

**Stratificatie in het Grevelingenmeer  
en de gevolgen daarvan voor de  
zuurstof- en nutriëntenhuishouding  
over de periode 1980-1994**

**AFSTUDEERVERSLAG**

**Auteur:** Rozemarie Koole,  
studente Aquatische Ecotechnologie  
aan Hogeschool Zeeland

**Begeleiders:** Albert Holland, RIKZ  
Nelle Houtekamer, Directie Zeeland

Werkdocument RIKZ/AB-95.828X

Middelburg, mei 1995

## SAMENVATTING

In dit verslag wordt een beschrijving gegeven van een onderzoek dat is uitgevoerd bij het Rijksinstituut voor Kust en Zee in Middelburg. Het betreft een onderzoek naar stratificatieverschijnselen in het Grevelingenmeer en de gevolgen daarvan voor de zuurstof- en nutriëntenuishouding over de periode 1980-1994. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het eind 1995 te verschijnen evaluatierapport van het waterbeheer van het Grevelingenmeer in de periode 1989 tot en met 1994.

Het Grevelingenmeer is een zout stagnant meer. Om het zoutgehalte in het meer op peil te houden wordt sinds eind 1978 in de periode oktober tot maart/april water uitgewisseld met de Noordzee via de sluis in de Brouwersdam. De periode van wateruitwisseling is beperkt tot het winterseizoen om stratificatie van de waterkolom in de zomer zoveel mogelijk te beperken. Vooral in het zomerseizoen komt over het meer verspreid stratificatie voor die in de diepste delen van het meer, bij Scharendijke en Den Osse, het sterkst is.

Stratificatie is de niet-uniforme verdeling van de dichtheid van het water over de waterkolom als gevolg van verschillen in temperatuur en/of zoutgehalte. Tijdens het optreden van stratificatie is de waterkolom verdeeld in een onder- en bovenlaag, met daartussen een zogenaamde spronglaag met een grote dichtheidsgradiënt. Deze spronglaag verhindert de uitwisseling tussen boven- en onderlaag waardoor in de onderlaag zuurstoftekorten en een ophoping van nutriënten kunnen ontstaan. Deze processen hebben effect op de organismen in de waterkolom en vooral op de bodemgebonden organismen.

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de gegevens die beschikbaar zijn uit GTSO-metingen (Grevelingen Temperatuur Saliniteit en O<sub>2</sub>) en uit het routinematige waterkwaliteitsmeetnet van Rijkswaterstaat. Er was niet voor alle jaren een complete gegevensset beschikbaar. Van de beschikbare gegevens is een overzicht gemaakt in tabellen.

Uit de gegevens blijkt, dat in de wintermaanden stratificatie optrad als gevolg van een verschil in zoutgehalte over de waterkolom. In de zomermaanden werd stratificatie voornamelijk door een temperatuurverschil veroorzaakt. Stratificatie trad voornamelijk op in de diepe delen in het westen van het meer. De stratificatie in de zomermaanden was het sterkst ontwikkeld en had een nadelige invloed op de zuurstofhuishouding in de onderlaag. Het aanwezige zuurstof werd wel verbruikt, maar niet aangevuld. In de spronglaag vond daardoor een scherpe daling van het zuurstofgehalte plaats. Deze spronglaag lag over het algemeen op minimaal 16 meter onder het wateroppervlak. De onderlaag bleek door zuurstofuitputting in de onderzoeksperiode gedurende ten minste 1 maand zuurstofloos. De omvang van de zuurstofloosheid/armoede wordt weergegeven door het percentage van de bodem waarboven dit optreedt. In 1994 was het percentage zuurstofloos oppervlak het hoogst: ca. 6% (ca. 600 ha.) als gevolg van een langdurige periode met warm en windstil weer in de zomer. De norm die afgesproken voor het waterbeheer is 5% (ca. 500 ha.). Dit is ook het enige jaar waarin de spronglaag op minder dan 15 meter onder het wateroppervlak voorkwam. Er is over de jaren geen zichtbare trend aanwezig in de grootte van het zuurstofloze en zuurstofarme bodemoppervlak.

Vanaf 1992 zijn de concentraties van orthofosfaat, silicium en ammonium nabij de bodem in de put bij Scharendijke erg hoog. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen wat daarvan de oorzaak is. Mede gezien deze ontwikkelingen moeten de meetinspanningen worden voortgezet.

## VOORWOORD

Als vierde jaars student van de opleiding Aquatische Ecotechnologie aan Hogeschool Zeeland te Vlissingen heb ik in de periode van november 1994 tot half mei 1995 een afstudeerstage bij het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) te Middelburg. Gedurende deze periode ben ik werkzaam geweest op de afdeling Advies en Beleidsanalyse Delta.

Hierbij wil ik mijn begeleiders, Albert Holland van het RIKZ en Nelië Houtekamer van Rijkswaterstaat directie Zeeland hartelijk bedanken voor hun begeleiding en advies. Ook wil ik Gillis Wattel bedanken voor zijn gastvrijheid en het beantwoorden van (vele) vragen die ik hem heb gesteld. Anne Oele wil ik als begeleidster vanuit school graag bedanken voor de getoonde betrokkenheid.

Verder wil ik een ieder die op een of andere manier een bijdrage aan dit onderzoek heeft geleverd daarvoor bedanken. In het bijzonder wil ik daarbij Jan de Klerk en Piet Lievense van Directie Zeeland bedanken voor de schitterende kleurenplaatjes.

Rozemarie Koole,  
19 mei 1995,  
Middelburg.

## INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	
Voorwoord	
1. Inleiding	1
2. Het Grevelingenmeer	2
2.1 Historische ontwikkeling	2
2.2 Waterbeleid	4
2.3 Waterbeheer	5
3. Stratificatie	7
3.1 Thermische stratificatie	7
3.2 Chloridestratificatie	7
3.3 Chemische en biochemische aspecten van stratificatie	8
3.4 Stratificatie in het Grevelingenmeer tot 1980	10
4. Meetprogramma	12
5. Resultaten	14
5.1 Beschrijving van de stratificatie in de periode 1980-1994	14
5.1.1 Thermische stratificatie	14
5.1.2 Chloridestratificatie	16
5.2 Zuurstofhuishouding	17
5.2.1 Zuurstofarm bodemoppervlak	17
5.2.2 Zuurstofloos bodemoppervlak	20
5.3 Nutriëntenhuishouding	22
5.3.1 Orthofosfaat	22
5.3.2 Silicium	23
5.3.3 Stikstof	25
6. Conclusies en aanbevelingen	28
7. Literatuurlijst	31
Begrippenlijst	33
Bijlagen	

# BIJLAGEN

<b>BIJLAGE 1</b>	<b>Het stratificatiemodel STRESS</b>
<b>BIJLAGE 2</b>	<b>Maandelijke inlaatdebieten Brouwerssluis</b>
<b>BIJLAGE 3</b>	<b>Verband dichtheid, chloridegehalte en temperatuur</b>
<b>BIJLAGE 4</b>	<b>Morfologie Grevelingenmeer</b>
<b>BIJLAGE 5</b>	<b>Beschikbare GTSO-meetgegevens</b>
<b>5a</b>	<b>Voorbeeld isoplethendiagram tot 1989</b>
<b>5b</b>	<b>Voorbeeld isoplethendiagram vanaf 1995 (?)</b>
<b>BIJLAGE 6</b>	<b>Beschikbare meetgegevens uit routinematig waterkwaliteitsprogramma</b>
<b>BIJLAGE 7</b>	<b>Watertemperatuur 1980-1994</b>
<b>BIJLAGE 8</b>	<b>Chloridegehalte 1980-1994</b>
<b>BIJLAGE 9</b>	<b>Schematisch profiel zuidoever met vakindeling</b>
<b>BIJLAGE 10</b>	<b>Ontwikkeling zuurstofloos bodemoppervlak</b>
<b>BIJLAGE 11</b>	<b>Orthofosfaat 1980-1994</b>
<b>BIJLAGE 12</b>	<b>Nitriet + nitraat 1980-1994</b>
<b>BIJLAGE 13</b>	<b>Ammonium 1980-1994</b>
<b>BIJLAGE 14</b>	<b>Silicaat 1980-1994</b>

## 1. INLEIDING

In opdracht van Rijkswaterstaat Directie Zeeland wordt in 1995 door het RIKZ (Rijksinstituut voor Kust en Zee) een evaluatierapport gemaakt van het gevoerde waterbeheer van het Grevelingenmeer in de periode 1989-1994. De doelstelling van een evaluatierapport is: het inzichtelijk maken van de effecten van het gevoerde beheer en autonome ontwikkelingen. Directie Zeeland heeft besloten om van alle in haar beheersgebied aanwezige watersystemen iedere 5 jaar (dit komt overeen met de duur van een planperiode) een dergelijk evaluatierapport op te laten stellen.

Het Grevelingenmeer is een zout stagnant meer, waarin het optreden van stratificatie een belangrijk kenmerk is.

Stratificatie (of gelaagdheid) is de niet-uniforme verdeling van de dichtheid van het water over de waterkolom als gevolg van verschillen in temperatuur en/of zoutgehalte. Diepe (delen van) meren kunnen gedurende kortere of langere perioden stratificatie vertonen. Wanneer er een verticale gradiënt in de temperatuur aanwezig is spreekt men van thermische stratificatie, in het geval van een gradiënt in het zoutgehalte (saliniteit) van chloridestratificatie. In een gestratificeerde waterkolom ligt tussen de boven- en onderlaag een zogenaamde spronglaag, die uitwisseling tussen de deze lagen verhindert. Hierdoor kunnen in de onderlaag onder meer zuurstoftekorten en verhoogde nutriëntenconcentraties ontstaan. Deze processen hebben effect op de organismen in de waterkolom en vooral op de bodemgebonden organismen.

In dit rapport worden de stratificatieverschijnselen in het Grevelingenmeer beschreven. het Grevelingenmeer beschreven.

Het doel van het onderzoek is:

1. *Het aangeven van de omvang en oorzaken van de stratificatie in het Grevelingenmeer over de periode 1980-1994, en de effecten daarvan op de zuurstofconcentratie;*
2. *Het aangeven van de gevolgen van de stratificatie voor de nutriëntenconcentraties in het water.*

Een extra reden voor de uitvoering van een onderzoek naar stratificatie in het Grevelingenmeer vormen o.a. de signalen van sportduikers, dat grote oppervlakten van de bodem levenloos zijn. Daarnaast dreigden in de zomer van 1994 grote delen van het meer zuurstofloos te worden. Tijdens deze zomer trad een lange periode met hoge temperaturen en weinig wind op.

De periode vanaf 1980 is gekozen omdat vanaf dat jaar het waterbeheer niet is gewijzigd. Door een zo lang mogelijke periode te onderzoeken kan een maximaal beeld gevormd worden van de invloed van het gevoerde beheer op het optreden van stratificatie. In verband met de beschikbaarheid van gegevens ligt de nadruk op de periode 1990-1994.

In dit verslag wordt eerst in de hoofdstukken 2 en 3 een omschrijving gegeven van respectievelijk het Grevelingenmeer en het fenomeen stratificatie, in hoofdstuk 4 wordt vervolgens uitleg gegeven over het meetprogramma. De resultaten van het onderzoek worden uiteengezet in hoofdstuk 5. Daarbij wordt ook de werkwijze bij de keuze en interpretatie van de gegevens aangegeven. In hoofdstuk 6 worden de conclusies van het onderzoek gegeven met daaropvolgend enkele aanbevelingen ten aanzien van het beheer, het monitoringsprogramma en verder onderzoek.

## 2. Het Grevelingenmeer

### 2.1 Historische ontwikkeling

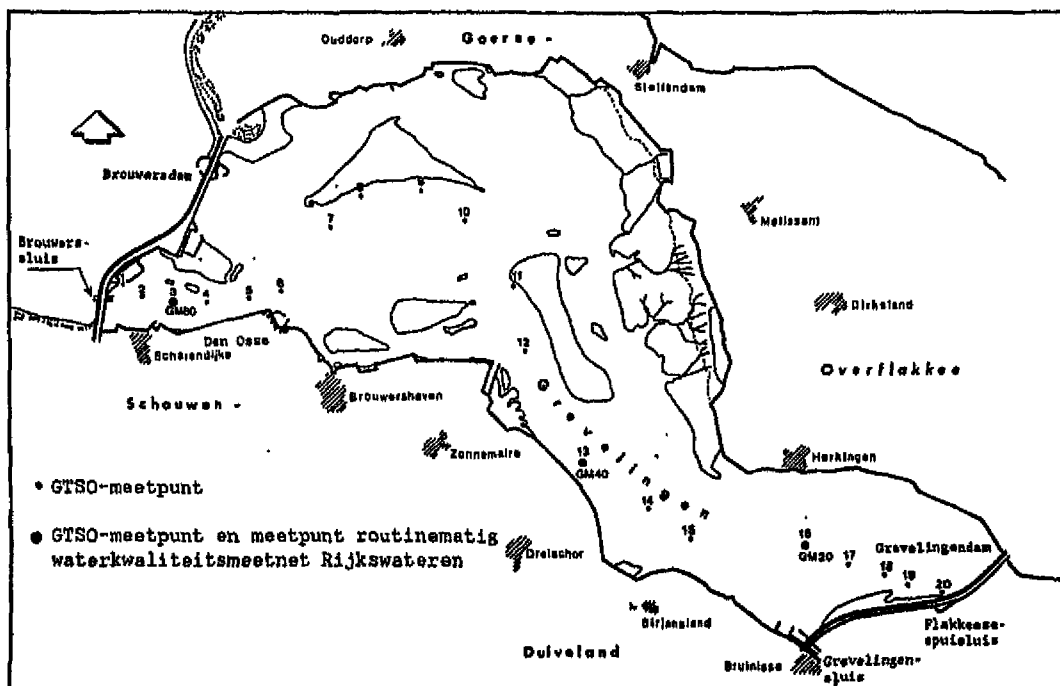
Het Grevelingenmeer is in 1971 ontstaan als onderdeel van de Deltawerken door de aanleg van de Brouwersdam, nadat in 1964 in het oosten de Grevelingendam was aangelegd. Hierdoor ontstond op de grens van de provincies Zuid-Holland (Goeree-Overflakkee) en Zeeland (Schouwen-Duiveland) een zout stagnant meer, zie figuur 2.1. Voor de afsluiting vormde de Grevelingen samen met het Krammer-Volkerak en het Haringvliet een estuarium met de daarin gelegen kenmerkende platen, slikken en schorren.

Het ingestelde peil van NAP -0,20 m werd geregeld door via de gecombineerde schut- en spuisluis bij Bruinisse in de Grevelingendam ("Grevelingensluis") in natte perioden water te spuien en in droge perioden water in te laten. Als gevolg van belasting met neerslag en polderwater daalde het chloridegehalte in het meer in de periode van 1971 tot 1978 van 17 g Cl/l tot circa 13 g Cl/l. Omdat deze verzoeting negatieve effecten had op de aanwezige flora en fauna, werd besloten uitwisseling met de Noordzee mogelijk te maken via een sluis in de Brouwersdam ("Brouwerssluis"). Nadat deze sluis in december 1978 in werking was gesteld, steeg het gemiddelde chloridegehalte binnen twee maanden naar de streefwaarde van 16 g Cl/l.

In het open estuarium was de verblijftijd van het water slechts enkele dagen. Na de afsluiting in 1971 nam deze toe tot 4 à 10 jaar. Sinds de ingebruikname van de Brouwerssluis is de verblijftijd gereduceerd tot ongeveer 7 maanden (lit.5,8).

Bij de Brouwerssluis is tevens een vissluis gebouwd. Deze vissluis bestaat uit een koker (met een platte bodem) van ongeveer 200 meter lang met een inwendige doorsnede van 2 meter. De koker heeft 2 openingen aan de zeezijde: op 5 m -NAP en 10.5 m -NAP. Hierdoor kan de vis op 2 niveaus naar binnen zwemmen. De kokers kunnen worden afgesloten met behulp van beweegbare schuiven (lit.10).

Begin jaren tachtig werd besloten in de Grevelingendam een doorlaatmiddel te bouwen in de vorm van een hevel ("Flakkeese Spuisluis"), met als primair doel het zoutgehalte in het Zijpe en de Krabbenkreek op een aanvaardbaar niveau te houden tijdens de fase van de Deltawerken waarin de compartimenteringsdammen zouden worden gesloten. Het secundaire doel was de mogelijkheid te hebben om, indien voor een zoet Grevelingenmeer gekozen zou worden, het meer zoet te maken door middel van een verbinding met het Volkerak-Zoommeer. Na de sluiting van de compartimenteringsdammen in 1987 is deze hevel niet meer gebruikt. Ten eerste omdat er in 1986 besloten is het Grevelingenmeer zout te houden, ten tweede omdat onderzoek naar voren is gekomen dat doorspoelen van het Grevelingenmeer geen extra voordelen oplevert ten opzichte van verversen via de Brouwerssluis. De sluis bij Bruinisse in de Grevelingendam heeft zijn functie als spuisluis verloren en doet alleen nog dienst als scheepvaartsluis.



Figuur 2.1 Het Grevelingenmeer, met daarin aangegeven de GTSO-meetpunten en de meetpunten uit het routinematige waterkwaliteitsmeetprogramma.



Enkele basisgrootheden van het Grevelingenmeer bij een streefpeil van NAP -0,20 m. zijn in tabel 1 gegeven (lit.5).

Tabel 1. Afmetingen Grevelingenmeer.

Wateroppervlakte	± 10800 ha
Lengte	± 23 km
Inhoud	± 575.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Breedte	± 4-10 km
Maximale diepte	± 48 m
Gemiddelde diepte	± 5.4 m
Oppervlakte afwateringsgebied	± 9900 ha

Het afwateringsgebied loost door middel van 5 gemalen (De Kille, Herkingen, Battenoord, Den Osse en Dreischor) overtollig polderwater op het Grevelingenmeer.

## 2.2 Waterbeleid

Het landelijk beleid voor het waterbeheer is geformuleerd in de Derde Nota Waterhuishouding: "Het hebben en houden van een veilig bewoonbaar land en het ontwikkelen en instandhouden van gezonde waterhuishoudkundige systemen die duurzaam gebruik garanderen."

Deze doelstelling wordt geconcretiseerd door het toekennen van maatschappelijke functies aan een watersysteem. In de Derde Nota Waterhuishouding zijn voor het Grevelingenmeer drie functies aangegeven:

- Ecologische doelstelling van het middelste niveau;
- Recreatie;
- Visserij.

De hierbij horende waterkwaliteitsdoelstellingen zijn die voor zwem- en schelpdierwater (lit.1).

Door Rijkswaterstaat directie Zeeland zijn voor het Grevelingenmeer watersysteemdoelen opgesteld. Dit zijn de randvoorwaarden waaraan het systeem middels het gevoerde beheer moet voldoen. Deze randvoorwaarden voor "het duurzaam functioneren van het watersysteem" zijn (lit.8):

- Een chloridegehalte groter dan of gelijk aan 16 g Cl/l;
- Spronglaag op minimaal 15 meter onder het wateroppervlak;
- Zuurstofloosheid over niet meer dan 5% van het bodemoppervlak;
- Een nutriëntengehalte niet hoger dan het huidige niveau.  
(nitraat + nitriet ± 0.15 mg N/l en orthofosfaat ± 0.10 mg P/l).

Het wordt hierbij onmogelijk geacht bij de gegeven inrichting stratificatie helemaal te voorkomen. Er wordt daarom getracht de stratificatie zoveel mogelijk te beperken.

Voor het Grevelingenmeer is een maatgevende spronglaag gedefinieerd: een spronglaag is maatgevend als de dichtheid per meter minimaal 0,3 gram per liter toe- of afneemt. Een maatgevende spronglaag op 15 meter diepte komt overeen met een zuurstofloos bodemoppervlak van ongeveer 5%.

Bij deze strategie blijft de stratificatie beperkt tot de diepste putten die in het westelijk deel van het meer zijn gelegen. Komt de spronglaag op 13 meter onder het wateroppervlak te liggen, dan komt de zuurstofloze laag over de zandels van de diepste putten en verspreidt zich over de andere diepe delen van het meer. Hierdoor zal het oppervlak zuurstofloze bodem zich snel uitbreiden. Een chloridehalte van groter of gelijk aan 16 g Cl/l is gekozen, omdat dit zowel gunstig is voor de biologische diversiteit als voor het beperken van de chloridestratificatie. Bij een lager chloridegehalte is het dichtheidsverschil met het zeewater zo groot, dat de kans op stratificatie in het meer toeneemt.

### 2.3 Waterbeheer

Nadat in 1986 voor een zout Grevelingenmeer was gekozen, kon het definitieve beheer voor het meer worden vastgesteld. Tot die tijd werd een interimbeheer gevoerd. Om tot een beheer te komen waarbij het meer voldoet aan de in 2.2 genoemde randvoorwaarden zijn een aantal beheersalternatieven opgesteld.

De hoofddoelstelling van het waterbeheer van het Grevelingenmeer hierbij is:

"Het vaststellen van een waterhuishoudkundig beheer waarmee de condities worden gecreëerd voor een duurzaam en gezond functionerend ecosysteem en waarbij de aan het meer toegekende functies zo goed mogelijk tot hun recht komen" (lit.8).

De beheersalternatieven bestonden uit het al dan niet uitwisselen van water met Noordzee, in minimale tot maximale omvang en doorspoelen in verschillende richtingen. Uit een vergelijking van verschillende beheersalternatieven bleek het vanaf 1980 gevoerde beheer het beste aan de gestelde randvoorwaarden te voldoen. Volgens modelberekeningen (zie bijlage 1) zouden de beheersalternatieven met minimaal of maximaal uitwisselen de kans op stratificatie en zuurstofloosheid vergroten ten opzichte van het tot dan toe gevoerde beheer. Doorspoelen van west naar oost geeft geen extra voordelen voor het chloridegehalte en de stratificatie ten opzichte van uitwisselen. Voor de periode 1992-1996 zal dan ook het vanaf 1980 gevoerde beheer worden voortgezet. Alleen de periode van uitwisseling werd met een maand verlengd (lit.8).

Voor het operationele beheer betekent dit het volgende:

- Uitwisseling van zee- en meerwater via de Brouwerssluis in de periode 1 oktober tot 1 april;
- Sturen op een zo hoog mogelijk zoutgehalte (chloridegehalte inlaatwater groter of gelijk aan 16 g Cl/l);
- De Brouwerssluis is gesloten tijdens schieraaltrek. Hierbij wordt uitgegaan van maximaal 30 gesloten dagen in de periode oktober tot en met december.
- De vissluis staat het gehele jaar open;
- Streefpeil op NAP -0.2 m.

De etmaalgemiddelde capaciteit van de Brouwerssluis voor zowel in- als uitlaat is ongeveer 100 m<sup>3</sup>/s. De voorwaarde is, dat het zoutgehalte op de Noordzee (meetpaal BG8) minimaal 16 g Cl/l bedraagt. Bij het huidige beheer ligt het totale debiet tussen 600 en 1200 miljoen m<sup>3</sup> per uitwisselingsperiode. Bijlage 2 geeft de inlaatdebieten per maand voor de periode 1980-1994 weer. Behalve uitwisseling met zeewater vindt er, zij het in veel mindere mate, ook uitwisseling met de Oosterschelde plaats door schutverliezen van

de scheepvaartsluis in de Grevelingendam. De jaargemiddelde in- en uitlaatdebieten via deze schutsluis bedroeg in de periode 1980-1994 gemiddeld 0.15 m<sup>3</sup>/s en was dus ten opzichte van de in- en uitlaatdebieten van de Brouwerssluis ( $\pm 25$  m<sup>3</sup>/s) verwaarloosbaar klein (lit.5).

Het Grevelingenmeer heeft zich bij het gevoerde beheer ontwikkeld tot een relatief schoon zoutwatersysteem. Het water is helder en van goede kwaliteit (lit.5,8).

De belasting van het Grevelingenmeer met voedingsstoffen is relatief laag (in vergelijking met bijvoorbeeld het Veerse Meer). Na de ingebruikname van het doorlaatmiddel in de Brouwersdam is zowel het jaargemiddelde nitraatgehalte als het fosfaatgehalte in het water afgenomen tot respectievelijk 0.15 mg N/l en 0.10 mg P/l. De import van stikstof, silicium en (ortho)fosfaat vindt plaats via het polder- en regenwater. Export vindt plaats door uitwisseling met zeewater in de winterperiode. Een tweede exportweg van stikstof loopt via het proces van denitrificatie (zie 3.3), waarbij stikstof als gas naar de atmosfeer verdwijnt.

Door de optredende stikstoflimitatie is van overmatige algenbloei in het Grevelingenmeer geen sprake. Er kan gesproken worden van een mesotroof watersysteem (lit.5). In de Regionota Zeeuwse Rijkswateren 1993-1996 (lit.10) wordt geconcludeerd, dat er bij het huidige waterbeheer en onder de huidige omstandigheden ten aanzien van de nutriëntenbelasting geen extra maatregelen nodig zijn.

### 3. STRATIFICATIE

#### 3.1 Thermische stratificatie

Door verschillen in temperatuur in de onder- en bovenlaag ontstaat een gelaagdheid in het water. De diepere waterlagen zijn kouder en hebben daardoor een hogere dichtheid van de ondiepere lagen. Stratificatie wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een spronglaag: een laag met een sterk dichtheidsverloop.

Het verschil in temperatuur ontstaat in het voorjaar, wanneer de temperatuur van de ondiepere waterlagen stijgt als gevolg van absorptie van (zonne)straling. In de diepere waterlagen is de instraling veel minder sterk, zodat de temperatuur hier minder snel zal stijgen.

Aangezien de instralingsintensiteit over de diepte exponentieel afneemt zou daardoor ook een thermische stratificatie met een exponentieel temperatuurverloop kunnen ontstaan. Dit wordt echter door twee factoren verhinderd:

De eerste factor is *verdamping*, waardoor afkoeling van de bovenste waterlaag plaatsvindt, met als gevolg het optreden van convectiestromen. De tweede en belangrijkste factor is *wind*, die turbulente stroming veroorzaakt en daarmee menging van de watermassa bewerkstelligt (*entrainment*).

Op een gegeven moment verloopt de opwarming van de bovenlaag zo snel, dat de ontstane temperatuurgradiënt niet meer wordt opgeheven door de wind. Het water in de diepere lagen neemt dan niet meer aan de circulatie deel, zodat de temperatuurstijging aan de oppervlakte niet meer wordt gecompenseerd door menging. Figuur 3.1 geeft een voorbeeld van het temperatuurverloop over de diepte weer in een gestratificeerde situatie. In de herfst koelt de bovenlaag af en krijgt een hogere dichtheid. Hierdoor kan menging over de hele waterkolom plaatsvinden (najaarscirculatie of turnover), het water met een hogere dichtheid zakt immers. (lit. 14)

In een zachte winter kan de volledige circulatie blijven bestaan. Vormt zich echter ijs op het water, dan ontstaat er een inverse stratificatie. Dat wil zeggen, het koudere, lichtere water van 0°C bevindt zich vlak onder het ijs, terwijl de onderliggende waterlagen een temperatuur hebben die niet veel afwijkt van 4°C. Deze winterstratificatie is in Nederland van mindere betekenis dan de zomerstratificatie. In het zoute Grevelingenmeer verloopt de dichtheid bij de laagste temperaturen anders dan in zoet water (lit. 6), waardoor van winterstratificatie waarschijnlijk geen sprake zal zijn.

#### 3.2 Chloridestratificatie

Bij chloridestratificatie worden de boven- en onderlaag van elkaar gescheiden door een saliniteitsgradiënt. Deze stratificatie kan in het geval van een zout meer ontstaan door een zoetwaterbelasting in de vorm van neerslag en polderwateruitslag, en door de inlaat van water met een ander chloridegehalte dan het water in het meer (bijvoorbeeld inlaat van zeewater). Figuur 3.1 geeft een voorbeeld van het verloop van het chloridegehalte weer in een gestratificeerde situatie.

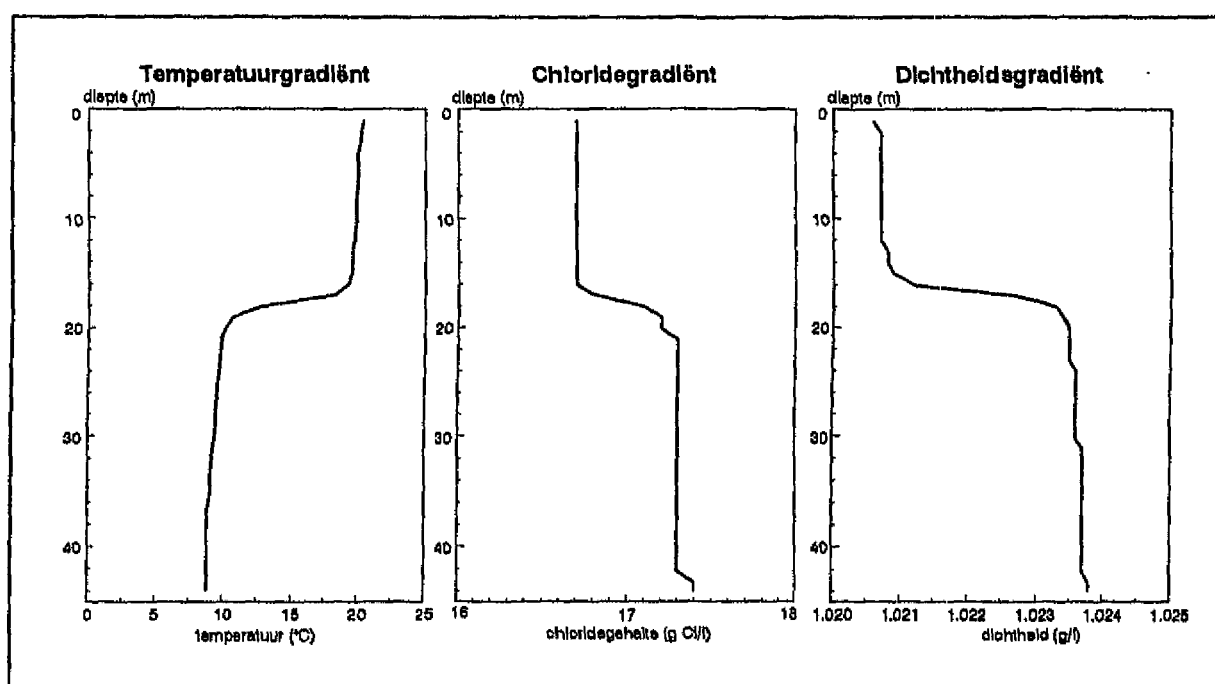
Chloridestratificatie en thermische stratificatie versterken elkaar. Bij de aanwezigheid van chloridestratificatie in het voorjaar, vindt al vanaf het begin van de opwarming van het

water weinig warmte-uitwisseling op tussen boven- en onderlaag plaats. De temperatuurstijging in de door chloridestratificatie ontstane bovenlaag wordt hierdoor minder gecompenseerd dan bij het ontbreken van chloridestratificatie. Door het extra dichtheidsverschil tussen de boven- en onderlaag dat door het grotere temperatuurverschil ontstaat, zal meer (wind)energie nodig zijn om de stratificatie op te heffen.

De stratificatie kan in tijden met veel wind edoor menging worden opgeheven.

Een zeer steile chloridegradiënt kan echter in sommige gevallen tot gevolg hebben, dat in de perioden van circulatie (najaar en eventueel voorjaar) geen menging over de hele waterkolom plaatsvindt, waardoor de zoute onderlaag van de bovenlaag afgesloten blijft (lit.14).

Ter illustratie is in bijlage 3 (naar lit.6) het verband tussen dichtheid van het water, chloridegehalte en temperatuur weergegeven. Figuur 3.1 geeft het dichtheidsverschil weer dat is opgetreden als gevolg van het in de figuur verloop van de temperatuur en het chloridegehalte. De chloridestratificatie (met de spronglaag op 20 meter diepte) was al aanwezig voordat de temperatuurstratificatie ontstond.



Figuur 3.1. Voorbeeld van temperatuur-, chloride- en dichtheidsgradiënten over de diepte van het Grevelingenmeer (put Scharendijke) in een gestratificeerde situatie in de zomer.

### 3.3 Chemische en biochemische aspecten van stratificatie

De zuurstofconcentratie in het water is in evenwicht met de zuurstof in de lucht. Zuurstof dat in het water wordt verbruikt moet door middel van uitwisseling tussen de lucht en het wateroppervlak worden aangevuld. Door stratificatie wordt de aanvoer van zuurstof van het wateroppervlak naar dieper water geremd. Als gevolg van temperatuur- en/of chloridestratificatie kunnen over de waterkolom grote verschillen in zuurstofconcentraties op-

treden. Het verloop van het zuurstofgehalte wordt bepaald door verschillende factoren:

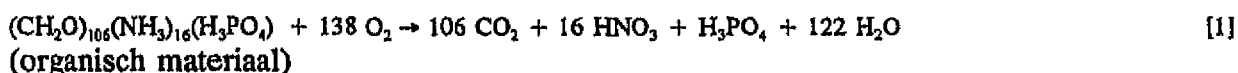
- zuurstofproductie door algen en hogere waterplanten;
- zuurstofconsumptie door organismen;
- zuurstofverbruik door biochemische oxidatie van organisch materiaal.

Daarnaast is de oplosbaarheid van zuurstof in water afhankelijk van de watertemperatuur en het chloridegehalte. (Zowel een stijging van de temperatuur als een stijging van het chloridegehalte resulteren in een daling van de oplosbaarheid van zuurstof in water.)

In de bovenlaag wordt het water door de wind gecirculeerd, waardoor aeratie uit de atmosfeer plaatsvindt. Daarnaast is de bovenlaag de produktiezone, waarin het fytoplankton tijdens de groei zuurstof produceert. Vooral bij massale groei kan dit overdag resulteren in een zeer hoge zuurstofverzadiging of zelfs oververzadiging. In dat laatste geval wordt in de bovenlaag per tijdseenheid meer zuurstof geproduceerd, dan er door diffusie naar de atmosfeer kan ontsnappen. In tegenstelling tot de oververzadiging overdag kan 's nachts door respiratie zuurstofarmoede in de bovenlaag ontstaan. In de onderlaag is deze fluctuatie per etmaal veel minder extreem.

De onderlaag kan als de worden aangeduid waar afbraakprocessen overheersen. Het fytoplankton dat als primaire produktie in de trofogene zone zweeft zal na afsterven bezinken. Ook andere organismen sterven af. Door afgestorven, gesedimenteerd organisch materiaal is de bacteriologische afbraak bij de bodem het hoogst. Doordat bij biologische afbraak veel zuurstof wordt verbruikt zal zuurstofarmoede het eerst bij de bodem optreden. Het al dan niet ontstaan van zuurstofloosheid hangt af van de voedselrijkdom van het meer en van de balans tussen het reducerend vermogen van het slib en de zuurstofconcentratie aan het water-slib grensvlak. Dit laatste is weer afhankelijk van de totale hoeveelheid beschikbare zuurstof in de onderlaag. Daarnaast heeft ook de watertemperatuur invloed op de afbraakprocessen. Bij een hogere watertemperatuur zullen de afbraakprocessen sneller verlopen, zodat er per tijdseenheid meer zuurstof verbruikt wordt dan bij een lagere temperatuur.

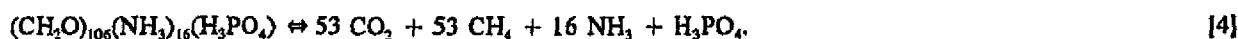
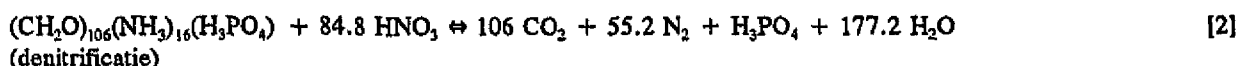
De afbraak van organisch materiaal vindt onder aerobe (zuurstofrijke) omstandigheden plaats volgens de algemene vergelijking:



De omzetting van  $\text{NH}_3$  naar  $\text{HNO}_3$  wordt daarbij *nitrificatie* genoemd. In water zijn deze stoffen aanwezig als respectievelijk  $\text{NH}_4^+$  (ammonium) en  $\text{NO}_3^-$  (nitraat). Bij de reactie wordt eerst  $\text{NO}_2^-$  gevormd, dat wordt omgezet naar  $\text{NO}_3^-$ .

(Bij de afbraak van diatomeeën komt uit het skelet ook silicium vrij.)

Onder zuurstofloze omstandigheden zal de afbraak van organisch materiaal met behulp van andere oxidatoren dan zuurstof plaatsvinden (lit.2):



De vorming van  $S^{2-}$  (aanwezig als  $H_2S$ ) en  $CO_2$  brengt hierbij een verlaging van de pH in de onderlaag met zich mee.  $NH_3$  (aanwezig als  $NH_4^+$ )  $H_2S$ ,  $CH_4$  en zijn in lage concentraties al voor veel organismen giftig.

Behalve deze biochemische processen vindt als gevolg van zuurstofloosheid mobilisatie van verschillende elementen (Mn, Fe, P) uit het bodemslib plaats.

Bij een lage redoxpotentiaal (in combinatie met een lage pH) wordt namelijk onoplosbaar driewaardig ijzer ( $Fe^{3+}$ ) gereduceerd tot oplosbaar tweewaardig ijzer ( $Fe^{2+}$ ). Het op chemische of fysische wijze aan  $Fe^{3+}$ -complexen gebonden fosfaat gaat hierdoor in oplossing (lit.14,15,16). Aangezien in de gestratificeerde toestand weinig of geen uitwisseling van stoffen plaatsvindt tussen de onder- en bovenlaag, zal het vrijgekomen orthofosfaat in de onderlaag blijven. In combinatie met het vrijkomen van fosfaat uit de afbraak van organisch materiaal, kan hierdoor een hoge fosfaatconcentratie in de onderlaag ontstaan. In de bovenlaag daalt de orthofosfaatconcentratie in de loop van de zomer als gevolg van de opname door fytoplankton (lit.3). Dit laatste geldt ook voor nitriet, nitraat en ammonium. De grootste opname van silicium door diatomeeën (voor de vorming van hun skelet) in de bovenlaag vindt plaats in het voorjaar en in de nazomer.

### 3.4 Stratificatie in het Grevelingenmeer voor 1980

Door de aanleg van de Brouwersdam in mei 1971 kwam de getijdestroom in de Grevelingen tot stilstand en verviel de continue verversing van het bekken met zeewater. De voormalige getijdegeulen bestaan uit putten en daartussen gelegen ondiepere drempels. Bijlage 4 geeft de dieptekaart van het meer weer.

Door het wegvallen van de getijdestroom in het bekken kon stratificatie ontstaan. In juni 1972 werd voor het eerst het verschijnsel van een spronglaag waargenomen in de westelijk gelegen diepe putten ter hoogte van Den Osse en Scharendijke. De oorzaak hiervan was *thermische stratificatie*. De spronglaag lag op 20 meter diepte en de onderlaag werd zuurstofloos over een oppervlakte van circa 150-200 hectare. In de jaren tot 1978 wordt het zuurstofloze bodemoppervlak in de maanden juni, juli en augustus geschat op circa 100 hectare. Met name in de jaren 1973, 1974 en 1975 trad langdurige zuurstofloosheid op (lit.11). De zuurstofloosheid trad op in de putten, (met een diepte van respectievelijk 47 en 35 meter) bij Scharendijke en Den Osse, gelegen in het geulenstelsel langs de zuidelijke oever. In het noordelijke geulenstelsel werd geen zuurstofloosheid gemeten. De diepe delen in dat geulenstelsel zijn ongeveer 20 meter diep.

In december 1978 werd de Brouwerssluis officieel in gebruik genomen. In de zomer was de sluis in verband met ijkingen al regelmatig geopend geweest, waardoor er een *chloridestratificatie* was ontstaan met een bijbehorend zuurstofloos bodemoppervlak van circa 500 hectare. (lit.7,11)

In februari 1979 werd nog een gemiddeld verschil tussen boven- en onderlaag gemeten van 1,7 gram Cl per liter, het inlaten van zeewater werd daarom voortgezet. Door de hoge Rijnafvoer was het kustwater in de maanden februari en eind maart/begin april verzoet, zodat het inlaten tot gevolg had dat de (relatief) zoete bovenlaag in volume toenam. Dit werd nog versterkt door een grote toevoer van polderwater in maart. In juni 1979 is hierdoor een zuurstofloos bodemoppervlak ontstaan van ca. 800 hectare. In juli 1979 kon kustwater worden ingelaten met een hoog chloridegehalte, waardoor toevoer van zuurstofrijk water naar de onderlaag plaatsvond (lit.12,13).

Vermeld dient te worden dat in 1972 onderzoek is verricht naar de mogelijkheid van kunstmatige destratificatie in het Grevelingenmeer door middel van luchtinblazing. In de diepe putten bij Scharendijke en Den Osse zijn beluchtingsproeven uitgevoerd. Door de kunstmatige destratificatie ontstond na 5 dagen een homogene verdeling van temperatuur, zuurstof en zuurgraad over de waterkolom. Daarnaast werd een gelijkmatige verdeling van onder meer ammonium en orthofosfaat bereikt, terwijl de absolute hoeveelheid van deze stoffen in het water afnam. Zowel de absolute hoeveelheid nitraat als zuurstof nam toe. Onmiddelijk na de destratificatie werd een normale verdeling van fyto- en zoöplankton over de waterkolom waargenomen, terwijl voorafgaand aan de destratificatie in de zuurstofloze putten geen levend fyto- en zoöplankton was waargenomen (lit.6). Vanwege de hoge kosten is de kunstmatige destratificatie verder niet in praktijk gebracht.



## 4. MEETPROGRAMMA

Ten behoeve van het stratificatie-onderzoek worden metingen uitgevoerd van de verdeling van de temperatuur, het chloride- en zuurstofgehalte. Deze metingen worden aangeduid met de afkorting *GTSO* (Grevelingen Temperatuur, Saliniteit en  $O_2$ ). De metingen worden verricht op 20, in figuur 2.1 aangegeven punten. Deze punten zijn gelegen in het langs de zuidelijke oever gelegen geulensysteem. De metingen worden door de Meetdienst Zeeland uitgevoerd met behulp van een meetschip. Dit schip is uitgerust met een meetvis, waarmee de genoemde parameters in de diepte geregistreerd worden. De frequentie van de metingen was niet voor alle jaren gelijk. Momenteel wordt (ongeveer) maandelijks gemeten. De meetgegevens worden automatisch opgeslagen en vervolgens overgezet op een dataverwerkingssysteem van de opdrachtgevende instantie. Aanvankelijk vonden de metingen plaats in opdracht van het RIKZ (toen nog Deltadienst, respectievelijk Dienst Getijdewateren), vanaf 1989 is de directie Zeeland opdrachtgever.

In bijlage 5 is weergegeven van welke dagen *GTSO*-meetgegevens beschikbaar zijn over de periode 1980 tot en met 1994.

Tot 1989 werden de metingen gelijk aan boord van het meetschip verwerkt tot diagrammen met isopleten c.q. isothermen. Bijlage 5a is hiervan een voorbeeld voor de temperatuur. Vanaf 1989 worden alleen de ruwe data door de meetdienst aangeleverd. Sinds kort is er een computerprogramma beschikbaar, waarmee de gegevens weer tot isopleten-diagrammen verwerkt kunnen worden. Deze kleurendiagrammen maken een snelle interpretatie van de gegevens mogelijk. Bijlage 4b is een voorbeeld hiervan. Dank zij Jan de Klerk en Piet Lievense van Rijkswaterstaat directie Zeeland waren voor dit onderzoek voor de periode 1990-1994 zulke diagrammen beschikbaar.

In de periode 1980 tot 1984 is incidenteel ook in het noordelijke deel van het meer gemeten (de voormalige geulen Hals en Springerdiep). Hier werd geen stratificatie aangetroffen (lit. 11), zodat die metingen kwamen te vervallen. In dit onderzoek wordt op deze metingen verder niet op ingegaan.

Naast de *GTSO*-metingen vindt ook monitoring van de algehele waterkwaliteit van het Grevelingenmeer plaats. Deze wordt gemeten als onderdeel van het routinematige waterkwaliteitsmeetprogramma van Rijkswaterstaat, waarvoor het RIKZ (zoute rijkswateren) en het RIZA (zoete rijkswateren) verantwoordelijk zijn. (Deze metingen worden meestal 'routinemetingen' genoemd.) De toestand van het watersysteem wordt beschreven aan de hand van fysische, chemische en biologische parameters. Ook deze metingen worden in het Grevelingenmeer uitgevoerd door de Meetdienst Zeeland.

Voor het Grevelingenmeer houden deze metingen in, dat maandelijks drie punten worden bemonsterd (zie figuur 1), waarbij op één van deze punten (put bij Scharendijke, meetpunt GM80) op 1 meter onder het wateroppervlak, op halve diepte en op 1 meter boven de bodem wordt bemonsterd (lit. 4). Gedurende een aantal jaren is dit ook voor de andere twee punten het geval geweest. Na 1984 is op deze 2 punten echter alleen op 1 meter onder het wateroppervlak gemeten. Nutriëntconcentraties worden in het laboratorium bepaald, parameters als zuurstofgehalte, zuurgraad, doorzicht, geleidendheid en temperatuur worden ter plaatse door middel van de meetsensoren bepaald. Voor het Grevelingenmeer vindt de analyse van de monsters deels plaats aan boord van het meetschip, maar grotendeels in het laboratorium van het RIKZ te Middelburg volgens

Waterstaat Standaard Voorschriften van Rijkswaterstaat of volgens interne voorschriften. Gedurende een aantal jaren vonden de analyses van de monsters ook in het laboratorium van het RIZA plaats. Omdat dit niet voor alle jaren het geval is, zijn deze analysesresultaten niet in dit onderzoek gebruikt.

De analysesresultaten worden sinds 1994 direct vanuit het laboratorium (via het programma LABINSYS) in de database DONAR (Data Opslag Natte Rijkswaterstaat) opgeslagen. Bijlage 6 geeft voor de benodigde parameters een overzicht van beschikbare gegevens. Ook de gebruikte gegevens van het kustwater (lokatie Schouwen) komen uit dit waterkwaliteitsmeetnet.

De benodigde meteorologische gegevens (windsnelheid, luchttemperatuur, neerslag en instralingintensiteit) zijn opgenomen in de MOW-bulletins (MaandOverzicht van het Weer in Nederland) van het KNMI. Hierin zijn de etmaalgemiddelden van de verschillende parameters opgenomen. De gegevens die voor dit onderzoek zijn gebruikt zijn die van het KNMI-station Vlissingen. Dit is het dichtsbijzijnde aan de kust gelegen station. Gezien de geringe afstand tussen het Grevelingenmeer en dit station (ca. 40 km), zullen de weersomstandigheden niet of nauwelijks van elkaar verschillen.

## 5. RESULTATEN

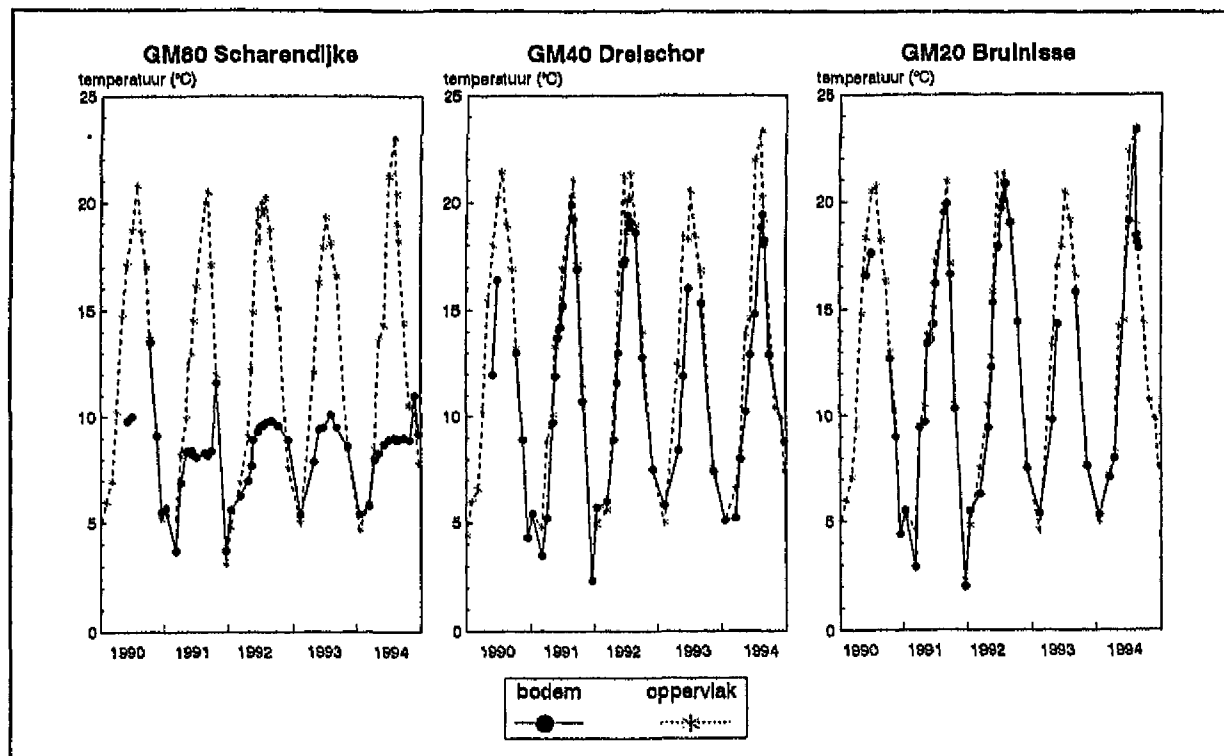
In de figuren en de bijlagen 7 tot en met 14 zijn voor de punten voor de meest relevante parameters de concentraties aan de bodem (gemeten op een meter daarboven) en aan het wateroppervlak (gemeten op een meter daaronder) weergegeven. De concentraties op halve diepte zijn (voor zover beschikbaar) wel in de analyses van de gegevens meegenomen, maar omwille van de leesbaarheid van de figuren niet hierin opgenomen.

### 5.1 Beschrijving van de stratificatie in de periode 1980-1994

#### 5.1.1 Thermische stratificatie

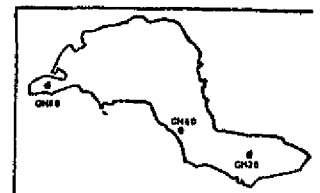
In figuur 5.1 is de watertemperatuur aangegeven van de drie meetpunten die ook tijdens de routinemetingen worden bemonsterd, te weten: GM80 in het westen ter hoogte van Scharendijke ( $\pm 47$ m diep), GM40 in het midden ter hoogte van Dreischor ( $\pm 28$ m diep) en GM20 in het oosten ter hoogte van Bruinisse ( $\pm 15$ m diep).

Van 1990, 1993 en 1994 ontbraken voor enkele maanden GTSO-metgegevens. Voor de ontbrekende maanden zijn, voor zover mogelijk de meetgegevens uit de routinemetingen gebruikt.



Figuur 5.1. Watertemperatuur op 1 meter onder het wateroppervlak en 1 meter boven de bodem op de drie meetpunten over de periode 1990 tot en met 1994.

Uit figuur 5.1 blijkt dat van de drie meetpunten alleen bij GM80 een duidelijk temperatuurverschil tussen bodem en oppervlak opgetreden is. In de zomermaanden was op dit



meetpunt een spronglaag aanwezig met een temperatuurgradiënt. In de winter was de temperatuur in de periode 1990-1994 ongeveer 4 à 5°C over de hele diepte. Van het begin van het jaar tot en met april steeg de temperatuur over de hele waterkolom, daarna stijgt de temperatuur aan de bodem nagenoeg niet meer. Het maximale temperatuurverschil in de zomer bedraagt ongeveer 10 graden:  $\pm 20^\circ\text{C}$  onder het oppervlak en  $\pm 10^\circ\text{C}$  boven de bodem. Alleen in 1994, een jaar met een extreem warme zomer met weinig wind, liep het temperatuurverschil op tot 15 graden. De spronglaag lag toen op ongeveer 13 meter onder het wateroppervlak. In bijlage 5b is deze situatie als voorbeeld weergegeven door middel van een kleurendiagram. De temperatuur op halve diepte was tijdens stratificatie afhankelijk van de ligging van de spronglaag. In de maanden juli en augustus lag de halve diepte over het algemeen in de onderlaag en had een temperatuur gelijk aan die op een meter boven de bodem of iets hoger. Wanneer er werd gestart met de uitwisseling van meerwater en zeewater, resulteerde dat in de opheffing van de thermische stratificatie. De watertemperatuur werd dan over de hele diepte gelijk aan de temperatuur van het ingelaten zeewater (meetpaal BG8). In 1992 werd pas in november met uitwisselen gestart (zie bijlage 2 inlaatdebieten Brouwerssluis). Hoewel het temperatuurverschil tussen bodem en oppervlak al was afgenomen kwam pas na het openen van de sluis een homogene verdeling van de temperatuur tot stand. In 1989 begon het uitwisselen pas in december, maar door het ontbreken van gegevens van 1989 en begin 1990 is de invloed hiervan op de verdeling van de watertemperatuur niet bekend. (Van 1990 zijn geen gegevens beschikbaar van januari tot en met april en juli en augustus.) Behalve voor de put bij Scharendijke is de situatie op GM80 ook representatief voor de GTSO-meetpunten 1 t/m 6.

Op GM40 is in de figuur alleen in de zomer van 1994 een temperatuurverschil (ongeveer 5 graden) tussen bodem en oppervlak te zien. Er was geen spronglaag aanwezig (dichtheidsverschil van minimaal 0.3 g/l per meter). Tijdens de opwarming in het voorjaar van 1993 en 1994 trad tijdelijk een temperatuurverschil van maximaal 7 graden tussen het oppervlak en de bodem op. GM40 is representatief voor de GTSO-meetpunten in het midden van het meer (figuur 2.1 meetpunt 7 t/m 15).

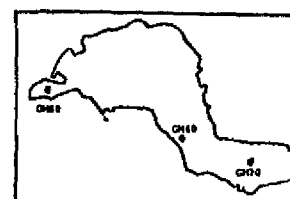
De watertemperatuur van bodem en oppervlak op GM20 waren het hele jaar door (nagenoeg) aan elkaar gelijk. Dit meetpunt is representatief voor het oosten van het meer (figuur 2.1 meetpunt 16 t/m 20).

Bijlage 7 geeft het verloop van de watertemperatuur op de drie meetpunten weer voor de hele periode 1980-1994.

De maximum temperaturen op de drie meetpunten in de zomer aan het wateroppervlak waren over de hele periode ongeveer gelijk. De temperatuur op een meter boven de bodem op meetpunt GM20 was gelijk aan de temperatuur op een meter onder het oppervlak. Op meetpunt GM40 was de temperatuur in de zomer boven de bodem maximaal drie graden lager dan op een meter onder het oppervlak.

In de zomer van 1986 is het temperatuurverschil hoog: 7 graden.

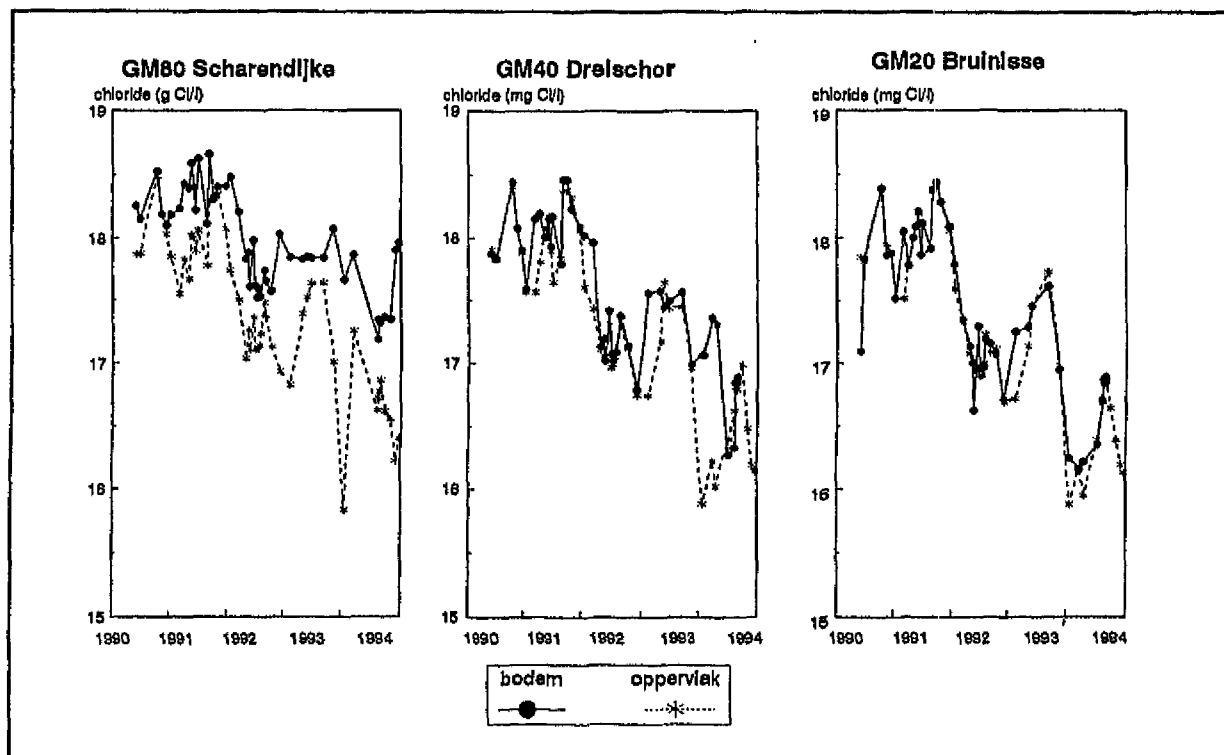
Bij GM80 valt op, dat de watertemperaturen op een meter boven de bodem in de periode 1991-1994 in de zomer relatief hoog waren ten opzichte van de voorgaande periode. Ook op halve diepte is dit het geval. Dit verschil kan deels zijn veroorzaakt door de zachte winters in de afgelopen jaren, waardoor de minimum watertemperatuur, ook dat van het ingelaten zeewater, in de winter relatief hoog was. In de periode 1980-1988 is, met uitzondering van 1986, de temperatuur op een meter boven de bodem in de zomer



ongeveer 2 graden hoger dan in de winter, terwijl dit verschil in de periode 1991-1994 ongeveer 5 graden is. Ook dit wordt mogelijk veroorzaakt door de relatief hoge winter-temperatuur van het ingelaten zeewater in het voorjaar. In deze periode wordt bovendien in vergelijking met de voorgaande jaren in het voorjaar ook langer zeewater ingelaten. Wanneer na de zomer met de uitwisseling van meerwater met zeewater wordt begonnen, de thermische stratificatie wordt opgeheven en de temperatuur op GM80 gelijk aan de temperatuur van het ingelaten zeewater.

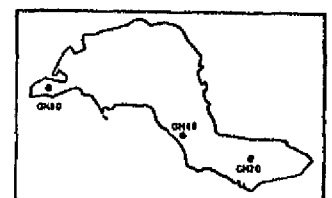
### 5.1.2 Chloridestratificatie

In figuur 5.2 is het verloop van het chloridegehalte in de periode 1990-1994 weergegeven voor de drie meetpunten GM80, GM40 en GM20. Voor het chloridegehalte vertoonde de database dezelfde hiaten als voor de watertemperatuur.



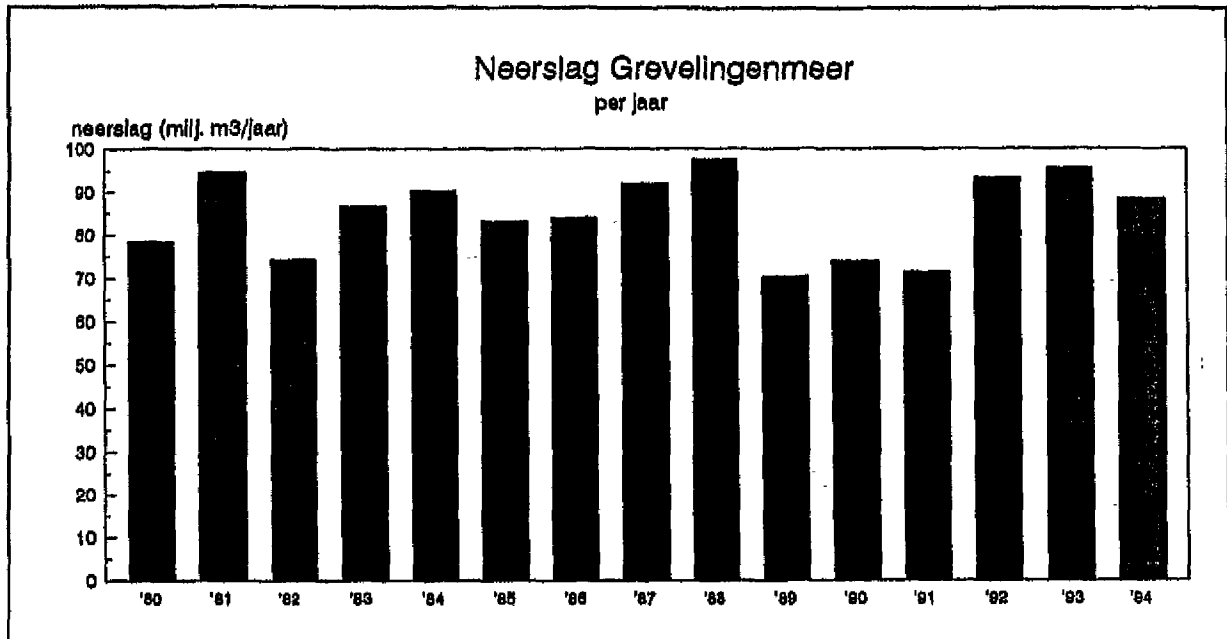
Figuur 5.2. Chloridegehalte onder het wateroppervlak en aan de bodem op de drie meetpunten over de periode van 1990 tot en met 1994.

Het chloridegehalte vertoonde vanaf 1992 een daling. Deze daling was het kleinst op een meter boven de bodem van GM80: het chloridegehalte daalde van 18.6 g Cl/l naar 17.2 g Cl/l. Het grootste verschil in chloridegehalte tussen de bodem en het oppervlak trad op in de maanden december tot en met februari. Een maatgevende spronglaag (dichtheidverschil minstens 0.3 g/l in een meter) als gevolg van een verschil in chloridegehalte was aanwezig in: januari tot en met maart 1991 en 1992, december 1992 en januari tot en met april 1993, januari tot en met juli 1994. In de zomer blijft het chloridegehalte in de diepe delen van de putten iets hoger dan in de rest van het meer. Het maximale verschil tussen de bodem en het oppervlak bedraagt ongeveer 2 g Cl/l. Dit verschil werd gemeten in



januari 1994, een maand met evenals als december 1993 veel neerslag. Op meetpunt GM40 wordt dan een verschil van ongeveer 1 g Cl/l gemeten. Op meetpunt GM20 zijn de chloridegehalten onder het oppervlak en op een meter boven de bodem het hele jaar aan elkaar gelijk.

Figuur 5.3 geeft voor de hele periode 1980-1994 de jaarlijkse hoeveelheid neerslag op het Grevelingenmeer weer.



Figuur 5.3 Neerslag op het Grevelingenmeer in kubieke meters per jaar voor de periode 1980 tot en met 1994 (naar G. Wattel).

Het dalende chloridegehalte was het gevolg van de grotere hoeveelheid neerslag in de jaren 1992, 1993 en 1994 ten opzichte van de drie jaren daarvoor.

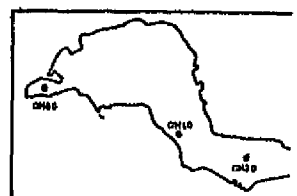
Bijlage 8 geeft het verloop van het chloridegehalte op de drie punten weer voor de hele periode 1980-1994. In de droge jaren 1989, 1990 en 1991 steeg het chloridegehalte tot ongeveer 18.5 g Cl/l. Op meetpunt GM80 valt op, dat in de droge jaren het verschil in chloridegehalte tussen bodem en oppervlak klein was vergeleken met natte jaren.

In de jaren met veel neerslag (1981, (voorjaar) 1983, 1987 en 1988) daalt het chloridegehalte over het hele meer. Ook het chloridegehalte op een meter boven de bodem van GM80 laat dan een daling zien, maar een veel kleinere. In de wintermaanden (in ieder geval december en januari) was er een spronglaag met een chloridegradiënt aanwezig.

## 5.2 Zuurstofhuishouding

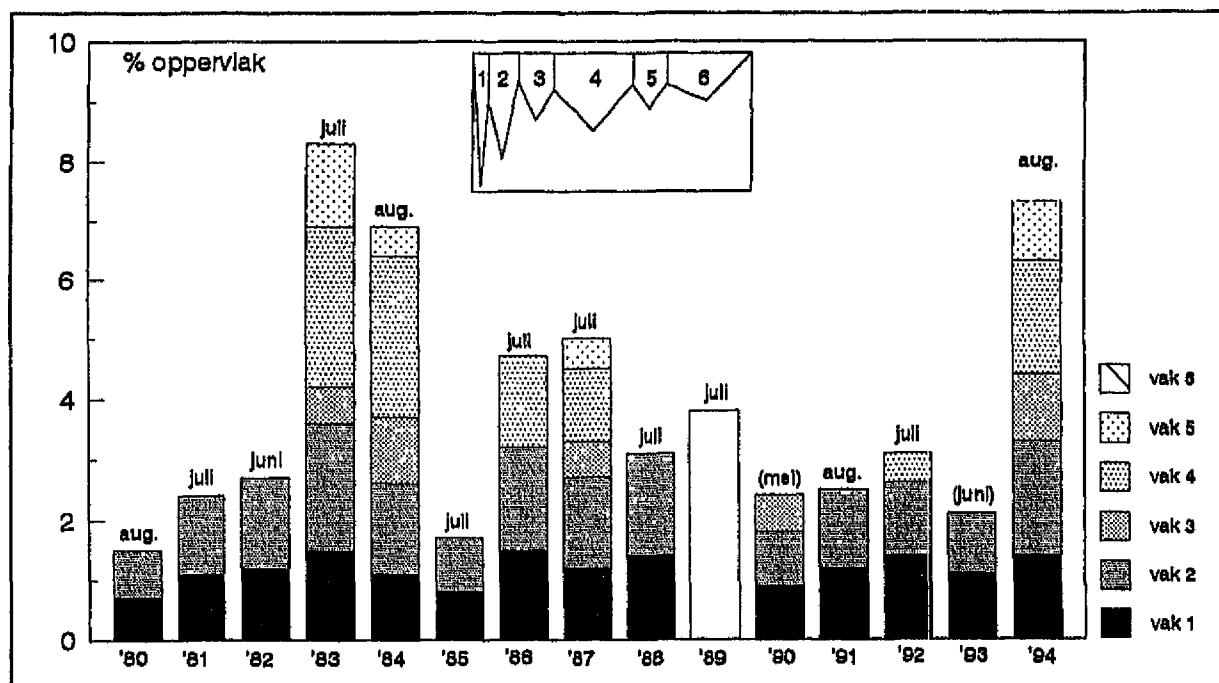
### 5.2.1 Zuurstofarm bodemoppervlak

De zuurstofarme situatie in het Grevelingenmeer wordt uitgedrukt in de oppervlakte van de waterbodem waarboven de zuurstofconcentratie kleiner of gelijk is aan 3 mg O<sub>2</sub> per liter. Dit gehalte is gekozen omdat er "dan voor sommige organismen onomkeerbare



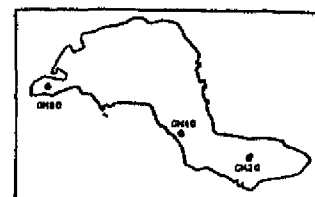
negatieve effecten optreden" (lit.5). Om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van zuurstofarmoede en zuurstofloosheid, alsmede de grootte van het bijbehorende bodemoppervlak, is het meer ingedeeld in vakken. Het zuidelijke geulenstelsel in Grevelingenmeer bestaat uit 6 putten en is daarom ook verdeeld in 6 vakken. De in de voorgaande paragrafen genoemde meetpunten GM80, GM40 en GM20 zijn de diepste punten van respectievelijk de vakken 1, 4 en 6. In bijlage 9 is het schematische profiel van het zuidelijke geulenstelsel en de bijbehorende vakindeling weergegeven. Per vak is een relatie opgesteld om bij benadering het horizontale oppervlak op een bepaalde diepte te berekenen (naar lit.9). In bijlage 9 zijn deze relaties en een voorbeeldberekening van de oppervlakte zuurstofloze bodem opgenomen.

De percentages zuurstofarm bodemoppervlak in figuur 5.4 zijn aangegeven per vak en zijn berekend volgens de methode uit bijlage 9. Aangegeven is het maximum dat in één van de zomermaanden werd bereikt. De vakindeling van het geulenstelsel is voor de duidelijkheid in de figuur opgenomen. Voor 1990 en 1993 staat deze maand tussen haakjes omdat er geen gegevens van de maanden juli en augustus beschikbaar zijn, terwijl in die maanden meestal het hoogste percentage zuurstofarm bodemoppervlak werd bereikt. Het is dus mogelijk dat de situatie voor die jaren gunstiger lijkt (kleiner oppervlak) dan de werkelijkheid. Van het jaar 1989 zijn geen GTSO-gegevens (meer) beschikbaar. Het aangegeven percentage is overgenomen uit de nota Waterbeheer Grevelingenmeer 1980-1990 (lit.5). Daarin is alleen het totale percentage zuurstofarm bodemoppervlak is aangegeven.



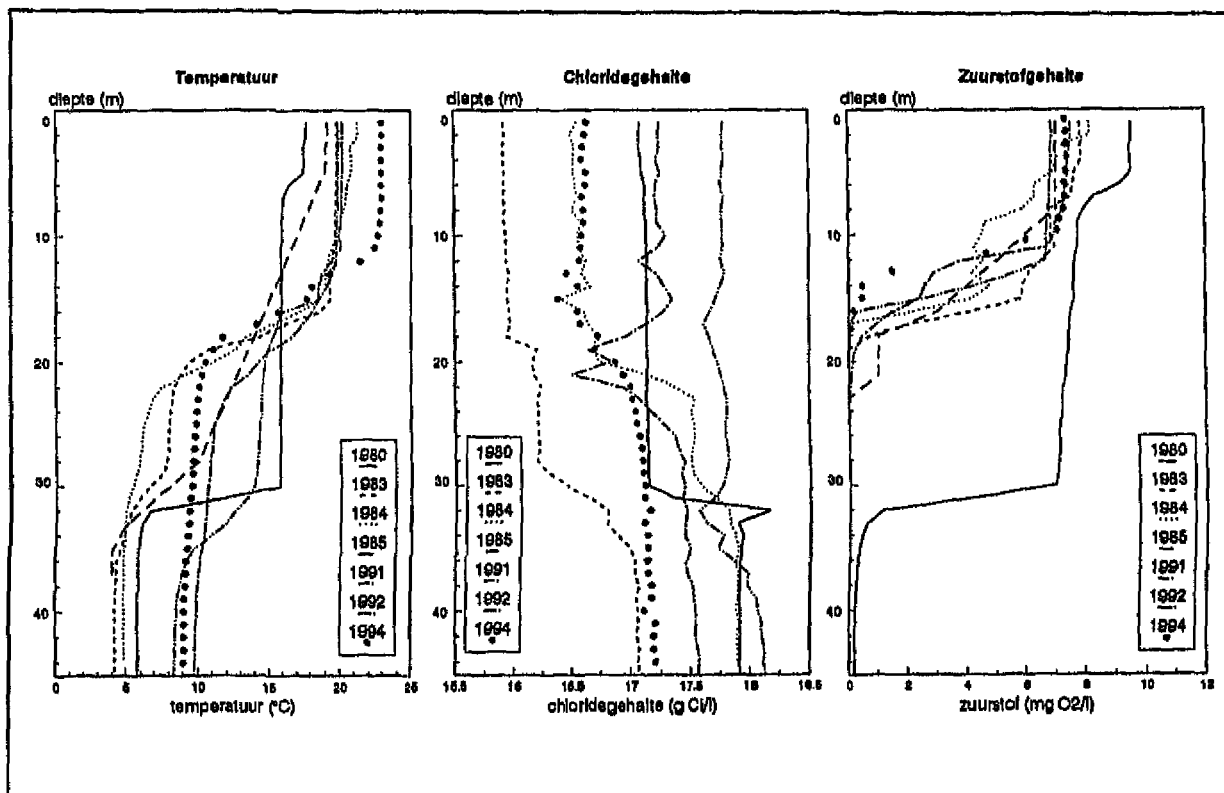
Figuur 5.4 Maximaal percentage zuurstofarm bodemoppervlak per jaar. De arcering geeft aan in welk vak de zuurstofarmoede voorkwam.

Zuurstofarmoede kwam in alle jaren minstens voor in de vakken 1 en 2, dus in de diepere delen in het westen van het meer. Over het algemeen kwam zuurstofarmoede hier voor



vanaf mei tot oktober. De grens waaronder zuurstofarmoede optrad lag daar in 1980 en 1985 het diepst (32 meter onder het wateroppervlak), wat resulteerde in een klein zuurstofloos oppervlak. In de andere jaren is de minimale diepteligging van deze grens tussen 13 en 18 meter onder het wateroppervlak. Figuur 5.5 geeft voor een aantal jaren voor GM80 (representatief voor vak 1 en 2) het verloop van het zuurstofgehalte over de diepte weer (op hetzelfde tijdstip als in figuur 5.4).

In figuur 5.5 is bij wijze van voorbeeld tevens voor een aantal jaren het verloop van de temperatuur, het chloridegehalte en het zuurstofgehalte over de diepte op meetpunt GM80 aangegeven.



Figuur 5.5 Verloop van de temperatuur, het chloride- en zuurstofgehalte over de diepte op meetpunt GM80 voor een aantal jaren tijdens de meest ongunstige zomersituatie.

In de spronglaag vond een sterke daling van het zuurstofgehalte plaats, zoals ook is te zien in figuur 5.5.

In (minstens) 6 van de 15 jaren komt ook zuurstofarmoede in één of meerdere andere vakken dan 1 en 2 voor. Als zuurstofarmoede optreedt in vak 4 geeft dat een sterke vergroting van het percentage bodem met daarboven zuurstofarmoede. Dit vak beslaat namelijk een groot deel van het totale bodemoppervlak. De grens waaronder zuurstofarmoede optreedt ligt in de andere vakken wel altijd dieper dan in de vakken 1 en 2. Dit zijn de vakken met de grootste diepte, in de zomer gekenmerkt door de aanwezigheid van een spronglaag. Vooral in de jaren 1983, 1984 en 1994 was het percentage zuurstofarm bodemoppervlak relatief hoog. Zuurstofarmoede komt dan voor in de vakken 1 tot en met 5. In 1984 ontstond zuurstofarmoede al in maart in vak 1 en breidde zich uit naar het



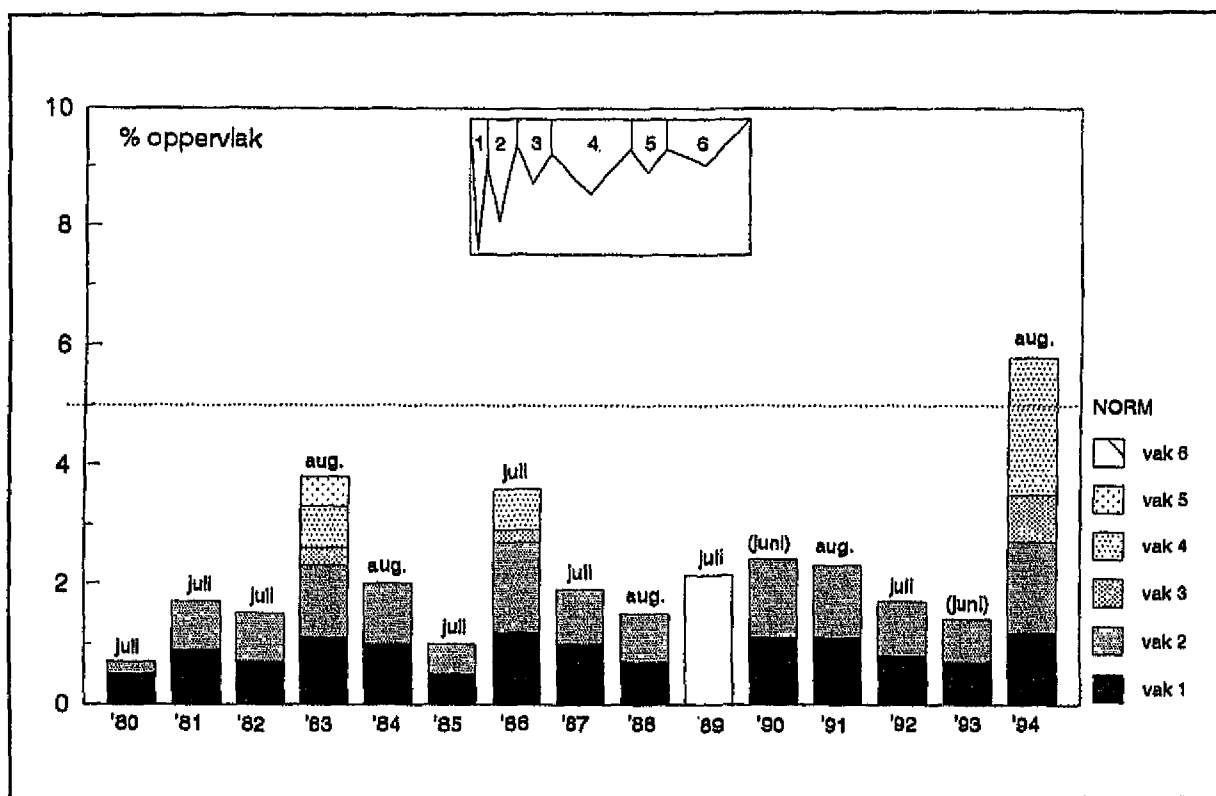


oosten. In de vakken 3 tot en met 6 was op dat moment geen spronglaag aanwezig. De zuurstofarmoede zal veroorzaakt zijn door een hoog zuurstofverbruik op een meter boven de bodem door de hoge watertemperaturen. Er is geen trend in het jaarlijks maximaal optredend zuurstofarme bodemoppervlak.

### 5.2.2 Zuurstofloos bodemoppervlak

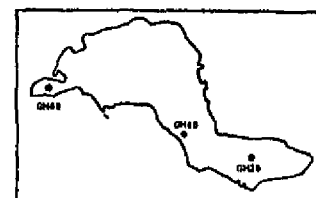
De zuurstofloze situatie in het Grevelingenmeer wordt op dezelfde manier uitgedrukt als de zuurstofarme situatie. Onder zuurstofloosheid wordt verstaan een zuurstofgehalte van kleiner dan 0,5 mg O<sub>2</sub> per liter (dat heeft te maken met de ondergrens van de meetnauwkeurigheid).

Figuur 5.6 geeft het percentage bodemoppervlak weer waarboven zuurstofloosheid voorkomt. Het beheer is erop gericht het zuurstofloze bodemoppervlak te beperken tot 5% van het totaal (± 500 ha.). Deze norm is ook in de figuur aangegeven.



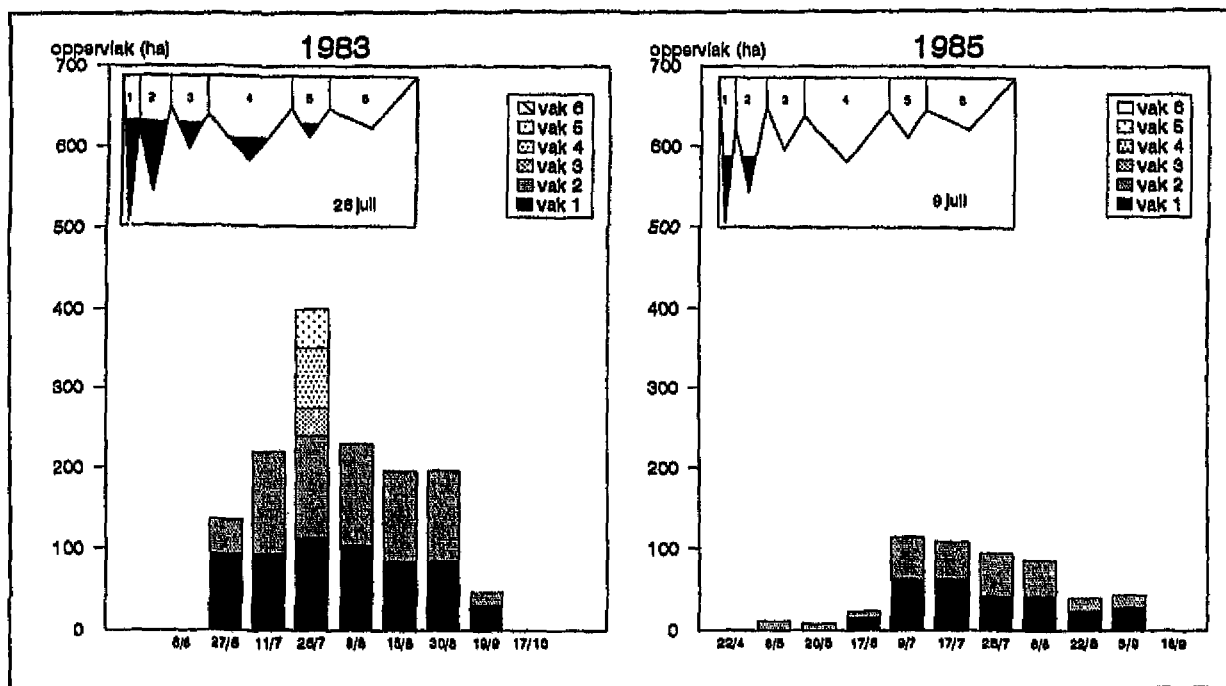
Figuur 5.6 Maximaal percentage zuurstofloos oppervlak per jaar. De arcering geeft aan in welk vak de zuurstofloosheid voorkwam.

Zuurstofloosheid komt net als zuurstofarmoede in alle jaren voor in de vakken 1 en 2. De ligging van de spronglaag bepaalt de diepte waaronder zuurstofloosheid voorkomt. In de spronglaag verandert de zuurstofsituatie van zuurstofrijk naar zuurstofloos. Tijdens een gestratificeerde situatie, die lang genoeg duurt, de onderlaag zuurstofloos is (zie figuur 5.5). In drie jaren komt ook zuurstofloosheid voor in andere vakken: in 1986 en 1994 komt zuurstofloosheid ook voor in de vakken 3 en 4, in 1983 daarnaast ook in vak 5. De ongunstige situatie in 1983 en 1994 is toe te schrijven aan een warme periode met weinig



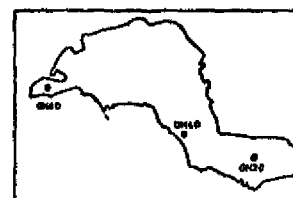
wind, waardoor er weinig menging kon plaatsvinden. De oorzaak van het hoge zuurstofloos bodemoppervlak in 1986 is niet duidelijk. Alleen in 1994 wordt de gestelde norm van een maximaal zuurstofloos bodemoppervlak van 5% (ca. 500 ha.) met ongeveer 1% ( $\pm 100$  ha.) overschreden. In bijlage 5b is deze situatie als voorbeeld weergegeven. In 1980 en 1985 is in de vakken 1 en 2 een spronglaag aanwezig op minimaal 30 meter onder het wateroppervlak. Door de grotere diepte van de spronglaag ten opzichte van andere jaren, kwam in deze jaren een relatief klein zuurstofloos bodemoppervlak voor. Er is geen trend aanwezig in het jaarlijks maximaal optredend zuurstofloos bodemoppervlak.

In figuur 5.7 is als voorbeeld voor 2 jaren (met een zo compleet mogelijke meetreeks) de ontwikkeling van het zuurstofloze bodemoppervlak aangegeven. Van de datum waarvoor het oppervlak zuurstofloze bodem is berekend (de situatie als in figuur 5.6) is de verdeling van de zuurstofloosheid over de vakken aangegeven. De zwartgekleurde vlakken geven zuurstofloosheid aan. Op de horizontale as is de datum van de meting aangegeven. Ook de datum van laatste meting in het voorjaar waarbij nog geen zuurstofloosheid werd gemeten en van de eerste meting na de zomer waarbij geen zuurstofloosheid meer werd gemeten zijn aangegeven. In bijlage 10 is het verloop van het zuurstofloze oppervlak voor drie andere jaren (1987, 1991 en 1994) aangegeven. Van deze jaren waren echter minder gegevens beschikbaar.



Figuur 5.7 Verloop van zuurstofloze bodemoppervlak in 1983 en 1985.

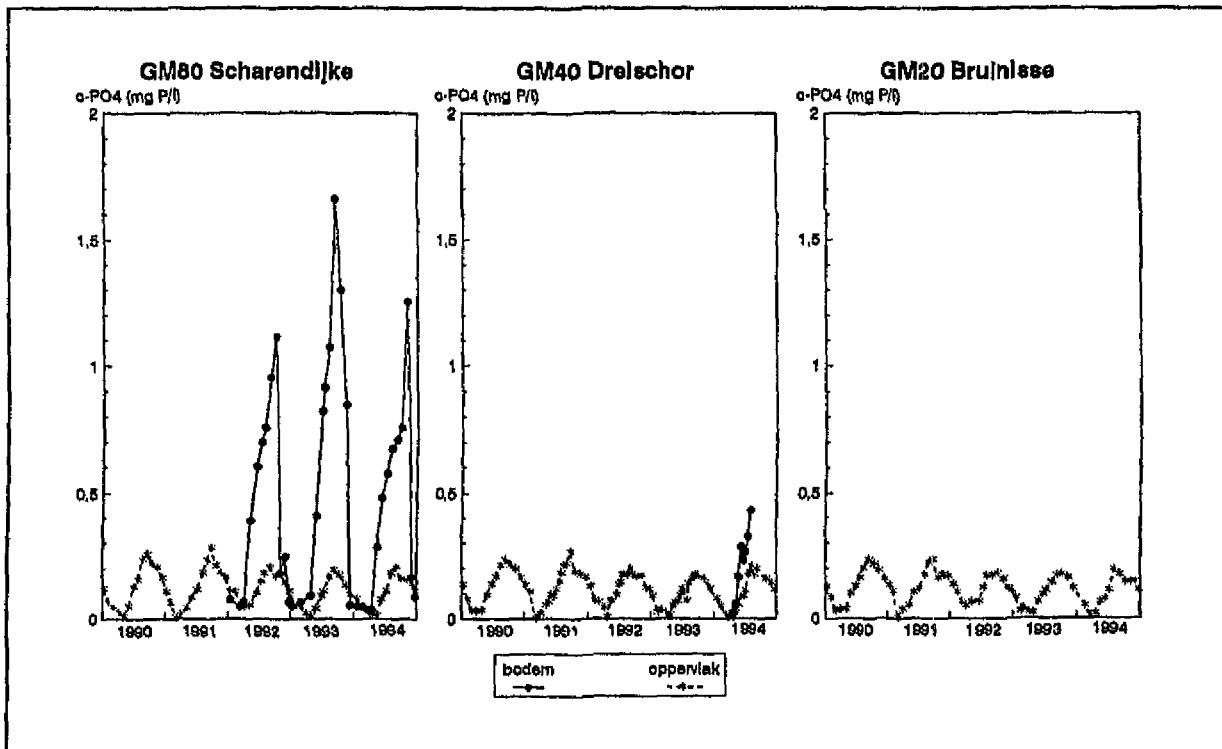
Voor alle jaren gold, dat wanneer zuurstofloosheid in de andere vakken dan 1 en 2 voorkwam, dit een maximale duur had van 1 maand. In de vakken 1 en 2 kwam zuurstofloosheid voor van mei tot oktober. Wanneer nog zuurstofloosheid aanwezig was bij het starten van de uitwisseling met zeewater, was deze daarna snel verdwenen. Het water is daarna over hele diepte zuurstofrijk (een zuurstofgehalte groter of gelijk aan 7 mg O<sub>2</sub> per liter).



### 5.3 Nutriëntenhuishouding

#### 5.3.1 Orthofosfaat

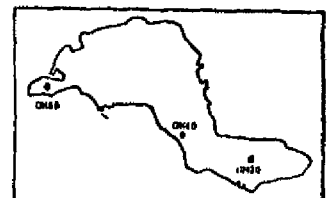
In figuur 5.8 is het verloop van het orthofosfaatgehalte ( $\text{o-PO}_4$ ) op de meetpunten GM80, GM40 en GM20 weergegeven voor de periode 1990-1994. De concentratie is uitgedrukt in miligrammen fosfor (P) per liter. Op GM20 is in deze periode alleen op een meter onder het oppervlak bemonsterd. Op GM80 zijn de metingen op een meter boven de bodem (en op halve diepte) vanaf 1992 weer in het programma opgenomen. In mei tot en met augustus 1994 is ook op GM40 op halve diepte en een meter boven de bodem bemonsterd.



Figuur 5.8 Het orthofosfaatgehalte op de meetpunten GM80, GM40 en GM20 in de periode 1990 tot en met 1994.

Opeen meter onder het oppervlak vertoonde de orthofosfaat concentratie op de drie punten dezelfde seizoenfluctuatie. De maximum concentratie trad op in de zomer. De toename van de concentratie in de zomer was waarschijnlijk het gevolg van mobilisatie van fosfaat uit de bodem. Deze mobilisatie wordt bewerkstelligd door de hoge watertemperatuur in de zomer. Door de uitwisseling met Noordzeewater daalde de concentratie vanaf oktober tot april. Door de lage watertemperatuur in de winter vond accumulatie van fosfaat in de bodem plaats. De opname van orthofosfaat door fytoplankton speelde slechts een ondergeschikte rol.

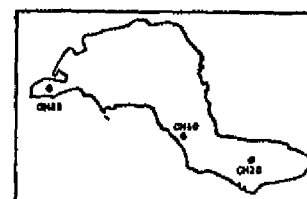
De concentratie op een meter boven de bodem op GM80 vertoonde hetzelfde seizoenverloop, maar de maximum concentratie was veel hoger. Ook de maximum concentratie op halve diepte was hoger dan die op een meter onder het oppervlak.

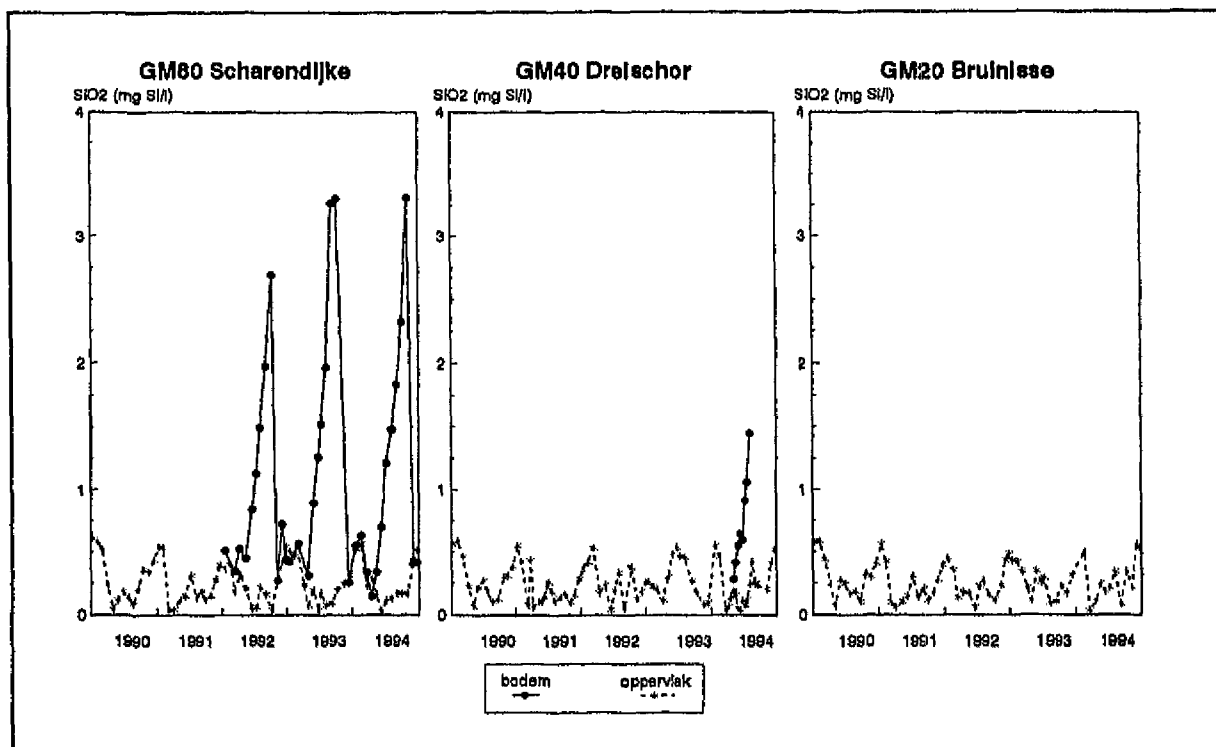


Bijlage 11 geeft het verloop van de orthofosfaatconcentratie voor de periode vanaf 1980 weer. Vanaf 1985 is er op GM40 en GM20 niet meer op een meter boven de bodem gemeten. In de periode 1980-1984 was er op GM20 geen verschil in concentratie tussen bodem en oppervlak. Op GM40 was dit verschil maximaal 0.2 mg P/l tegenover een maximaal verschil van 0.7 mg/l op GM80 in de periode tot 1985. Bij meetpunt GM80 valt op, dat in 1992, 1993 en 1994 de maximale concentratie op een meter boven de bodem veel hoger lag dan in het begin van de jaren '80. Een verklaring is de hogere watertemperatuur op een meter boven de bodem tijdens stratificatie. Door deze hogere temperatuur zal er meer fosfaat uit de bodem worden gemobiliseerd. Daarnaast zal ook de afbraak van organisch materiaal sneller verlopen door de hogere temperaturen. Ook zuurstofloosheid bevordert de mobilisatie van fosfaat uit de bodem, zoals beschreven in 3.3. Maar aangezien de zuurstofsituatie op een meter boven de bodem op GM80 in de jaren niet zichtbaar is verslechtert, zal dit waarschijnlijk niet de oorzaak van de hogere concentraties in de laatste jaren zijn. Mogelijk zouden de hoge concentraties op een meter boven de bodem van GM80 door de aanvoer van organisch materiaal uit zee tijdens de uitwisseling veroorzaakt kunnen zijn. Het organisch materiaal uit het zeewater, bezinkt achter de sluis in de diepe putten bij Scharendijke en Den Osse. Wanneer deze extra hoeveelheid organisch materiaal wordt afgebroken komt meer orthofosfaat in het water terecht. In een gestratificeerde situatie zal weinig uitwisseling plaatsvinden tussen boven- en onderlaag, zodat de onderlaag in de loop van de zomer met orthofosfaat wordt opgeladen.

### 5.3.2 Silicium

In figuur 5.9 is voor de periode 1990-1994 het verloop van het siliciumgehalte weergegeven. De concentratie is uitgedrukt in milligrammen silicium (Si) in de vorm van opgelost silicaat ( $\text{SiO}_2$ ). Dit is de vorm waarin dit (reactief) silicium als nutriënt in het water beschikbaar is. De jaren waarvan gegevens beschikbaar zijn is hetzelfde als voor orthofosfaat.





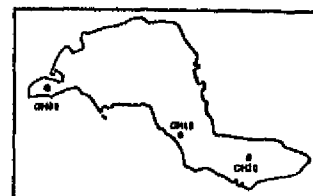
Figuur 5.9 Silicaatgehalte op de meetpunten GM80, GM40 en GM20 voor de periode 1990 tot en met 1994.

De siliciumconcentraties op een meter onder het oppervlak van de drie meetpunten vertoonden ongeveer hetzelfde verloop. In het voorjaar nam de concentratie af door de opname ervan voor groei van diatomeeën. Na de diatomeeënbloei (juni) nam de concentratie weer toe. Door een tweede bloei in de zomer daalde de concentratie weer. Hierna steeg de concentratie vanaf november tot en met februari en kwam overeen met de concentratie van het ingelaten zeewater.

De metingen die in 1994 op GM40 zijn uitgevoerd duiden op een hogere concentratie op een meter boven de bodem dan op een meter onder het oppervlak in de maanden waarin gemeten werd (mei t/m augustus). Ook op GM80 was de concentratie op een meter boven de bodem van april/mei tot oktober hoger dan op een meter onder het oppervlak.

Tijdens/na de voorjaarsbloei steeg de concentratie als gevolg van de afbraak van diatomeeën aan de bodem. Op halve diepte daalde eerst de concentratie in het voorjaar iets, om na het ontstaan van stratificatie te stijgen tot oktober.

In bijlage 14 is het verloop van de siliciumconcentratie voor de periode 1980-1994 weergegeven. Op GM80 was de siliciumconcentratie op een meter boven de bodem in de zomer van de laatste drie jaren hoger dan in het begin van de jaren '80. De maximum concentratie op halve diepte was in 1992 en 1993 iets hoger. De mogelijke oorzaken hiervan waren waarschijnlijk dezelfde als voor de verhoogde orthofosfaatconcentratie; Het is mogelijk dat de na de voorjaarsbloei afgestorven diatomeeën bij de relatief hoge watertemperatuur snel werden afgebroken. Bovendien geldt ook voor silicium dat de mobilisatie ervan uit de bodem groter is bij hogere temperaturen. Daarnaast kan mogelijk silicium in de vorm van dood organisch materiaal met het zeewater worden aangevoerd en bezinken in de putten achter de sluis (en mogelijk ook in de andere diepere delen van het



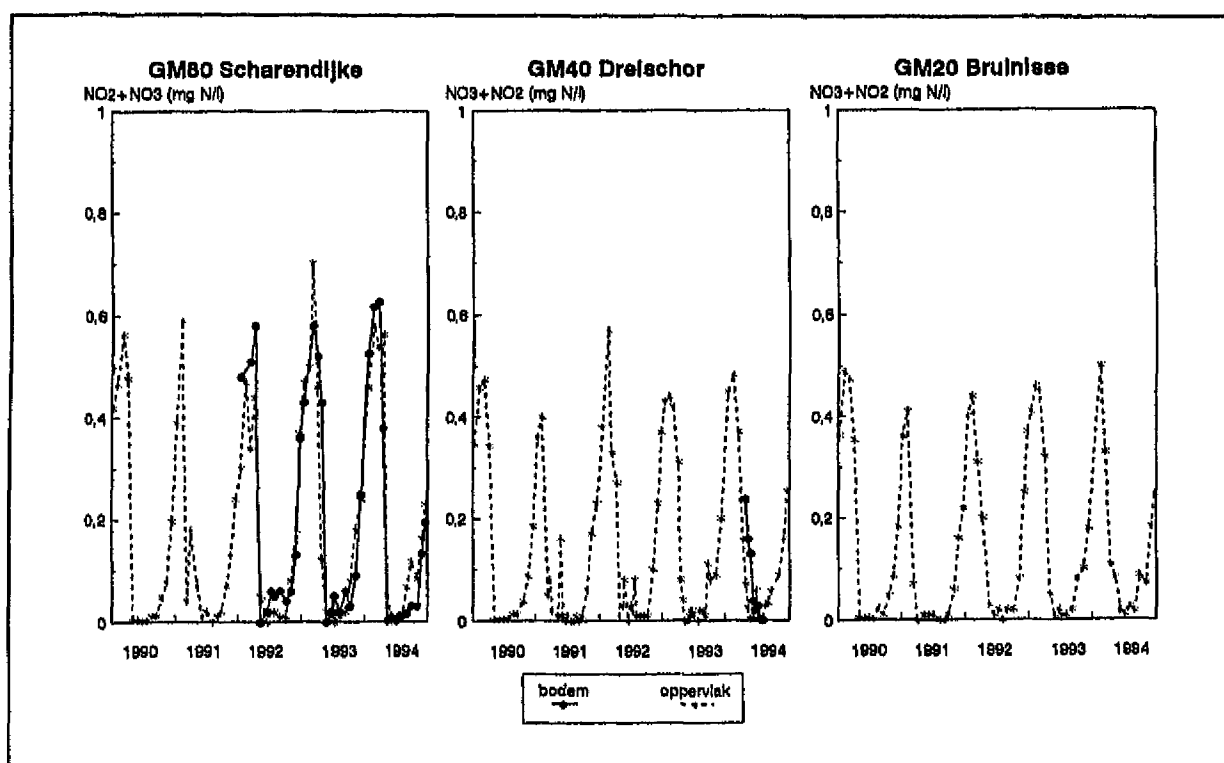
meer). Nadat in het najaar was begonnen met uitwisselen werd de concentratie op een meter boven de bodem gelijk aan die op een meter onder het oppervlak.

### 5.3.3 Stikstof

Stikstof is als nutriënt in het water beschikbaar in de vorm van nitriet, nitraat en ammonium. Nitriet en nitraat worden over het algemeen als somparameter geanalyseerd, ammonium wordt apart geanalyseerd. In het Grevelingenmeer zijn in de jaren 1986-1991 deze parameters alleen aan het wateroppervlak bepaald.

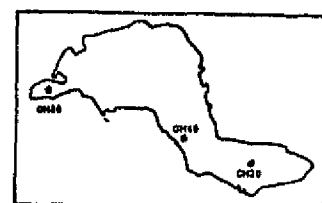
#### Nitriet en nitraat

Van deze somparameter vormt nitraat het grootste deel:  $\pm 75\%$ . In figuur 5.10 is voor de periode 1990-1994 het verloop van stikstofgehalte in de vorm van nitriet en nitraat weergegeven.



Figuur 5.10 Nitriet- + nitraatgehalte op de meetpunten GM80, GM40 en GM20 voor de periode 1990 tot en met 1994

De concentraties op een meter onder het oppervlak en op een meter boven de bodem, wanneer deze is bemonsterd, waren nagenoeg aan elkaar gelijk. In het voorjaar daalde de concentratie op een meter onder het oppervlak als gevolg van opname door fytoplankton. Op een meter boven de bodem daalde de concentratie als gevolg van een toename van de denitrificatie aan de bodem. Ook wanneer geen zuurstofloosheid gemeten is (1 meter boven de bodem) kan de bovenste laag van het sediment en het laagje water daarboven wel zuurstofloos zijn (lit.3). In de zomer was de concentratie laag. Van oktober tot februari steeg de concentratie tot maximaal 0.7 mg N/l als gevolg van de afbraak van

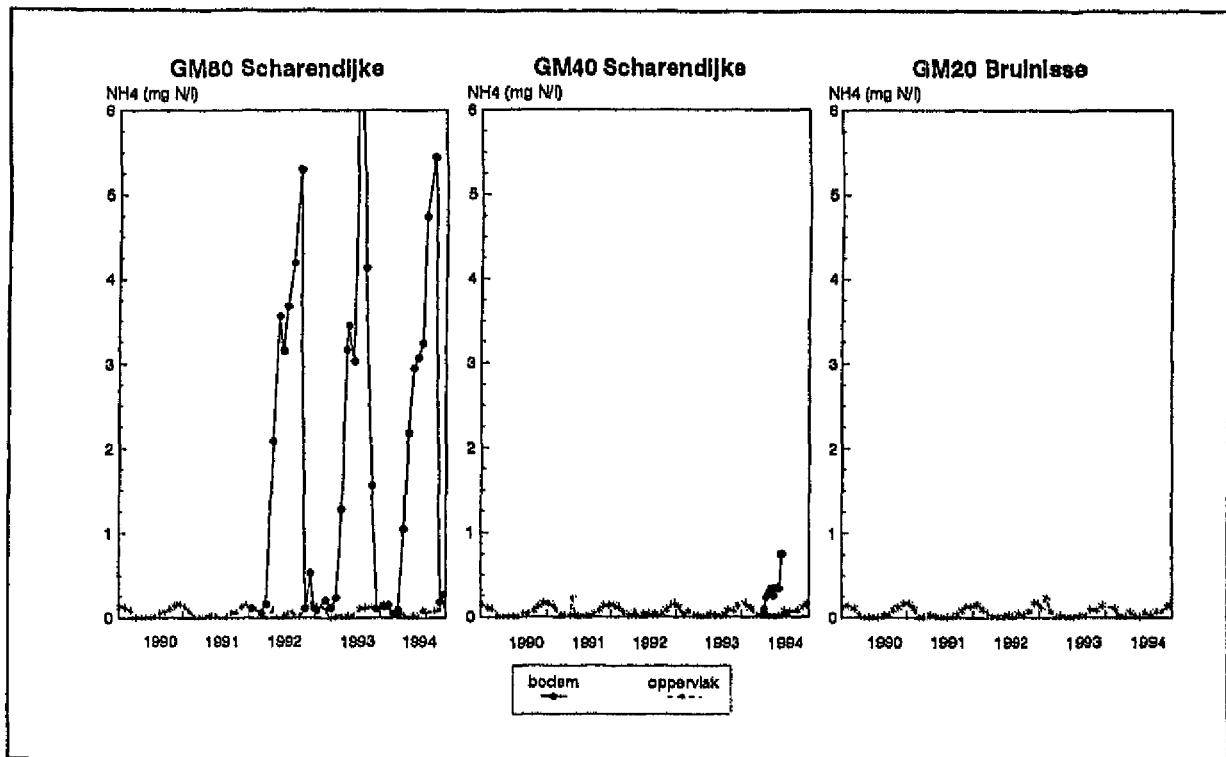


organisch materiaal.

In bijlage 12 is het verloop van de concentratie voor de periode 1980-1994 weergegeven. De concentraties aan bodem en oppervlak waren op een meter onder het oppervlak en op een meter boven de bodem gelijk en waren in tegenstelling tot de orthofosfaat en silicaatconcentraties in de laatste jaren niet hoger dan daarvoor. Bij GM80 valt op, dat in 1980-1984 de concentratie op een meter boven de bodem in het voorjaar langer hoog bleef (tot juni), terwijl de concentratie op een meter onder het oppervlak daalde. Ook de concentratie op halve diepte bleef langer hoog dan die op een meter onder het oppervlak. Dit faseverschil werd mogelijk veroorzaakt door de lagere watertemperatuur in de winter (in vergelijking met de jaren 1992-1994). Bij een lagere temperatuur verloopt denitrificatie langzamer en wordt er dus minder nitraat omgezet in stikstofgas (zie 3.3 vergelijking 2).

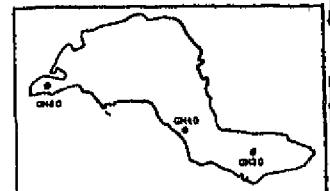
### Ammonium

In figuur 5.11 is voor de periode 1990-1994 het stikstofgehalte in de vorm van ammonium weergegeven. In deze periode is ammonium vanaf 1992 alleen aan de bodem van GM80 geanalyseerd en gedurende de maanden mei-augustus op GM40 in 1994.

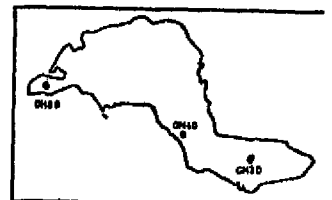


Figuur 5.11 Ammoniumgehalte op de meetpunten GM80, GM40 en GM20 voor de periode 1990 tot en met 1994.

Het verloop van de concentraties op een meter boven de bodem was op een meter onder het oppervlak op de drie punten gelijk. In het voorjaar daalde de concentratie als gevolg van de opname door de groei van fytoplankton en door de toename van de nitrificatie aan de ondiepe bodems bij de stijging van de watertemperatuur. Gedurende de hele zomer bleven de concentraties laag. Vanaf augustus steeg de concentratie. De maximum



concentratie werd bereikt in januari:  $\pm 0.15$  mg N/l. De metingen op GM40 in de zomer van 1994 duiden op een hogere concentratie op een meter boven de bodem dan op een meter onder het oppervlak. De concentratie op een meter boven de bodem en op halve diepte op GM80 was vanaf april hoger dan op een meter onder het oppervlak. De maximum concentratie wordt bereikt in september, daarna daalt de concentratie snel tot dezelfde waarde als op een meter onder het oppervlak. De hogere waarden aan de bodem in de zomer kunnen worden verklaard door enerzijds mobilisatie uit de bodem en anderzijds door zuurstofloosheid in de onderlaag. De zuurstofloosheid heeft namelijk tot gevolg dat het ammonium niet meer wordt omgezet naar nitraat (zie 3.3 vergelijking 1). In bijlage 13 is het verloop van de ammoniumconcentratie op de drie punten weergegeven voor de periode 1980-1994. Op GM40 en GM20 was de concentratie op een meter boven de bodem gelijk aan die op een meter onder het oppervlak. Op GM80 geldt hetzelfde als voor fosfaat en silicium: in de zomer hogere concentraties op een meter boven de bodem in de laatste jaren. Op halve diepte was dit ook het geval. Ook hiervoor zijn de mogelijke oorzaken waarschijnlijk dezelfde als voor de hogere fosfaat- en siliciumconcentraties.





## 6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### Ontwikkeling stratificatie, zuurstofhuishouding en nutriëntengehalten.

De stratificatie die in de wintermaanden optreedt, wordt veroorzaakt door een verschil in chloridegehalte, terwijl in de zomermaanden de stratificatie hoofdzakelijk door een temperatuurverschil wordt veroorzaakt. Dit werd voor de periode 1980-1990 eerder ook in de nota Waterbeheer Grevelingenmeer 1980-1990 (lit.5) geconcludeerd. De chloridestratificatie komt vooral voor in de diepe delen in het westen van het meer (vak 1 en 2), maar ook gedurende kortere tijd in de andere delen van het meer. Thermische stratificatie komt bijna uitsluitend voor in de vakken 1 en 2. In de vakken 3 en 4 is wel een temperatuurverschil over de waterkolom aanwezig, maar er is geen maatgevende spronglaag aanwezig.

De stratificatie in de zomermaanden had een nadelige invloed op de zuurstofhuishouding van de dieper gelegen watermassa's. In de diepe delen in het westen kwam elke zomer gedurende een aantal maanden zuurstofloosheid voor. In de (door thermische stratificatie ontstane) spronglaag vond daarbij een zeer sterke daling van de zuurstofverzadiging plaats. Hierdoor was de onderlaag grotendeels zuurstofloos. In augustus 1994 werd de norm van een maximaal zuurstofloos oppervlak van 5% overschreden. Dit is het gevolg van een periode met weinig wind (weinig menging) en hoge temperaturen (oplosbaarheid zuurstof klein, afbraaksnelheid hoog). In 1986 was het zuurstofloze bodemoppervlak ook relatief hoog, terwijl er geen sprake was van hogere temperaturen en milder wind dan gemiddeld. Het was met de beschikbare gegevens niet mogelijk een verklaring hiervoor te geven (zie ook lit.11). Er is geen trend opgetreden in het maximale zuurstofloze en zuurstofarme bodemoppervlak. De chloridestratificatie in de wintermaanden had geen zichtbare invloed op de zuurstofconcentratie in de diepe delen van het meer.

Op meetpunt GM80, het diepste punt van vak 1, waren de concentraties van orthofosfaat, silicium en ammonium aan bodem en oppervlak verschillend. In de zomer was de concentratie van deze stoffen op een meter boven de bodem daarbij hoger. De oorzaken hiervan zijn mobilisatie van deze stoffen uit de bodem in de zomermaanden en afbraak van dood organisch materiaal. Door de aanwezigheid van een spronglaag zal weinig of geen menging tussen de boven- en onderlaag plaatsvinden, waardoor de onderlaag wordt 'opgeladen' met deze nutriënten. Daarnaast wordt onder de zuurstofloze omstandigheden die in de onderlaag optreden het gevormde ammonium niet meer omgezet in nitraat door middel van nitrificatie. In 1992, 1993 en 1994 is een, ten opzichte van 1980-1985, hogere maximum fosfaat-, silicium- en ammoniumconcentratie gemeten op GM80. Hiervoor zijn twee mogelijke oorzaken gevonden. Enerzijds kan de hogere watertemperatuur aan de bodem in de laatste jaren geleid hebben tot een hogere afbraaksnelheid, anderzijds levert de aanvoer door het zeewater meer afbreekbaar organisch materiaal. afbraak tot gevolg kunnen hebben. Voor meetpunt GM40 (Dreischor, vak 4) zijn in 1994 gedurende een aantal maanden de nutriëntenconcentraties aan de bodem geanalyseerd. De analysesresultaten geven een verschil aan in bodem- en oppervlakteconcentratie. De concentratieverschillen waren kleiner dan die op het meetpunt GM80 zijn gemeten. De stratificatie op GM40 was dan ook minder en de aanvoer van afbreekbaar organisch materiaal uit zee kleiner. De nitriet- en nitraatconcentraties waren op de drie bemonsterde punten over de waterko-

lom ongeveer gelijk. Ten eerste vindt in het voorjaar een daling van de concentratie plaats als gevolg van opname door fytoplankton. Ten tweede werd door de stijgende temperatuur via het proces van denitrificatie meer nitraat omgezet tot stikstofgas, dat naar de atmosfeer verdween. Doordat op GM80 in de onderlaag zuurstofloosheid ook in de waterlaag optrad werd ook daar, ondanks de relatief lage temperatuur veel nitraat omgezet. In de periode 1980-1984 bestond er een klein faseverschil in het jaarlijkse verloop van de nitriet- en nitraatconcentratie aan bodem en oppervlak. Dit was in 1992-1994 niet het geval. De verklaring voor het wegvallen van dit faseverschil zou mogelijk de hogere watertemperatuur in winter en voorjaar van de laatste jaren kunnen zijn. Hierdoor zou de denitrificatie sneller op gang kunnen komen in het voorjaar, zodat de concentratie aan de bodem eerder daalt ten opzichte van de periode 1980-1984.

### Aanbevelingen

#### **Beheer**

Het huidige beheer moet in principe gehandhaafd worden. De stratificatie is in de onderzochte periode niet in omvang toegenomen. Wel zou in het vervolg eerst overleg gepleegd moet worden tussen de watersysteembeheerder en de sluisbeheerder alvorens van het vastgelegde beheer af te wijken. Ook is de registratie van in- en uitlaatdebieten voor verbetering vatbaar.

#### **Monitoring**

Sinds 1986 is de waterkwaliteit op de meetpunten in het midden en in het westen van het meer niet meer gemeten. (Op deze punten waren de concentraties in de voorgaande jaren op de drie gemeten diepten (oppervlak, halve diepte en bodem) ook (nagenoeg) aan elkaar gelijk.) In 1994 zijn echter op GM40 gedurende de zomermaanden metingen uitgevoerd. De analysesresultaten daarvan duiden voor een aantal stoffen op een hogere concentratie aan de bodem dan onder het oppervlak. Mogelijke veranderingen van processen zouden kunnen worden gevolgd door de metingen op halve diepte en op een meter onder het oppervlak op GM20 en GM40 weer in het routinematige meetprogramma op te nemen. De huidige frequentie van deze waterkwaliteitsmetingen dient te worden gehandhaafd. Het zou voor de vergelijkbaarheid van de gegevens nog beter zijn als er iedere maand in en bijvoorbeeld in dezelfde week of decade gemeten wordt.

De verwerking van de waterkwaliteitsgegevens in het (nieuwe) DONAR-systeem is zeker voor verbetering vatbaar. Een aantal belangrijke punten:

- Sommige parameters en meetpunten zijn in de loop der jaren van naam of code veranderd, terwijl de analysemethode/plaats gelijk is gebleven. In DONAR zijn de gegevens in deze gevallen apart opgeslagen. Hierdoor wordt het opvragen en verwerken van de gegevens bemoeilijkt en ontstaan onduidelijkheden;
- In DONAR kunnen de gegevens van halve diepte en bodem nog niet worden opgeslagen omdat deze diepten relatieve begrippen zijn. Hierdoor moesten de benodigde gegevens hiervan uit de 'oude' WORSRO-bestanden worden gehaald, die maar tot 1993 zijn aangevuld;
- In mei 1995 waren de waterkwaliteitsgegevens in DONAR slechts aangevuld tot augustus 1994, terwijl de gegevens rechtstreeks uit het laboratorium zouden worden ingevoerd. Dit zou toch sneller moeten kunnen;
- Zowel in WORSRO als in DONAR zijn nog fouten aanwezig (codering, meetfou-

ten,..). Geautomatiseerde controleprogramma's kunnen de meeste daarvan opsporen (lit.5).

In de periode 1990-1994 zijn in een aantal maanden (ook zomermaanden!) geen GTSO-metingen uitgevoerd. Door het uitvallen van metingen is de ontwikkeling van de stratificatie moeilijker te volgen en verliezen de metingen dus een deel van hun waarde.

Een andere aanbeveling ten aanzien van de GTSO-metingen is het (weer) verwerken van de gegevens aan boord tot ispletendiagrammen (zoals bijlage 5a). Eventuele afwijkingen/meetfouten kunnen dan meteen worden ontdekt en gecontroleerd door het herhalen van de betreffende meting(en). Bij de omzetting of de verwerking van de gegevens van het schip 'verdwijnen' de vermelde weersomstandigheden, terwijl deze gegevens zeer waardevol zijn. Daarnaast zouden eventuele bijzonderheden (nieuwe meetsensor bijvoorbeeld) bij de meetgegevens kunnen worden aangegeven. Eventueel zou het aantal meetpunten iets omlaag kunnen, maar aangezien dit maar zeer geringe kostenbesparing zou opleveren is dit niet erg zinvol. Wel dient de ligging van punt 13 nader bekeken te worden. Het is mogelijk dat dit punt niet het diepste punt van vak 4 is (dit geldt dus ook voor meetpunt GM40).

### **Onderzoek**

In dit verslag is getracht een verklaring te geven voor de stijging van orthofosfaat, silicaat en ammonium (en mogelijk meer stoffen) aan de bodem van GM80 in de zomer. Er is een aantal mogelijkheden aangegeven, maar nader onderzoek is nodig om met zekerheid de oorzaak van de stijging van de concentraties te kunnen aangeven. Daarbij dient vooral de mogelijke aanvoer van organisch materiaal uit zee en het transport daarvan door het Grevelingenmeer onderzocht te worden. Daarnaast zouden de accumulatie- en mobilisatie processen aan de bodem onderzocht moeten worden. Er zou dan ook meer duidelijkheid ontstaan omtrend de omvang van deze processen. Ook is het belangrijk de effecten van de verhoogde concentraties op onder meer bodemorganismen te onderzoeken.

## 7. LITERATUURLIJST

- lit.1 Anonymous  
Beheersplan voor de Rijkswateren 1992-1996.  
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993
- lit.2 Bakker, J.F.  
Biochemical processes in marine sediments with emphasis on the nitrogen cycle  
and oxygen dynamics.  
Rijksuniversiteit Groningen, 1992.
- lit.3 Gulatie, E.D., e.a.  
Cursusboek Limnologie '80 -'81.  
Stichting Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek.
- lit.4 Heesen, P.F.  
Geschiedenis van het chemische waterkwaliteitsmeetnet van de zoute rijkswateren  
1971-1994.  
Werkdocument 95.120x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, mei 1994.
- lit.5 Holland, A.M.B.  
Waterbeheer Grevelingen 1980 - 1990.  
Nota GWWS-91.086, Dienst Getijdewateren, 1991.
- lit.6 Klomp, R. en Peelen, R.  
Natuurlijke en kunstmatige destratificatie in de putten bij Scharendijke en Den  
Osse 1971-1972.  
Nota DDMI 73-07, Deltadienst, november 1973.
- lit.7 Meulen, J.H.M. van de.  
Waterkwaliteitskenmerken en stofbalansen van het Grevelingenmeer over de  
periode 1972-1977.  
Nota DDMI-80.16, Deltadienst, 1980.
- lit.8 Oorthuijsen W. en Iedema, C.W.  
Analyse Waterbeheer Grevelingenmeer  
Nota AX 92.036, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, 1992.
- lit.9  
Pieters, J.P.F, Bannink, B.A. en Kamer, J.P.G. v/d  
Een mathematisch model van de chloride- en zuurstofhuishouding van het Greve-  
lingenmeer tijdens de uitwisseling met zeewater.  
Nota DDMI-85.05, Deltadienst, 1985.

- lit.10 Santbergen, L.L.P.A.  
Regionota Zeeuwse Rijkswateren 1993-1996.  
Nota AX 93.031, Rijkswaterstaat directie Zeeland, 1993.
- lit.11 Stronkhorst, J.  
Stratificatie en nutriëntengehalten in het Grevelingenmeer over de periode 1980 - 1988.  
Nota GWWS-89.403, Dienst Getijdewateren, 1989.
- lit.12 Vink, J.S.L. en Vos, C.P. de.  
Waterkwaliteitsveranderingen in het Grevelingenmeer tijdens de verversing van het meer met zeewater via de Brouwerspui in de periode 4/12/78-3/5/79.  
Nota DDMI-80.18, Deltadienst, 1980.
- lit.13 Vink, J.S.L. en Vos, C.P. de.  
Chloride- en zuurstofstratificatie in het Grevelingenmeer in de zomerperiode 3/5/79 - 3/9/79 (Interimnota).  
Nota DDMI-80-19, Deltadienst, 1980.
- lit.14 Wetzel, R.G.  
Limnology.  
W.B. Saunders Company, 1975.
- lit.15 Zwolsman, J.J.G, Berger, G.W. & Van Eck, G.T.M.  
Dissolved and particulate trace metal geochemistry in the Scheldt Estuary, SW Netherlands (watercolumn and sediments).  
Netherlands Journal of Aquatic Ecology (1993) 27, p.287-300.
- lit.16 Zwolsman, J.J.G.  
Seasonal Variability and Biochemistry of Phosphorus in the Scheldt Estuary, South-west Netherlands.  
Estuarine, Coastal and Shelf Science (1994) 39, p.227-248.

## Begrippenlijst

Diatomeeën	:	kiezelwieren (fytoplankton).
Ecologische doelstelling van het middelste niveau	:	doelstelling die geldt voor watersystemen neigend naar een natuurlijke situatie, maar nog niet gelijk daaraan.
Fytoplankton	:	los in het water levende kleine plantjes.
Isopleten	:	denkbeeldige verbindingslijnen tussen punten met een gelijke concentratie.
Isothermen	:	denkbeeldige verbindingslijnen tussen punten met een gelijke temperatuur.
Mesotroof	:	matig voedselrijk.
Nutriënten	:	(planten)voedingsstoffen.
Saliniteit	:	zoutgehalte.
Stikstoflimitatie	:	de groei van onder meer fytoplankton wordt beperkt door een tekort aan stikstof.
Zoöplankton	:	vrij in het water levende microscopisch kleine diertjes of larven van grotere dieren.
RIZA	:	Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling.

## **BIJLAGEN**

<b>BIJLAGE 1</b>	<b>Het stratificatiemodel STRESS</b>
<b>BIJLAGE 2</b>	<b>Maandelijkse inlaatdebieten Brouwerssluis</b>
<b>BIJLAGE 3</b>	<b>Verband dichtheid, chloridegehalte en temperatuur</b>
<b>BIJLAGE 4</b>	<b>Morfologie Grevelingenmeer</b>
<b>BIJLAGE 5</b>	<b>Beschikbare GTSO-meetgegevens</b>
5a	<b>Voorbeeld isopletdiagram tot 1989</b>
5b	<b>Voorbeeld isopletdiagram vanaf 1995 (?)</b>
<b>BIJLAGE 6</b>	<b>Beschikbare meetgegevens uit routinematig waterkwaliteitsprogramma</b>
<b>BIJLAGE 7</b>	<b>Watertemperatuur 1980-1994</b>
<b>BIJLAGE 8</b>	<b>Chloridegehalte 1980-1994</b>
<b>BIJLAGE 9</b>	<b>Schematisch profiel zidgeul met vakindeling</b>
<b>BIJLAGE 10</b>	<b>Ontwikkeling zuurstofloos bodemoppervlak</b>
<b>BIJLAGE 11</b>	<b>Orthofosfaat 1980-1994</b>
<b>BIJLAGE 12</b>	<b>Nitriet + nitraat 1980-1994</b>
<b>BIJLAGE 13</b>	<b>Ammonium 1980-1994</b>
<b>BIJLAGE 14</b>	<b>Silicaat 1980-1994</b>

## BIJLAGE 1

### Het Stratificatiemodel STRESS

Met het stratificatiemodel stress kan de stratificatie ten gevolge van temperatuurverschillen en verschillen in concentratie aan opgeloste stoffen worden beschreven. SRTRESS staat voor STRatificatie in REservoirS. Onder reservoirs worden natuurlijke of kunstmatige meren verstaan. Peilvariatiës, belastingen, onttrekkingen, alsmede neerslag, verdamping en andere meteorologische informatie worden door het model verdisconteerd. Met het model STRESS kan voor verschillende vormen van sluisbeheer in het Grevelingenmeer het verwachte chloridegehalte en de optredende stratificatie beschreven worden. Simulaties met het model zijn bepaald met met polderwater- en meteorologische gegevens van een normaal jaar (1981) en een jaar met een warm en nat voorjaar.

De effectiviteit van menging van de bovenlaag blijkt bij de berekeningen bij uitwisselen of doorspoelen even groot.

Tabel A geeft in een vereenvoudigde vorm de resultaten van de STRESS berekeningen voor de verschillende beheersalternatieven.

De beheersalternatieven:

- Huidig uitw: uitwisselen van 1 oktober tot 1 maart;
- Minimaal uitw: uitwisselen in januari en februari of in januari, februari en maart;
- Maximaal uitw: jaarrond uitwisselen.

Bij het alternatief van minimaal uitwisselen is de kans op uitbreiding van het zuurstofloze oppervlak groter dan bij het huidige beheer. De omvang van het risico is moeilijk te bepalen. Bij de uitwisseling volgens het huidige beheer blijft de spronglaag dieper dan 15 meter. Ten aanzien van de ligging van de spronglaag neemt bij maximaal uitwisselen de kans op problemen ten gevolge van stratificatie iets toe in vergelijking met het huidige beheer.

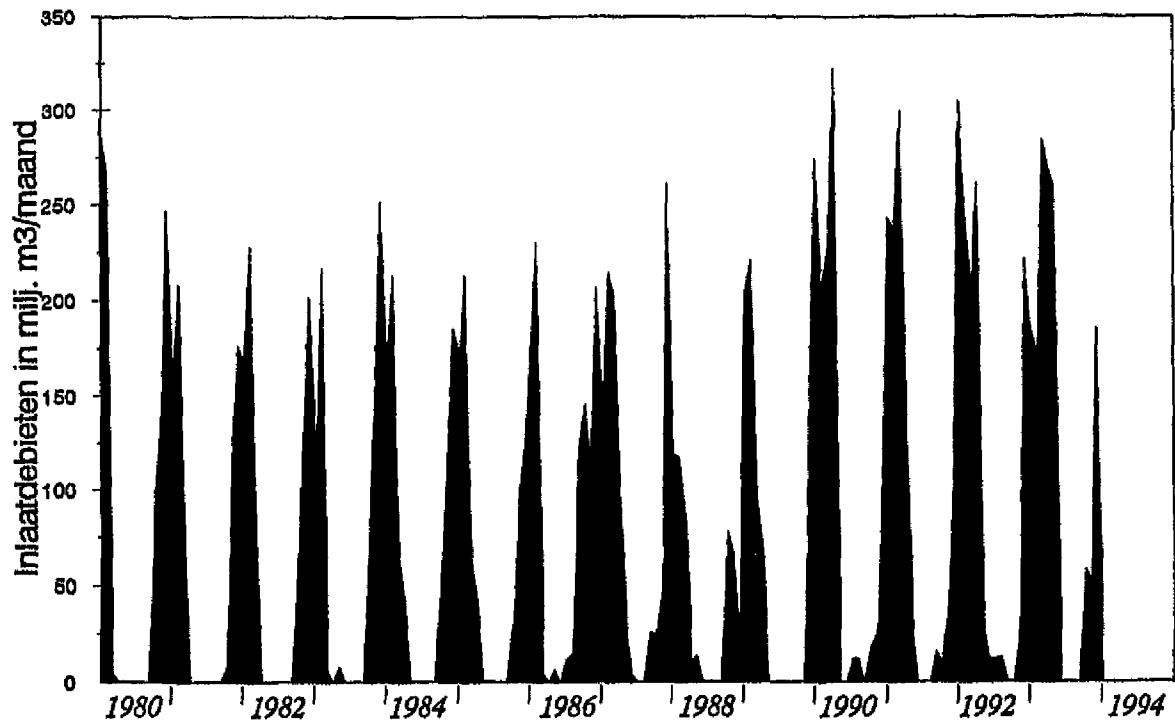
Tabel A. Effecten van verschillende alternatieven op het chloridegehalte en de spronglaagdiepte volgens STRESS-simulaties (naar lit. 14).

beheersalternatieven	chloridegehalte	diepte spronglaag (m)
huidig uitw	>15.5	16-18
minimaal uitw	14.5-15.5	13-18
maximaal uitw	>15.5	14-18



## BIJLAGE 2

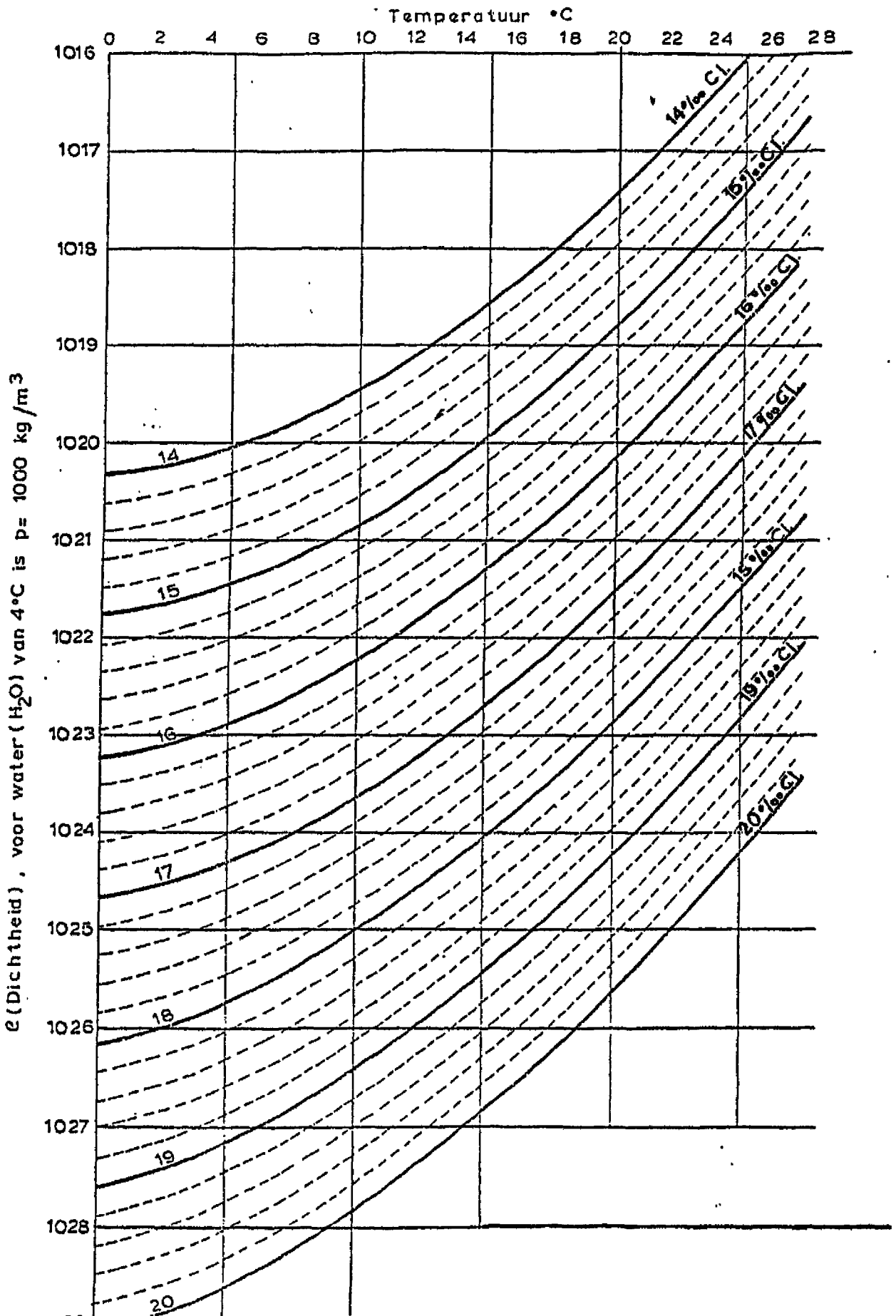
### Maandelijkse Inlaatdebieten Brouwerssluis periode 1980-1994

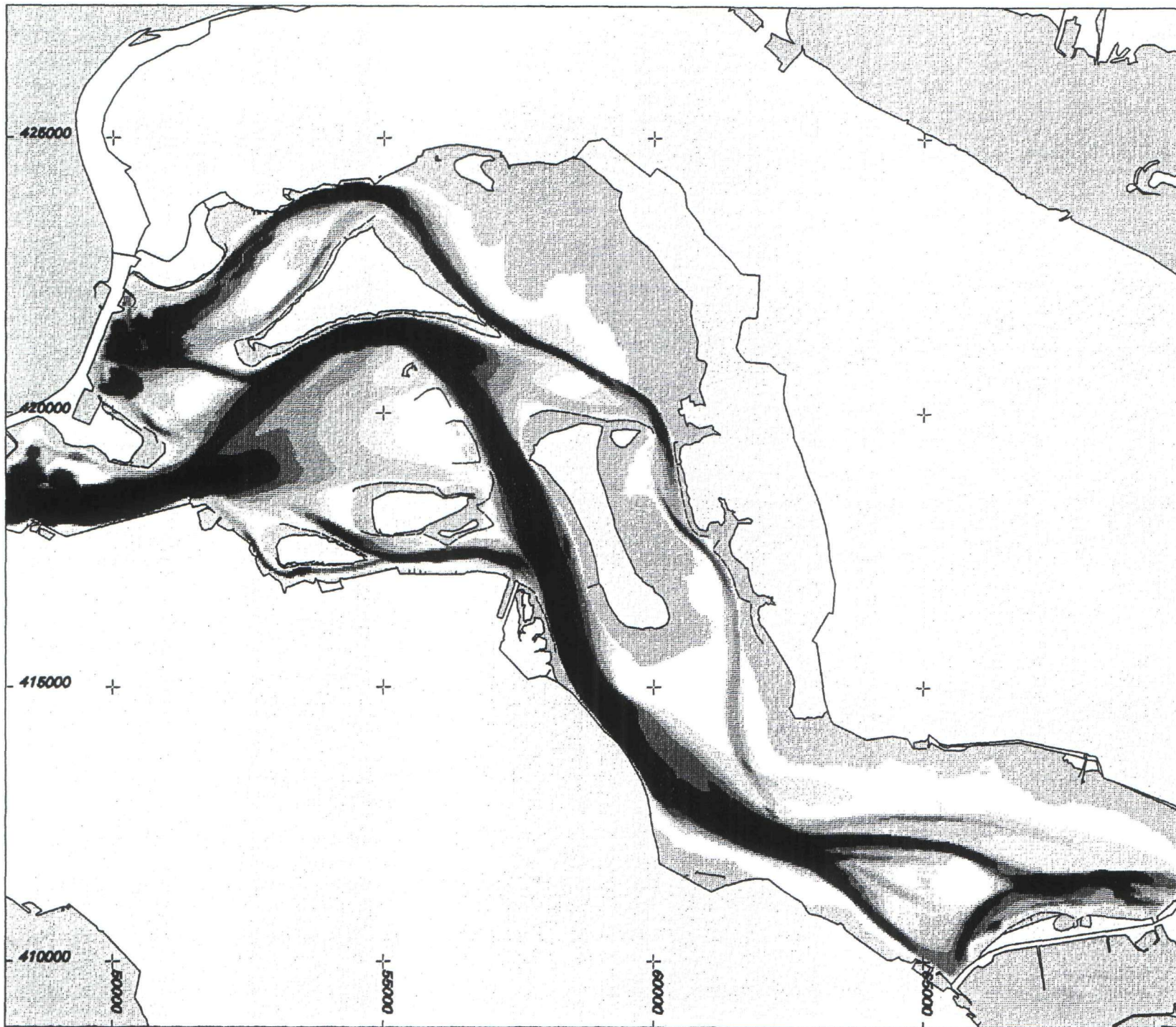


De gegevens van 1994 zijn nog niet beschikbaar

# BIJLAGE 3

Het verband tussen de dichtheid van het water, chloridegehalte en temperatuur





# Grevelingen

1991

## Legenda

diepte tov NAP(m)

	-0.5 t/m -1
	-1 t/m -2
	-2 t/m -3
	-3 t/m -5
	-5 t/m -7.5
	-7.5 t/m -10
	-10 t/m -15
	-15 t/m -20
	-20 t/m -30
	-30 t/m -40
	-40 t/m -47.6

Schaal: 1:100.000



Rijkswaterstaat  
Rijkswaterstaat

Arc-Info applicatie PlotGIS

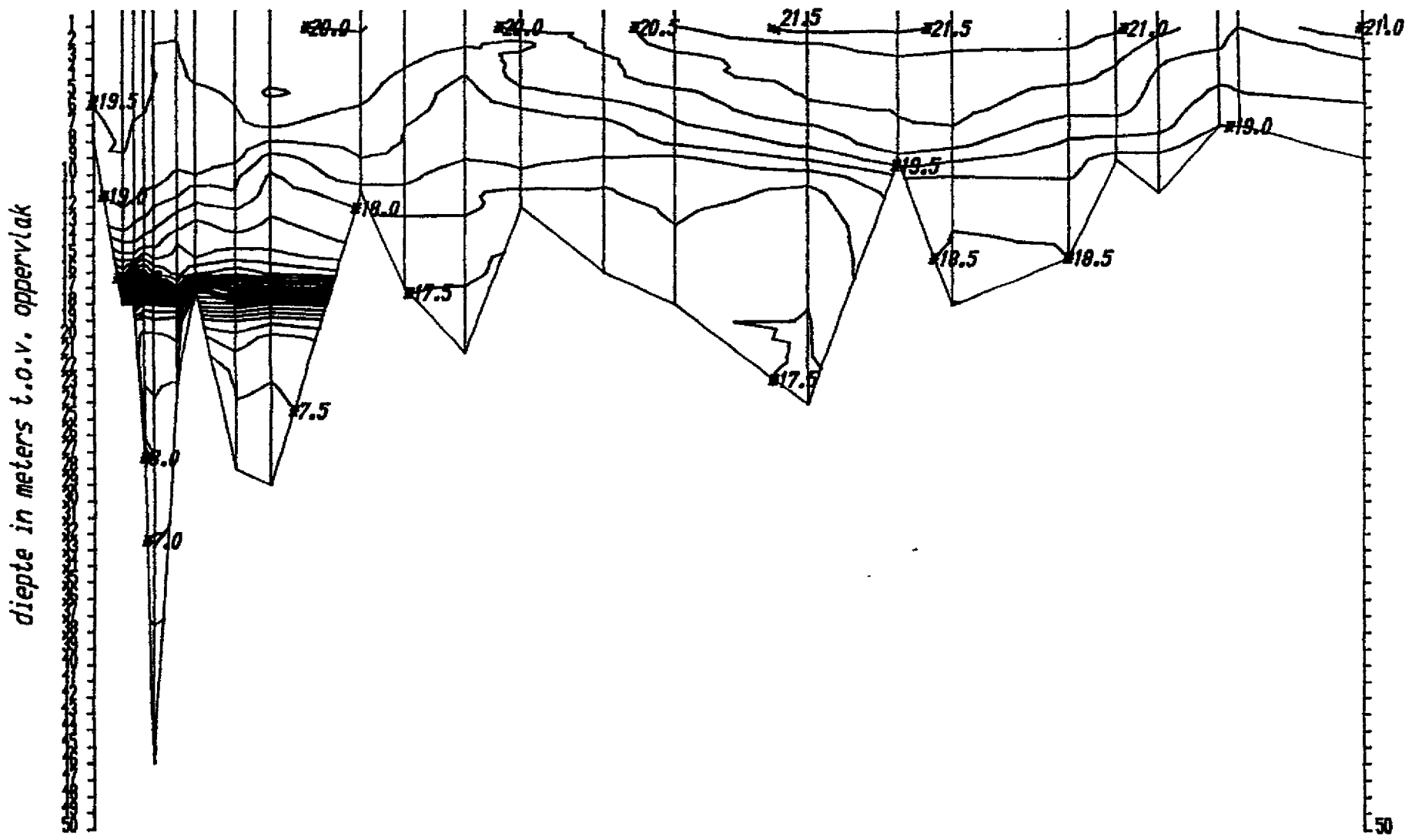
Tabel. Dagen waarvan GTSO-meetgegevens beschikbaar zijn in de periode 1990-1994.

jaar maand	1990	1991	1992	1993	1994
jan.		9	14		17
feb.				8	
maart		7	10		15
april		4	22	26	12
mei	31	7,22	11,18	25	
juni	27	4,18	15,25	21	
juli		2	8,20,28		4
aug.		19	26		8,15,22,29
sept.		2,25	2	6	
okt.	12	24	5		
nov.	16			9	
dec.	13	17	1		

Tabel. Dagen waarvan GTSO-meegegevens beschikbaar zijn in de periode 1980-1989.

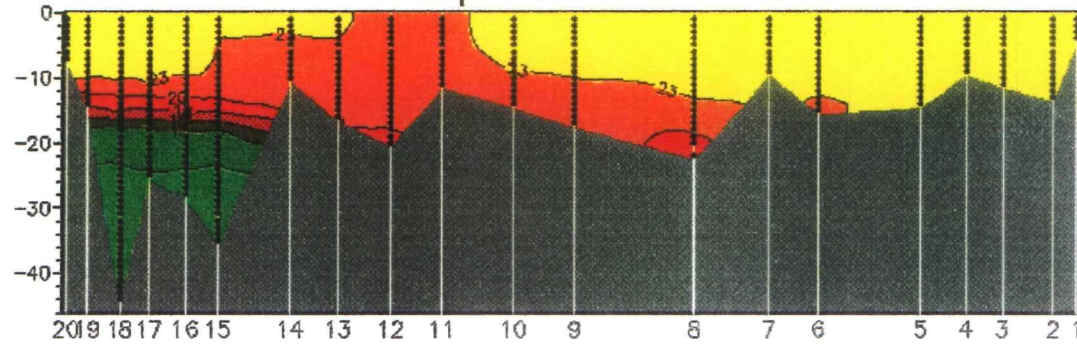
jaar maand	1980	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
jan.	3		4,10,24	4,17,30			12	11
feb.	21		8,28	9			18	8
maart			28	6,21	13,22		9	7
april	2		12,25	4,25	22	7		5
mei	14		9,25		8,20		6,25	4
juni	4,26		7,27	6,21,27		2	18,29	6
juli	24		11,26	19		17	13	
aug.	21		8,15,30	27			17	
sept.		15,28	19	11		4	15	
okt.	2,9	11,19,26	3,13,17,25	4,23		13		
nov.		15,29	30	12			16	
dec.		13,23	7	3,19		9	11	

Van 1981 en 1989 zijn geen gegevens in de database beschikbaar. De meetresultaten kunnen deels wel afgelezen worden uit bestaande 'GTSO-figuren', die tot 1989 zijn gemaakt (z.o.z.).

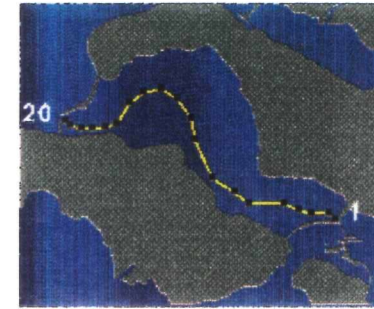
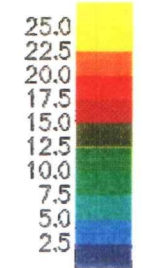




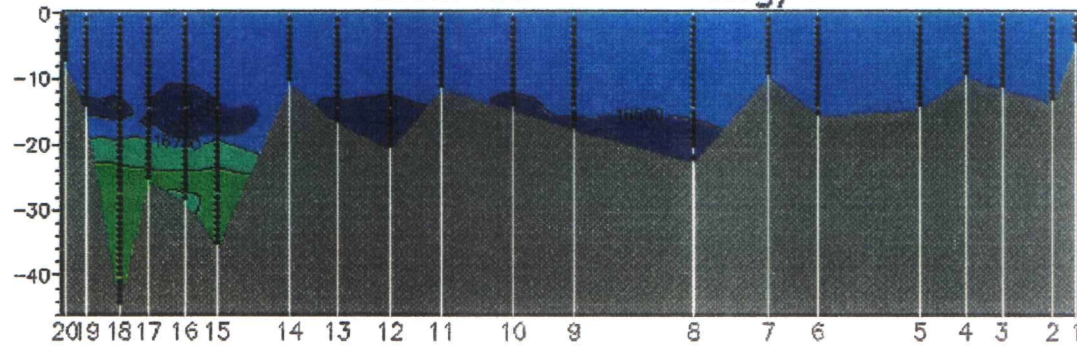
### Temperatuur Gr.C



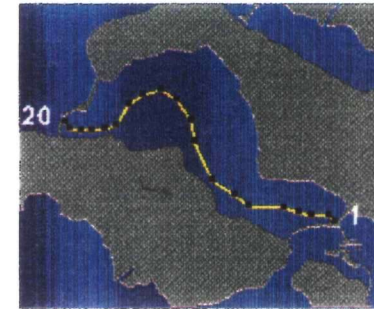
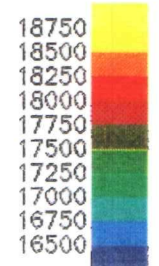
940808



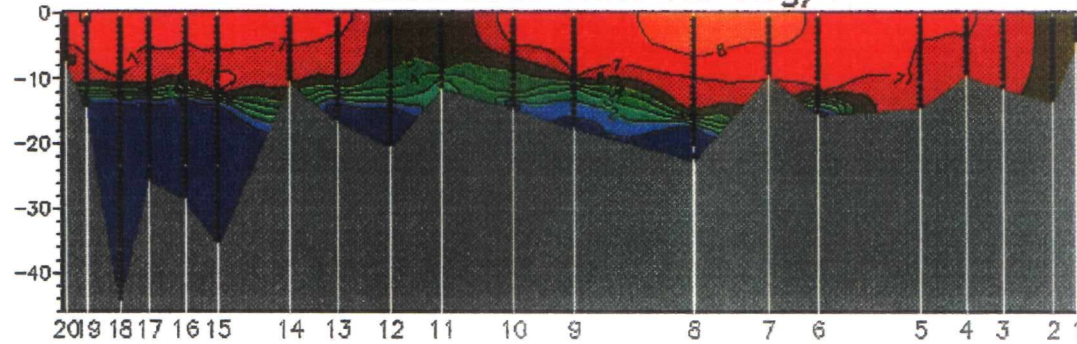
### Chloride mg/l



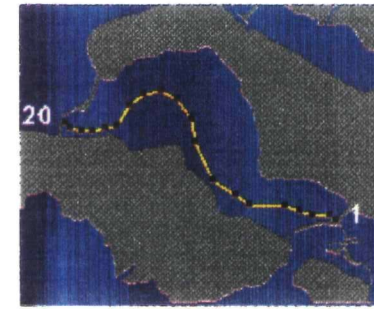
940808



### Zuurstof nsw nc mg/l



940808



BIJLAGE 6

In deze bijlage is voor de belangrijkste nutriënten de meetfrequentie per jaar aangegeven over de periode 1980-1994.

De drie bemonsterde punten zijn (zie figuur 1):

- GM20 (Bruinisse, ± 15 m. diep);
- GM40 (Dreischor, ± 28 m. diep);
- GM80 (Scharendijke, ± 47 m. diep).

De getallen geven het aantal metingen per jaar aan voor de verschillende bemonsteringsdiepten:

- aan het wateroppervlak (O);
- op halve diepte (H);
- één meter boven de bodem (B).

Gezien de geringe diepte van GM20, zijn op dit bemonsteringspunt geen metingen op halve diepte verricht. Wanneer een meting in een bepaald jaar niet in het meetprogramma was opgenomen, is dit aangegeven met een [-]. Bij een meetfrequentie van tien of hoger, zijn de metingen gelijkmatig over het jaar verdeeld.

In verband met de verwachte samenhang tussen nutriëntenconcentraties en het chlorofyl-a-gehalte, is ook een tabel met de beschikbaarheid van chlorofyl-a-meetgegevens opgenomen.

Tabel A. Stikstof in de vorm van nitriet (NO<sub>2</sub>-N).

meetpunt diepte jaar	GM20		GM40			GM80		
	O	B	O	H	B	O	H	B
1980	13	13	13	-	-	13	13	13
1981	13	13	13	-	-	13	13	13
1982	14	14	14	14	14	14	14	14
1983	13	13	13	13	13	13	13	13
1984	13	12	13	10	10	13	13	13
1985	4	2	4	2	2	4	3	3
1986	4	-	4	-	-	4	-	-
1987	10	-	10	-	-	10	-	-
1988	12	-	12	-	-	12	-	-
1989	13	-	13	-	-	12	-	-
1990	13	-	13	-	-	13	-	-
1991	13	-	13	-	-	13	-	-
1992	13	-	13	-	-	13	12	12
1993	13	-	13	-	-	13	10	10
1994	12	-	17	8	8	13	13	13



BIJLAGE 6

Tabel B. Stikstof in de vorm van nitraat (NO<sub>3</sub>-N).

meetpunt	GM20		GM40			GM80		
	O	B	O	H	B	O	H	B
1980	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	12	-	12	-	-	12	-	-
1989	13	-	13	-	-	13	-	-
1990	13	-	13	-	-	13	-	-
1991	13	-	18	2	2	13	-	-
1992	13	-	19	-	-	13	12	12
1993	13	-	19	-	-	13	10	10
1994	12	-	17	8	8	13	13	13

Tabel C. Stikstof in de vorm van nitraat + nitriet (NO<sub>3</sub>NO<sub>2</sub>-N).

meetpunt	GM20		GM40			GM80		
	O	B	O	H	B	O	H	B
1980	13	13	-	-	-	13	13	13
1981	13	13	-	-	-	13	13	13
1982	14	14	14	13	14	14	14	14
1983	14	14	15	13	15	14	14	14
1984	12	12	11	14	10	13	13	13
1985	4	3	3	14	2	4	3	3
1986	11	-	11	13	-	11	-	-
1987	14	-	14	3	-	14	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	13	-	18	-	2	13	-	-
1992	13	-	19	12	-	12	12	12
1993	13	-	19	10	-	13	10	10
1994	12	-	17	8	8	13	13	13

BIJLAGE 6

Tabel D. Stikstof in de vorm van ammonium (NH<sub>4</sub>).

meetpunt diepte jaar	GM20		GM40			GM80		
	O	B	O	H	B	O	H	B
1980	13	13	13	-	-	13	13	13
1981	13	13	13	-	-	13	13	13
1982	14	14	14	14	14	14	14	14
1983	14	14	14	14	15	14	14	14
1984	12	12	10	9	10	12	12	12
1985	4	3	4	2	2	4	3	3
1986	11	-	11	-	-	11	-	-
1987	14	-	14	-	-	14	-	-
1988	12	-	12	-	-	13	-	-
1989	13	-	12	-	-	13	-	-
1990	13	-	13	-	-	13	-	-
1991	13	-	16	-	-	13	-	-
1992	13	-	19	-	-	13	-	12
1993	13	-	19	-	-	13	-	12
1994	12	-	17	8	8	13	13	13

Tabel E. Fosfor in de vorm van ortho-fosfaat (PO<sub>4</sub>-P).

meetpunt diepte jaar	GM20		GM40			GM80		
	O	B	O	H	B	O	H	B
1980	13	13	-	-	-	13	13	13
1981	13	13	-	-	-	13	13	13
1982	14	13	14	14	14	14	14	14
1983	14	14	15	14	15	14	14	14
1984	12	14	10	10	10	13	13	13
1985	4	13	3	2	2	4	3	3
1986	11	3	11	-	-	11	-	-
1987	14	-	14	-	-	14	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	13	-	2	2	2	13	-	-
1992	13	-	-	-	-	13	12	12
1993	13	-	-	-	-	13	10	10
1994	12	-	17	8	8	13	13	13

BIJLAGE 6

Tabel F. Totaal fosfor (P).

meetpunt	GM20		GM40			GM80		
	O	B	O	H	B	O	H	B
1980	13	13	-	-	-	12	-	12
1981	11	11	-	-	-	11	-	11
1982	13	13	14	-	14	14	-	14
1983	14	14	15	-	15	14	-	14
1984	12	12	10	-	10	13	-	12
1985	10	3	10	-	2	7	-	3
1986	6	-	9	-	-	6	-	-
1987	7	-	14	-	-	7	-	-
1988	12	-	12	-	-	12	-	-
1989	13	-	12	-	-	12	-	-
1990	13	-	13	-	-	13	-	-
1991	13	-	13	-	2	13	-	-
1992	13	-	13	-	-	13	12	12
1993	13	-	13	-	-	13	10	10
1994	12	-	17	8	8	13	13	13

Tabel G. Silicium in de vorm van silicaat (SILI).

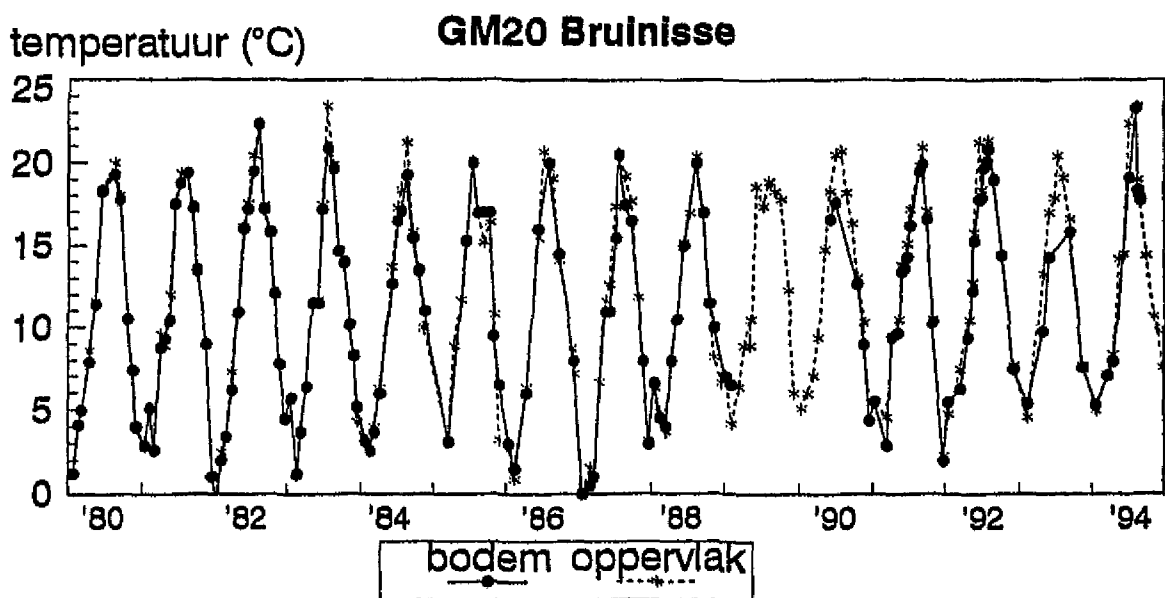
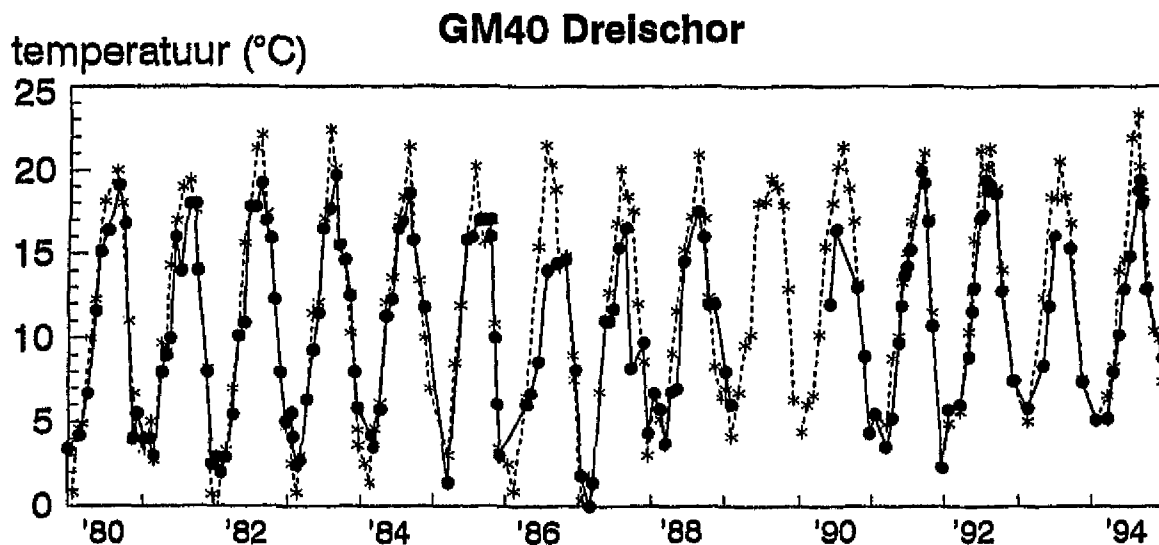
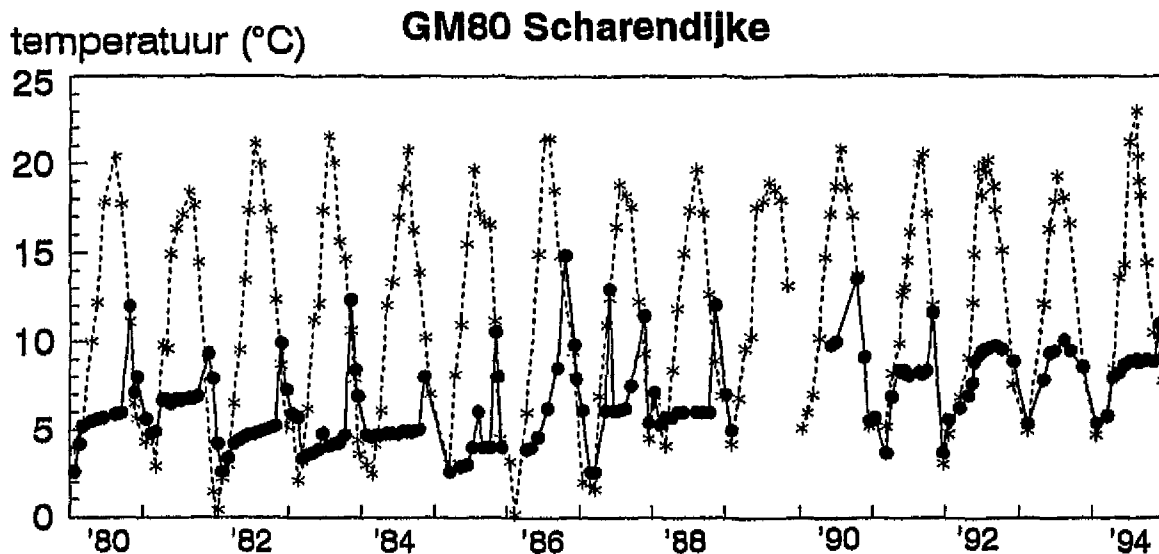
meetpunt	GM20		GM40			GM80		
	O	B	O	H	B	O	H	B
1980	13	13	-	-	-	13	13	13
1981	13	13	-	-	-	13	13	13
1982	14	14	14	14	14	14	14	14
1983	14	14	15	15	15	15	14	14
1984	12	12	12	10	10	13	13	13
1985	4	3	3	2	2	3	3	3
1986	10	-	10	-	-	10	-	-
1987	14	-	14	-	-	14	-	-
1988	12	-	12	-	-	12	-	-
1989	13	-	12	-	-	12	-	-
1990	13	-	13	-	-	13	-	-
1991	13	-	17	2	2	13	-	-
1992	13	-	19	-	-	13	12	12
1993	13	-	19	-	-	13	10	10
1994	12	-	17	8	8	13	13	13

BIJLAGE 6

Tabel H. Chlorofyl a.

meetpunt diepte jaar	GM20		GM40			GM80		
	O	B	O	H	B	O	H	B
1980	1	13	-	-	-	13	-	13
1981	13	13	-	-	-	13	-	13
1982	14	14	14	-	14	14	-	14
1983	14	14	14	-	14	14	-	14
1984	13	12	10	-	10	13	-	13
1985	4	3	3	-	2	4	-	2
1986	7	-	12	-	-	9	-	-
1987	6	-	12	-	-	7	-	-
1988	12	-	12	-	-	12	-	-
1989	12	-	12	-	-	12	-	-
1990	13	-	13	-	-	13	-	-
1991	13	-	19	3	4	13	-	-
1992	13	-	19	-	-	13	11	11
1993	12	-	18	-	-	13	9	9
1994	12	-	17	8	8	13	13	13

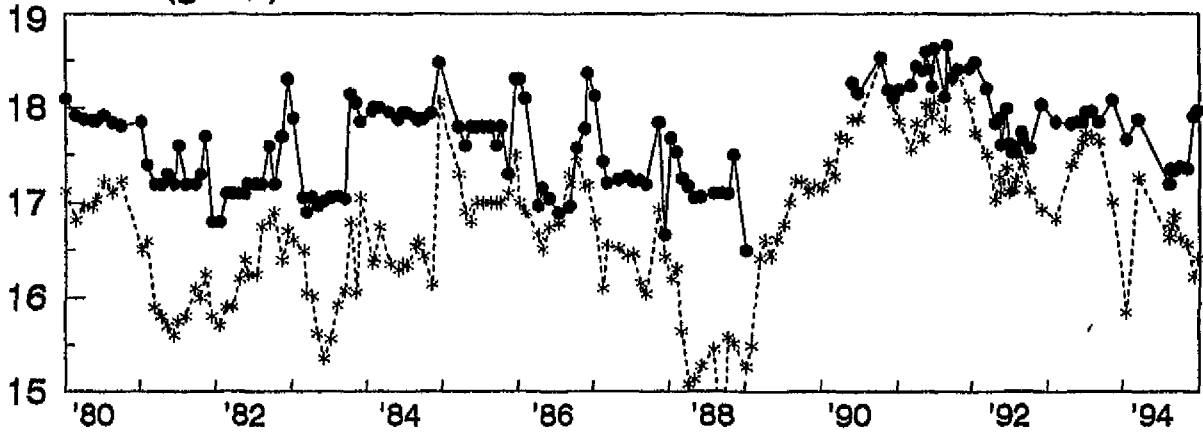
# Watertemperatuur 1980-1994



# Chloridegehalte 1980-1994

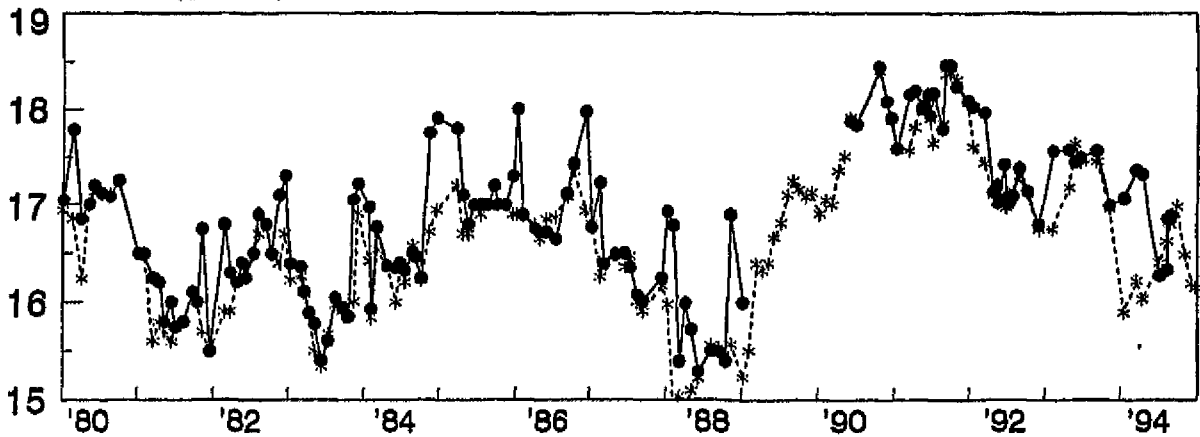
## GM80 Scharendijke

chloride (g Cl/l)



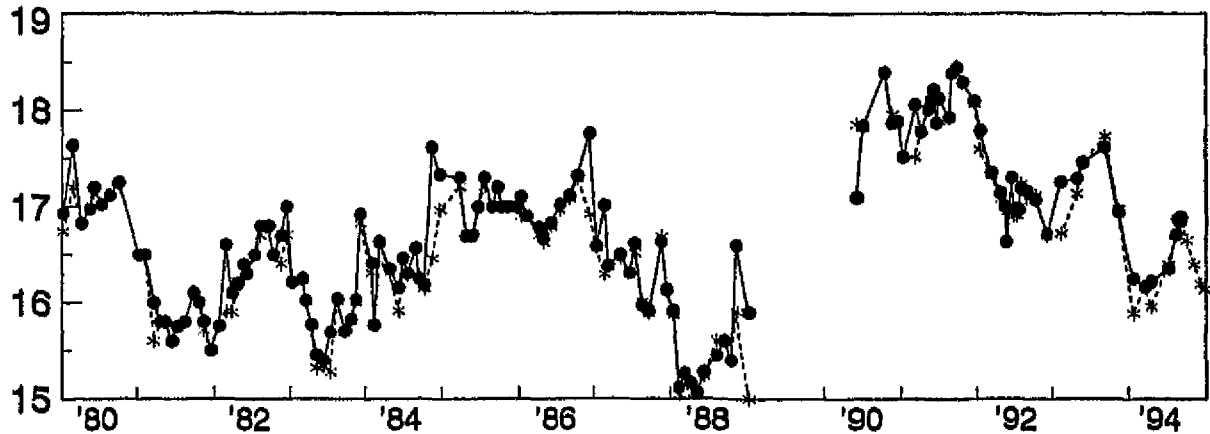
## GM40 Drelschor

chloride (g Cl/l)



## GM20 Bruinisse

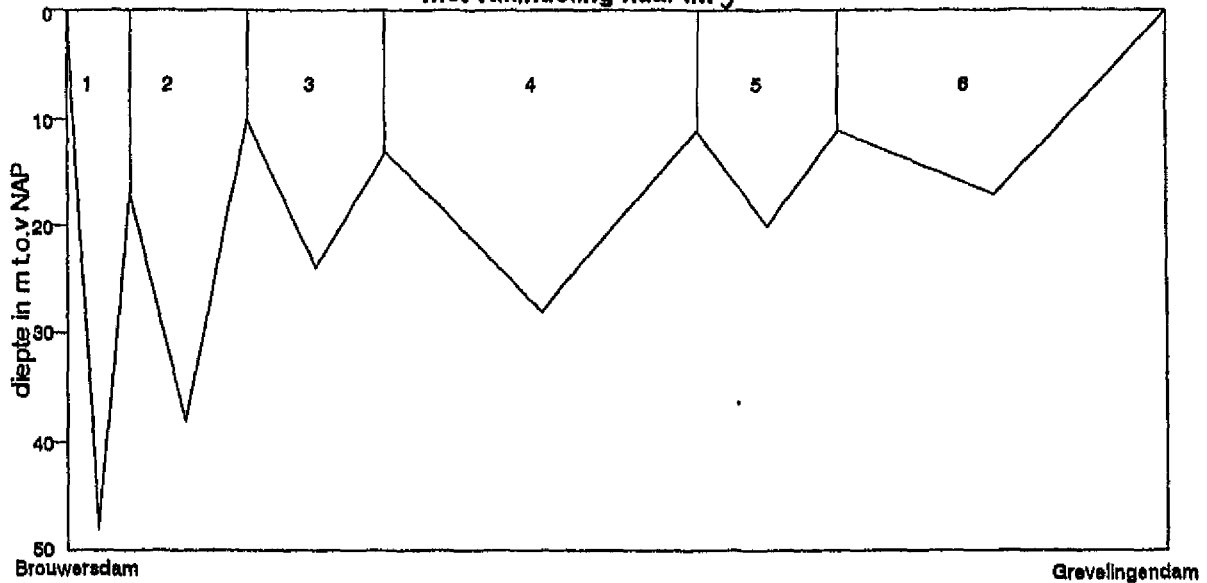
chloride (g Cl/l)



bodem oppervlak

BIJLAGE 9

Schematisch profiel zuidgeul  
met vakindeling naar lit. 9



De bovenstaande figuur geeft het profiel weer van de geulen met maximale diepten van de vakken en hun drempelhoogten. Van elk vak is een relatie opgesteld om het horizontale oppervlak op een bepaalde diepte bij benadering te berekenen. De vorm van de veronderstelde relaties is als volgt:

$$A = a * c * (b-z)^{c-1}$$

A: oppervlak m<sup>2</sup>  
z: diepte in m

Van elk vak zijn de coëfficiënten a, b en c af te lezen in de onderstaande tabel.

vak	coëfficiënten		
	a	b	c
1	3.48	49.8	4.20
2	24.6	40.4	4.00
3	907.0	24.5	3.50
4	3070.0	28.2	3.20
5	1840.0	24.5	3.20
6	916.0	19.4	3.80

Voorbeeld:

Wanneer over het hele meer vanaf 25 meter diepte zuurstofloosheid optreedt (fictief voorbeeld) wordt het onderliggende zuurstofloze bodemoppervlak als volgt berekend:

Zuurstofloosheid in vak 1, 2 en 4 (deze zijn dieper dan 25 meter).

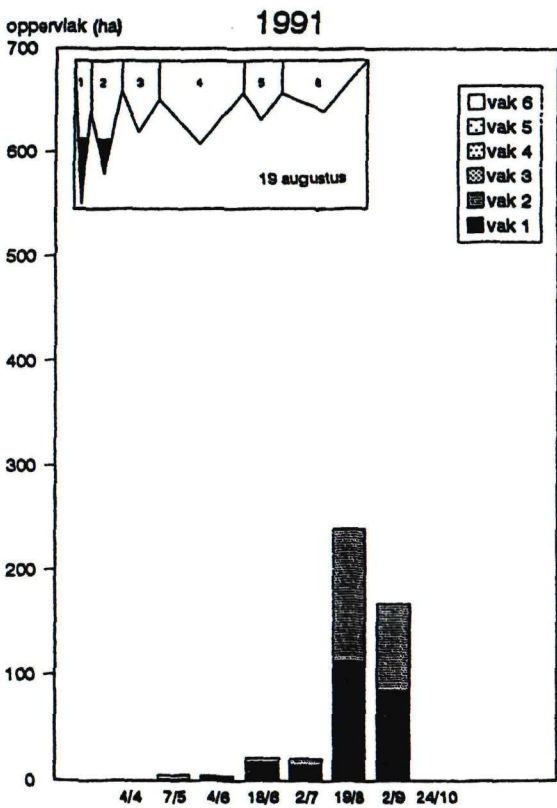
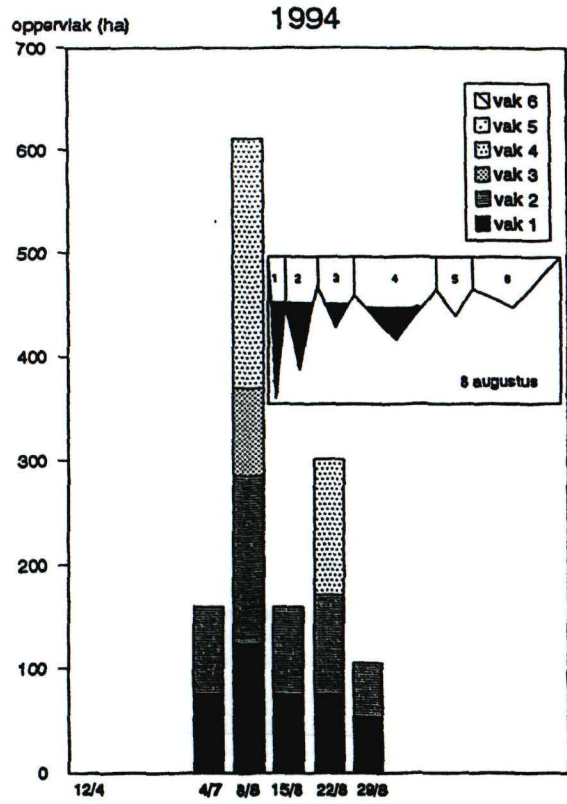
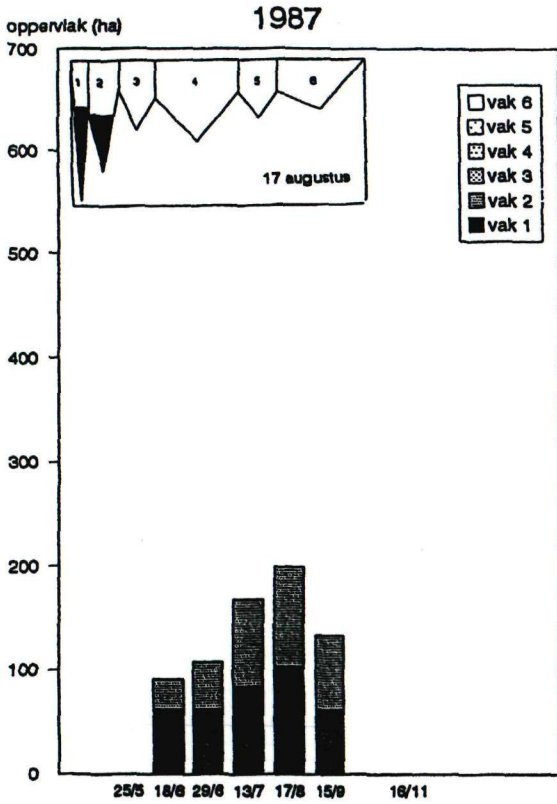
$$A_{tot} = A_{vak1} + A_{vak2} + A_{vak4}$$

$$\rightarrow A_{tot} = 3.48 * 4.20 * (49.8 - 25)^{3.2} + 24.6 * 4.00 * (40.4 - 25)^3 + 3070 * 3.20 * (28.2 - 25)^{2.2} = 587213 \text{ m}^2$$

$$\frac{\text{zuurstofloos oppervlak}}{\text{totaal oppervlak}} * 100\% = \frac{587213 \text{ m}^2}{10800 \text{ ha}} \approx 0.5 \%$$

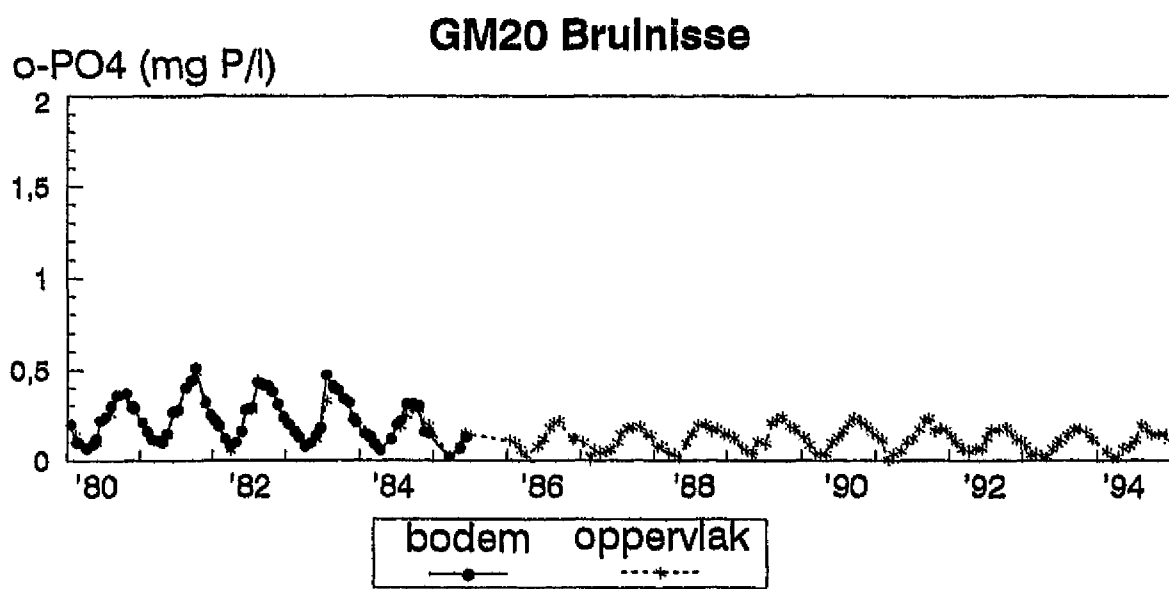
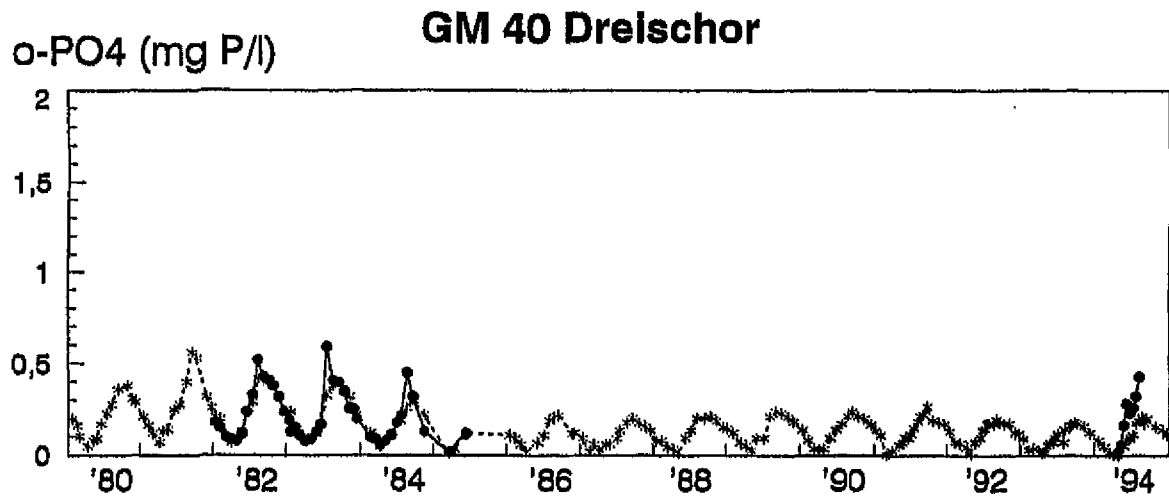
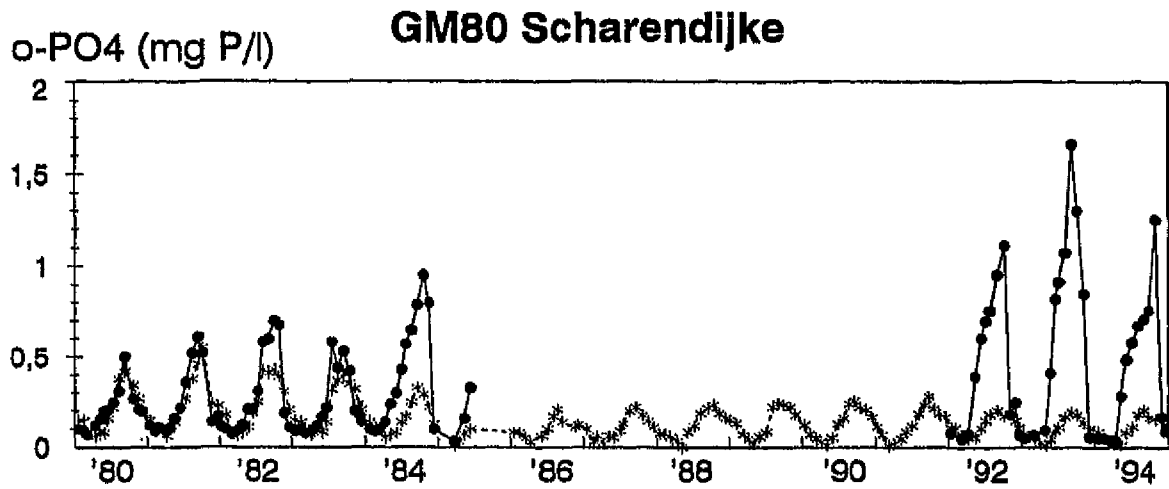
De grootte van het bodemoppervlak is bij benadering gelijk aan de grootte van het wateroppervlak: bij de gegeven lengte van het meer (± 23 km) veroorzaken de "diepe putten" van maximaal 47 meter geen noemenswaardige bodemoppervlaktevergroting ten opzichte van het wateroppervlak.

## BIJLAGE 10 Ontwikkeling zuurstofloos bodemoppervlak





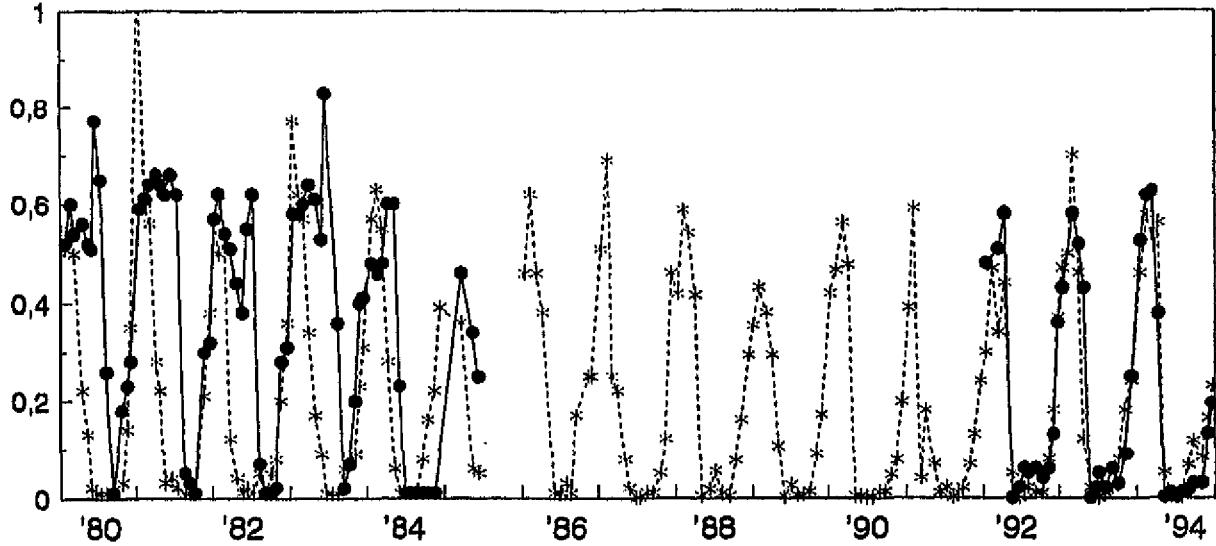
# Orthofosfaat 1980-1994



BIJLAGE 12  
Nitriet + nitraat 1980-1994

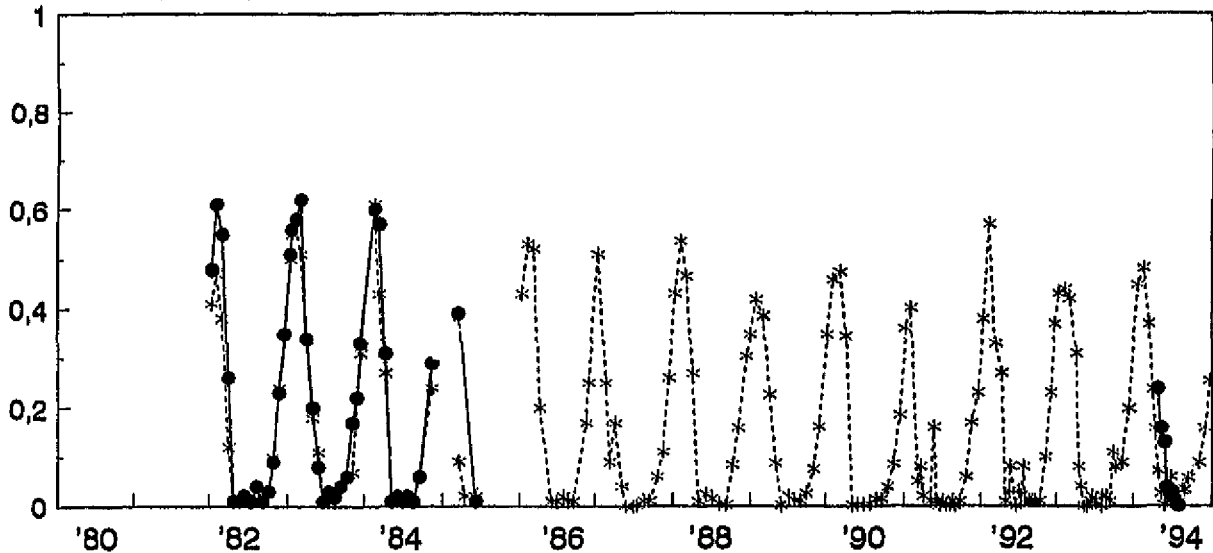
NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> (mg N/l)

GM80 Scharendijke



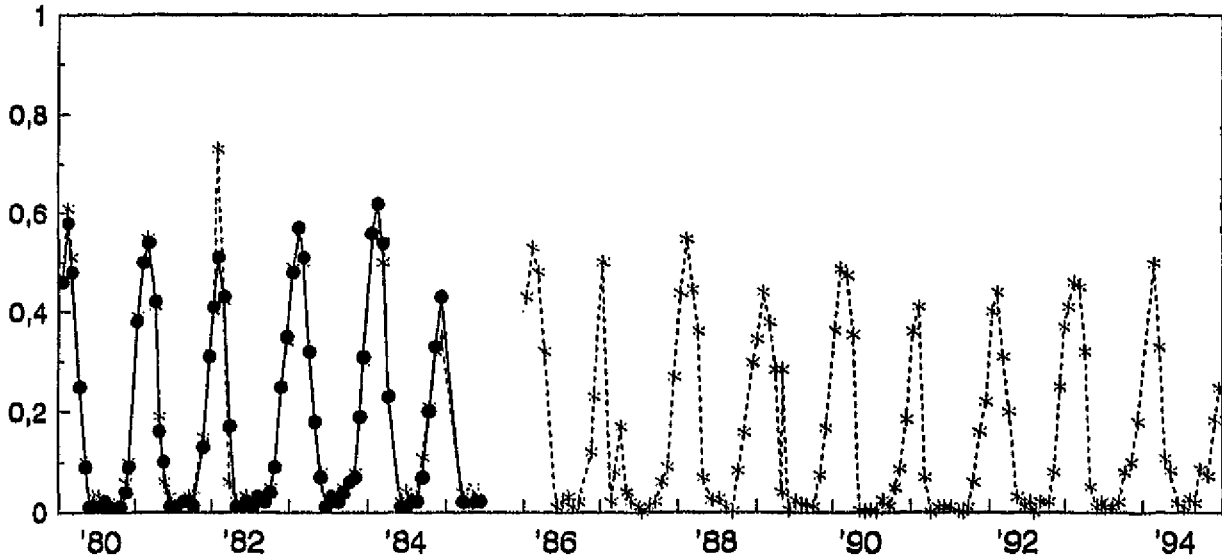
NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> (mg N/l)

GM40 Drelschor



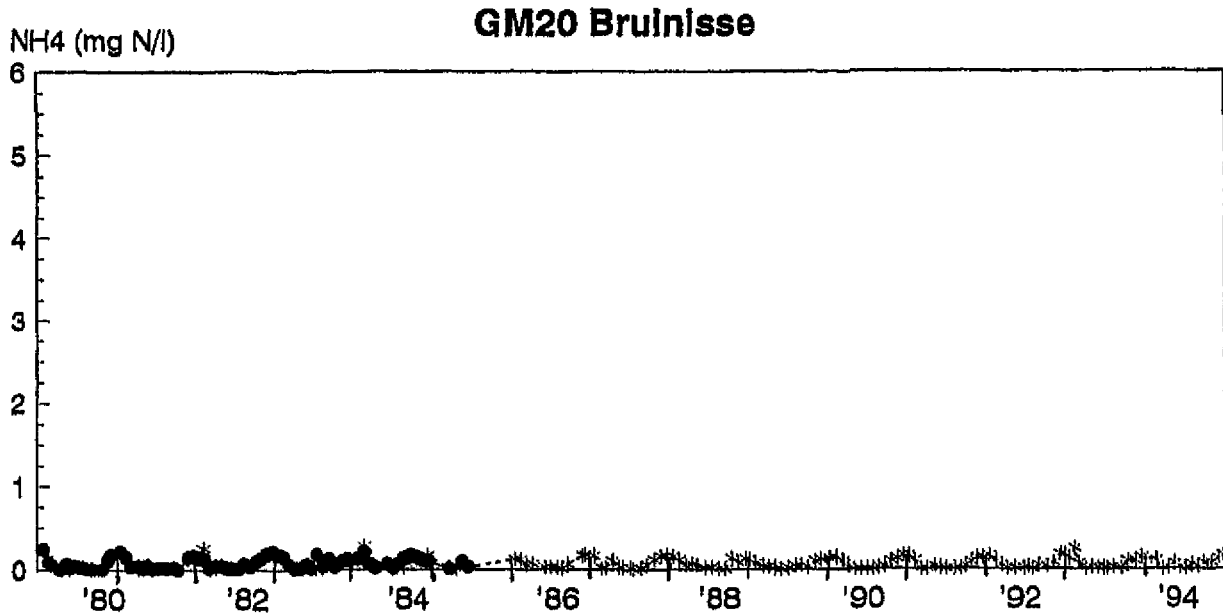
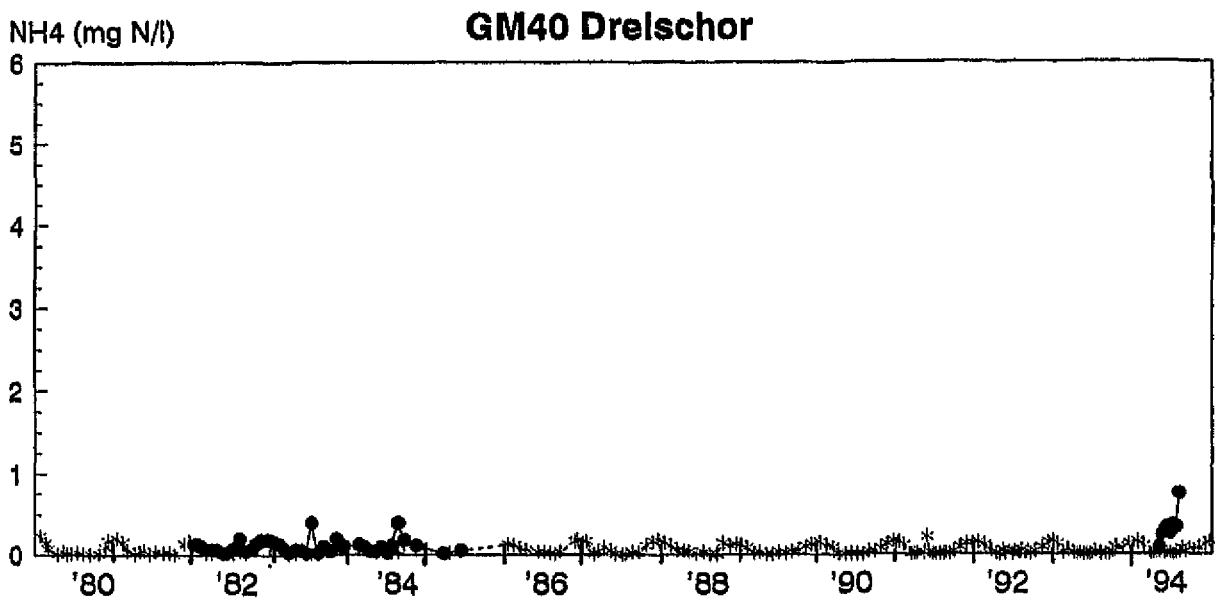
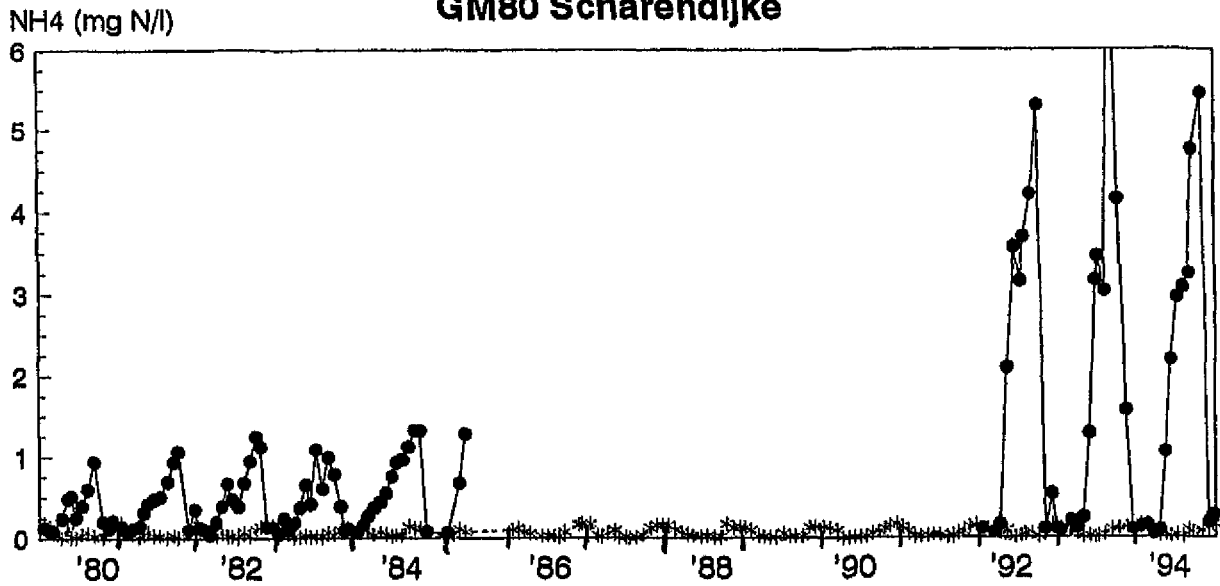
NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub> (mg N/l)

GM20 Bruinisse



bodem      oppervlak  
—●—      -\*-

BIJLAGE 13  
Ammonium 1980-1994  
GM80 Scharendijke

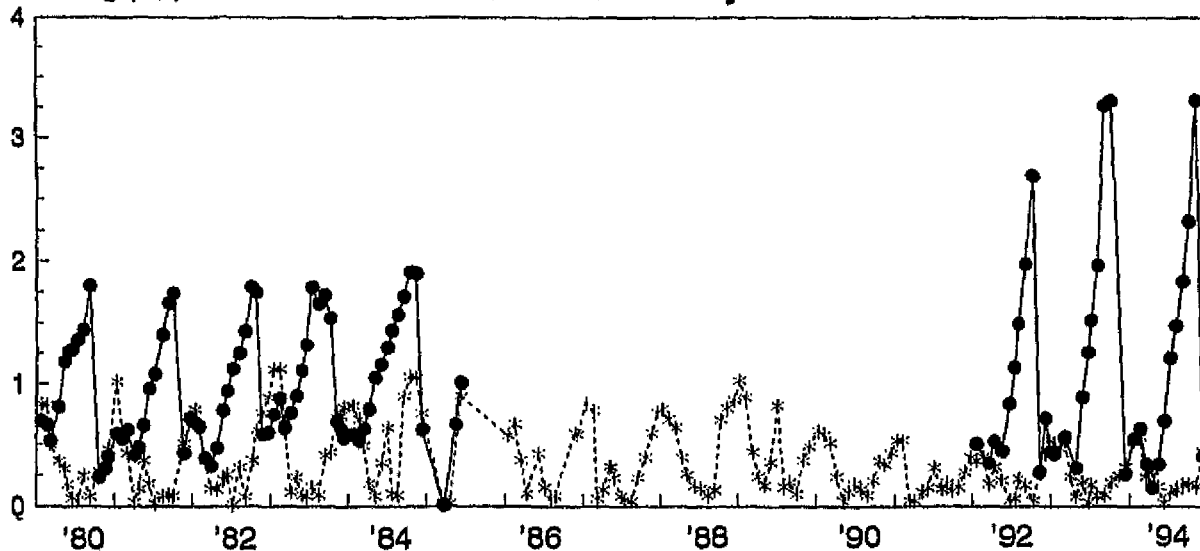


bodem      oppervlak

BIJLAGE 14  
Silicaat 1980-1994

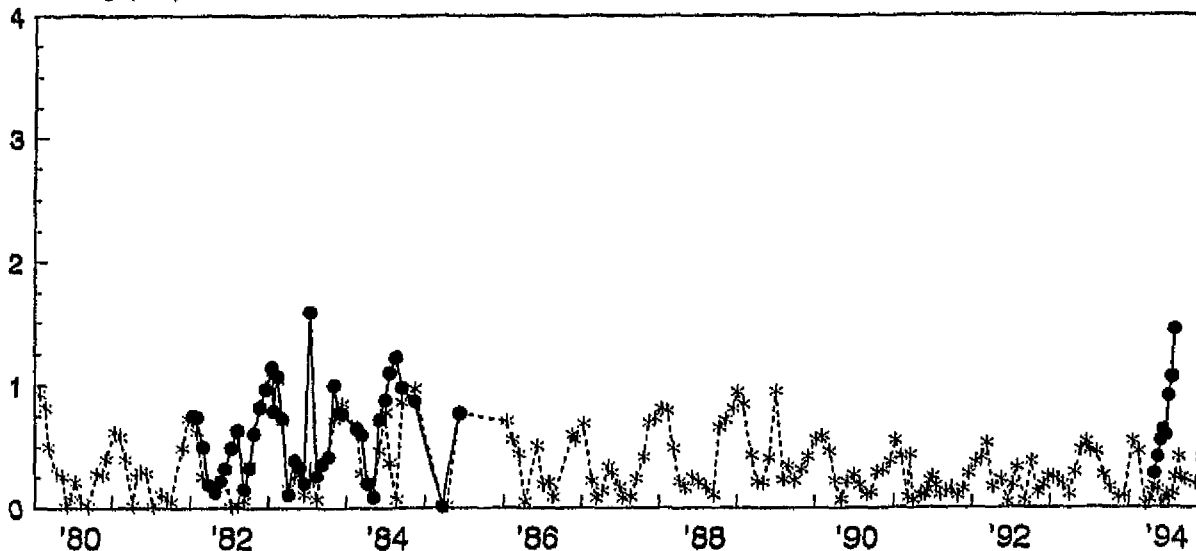
SiO<sub>2</sub> mg (Si/l)

GM80 Scharendijke



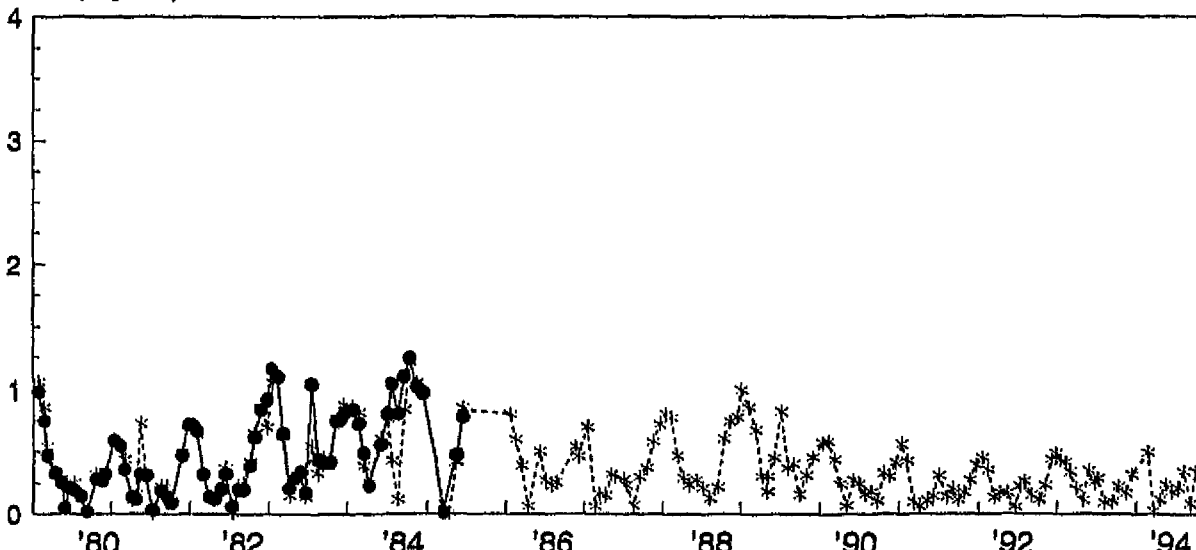
SiO<sub>2</sub> mg (Si/l)

GM40 Drelschor



SiO<sub>2</sub> (mg Si/l)

GM20 Bruinisse



bodem      oppervlak



## Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Aan  
geadresseerde

Contactpersoon

A.M.B. Holland

Datum

28 juni 1995

Ons kenmerk

RIKZ/AB-95.60089

Project

DELHOC

Onderwerp

Stratificatie in het Grevelingenmeer.

Doorkiesnummer

01180 72235

Bijlage(n)

1

Uw kenmerk

Als afstudeerstage van de opleiding Aquatische Ecotechnologie van de Hogeschool Zeeland heeft studente R. Koole de stratificatie-verschijnselen in het Grevelingenmeer onderzocht en de gevolgen daarvan voor de zuurstof- en nutriëntenhuishouding over de periode 1980-1994.

Het bijgesloten werkdocument is het afstudeerverslag van het onderzoek dat is uitgevoerd bij Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, ten behoeve van de Directie Zeeland van Rijkswaterstaat. De resultaten dragen bij aan het door het RIKZ te maken evaluatierapport van het Grevelingenmeer.

In het rapport worden verklaringen gegeven voor de ontwikkelingen in concentratieverloop van chloride, temperatuur en nutriënten. Die ontwikkelingen zijn beschreven op basis van de beschikbare informatie uit waterkwaliteitsmetingen, deels ondergebracht in het routinematig opgezette milieumeetnet Rijkswateren en deels in uitvoering door de Meetdienst Zeeland voor Directie Zeeland van Rijkswaterstaat.

Getracht is gegevens van sluisbeheer, waterkwaliteit en meteorologie te relateren aan de fysisch/chemische effecten van stratificatie in het Grevelingenmeer. Die effecten betreffen zuurstofuitputting in het water boven de bodem, onder de spronglaag. De omvang van die effecten wordt uitgedrukt in het zuurstofarme of zuurstofloze bodemoppervlak.

Hoewel zeer veel combinaties van oorzaak en gevolg zijn onderzocht, is er geen relatie gevonden waarmee het maximale zuurstofarme of zuurstofloze bodemoppervlak kan worden verklaard. Over de jaren is er ook geen algemene tendens waar te nemen in de effecten van stratificatie.

De hoge nutriëntenconcentraties die voorkomen onder de spronglaag in de diepe putten van Den Osse zijn hoogstwaarschijnlijk het gevolg van de afbraak van particulier organisch materiaal dat uit zee wordt aange-

Vestiging Middelburg  
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg  
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 01180-72200  
Telefax 01180-16500



voerd via de Brouwerssluis.

Het rapport besluit met aanbevelingen voor beheer, monitoring en onderzoek.

Het gebruik of aanhaling van de gegevens uit dit verslag is slechts toegestaan met toestemming van de begeleider bij RIKZ, dhr. A.M.B. Holland van de afdeling ABD, of van de opdrachtgever, mw. drs. N.K. Houtekamer van de afdeling AXW van Directie Zeeland. Met vragen over dit verslag kunt u uiteraard ook bij hen terecht.

Hoogachtend,  
de Hoofdingenieur-directeur,  
namens deze,  
het hoofd van de afdeling Advies en Beleidsanalyse Delta/ABD.

ba. 

Dr.Ir. H. Smit.



Verzendlijst afstudeerverslag Rozemarie Koole "Stratificatie in het Grevelingenmeer en de gevolgen daarvan voor de zuurstof- en nutriënten-huishouding over de periode 1980-1994", werkdocument RIKZ/AB-95.828X.

Directie Zeeland: AXB: J. de Roos  
K. Meertens

AXW: E. Turkstra  
N. Houtekamer (6x)  
S. Vereeke

AXI: J. de Klerk  
P. Lieveense

Dienstkring Deltakust t.a.v. J. Geleynse en N. Poortvliet

Bibliotheek

-----  
Natuur- en Recreatieschap de Grevelingen:  
Postbus 29, 4318 ZG Brouwershaven

-----  
RIKZ: I. de Vries  
D.J. de Jong  
J. Coosen  
P. Meininger  
H. Smit  
G. Wattel  
H. Baptist  
P. Bollebakker  
J. Vroon  
L. Peperzak  
Bibliotheek

-----  
Provincie: J. Beyersbergen, Postbus 165, 4330 AD Middelburg

-----  
M. de Kluiver  
Aquasense  
Postbus 95125  
1090 HC Amsterdam

-----  
R. Koole  
Rentmeesterlaan 125  
4336 EE Middelburg