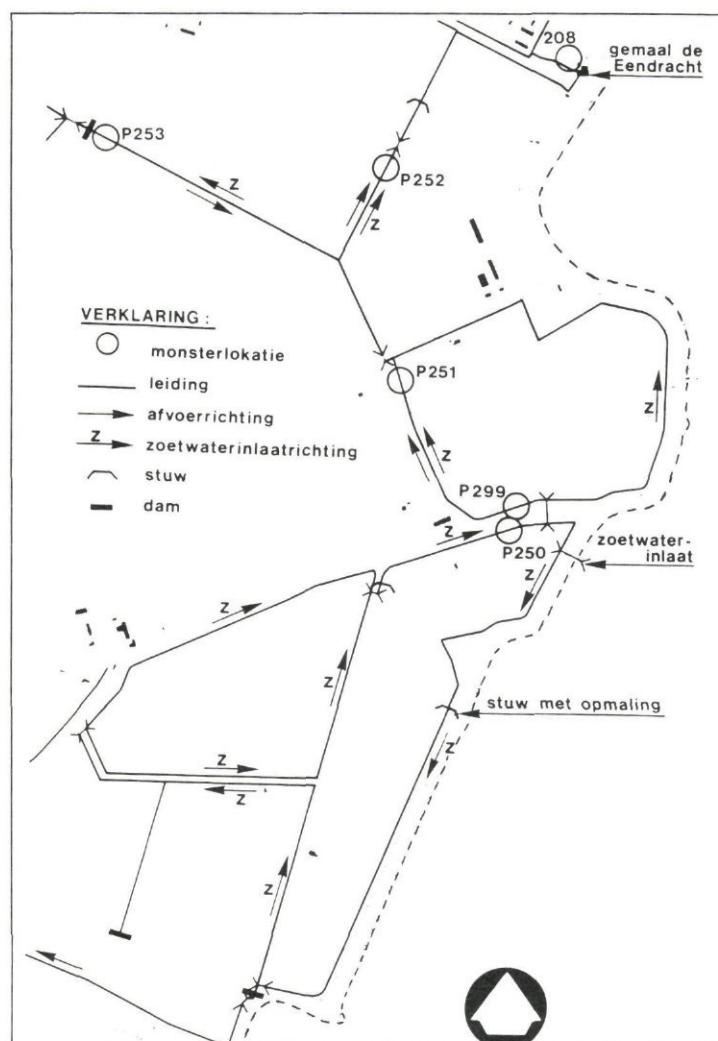


Verzilting van het grondwater door zoute kwel vormt op veel plaatsen in Zeeland een probleem voor de landbouw. Kwantitatief is relatief weinig bekend over deze verzilting. Dit is de reden waarom 'verzilting' als één van de onderzoeksthema's in het vigerende waterhuishoudingsplan is opgenomen.





Afb. 2 - Lokatie van zoetwaterinlaat en bemonsteringspunten en ligging van aanvoerbeidingen; schaal 1:10.000.

NAP - 2,20 m (zomerpeil) en NAP - 2,50 m (winterpeil). In de Deurlopolder bedragen deze peilen respectievelijk NAP - 1,20 m en NAP - 2,00 m. Het streefpeil van het buitenwater van de 'Nieuwe Haven' (en de Schelde-Rijnverbinding) bedraagt NAP, met toegestane fluctuaties tussen NAP + 0,05 m en NAP - 0,25 m. De stijghoogte van het diepere grondwater is circa NAP - 0,70 m. Dit impliceert dat er een kwelsituatie bestaat in het onderzoeksgebied.

Tot aan de sluiting van de Oesterdam, die het Zoommeer afsluit van de (zoute) Oosterschelde, was het open water van de Eendracht dat aan het onderzoeksgebied grenst, zout. Mogelijkerwijs is een deel van het aangevoerde kwelwater zoet en afkomstig van het Brabantse vasteland. Aangenomen mag worden dat tenminste een deel van het toegevoerde kwelwater, afkomstig uit de Eendracht, ook zout was. Verwacht wordt dat sinds de aanleg van het Zoommeer het toestromende kwelwater minder zout wordt. Dit proces, dat er uiteindelijk toe zal leiden dat het kwelwater volledig zoet zal worden, heeft een tijdschaal in de orde van minstens tientallen en mogelijk zelfs honderden jaren.

2.2. Opbouw van de ondergrond

Voor het huidige onderzoek is alleen dat deel van de ondergrond van belang voor zover het invloed uitoefent op de kwantiteit en kwaliteit van het freatisch grondwater en oppervlaktewater.

bemonstering, evenals de waterlopen waarlangs zoetwateraanvoer plaatsvond, staan aangegeven in afbeelding 2. Het gebied waarin de bemonstering is uitgevoerd, behoort tot de Schakerlopolder en de Deurlopolder. Aan de oostzijde wordt het poldergebied begrensd door de 'Nieuwe Haven', het zuidelijke uiteinde van de waterloop 'de Eendracht', die deel uitmaakt van de tegenwoordige Schelde-Rijnverbinding. De zoetwaterinlaat vanuit de 'Nieuwe Haven' vindt plaats ruim 1 km zuidelijk van het gemaal de Eendracht.

Bemonstering van de waterbodem heeft plaatsgevonden op drie lokaties in watergangen tussen het inlaatpunt en het uitslaande gemaal 'de Eendracht', zoals weergegeven in afbeelding 2. Lokatie 250 is gelegen 200 m vanaf het inlaatpunt, in een deel van de watergang dat normaliter gebruikt wordt voor de bemaling van de Deurlopolder. De lokatie ligt op de rand van de Deurlopolder. De lokaties 251 en 252 liggen 'stroomafwaarts' richting gemaal in de Schakerlopolder. Lokatie 251 ligt op circa 600 m van het open water van

de 'Nieuwe Haven' en lokatie 252 op ongeveer 350 m.

2. Fysiografie van het onderzoeksgebied

2.2. Topografie en waterhuishouding

Het onderzoeksgebied in de zuidoosthoek van het eiland Tholen ligt in Deurlopolder (lokatie 250) en Schakerlopolder (lokatie 251 en 252). De Deurlopolder is een relatief recente inpoldering van waarschijnlijk een van de platen, zoals die nog steeds aangetroffen worden in de Oosterschelde voor de kust van het eiland Tholen. Het maaiveld van de Deurlopolder ligt tussen NAP en NAP + 0,4 m. De Schakerlopolder, die van veel oudere datum en daarom meer ingeklonken is, heeft in het onderzoeksgebied een hoogteligging tussen NAP en NAP - 1,4 m.

In beide polders wordt de freatische grondwaterstand gereguleerd door een stelsel van watergangen, slootjes, stuwtjes en het gemaal 'de Eendracht'. In de Schakerlopolder wordt een gemiddeld polderpeil gehandhaafd tussen

De bovenste 5 tot 10 m van de bodem op het eiland Tholen in de buurt van de onderzoeklokatie wordt gevormd door een Holocene deklaag, die geohydrologisch als slecht doorlatend wordt beschouwd. Deze laag bestaat uit een afwisseling van sedimenten, variërend van zware klei, veen tot zandige afzettingen. Deze afwisseling treedt op in zowel verticale als horizontale richting, ook over korte afstanden. Voor de verticale weerstand van deze deklaag zijn geen betrouwbare gegevens beschikbaar. Geschat wordt dat de weerstand tussen 1.000 en 10.000 dagen bedraagt.

Onder de deklaag worden zandige en leemhoudende afzettingen aangetroffen die behoren tot de Formatie van Twente en de Formatie van Tegelen. Deze afzettingen vormen een watervoerend pakket, waarvan de totale dikte circa 50 m bedraagt. De doorlatendheid van deze watervoerende laag bedraagt circa 100 m²/dag. Onder dit (ondiepe) watervoerend pakket wordt een 6 tot 9 m dikke slecht doorlatende laag aangetroffen, die

de scheiding vormt met een diep water-voerend pakket.

2.3. Kwel

Zoals vermeld in paragraaf 2.1., bedraagt de stijghoogte van het water in het ondiepe watervoerend pakket circa NAP – 0,70 m, terwijl het gemiddelde polderpeil voor de Schakerlopolder NAP – 2,30 m bedraagt en NAP – 1,60 m voor de Deurlopolder. Uitgaande van weerstandswaarden van de toplaag van 1.000 tot 10.000 dagen zal de kwel 0,16 tot 1,60 mm voor de Schakerlopolder, en 0,09 tot 0,90 mm voor de Deurlopolder bedragen. Deze berekende waarden voor de kwel zijn indicaties van de orde van grootte van de te verwachten kwel.

3. Theoretische beschouwing van het verzoetingsproces

3.1. Het gecombineerde proces van diffusie en kwel

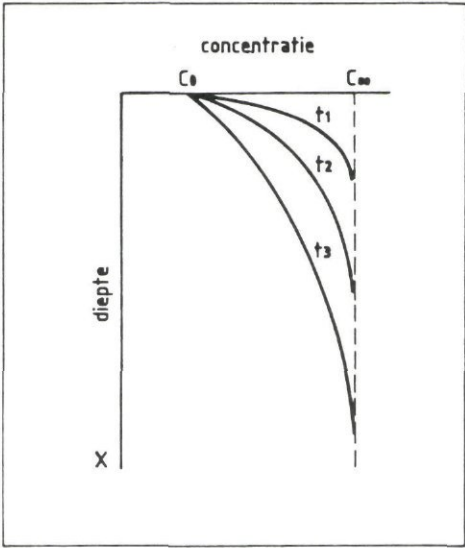
Bij het aanvoeren van water met een lager chloridegehalte dan de chlorideconcentratie in de waterbodem, zal er een chloridegradiënt in de waterbodem ontstaan. Deze verzoeting van boven af is het gevolg van diffusie. In een situatie van infiltratie wordt de verzoeting versneld. In een kwelsituatie daarentegen zal de verzoeting trager verlopen en minder diep indringen.

In deze paragraaf wordt de theoretische achtergrond beschreven van het verschijnsel van diffusie, wat een belangrijke rol speelt in het proces van verzoeting van de waterbodem. Naast diffusie is de convectieve stroming van water in de bodem van belang. In het geval van het onderzoeksgebied is dat de opwaarts gerichte kwel.

Als uitgangspunt bij de theoretische beschouwing worden enige symbolen geïntroduceerd om de begin- en randcondities te beschrijven. Gesteld wordt dat de oorspronkelijke chlorideconcentratie in de waterbodem, vóór de aanvoer van zoet water, een grootte heeft van c_{∞} . Deze concentratie geldt uniform over de gehele diepte van het beschouwde bodemprofiel.

Bij de start van de proef, op tijdstip $t=0$, gaat de chlorideconcentratie op $x=0$ (grensvlak waterbodem – oppervlaktewater) naar c_0 . De niet-stationaire verandering van de chlorideconcentratie in de waterbodem kan worden beschreven met de convectie-diffusie vergelijking:

$$\frac{\partial c}{\partial t} - v \frac{\partial c}{\partial x} - D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = 0 \tag{1}$$



Afb. 3 - Geschematiseerd concentratieverloop in de bodem als functie van diepte en tijd.

- waarin:
- c – chlorideconcentratie
 - t – tijd
 - x – diepte
 - v – stroomsnelheid (> 0 : opwaarts gerichte stroming)
 - D – diffusiecoëfficiënt

De bijbehorende rand- en begincondities zijn:

$t < 0 : c(x) = c_{\infty}$
 $t > 0 : c(0) = c_0$
(ter vereenvoudiging $c_0=0$)

In afbeelding 3 is schematisch het concentratieverloop over de diepte weergegeven als functie van de tijd.

Vergelijking (1) heeft voor de gestelde rand- en begincondities een exacte, analytische oplossing (zie o.a. [3]). Deze oplossing luidt:

$$c(x, t) = c_{\infty} \left[1 - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{x + vt}{2\sqrt{Dt}} \right) - \frac{1}{2} e^{-\frac{v x}{D}} \operatorname{erf} \left(\frac{x - vt}{2\sqrt{Dt}} \right) \right] \tag{2}$$

Het nadeel van een dergelijke exacte oplossing is dikwijls dat er door de relatief ingewikkelde functies die erin voorkomen, weinig fysisch inzicht wordt verkregen in de aard en het gedrag van de oplossing. Om die reden verschaffen benaderende oplossingen, gebruik makend van relatief eenvoudige functies, vaak meer inzicht. Een dergelijke benadering is voor het gestelde probleem uitgewerkt. De oplossing van vergelijking (1) voor de gestelde rand- en begincondities, wordt in

dimensieloze vorm uitgewerkt door het kiezen van daartoe geschikte karakteristieke schalen. Gesteld wordt:

Concentratieschaal $c_{\infty} \rightarrow \bar{c} = c/c_{\infty}$
Lengteschaal $L \rightarrow \bar{x} = x/L$
Tijdschaal $T \rightarrow \bar{t} = t/T$

De variabelen $\bar{c}$, $\bar{x}$, en $\bar{t}$ zijn dimensioneloos. Hiermee kan vergelijking (1) worden herleid tot een dimensioneloze vergelijking. Door een juiste keuze van de lengte- en tijdschaal, worden alle termen in de dimensioneloze vergelijking van grootteorde 1. De keus van deze karakteristieke schalen is als volgt:

$$L = \frac{D}{V}; T = \frac{D}{V^2} \tag{3}$$

De dimensioneloze vergelijking wordt dan:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{t}} - \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{x}} - \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial \bar{x}^2} = 0 \tag{4}$$

met beginconditie en randconditie:

$\bar{t} \geq 0 : \bar{c}(0, \bar{t}) = 0$
 $\bar{t} < 0 : \bar{c}(\bar{x}) = 1 \forall \bar{x}$

Bij infiltratie wordt geen stationaire eind-situatie bereikt. Een stationaire eind-situatie wordt alleen bereikt in het geval dat er sprake is van een kwelsituatie (waarbij v in vergelijking (1) positief is). Voor deze stationaire eindsituatie geldt:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{t}} = 0$$

Vergelijking (4) wordt dan vereenvoudigd tot:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial \bar{x}^2} = 0 \tag{5}$$

met als oplossing bij de gegeven rand- en begincondities:

$$\bar{c} = 1 - e^{-\bar{x}} \tag{6}$$

Een mogelijke benaderingsoplossing van vergelijking (4) voor de niet-stationaire situatie wordt gevonden door een functie aan te nemen (de zogenaamde 'trial'-functie), die voor alle waarden van t aan de rand- en begincondities voldoet en volgens een bepaald criterium wordt geoptimaliseerd. Voor deze methode wordt gerefereerd aan [7]. Als 'trial'-functie is een concentratieprofiel aangenomen dat dezelfde vorm heeft als de stationaire eindoplossing, maar met een

tijdsafhankelijke verplaatsing van het 'front':

$$\bar{c}^* = 1 - e^{-\bar{x}/\bar{\delta}} \tag{7}$$

waarin

$$\bar{\delta} = \bar{\delta}(\bar{t})$$

$\bar{\delta}(\bar{t})$ kan worden beschouwd als een soort indringingsdiepte en geeft een maat voor de (tijdsafhankelijke) exponentiële functie waaraan het concentratie-profiel voldoet. Een methode om een oplossing van δ te vinden, is via een zogenaamde integraal-methode [7], waarop hier niet nader wordt ingegaan. Aldus wordt afgeleid dat:

$$\bar{\delta} + \ln(1 - \bar{\delta}) = -\bar{t} \tag{8}$$

waarin $0 \leq \bar{\delta} < 1$.

Deze relatie tussen $\bar{\delta}$ en $\bar{t}$ is grafisch weer-gegeven in afbeelding 4. Het blijkt onder meer dat voor $\bar{t} = 1$, de eindwaarde van $\bar{\delta}$ al voor 84% is bereikt en bij $\bar{t} = 3$ voor 98%. De tijdschaal T is dus een prima maat voor de duur van het indringings-proces.

Door een reeksontwikkeling kan vergelij-king (8) ook worden geschreven als:

$$\frac{1}{2} \bar{\delta}^2 + \frac{1}{3} \bar{\delta}^3 + \frac{1}{4} \bar{\delta}^4 + \dots = \bar{t} \tag{9}$$

Hieruit blijkt voor kleine waarden van $\bar{\delta}$ dat $\bar{\delta}$ zich gedraagt evenredig met $\sqrt{\bar{t}}$ wat een typische eigenschap van een diffusieproces is. Populair gezegd kan men stellen dat in de aanvangsfase van de zoetwaterindringing de invloed van de kwel gering is en het diffusieproces over-heerst. Naarmate dit indringingsproces voortschrijdt en δ groter wordt, wordt de

indringing blijkens vergelijking (9) steeds sterker geremd totdat uiteindelijk de stationaire situatie wordt bereikt.

3.2. *Gevoeligheid van de parameters*

De belangrijkste parameters in het beschreven proces zijn:

- gemeten chlorideconcentraties
- kwelintensiteit
- diffusiecoëfficiënt

De chlorideconcentraties in het poriën-water zijn met een redelijke mate van nauwkeurigheid te analyseren. De belang-rijkste bron van fouten hierin zijn verstoringen in de monsters tijdens monsternamen en bij het scheiden van de monsters op diepte-interval. Zulke fouten echter worden ten dele opgeheven door het mengen van verschillende monsters.

De kwelintensiteit is een parameter die in het veld niet direct te meten valt. Kwel kan indirect afgeleid worden uit verschillen in stijghoogte van een onder-liggend watervoerend pakket, ten opzichte van het freatisch niveau of polderpeil, gecombineerd met waarden voor de verticale weerstand van de toplaag. Dit soort schattingen kan echter wel een factor 10 tot 100 verschillen van de werkelijke kwelintensiteit, vooral door de onzekerheid over de doorlatendheids-waarden. Met behulp van het gemeten verzoetingsprofiel is het echter ook mogelijk een schatting van de kwel-intensiteit te maken.

De diffusiecoëfficiënt D , waarvoor waarden in de literatuur beschikbaar zijn [5, 6], is stofafhankelijk. Verder varieert de waarde van D recht evenredig met de temperatuur in K. Het effect van variaties in temperatuur in het normale

temperatuurgebied zullen slechts in zeer beperkte mate van invloed zijn op D . Hetzelfde geldt voor de concentratie van de beschouwde stof. In [5] worden voor D in waterige oplossingen waarden tussen $1,24$ en $1,54 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ gegeven. In bodemmilieus is volgens [6] de waarde voor D kleiner. Hier is een D -waarde van $0,57 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ gebruikt.

4. *Analyse van meetresultaten*

4.1. *Grafische presentatie van analyseresultaten*

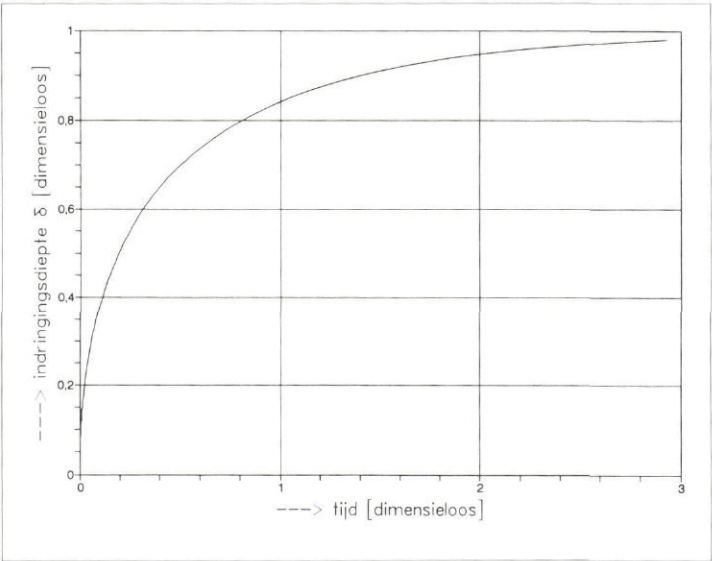
De afbeeldingen 5, 6 en 7 geven het verloop van de chlorideconcentratie in het interstitiële water als functie van de diepte. Voor iedere bemonsteringsdatum is een aparte curve gegeven. De drie afbeeldingen corresponderen met de drie verschillende lokaties.

Visueel zijn er verschillen te constateren in de veranderingen in de chloride-concentratie tussen de drie lokaties. Op lokatie 250, beneden een diepte van 10 tot 15 cm, lijkt de chlorideconcentratie slechts zeer weinig te veranderen met toenemende diepte. De metingen op 29/04/1991, voor de diepte-intervallen 22-25, 25-28 en 28-31 cm, wijken af van het gemiddelde proces. Een beperkte verzoeting als functie van de tijd is wel zichtbaar. Op lokatie 252 daarentegen is er wel een duidelijke gradiënt met de diepte, en ook met de tijd. De resultaten voor lokatie 251 liggen tussen die van lokatie 250 en 252.

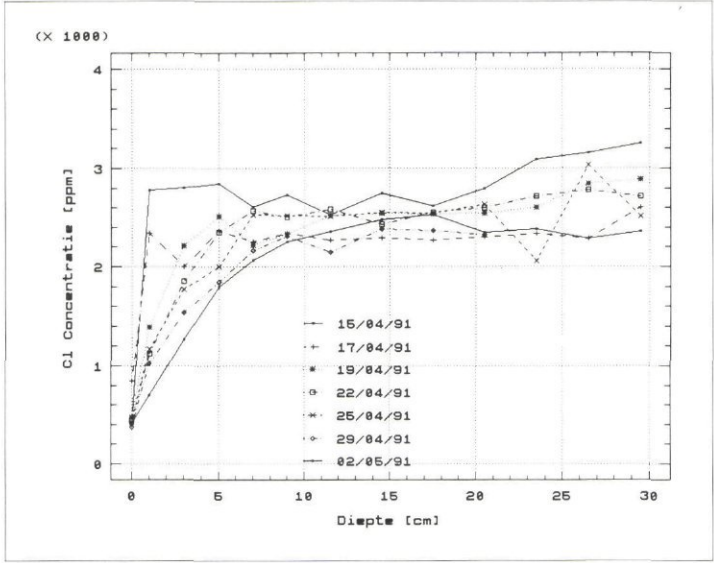
Uit de afbeeldingen kan het volgende worden geconcludeerd:

- het indringingsproces van het zoete water op lokatie 250 verloopt langzamer dan op de andere twee lokaties;
- de indringingsdiepte van het zoete water is op lokatie 250 kleiner dan op de andere twee lokaties;
- de initiële chlorideconcentratie is op lokatie 252 over het gehele bemonsterde profiel belangrijk hoger dan op de andere twee lokaties;
- op lokatie 252 bestond al een chloride-gradiënt als functie van de diepte, vóór aanvang van de zoet waterinlaat;
- het wordt geconstateerd dat, wat betreft de verandering van de chloride-concentratie in de tijd, voor geen van de drie lokaties een stabiele situatie wordt bereikt binnen de totale bemonsterings-periode van 17 dagen; de chloride-concentratie blijft dalen met het verstrijken van de tijd; dit verschijnsel is het duidelijkst op lokatie 252 en in mindere mate op lokatie 250.

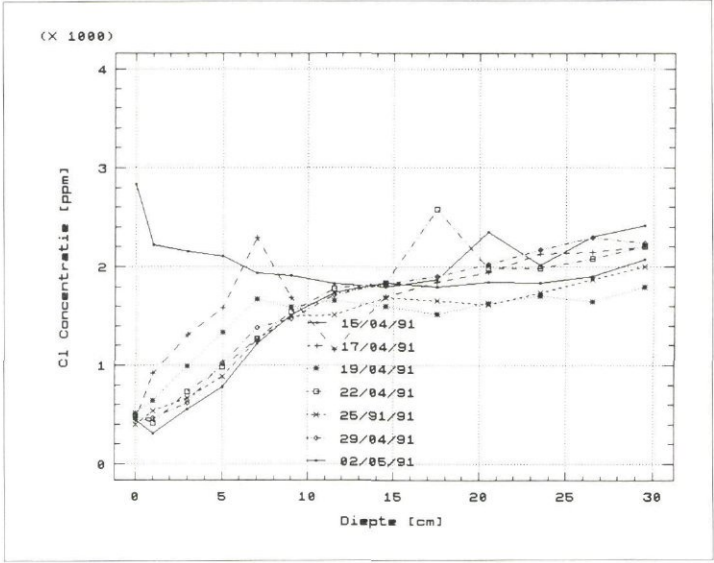
4.2. *Vergelijking meetresultaten met theorie*
Op een aantal punten voldoen de veld-



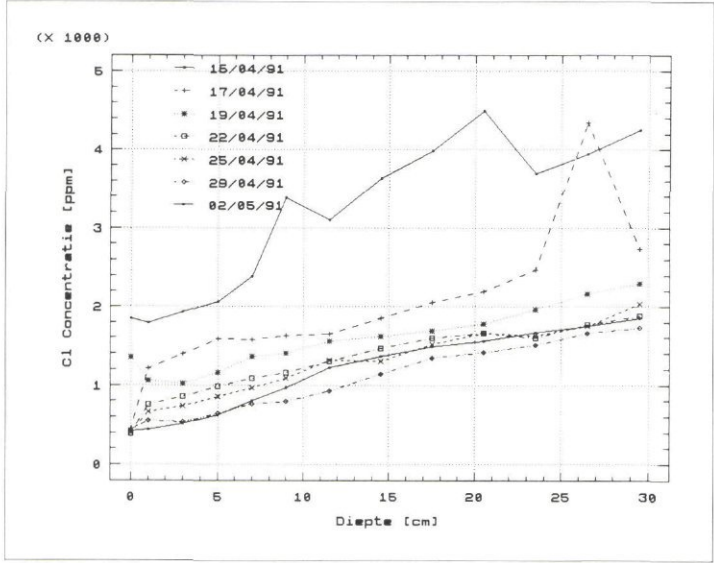
Afb. 4 - Theoretische
samenhang tussen δ_t
en de tijd; beide
parameters dimensieloos.



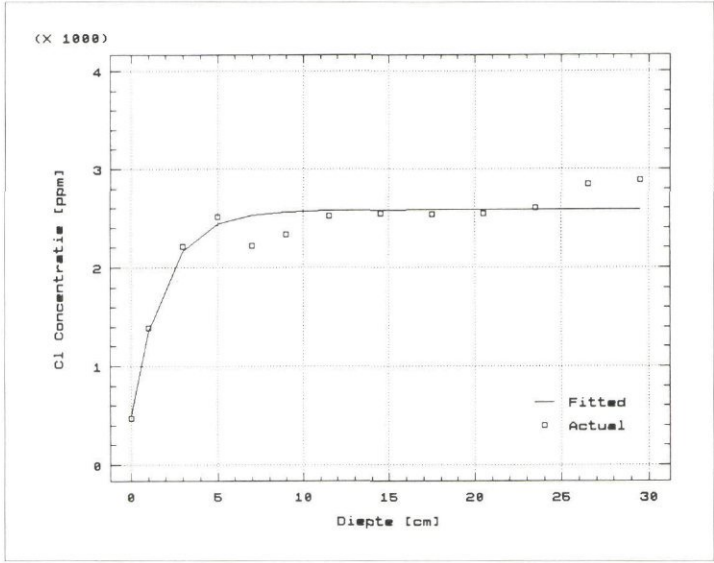
Afb. 5 - Verandering van de chlorideconcentratie als functie van de diepte; lokatie 250.



Afb. 6 - Verandering van de chlorideconcentratie als functie van de diepte; lokatie 251.



Afb. 7 - Verandering van de chlorideconcentratie als functie van de diepte; lokatie 252.



Afb. 8 - Chlorideconcentratie als functie van de diepte met 'gefitte' theoretische curve; lokatie 250, 19/04/1991.

omstandigheden en meetresultaten niet aan de theoretische beschouwing in paragraaf 3. In de eerste plaats is niet voldaan aan de beginconditie dat de chlorideconcentratie c_{∞} op het tijdstip $t = 0$ over het gehele bodemprofiel identiek is. In de nul-situatie is er kennelijk al een chloridegradiënt aanwezig. Verder is de chlorideconcentratie van het 'verzoetende' oppervlaktewater c_0 niet '0' en evenmin blijkt deze concentratie constant te zijn.

Om een schatting te maken van de verschillende parameters zijn, per bemonsteringslokatie en -datum, regressie-analyses uitgevoerd om de theoretische curves te 'fitten' aan de gemeten chlorideconcentraties als functie van de bemonsteringsdiepte. Enige grafische presentaties van de regressie-

analyses zijn weergegeven in de afbeeldingen 8 en 9. Voor een aantal data bleek het niet mogelijk om de theoretische curve te fitten op de gevonden meetwaarden.

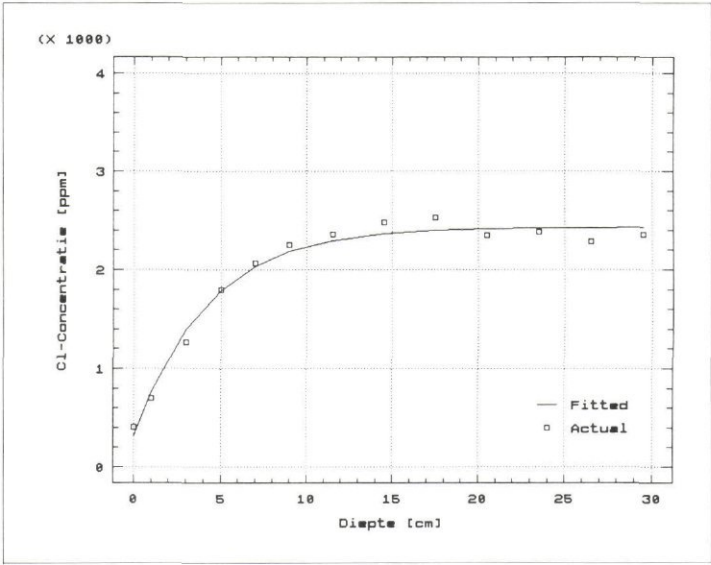
Na voldoende lange tijd, wanneer een stationaire eindsituatie wordt benaderd, zal δ naderen tot een constante waarde L . In deze eindsituatie zal op een diepte L de chlorideconcentratie 63% van de initiële concentratie van het bodemwater bedragen. Op een diepte van $3 \times L$ bedraagt de chlorideconcentratie 95% van de oorspronkelijke concentratie in het bodemwater. Met andere woorden, op een diepte van $3 \times L$ is de invloed van de verzoeting nauwelijks nog merkbaar. Met de berekende δ 's als functie van de tijd is een regressie-analyse uitgevoerd,

om de indringingsdiepte voor de stationaire eindsituatie te bepalen. Het resultaat van deze analyse is gegeven in tabel I. Voor lokatie 252 waren de meetgegevens te onregelmatig om een goede schatting van T te doen.

Uit de in paragraaf 3.1. afgeleide karakteristieke schalen blijkt dat in de stationaire eindsituatie de waarde van L een functie is van de kwelintensiteit en van de diffusiecoëfficiënt, volgens de

TABEL I - Resultaten regressieanalyse van berekende indringingsdiepte als functie van de tijd.

Bemonsteringslokatie	Geschatte waarde L (cm)	Geschatte waarde T (dagen)
250	4,9	11
251	22,6	19
252	(40)	...



Afb. 9 - Chloride-concentratie als functie van de diepte met 'gefite' theoretische curve; lokatie 250, 02/05/1991.

vergelijking:

$$L = \frac{D_p}{q} \tag{10}$$

waarin: L – karakteristieke indringingsdiepte
D_p – diffusiecoëfficiënt in het poreuze medium
q – kwelintensiteit

De karakteristieke tijdschaal T voor het indringingsproces wordt bepaald door de porositeit, de kwelintensiteit en de diffusiecoëfficiënt, volgens de vergelijking:

$$T = \frac{\theta \cdot D_p}{q^2} \tag{11}$$

waarin: θ – porositeit
D_p – diffusiecoëfficiënt
q – kwelintensiteit

Met behulp van vergelijking (10) is het mogelijk een schatting te maken van de kwelintensiteit als de diffusiecoëfficiënt bekend is. Uit referentie (7) blijkt voor NaCl de waarde van D_p 0,57 x 10⁻⁵ cm²/sec te bedragen. Uitgaande van een porositeit van 0,33, met de berekende kwelintensiteiten en met behulp van vergelijking (11) is het mogelijk een alternatieve schatting van de karakteristieke tijdsduur T te maken. De resultaten van deze berekeningen staan weergegeven in tabel II. Voor lokatie 252 is uitgegaan van een waarde voor L van 40 cm.

De geschatte waarde van T voor lokatie 250, op basis van vergelijking (11) komt goed overeen met de schatting in tabel I. Voor lokatie 251 is een significant verschil te zien tussen de twee schattingen. Vergelijking (11) geeft aan hoe gevoelig de tijdschaal T is voor de kwelintensiteit q,

TABEL II – Berekening kwelintensiteit en karakteristieke tijdsduur op basis van vergelijking (10) en (11).

Bemonsterings- lokatie	Kwel- intensiteit q (mm/dag)	Geschatte waarde T (dagen)
250	1,00	14,8
251	0,22	311
252	(0,12)	(975)

namelijk omgekeerd evenredig met het kwadraat. Bij halvering van de kwelintensiteit wordt de tijdschaal 4 maal zo groot.

De berekende kwelintensiteiten, tussen 0,1 en 1,0 mm/dag, corresponderen goed met de indicatieve waarden, zoals gegeven in paragraaf 2.3. De meetresultaten van lokatie 250 geven echter een hogere kwelintensiteit dan de resultaten van de andere twee lokaties, terwijl juist op basis van polderpeilen aangenomen is dat op lokatie 250 lagere kwel zou worden aangetroffen. Blijkbaar zijn bodemeigenschappen in deze omgeving meer maatgevend voor de hoeveelheid kwel dan waterstanden.

5. Conclusies en aanbevelingen

1. De theoretische benadering zoals beschreven in hoofdstuk 3 wordt bevestigd door de meetresultaten uit het veldonderzoek. De chlorideconcentratie in de waterbodem, in een situatie van zoute kwel, zal, wanneer zoet water in plaats van zout water over deze bodem stroomt, een gradiënt met de diepte gaan vertonen.
2. In een kwelsituatie zal zich na voldoende lange tijd een evenwichtssituatie instellen. De diepte van het 'verzoetings-front' neemt dan niet meer toe. De tijdschaal van dit proces wordt gegeven door:

$$T = \frac{\theta \cdot D_p}{q^2}$$

De diepteschaal wordt gegeven door:

$$L = \frac{D_p}{q}$$

waarin: L – karakteristieke indringingsdiepte
D_p – diffusiecoëfficiënt poreuze medium
q – kwelintensiteit
θ – porositeit

De karakteristieke tijdschaal T moet niet worden geïnterpreteerd als de tijd die nodig is voor de eindsituatie wordt bereikt, maar als een indicatie van de tijdschaal waarop het proces zich afspeelt. De eindsituatie wordt pas benaderd na een tijd t >> T. Voor een praktische benadering kan worden gesteld dat de eindsituatie bereikt wordt na 3 x T. Dan is de eindsituatie voor ongeveer 98% benaderd.

3. De diffusiecoëfficiënt is temperatuur- en concentratie-afhankelijk. Onder normale veldcondities hebben deze twee parameters echter een vrijwel te verwaarlozen invloed op variaties in het verzoetingsproces. De kwelintensiteit is de overheersende factor die bepalend is voor de indringingsdiepte.

4. Op de drie bemonsteringslokaties zijn karakteristieke indringingsdieptes aangetoond, variërend tussen circa 5 en 50 cm. Het verzoetingsproces zal nauwelijks nog invloed hebben op de chlorideconcentratie van het bodemwater op dieptes die meer dan 3 maal de hiervoor genoemde diepte bedragen.

5. De karakteristieke tijdschaal waarop het verzoetingsproces zich afspeelt is voor de lokaties 250 en 251 respectievelijk 11 en 19 dagen (de meetresultaten boden geen mogelijkheid eenzelfde waarde te bepalen voor lokatie 252). Dit impliceert dat een vrijwel stabiele eindsituatie van de verzoeting circa 1 à 2 maanden na het begin van het inlaten van zoet water wordt bereikt.

6. De gevonden waarden voor indringingsdieptes en karakteristieke tijdschalen corresponderen niet in alle gevallen met de theoretisch bepaalde relatie. Het blijkt dat de meetresultaten leiden tot een onderschatting van de karakteristieke tijdschaal of tot een overschatting van de indringingsdiepte.

7. Toepassing van het verzoetingsmodel impliceert dat de kwelintensiteit verschilt per lokatie. Voor lokatie 250 wordt een kwelintensiteit gevonden van 1,8 mm/dag,

voor lokatie 251 van 0,4 mm/dag en voor lokatie 252 van waarschijnlijk 0,2 mm/dag.

Het meest voor de hand liggend, is deze verschillen te verklaren op basis van verschillen in bodemsamenstelling, veel meer dan op basis van verschillen tussen stijghoogte in het onderliggende water-voerend pakket en het freatisch niveau of polderpeil.

8. Het verzoetingsproces speelt zich af op een tijdschaal van enige weken tot een paar maanden, waarbij dieptes tot enkele decimeters worden beïnvloed. Een beleid van afwisselend zoet water inlaten en weer stoppen zal qua zoutgehalte leiden tot een zeer wisselend milieu in de bovenste zone van de waterbodem. De potentiële effecten hiervan op de flora en fauna moeten nader worden onderzocht.

9. Bij eventuele toekomstige meet-campagnes verdient het aanbeveling om bemonstering van het bodemprofiel over een totale diepte van circa 50 cm uit te voeren. Hierbij kan voor dieptes beneden 20 cm een steeds toenemend diepte-interval genomen worden. De totale bemonsteringsperiode zou circa twee maanden moeten bedragen. De bemonsteringsfrequentie kan na 3 weken teruggebracht worden tot eens per week. Om inzicht te krijgen in de verschillen in kwelintensiteit moet op de bemonsterings-locaties de bodemsamenstelling, met name de doorlatendheid worden onderzocht.

6. Voortgang

Uit de resultaten van het onderzoek is gebleken dat door de aanvoer van zoet water voldoende verzoeting van de waterbodem plaatsvindt om een evenwichtige ontwikkeling van de aquatische levens-gemeenschap mogelijk te maken of niet te frustreren. Een voorwaarde daarbij is wel dat deze verzoeting permanent is. Dit houdt waarschijnlijk in dat ook in de winterperiode zoet water moet worden ingelaten. De consequentie hiervan is dat nadere aandacht moet worden geschonken aan het peilbeheer.

Peilverlaging in de winter, zoals te doen gebruikelijk, leidt tot een grotere kwel-intensiteit en daarmee tot een geringere indringingsdiepte van het zoete water. In de voortgang van de proef zal aan dit aspect bijzondere aandacht worden geschonken.

Literatuur

1. Begeleidingscommissie Onderzoek Water-kwaliteitsplan (1990). *Interimrapportage Chemische en Biologische aspecten 1989; Zoetwaterproef Tholen*

2. Corwin, D. L. (1986). *A One-dimensional model of chemical Diffusion and sorption in saturated soil and aquatic systems*. In: J. Environ. Qual. Vol. 15, No 2: 173- 182.

3. Genuchten, M. T. van (1981). *Analytical solutions for Chemical Transport with simultaneous adsorption, zero-order production and first-order decay*. J. Hydrology, Vol. 49, No. 3/4: 215- 233.

4. Haskoning (1988). *Verkennd onderzoek naar potentiële microverontreiniging in de onderwaterbodem van het eiland Tholen*.

5. Molen, W. H. van der (1975). *Water Quality, influence of Transport and Mixing Processes*. Collegedictaat LUW.

6. Welty, J. R., Wilson R. E. en Wicks, C. E. (1976). *Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer*. 789 pp. John Wiley & Sons, New York.

7. Finlayson, B. A. (1972). *The Method of Weighted Residuals an Variational Principles*. 207 pp. Academic Press, New York/London.



Workshop GIS

Het Expertisecentrum Geo-informatie-kunde Nederland (GEON) organiseert een 'Workshop GIS: Analyse van Milieu-effecten'. De workshop vindt plaats op 3, 4, 9, 10 en 11 juni 1993 in Groningen. In de workshop worden met een raster-GIS verschillende milieu-invloeden door een ruimtelijke ingreep geanalyseerd. Nadere inlichtingen: GEON, mevrouw ir. P. H. M. Cremers, Postbus 3037, 9701 DA Groningen, telefoon 050 - 74 97 60.

Nogmaals emissies vanuit de riolering en de afvalwater-zuiveringsinrichtingen

In het artikel 'Emissies vanuit de riolering en de afvalwaterzuiveringsinrichtingen' van de hand van prof. ir. J. B. M. Wiggers (H₂O nr. 5/1993 pag. 126-132) zijn de

tabellen II en IV niet correct weergegeven. Hieronder volgen de juiste tabellen. De literatuurverwijzing op pag. 126 [4] moet zijn [3]. De literatuurverwijzingen op pag. 129 die achtereenvolgens zijn weer-gegeven als [4], [6], [7], [8] en [6] moeten luiden [6], [5], [7], [7] en [8].

TABEL II – Jaarlijkse vuiluitworp.

	Kerkrade	Oosterhout	Loenen	Bodegraven	A'dam, ges.	Heerh. ges.	H. vrb. ges.
	0,3 mm kg/(ha-a)	5,3 mm kg/(ha-a)	5,7 mm kg/(ha-a)	7,8 mm kg/(ha-a)	(4,3 mm) kg/(ha-a)	(7,3 mm) kg/(ha-a)	7,3 mm kg/(ha-a)
Berging	212,4	74,6	38,0	13,2	34,1	28,8	3,2
Vracht	841	268	354	51	254	424	38
BZV	40,4	13,5	11,2	3,5	14,6	28,8	2,1
CZV	9,39	4,11	3,76	0,74	2,28	3,72	0,49
N-Kj	2.140	185,5	419,0	35,4	107,6	595,9	94,2
P	0,61	0,14	0,15	0,02	0,39	0,09	0,02
droogrest	1,86	0,43	0,33	0,13	1,31	1,02	0,34
lood	0,13	0,02	0,013	0,004	0,127	0,094	0,008
zink	0,53	0,16	0,093	0,028	0,202	0,115	0,013
chromium	0,07	0,01	0,013	0,004	0,094	0,058	0,005
koper	–	0,002	0,023	0,002	–	0,006	–
nikkel	0,01	0,002	0,005	–	0,010	–	–
kwik							
cadmium							

In de tabel staat:
A'dam, ges. voor: Amsterdam, gescheiden stelsel,
Heerh. ges. voor: Heerhugowaard, gescheiden stelsel en
H.vrb ges. voor: Heerhugowaard, verbeterd gescheiden stelsel.

TABEL IV – Gemiddelde concentratie per overstorting.

	Kerkrade	Oosterhout	Loenen	Bodegraven	A'dam, ges.	Heerh. ges.	H. gek. ges.
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
BZV	74,6	124,4	39,9	40,4	7,5	2,5	3,5
CZV	243	389	271	148	68,9	35,9	39,9
N-Kj	13,4	15,2	10,4	9,7	4,2	2,2	1,9
P	3,0	4,8	2,9	2,1	0,6	0,3	0,4
droogrest	320	108	303	105	29,2	36,7	134,0
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
lood	130	108	162	42	103	6,6	17,7
zink	472	359	358	357	319	88	459
chromium	21	10	19	11	31	7,2	12,4
koper	92	113	88	6,7	53	9,2	13,7
nikkel	13	9	19	8	24	4,7	5,1
kwik	0,5	1,7	43,1	1,2	–	0,1	–
cadmium	2,5	1,4	9,6	1,5	0,2	–	–