

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

van Verkeer en Waterstaat

Directie Zeeland

Nummer: K1451-1



-Generaal Rijkswaterstaat

eeland

Bibliotheek, Koestr. 30, tel: 0118-686362,
postbus 5014, 4330 KA Middelburg



Rapport AX95.061

De Brouwerssluis, langer sluiten in het najaar of niet ?

Gevolgen van het sluisbeheer op fysische en chemische parameters van het Grevelingenmeer.



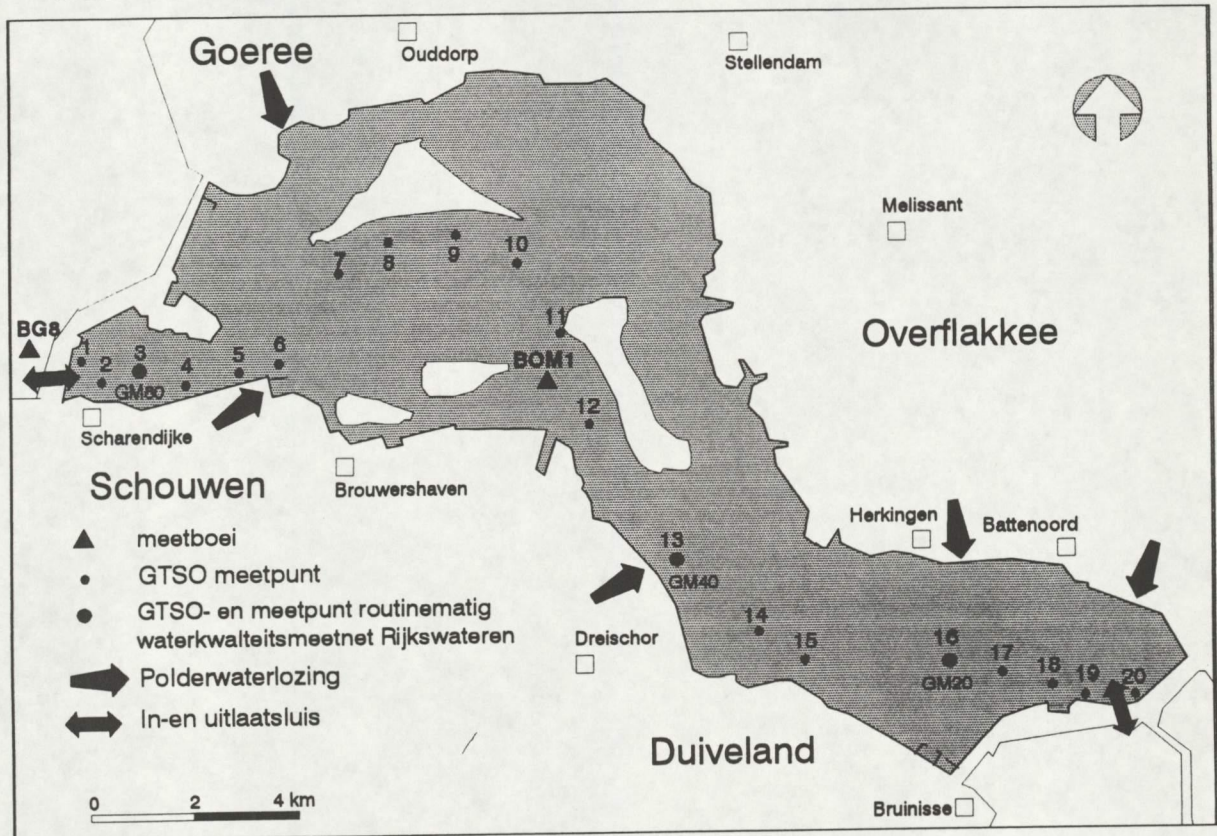
Hugo Niesing, september 1995.

DI:348-1

De Brouwerssluis, langer sluiten in het najaar of niet ?



Gevolgen van het sluisbeheer op fysische en chemische parameters van het Grevelingenmeer.



Het Grevelingenmeer, met daarin aangegeven de GTSO-meetpunten, de meetpunten uit het routinematige waterkwaliteitsmeetprogramma en de vaste meetpunten BOM1 & BG8.



Gevolgen van het sluisbeheer op fysische en chemische parameters van het Grevelingenmeer.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Opzet	5
1.2	Beleid	6
1.3	Wensen Palingvisserij	7
1.4	Het Beheer	8
2	Doelstelling.	10
3	Materiaal & Methode	11
3.1	Meetgegevens	11
3.2	De Waterbalans	12
3.3	Stratificatie	12
3.4	Chloride	14
3.5	Zuurstof	14
3.6	Temperatuur	15
3.7	Nutriënten	15
4	Resultaten	16
4.1	De Waterbalans	16
4.2	Stratificatieverschijnselen	18
4.3	Chlorideconcentratie	21
4.4	Temperatuur	25
4.4.1	Temperatuurverloop in de diepte	25
4.4.2	Temperatuurverloop in de tijd	26
4.5	Zuurstofgehaltenes	27
4.6	Nutriënten	28
4.6.1	Concentratieverloop 1980-1995	28
4.6.2	Concentratieverloop in de periode oct t/m dec	29
5	Conclusies & Aanbevelingen	30
5.1	Algemeen	30
5.2	Eindconclusie en Aanbevelingen	33



.....
Bijlage

1. Dichtheid van water, gerelateerd aan Chloridegehalte en temperatuur.
2. Dichtheid water Grevelingenmeer 90-95 GM80.
- 3 t/m 5. Chloridegehaltenes Grevelingenmeer 90-95 GM20, GM40 & GM80.
6. Daggemiddelden chloridegehalte 87-95 BOM1 en BG8.
7. Weekgemiddelden chloridegehalte 87-95 BOM1 en BG8
8. Chloridegehalte 90-95 GM80 op 5, 10 en 40 meter diepte.
- 9 t/m 11. Temperatuur 90-95 GM20, GM40 & GM80.
12. Temperatuurverloop GM80 op 5,20 en 40 meter diepte.
13. Temperatuurverloop daggemiddelden 87-95 BOM1 & BG8 (-1 m. NAP).
14. Temperatuurverloop weekgemiddelden 87-95 BOM1 & BG8 (-4.½ m. NAP).
- 15 t/m 17. Zuurstofgehaltenes GM20, GM40 & GM80.
18. Dagen waarop GTSO metingen zijn uitgevoerd.
- 19a. Gemiddelde palingvangst 1988 t/m 1994 op het Grevelingenmeer.
- 19b. Grafiek gemiddelde palingvangst 1988 t/m 1994.
- 20 t/m 22 Concentraties orthofosfaat, silicium & ammonium.
23. Sluiting Brouwerssluis in de periode oct-dec 1988 t/m 1994.



Gevolgen van het sluisbeheer op fysische en chemische parameters van het Grevelingenmeer.

Voorwoord.

Hierbij wil ik met name Jan de Klerk bedanken voor alle tijd en energie die hij in de grafieken en figuren heeft gestoken. Daarnaast gaat mijn dank uit naar Rozemarie Koole en Gillis Wattel voor het gebruiken van veel van hun grafieken en gegevens. Verder wil ik Albert Holland, Loes de Jong, Nelie Houtekamer & Simon Vereeke bedanken voor de waardevolle kritiek en/of commentaren die zij hebben geleverd.



1 Inleiding

.....

1.1 Opzet

In dit rapport wordt ingegaan op de gevolgen van het langer gesloten zijn van de Brouwerssluis in de periode oktober tot en met december. De aanleiding van dit rapport is een verzoek van de beroepsvissers om de Brouwerssluis in het najaar gesloten te houden tot half november. Hierbij zullen fysische en enkele chemische parameters van het Grevelingenmeer bestudeerd worden.

Hoofdstuk 1 gaat in op het verzoek van de beroepsvisserij en de onderbouwing hiervan. Op het beleid en het beheer in de afgelopen zeven jaren wordt eveneens in hoofdstuk 1 ingegaan. De doelstelling van het rapport staat in hoofdstuk 2.

Een algemene beschrijving van de bestudeerde parameters en de meetgegevens hiervan zijn weergegeven in hoofdstuk 3. De resultaten van de verschillende parameters van de afgelopen zeven (of vijf) jaar staan in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de conclusies getrokken en op grond daarvan worden eventuele aanbevelingen gedaan voor het beheer en verder onderzoek.



.....
1.2 Beleid

Het Grevelingenmeer is een zout, produktief meer met een hoog doorzicht en een hoge biologische produktiviteit. De hoofddoelstelling voor het beheer van het Grevelingenmeer in de Regionota Zeeuwse Rijkswateren 1993-1996 is:

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

Om dit te bereiken zijn bepaalde randvoorwaarden opgesteld waaraan minimaal voldaan moet worden.

De belangrijkste fysische randvoorwaarden om de beleidsdoelstelling te halen, genoemd in de Analyse Waterbeheer Grevelingenmeer zijn :

1. De spronglaag moet op een minimale diepte van 15 meter liggen.
2. Het chloride gehalte van het Grevelingenmeer dient boven een niveau van 16 g/l te blijven.
3. Het zuurstofloos oppervlak van de bodem mag maximaal 5 % van het totale bodem oppervlak bedragen.
4. Het nutriëntengehalte mag niet boven het niveau van 1992 stijgen : Stikstof (nitraat + nitriet \approx 0.15 mg/l) en fosfaat (orthofosfaat \approx 0.10 mg/l).

Een aanvullende randvoorwaarde voor het sluisbeheer is dat het zoutgehalte op de Noordzee (meetpaal BG8) minimaal 16 g/l is en hoger of gelijk aan dat van het Grevelingenmeer. Als daar niet aan wordt voldaan, wordt er geen water ingelaten (Holland 1991). Hierbij moet opgemerkt worden dat het criterium betreffende het zoutgehalte van Noordzee gelijk of hoger dan Grevelingen niet strikt in het beleid is geformuleerd en alleen in de nota Waterbeheer Grevelingenmeer 1980-1990 (Holland, 1991) zo naar voren is gebracht.

Voor het **operationele beheer** houdt dit het volgende in:

- Streefpeil op NAP -0,2 m.
- Sturen op een hoog zoutgehalte (chloride gehalte inlaatwater gelijk of groter dan 16 gr. Cl⁻/l.)
- Uitwisseling via de Brouwerssluis in de periode 1 oktober tot 1 april.
- De vissluis staat het gehele jaar (gedeeltelijk) open
- De Brouwerssluis is gesloten tijdens schieraaltrek. Hierbij wordt uitgegaan van maximaal ca. 30 dagen in de periode oktober tot en met december, niet noodzakelijkerwijs aaneengesloten.



.....
1.3 Wensen Palingvisserij

Een van de functies van het Grevelingenmeer is het gebruik van het meer door de beroepsvisserij. Voor de aalvisserij is naast een goede waterkwaliteit het sluisbeheer van groot belang (Oorthuijsen en Iedema, 1992).

Er is in het huidige beleid vastgelegd dat de Brouwerssluis 'maximaal ca. 30 dagen' gesloten kan zijn in de periode tussen 1 oktober en 1 januari (Oorthuijsen en Iedema, 1992). Bij het opstellen van het beheersplan was verzocht (door de vissers) de sluis alleen tijdens schieraal trek (= donkere nachten) gesloten te houden.

In het beleid is de zogenaamde 30-dagen regeling opgenomen om aan de wensen van de palingvissers tegemoet te komen. Nu is echter gebleken dat de schieraal gedurende de periode september tot en met november constant naar de Noordzee wil (m.m. dhr Bezuijen 17/2/95). Bovendien is de vis, nadat de sluis open is geweest om te spuien, niet meer evenredig over het meer verdeeld, dit bevoordeelt vissers in bepaalde gebieden (m.m. dhr Bout 27/7/95). Ondanks een roulatiesysteem hebben zij dit liever niet, omdat het ene jaar de vissen eerder en massaler trekken dan het andere. Daarom is het belangrijk voor de vissers dat de sluis zolang mogelijk na 1 oktober gesloten blijft.

De schieraalvangst in het najaar is een belangrijke bron van inkomsten voor de palingvissers. De palingvissers zijn voor 75 % van hun inkomsten afhankelijk van de palingvangst. In 1994 is er duidelijk meer gevangen dan in de jaren daarvoor (**bijlage 19**). In dit jaar is de Brouwerssluis wegens technische mankementen tot half november gesloten geweest. In het Grevelingenmeer is geen natuurlijke intrek van glasaal. Daarom wordt door de beroepsvissers ieder voorjaar ca. 2500 kg glasaal in het meer uitgezet.

De sluis wordt geopend in oktober, in deze periode vindt de uittrek van schieraal plaats. Wanneer een deel van de uitgezette vis via de sluis vertrekt, zijn de activiteiten van de vissers niet meer rendabel (m.m. dhr Bezuijen 17/2/95).

Volgens de vissers zou het later dan 1 oktober openen van de Brouwerssluis een oplossing kunnen zijn. De schieraal wordt dan verhinderd weg te trekken wat een toename in de schieraalvangst kan betekenen.

De palingvissers zouden de sluis tot half november dicht willen hebben, daar de schieraal in deze periode naar zee trekt.

Uit resultaten van het model STRESS blijkt dat dit een moeilijk te realiseren wens is daar de kans op stratificatie (een groter zuurstofloos oppervlak van de bodem) en een daling in het zoutgehalte dan groter wordt (Oorthuijsen en Iedema, 1992). Het voorstel van de vissers zal in deze notitie nader onderzocht worden.



.....
1.4 Het Beheer

Een overzicht van het gevoerde beheer wordt gegeven in de notitie Wateruitwisselingsbeheer van de Brouwerssluis (Niesing 1995). De belangrijkste conclusies hiervan zijn in deze paragraaf opgenomen.

De streefwaarde voor het chloridegehalte van 16 g/l staat nergens in het automatische beveiligings systeem van de sluis. Tijdens de uitwisselperiode wordt er water het Grevelingenmeer ingelaten waarvan het chloridegehalte maximaal 1½ g/l in concentratie **verschilt** van het Noordzee water. De vissluis wordt in september gesloten om de trek van de schieraal naar de sluis te voorkomen.

Tabel 1. Sluiting Brouwerssluis, aantal dagen in de periode oktober tot en met december 1988 t/m 1994

jaar	oct	nov	dec	Aantal dagen dat sluis gesloten is oct t/m dec		
				To- taal	Datum Opening	Aaneengesl. ¹ v/a 1 oct.
1988	22	21	26	69	18/10	17
1989	24	22	11	57	10/10	9
1990	30	28	20	78	26/11	55*
1991	31	25	20	76	19/11	48
1992	31	24	3	58	5/11	35
1993	25	24	9	58	26/10	25
1994	31	22	16	73	15/11	45
gem. 88/94	27.7	23.7	15.0	66.4		33.0
gem. 88/89	23.0	21.5	18.5	63.0		13.0
gem. 90/94	29.6	24.6	13.6	67.8		41.0

(gegevens WTZ meetpunt gegevens van BOM 1 (J. de Klerk, H.Niesing)).

-Onder 'aaneengesloten' wordt ook verstaan een periode < 6 uur waarin water uit- of ingelaten wordt t.b.v het peil.

- ¹ Aaneengesloten periodes > 3 dagen zijn vermeld, het gemiddelde is alleen vanaf 1 oktober berekend.

-In 1990 is de sluis 1 oktober open geweest.



Gevolgen van het sluisbeheer op fysische en chemische parameters van het Grevelingenmeer.

De sluis is de afgelopen zeven jaar in de praktijk **58 tot 78 dagen gesloten geweest**. Een overzicht van het gevoerde beheer wordt gegeven in **tabel 1 en bijlage 23**, waar een overzicht is gegeven van de periodes dat de sluis aaneengesloten dicht is geweest.

Bij het aantal 'aaneengesloten dagen' zijn de dagen dat de sluis open was ten behoeve van het waterpeil niet als een onderbreking beschouwd. De openingen ten behoeve van het sturen van het peil gebeuren in het algemeen in goed overleg en zijn voor de visserij geen probleem in verband met de uittrek van de vis (m.m. dhr Bout).

De dagen dat de sluis gesloten is geweest en er wegens een te hoge laagwaterstand niet afgewaterd kon worden (omdat het peil op het Grevelingenmeer te hoog is) is verwaarloosbaar. Het aantal **dagen** dat het laagwater achtereen hoger dan ± -10 cm NAP (bij -10 cm NAP kan er al afgewaterd worden bij een hoge waterstand in het Grevelingenmeer) is geweest, bedraagt in de periode oktober tot en met december niet meer dan 1 (wtz database hoog- & laagwaterstand BG8).



Gevolgen van het sluisbeheer op fysische en chemische parameters van het Grevelingenmeer.

2 Doelstelling.

De doelstelling van deze notitie is:

Wat zijn de gevolgen van het beheer van de Brouwerssluis in de najaarsperiode van de afgelopen jaren op het fysisch en chemisch functioneren van het Grevelingenmeer ?

De aandacht gaat hierbij uit naar de rol die het beheer van de Brouwerssluis speelt bij het bereiken van de beleidsdoelstellingen ten aanzien van de volgende parameters :

- De waterbalans.
- stratificatie.
- chloride.
- zuurstof.
- nutriënten.



3 Materiaal & Methode

.....

3.1 Meetgegevens

De meetgegevens voor de waterbalans zijn afkomstig van de registratie op de Brouwerssluis en de notities 'Aanvoeren, lozingen en afvoeren van de Zeeuwse Rijkswateren' en van Gillis Wattel (RIKZ). Waterstanden, chloridegehalten en temperatuur zijn geregistreerd door de vaste meetpunten BOM1 en BG8 (zie figuur voorpagina). Dit zijn meetgegevens die elke 10 minuten automatisch worden geregistreerd. BOM1 is gelegen midden op het Grevelingenmeer en meet op een halve meter en vier meter onder NAP. Het meetpunt BG8 is op de Noordzee nabij de Brouwerssluis gesitueerd. Deze meet op een diepte van 2½ en 9 meter onder NAP.

Meetgegevens zijn ook afkomstig van de GTSO (Grevelingen Temperatuur Saliniteit en O₂) metingen van de afgelopen vijf jaar. Hierbij is gebruik gemaakt van de verticalen die gemeten zijn op de meetpunten GM80, dit is gelegen nabij de Brouwerssluis en is ± 47 meter diep, GM40 halverwege de vaarroute is ± 28 meter diep en GM20 nabij de Grevelingendam en is ± 15 meter diep (zie figuur voorpagina). De GTSO-metingen zijn routinematige metingen, die gegevens per meter diepte registreren. Deze metingen geven een globaal beeld omdat ze in principe eens per maand uitgevoerd worden en er soms metingen zijn uitgevallen. Dit is zichtbaar doordat er op de dagen dat er gemeten is, een streepje op de horizontale as dit aangeeft (zie de bijlagen). Naast de GTSO-metingen vindt ook monitoring van de algehele waterkwaliteit van het Grevelingenmeer plaats. Deze wordt gemeten als onderdeel van het routinematige waterkwaliteitsprogramma van Rijkswaterstaat waarvoor het RIKZ (zoute rijkswateren) en het RIZA (zoete rijkswateren) verantwoordelijk zijn. Voor het Grevelingenmeer houden deze metingen in, dat maandelijks drie punten (GM20, GM40 & GM80) worden bemonsterd (zie figuur voorpagina). Bij GM80 is, met uitzondering van de jaren '85 t/m '91 op 1 meter onder het wateroppervlak, op halve diepte en op 1 meter boven de bodem bemonsterd. bij de ander twee punten is dit voor de jaren '80 t/m '84 het geval geweest. Na 1984 is er op deze twee punten alleen 1 meter onder het wateroppervlak gemeten (Koole 1995). Deze routinematige metingen kunnen de GTSO metingen aanvullen bij het ontbreken van metingen. De meteorologische gegevens zijn afkomstig van het MOW bulletin van het KNMI (Maand Overzicht van het Weer in Nederland) De gegevens die gebruikt zijn in dit rapport zijn afkomstig van de meetstations Wilhelminadorp & Vlissingen, gezien de fluctuaties (vnl. van neerslag) op kleine afstanden zijn gemiddelden genomen.



.....

3.2 De Waterbalans

De Waterbalans wordt gevormd door:

In- en uitlaatdebieten, de neerslag, verdamping, polderwaterlozingen, de vissluis en het schutten met de Grevelingensluis.

De waterbalans van het Grevelingenmeer is grotendeels afhankelijk van het sluisbeheer. De waterbalans heeft invloed op de in dit rapport onderzochte abiotische parameters. Het gevoerde sluisregime bepaalt de debieten, de hoeveelheid ingelaten Noordzeewater (i.v.m. Cl^- , optreden stratificatie, nutriënten in het meer) en het moment wanneer het water in- of uitgelaten wordt.

Bij het bestuderen van het duurzaam ecologisch functioneren van het Grevelingenmeer over de afgelopen jaren staat de invloed die het sluisbeheer hierop heeft, met name in de periode oktober tot en met december, centraal. De Waterbalans is een belangrijke factor hierbinnen, die mede tot stand komt door het sluisbeheer.

.....

3.3 Stratificatie

Stratificatie kan optreden in diepe bekkens met weinig stroming. Door verschillen in dichtheid ten gevolge van een chloride- en/of temperatuurgradiënt ontstaat een gelaagdheid in het water. In diepe zoute of brakke meren speelt het verschil in chloridegehalte in boven- en onderlaag een grote rol. De diepere waterlagen zijn kouder en hebben een hogere dichtheid dan de ondiepere lagen. Er vindt dan ook geen uitwisseling van zuurstof tussen de boven- en onderlaag meer plaats, waardoor zuurstofarmoede of zelfs zuurstofloosheid kan ontstaan in de onderlaag.

Stratificatie wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een spronglaag: een laag met een sterk verloop in temperatuur en/of chloridegehalte. Zoutstratificatie en temperatuurstratificatie kunnen elkaar versterken (Oorthuijsen en Iedema, 1992).

Bij chloridestratificatie worden de boven- en onderlaag van elkaar gescheiden door een saliniteitsgradiënt. Deze stratificatie kan ontstaan door de inlaat van water met een ander chloridegehalte dan in het water van het meer. Dit kan bijvoorbeeld door regenwater, polderwater, maar ook door zeewater wat het meer instroomt optreden.

De zuurstofarmoede en/of zuurstofloosheid die ontstaat in de onderlaag kan zich over een groot oppervlak uitbreiden. Wanneer de spronglaag zich op een geringere diepte bevindt dan de in het beleid gestelde 15 meter, wordt de kans hierop groter. Dit dient door een goed beheer voorkomen te worden.



De aanwezigheid van een spronglaag hoeft niet gekenmerkt te worden door een sprong in het chloride gehalte.

Een temperatuursdaling in de diepte kan ook een indicatie zijn voor de aanwezigheid van een spronglaag. Stratificatie kan tot gevolg hebben dat er een daling van het O₂ gehalte van enkele milligrammen per meter diepteverschil ontstaat.

In de beleidsstukken is een maatgevende spronglaag gedefiniëerd als: Een spronglaag is maatgevend als de **dichtheid** per meter minimaal 0.3 g/l toe- of afneemt (Holland, 1991).

Wegens het ontbreken van voldoende gegevens over de dichtheid van het water in het Grevelingenmeer is (met behulp van **bijlage 1**) het verschil in dichtheid uitgedrukt in een verschil in chloridegehalte en temperatuur.

Een verschil in dichtheid van 0.3 g/l komt overeen met een verschil in chloride van ongeveer 0.25 g/l, **de temperatuur** is daarbij als **constant** beschouwd.

Dit is af te leiden uit de tabel die de relatie weergeeft tussen het chloride gehalte, de temperatuur en de dichtheid van het water (zie **bijlage 1**).

Uit bijlage 1 blijkt eveneens dat een dichtheidsverschil van 0.3 g/l overeen kan komen met een verschil van ongeveer 5°C (temperatuur tegen het vriespunt aan) tot aan ongeveer 1.5°C (bij een temperatuur van 22°C) **onder constant chloride gehalte**.

Het voorkomen van stratificatieverschijnselen gedurende de afgelopen jaren wordt onderzocht.

De data wanneer de spronglaag zich op een diepte gelijk aan of geringer dan 15 meter bevond zijn bepaald uit de GTSO metingen (beleid). Tevens is gekeken naar de aanwezigheid van een sterke gradiënt in een van de genoemde parameters.

Factoren die hierbij beschouwd worden zijn; de verticale gradiënt in het chloridegehalte, de temperatuur en het zuurstofgehalte.

De data waarop de spronglaag (of kenmerken die op een spronglaag duiden) zich op een diepte van 15 meter of minder bevond zijn vervolgens geanalyseerd op de oorzaken, tijdstip van voorkomen en de mogelijke invloed van het sluisregime dat gevoerd is.



.....

3.4 Chloride

Het Grevelingenmeer is een zout, productief meer met een hoog doorzicht.

Het chloridegehalte van het Grevelingenmeer dient **minimaal 16 g/l** te bedragen voor de ontwikkeling van een stabiel marien ecosysteem met een hoge diversiteit. Deze minimumgrens is ook gehanteerd als streefwaarde in het beleid (Oorthuijsen en Iedema, 1992).

Het verloop van het chloridegehalte van het Grevelingenmeer over de afgelopen vijf jaar is gevolgd aan de hand van de verrichtte metingen. De invloed van het gevoerde sluisregime op het verloop hiervan zal centraal staan.

De concentratie van het chloridegehalte in de Noordzee en de neerslagen verdampingsdata en hun rol in het chloridegehalte van het Grevelingenmeer worden ook geanalyseerd.

.....

3.5 Zuurstof

Ten behoeve van het gezond duurzaam ecologisch functioneren is in het water een minimaal zuurstofgehalte noodzakelijk. Bij een zuurstofgehalte van 3 mg O₂/l treden voor sommige organismen onomkeerbare negatieve effecten op. De schelpdierwaternorm voor zuurstof is 7 mg/l (Holland 1991).

Wanneer er sprake is van stratificatie en er een stabiele spronglaag aanwezig is, wordt de aanvoer van zuurstof van de bovenste (zuurstofrijke) lagen naar de diepere delen van het meer geremd. Indien de spronglaag zich op een geringere diepte dan 15 meter bevindt, kan het oppervlak van de bodem dat zuurstofloos (0 mg O₂) is groter worden dan 5 %. Deze zuurstofloze laag kan dan over de zandels van de diepere putten heenkomen. Wanneer de spronglaag op ongeveer 12 meter diepte komt kan dit leiden tot zuurstofloos bodemoppervlak van 15 %.

Zuurstofarmoede treed op in de maanden mei tot en met oktober in de diepere delen van het Grevelingenmeer. Het areaal zuurstofarme bodem bereikt zijn maximum in de maanden juli en augustus (Holland 1991). Zuurstofloosheid trad in de periode 1980-1990 eveneens op tussen de maanden mei en oktober (Holland 1991).

In het beleid is het **maximale zuurstofloze bodemoppervlak vastgesteld op 5 %**. Hierbij bevindt zich de spronglaag op 15 meter diepte (Oorthuijsen en Iedema, 1992).

Het verloop van de zuurstofconcentratie in het Grevelingenmeer is over de afgelopen vijf jaar gevolgd. De invloed van het beheer van de Brouwerssluis op de zuurstofhuishouding wordt bestudeerd. Het optreden van zuurstofloosheid over het bodemoppervlak en de relatie met het gevoerde sluisbeheer wordt onderzocht.



.....
3.6 Temperatuur

Als gevolg van het temperatuursverschil tussen boven en onderlaag in het Grevelingenmeer kan een gelaagdheid in het water ontstaan. Temperatuursverschillen kunnen zo bijdragen aan het ontstaan van stabiele stratificatie.

Dit temperatuursverschil kan optreden door opwarming van het water aan het oppervlak in de zomer, door afkoeling hiervan in de winter of door het inlaten van (relatief koud) water uit de Noordzee.

In de zomer kan het temperatuursverschil tussen boven en onderlaag in het westelijk deel van het meer 17 graden bedragen (Oorthuijsen en Iedema 1992). De verschillen in temperatuur in de periode in de herfst nemen af door afkoeling van de bovenlaag, die daardoor een hogere dichtheid krijgt. Doordat het koude water met een hogere dichtheid naar beneden zakt kan menging over de hele waterkolom plaatsvinden. Dit verschijnsel heet najaarscirculatie (Koole, 1995). Toename van wind kan ook een oorzaak van menging zijn.

De gradiënt in de watertemperatuur van de afgelopen vijf jaar is gevolgd en de invloed die het sluisbeheer hierop heeft gehad.

.....
3.7 Nutriënten

In de Regionota Zeeuwse Rijkswateren wordt als één van de doelstellingen genoemd, het handhaven van een oligotroof/mesotroof watersysteem met jaargemiddelde stikstof- en orthofosfaatgehalten op het toenmalig niveau (Santbergen, 1993). Een toename in het nutriëntengehalte kan leiden tot een toename in de algengroei. Dit kan aan het einde van het groeiseizoen, wanneer de algen massaal afterven, tot zuurstoftekorten leiden. Bij de mineralisatie van het detritus is veel zuurstof nodig (Holland 1991).

De veranderingen in concentraties van de verschillende nutriënten over de afgelopen vijf jaar en de fluctuaties binnen een jaar worden bestudeerd. Het effect van het sluisbeheer op het concentratieverloop van de verschillende nutriënten in het water van het Grevelingenmeer is gevolgd.



4 Resultaten

.....

4.1 De Waterbalans

Om inzicht te krijgen in de hoeveelheid water die het meer elk jaar in en uit gaat en de rol die de Brouwerssluis speelt is een waterbalans opgesteld.

De gegevens die hierbij gebruikt zijn zijn naast die van het in- en uitlaatdebiet van de Brouwerssluis, de polderlozingen, de vissluis, de neerslag, de verdamping en het schutten met de Grevelingensluis. Aangezien het schutten met de Grevelingensluis verwaarloosbaar is vergeleken met de overige posten en het beheer van de Brouwerssluis hier niets mee te maken heeft zal deze buiten beschouwing gelaten worden. De waterbalans wordt voor ongeveer 85 % bepaald door de inlaat en 95 % door de uitlaat van de Brouwerssluis (Holland, 1991).

Figuur 1 geeft de debieten van de Brouwerssluis op het Grevelingenmeer weer in de periode 1980 - 1992. De debietwaarden van 1993 en 1994 zijn nog niet bekend.

De totale inhoud van het Grevelingenmeer is ± 575 miljoen m^3 , het jaarlijkse debiet van de Brouwerssluis is gemiddeld het dubbele hiervan.

De registratie van de in- en uitlaat debieten van de Brouwerssluis is niet optimaal te noemen. Met name in de jaren 1985 tot en met 1987 is het inlaat debiet groter dan het uitlaat debiet. Dit is te wijten aan registratiefouten, maar in **figuur 1** zijn deze gecorrigeerd.

De debieten van de Brouwerssluis vertonen grote fluctuaties. In de jaren '88 en '89 lag het debiet ongeveer tussen de 550 tot 750 miljoen m^3 per jaar, terwijl in de drie jaren daarna deze hoeveelheden ongeveer 1100 à 1450 miljoen m^3 per jaar bedragen.

Overigens is het aantal weken dat de sluis in gebruik is, de dagelijkse tijdsduur van inlaten en spuien, de doorstroomopening en de hoogte van het getij (dat de hydraulische potentiaal bepaalt en dus de hoeveelheid water die door de sluisopening gaat) van belang voor het uiteindelijke debiet.

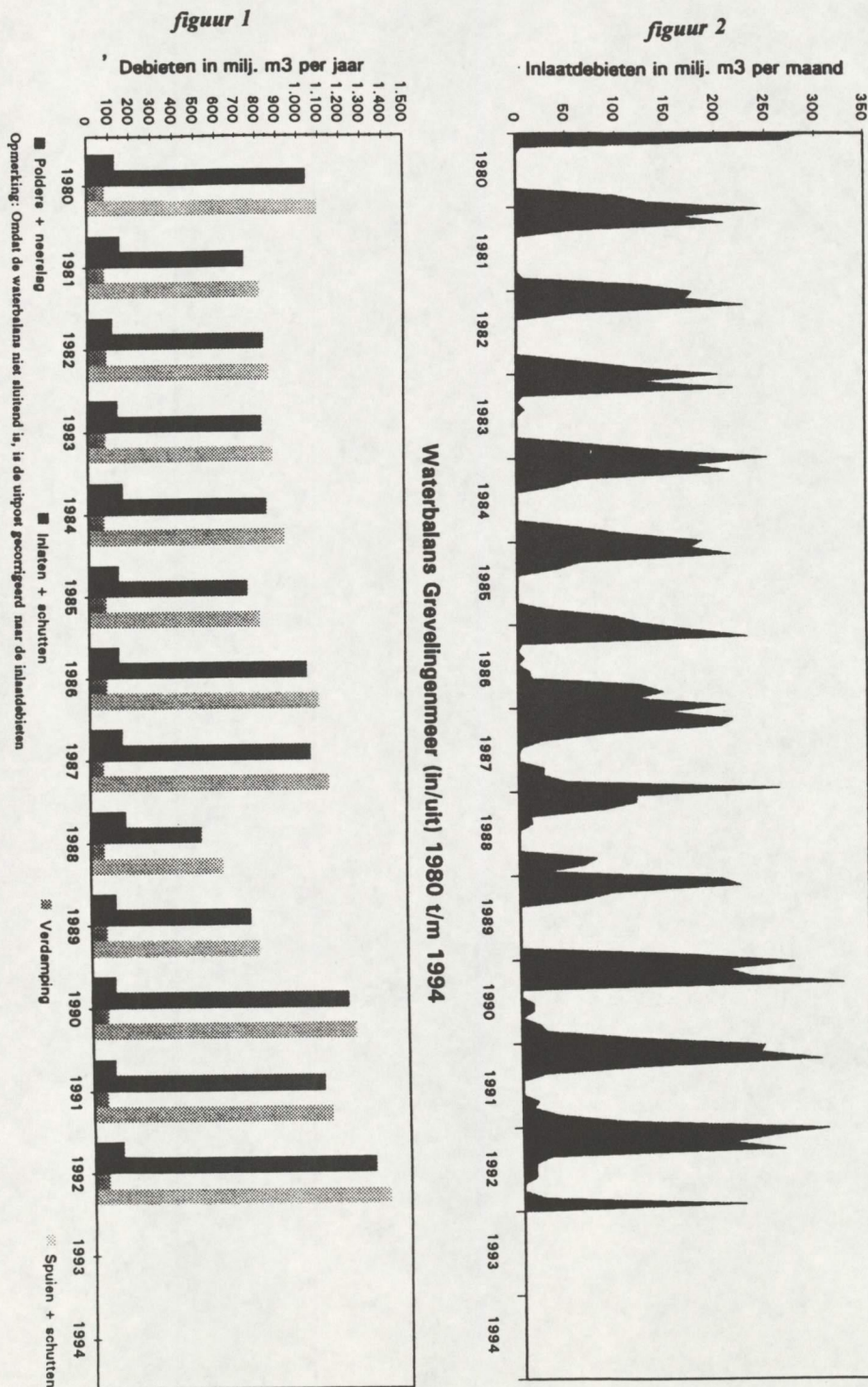
In 1989, 1990 en 1991 verschillen het aantal weken dat de sluis open staat nauwelijks (Niesing 1995), het verschil in debiet is daarentegen aanzienlijk, in 1990 werd er 1104 miljoen m^3 in gelaten, in 1989 was dit 756 miljoen m^3 .

Dit is onder andere te verklaren door een grotere doorstroomopening die werd ingesteld. De grotere doorstroomopening heeft geleid tot hogere stroomsnelheden en grotere debieten.



Gevolgen van het sluisbeheer op fysische en chemische parameters van het Grevelingenmeer.

Deze stroomsnelheden zijn belangrijk voor de uiteindelijke hoeveelheid water die in een bepaalde periode wordt uitgewisseld. **Figuur 2** geeft dit ook weer in hogere maandelijkse inlaatdebieten (de pieken zijn hoger), terwijl het aantal weken dat de sluis open staat ongeveer hetzelfde is als in 1989.





.....
4.2 Stratificatieverschijnselen

De bepaling van de data waarop de diepte van de spronglaag minder dan vijftien meter bedroeg is gedaan met behulp van de GTSO metingen van de afgelopen vijf jaar.

Er is gekeken naar de data wanneer er sprake was van stratificatieverschijnselen gelijk aan of minder diep dan 15 meter (beleidsdoelstelling).

De invloed die het sluisbeheer, in de periode oktober tot en met december, hierop heeft gehad is bestudeerd.

Gradiënten op een grotere diepte dan 15 meter komen in de paragrafen 6.3 tot en met 6.5 aan de orde.

dit is gebeurt op basis van een concentratieverschil in het chloridegehalte groter of gelijk aan **0.3 g/l per meter diepteverschil** aanwezig is en/of dagen waarop het **temperatuurverschil per meter diepte** groter was dan **2°C** (zie par 5.3).

De dagen wanneer een of meer van deze **stratificatieverschijnselen** optraden zijn weergegeven in **tabel 2**.

Het verband tussen het chloride-, temperatuur- en zuurstofverloop zijn vervolgens onderling vergeleken evenals de periode wanneer deze stratificatieverschijnselen optraden en hoelang.

De meetgegevens zijn afkomstig van de maandelijkse GTSO metingen en geven een goed beeld van de stratificatieverschijnselen, op een bepaald moment in de diepte, weer.

Op de onderstreepte waarden na zijn alle waarden afkomstig van het meetpunt GM80.

Er zijn **13 meetdagen** waarop er sprake is van verschijnselen die duiden op het ontstaan van een spronglaag op een diepte ≤ 15 meter.

Deze dagen liggen voornamelijk in de periode januari tot en met augustus, **slechts één** dag lag in de periode september tot en met december.

De 13 dagen die in deze tabel geregistreerd zijn kunnen opgedeeld worden in twee groepen :

1. Een sterke **chloridegradiënt** in de diepte (≥ 0.3 g/l) is op negen dagen aanwezig. Op de dagen dat er sprake is van een sterke chloridegradiënt, is een duidelijk verschil in verandering in het zuurstofgehalte of de temperatuur afwezig (δT max = 1.4 & δO_2 max = 0.38)



2. Er zijn 4 dagen waar te nemen dat er geen noemenswaardige verandering in het chloridegehalte aanwezig is. Alle 4 de gevallen worden gekenmerkt door een gradiënt in het **zuurstofgehalte** en de **temperatuur**. De temperatuur varieert deze dagen met minimaal **2.65** en maximaal **6.69** graad celsius per meter diepte. De verschillen in het zuurstofgehalte zijn deze 4 dagen eveneens aan grotere veranderingen onderhevig dan de overige dagen (δO_2 /meter tussen **2.21** en **6.69**).

Tabel 2, Kenmerken van een Spronglaag op diepte tot en met 15 meter. ($\delta T > 2$ graden en/of $\delta Cl^- > 0.3$ g/l per meter diepte)

nr	Datum	Dieptes (meter)	δCl^- (g/l)	Cl^- max.	δT °C	T min. waarde	δO_2 mg/l)	O_2 min. waarde
1	19/8/91	15-16	0.05	17.70	2.65	15.90	2.21	0.27
2	15/6/92	14-16	0.36	17.49	5.07	12.39	3.22	2.24
3	25/6/92	15-16	0.139	17.21	3.34	14.74	6.69	0.95
4	10/3/92	5-6	0.632	17.93	0.01	6.84	0.05	10.29
5	8/2/93	8-9	0.398	17.50	-0.18	5.06	0.13	8.73
6	26/4/93	6-7	0.397	17.40	0.21	10.89	0.07	8.71
7a	17/1/94	5-6	0.390	16.30	-0.28	4.75	0.10	10.14
7b	<u>17/1/94</u>	<u>5-6</u>	<u>0.403</u>	<u>16.63</u>	<u>0.03</u>	<u>5.1</u>	<u>0.13</u>	<u>10.04</u>
8	<u>15/3/94</u>	<u>14-15</u>	<u>0.375</u>	<u>16.83</u>	<u>1.20</u>	<u>4.23</u>	<u>0.33</u>	<u>11.88</u>
9a	<u>12/4/94</u>	<u>12-13</u>	<u>1.049</u>	<u>17.07</u>	<u>0.02</u>	<u>8.06</u>	<u>0.18</u>	<u>9.76</u>
9b	12/4/94	4-5	0.318	16.19	0.13	8.11	0.03	10.12
10	8/8/94	12-14	0.016	16.57	3,38	18.1	4.20	0.54
11	19/12/94	12-13	0.381	17.93	-0.22	9.12	0.12	8.77
12	21/2/95	4-5	0.695	16.50	0.23	7.17	0.01	9.65
13	25/4/95	13-14	0.590	16.04	1.40	8.57	0.38	10.48

Tabel 2: GTSO meetwaarden. Onderstreepte waarden afkomstig van meetpunt GM40, overige GM80. Verschillen in diepte zijn afnames tenzij waardes negatief zijn. Sommige waarden zijn over een diepte van meer dan een meter bepaald.



1. De dagen waarop er een sterke chloridegradiënt geregistreerd is.

De dagen wanneer er sprake is van een duidelijke gradiënt in het chloridegehalte liggen op 3 na (nr 6, 9 & 13) binnen de uitwisselperiode dat de Brouwerssluis open dient te staan. Uit de waterstand van BOM 1 valt op te maken dat de sluis op alle dagen behalve op nummer 4 en 13 open stond.

De chloridegradiënt kan een gevolg zijn van het inlaten van water uit de Noordzee met een **hoger zoutgehalte** dat ingelaten is en (door de grotere dichtheid) naar de bodem zakt. Dit verschil in chloridegehalte wordt alleen opgeheven wanneer de meteorologische omstandigheden zo zijn dat er menging op kan treden (wind, regen etc).

In de periode oktober tot en met december is slechts één dag waargenomen dat er sprake was van een gradiënt in het chloridegehalte. Dit is te verwachten, omdat het temperatuur verschil tussen Noordzee en Grevelingenmeer dan minimaal is. Bovendien is de sluis een groot deel van deze periode dicht geweest.

De dag die binnen de periode oktober tot en met december valt is 19/12/1994. De Brouwerssluis heeft van 1 oktober tot dan ongeveer zes etmalen open gestaan. Van 15 tot 19 december was de sluis gesloten. De temperatuur bij deze meting neemt vanaf het wateroppervlak tot een diepte van ongeveer 15 meter van 7.7 tot 9.4 graden celsius toe. Dit kan het gevolg zijn van het afkoelen van het wateroppervlak waardoor een temperatuursinversie ontstaat. Er is een verschil in chloridegehalte zichtbaar van 0.381 g/l per meter diepte. De neerslag, die deze maand zeer hoog was (98.5 à 121 mm ten opzichte van 71 gemiddeld) kan de ontstane temperatuursgradiënt versterkt hebben en heeft bovendien veel zoet water op het meer gebracht, beide factoren kunnen tot een chloride sprong geleid hebben.

2. De dagen dat er een sterke gradiënt in temperatuur en zuurstofgehalte aanwezig is.

Deze vier dagen liggen in de periode tussen 18 mei en 19 augustus. De temperatuur aan het wateroppervlak deze vier dagen is respectievelijk 19.93 (nr.1), 19.7 (nr.2), 18.23 (nr.3) en 21.48 (nr.10) graden celsius. Hierbij moet vermeld worden dat dag nummer 3 tien dagen na dag nummer 2 valt en een gevolg kan zijn van de toen door de extreme temperatuur ontstane spronglaag.

De stratificatieverschijnselen die deze dagen geregistreerd zijn, kunnen verklaard worden door de hoge temperaturen in deze periodes. De overige weersomstandigheden hebben ook invloed op het al dan niet ontstaan van de temperatuurs- en zuurstofgradiënt, maar die zijn voor deze periode niet onderzocht (zie evt. 7.5). Deze vallen namelijk buiten de periode oktober tot en met december vallen en hebben dus geen relatie met het gevoerde sluisbeheer.



De periode oktober tot en met december

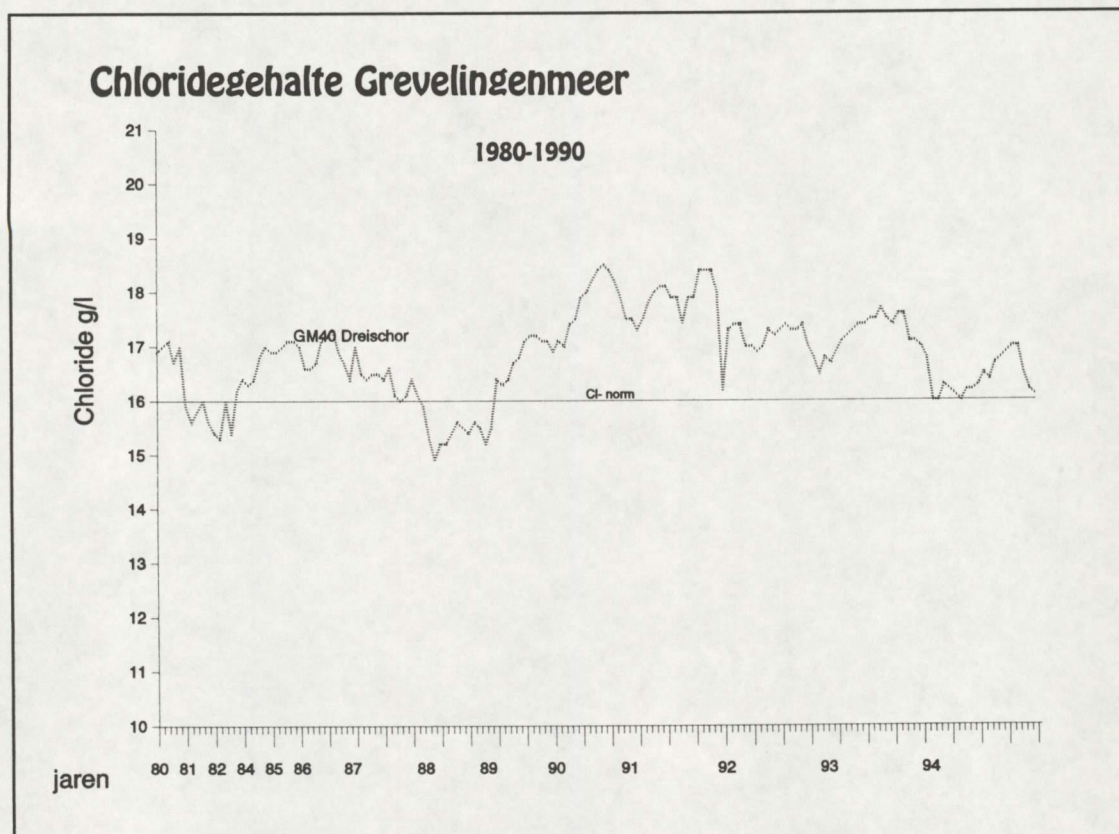
In het beleid wordt gesteld dat uit STRESS berekeningen bepaald is, dat uitwisseling in de najaarsperiode essentieel is voor het handhaven van een voldoende hoog zoutgehalte en beperkte stratificatie (Oorthuijsen en Iedema 1992).

De sluis is gemiddeld ongeveer 66 dagen gesloten geweest in de maanden oktober tot en met december en de afgelopen vijf jaar zelfs 41 dagen gemiddeld achtereen na 1 oktober. Desondanks is het aantal situaties waarbij er sprake was van een spronglaag (of verschijnselen daarvan) op een diept ≤ 15 meter beperkt tot één in deze periode.

.....

4.3 Chlorideconcentratie

In de Nota Waterbeheer Grevelingenmeer 1980-1990 wordt expliciet gesteld dat het beheer streeft naar maximale uitwisseling met water uit de Noordzee in het winterhalfjaar via de Brouwerssluis, onder de voorwaarde dat het chloridegehalte in het meer tenminste 16 g/l blijft.



figuur 3



Figuur 3 geeft het verloop van het chloridegehalte aan de oppervlakte (± 1 m. onder wateroppervlak) bij het meetpunt GM40 weer. De afstanden tussen de jaren neemt toe naarmate het aantal metingen in een jaar toeneemt. **Bijlage 6** geeft het daggemiddelde op het meetpunt BOM1 (dichtbij GM40) en op de Noordzee nabij de Brouwerssluis (BG8) weer. Er is ook gebruik gemaakt van de chloride metingen van GM 20, 40 en 80 van de afgelopen vijf jaar (**bijlage 3 t/m 5**).

In **figuur 3**, waar de concentratie chloride op het meetpunt GM40 tegen de tijd is uitgezet voor de periode 1980-1994, lijkt het verloop verre van constant.

In de jaren 80-84 is er nog geëxperimenteerd met de Brouwerssluis, daardoor is er in die jaren een daling van het chloride gehalte te zien. Vanaf 1984 schommelt de chloride waarde weer tussen de 16 en 17 g/l. In de periode '87 tot begin '89 daalt de chloride concentratie tot een waarde van ± 15 g/l. Na de winter van 88/89 is dit opgelopen tot aan een maximum van 18 g/l in 1990. In 1991 is de concentratie chloride gedaald van 18 naar 16 gr/l. In 1992 is een daling naar 17 g/l zichtbaar, om vervolgens in de periode 1992 tot 1995 langzaam te dalen naar een waarde van 16 g/l.

Bijlage 6 geeft de daggemiddelde concentratie weer van het chloridegehalte op de Noordzee (BG8 groene lijn) en het Grevelingenmeer (BOM1 rode lijn). Het chloridegehalte op het Grevelingenmeer vertoont voor de periode 87-95 een veel minder grillig verloop dan op **figuur 3**. Een cyclus in het concentratieverloop is duidelijk aanwezig, in januari begint de stijging, deze bereikt zijn top in juli en een minimum in december. De gemiddelde concentratiewaarde schommelt eerst om de 16 g/l, stijgt naar ongeveer 18 g/l en neemt van eind '92 geleidelijk af van circa 18 naar 16 g/l.

Weekgemiddelden van deze waarden zijn in **bijlage 7** weergegeven, om de invloed van de uitschieters op het gemiddelde chloridegehalte in de Noordzee, te bepalen.

Uit **bijlage 6 en 7** kan voor de chloride concentratie op het Grevelingenmeer een sterke toename en enkele sterke afnames in het chloridegehalte worden geconstateerd.

Deze zijn zichtbaar in vijf periodes:

een toename; **1 jan/feb 1989** (toename ± 0.9 g/l)

En vier afnames; **2 jan/feb 1988** (afname ± 0.8 g/l), **3 oct/dec 1992**

(afname ± 0.8 g/l), **4 dec/jan 1994** (afname ± 1.2 g/l) en **5 nov/jan 1995**

(afname ± 0.9 g/l).

1. De sterke toename in het chloride gehalte de eerste twee maanden van 1989 volgt na een periode van uitwisseling met Noordzeewater.



In januari 1989 was het gemiddelde chloride gehalte in de Noordzee 17.5 en in februari 18.0. De hoeveelheid neerslag in 1989 was gering vergeleken met de overige jaren (Koole 1995). De maand januari werd gekenmerkt door een lage hoeveelheid neerslag, (in het district Zeeland) gemiddeld 27 mm tegen 63 mm normaal (KNMI, 1989). In januari en februari 1989 heeft de sluis vrij veel open gestaan en dit resulteerde in een groot inlaatdebiet in deze periode (figuur 2, hoge pieken). Het inlaatdebiet, de hoge chloridegehaltenes van de Noordzee en de geringe neerslag verklaren de toename van het chloridegehalte.

2. In de periode januari/februari 1988 nam het chloridegehalte af van ongeveer 16.2 naar 15.4 g/l. In deze periode stond de Brouwerssluis 31 dagen dicht, hetgeen de helft van het totaal aantal dagen is. De neerslag te Vlissingen bedroeg in januari 146 mm en in Wilhelminadorp 158 mm, hetgeen 90 mm meer dan normaal is. In februari was dit ongeveer 31 mm meer dan normaal (KNMI, 1988). Deze factoren hebben bijgedragen aan de daling van het chloridegehalte.

3. In de periode oktober tot en met december 1992 is afname van ± 0.8 g/l Cl^- zichtbaar. In deze drie maanden is de sluis 31 dagen open geweest, dit heeft het uitwisselen beperkt. October was een natte maand met 93 mm neerslag in Vlissingen en 99 in Wilhelminadorp (gem. 73), november was wat neerslag betreft normaal en december vrij laag 51 à 58 mm (gem. 71) (KNMI, 1992). In de laatste week van december stijgt het chloridegehalte met 0.3 g/l (bijlage 6). De maand december staat de Brouwerssluis vrijwel de hele maand open.

4. De sterkste verandering waar te nemen in bijlage 6, is de daling van de chlorideconcentratie in dec/jan 1994 (ongeveer 1.2 g/l). In december 1993 stond de sluis slechts 7 dagen open, de neerslag was bijna het dubbele van het gemiddelde (130 à 158 mm tegen norm. 71, KNMI 1993). In januari stond de sluis 21 dagen open en was de hoeveelheid neerslag vrij gemiddeld. De gegevens van het chloridegehalte op de Noordzee ontbreken voor deze periode. Hierdoor is de invloed van het chloridegehalte van de Noordzee niet te achterhalen.

5. In de periode november 1994 tot en met januari 1995 neemt de concentratie chloride af van ongeveer 16.3 tot 15.4 g/l. In 1994 was de sluis onafgebroken gesloten tot en met 15 november, daarna is er ± 3 dagen uitgewisseld, om vervolgens weer tot 20 december gesloten te zijn (op afwateren tbv peil na). Vanaf 20 december tot eind januari is de sluis ongeveer 27 dagen open geweest, maar 10 t/m 15 en 27 & 28 januari was het chloridegehalte op de BG8 beneden de 16 g/l, terwijl de sluis wel open stond (Niesing, 1995). Dit heeft de daling in het chloridegehalte versterkt. De neerslag was in november laag (30 à 33 mm, norm. 75mm), in december



hoog (98 à 121 mm gem.71) en in januari zeer hoog (122 à 136 mm, gem. 59 mm). Het weinige en bij een te laag chloridegehalte uitwisselen met de Noordzee en de grote hoeveelheid neerslag zijn de oorzaak van de daling van de concentratie chloride geweest.

De algemene trend die zichtbaar is in de chloride concentratie in het Grevelingenmeer lijkt voornamelijk een gevolg van de grote veranderingen hierboven beschreven. Na een sterke fluctuatie gaat de jaarlijkse cyclus verder, het zijn geen tijdelijke afwijkingen die zich na een korte periode herstellen (regenbui, zoete bel bij BOM 1 etc). Deze cyclus is vooral in '90, '93 en '94 goed zichtbaar. De grote afvoeren van de rivieren hebben met name in het voorjaar van 1995 de chloride concentratie in de Noordzee doen dalen (bijlage 6). Het uitwisselen in deze periodes heeft ook bijgedragen aan de daling in het chloridegehalte.

De afnames in het chloridegehalte komen voor in dezelfde periode, namelijk oktober tot en met januari. Dit is de periode dat er gemiddeld het grootste neerslagoverschot aanwezig is (KNMI 1972). De dalingen hebben zich, wanneer de periodes 2 tot en met 5 bij elkaar opgeteld worden, in 10 maanden afgespeeld. Hiervan is de sluis bijna 7 maanden (\pm 209 dagen) dicht geweest. Het beperkte uitwisselen heeft bijgedragen tot de daling in het chloridegehalte. De mate waarin deze dalingen voorkomen hadden kunnen worden door meer uit te wisselen is niet duidelijk, omdat de jaren dat er geen daling in het chloridegehalte aanwezig is (najaar '88, '89 & '90) er niet meer is uitgewisseld dan in de overige jaren, maar de hoeveelheid neerslag gedurende deze jaren duidelijk minder was (Koole, 1995). Er zijn geen gegevens aanwezig van een jaar dat er metingen verricht worden op BOM1 en er optimaal uitgewisseld is.

De oorzaken voor de dalingen in het chloridegehalte zijn een combinatie van:

1. De zoetwater aanvoer.
2. Het sluisregime dat gevolgd is.
3. Het chloridegehalte van de Noordzee.



.....
4.4 Temperatuur

Verschillen in watertemperatuur kunnen ook de oorzaak zijn van stratificatie, daarom zijn deze ook voor de afgelopen periode bestudeerd. Het verloop van de temperatuur over de diepte in de afgelopen vijf jaar is weergegeven in **bijlage 9 t/m 11** voor de punten GM20, GM40, GM80. De temperaturen van de afgelopen 5 jaar op 5, 20 en 40 meter diepte zijn bestudeerd op het meetpunt GM80 en de daggemiddelden van de registratie op BOM1 & BG8. Het verloop van de temperatuur op een vast punt in de tijd is hier weergegeven (**Bijlage 12, 13 & 14**).

4.4.1 Temperatuurverloop in de diepte

De temperatuurgradiënten in de meetpunten GM20 en GM40 vertonen een nogal verschillend verloop ten opzichte van GM80. Dit heeft voornamelijk te maken met de dieptes van deze meetpunten. De enige lokatie waar er sprake is van een groot temperatuurverschil in de diepte is het meetpunt GM80 (**zie bijlage 9 t/m 11**). In het late voorjaar en begin zomer 1993 en 1994 is bij GM40 en GM20 wel een temperatuurverschil tussen het wateroppervlak en de bodem aanwezig. Dit verschil blijft vrij beperkt (maximum van 6 graden) en is niet langdurig aanwezig. Deze meetpunten zijn beide minder diep dan GM80, hier zullen temperatuurverschillen minder groot worden en watervermenging zal sneller plaatsvinden dan in een diepe put.

In de periode 1990 tot en met 1994 ontstaat er elk voorjaar omstreeks mei bij GM80 een temperatuurgradiënt, die vanaf september begint af te nemen en in november geheel verdwijnt. De stand van de sluis, die open gaat omstreeks die tijd, zou hier invloed op kunnen hebben.

Wanneer **tabel 1** vergeleken wordt met **bijlage 10** blijkt dat in de periode 90/95 deze temperatuurgradiënt in de jaren 90' en 91' verdwenen is voordat de sluis open staat. In de jaren 92' t/m 94' is dit door een gebrek aan GTSO metingen in deze periode niet zichtbaar.

Het gaat overigens om temperatuurverschillen in de marge van ongeveer 10 graden verschil over een diepte van ± 30 meter (15 tot 45 meter diepte). In geen van de situaties kan worden gesproken van temperatuurverschillen die duiden op het ontstaan van een stabiele spronglaag.

Zolang dit verschil geleidelijk verloopt treden er geen problemen op. Wanneer er per meter diepte verschillen van enkele graden optreden kan er een spronglaag ontstaan.

Het openen van de sluis bij het opheffen van de temperatuurgradiënt komt door het ontbreken van regelmatige metingen niet duidelijk naar voren.



Het aantal GTSO metingen in de maanden oktober t/m december was de afgelopen 5 jaren gemiddeld 1.8 metingen in drie maanden (max 3 min 1). Tijdens de periode dat de sluis open is, is er de afgelopen 5 jaar geen temperatuurgradiënt aanwezig (**bijlage 9 t/m 11**).

De invloed van het afkoelen van het water van het meer en de overige weersomstandigheden (zoals wind) lijken belangrijk bij het opheffen van deze temperatuurgradiënt.

4.4.2 Temperatuurverloop in de tijd

Op de lokaties GM20 ,GM40 & GM80 is een duidelijk patroon in de tijd waar te nemen.

Op alle drie de meetpunten is een toename van de wintertemperatuur waarneembaar, dit ligt waarschijnlijk aan de warme zomers en milde winters van de afgelopen jaren. Er is een opgaande lijn waar te nemen in de wintertemperaturen van de afgelopen 5 jaar (Koole, 1995, bijlage 9 t/m 11). In **bijlage 9** komt na 1992 de laagste legenda eenheid (lager dan 4.4 graden) niet meer voor. De bodemtemperatuur gemeten op lokatie GM80 vertoont de laatste vijf jaar in de winter een stijgend verloop (**bijlage 10**).

Wanneer de weekgemiddelden van de temperatuur op BOM1 en BG8 worden uitgezet (**bijlage 13 & 14**) tegen de tijd blijkt dat de temperatuur op een ½ en 4 meter onder NAP een constant verloop heeft.

En niet, zoals bij de GTSO en routinemetingen metingen duidelijk een stijgende lijn voor de wintertemperaturen vertoont. Op de BOM1 en de BG8 wordt om de 10 minuten gemeten en deze data zijn betrouwbaarder dan de GTSO metingen.

De stijgende trend in de minimum temperaturen kan een toevallige momentopname zijn wanneer het minimum van een jaar helemaal niet gemeten wordt. Maar aangezien er slechts één meting is gedurende enkele maanden wordt het automatisch het minimum. De metingen van BOM1 vinden niet op een grotere diepte dan -4 NAP plaats het is dus moeilijk om iets over de minimum temperatuur op de bodem te concluderen.

Op GM20, GM40 en GM80 zijn de minimum temperaturen op de bodem en aan het oppervlak gelijk (Koole, 1995). De stijgende trend die in de wintertemperatuur op de bodem zichtbaar is op de drie meetpunten, kan door een gebrek aan metingen een verkeerd beeld geven (zoals de minimumtemperaturen aan het oppervlak). Zelfs als het aantal GTSO metingen aangevuld wordt met de routinemetingen kan dit het geval zijn, want de minima in temperatuur zijn slechts enkele weken aanwezig (**bijlage 13 & 14**).



In bijlage 13 en 14 is zichtbaar dat de temperatuur op het Grevelingenmeer sneller afkoeld dan op de Noordzee. De meeste jaren is een temperatuursverschil zichtbaar tussen de BOM1 en de BG8, dat tussen half november en begin januari, wanneer de sluis langdurig open gaat of wanneer er veel neerslag is, opgeheven wordt. Daarna daalt de watertemperatuur van zowel de Noordzee als het Grevelingenmeer (dan staat de sluis de afgelopen 5 jaar ook constant open). Deze daling vindt voornamelijk in de periode januari februari plaats.

.....

4.5 Zuurstofgehaltenes

Als gevolg van de stratificatie en de (stabiele) spronglaag die ontstaat kan er geen transport van zuurstof meer plaatsvinden naar de onderste laag in het meer. Het zuurstof gehalte zal daar dan ook dalen als gevolg van het zuurstofgebruik van de daar nog aanwezige organismen en als gevolg van de afbraakprocessen die op en nabij de bodem plaatsvinden.

Zuurstofarmoede of zuurstofloosheid komt op de lokatie GM20 en GM40 bijna niet voor, terwijl dit beneden 20 meter diepte op GM80 elk jaar enkele maanden aanwezig is.

Uit de GTSO metingen van 1990 tot en met 1995 blijkt op de lokatie GM20 het zuurstofgehalte op 3 metingen minder dan 6 mg/l en één meting minder dan 4 mg/l, maar meer dan 2 mg/l (op de bodem) te bedragen (bijlage 15). Voor alle andere metingen zijn de zuurstofgehaltenes hoger dan 6 mg/l.

Op de lokatie GM40 komt in de maanden mei t/m augustus tussen 15 en 25 meter diepte een zuurstofgehalte tussen de 2 en de 6 mg/l voor. Gehaltenes beneden de 2 mg/l zijn de afgelopen vijf jaar, behalve op 8/8/94, niet waargenomen (bijlage 16). Deze lage waarden zijn allen op de bodem van meetpunt GM40 gemeten ± 25 meter diep.

Door de beperkte diepte van deze twee lokaties ontstaat er geen temperatuurgradiënt die zou kunnen leiden tot een verschil in zuurstofgehalte tussen oppervlak en bodem.

De waarden met de laagste zuurstofgehaltenes over een langere tijd zijn geregistreerd op de lokatie GM80 (bijlage 17). Hier is elk jaar gedurende enkele maanden het zuurstofgehalte beneden 2 mg/l, maar dit gebeurt op een diepte groter dan 15 meter. In de maanden september oktober en november verplaatst de grens voor een zuurstofgehalte < 2 mg/l zich naar dieper water.

In de 5 afgelopen jaren is in alle gevallen deze grens voordat de sluis geopend wordt al naar een diepte groter dan 25 meter gezakt. Het opengaan van de sluis in het najaar is dus niet bepalend voor het opheffen van de gradiënt in het zuurstofgehalte.



Ten aanzien van het zuurstofgehalte is in het beleid geformuleerd dat het zuurstofloos oppervlak maximaal 5 % van het bodemoppervlak mag beslaan.

In de periode 1980 tot en met 1994 is alleen in de zomer van 1994 een zuurstofloos bodemoppervlak ontstaan groter dan 5 % (Koole, 1995). Dit oppervlak bedroeg 6 % van het Grevelingenmeer, de oorzaak kan worden toegeschreven aan het langdurige zeer warme weer met een watertemperatuur aan het oppervlak van 22.9°C (GTSO & bijlage 13) in combinatie met weinig wind (KNMI, 1995).

.....

4.6 Nutriënten

Het verloop van de concentratie van de verschillende nutriënten de afgelopen jaren is bestudeerd aan de hand van de maandelijkse routine-metingen van de afgelopen 15 jaar.

Voor deze gegevens zijn geen vaste meetpunten aanwezig voor frequentere bepaling van het verloop in de concentraties hiervan.

4.6.1 Concentratieverloop 1980-1995

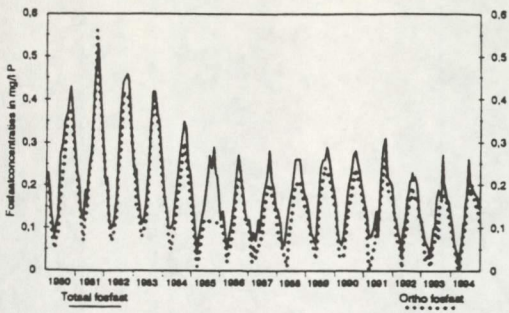
In figuur 4 is het concentratie verloop van fosfaat, nitriet + nitraat, ammonium en silicium van 1980 tot en met 1994 weergegeven. Figuur 5 geeft het gemiddelde van het jaarverloop van de concentratie van deze stoffen weer over de periode 1980 tot en met 1984 en de periode 1985 tot en met 1994. Figuur 6 is een weergave van de trend aan de hand van de kwartaalgemiddelden van de jaren 1980 tot en met 1994. Deze gegevens zijn alle afkomstig van GM40 (uitgewerkt door G.Wattel).

Het concentratieverloop van de bovengenoemde nutriënten in figuur 4 lijkt de afgelopen jaren een dalend trend te vertonen wat betreft de fosfaat- en de siliciumconcentratie.

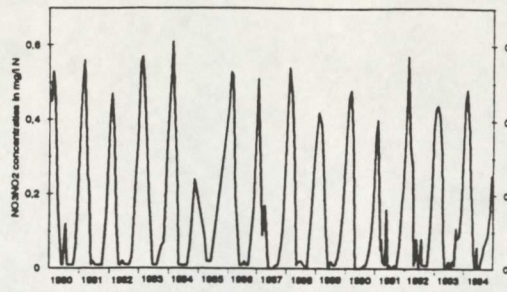
De ammonium- en de nitriet + nitraatconcentratie lijken een minder sterk dalend verloop in de jaren te hebben. Figuur 5 en 6 bevestigen deze waarneming, de gemiddelden van de periode 1980 t/m 1984 zijn allen hoger dan die voor de periode 1985 t/m 1994. De uit de meetwaarden berekende trend wijst op een afname van de concentratie van de nutriënten. Hierbij is de afname voor de fosfaatconcentratie het grootst. De berekende kwartaalgemiddelden van het totaal fosfaat nemen af van ± 0.27 mg/l tot ± 0.15 mg/l en die van het ortho fosfaat van ± 0.23 tot ± 0.1 mg/l (dit is als maximale waarde in het beleid vastgesteld). De siliciumconcentratie neemt af van ± 0.42 mg/l tot ± 0.25 mg/l in de periode 1980 tot en met 1994.

Het beleid streeft naar een maximale waarde voor nitriet en nitraat van 0.15 mg/l (Oorthuijsen en Iedema 1992). Het kwartaalgemiddelde neemt af van ± 0.2 mg/l in 1980 naar een waarde onder 0.15 mg/l in 1994. Het ammoniumgehalte neemt in deze periode af van ongeveer 0.07 naar ongeveer 0.05 mg/l.

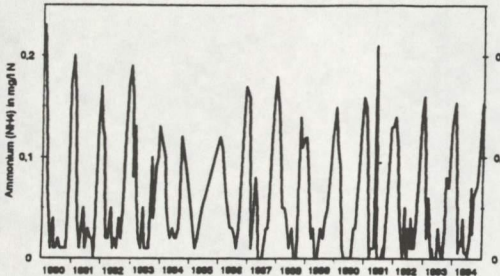
Fosfaatconcentraties



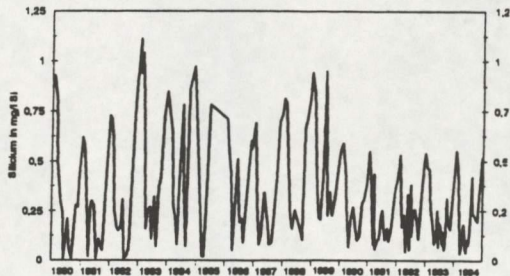
Nitriet + nitraatconcentraties



Ammoniumconcentraties

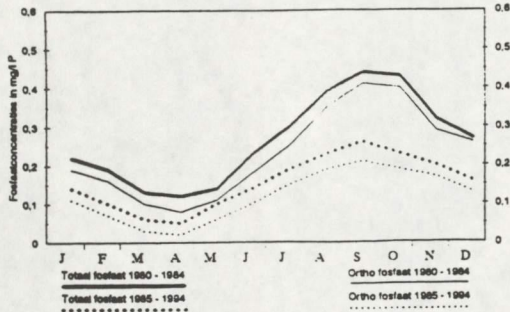


Siliciumconcentraties

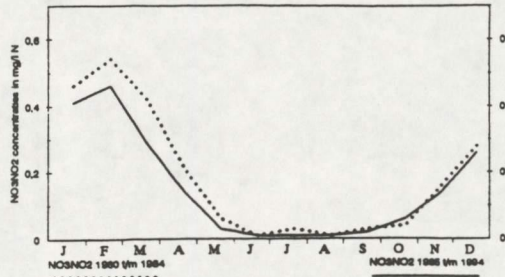


figuur 4

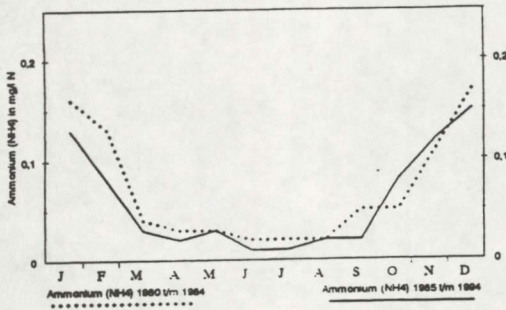
Fosfaatconcentraties



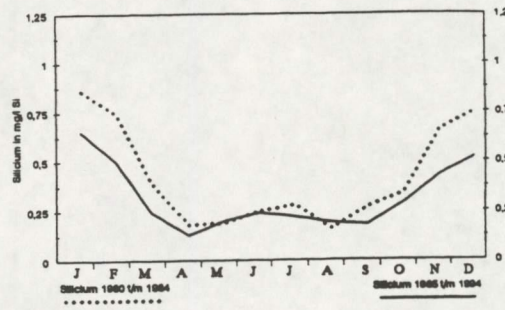
Nitriet + nitraatconcentraties



Ammoniumconcentraties

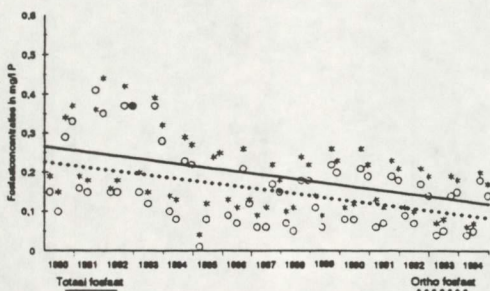


Siliciumconcentraties

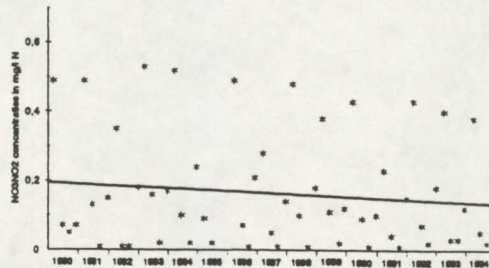


figuur 5

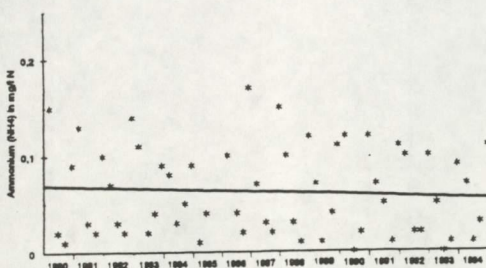
Fosfaatconcentraties



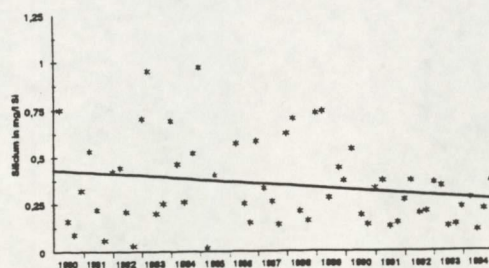
Nitriet + nitraatconcentraties



Ammoniumconcentraties



Siliciumconcentraties



figuur 6



4.6.2 Concentratieverloop in de periode oct t/m dec

Uit de routinemetingen van meetpunt GM80 blijkt dat de waarden voor ammonium, orthofosfaat en silicium op de bodem een stijging vertonen. De metingen op de bodem, die alleen uitgevoerd zijn in de periodes '80 t/m '84 en '92 t/m '94, vertonen een verschillend verloop. Voor alle drie de nutriënten zijn de waarden in de eerste periode duidelijk lager dan in de tweede.

Een verklaring hiervoor zou de (eventueel) toegenomen wintertemperatuur op de bodem van de put bij GM80 kunnen zijn. De bodemtemperatuur lijkt in de winter de laatste drie jaren hoger dan begin jaren tachtig. Door de hogere temperatuur op deze diepte kan er meer fosfaat worden gemobiliseerd en zal de afbraak van organisch materiaal sneller verlopen (Koole, 1995).

De concentratie van de drie nutriënten op de bodem heeft een overeenkomstig verloop gedurende het jaar. De concentraties van deze nutriënten beginnen omstreeks de maand mei af te wijken van de concentraties aan het oppervlak (bijlage 20 t/m 22). Dit verschil neemt toe tot een maximum omstreeks augustus/september om vervolgens abrupt af te nemen tot het niveau aan het oppervlak.

Dit verschil was in de jaren '80 tot en met '84 ook aanwezig, maar was veel minder groot (bijlage 20 t/m 22).

De abrupte afname vindt voor de drie nutriënten omstreeks de tijd dat de sluis open gaat plaats, na een nauwkeurige bepaling blijkt dat de daling in 1992 tussen de metingen van 5/10 en die van 3/11 plaats hebben gevonden. De Brouwerssluis ging in 1992 na de concentratieafname, op 4/11 open.

In 1993 is de sluis op 26/10 geopend, voor het orthofosfaat heeft de grootste daling tussen 9/11 en 8/12 plaatsgevonden, de concentratie ammonium nam het sterkst af tussen de metingen van 6/9 en 5/10. Voor het siliciumgehalte is dit door het ontbreken van een meetwaarde niet duidelijk (tussen 5/10 en 8/12).

In 1994 zijn voor alledrie de stoffen de grootste afname tussen 31/10 en 30/11 waargenomen, de sluis is in 1994 op 16/11 geopend, hier kan er wel invloed van het openen van de sluis zijn.

De temperatuurafname in het najaar kan ook invloed hebben op de concentratieafname. Om de reden van de sterke concentratie afname beter te verklaren zullen meer metingen nodig zijn.



5 Conclusies & Aanbevelingen

.....

5.1 Algemeen

Stratificatie

In de periode oktober tot en met december is in de afgelopen vijf jaar geen stabiele stratificatie opgetreden. De stratificatieverschijnselen die optraden vertoonden een patroon waarin de temperatuurs afname gepaard ging met een afname in het zuurstofgehalte (in alle gevallen). Bij een sterke chloridegradiënt was er geen (van de 13 dagen waarop dit plaats vond) gelijktijdig aanwezige daling in zuurstofgehalte en temperatuur.

De afgelopen jaren is slechts eenmaal sprake geweest van een te groot zuurstofloos oppervlak en dit viel samen met extreme hoge temperaturen en lage windsnelheid.

In de periode oktober tot en met december is er één keer een sterke gradiënt in het chloridegehalte waargenomen die kan duiden op een spronglaag. Hierbij was geen afname in temperatuur- of zuurstofgehalte waar te nemen.

Het uitwisselen van water in het najaar via de Brouwerssluis lijkt de afgelopen vijf jaar niet van invloed te zijn op het ontstaan van een spronglaag op een geringere diepte dan 15 meter.

Chloride

Het chloridegehalte is in de afgelopen vijf jaar van ongeveer 18 g/l naar een gehalte van ongeveer 16 g/l gedaald. Deze afname is voornamelijk het gevolg van enkele sterke dalingen, opgetreden binnen enkele maanden. Hier lag de combinatie van de hoeveelheid neerslagoverschot, het chloridegehalte op de Noordzee en het sluisbeheer aan ten grondslag.

De dalingen hebben zich, wanneer de periodes 2 tot en met 5 bij elkaar opgeteld worden, in 10 maanden afgespeeld. Hiervan is de sluis bijna 7 maanden (\pm 209 dagen) dicht geweest. De mate waarin deze dalingen voorkomen hadden kunnen worden door meer uit te wisselen is niet duidelijk, omdat de jaren dat er geen daling in het chloridegehalte aanwezig is (najaar '88, '89 & '90) er niet meer is uitgewisseld dan in de overige jaren (tabel 1), maar de hoeveelheid neerslag gedurende deze jaren duidelijk minder was (Koole, 1995). Er zijn geen gegevens aanwezig van een jaar dat er metingen verricht worden op BOM1 en er optimaal uitgewisseld



Het feit dat de sluis in de periode oktober tot en met december gemiddeld 66.4 dagen gesloten is geweest heeft hier aan bijgedragen.

Na januari '95 is de concentratie Cl⁻ beneden de 16 g/l gekomen, dit is mede een gevolg van het uitwisselen van water met de Noordzee dat een laag chloridegehalte had.

Van de drie factoren die tot een verlaging van het chloridegehalte geleid hebben zijn 2 niet beïnvloedbaar. Een adequater sluisbeheer (m.b.t. concentratie chloride Noordzee) en een afname in het aantal gesloten dagen kan leiden tot een hoger chloridegehalte. De afhankelijkheid van de twee andere factoren is echter groot.

De temperatuur

Uitgaande van de GTSO metingen op alle drie de meetpunten vertoont de minimumtemperatuur een steigend patroon de afgelopen vijf jaar. Wanneer de metingen op BOM1 worden bestudeerd is van deze temperatuursstijging (0.5 en 4.5 meter onder NAP) niets zichtbaar.

De invloed van het opengaan van de sluis is zichtbaar in een stijging van de temperatuur, doordat de watertemperatuur op de Noordzee omstreekt deze tijd hoger is dan die van het Grevelingenmeer. Na opening van de sluis is er geen verschil meer tussen de watertemperatuur op de Noordzee en het Grevelingenmeer.

Het sluisbeheer in het najaar lijkt op de in de zomer onstane temperatuurgradiënt weinig invloed te hebben, omdat deze in de meeste gevallen voordat de sluis open gezet wordt (waarschijnlijk door afkoeling van het meer) al verdwenen is.

Het zuurstofgehalte

De afgelopen vijf jaar vertoont het zuurstofgehalte een zelfde beeld met uitzondering van de zomer van 1994. De invloed van het sluisbeheer op het ontstaan van een gradiënt van het zuurstofgehalte lijkt echter niet aanwezig, omdat dit slechts midden in de zomer opgetreden is en in alle gevallen zonder relatie met het chloridegehalte. De gradiënt in het zuurstofgehalte die zichtbaar is op meetpunt GM80 is de afgelopen vijf jaar naar een grotere diepte gezakt voor de sluis geopend was. De invloed van afkoeling van het meer en menging door windinvloed lijkt hieraan ten grondslag te liggen.



Het nutriëntengehalte

De kwartaalgemiddelde concentratie van de nutriënten fosfaat, nitriet + nitraat, ammonium en silicium vertoont een dalende trend over de periode 1980-1994. Vooral het fosfaat en silicium nemen sterk af.

Het kwartaalgemiddelde daalt voor orthofosfaat van ± 0.23 tot ± 0.10 mg/l (0.10 mg/l is als maximale waarde in het beleid vastgesteld). De stikstof (nitriet + nitraat) kwartaalgemiddelden nemen af van ± 0.2 mg/l in 1980 naar een waarde onder 0.15 mg/l in 1994. In het beleid is 0.15 mg/l als streefwaarde vastgesteld.

Voor de nutriënten orthofosfaat, ammonium, en silicium op de bodem is in het voorjaar een sterke concentratie toename zichtbaar die in mei begint en in het najaar weer afneemt tot de concentratie aan het oppervlak. Een relatie met het sluisbeheer is niet duidelijk aanwezig. In 1992 is de concentratieafname voor de sluis geopend wordt al zichtbaar, in 1993 was duidelijk dat de afname voor orthofosfaat en ammonium niet plaatsvond vlak na opening van de sluis. In 1994 werd de afname in concentratie voor de drie nutriënten wel de maand na opening van de sluis geconstateerd.



.....
5.2 Eindconclusie en Aanbevelingen

De parameter die de afgelopen vijf jaar een van het gewenste beleid afwijkend beeld vertoonde, mede als gevolg van het sluisbeheer is de chlorideconcentratie van het Grevelingenmeer.

Hier moet aan toe gevoegd worden dat wanneer de voorgestelde sluiting van 45 dagen gerealiseerd zal worden dit een reductie van 21 dagen sluiting betekent bij consequente uitvoering.

Voor de overige bestudeerde parameters in het Grevelingenmeer, stratificatie, zuurstofgehalte, temperatuur en nutriënten, zijn de afgelopen vijf jaar als gevolg van het gevoerde operationele sluisbeheer, geen duidelijke negatieve gevolgen geconstateerd.

Aanbevelingen

Het reageren van het sluisbeheer ten aanzien van veranderingen in de fysische omstandigheden in de Noordzee zou sneller kunnen. Wanneer er afgeweken wordt van het beleid is het aan te raden contact met de verschillende afdelingen hierover te hebben en in ieder geval een motivatie hiervoor vast te leggen.

De sluis zou dicht moeten gaan bij een chloridegehalte onder de 16 mg/l. Op de sluis is een marge van 1½ g/l boven of onder het chloridegehalte van het Grevelingenmeer ingesteld. Dit leidt tot het inlaten van water met een laag chloridegehalte, hetgeen bij heeft gedragen tot een daling van het chloridegehalte .

Een sluisbeheer wat in plaats van door strikte dagen of periodes van het jaar geregeld is door middel van de (fysische & chemische) omstandigheden, kan wellicht tot betere resultaten leiden. Hierbij zijn factoren als het verschil tussen de situatie in het Grevelingenmeer en de Noordzee belangrijk. Temperatuur, chloridegehalte, zuurstofgehalte, en dichtheid zijn variabelen die hierbij gebruikt kunnen worden. De algehele weersgesteldheid, als wind, neerslag, verdamping, temperatuur en dergelijke zijn eveneens belangrijk. Het uitbreiden van de uitwisselperiode in het voorjaar (mits de bovengenoemde factoren dat toelaten) kan ook een te bestuderen optie zijn.

De GTSO metingen geven een duidelijk beeld van een momentsituatie in de diepte. Weergave van veranderingen in de tijd vereist een frequentere meting. Om meer inzicht in de processen die zich in het Grevelingenmeer afspelen te krijgen, zou het intensiever uitvoeren van de vaartochten of de routinemetingen (van het RIKZ) aan te bevelen zijn. Met name in de periodes wanneer er een hoog risico op stratificatie is, of vlak na openen van de Brouwerssluis.



Literatuur:

Holland, A.B.M., 1991.

Nota Waterbeheer Grevelingenmeer 1980-1990

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 1972. Klimaatatlas van Nederland.

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 1988 t/m 1995. Maandoverzicht van het weer in Nederland.

Koole, R., 1995. Stratificatie in het Grevelingenmeer en de gevolgen daarvan voor de zuurstof- en nutriëntenhuishouding. Werkdocument RIKZ/AB-95 828X.

Niesing, H., 1995 Wateruitwisselingsbeheer van de Brouwerssluis in de periode november 1987 - mei 1995. AX 95.046.

Oorthuijsen, W en C.W. Iedema, 1992. Analyse Waterbeheer Grevelingenmeer. Onderbouwing voor het waterhuishoudkundig beheer Grevelingenmeer. Nota Rijkswaterstaat directie Zeeland, AX 92.036.

Santbergen, L.L.P.A., 1993. Regionota Zeeuwse Rijkswateren 1993-1996. Nota Rijkswaterstaat directie Zeeland, AX 93.091.

WTZ, database, hoog- en laagwaterstanden registratie van de BG8 1988 t/m 1994.