om gedurende het hele jaar bij alle kenteringsvaarten op verschillende locaties langsheen de Zeeschelde waterstalen te nemen. Op deze waterstalen moeten dan volgende parameters geanalyseerd worden: temperatuur, conductiviteit, en ionenconcentraties gemeten (Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>).

Voor de verschillende tijdstippen en verschillende locaties kan vervolgens een relatie worden opgesteld tussen temperatuur, conductiviteit en chloridegehalte/chloriniteit.

Zolang deze relatie niet is opgesteld, kan gebruik gemaakt worden met de formule van Unesco, maar deze geldt strikt genomen enkel voor zeewater:

$$S = 1.86550 \cdot C$$

waarin Saliniteit (S) en chloriniteit (C) beiden zijn uitgedrukt in g/kg.

### 3.2.2. Chloriniteit – Chlorositeit

De relatie tussen chloriniteit en chlorositeit is ook hier:

$$C = C' \cdot \frac{\rho}{1000}$$

waarbij C' =chlorositeit (g/l), C = chloriniteit (g/kg), ρ = dichtheid zeewater (kg/m<sup>3</sup>)

### 3.2.3. Saliniteit [psu]

Benaderend kan ook voor Westerscheldewater de Unescoformule gebruikt worden voor de berekening van saliniteit in psu. Hierbij kan de term die de druk in rekening brengt, weggelaten worden voor de berekening van saliniteit in rivierwater, gezien deze verwaarloosbaar is in vergelijking met de druk in oceanen.

### 3.2.4. Saliniteit [g/kg]

Onderstaande empirische relatie werd door Marc Wouters opgesteld ter bepaling van saliniteit [g/kg] in Westerscheldewater, op basis van conductiviteit (mS/cm) en temperatuur (°C).

$$Saliniteit = A \cdot Cond^2 + B \cdot Cond - 0.1219$$

Waarbij

$$B = 0.00036 * T^2 - 0.02874 * T + 1.06171$$

Als T < 10°C

$$A = -0.000208 * T + 0.00488$$

Als T ≥ 10°C

$$A = -0.000065 * T + 0.003492$$

Interne berekeningen op het WL wijzen uit dat de chloriniteitwaarden die bij KLW vaarten berekend zijn op basis van de met bovenstaande formule berekende saliniteit, goed overeenkomen met de Cl<sup>-</sup> metingen van VMM. Enkel vanaf 90 km opwaarts Vlissingen lijkt de overeenkomst iets minder goed te zijn.

## 4. Metingen WL

Het WL staat in voor tal van continue en niet-continue temperatuurs- en conductiviteitsmetingen. Deze metingen kunnen op basis van de hierboven beschreven formules omgezet worden naar chloriniteit en saliniteitswaarden. Hieronder volgt een kort overzicht van de relevante metingen.

### 4.1. Continue metingen

Op verschillende locaties staan YSI-, CTD- en Aanderaa-sondes, die temperatuur en conductiviteit registreren. YSI toestellen voeren metingen uit met een tijdstap van 5 minuten (vroeger 15 minuten), terwijl CTD- en Aanderaa-sondes 10-minutelijkse gegevens registreren.

### 4.2. Vaarten

Anno 2012 worden tijdens de kenteringsvaarten (KHW, KLW, Dokken, HTE) temperatuur en conductiviteit gemeten met behulp van een multiparametersonde (YSI). Op basis hiervan kunnen gebruikmakend van bovenstaande formules saliniteit en chloriniteit worden berekend.

Bij deze vaarten wordt telkens een waterstaal genomen dat geanalyseerd wordt in het sedimentlabo. Op moment van schrijven, worden volgende analyses uitgevoerd in het sedimentlabo:

- Op de stalen die tijdens de kenteringsvaarten gebeuren, wordt door middel van filtratie de SSC concentratie bepaald.
- Op de stalen die tijdens de dokvaarten gebeuren, wordt door middel van filtratie de SSC concentratie bepaald.
- Op de stalen die tijdens de halve tij eb vaarten gebeuren, wordt door middel van filtratie de SSC concentratie bepaald. Bijkomend wordt de conductiviteit van deze waterstalen gemeten. Vroeger werd ook de  $Cl^-$  concentratie bepaald met de titrator. Deze titrator is op moment van schrijven echter defect.

Sinds begin 2014 wordt in het sedimentlaboratorium van het Waterbouwkundig Laboratorium met de ionenchromatograaf de chloride-concentratie gemeten op de genomen waterstalen. Deze ionenchromatograaf laat tevens toe de hoeveelheid  $Br^-$ ,  $I^-$  en  $F^-$  ionen te registreren, waaruit dan de chlorositeit kan worden berekend. Gebruikmakend van de dichtheid van het waterstaal, kan dan tevens de chloriniteit worden berekend.

De ionenchromatograaf laat ook toe de pH en conductiviteit te meten.

**Nota. Wanneer men in het verleden de term chloridegehalte [g/l] gebruikt voor de metingen tijdens de kenteringsvaarten, bedoelt men eigenlijk chloriniteit [g/kg]. Hier is namelijk de formule van Marc Wouters gebruikt om de saliniteit in g/kg te berekenen, en op basis hiervan is met de formule van Unesco/Knudsen overgegaan naar chloriniteit.**

### 4.3. Aanbevelingen

Op het WL worden tal van metingen uitgevoerd en geanalyseerd. Niet al deze metingen leiden altijd tot bruikbare patronen of conclusies en er kan bijgevolg overwogen worden om sommige metingen in de toekomst achterwege te laten. Anderzijds zijn er metingen die op moment van schrijven nog niet gebeuren binnen het WL, maar die wel relevant zijn voor het doorgronden en evalueren van de fysische parameters in de bevaarbare waterlopen. In kader van deze nota wordt de relevantie van de verschillende metingen geformuleerd. Volgende aanbevelingen geformuleerd worden voor de verschillende vaarcampagnes:

### **Kenteringsvaarten**

- Kenteringsvaarten hebben als voornaamste doel om het verloop van het zoutgehalte in de Beneden-Zeeschelde te registreren. Hier is het dus prioritair om waterstalen te nemen en deze in het sedimentlabo te analyseren op Temperatuur, Conductiviteit en de ionen  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Br}^-$  met oog op het bepalen van een relatie tussen deze parameters.
- Gezien op moment van kentering het water stilstaat, is het minder relevant om sedimentconcentraties te bepalen op basis van de stalen die tijdens de kenteringsvaarten zijn genomen.
- In situ registraties van T, Conductiviteit en pH zijn ook minder prioritair (tenzij ter validatie van multi-parametersonde metingen ter hoogte van vaste meetpunten).

### **Halve tij eb vaarten**

- Halve tij eb vaarten hebben als voornaamste doel om sedimentconcentraties in de waterloop te begroten. Hiervoor is het dus prioritair om een waterstaal te nemen en hierop in het sedimentlabo door middel van filtratie de sedimentconcentratie te bepalen. Evenwel worden op deze stalen ook conductiviteit en temperatuur bepaald.
- Het bepalen van conductiviteit en temperatuur is nodig om de ADCP te kalibreren. Dit gebeurt het beste aan de hand van in situ metingen (m.b.v. een YSI multiparametertoestel), aangezien de post-verwerking van de data veel te veel werk zou vergen indien de bepaling van conductiviteit en temperatuur zou gebeuren a.h.v. het nemen van waterstalen en het analyseren ervan in het labo. Doch, in dit laatste geval, kan het ook nuttig zijn om de ionenconcentraties eveneens te bepalen om zo een grotere dataset aan  $\text{Cl}^-$ , conductiviteit en temperatuur te verkrijgen.

### **Dokken**

- In de dokken is het prioritair om in situ T, pH en conductiviteit te meten, en pompstalen te nemen om deze dan in het labo te analyseren op T, conductiviteit en chloridegehalte.
- Om echt een beeld te krijgen van de gelaagdheid, zouden op 3 verschillende dieptes metingen moeten worden uitgevoerd.
- Gezien het water in de dokken stilstaand water is, is het meten van sedimentgehalte weinig relevant. Relaties zullen hieruit zelden naar voor komen.

## 5. WISKI

In de sedimenttemplates in WISKI, zijn wat betreft **saliniteits**berekeningen reeksen voorzien voor de berekening van saliniteit met enerzijds de Unesco formule (psu) en anderzijds voor de berekening aan de hand van de formule van Marc Wouters (g/kg). Deze reeksen worden voorzien binnen volgende templates

- Aanderaa template
- YSI template
- CTD template
- LV template (KHW, KLW)
- Dokken template

Het dient wel opgemerkt te worden, dat de Unescoformule strikt gezien enkel gebruikt mag worden in oceaanwater.

De omrekening van saliniteit [g/kg] naar **chloriniteit**, gebeurt in WISKI voorlopig met de Unescoformule, strikt genomen enkel geschikt voor oceaanwater.

Na evaluatie van de hierboven geformuleerde aanbevelingen, kan beslist worden om de geïmplementeerde reeksen in de sedimenttemplate voor de langsvaarten aan te passen conform de genomen beslissingen. Bovendien is herberekening van afgeleide parameters in WISKI eenvoudig mogelijk, wat impliceert dat de UNESCO formule kan vervangen worden door een eigen afgeleide formule wanneer deze vastgelegd is.

## 6. Referenties

Knudsen (1902). Hydrografische tabellen. Kopenhage, 1901.

UNESCO - Second report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards. UNESCO technical papers in marine science.

UNESCO (1981). The Practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980; UNESCO technical papers in Marine Science 36.

Swart, (1982). Relatie geleidendheid-chloriniteit voor de Westerschelde. Notitie WWKZ-82.V280, Rijkswaterstaat. 19p.

Vliz (2004-2012). Vlaams Instituut voor de Zee, Infoloket.  
<http://www.vliz.be/vmdcdata/faq/keywords.php?id=230>



**Waterbouwkundig Laboratorium**

*Flanders Hydraulics Research*

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: [waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

[www.waterbouwkundiglaboratorium.be](http://www.waterbouwkundiglaboratorium.be)