

Nota GWWS-91.086

Waterbeheer Grevelingenmeer 1980-1990



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Dienst Getijdewateren



cg9ub

NOTA GWWS-91.086

WATERBEHEER GREVELINGENMEER 1980-1990

auteur: A.M.B. Holland

datum: 25 juli 1991

Samenvatting:

Het resultaat van het waterbeheer van het Grevelingenmeer in de periode 1980 tot 1990 wordt in deze nota beschreven. Het is een evaluatie van de ecologische ontwikkelingen in het water en de waterbodem. Na beschrijving van het plangebied wordt de toestand van het water per jaar gegeven aan de hand van: fysische parameters, stratificatie, concentraties in het water en de waterbodem en van biologische toestandsvaariabelen. Vervolgens worden de ontwikkelingen daarin geëvalueerd. Daarna volgt een bespreking van de functies en de waterkwaliteitsdoelstellingen en worden deze getoetst. Er wordt besloten met het doen van aanbevelingen voor beleid, beheer, onderzoek en monitoring.

Errata INHOUDSOPGAVE

1.	SAMENVATTING	7
2.	INLEIDING.....	10
3.	PLANGEBIED.....	13
4.	HUIDIGE BEHEER.....	14
4.1.	Waterbeheer	14
4.2.	Gebiedsbeheer	15
5.	DE TOESTAND VAN HET GREVELINGENMEER VAN 1980 TOT 1990.....	16
5.1.	Fysische toestand.....	16
5.2.	Stratificatie	17
5.2.1.	Zuurstofloos bodemoppervlak	18
5.2.2.	De 7 mg O ₂ /l dieptelijn.....	18
5.3.	Concentraties in het water	19
5.3.1.	Nutriënten en algemene stoffen.....	19
5.3.2.	Zware metalen	20
5.3.3.	Organische microverontreinigingen	20
5.3.4.	Organotinverbindingen, derivaten van tributyltin, TBT.....	23
5.4.	Concentraties in de bodem.....	24
5.4.1.	Bodemsamenstelling	24
5.4.2.	Bodemkwaliteit; zware metalen	27
5.4.3.	(An)organische microverontreinigingen in bodems van havens	28
5.5.	Biologische toestand	29
5.5.1.	Water: plantaardig en dierlijk plankton, vissen en vogels	29
5.5.2.	Bodem: wieren, zeegrassen, bodemdieren	37
6.	DE BELASTING OP HET MEER DOOR POLDERLOZINGEN EN NEERSLAG	43
7.	RELATIES TUSSEN DE ONTWIKKELINGEN IN ABIO- TISCHE EN BIOTISCHE TOESTANDSVARIABLEN	44
7.1.	Processen in het water	44
7.1.1.	Het nutriëntenverloop in de evaluatieperiode	44
7.1.2.	Zwevend stof-, doorzicht-, temperatuurontwikkeling	51
7.1.3.	De ontwikkeling in de chlorofylconcentratie.....	52
7.1.4.	Zuurstofhuishouding	52
7.2.	Processen in de bodem	53
7.3.	Processen gerelateerd aan flora en fauna.....	55
7.4.	Morfologische ontwikkelingen.....	58
8.	FUNCTIES EN FUNCTIEGERICHTE WATERKWALITEITS- DOELSTELLINGEN EN DE TOETSING DAARVAN.....	60
9.	AANBEVELINGEN TEN AANZIEN VAN BELEID, BEHEER, ONDERZOEK EN MONITORING.....	64
10.	LITERATUUR	66

BIJLAGEN

Bijlage 1. Zware metalen gehalten in de bodem van het Grevelingenmeer	69
Bijlage 2. Waterbalans Grevelingenmeer, 1980-1990.....	71
Bijlage 3. Nutriëntenhuishouding Grevelingenmeer	73

FIGUREN

Figuur 1. Van Grevelingen naar Grevelingenmeer	
Figuur 2. Lokaties van vertikaalmetingen en oesterpercelen in het Grevelingenmeer	
Figuur 3. Het percentage zuurstofloze en zuurstofarme bodemoppervlak in het Grevelingenmeer	
Figuur 4. Diepteligging van de 7 mg O ₂ /l isopleet	
Figuur 5. Slibgehalte (% < 16 micron) bodem Grevelingenmeer	
Figuur 6. Particulair organisch koolstofgehalte bodem Grevelingenmeer	
Figuur 7. Kalkgehalte bodem Grevelingenmeer	
Figuur 8. Korrelgrootte-verdeling bodem Grevelingenmeer	
Figuur 9. Scholpopulatie in het Grevelingenmeer	
Figuur 10. Aantallen broedvogels in het Grevelingenmeer	
Figuur 11. Vogeldagen plantenetende vogels in het Grevelingenmeer	
Figuur 12. Vogeldagen visetende vogels in het Grevelingenmeer	
Figuur 13. Vogeldagen zoöbenthosetende vogels in het Grevelingenmeer	
Figuur 14. Biomassa zeegras Grevelingenmeer	
Figuur 15. Verspreiding zeegras <i>Zostera marina</i> Grevelingenmeer in 1978	
Figuur 16. Verspreiding zeegras <i>Zostera marina</i> Grevelingenmeer in 1989	
Figuur 17. Benthos Grevelingenmeer per soortgroep	
Figuur 18. Biomassa bodemdieren Grevelingenmeer	
Figuur 19. Benthos Grevelingenmeer per dieptestratum	
Figuur 20. Ammonium	
Figuur 21. Ammonium trend	
Figuur 22. Nitriet+nitraat	
Figuur 23. Nitriet+nitraat trend	
Figuur 24. Ortho-fosfaat	
Figuur 25. Ortho-fosfaat trend	
Figuur 26. Silicaat (reactief)	
Figuur 27. Silicaat trend	
Figuur 28. Watertemperatuur	
Figuur 29. Watertemperatuur trend	
Figuur 30. Chlorofyl-a	
Figuur 31. Chlorofyl-a trend	
Figuur 32. Ortho-fosfaat trends per periode	
Figuur 33. Zwevend stof trend	
Figuur 34. Doorzicht trend	
Figuur 35. Percentage POC in de bodem van het Grevelingenmeer	
Figuur 36. Relatie slib-/POC-gehalte in de bodem van het Grevelingenmeer	
Figuur 37. Oeververdedigingen Grevelingenmeer	

INHOUDSOPGAVE

1.	SAMENVATTING	7
2.	INLEIDING	10
3.	PLANGEBIED	11
4.	HUIDIGE BEHEER	12
4.1.	Waterbeheer	12
4.2.	Gebiedsbeheer	13
5.	DE TOESTAND VAN HET GREVELINGENMEER VAN 1980 TOT 1990	14
5.1.	Fysische toestand	14
5.2.	Stratificatie	15
5.2.1.	Zuurstofloos bodemoppervlak	16
5.2.2.	De 7 mg O ₂ /l dieptelijm	16
5.3.	Concentraties in het water	17
5.3.1.	Nutriënten en algemene stoffen	17
5.3.2.	Zware metalen	19
5.3.3.	Organische microverontreinigingen	19
5.3.4.	Organotinverbindingen, derivaten van tributyltin, TBT	21
5.4.	Concentraties in de bodem	22
5.4.1.	Bodemsamenstelling	22
5.4.2.	Bodemkwaliteit; zware metalen	23
5.4.3.	(An)organische microverontreinigingen in bodems van havens	23
5.5.	Biologische toestand	24
5.5.1.	Water: plantaardig en dierlijk plankton, vissen en vogels	24
5.5.2.	Bodem: wieren, zeegrassen, bodemdieren	28
6.	DE BELASTING OP HET MEER DOOR POLDERLOZINGEN EN NEERSLAG	32
7.	RELATIES TUSSEN DE ONTWIKKELINGEN IN ABIO- TISCHE EN BIOTISCHE TOESTANDSVARIABLEN	33
7.1.	Processen in het water	33
7.1.1.	Het nutriëntenverloop in de evaluatieperiode	33
7.1.2.	Zwevend stof-, doorzicht-, temperatuurontwikkeling	36
7.1.3.	De ontwikkeling in de chlorofylconcentratie	37
7.1.4.	Zuurstofhuishouding	37
7.2.	Processen in de bodem	38
7.3.	Processen gerelateerd aan flora en fauna	40
7.4.	Morfologische ontwikkelingen	43
8.	FUNCTIES EN FUNCTIEGERICHTE WATERKWALI- TEITSDOELSTELLINGEN EN DE TOETSING DAARVAN	45
9.	AANBEVELINGEN TEN AANZIEN VAN BELEID, BEHEER, ONDERZOEK EN MONITORING	49
10.	LITERATUUR	51

BIJLAGEN

Bijlage 1. Zware metalen gehalten in de bodem van het Grevelingenmeer	54
Bijlage 2. Waterbalans Grevelingenmeer, 1980-1990.....	55
Bijlage 3. Nutriëntenhuishouding Grevelingenmeer	56

FIGUREN

Figuur 1. Van Grevelingen naar Grevelingenmeer	
Figuur 2. Lokaties van vertikaalmetingen en oesterpercelen in het Grevelingenmeer	
Figuur 3. Het percentage zuurstofloze en zuurstofarme bodemoppervlak in het Grevelingenmeer	
Figuur 4. Diepteligging van de 7 mg O ₂ /l isopleet	
Figuur 5. Slibgehalte (% < 16 micron) bodem Grevelingenmeer	
Figuur 6. Particulair organisch koolstofgehalte bodem Grevelingenmeer	
Figuur 7. Kalkgehalte bodem Grevelingenmeer	
Figuur 8. Korrelgrootte-verdeling bodem Grevelingenmeer	
Figuur 9. Scholpopulatie in het Grevelingenmeer	
Figuur 10. Aantallen broedvogels in het Grevelingenmeer	
Figuur 11. Vogeldagen plantenetende vogels in het Grevelingenmeer	
Figuur 12. Vogeldagen visetende vogels in het Grevelingenmeer	
Figuur 13. Vogeldagen zoöbenthosetende vogels in het Grevelingenmeer	
Figuur 14. Biomassa zeegras Grevelingenmeer	
Figuur 15. Verspreiding zeegras <i>Zostera marina</i> Grevelingenmeer in 1978	
Figuur 16. Verspreiding zeegras <i>Zostera marina</i> Grevelingenmeer in 1989	
Figuur 17. Benthos Grevelingenmeer per soortgroep	
Figuur 18. Biomassa bodemdieren Grevelingenmeer	
Figuur 19. Benthos Grevelingenmeer per dieptestratum	
Figuur 20. Ammonium	
Figuur 21. Ammonium trend	
Figuur 22. Nitriet+nitraat	
Figuur 23. Nitriet+nitraat trend	
Figuur 24. Ortho-fosfaat	
Figuur 25. Ortho-fosfaat trend	
Figuur 26. Silicaat (reactief)	
Figuur 27. Silicaat trend	
Figuur 28. Watertemperatuur	
Figuur 29. Watertemperatuur trend	
Figuur 30. Chlorofyl-a	
Figuur 31. Chlorofyl-a trend	
Figuur 32. Ortho-fosfaat trends per periode	
Figuur 33. Zwevend stof trend	
Figuur 34. Doorzicht trend	
Figuur 35. Percentage POC in de bodem van het Grevelingenmeer	
Figuur 36. Relatie slib-/POC-gehalte in de bodem van het Grevelingenmeer	
Figuur 37. Oeververdedigingen Grevelingenmeer	

TABELLEN

Tabel 1.	Afmetingen Grevelingenmeer	16
Tabel 2.	Debieten van de waterbalans van het Grevelingenmeer	17
Tabel 3.	Zuurstofloze bodemoppervlak in ha., 1980 -1988	18
Tabel 4.	Waterkwaliteitskenmerken van het Grevelingengenmeer 1980 t/m 1989	20
Tabel 5.	Zware metalen concentraties in het water van het Greve- lingenmeer	21
Tabel 6.	Fenol ($\mu\text{g/l}$) in het water van het Grevelingenmeer	22
Tabel 7.	Tribuyltingehalten in ng Sn/l in havens Grevelingenmeer	23
Tabel 8.	Gemiddelde (\bar{x}) en standaardafwijking (s) van bodemparame- ters	27
Tabel 9.	Zware metalengehalten in microgram per gram bodemsedi- ment	27
Tabel 10.	Klassifikatie van de bodems van havens in het Grevelingen- meer	28
Tabel 11.	Chlorofyl-a concentratie Grevelingenmeer 1980 t/m 1989	29
Tabel 12.	Omvang van de vogelpopulatie in het Grevelingenmeer in 1989 en het relatieve aandeel broedvogels op het totaal van het Deltagebied	34
Tabel 13.	Oppervlak, productie en biomassa van groot zee gras	38
Tabel 14.	Organische microverontreinigingen in enige organismen in 1981	42
Tabel 15.	Polderlozingen, neerslag en afstroming op het Grevelingenmeer	43
Tabel 16.	Procentuele verhouding van de belastingen	43
Tabel 17.	Veranderingen in bodemsamenstelling tussen 1979 en 1989	54
Tabel 18.	Voortplantingssucces van de belangrijkste molusken	56
Tabel 19.	Afname droog gebied door oevererosie	59
Tabel 20.	Monitoringprogramma chemische en biologische kwaliteits- kenmerken van het Grevelingenmeer vanaf 1990	65

1. SAMENVATTING

Het Grevelingenmeer is een zoutwatermeer, ontstaan door aanleg van twee dammen tussen de eilanden Schouwen-Duiveland en Goeree-Overflakkee. In de westelijk gelegen Brouwersdam is een sluis gebouwd, de Brouwerssluis, waarmee het meerwater uitgewisseld wordt met het kustwater. Het stagnante Grevelingenmeer heeft sinds 1979 een stabiel en hoog zoutgehalte, dank zij een consistent uitgevoerd beheer. In dit evaluatierapport wordt ingegaan op de ontwikkelingen in een periode van tien jaar: van 1980 tot en met 1989.

Het belangrijkste stuurmiddel voor het waterbeheer is de Brouwerssluis.

De speciaal voor dit doel gebouwde sluis laat Noordzeewater cyclisch in en uit, met een gemiddeld debiet van 25 m³ per seconde.

Het uitwisselen van water met de Noordzee is beperkt tot de winterperiode, van 1 oktober tot 1 maart. Bij het inlaten van Noordzeewater 'zomers is namelijk de kans groot, dat stratificatie wordt versterkt en uitgebreid.

Door het gevoerde beheer is het effect van stratificatie beperkt gebleven tot een aanvaardbaar geachte omvang. Met dat effect wordt bedoeld: zuurstofloosheid in de diepe delen van het meer en het daarmee overeenkomend bodemoppervlak.

Aan de watersysteemdoelstellingen zwemwater en schelpdierwater werd in de evaluatieperiode voldaan. De toetsing is echter voor verbetering vatbaar.

De toestand van het watersysteem Grevelingenmeer en de ontwikkelingen daarin waren in de evaluatieperiode als volgt:

- * Afgezien van lokale, kleine veranderingen is de fysische toestand van het Grevelingenmeer niet veranderd.
- * Door oevererosie is een oppervlakte droog gebied van tenminste 63 ha. (2%) onder water verdwenen in de tien jaar durende evaluatieperiode. Dit gaat nog door, met afnemende snelheid.
- * De zoetwaterbelasting over de jaren is onveranderd en wordt, als gevolg van meteorologische invloeden, gekenmerkt door grote fluctuaties.
- * De nutriëntenbelasting via het polderwater is onveranderd. De fluctuaties zijn kleiner dan die van de zoetwater belasting.
- * Het relatief grootste oppervlak zuurstofloze bodem (4%) werd bereikt in de zomers van 1983 en 1986, in de andere zomers varieerde het tussen 0,5% en 2,5%. (Een oppervlak van 5% wordt geacht aanvaardbaar te zijn).
- * Er zijn aanwijzingen dat de jaargemiddelde concentratie van de volgende stoffen in het Grevelingenwater in de periode 1980 t/m 1989 trendmatig is veranderd.
- * De jaargemiddelde oppervlakterwatertemperatuur is van 10,5 naar 11°C gestegen.
- * De zuurgraad is van 8,4 naar 8,2 gedaald.
- * De gesommeerde nitraatstikstof concentratie en nitrietstikstof concentratie daalde van 0,24 naar 0,12 mg N/l.
- * De orthofosfaatconcentratie is afgenomen van 0,22 naar 0,11 mg P/l.
- * De siliciumconcentratie is gestegen van 0,39 tot 0,45 mg Si/l.
- * Het doorzicht is toegenomen van 37 naar 48 dm. De zwevend stof concentratie zal dienovereenkomstig afgenomen zijn. Door het ont-

breken van een deel van de gegevens kan daarover geen conclusie worden getrokken.

Er zijn verschuivingen opgetreden in het seizoensverloop van stikstof- en siliciumcomponenten. Dit is mogelijk het gevolg van een ander temperatuursverloop.

Koude winters blijken van invloed te zijn op de fosfaatnalevering vanuit de bodem aan het water. Het seizoensverloop verandert niet zozeer, wel de concentraties in het water.

Het Grevelingenmeer ontwikkelt zich tot een steeds minder voedselrijk meer. Dat komt doordat er een grotere hoeveelheid nutriënten uit het meer verdwijnt, dan er wordt aangevoerd. Er zijn geen aanwijzingen dat hogere trofieniveau's daardoor onvoldoende tot ontwikkeling kunnen komen.

- * Het gehalte POC (particulair organisch koolstof) in de bodem was in 1989 significant lager dan in 1979.
- * Het kalkgehalte in de bodem is in die tien jaar significant toegenomen. In de nota wordt uitgelegd in welke mate dat een gevolg is van menselijk handelen.
- * In de diepe putten in de omgeving van de Brouwerssluis zal het kalk- en het slibgehalte in de bodem toe blijven nemen door bezinking van dit particuliere materiaal.
- * De concentraties zware metalen in het water zijn bijzonder laag. In een aantal gevallen wordt de detektielgrens bereikt. In een aantal andere gevallen komt de concentratie uit op de referentiewaarde (achtergrondswaarde) van de Noordzee. Alleen arseen, koper en nikkel zijn ten opzichte van de achtergrondswaarde verhoogd. Arseen door nalevering uit de bodem (analogie met fosfaat). De koper- en nikkelconcentratie komen overeen met de (verhoogde) concentraties in het kustwater.
- * De concentraties van de meeste organische microverontreinigingen waren laag. De meetfrequentie was mede daarom laag. Het fenolgehalte is in de evaluatieperiode afgenomen.
- * De probleemstof in het Grevelingenmeer is het TBT, tributyltin en aanverwante verbindingen. Lokaal (in de jachthavens) komen concentraties voor die ruim tweehonderd maal hoger zijn dan het, door DGW gehanteerde, no-effect level van 10 nanogram Sn/l. De Amerikaanse norm is overigens 1 nanogram Sn/l.

De bodemkwaliteit van enkele diepe putten komt op klasse 2 uit door de concentratie van arseen en zink. De bodems van havens blijken in enkele gevallen sterk verontreinigd te zijn, klasse 3 en 4.

Er zijn, door het ontbreken van waarnemingen, geen veranderingen in biomassa en soortensamenstelling van het fyto- en zoöplankton vast te stellen.

Op het hogere trofie-niveau zijn wel veranderingen waargenomen.

De wervevegetatie strekt zich door de hoge helderheid dieper uit dan tien jaar geleden. Het bruinwier komt nu veel meer voor.

Ook het Japans bessenwier (een andere bruinwiersoort) kent sinds zijn verschijning in 1980 een ruime verspreiding in het meer. Het groot zee-gras is de laatste jaren qua biomassa en oppervlak bodembedekking sterk afgenomen, mogelijk als gevolg van inteelt.

Bij de bodemdieren is een verschuiving in de biomassaverdeling opgetreden. Het muiltje is in biomassa verdubbeld, terwijl de biomassa van de mossel is gehalveerd. Sommige soorten bodemdieren komen aan het eind van de evaluatieperiode op grotere diepte voor.

Bij de bodemvissen is een herverdeling van de bezetting door grondels opgetreden. Was eerst het dikkopje dominant, nu is dat de zwarte grondel.

De aalstand is afgenomen, dat blijkt uit vangsten door beroepsvissers.

De analyse van de ontwikkelingen in het Grevelingenmeer in de evaluatieperiode geven aanleiding tot de volgende aanbevelingen.

- * Overwogen moet worden aan het Grevelingenmeer, of delen daarvan, de ecologische doelstelling van het hoogste niveau toe te kennen.
- * Het huidig waterbeheer kan gehandhaafd blijven, waarbij verlenging van de uitwisselperiode tot de mogelijkheden behoort.
- * Om het waterbeheer te kunnen optimaliseren moeten de metingen van debiet en waterkwaliteit op de Brouwerssluis worden verbeterd.
- * Onderzoek naar de omvang van de primaire productie is zinvol. Bepaling van de biomassa en soortensamenstelling van de voedselketen is nodig.
- * Er moet onderzocht worden wat het effect is van anti-fouling middelen in jachtlakken, zowel de inmiddels verboden organotin-verbindingen als de koper-verbindingen of andere stoffen die zijn toegestaan.
- * Monitoring van waterkwaliteitsparameters moet uitgebreid worden met bodemparameters en organismen.

2. INLEIDING

Een evaluatierapport is bedoeld de effecten van het gevoerde beheer en autonome ontwikkelingen, die plaats hebben gevonden tijdens het beheer, inzichtelijk te maken. Een evaluatierapport wordt daarom met eenzelfde frequentie gemaakt als waarmee de plannen worden bijgesteld: ongeveer éénmaal in de vijf à tien jaar.

Het evaluatierapport van het Grevelingenmeer bevat een beschrijving en een verklaring van de ontwikkelingen, alsmede een toetsing van de toestand van het watersysteem aan watersysteemdoeleltellingen in de tienjarige periode, van 1980 tot en met 1989.

De beschrijving van de ontwikkelingen steunt op meetreeksen van waterkwaliteitskenmerken die worden opgebouwd door middel van periodieke metingen door Rijkswaterstaat. Daarnaast is er gebruik gemaakt van de onderzoeksresultaten die door andere instituten op eigen initiatief of in opdracht van Rijkswaterstaat zijn gepubliceerd. Een projectgroep van Dienst getijdewateren, geheten STASYS*G (Stagnante Systemen, Grevelingenmeer), heeft de noodzakelijke onderbouwende informatie aangeleverd.

Voor dit eerste evaluatierapport is gekozen voor een periode van tien jaar die begint op 1 januari 1980 en eindigt op 31 december 1989. Om de volgende redenen betreft de evaluatie die periode:

1. Vóór 1979 was het Grevelingenmeer een afgesloten stagnant zout meer waarin het chloridegehalte, als gevolg van het neerslagoverschot, steeds verder daalde. In december 1978 werd de Brouwerssluis in gebruik genomen. Het hele jaar 1979 heeft die sluis open gestaan om het chloridegehalte in het meer te verhogen. In maart 1980 is de sluis gedurende de zomerperiode gesloten geweest tot 1 oktober, om dan in het winterhalfjaar tot 1 maart van het volgende jaar open te staan. Dit waterbeheer is daarna consistent doorgevoerd: van oktober tot maart uitwisseling van water met de Noordzee. Omdat het jaar 1979 wat betreft het waterbeheer zo afwijkt van de daaropvolgende tien jaar is het begin van de evaluatieperiode gesteld op 1980.
2. Over de ontwikkelingen in de waterkwaliteit van het Grevelingenmeer is eerder gerapporteerd in de nota DDMI-80.16: "Waterkwaliteitskenmerken en stofbalansen van het Grevelingenmeer over de periode 1972-1977" en de nota DDMI-80.18: "Waterkwaliteitsveranderingen in het Grevelingenmeer tijdens de verversing van het meer met zeewater via de Brouwerssluis in de periode 4/12/78-3/5/79". Door met het evaluatierapport op 1 januari 1980 te beginnen wordt op die rapportages over de voorgaande periode aangesloten.

Vanwege de actualiteit is er over de zuurstofhuishouding op oesterpercelen in de eerste helft van het jaar 1990 in deze nota nog het een en ander beschreven, zie de hoofdstukken 5.2.2. en 7.1.4.

Waar nodig is ook de ontwikkeling van vóór 1980 in de evaluatie meegenomen, met name in de figuren 10, tot en met 13 over vogelaantallen.

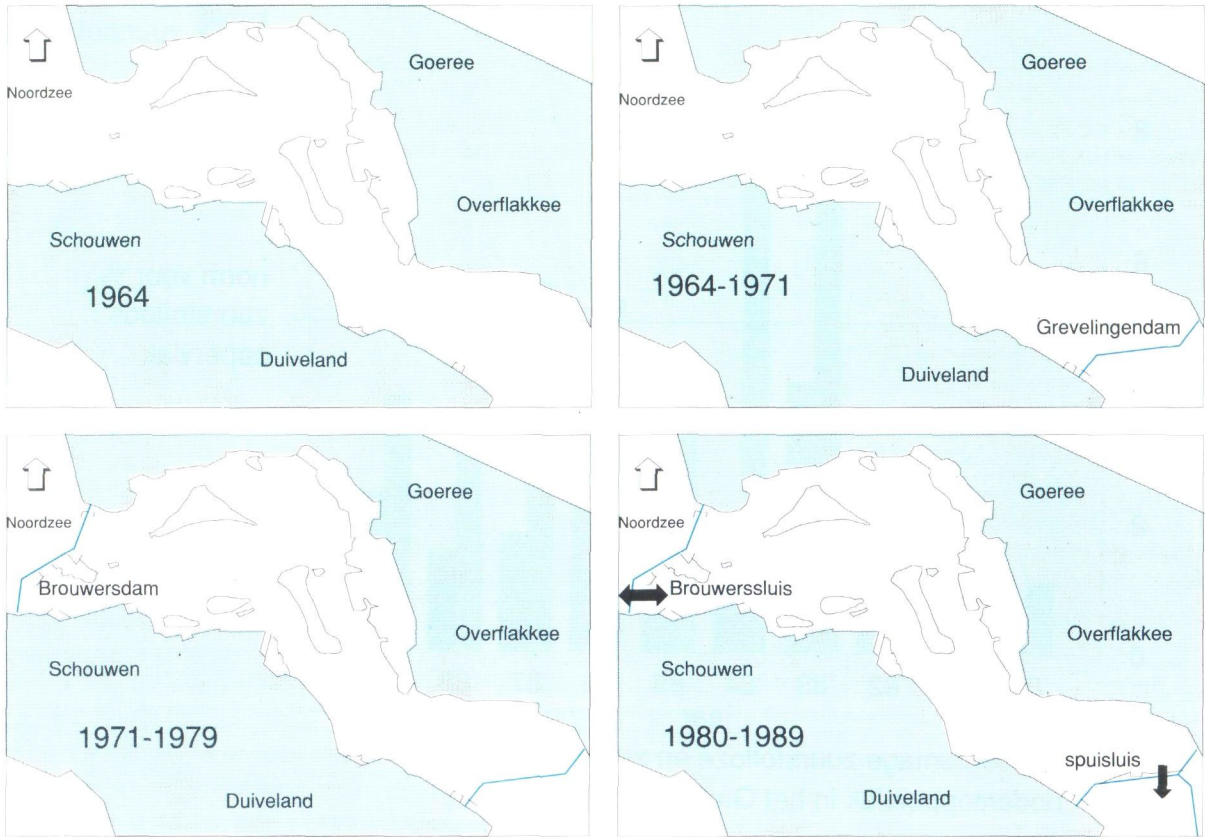


Fig.1 Van Grevelingen naar Grevelingenmeer

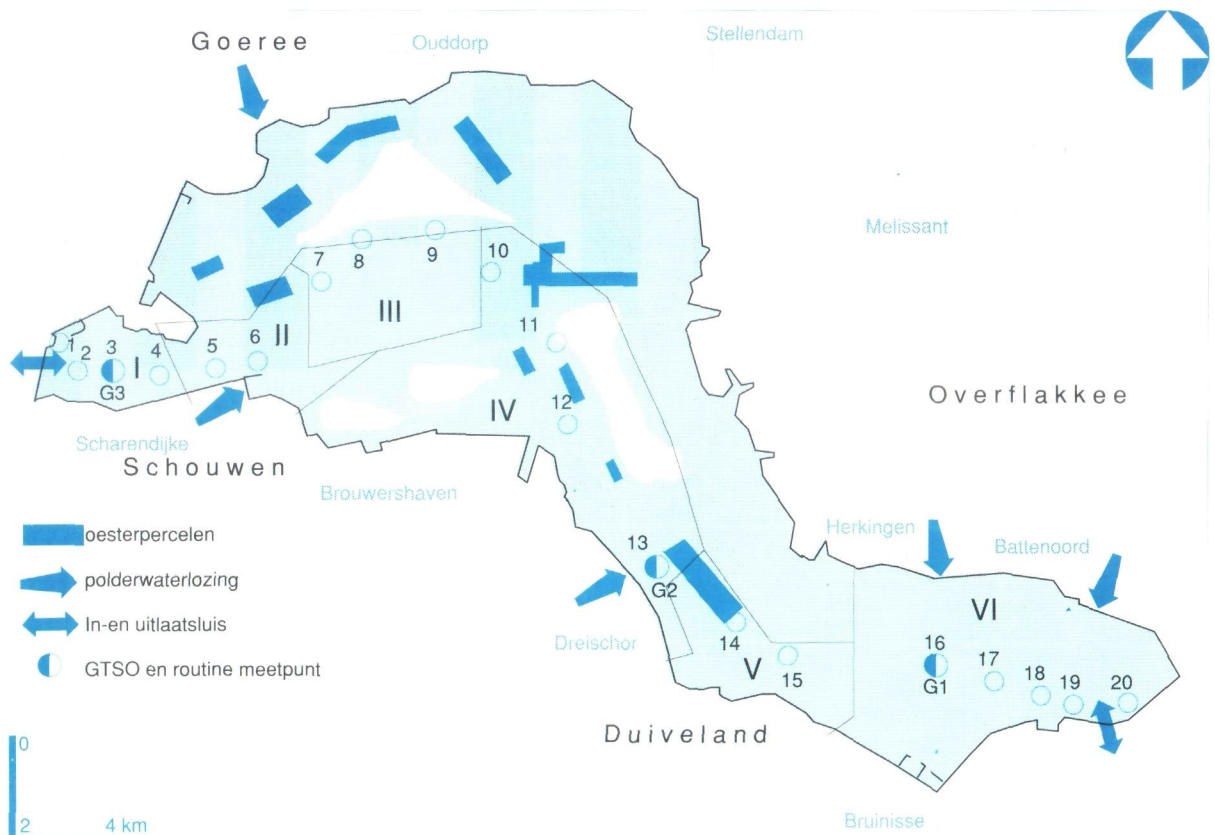


Fig.2 Lokaties van vertikaalmetingen en oesterpercelen in het Grevelingenmeer

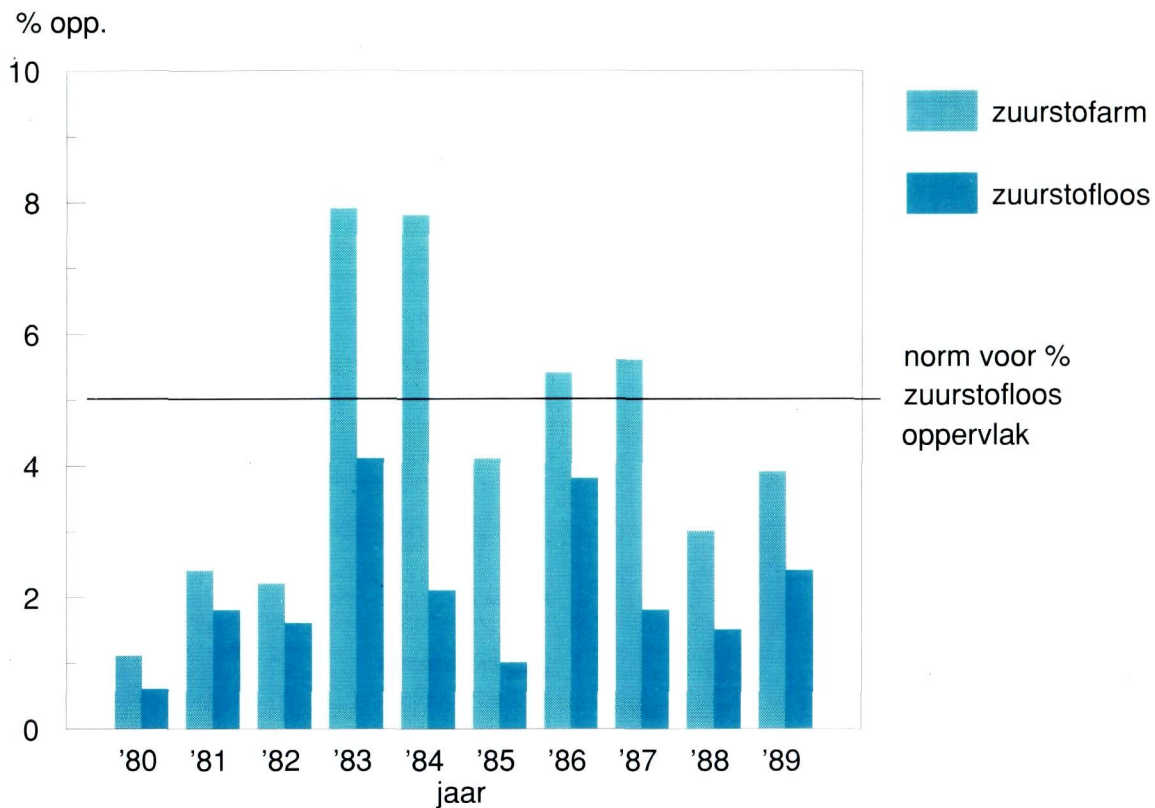


Fig.3 Het percentage zuurstofloze en zuurstofarme bodemoppervlak in het Grevelingenmeer

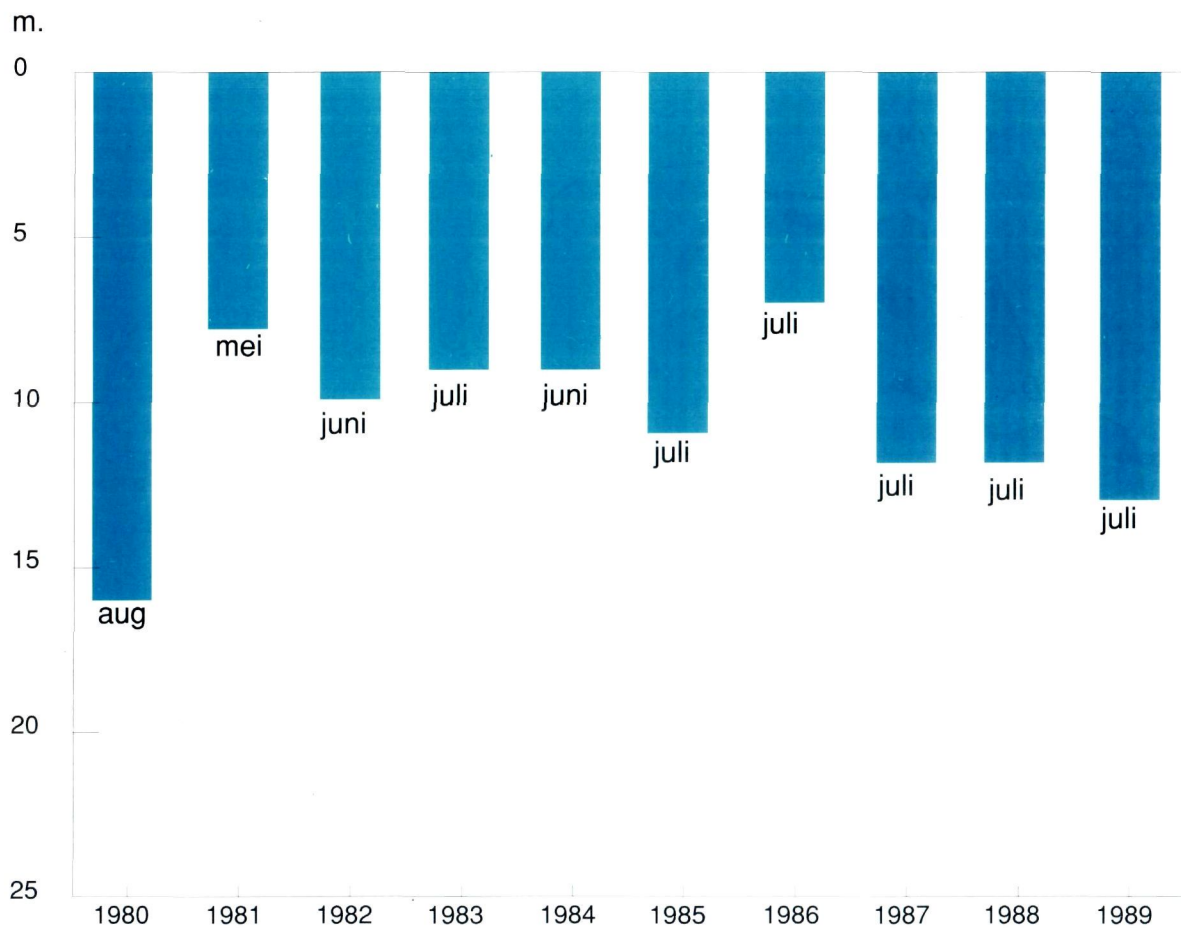


Fig.4 Diepteligging van de 7 mg O₂/l isopleet, vak IV Grevelingenmeer

3. PLANGEBIED

Het Grevelingenmeer is als onderdeel van de Deltawerken in 1971 ontstaan door de aanleg van de Brouwersdam aan de Noordzeekant. De Brouwersdam is de tweede dam die de eilanden Goeree-overflakkee en Schouwen-Duiveland verbindt. In 1964 was in het oosten - ook in het kader van de Deltawerken - de Grevelingendam al aangelegd. Voor die tijd vormde het Grevelingengebied landschappelijk gezien één geheel met het Krammer-Volkerak, dat in die tijd in open verbinding stond met het Haringvliet. Dit gehele gebied was een estuarien open getijdenlandschap met de hiervoor kenmerkende slikken, platen en schorren.

Na de aanleg van de Grevelingendam in 1964 was de verbinding met de grote rivieren verbroken en verdween het estuariene karakter van de Grevelingen. Tot de sluiting van de Brouwersdam in 1971 had de Grevelingen dus tijdelijk het karakter van een zeearm. Na 1971 was het Grevelingenmeer een stagnant zout meer, zie figuur 1.

Het toen ingestelde vaste peil van NAP -0,20 m werd geregeld door via de schutsluis in de Grevelingendam in natte perioden overtollig water te spuien of in droge perioden water in te laten. Het meer verzoette langzaam door het neerslagoverschot. Die ontzilting had negatieve effecten op de aanwezige marine flora en fauna. Daarom werd besloten in de Brouwersdam een sluis te bouwen om weer uitwisseling met de Noordzee mogelijk te maken. Deze Brouwerssluis werd eind 1978 in werking gesteld. De etmaalgemiddelde capaciteit van deze sluis is $\pm 100 \text{ m}^3/\text{s}$, zowel voor inlaat als uitlaat. Vanaf 1979 nam het chloridegehalte in het Grevelingenmeer weer gestaag toe.

In begin jaren tachtig is er in de Grevelingendam in het oosten een doorlaatmiddel gebouwd in de vorm van een hevel (bekend als de Flakkeese Spuisluis). In november 1984 is de Flakkeese Spuisluis in gebruik genomen; deze sluis is primair gebouwd om het zoutgehalte in het Zijpe en de Krabbenkreek, tijdens de fase van de Deltawerken waarin de compartimenteringsdammen zouden worden gesloten, op een aanvaardbaar niveau te houden.

De begrenzing van het Grevelingenmeer wordt, behalve door de genoemde afsluitdammen, gevormd door Schouwen-Duiveland aan de zuidzijde en Goeree-Overflakkee aan de noordzijde. De voormalige zeedijken dienen nog als secundaire waterkering en worden als zodanig in stand gehouden en onderhouden; de verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij de Waterschappen Schouwen-Duiveland en Goeree-Overflakkee. Het Rijk is verantwoordelijk voor de instandhouding en het onderhoud van de afsluitdammen.

4. HUIDIGE BEHEER

Het beheer is te onderscheiden in het waterbeheer en het gebiedsbeheer. Het beheer van het water wordt gevoerd door Directie Zeeland van Rijkswaterstaat.

Het beheer van het gehele gebied was van februari 1978 tot april 1989 formeel in handen van Staatsbosbeheer en nu van het Natuur en Recreatieschap de Grevelingen.

4.1. Waterbeheer

Het landelijk beleid voor het waterbeheer is geformuleerd in de derde Nota waterhuishouding: "Het hebben en houden van een veilig en woonbaar land en het ontwikkelen en instandhouden van gezonde waterhuishoudkundige systemen die een duurzaam gebruik garanderen", lit. 1.

Deze gewenste doelstelling wordt geconcretiseerd door het toekennen van functies. In de derde Nota waterhuishouding worden voor het Grevelingenmeer de ecologische doelstelling van het middelste niveau, de visserij- en recreatiefunctie aangegeven. Hierbij horen de waterkwaliteitsdoelstellingen schelpdierwater en zwemwater.

Er zijn door directie Zeeland van Rijkswaterstaat watersysteemdoelen gesteld. Dat zijn randvoorwaarden waaraan het Grevelingenmeer door het gevoerde beheer moet voldoen.

Deze randvoorwaarden zijn de volgende: een peil van NAP -0,20 m., een chloridegehalte van tenminste 16 gram Cl/l en minimalisering van stratificatie-effecten.

De minimalisering van de stratificatie-effecten houdt in, dat getracht wordt het gebied waar zuurstofarmoede (<3 mg O₂/l) optreedt te beperken tot de ca. 200 ha waar sinds de afsluiting in 1971 een thermische stratificatie is opgetreden.

De belangrijkste instrumenten voor het waterbeheer zijn de Brouwerssluis in de Brouwersdam in het westen en de Flakkeese spuisluis (hevel) in de Grevelingendam in het oosten. Tijdens de wintermaanden (1 oktober - tot in principe 1 maart) staat de Brouwerssluis open om een zo groot mogelijke uitwisseling met de Noordzee mogelijk te maken. Een harde randvoorwaarde hierbij is, dat het zoutgehalte op de Noordzee (meetpaal BG8) minimaal 16 gr/l is en hoger of gelijk aan dat van het Grevelingenmeer. Als daaraan niet wordt voldaan, wordt er geen water ingelaten.

Het streefpeil op het Grevelingenmeer (NAP -0,20 m.) wordt geregeld met de Brouwerssluis.

Na 1 maart wordt er in principe niet meer met Noordzee-water uitgewisseld, omdat de kans op stratificatie dan begint toe te nemen. In de praktijk is er over het algemeen in maart minder uitgewisseld om op 1 april te stoppen.

Voor het peil- of kwaliteitsbeheer van het Grevelingenmeer wordt de hevel tegenwoordig niet gebruikt. Onderzoek heeft uitgewezen, dat doorspoelen geen extra positieve effecten oplevert ten opzichte van verversen via de Brouwerssluis, terwijl er dan wel kans is op negatieve effecten in het Zijpe, zoals de kans op stratificatie. Na de sluiting van de compartimenteringsdammen in 1987 is de hevel dan ook niet meer gebruikt.

4.2. Gebiedsbeheer

Het beheer van het Grevelingengebied is nu in handen van het Natuur- en Recreatieschap de Grevelingen, nadat het een aantal jaren al interimbeheer voerde voor Staatsbosbeheer. Het natuurbeleid ten aanzien van het gebied is conform het beleid van het rijk.

Het beleid van het Grevelingschap is gericht op het waarborgen en/of ontwikkelen van de natuur- en recreatiefunctie.

Voor de ruimtelijke ontwikkeling werden de volgende functies onderscheiden:

1. natuur en landschap.
2. oeverrecreatie en visserij.
3. recreatievaart.
4. beroepsvisserij.

Voor het gebiedsbeheer van het Grevelingenmeer is een zonering ingesteld. De recreatiefunctie is toegekend aan de oost- en westzijde van het meer, het gebied daartussen heeft een natuurfunctie gekregen. Overigens is de beschrijving van de begrippen natuur en recreatie dusdanig, dat in recreatiegebieden natuurlijke elementen een plaats kunnen worden geboden, terwijl in natuurgebieden recreatie-elementen kunnen worden ingevoegd. Een en ander te realiseren voor zover niet in strijd met het hoofdbelang. Hiermee wordt gestreefd naar een optimaal gebruik van het Grevelingengebied terwijl een absolute scheiding van de functies natuur en recreatie wordt vermeden, naar lit.2.

5. DE TOESTAND VAN HET GREVELINGENMEER VAN 1980 TOT 1990

Het Grevelingenmeer kan gekenschetst worden door verschillende grootheden of toestandsvariabelen. Er zijn er die niet veranderen, zoals de afmetingen. Er zijn toestandsvariabelen die variëren door meteorologische invloeden, zoals de chloridegehalten (in het polderwater). Sommige toestandsvariabelen veranderen doordat het watersysteem Grevelingenmeer bezig is naar een nieuw evenwicht toe te gaan; de concentraties van allerlei stoffen in water en bodem zijn zulke variabelen.

De omgeving en het beheer beïnvloeden het watersysteem. Is het effect van die invloed constant dan stelt het systeem zich op een evenwicht in. Het waterbeheer is in de evaluatieperiode constant geweest. Dit wil niet zeggen dat de effecten constant waren, omdat het waterbeheer niet de hele omgeving van het systeem omvat. Zo is de concentratie van stoffen in het polderwater niet alleen afhankelijk van de meteorologische ontwikkeling. Die concentratie wordt ook bepaald door het gebruik van betreffende stoffen in de landbouw. In hoeverre deze concentratie bijdraagt aan de concentratie-opbouw van het meer hangt onder andere weer af van de verblijftijd van water in het meer.

De verblijftijd is het watervolume van het meer gedeeld door de toegevoerde waterhoeveelheid per jaar. Er is dus een directe relatie tussen sluisbeheer en verblijftijd. Het sluisbeheer wordt deels gestuurd door de concentraties op de Noordzee die afhankelijk zijn van de afvoer van vooral de Rijn.

In de navolgende paragrafen wordt het Grevelingenmeer door middel van biotische en abiotische toestandsgrootheden in beeld gebracht. Een nadere analyse van het hoe en het waarom de toestandsgrootheden zijn zoals gegeven, wordt besproken in hoofdstuk 7, getiteld: Relaties tussen de ontwikkelingen in abiotische en biotische toestandsvariabelen.

5.1. Fysische toestand

De karakteristieke grootheden van het Grevelingenmeer bij een streefpeil van NAP - 0,20 m. zijn in tabel 1 gegeven.

Tabel 1. Afmetingen Grevelingenmeer.

Wateroppervlakte	10800 ha
Oppervlakte buitendijkse gebieden	3120 ha
Oppervlakte afwateringsgebied	9900 ha
Inhoud	575 miljoen m ³
Lengte	23 Km
Breedte	4-10 Km
Gemiddelde diepte	5,4 m
Maximale diepte	48 m

De gemiddelde verblijftijd van het water in het Grevelingenmeer was 7 maanden. Het varieerde afhankelijk van meteorologische omstandigheden en sluisbeheer tussen 5,8 maanden in 1987 en 10,1 maanden in 1988.

Door een vijftal poldergemalen (de Kille, Herkingen en Battenoord op Goeree en Den Osse en Dreischor op Schouwen-Duiveland) wordt overtollig polderwater van een gebied van in totaal 9900 ha op het Grevelingenmeer geloosd; over de periode 1980 t/m 1988 was dit gemiddeld 1,35 m³/s.

De gemiddelde hoeveelheid neerslag, welke direct op het wateroppervlak en indirect via afstroming in het meer terecht kwam, bedroeg in diezelfde periode 3,15 m³/s.

Van het gemaal Den Osse op Schouwen-Duiveland is niet exact de oppervlakte van het afwateringsgebied aan te geven. Dat gebied loost het overtollig polderwater via twee gemalen, waarvan er één loost op het Grevelingenmeer en één op de Oosterschelde. Met behulp van de wateruitslagen van deze twee gemalen is berekend dat het gemaal Den Osse 6000 ha van het afwateringsgebied voor zijn rekening neemt.

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. In tabel 2 wordt een indruk gegeven van de hoeveelheden water welke in en uit het Grevelingenmeer stroomden in de evaluatieperiode.

Tabel 2. Debieten van de waterbalans van het Grevelingenmeer over de periode 1980 t/m 1989.

Post	debieten in m ³ /sec.		
	gemidd. 1980-1989	maximum	minimum
Brouwerssluis in	25	35 (1980)	15 (1984)
Brouwerssluis uit	27	33 (1980)	16 (1988)
Polderwateruitslag	1,5	1,7 (1988)	1,1 (1982)
Neerslag	3	3,1 (1988)	2,3 (1982)
Afstroming oevers	0,5	0,6 (1984)	0,2 (1982)
Verdamping	2,5	2,8 (1982)	1,9 (1988)

De waterbelasting via de schutsluis in de Grevelingendam is jaargemiddeld 0,15 m³/s. en is dus zeker ten opzichte van de andere posten verwaarloosbaar. Dit geldt eveneens voor de kwel via de afsluitdammen en de wegzijging naar de polders, die naar schatting in dezelfde orde van grootte liggen.

5.2. Stratificatie

Diepe (delen van) meren worden gekenmerkt door het optreden van een gelaagdheid in de waterkolom als gevolg van dichtheidsverschillen. Deze dichtheidsverschillen worden veroorzaakt door verschillen in temperatuur en/of chloridegehalte. Ook het water van het Grevelingenmeer is gestratificeerd. De waterlaag waarover de dichtheid het sterkst verschilt wordt spronglaag genoemd. Voor het Grevelingenmeer is een "maatgevende spronglaag" gedefinieerd: Een spronglaag is maatgevend als de dichtheid per meter minimaal 0,3 g/l toe- of afneemt.

In de evaluatieperiode lag de spronglaag in het Grevelingenmeer, als gevolg van de ingestelde beheersomstandigheden, op een diepte van 15 m.

Het belangrijkste gevolg is het ontstaan van zuurstofarmoede of zuurstofloosheid in de onderlaag. Stratificatie treedt vooral op tijdens de zomerperiode omdat de oppervlaktelaag dan opwarmt en er minder wind staat waardoor er menging is van onder- en bovenlaag. Door de hogere temperatuur zijn de verbruikssnelheden van zuurstof groter en is de reëratie minder.

5.2.1. Zuurstofloze bodemoppervlak

De omvang van het zuurstofloze oppervlak van de bodem in het Grevelingenmeer is vastgesteld door middel van zogenaamde vertikaalmetingen. Dat zijn metingen met sensoren over de vertikaal vanaf een schip op 20 punten in het meer. Deze metingen worden met GTSO aange-

duid. De meetlokaties zijn verdeeld over zes vakken in het meer, zie figuur 2.

Tabel 3 geeft de ontwikkeling door de jaren, naar lit.3. Alleen de beschikbare resultaten van de zomermaanden zijn in de tabel opgenomen, omdat de stratificatie dan maximaal is onder de ingestelde beheersomstandigheden.

Als het water boven de bodem nog wel zuurstof bevatte is er geen oppervlak of vaknummer ingevuld. Soms is een meting uitgevallen, er is toen niet gemeten, terwijl er vermoedelijk toch enig oppervlak zuurstofloos was.

Tabel 3. Zuurstofloze bodemoppervlak in het zomerhalfjaar, in ha., over de periode 1980-1988. (n.g. = niet gemeten).

	mei		juni		juli		augustus		september		oktober	
	vak	opp	vak	opp	vak	opp	vak	opp	vak	opp	vak	opp
1980							I,II	60	n.g.	?		
1981	I	4	I,II	181	I,II	181	I,II	195				
1982			I,II	13	I,II	168	I,II	160	I,II	84	I,II	70
1983			I,II	126	I,II	440	I,II	204	II	10		
					III,IV, V							
1984	n.g.	?	I,II	137	I,II	130	I,II	228	I,II	110		
							III					
1985	II	5,0	II	7	I,II	104	I,II	71	I,II	39	I	13
1986					I,II	411	n.g.	?				
					III,IV							
1987			I,II	160	I,II	175	I,II	190				
1988			I,II	99	n.g.	?	I,II	160				

Net als voor het zuurstofloze bodemoppervlak is er in lit. 3 een tabel voor het zuurstofarme bodemoppervlak opgenomen. Van deze gegevens is figuur 3 afgeleid. In deze figuur is het zuurstofloze en zuurstofarme oppervlak in procenten van het totaal oppervlak van het Grevelingenmeer gegeven. Het is gebaseerd op het maximum dat per jaar in een van de zomermaanden werd bereikt. Het beheer is er in de evaluatieperiode op gericht geweest te zorgen dat het zuurstofloze oppervlak beperkt bleef tot 5% van het totaal, dat is 500 ha. Deze norm staat eveneens in de figuur.

Bij een zuurstofgehalte van 3 mg O₂/l is er sprake van zuurstofarmoede, er treden dan voor sommige organismen onomkeerbare negatieve effecten op. Bij de schelpdierwaterfunctie behoort een norm van 7 mg O₂/l. In het navolgende wordt op deze zuurstofwaarden ingegaan.

5.2.2. De 7 mg O₂/l dieptelijn

De vertikaalmetingen in het Grevelingenmeer worden uitgevoerd op 20 lokaties gelegen in de hoofdgeul. Met de resultaten van de zuurstofmetingen kunnen isopleten berekend en gepresenteerd worden voor de zes verschillende vakken. In figuur 2 is de ligging van die vakken aangegeven.

Een concentratie van 7 mgO₂/l is de schelpdierwaternorm voor zuurstof en in het Grevelingenmeer vooral van betekenis voor de oesterpercelen. De ligging van de oesterpercelen is eveneens in figuur 2 aangegeven.

Zuurstofisopleten zijn lijnen die diepten met gelijke zuurstofconcentratie met elkaar verbinden. Aan de hand van deze resultaten is per jaar geschat in welke maand de diepte van de 7 mg O₂/l isopleet minimaal was. Hoe kleiner de diepteligging van deze isopleet, hoe groter het oppervlak met een zuurstofgehalte kleiner dan 7 mg O₂/l.

In de periode 1980-1989 kwam de minimumdiepte meestal in de maand juli voor.

In figuur 4 is per jaar voor vak IV de opgetreden minimumdiepte van de isopleet van 7 mg O₂/l gegeven. Er staat bij in welke maand dat was. In geen van de onderzochte jaren heeft dat minimumniveau langer dan een maand standgehouden.

Het beeld is representatief voor de vakken I t/m IV die zijn onderzocht. In de andere vakken en de rest van het Grevelingenmeer treedt slechts op een relatief klein oppervlak dit effect van stratificatie op. Dat komt doordat de andere delen over het algemeen ondieper zijn en minder gestratificeerd.

Conclusie: In het jaar 1986 was de diepteligging van de 7 mg O₂/l-isopleet slechts zes meter. Voor de duidelijkheid: naar dieper water toe neemt het zuurstofgehalte verder af.

Het jaar 1981 komt met een diepteligging van zeven meter op de tweede plaats, waarbij opvalt dat die situatie zich al in mei van dat jaar voordoed. De afgelopen vier jaar had de 7 mg O₂/l-isopleet een diepteligging van meer dan 10 meter.

In het voorjaar van 1990 waren er alarmerende berichten van oesterkwekers. Er waren op percelen in het Grevelingenmeer veel dode oesters gevonden en er waren oesters die aan de onderkant zwart waren. Die sporen duiden op een direct contact met gereduceerde sediment. De toplaag van de bodem wordt pas gereduceerd nadat het bovenstaande water zuurstofloos geworden is. Er werd verondersteld dat er zuurstofloosheid opgetreden was gedurende enige tijd.

Naar aanleiding van die berichten werd een onderzoek gestart naar de omvang van het zuurstofloze en zuurstofarme oppervlak in 1990. Tevens werd voor de hele evaluatieperiode inclusief 1990 uitgezocht wanneer en in welke maanden de diepteligging van de zuurstofisopleet van 7 mg O₂/l minimaal was.

Hoewel 1990 buiten het bestek van het evaluatierapport valt zijn de bevindingen van de zuurstofhuishouding in de maanden mei en juni van dat jaar vermeldenswaard.

Het zuurstofarme oppervlak was in mei 1990 ongeveer 276 ha. en in juni 183 ha. Voor de maand mei was dat veel meer dan het grootste oppervlak dat in een meimaand van de evaluatieperiode is voorgekomen. Het oppervlak is echter nog ruim beneden de norm van 5% of 540 ha. Het oppervlak van juni 1990 was alweer lager dan de gemiddelde situatie in juni in de evaluatieperiode. Voor de vergelijking, zie tabel 3. De zuurstofloosheid begint altijd in de diepe putten in het westen van het Grevelingenmeer. De bodem/diepte verhouding daarvan is zodanig, dat het zuurstofloze oppervlak in mei 1990 op een diepte van meer dan twintig meter heeft gelegen.

De zuurstofisopleet van 7 mg O₂/l lag in de maanden mei en juni van 1990 op een diepte van tien meter. In de evaluatieperiode zijn in 1981 en in 1986 nog kleinere diepten voorgekomen. In die jaren heeft dat niet tot problemen geleid zoals in 1990.

5.3. Concentraties in het water

5.3.1. Nutriënten en algemene stoffen

De grote hoeveelheden water die in het Grevelingenmeer omgaan, transporteren opgeloste en particulier gebonden stoffen. De concentraties van die stoffen in het meer zijn van belang voor het functioneren van het ecosysteem. Chemische, biologische en fysische processen bepalen, onder invloed van het sluisbeheer, het concentratieverloop door de seizoenen en over langere perioden.

In de evaluatieperiode is het waterhuishoudkundige beheer redelijk constant gevoerd, wat niet wil zeggen dat er weinig veranderde in de waterkwaliteit. Dat komt omdat het meer voor wat betreft de waterkwaliteit nog niet in evenwicht is. In de periode tot de ingebruikname van de Brouwerssluis (1979) werd het meer en de meerbodem opgeladen met stoffen die door het polderwater werden toegevoerd, zie lit.4 en 5. De uitwisseling met de Noordzee doet in de evaluatieperiode de concentratie van veel stoffen dalen.

Om het Grevelingenmeer waterhuishoudkundig voor de gehele evaluatieperiode in beeld te brengen kan voor de meeste waterkwaliteitskenmerken niet worden volstaan met één getalswaarde voor tien jaar. De veranderingen door de jaren zijn te groot. Daarom worden de jaargemiddelde waarden gepresenteerd. De meeste gemiddelden zijn berekend uit de maandelijkse routine waterkwaliteitsmetingen op maximaal drie monsterpunten.

Tabel 4. Waterkwaliteitskenmerken van het Grevelingenmeer 1980 t/m 1989.

Waterkwaliteits- kenmerk		Jaargemiddelden (n≥10/jr)*									
		1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Watertemp.	°C	9,7	9,2	10,8	10,1	9,5	11,6	11,7	10,2	11,0	12,4
Chloride	g/l	17,1	15,9	16,3	15,9	16,3	-	16,9	16,4	15,4	16,6
Zuurstof	mg O ₂ /l	9,9	9,5	9,1	9,2	11,5	11,5	9,2	10,0	9,4	9,1
Zuurgraad	s.e.	8,3	8,4	8,4	8,1	8,4	-	8,3	8,2	8,2	8,2
N-totaal	mg N/l	0,60	0,83	0,68	0,69	0,62	0,8#	0,6#	0,6#	0,7#	0,6#
NH ₄ -N	mg N/l	0,07	0,07	0,07	0,06	0,08	-	0,09	0,06	0,07	0,05
NO ₃ /NO ₂ -N	mg N/l	0,18	0,24	0,17	0,23	0,23	-	0,20	0,13	0,20	0,15
PO ₄ -totaal	mg P/l	0,25	0,25	0,29	0,25	0,21	0,17	0,16	0,14	0,16	0,18
o-PO ₄ -P	mg P/l	0,21	0,24	0,25	0,22	0,16	-	0,12	0,10	0,12	0,13
Silicium	mg Si/l	0,36	0,34	0,39	0,53	0,61	-	0,41	0,34	0,46	0,46
Chlorofyl	µg/l	3,1	6,3	4,6	3,8	4,0	-	3,6	5,2	3,0	2,3
Zwevend stof	mg/l	-	-	-	-	-	-	2,0	2,7	2,0	2,8
Doorzicht	dm	37	35	38	46	49	35	44	38	45	53

* representatief voor de waterkolom tot 15 m diepte.

- geen gemiddelde waarde te geven door tekort aan goede gegevens.

berekend uit Kjeldahl-stikstof plus nitraat-stikstof gehalte.

Het chloridegehalte is bijna altijd hoger dan het minimum van 16 g Cl/l dat werd nagestreefd.

Het zuurstofgehalte, de zuurgraad en het doorzicht voldoen gemiddeld genomen aan de absolute waarden van de zwemwater- en schelpdier-waterdoelstellingen.

De jaargemiddelde nutriënten concentraties zijn tweemaal (nitraat, silicium) tot tien- of meer dan tienmaal (ammonium, nitraat) hoger dan de voor de centrale Noordzee voorgestelde referentiewaarden. Dat zijn natuurlijke achtergrondwaarden die zijn voorgesteld voor opgeloste waterkwaliteitsparameters gedurende de winterperiode, zie lit.6.

Het Grevelingenmeer is daardoor een schoon, oligotroof (matig met

voedsel verrijkt) zoutwatermeer te noemen. Het orthofosfaatgehalte in het water is verhoogd door polderlozingen en door de nalevering van fosfaat dat eerder in de bodem is opgeslagen.

De processen die de nutriëntenconcentraties bepalen worden uitvoerig beschreven in hoofdstuk 7.1.

5.3.2. Zware metalen

In tabel 5 wordt de ontwikkeling van de concentraties zware metalen in het water van het Grevelingenmeer cijfermatig benaderd.

Tabel 5. Zware metalen concentraties in het water van het Grevelingenmeer in de periode 1980 t/m 1989, vergeleken met grenswaarden.

parameter	maximum minimum		[1989] µg/l	referentie- waarde zout	detektielgrens	
	in µg/l water				1982/1984	1985/1987
As opgelost	± 3		3,3	1 - 1,5	1	0,1
As totaal	± 4		3,3		1	0,1
Cd opgelost	0,1 - 0,01		0,01	0,02 - 0,03	0,01	0,01
Cd totaal	0,15 - 0,03		0,02		0,01	0,01
Cr opgelost	1 - 0,1		0,3	0,15 - 0,5	0,2/0,1*	0,1
Cr totaal	1 - 0,5		1,0		0,5/0,2*	0,5/0,1*
Cu opgelost	2 - 0,8		0,5	0,2 - 0,3	0,5/0,1*	0,1
Cu totaal	3 - 1		1,0		1,0/0,5*	1,0/0,1*
Hg opgelost	0,01 - 0,01		0,01	0,0025	0,01	0,01
Hg totaal	0,02 - 0,01		0,01		0,01	0,01
Pb opgelost	0,2 - 0,1		0,1	0,02	0,1	0,1
Pb totaal	± 1		1,0		1,0/0,1*	1,0/0,1*
Ni opgelost	± 1		1,9	0,3 - 0,4	0,5	0,1
Ni totaal	± 1,2		2,0		1,0/0,5*	1,0/0,1
Zn opgelost	± 1		1,0	0,3 - 0,4	1,0	1,0
Zn totaal	2,5 - 1		1,0		1,0	1,0

* afhankelijk van laboratorium(-voorschrift).

De maximum waarden in de tabel kwamen, zonder uitzondering, voor in de eerste helft van de jaren tachtig en de minimumwaarden in de tweede helft. De minimum waarden zijn in de meeste gevallen lager dan de referentiewaarden die voor de centrale Noordzee zijn voorgesteld, zie lit.6.

Beperken we ons tot de concentraties van de opgeloste zware metalen, omdat alleen daarvan referentiewaarden voor zout water bestaan, dan is de conclusie: Cd-,Cr-,Hg-,Pb- en Zn-opgelost zijn in de loop van de evaluatieperiode de detektielgrens genaderd of hebben die overschreden.

Cd- en Cr-opgelost benaderen de referentiewaarde. Van Hg-opgelost kan dat niet worden vastgesteld omdat de referentiewaarde lager is dan de detektielgrens.

De concentraties Cu- en Ni-opgelost in het Grevelingenmeer zijn ongeveer gelijk aan die van het kustwater, gemeten op de lokatie Goeree 6. Die concentraties zijn nog een faktor 2 tot 3 hoger dan de referentiewaarde voor zout water. De arseenconcentratie is ook twee- tot drie-maal de referentiewaarde en tevens tweemaal zo hoog als de concentratie gemeten in het kustwater. Dat is het gevolg van het mobiliseren van arseen uit de bodem, waar het in de periode voorafgaande aan de uitwisseling met de Noordzee is geaccumuleerd. Het gedrag van arseen komt geheel overeen met dat van orthofosfaat, zie hoofdstuk 7.1.

Het Grevelingenmeer is wat betreft de meeste opgeloste zware metalen een schoon zoutwatermeer. Voor de zware metalen nikkel en koper is de kwaliteit van het kustwater bepalend en voor arseen het kustwater en de slibkwaliteit van de kustzone.

5.3.3. Organische microverontreinigingen

Evenals voor de bepaling van zware metalen in water wordt er voor de organische microverontreinigingen gemonsterd op de centraal gelegen locatie G11. Organotinverbindingen vormen daarop een uitzondering. In het Grevelingenmeer is daarvoor gemonsterd in drie jachthavens. Over het algemeen is de meetinspanning ten aanzien van organische microverontreinigingen in het Grevelingenmeer beperkt. De reden hiervoor is dat, vergeleken met het basiskwaliteitsniveau (geldend tot 1990), er in het Grevelingenmeer voor de meeste microverontreinigingen geen verontreinigingsprobleem bestaat. Uitzondering daarop zijn de organometaalverbindingen, in het bijzonder de tributyltin-verbindingen (TBT).

Ruim 40 organische microverontreinigingen zijn in de evaluatieperiode incidenteel bepaald. In 1982 is de helft van deze stoffen zesmaal geanalyseerd en in 1986 alle stoffen behalve de PAK's tenminste tweemaal. Enige somparameters zijn gedurende meerdere jaren bepaald. Bijna alle individueel gemeten organische microverontreinigingen in het water van het Grevelingenmeer waren gelijk aan nul of overeenkomstig de detectiegrens. Daarom worden alleen de gehalten die daarvan afwijken gepresenteerd.

Fenol en fenol-waterdampvluchtig

Van 1982 tot 1985 is fenol in water iedere maand bepaald en na die datum is tot 1988 de waterdampvluchtige fractie van fenol in water bepaald, iedere 2 tot 3 maanden.

De fenolgehalten nemen in de loop van de jaren af, dit wordt het best gedemonstreerd met de mediaanwaarden in tabel 6.

Tabel 6. Fenol ($\mu\text{g/l}$) in het Grevelingenmeer, locatie G11 (centraal).

jaar	1982		1983		1984		1985		1986		1987	
mediaan in $\mu\text{g/l}$	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n	m	n
fenolen totaal	4,0	13	4,8	14	1,5	13						
fenol waterdampvl.							0,8	3	0,9	4	0,0	6

Tot en met 1982 was de detectielimiet 1 g/l, daarna 0,1 g/l. De waterdampvluchtige fenolen kunnen in het Grevelingenmeer gelijk gesteld worden aan fenolen totaal. In het routine waterkwaliteitsprogramma van Rijkswaterstaat wordt na 1984 alleen nog waterdampvluchtige fenol bepaald.

Alleen voor waterdampvluchtige fenolen is een norm opgenomen in de basiskwaliteit: een mediaanwaarde van 5 $\mu\text{g/l}$. In de normering van de algemene milieu kwaliteit komt deze somparameter niet meer voor maar is beperkt tot de specifieke stof pentachloorfenol.

Lindaan

In 1982 werd in alle vijf watermonsters een concentratie gevonden, gelijk aan de toen geldende detectielimiet van 0,01 $\mu\text{g/l}$. In 1986 werd de concentratie tweemaal bepaald: 0,006 en 0,004 $\mu\text{g/l}$., bij een detectiegrens van 0,001 $\mu\text{g/l}$. De basiskwaliteit kende een norm voor lindaan, gebaseerd op de mediaan, van 0,01 $\mu\text{g/l}$ en in de algemene milieu kwaliteit is die waarde als absolute norm opgelegd.

Overige individuele organische microverontreinigingen in het water. De concentraties van de twee bemonsteringen in 1986 waarin deze stoffen werden aangetoond waren als volgt: de detectiegrens is eveneens gegeven.

Hexachloorbutadiëen HCBu: 0,003 en 0,000 µg/l (det.grens= 0,001)
Dichloorbenzeen 1,3-DCB : 0,0 en 0,5 µg/l (det.grens= 0,1)
Pentachloorfenol PCP : 0,003 en 0,000 µg/l (det.grens= 0,001)
Trichloorfenol 2,4,5-TCP : 0,005 en 0,013 µg/l (det.grens= 0,001)
Voor zover er normen bestaan, zijn deze een ordegrrootte hoger dan de gemeten concentraties.

PAK's

Alleen in 1982 zijn PAK's bepaald. Er is toen éénmaal een concentratie van 60 ng/l gevonden voor de gesommeerde PAK's en de overige vijf keer in dat jaar werden er geen PAK's aangetoond. Benzo(b)fluorantheen is de enige van de som-PAK's die in dat jaar werd aangetoond: 20 ng/l. De detektielgrens voor individuele PAK's ligt overigens op 10 ng/l en de (AMK) norm is 70 ng/l.

Cholinesteraseremmers

In 1985 is die parameter vijfmaal bepaald, het resultaat varieerde van 0,0 tot 0,5 para-oxon eenheden. In 1986 is de parameter driemaal bepaald: van 0,0 tot 0,3 para-oxon eenheden. In 1987 werd de parameter zesmaal bepaald: van 0,0 tot 0,3 para-oxon eenheden. De detektielgrens is 0,1 eenheid.

Voor de basiskwaliteit werd deze stof op een mediaanwaarde van 0,5 µg/l getoetst en in de AMK gebeurt dat als absolute waarde van 0,5 µg/l.

Vluchtige organohalogeenvverbindingen VOX

Deze stof is slechts éénmaal bepaald, te weten in 1986. De gemeten waarde was toen 0,1 µg/l en dat is gelijk aan de detektielgrens.

Extraheerbare organohalogeenvverbindingen

Deze stoffen zijn tweemaal bepaald in 1986, de gehalten waren toen 1,4 en 0,6 µg/l bij een detektielgrens van 0,1 µg/l. De basiskwaliteitsnorm is 5 µg/l voor de mediaanwaarde.

Olie

Alleen in de periode 1982 t/m 1984 is het oliegehalte bepaald. In 80% van de gevallen werd er geen olie aangetroffen. In de overige gevallen waren de concentraties kleiner dan 0,1 mg/Kg. De basiskwaliteit kende een norm van 200 µg/l, overeenkomend met 0,2 mg/Kg.

Som van dichloorbenzenen, som DCB's

Deze somparameter werd tweemaal bepaald in 1986, de concentraties waren toen 0,0 en 0,5 µg/l. bij een detektielgrens van 0,1 µg/l.

Synthetische detergenter

Die zijn van 1982 t/m 1984 bepaald met een frekwentie van 13 per jaar en van 1985 t/m 1987 ongeveer 5 keer per jaar.

De gehalten variëren van 0,03 tot 0,12 mg/l. De detektielgrens ligt op 0,01 mg/l.

Voor de basiskwaliteit wordt de mediaan op 0,1 mg/l getoetst.

Van trendmatige veranderingen in het gehalte syndets is geen sprake.

5.3.4. Organotinverbindingen, derivaten van tributyltin, TBT

In juni 1989 zijn de TBT-gehalten bepaald in watermonsters afkomstig uit drie jachthavens in het Grevelingenmeer. Het gemiddelde en de minimum- en maximumconcentraties zijn in tabel 7 uitgedrukt als nanogram tin (Sn) per liter. De gegevens zijn afkomstig van lit.7

Tabel 7 Tributyltingehalten in ng Sn/l, in havens Grevelingenmeer.

haven, juni 1989	gem.	min.	max.
Scharendijke	2930	1830	3440
Brouwershaven	3620	1390	7210
Bruinisse	2400	2080	2670

In de I-lijst (niveau waaronder het risico verwaarloosbaar klein is) van de algemene milieu kwaliteit staat een norm van 10 ng/l!
 Het onderzoek omvatte nog een groot aantal andere lokaties in Nederlandse oppervlaktewateren. Nergens werden zulke hoge concentraties tributyltin aangetroffen dan in de havens van het Grevelingenmeer. Dat zal veroorzaakt worden door het aantal jachten dat in de haven is afge-meerd en doordat het Grevelingenmeer stagnant is, waardoor de uitwis-seling van water kleiner is dan in getijdegebonden havens. Overigens is tijdens hetzelfde onderzoek gebleken dat het merendeel van de jacht-eigenaren al overgeschakeld was op anti-fouling verf zonder organotin.

5.4. Concentraties in de bodem

5.4.1. Bodemsamenstelling

In 1979 is er door middel van een omvangrijke bemonstering de bodem-samenstelling van het Grevelingenmeer vastgesteld, waarover gerap-porteerd is in lit.8. De volgende parameters werden bepaald: korrelgrootte, slibgehalte, kalkgehalte, chlorofylgehalte, gehalte particu-lair organisch koolstof (POC) van het sediment en het opgeloste organi-sche koolstof (DOC) in het poriënwater. De correlatie tussen de parameters werd ook vastgesteld. Zeer gedetailleerde bodemkaarten waren het resultaat van dat onderzoek. De bepaling van de bodemsa-menstelling is in 1989 op een beperkt aantal lokaties herhaald en in lit.9 gerapporteerd.

De conclusie van het onderzoek in 1989 luidde dat het chlorofylgehalte in de bodem afgenomen was. Die afname was groot maar werd geweten aan het verschil in bemonsteringsseizoenen. Dezelfde opmerking is geplaatst bij de kleine, maar wel significante, afname van het POC-gehalte in de bodem.

Korrelgrootte en slibgehalte waren niet significant veranderd.

Het kalkgehalte nam in het westelijk deel significant toe, het gehalte bleek daar verdubbeld te zijn. In het oostelijk deel trad geen verande-ring van het kalkgehalte op.

De figuren 5 tot en met 8 geven de bodemkundige toestand van het Grevelingenmeer. Van 1979 zijn alleen de gegevens gepresenteerd van de monsterpunten die in 1989 zijn onderzocht.

In tabel 8 wordt de bodemkundige toestand in cijfers gepresenteerd. Daarbij zijn voor het jaar 1979 de gegevens van dezelfde 36 monster-punten gebruikt als waar in 1989 werd gemeten.

De gehalten in tabel 8 zijn afkomstig van de bovenste vijf centimeter van de waterbodem voor respectievelijk een waterdiepte tot 5 m. en van 5 tot 40 m. De hiervoor gememoreerde significante afname van het POC-gehalte is overigens bepaald voor alle monsters over alle dieptes.

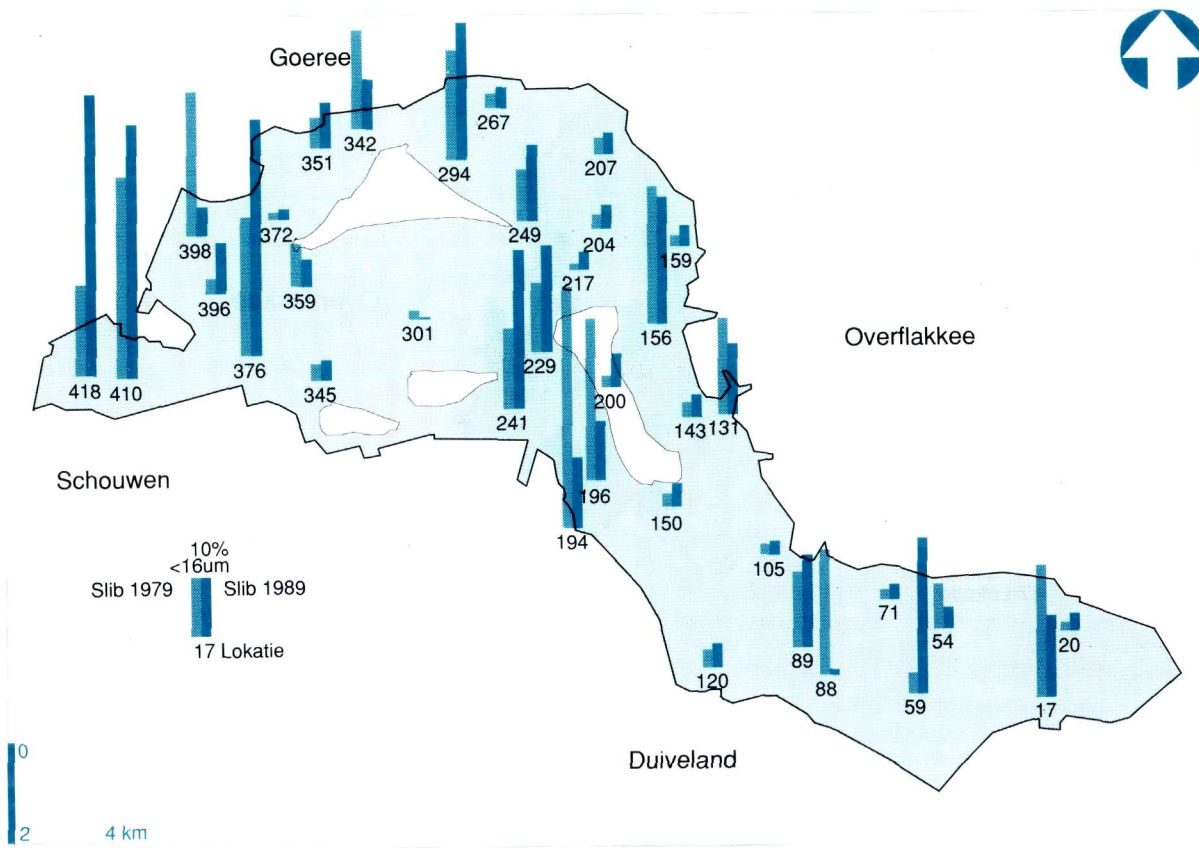


Fig.5 Slibgehalte ($\% < 16 \mu\text{m}$) bodem Grevelingenmeer

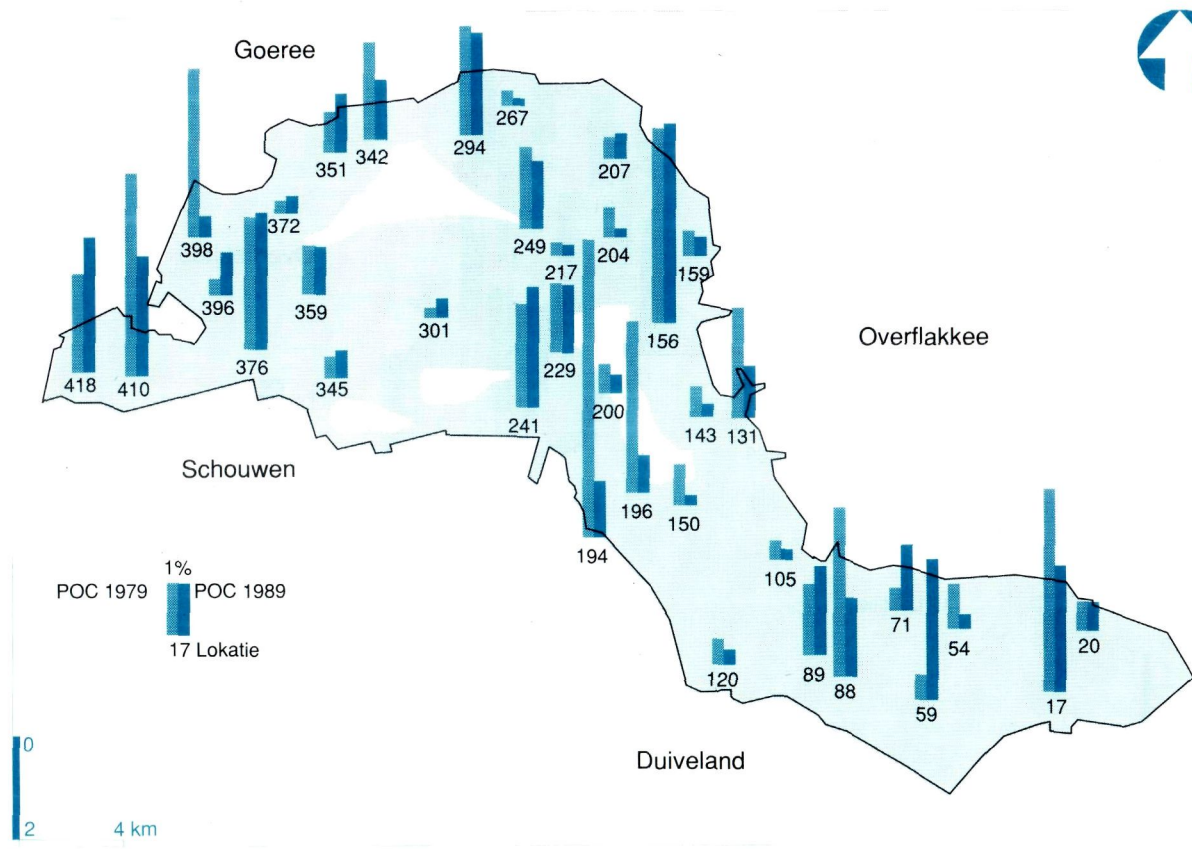


Fig.6 Particulair organisch koolstofgehalte bodem Grevelingenmeer

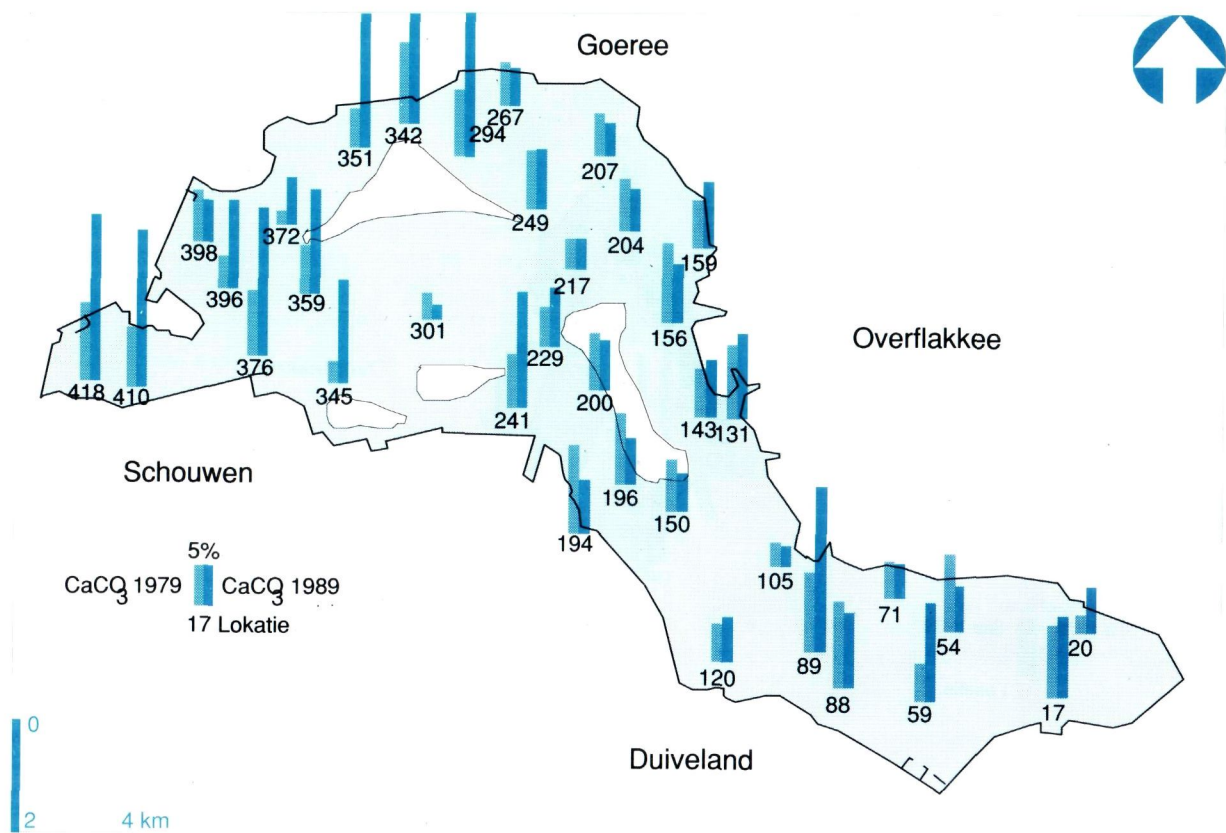


Fig.7 Kalkgehalte bodem Grevelingenmeer

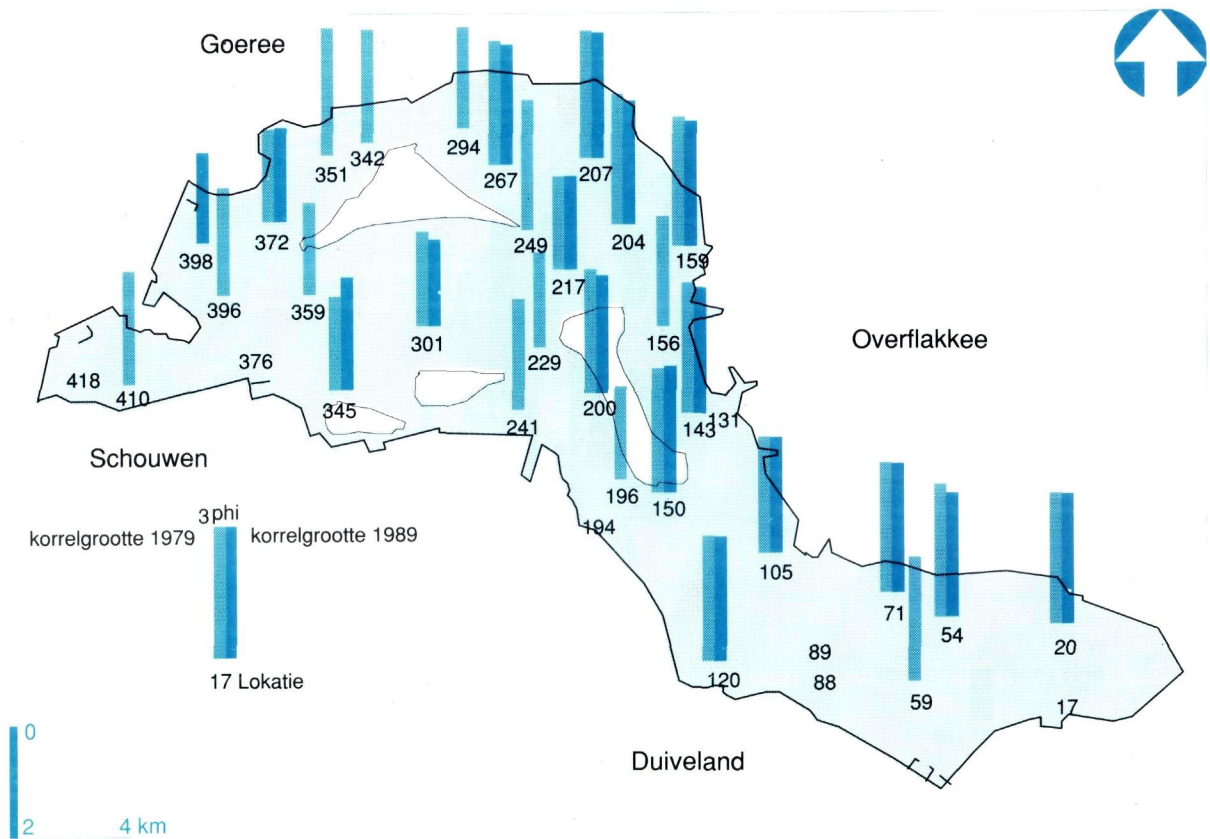


Fig.8 Korrelgrootte-verdeling bodem Grevelingenmeer

- phi-units:
- 0 - 1 = 500 - 1000 micron = grof zand
 - 1 - 2 = 250 - 500 micron = middel grof zand
 - 2 - 2,5 = 175 - 250 micron = fijn zand
 - 2,5 - 3 = 125 - 175 micron = zeer fijn zand

Tabel 8 . Gemiddelde (x) en standaardafwijking (s) van bodemparameters in het Grevelingenmeer.

jaar	1979		1989		aantal
	x	s	x	s	n
Bodemparameter					
% P.O.C. tot -5 m. diepte	0,5	0,2	0,6	0,6	19
% P.O.C. van -5 tot -40 m. diepte	2,6	1,2	1,7	0,9	17
% slib <16 µm tot -5 m. diepte	2,8	1,6	5,3	5,9	19
% slib <16 µm van -5 tot -40 m. d.	21,2	9,4	19,6	14,4	17
µg/g chlorofyl, tot -5 m. diepte	11,4	11,7	5,3	3,2	19
µg/g chlorofyl, van -5 tot -40 m.	35,0	40,4	17,1	22,2	17
% calciet tot -5 m. diepte	4,6	2,0	6,4	3,9	18
% calciet van -5 tot -40 m. diepte	8,4	1,8	12,0	5,4	17
mediane korrelgrootte in phi-units* van de bodem tot -5 m. diepte.	2,7	0,4	2,7	0,3	16

*phi-units:
 0-1 = 500 -1000 micron = *grof zand*
 1-2 = 250 - 500 micron = *middel grof zand*
 2-2,5 = 175 - 250 micron = *fijn zand*
 2,5-3 = 125 - 175 micron = *zeer fijn zand*

5.4.2. Bodemkwaliteit; Zware metalen

In de bodem van het Grevelingenmeer zijn in verschillende jaren de gehalten aan zware metalen bepaald. Tabel 9 geeft de gemiddelde gehalten van monsters uit ondiep en/of diep gelegen bodems die voor het slibgehalte gecorrigeerd zijn. Dat wil zeggen, gestandaardiseerd voor het slibgehalte. De analyses zijn volgens verschillende methoden uitgevoerd, de resultaten horen na correctie vergelijkbaar te zijn. In bijlage 1 wordt gedetailleerder op deze resultaten en de correctiemethode ingegaan.

Tabel 9. Zware metalengehalten in microgram per gram bodemsediment.

Analysemethode WL.	gecorrigeerd voor een slibgehalte van 50% < 16 µm.							
diepte, aantal, jaartal	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
diep (n=3)1973			1,9	117	39	94	28	286
ondiep en (n=1), 1981	23	1,1	1,6	117	38	84	29	280
diep (n=6)1981								

Analysemeth. Al-control.	volgens NW3 genormeerde zware metalen gehalten							
diepte, aantal, jaartal	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
ondiep (n=20)1986	0,7	1,1	1	31	20	82	20	264
diepe putten (n=10)1989	6,5	0,4	0,5	23	14	34	8	102
ondiep (n=24)1989	3	0,2	0,1	16	8	11	7	77

De in het bovenste deel van de tabel toegepaste correctiemethode wordt tegenwoordig niet meer gebruikt. (Voor het Grevelingenmeer wordt nu de zogenaamde interim-RWS methode gebruikt). De gegevens van 1973 en 1981 kunnen echter niet op de huidige manier gecorrigeerd worden omdat de daarvoor benodigde fysische parameters niet geanalyseerd zijn.

Ten opzichte van wat er in 1973 en 1981 door het WL is bepaald, lijken de door Al-control bepaalde concentraties in de bodem van ondiep water in 1989 nog sterker verlaagd dan die van diep water in 1989 en ondiep water in 1986 al waren als gevolg van de correctie-methode.

Worden de zware metalen gehalten uit 1989 volgens de interim-RWS-methode geklassificeerd, dan blijkt het bij de ondiepwater-monsters om klasse 1 specie te gaan. In de diepe putten komt de gecorrigeerde waarde van kwik (Hg) bij negen van de tien monsters in klasse 2. Van kwik is bekend dat het in zoute sedimenten soms moeilijk te bepalen is.

Arseen (As) komt vier van de tien keer en Zink (Zn) twee van de tien keer in klasse 2.

5.4.3. (An)organische microverontreinigingen in bodems van havens

In 1989 zijn de bodems van de havens van het Grevelingenmeer geklassificeerd op basis van de concentraties organische microverontreinigingen en zware metalen. Het betrof alle 13 havens en per haven is de bodemkwaliteit op één tot vier plaatsen onderzocht. De uitkomsten van het totaal is zeer omvangrijk. In veel gevallen voldeed de bodemkwaliteit aan klasse 1 of 2 van het toen gehanteerde BER- of het RWS-klassificatiesysteem. Tabel 10 geeft aan in welke havens er, op een of meer lokaties, een bodemkwaliteit klasse 3 of 4 van het BER- en/of het RWS-klassificatiesysteem werd aangetroffen. Dat is gedaan voor een aantal groepen van soortgelijke stoffen.

Voor de zware metalen wordt aangegeven om welk metaal het gaat.

De overige groepen in de tabel omvatten altijd meerdere stoffen.

Tabel 10. Klassifikatie van de bodems van havens in het Grevelingenmeer.

Haven	PAK's	PCB's	Pesticiden	Zware metalen
Battenoord	3			
Middelplaat		3	3	
Kabellaarsbank				
West-Repart	3 & 4	3 & 4	3	
Scharendijkje				
Den Osse	3	4		Pb 4
Springersdiep	3	3		
Ouddorp	3 & 4			
Bommenede	3			
Bruinisse				
Battenoord				
Mosselbank				
Herkingen		3		

In bijna alle havens waar de bodem als klasse 3 of 4 moet worden geklassificeerd, is dat als gevolg van het gehalte aan organische microverontreinigingen. In de haven Den Osse is de anorganische microverontreiniging lood er de oorzaak van dat de bodem klasse 4 is. In dezelfde haven is klasse 4 slib gevonden, veroorzaakt door overschrijding van de PCB-norm en klasse 3 vanwege de PAK's.

De haven Middelplaat bevat klasse 3 slib als gevolg van de gehalten aan pesticiden en PCB's. West-Repart komt in klasse 3 en 4 door verhoogde gehalten pesticiden, PAK's en PCB's. Haven Springersdiep komt in klasse 3 terecht door te hoge PCB- en PAK-gehalten. De bodem in de havens van Battenoord, Ouddorp, Bommenede en Herkingen moet als 3 of 4 geklassificeerd worden als gevolg van de overschrijding van de PAK-norm.

Verontreiniging van de bodems van (jacht-)havens hangt samen met menselijke activiteiten zoals het beheer en onderhoud van de haven en van de schepen en scheepsmotoren. Aanlegsteigers en remmingswerken zijn vaak van gecreosoteerd hout of van staal dat met aardolie-derivaten is geconserveerd. Dat is een bron voor PAK's. Klassieke teerproducten, die gebruikt worden voor behandeling van de scheepshuid, bevatten deze stoffen ook, evenals uitlaatgassen van scheepsmotoren. Van de PCB's is veel minder duidelijk waar de bron van de belasting binnen de haven gezocht moet worden.

Vanwege de persistentie die deze stoffen kenmerkt, kan de verontreiniging van de havenbodem ook al jaren geleden zijn opgetreden. Tegenwoordig komen PCB's alleen nog in gesloten systemen voor:

condensatoren, transformatoren, warmtewisselaars en hydraulische systemen. In het verleden werden PCB's ook in open systemen toegepast: als toevoeging in boorolie, kruipolie, als impregneermiddel voor katoen, als additief bij de samenstelling van insecticiden en niet in de laatste plaats als toevoeging aan kunststoffen.

Andere oorzaken in het ontstaan van verhoogde gehalten verontreinigingen in de bodem moeten gezocht worden in het gebruiken van de haven als stortlokatie voor chemisch afval. Het verhoogde loodgehalte in de haven van Den Osse is daar het gevolg van.

5.5. Biologische toestand

5.5.1. Water: plantaardig en dierlijk plankton, vissen en vogels

Plankton

Het fytoplankton vormt samen met de bodemalgen de basis van de voedselketen. Onder invloed van omgevingsfactoren als licht, koolzuur en nutriënten wordt via de fotosynthese in de cellen organisch materiaal en zuurstof gevormd, zie bijlage 3. Deze aanmaak van organisch materiaal wordt primaire productie genoemd. Omdat de bodemalgen of bodemdiatomeeën vanwege hun bijdrage in de totale primaire productie voor de waterfase van belang zijn wordt hetgeen bekend is over hun toestand hier beschreven. Van de bodemdiatomeeën in het Grevelingenmeer is op één lokatie (Veermansplaat) in de periode september 1986 t/m januari 1987 een uitgebreide bestandsopname gemaakt, zie lit. 10. In de bovenste paar millimeter van de bodem, drie meter onder water, kwamen 14 soorten veelvuldig voor, waarvan *Navicula digitordiata* voor meer dan 50%.

Het fytoplankton is alleen in 1980 en 1981 onderzocht. Er overheersen twee fytoplanktonsoorten: het zweepwier *Cryptomonas* in het voorjaar en het kiezelwier *Chaetoceros* in de zomer. Een kiezelwier dat ook in het voorjaar veel voorkomt is *Skeletonema costatum*.

In 1980 en 1981 is de totale hoeveelheid geproduceerde koolstof bepaald op 214 respectievelijk 225 gram koolstof per m² per jaar. Voor het hele meer is dat 24000 ton koolstof. Deze gegevens zijn afkomstig van lit. 11.

Fytoplankton-tellingen zijn in de evaluatieperiode na 1980 niet meer uitgevoerd. Wel wordt in het routine waterkwaliteitsprogramma van Rijkswaterstaat het chlorofyl-a gehalte bepaald. Dat gehalte is een maat voor de algenbiomassa.

Tabel 11 geeft het jaargemiddelde chlorofyl-a gehalte en het opgetreden winterminimum en zomermaximum. De waarden van 1980 en 1981 zijn afkomstig van twee monsterpunten: G1 (oost) en G3 (west), voor de overige jaren zijn de gegevens van G11 (midden) gebruikt.

Tabel 11. Chlorofyl-a concentratie Grevelingenmeer 1980 t/m 1989.

parameter	chlorofyl-a in µg/l									
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
jaargemiddelde	3,1	6,3	4,6	4,2	4,1	7,8	4,1	4,9	3,0	2,3
winterminimum	0,4	1,0	0,5	0,6	0,4	0,1	0,6	0,3	0,3	0,4
zomermaximum	6,7	29,0	10,8	9,6	9,5	19,8	11,4	25,7	14,5	8,5
waarnemingen	26	26	53	56	48	15	27	26	36	20

Evenals voor het fytoplankton is de informatie over zoöplankton beperkt tot hetgeen daarover in 1980 is onderzocht en in lit.5 is beschreven. De ontwikkeling van het zoöplankton volgt die van het fytoplankton op de voet.

Het in het vroege voorjaar geproduceerde fytoplankton wordt "gegraasd" door raderdieren, zoals *Synchaeta*. Dit zoöplankton is 80 tot 200 micron groot. Veel kleiner zijn de ééncellige dieren (protozoën) die niet met een planktonnet van 65 micron gevangen kunnen worden. Deze soortgroep kan in het Grevelingenmeer zeer hoge aantallen bereiken. Naast deze dwergen komen in het Grevelingenmeer twee "reuzen"soorten zoöplankton voor. Het zijn vertegenwoordigers van de roeipootkreeftjes (copepoden) en deze bereiken een omvang van 1000 micron (1 mm). In de zomer komt de soort *Acartia tonsa* het meeste voor.

Vissen

De beschrijving van de toestand en ontwikkeling van de vissen in het Grevelingenmeer is ontleend aan lit. 12 en 13.

De soortenrijkdom is het grootst bij de Brouwerssluis en neemt naar het oosten af. Dit komt door het binnentrekken/binnenspuien van vissen. De soortensamenstelling in het Grevelingenmeer (1980-1989: 58 vissoorten) is van vergelijkbare orde grootte als in de Oosterschelde (1979-1989: 71 vissoorten).

In de loop van de periode 1980-1989 is de soortensamenstelling nauwelijks gewijzigd, wel zijn er veranderingen in aantalsverdeling en biomassaverdeling opgetreden.

De meest voorkomende vissoorten in het Grevelingenmeer zijn: paling, bot, schol, puitaal, haring, zeedonderpad, griet, schar, geep, tong, tarbot, koornaarvis, kabeljauw, wijting, zwarte grondel, dikkopje, meun en snotolf.

Een aantal soorten dat in de Oosterschelde zeldzaam voorkomt, ontbreekt in het meer.

Typische seizoens-gasten als ansjovis, makreel, pollak en zeebaars komen in geringere mate voor.

Kenmerkende vissoorten in het ondiepe deel van het Grevelingenmeer zijn: grondels, driedoornige stekelbaars, haring en koornaarvis. Deze kleinere vissen zijn belangrijk omdat ze door visetende vogels worden gegeten.

De standvissen grondel en koornaarvis namen sterk af na een drietal strenge winters. In 1988 en 1989 namen ze weer sterk toe.

Voor grondels is de totale biomassa in het gedeelte dieper dan 2 m. zowel in 1982 als in 1988 bepaald op 12 ton als versgewicht. Er heeft echter een verschuiving plaatsgevonden binnen de grondels. Was het dikkopje met een biomassa van 9 ton versgewicht in 1982 de belangrijkste soort, in 1988 is deze soort door de zwarte grondel met datzelfde gewicht verdrongen.

Ook de schol en bot komen voor in het Grevelingenmeer. Voor de hengelsport is de schol een belangrijke vissoort. Platvis plant zich niet voort in het meer. De populatie is daardoor sterk afhankelijk van de intrek van larven in het voorjaar wat enerzijds wordt bepaald door de sterkte van de Noordzee-populatie en anderszijds door het sluisbeheer. In 1979 is er een grote intrek van larven geweest doordat de Brouwerssluis dat gehele jaar geopend was. Deze jaarklasse bepaalt de populatieopbouw in de volgende jaren. Door geringe intrek in 1980-1984 nam de populatie in aantal geleidelijk af. Vanaf 1985 was de intrek beter dan in 1980-1984, tengevolge van de aanwezigheid van larven voor de kust en het openstaan van de Brouwerssluis. Figuur 9 geeft het overzicht van de scholpopulatie in het Grevelingenmeer. De botpopulatie loopt achter op die van schol omdat de botlarven later in het voorjaar voor de kust verschijnen.

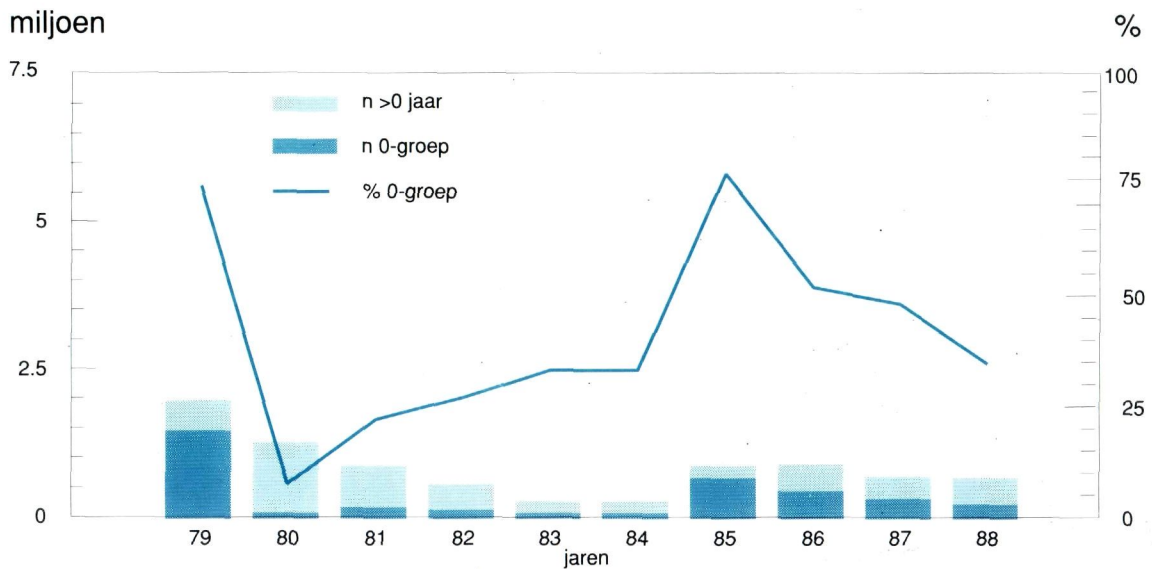


Fig.9 Scholpopulatie in het Grevelingenmeer

Aantallen

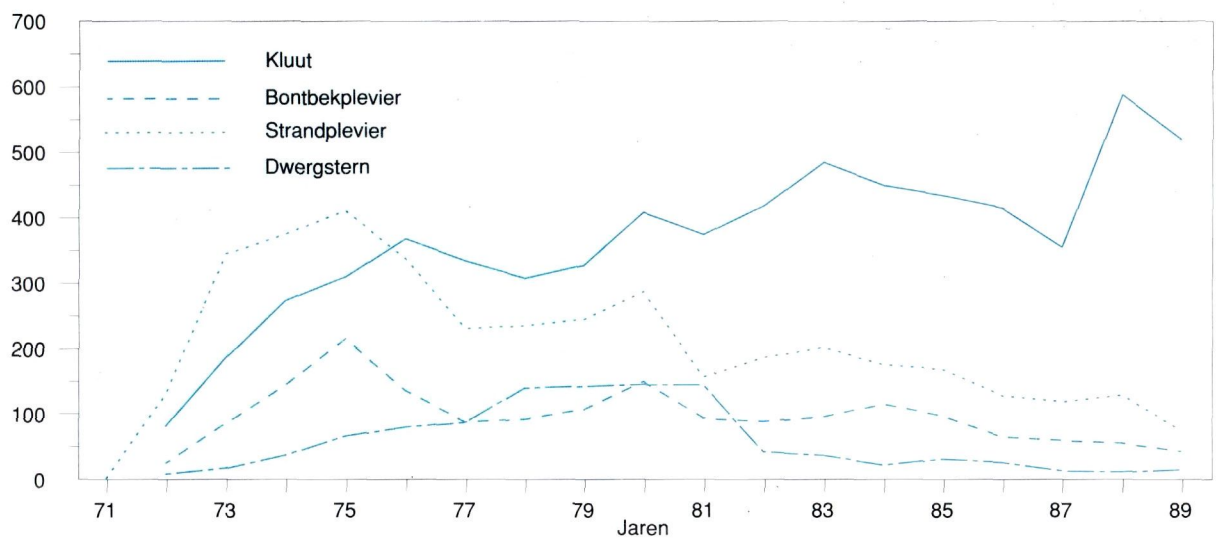


Fig.10 Aantallen broedvogels in het Grevelingenmeer

Vogeldagen x 10.000

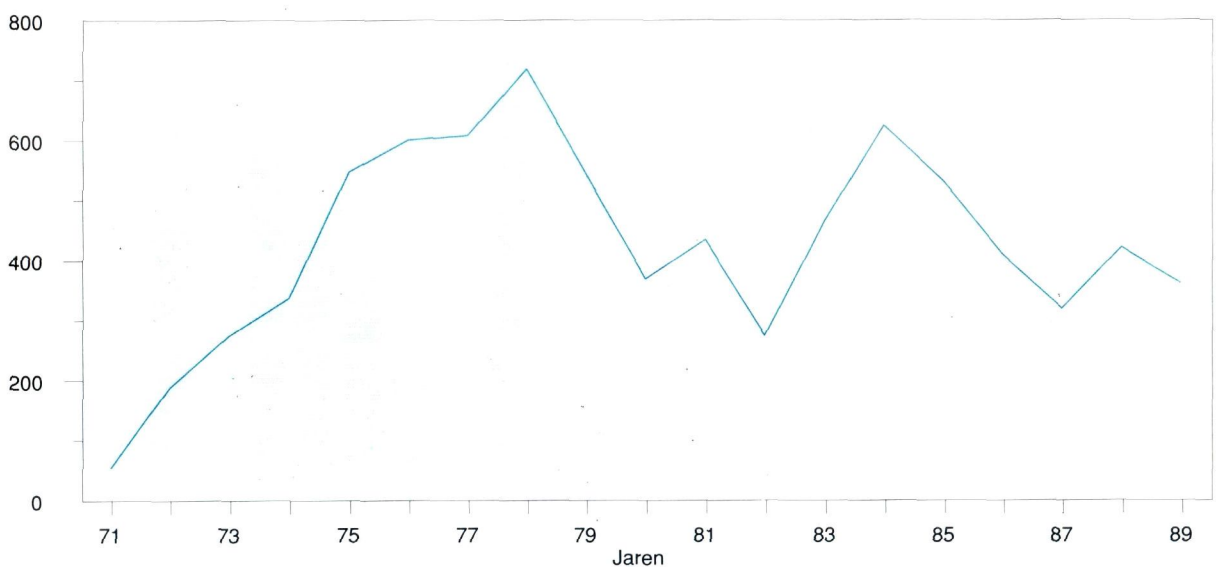


Fig.11 Vogeldagen plantenetende vogels in het Grevelingenmeer

Vogeldagen x 10.000

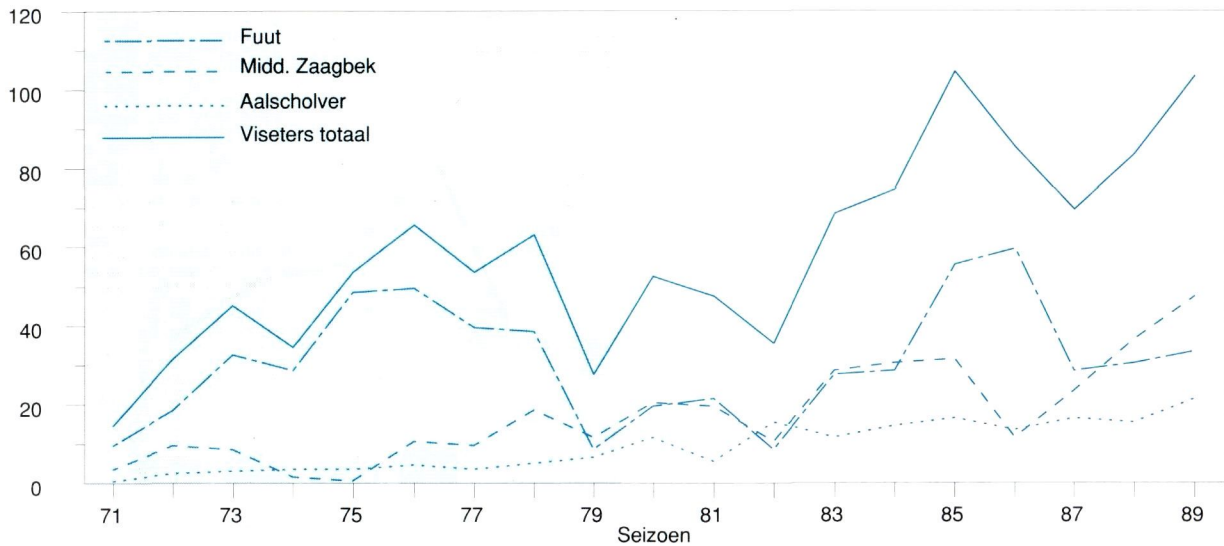


Fig.12 Vogeldagen visetende vogels in het Grevelingenmeer

Vogeldagen x 10.000

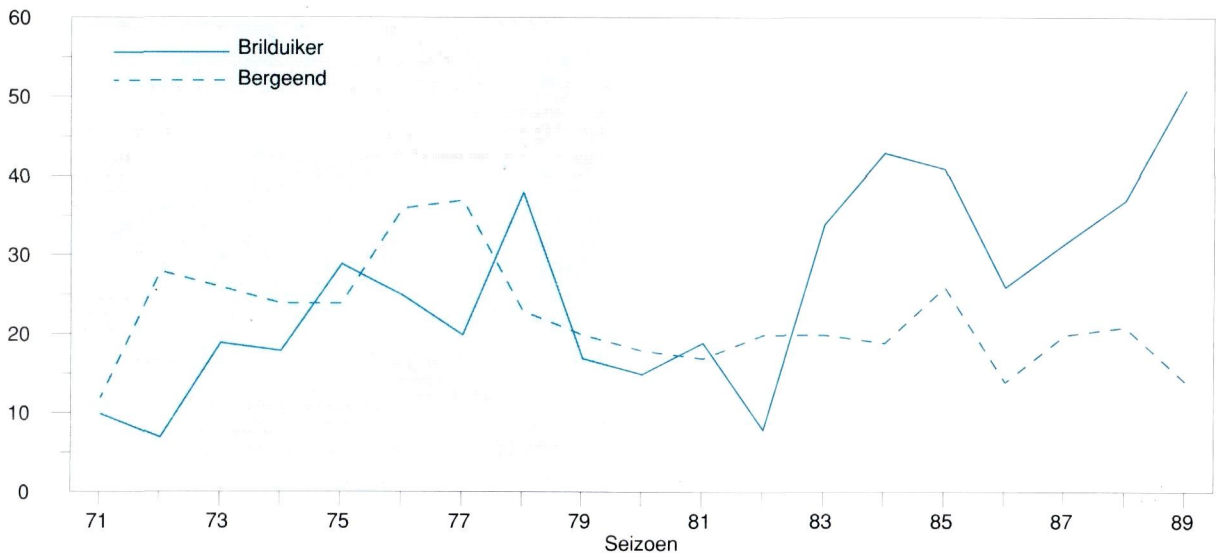


Fig.13 Vogeldagen zoobenthosetende vogels in het Grevelingenmeer

ton C

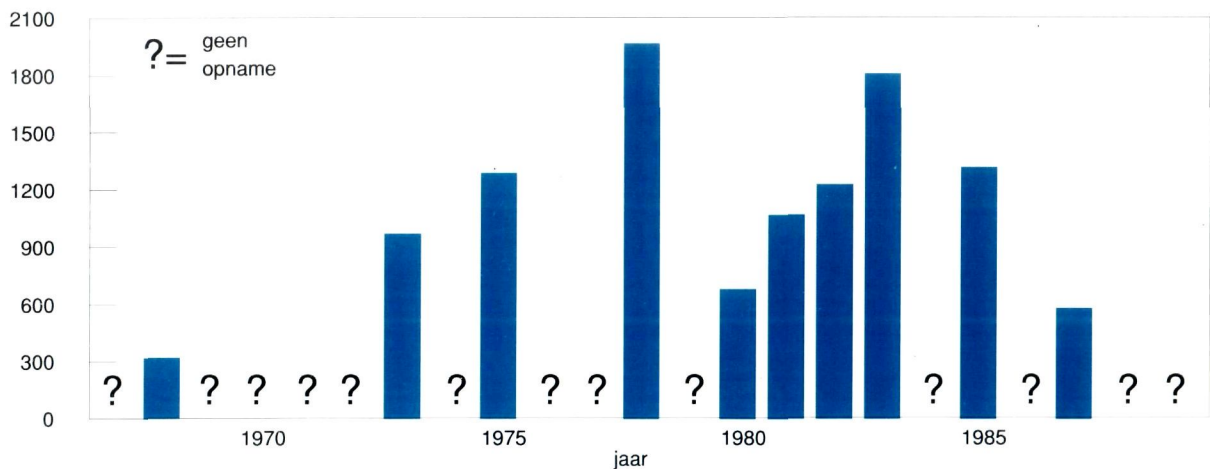


Fig.14 Biomassa zee gras Grevelingenmeer

De biomassa platvis wordt geschat op 225 ton schol als versgewicht en 88 ton bot als versgewicht.

Voor de hengelsport zijn nog enige soorten interessant. Haring en geep trekken in het voorjaar het meer in via de Brouwerssluis. Met de hengel worden ze in voorjaar en zomer gevangen. In de afgelopen periode is er een toename van haring geweest vanaf 1983/1984.

Voor de beroepsvisserij is paling (of aal) belangrijk. De aal komt als glasaal het meer binnen via de Brouwerssluis, daarnaast is de aalpopulatie afhankelijk van het uitzetten van pootaal.

Het vóórkomen en de verspreiding van aal is gerelateerd aan de inspanning en het succes van aalvissers. De informatie over deze vissoort is afkomstig van deze beroepsgroep. De vangst is in de periode 1980-1989 geleidelijk gedaald. Volgens de beroepsvissers was de totale jaarvangst aan het eind van deze periode met bijna de helft afgenomen. Officiële gegevens over de hoeveelheden aal in het meer ontbreken.

In het najaar wil de schieraal (paairijpe aal) wegtrekken door de Brouwerssluis. De schieraal trekt bij voorkeur onder omstandigheden met weinig zicht. Dat kunnen samenvallende omstandigheden zijn, zoals: de nacht, veel bewolking, nieuwe maan en veel wind (troebel water). Het beheer houdt rekening met verzoeken van de beroepsvisserij om de trek af te remmen door gedurende "donkere" perioden in september tot en met december de Brouwerssluis dicht te houden.

Vogels

De aantallen vogels in de periode 1980 t/m 1989 zijn afkomstig van lit. 14. Dat rapport is een evaluatie over de periode 1971 tot en met 1985. Het werd aangevuld met (nog) ongepubliceerde gegevens die door Staatsbosbeheer aan Rijkswaterstaat ter beschikking zijn gesteld voor het biologisch monitoringprogramma van de zoute rijkswateren.

De watervogels die van het gebied gebruik maken gedurende de trek en in de winter, fourageren in het meer of de aangrenzende gebieden. Broedvogels nestelen op de permanent drooggevallen gronden.

De zoöbenthos-etende vogels, zoals brilduiker en bergeend, zijn aangewezen op de ondiepe delen en aangrenzende oevers. De groep plantenetters wordt met name gevormd door knobbelzwaan, rotgans en smient die vooral fourageren in de zeegrasvelden, zie figuur 16.

De intensiteit waarmee vogels gebruik maken van een bepaald gebied kan worden uitgedrukt in vogeldagen.

Het aantal vogeldagen per jaar wordt als volgt bepaald: bij tellingen op één dag in het midden van iedere maand is het jaarlijks aantal vogeldagen de som van het maandelijks getelde aantal maal dertig.

De situatie zoals die was in 1989 wordt in tabel 12 gegeven.

Tabel 12. Omvang van de vogelpopulatie in het Grevelingenmeer in 1989 en het relatieve aandeel broedvogels op het totaal in het Deltagebied.

	vogelsoort	vogeldagen	broedparen
viseters:			
	fuut	320.000	
	middelste zaagbek	430.000	
	aalscholver	215.000	
zoöbenthos-eters:			
	brilduiker	510.000	
	bergeend	140.000	
plantenetters:			
	ganzen, zwanen, smienten	3.700.000	
kustbroedvogels:			
	kluut		520 17%
	bontbekplevier		45 19%
	strandplevier		77 17%
	grote stern	2600	76%
	visdief	311	6%
	noordse stern	10	24%
	dwergstern	17	6%

Het belang van het Grevelingenmeer voor de totale broedvogelpopulatie van het Deltagebied komt tot uitdrukking in de gegeven percentages, naar lit.15.

De ontwikkeling van een aantal van de vogelsoorten naar de toestand aan het eind van de evaluatieperiode is te zien in de figuren 10 tot en met 13.

Sinds de afsluiting van het Grevelingenmeer is het aantal broedvogelsoorten toegenomen van 15 tot 90. Typische pioniersoorten die broeden in open dynamische kustmilieu's, zoals plevieren en sterns, bereikten hun maximale aantallen meestal binnen tien jaar na de afsluiting. Door voortschrijdende vegetatiesuccessie nam het geschikt areaal aan broedgebied voor deze soorten af, maar toch konden zich relatief belangrijke populaties handhaven (Tabel 12). Dit is vooral te danken aan de aanwezigheid van dynamiek door overspoeling met zout water, en de noodzakelijke rust. De populatie van de kluut heeft zich op een hoog niveau kunnen handhaven. Dit viel samen met een algehele populatiegroei in het deltagebied.

De aanwezigheid van plantenetende vogels op het open water van het Grevelingenmeer wordt vooral bepaald door het voorkomen van groot zeegras. Andere wiersoorten spelen als voedsel voor vogels een ondergeschikte rol.

Belangrijke consumenten van zeegras zijn knobbelzwaan, rotgans, smient en meerkoet. Het verloop van het totaal aantal vogeldagen van deze soorten wordt door figuur 11 weergegeven. Het is gebleken dat het aantal vogeldagen van smient en de knobbelzwaan sterk correleert met de aanwezige oppervlakte zeegras.

Naast vogeldagen worden er ook "vogelnachten" op het Grevelingenmeer doorgebracht. Duizenden tafeleenden fourageren in de maanden september tot december 's nachts op zaden in de zeegrasvelden. De dag brengen deze eenden op zoet water door. Door het drinken van zoet water zijn ze in staat het zout uit te scheiden dat tijdens het fourageren is opgenomen. Naar schatting worden er 500.000 tot 1.250.000 vogelnachten op het Grevelingenmeer doorgebracht.

Het Grevelingenmeer heeft zich sinds de afsluiting ontwikkeld tot een

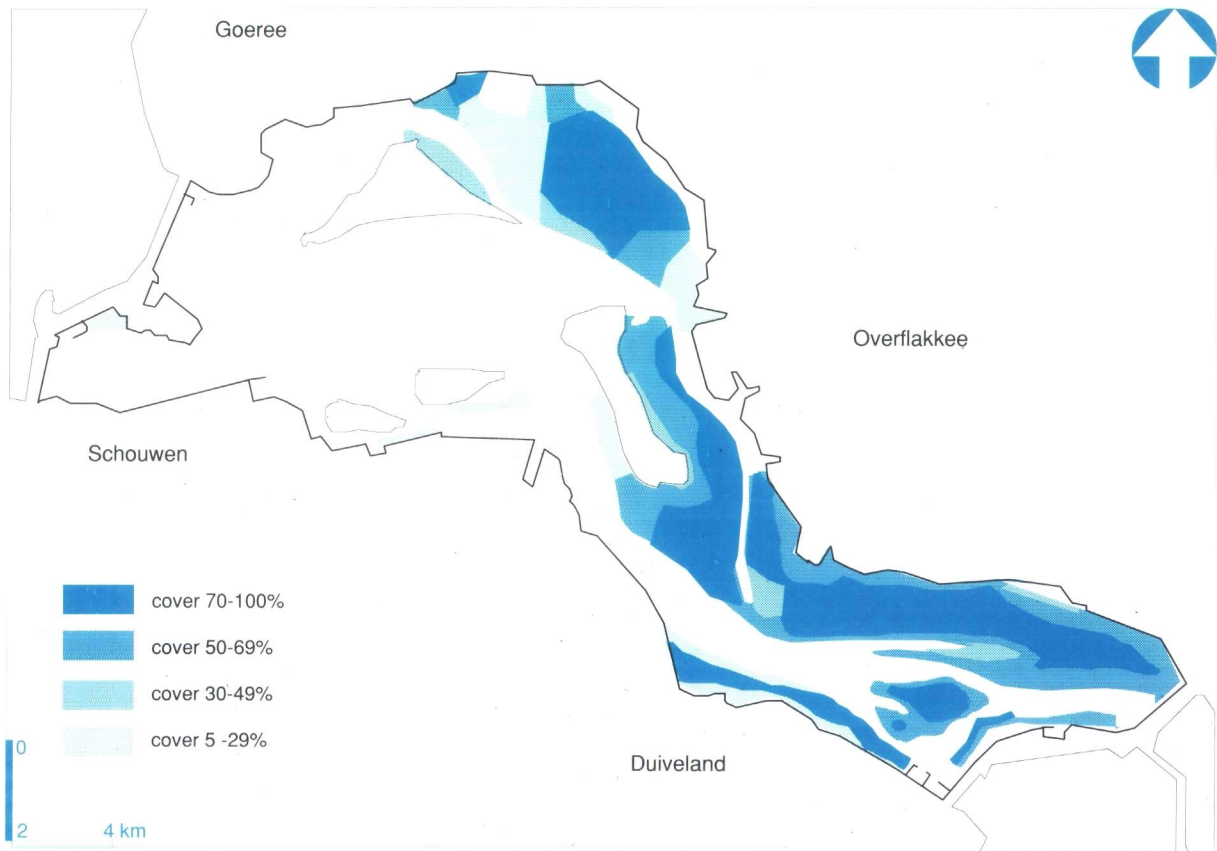


Fig.16 Verspreiding zeegras Grevelingenmeer 1989

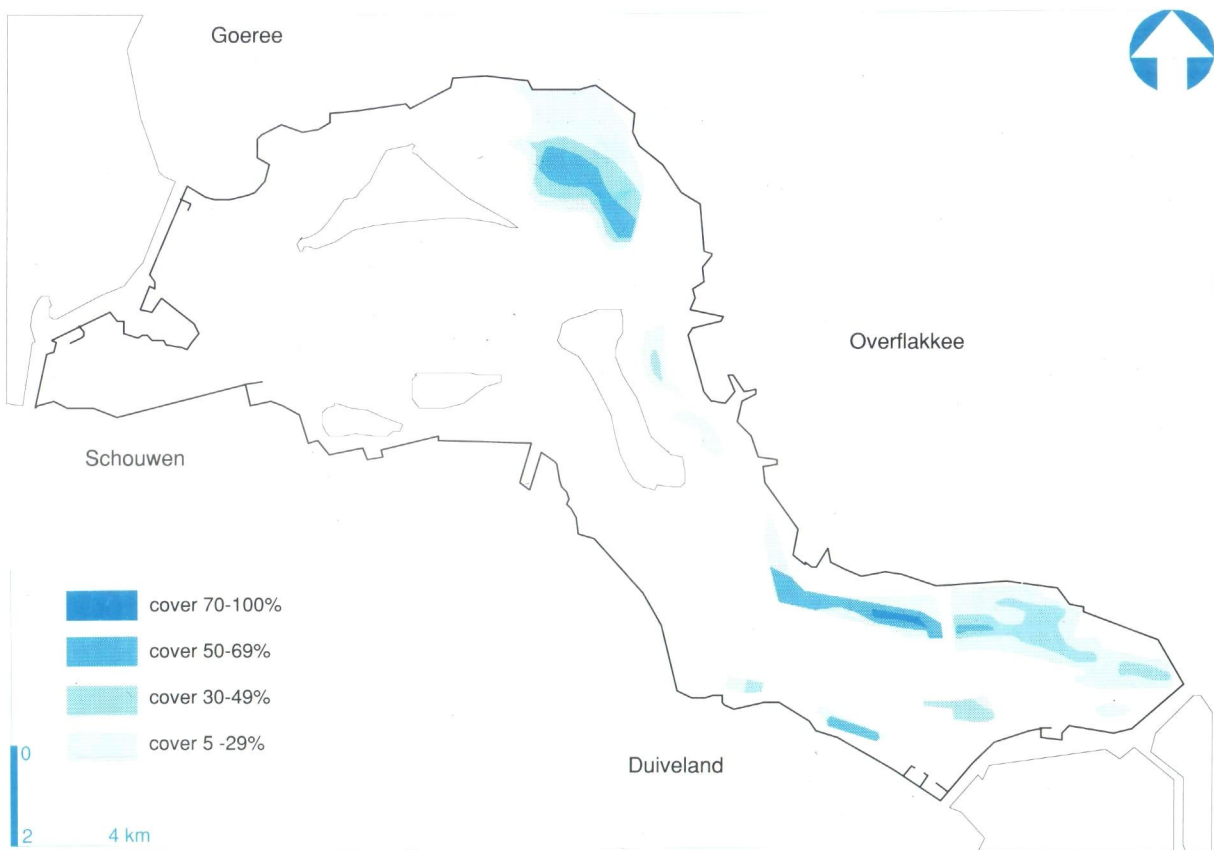


Fig.16 Verspreiding zeegras Grevelingenmeer 1989

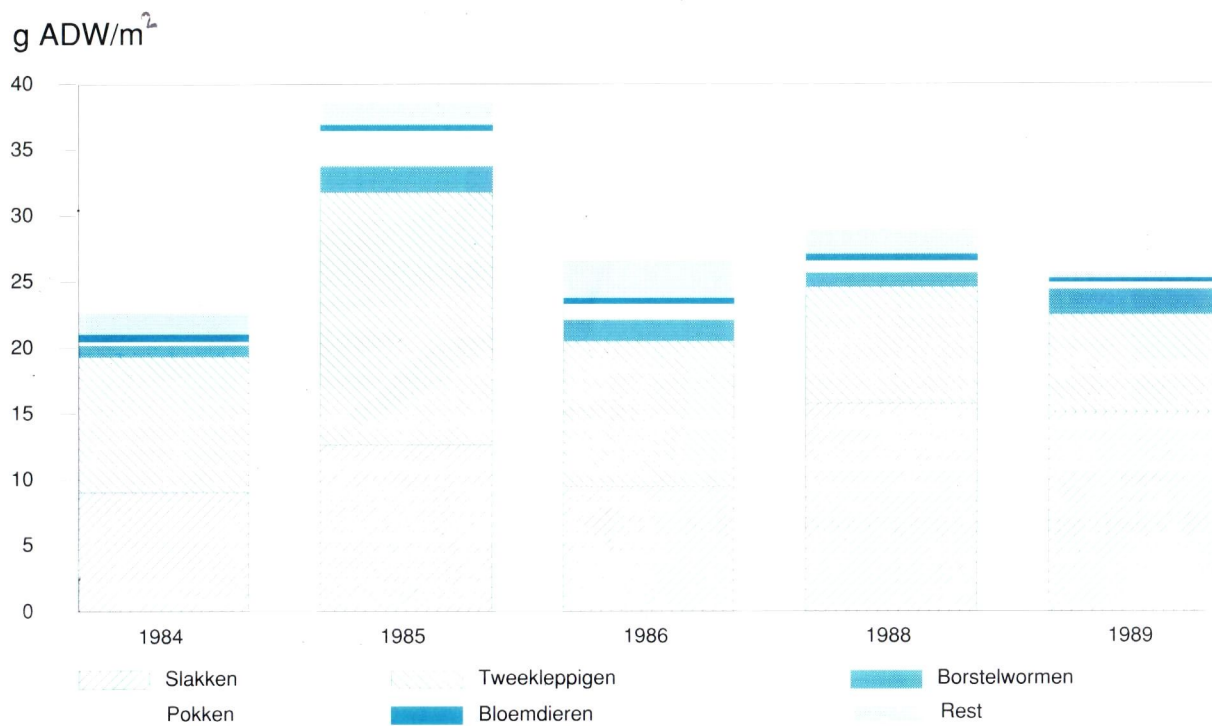


Fig.17 Benthos Grevelingenmeer per soortgroep

belangrijk gebied voor visetende vogels. De tendens van een toenemend aantal vogeldagen van deze vogels zette zich in de evaluatieperiode voort, zie figuur 12. De oorzaak daarvan is de toegenomen helderheid van het water en een groot aanbod aan potentiële prooivissen. Het voedsel van de fuut en de middelste zaagbek bestaat voornamelijk uit grondels, zie lit. 12. Over het voedsel van de aalscholver in het Grevelingenmeer is weinig bekend.

Bij de zoöbenthosetende vogels, figuur 13, nam het aantal vogeldagen van de brilduiker in de evaluatieperiode toe. Het lage aantal vogeldagen van de brilduiker aan het begin van de evaluatieperiode is waarschijnlijk het gevolg van een afgenomen voedselaanbod door stratificatie-effecten of de strenge winter 1978/1979. De afname van het aantal vogeldagen van de brilduiker in het seizoen 1986/1987 moet vooral toegeschreven worden aan de ijsbedekking in januari 1987. De vogeldagen van de bergeend bleven in de evaluatieperiode ongeveer gelijk.

5.5.2. Bodem: wieren, zeegrassen, bodemdieren

Het soortenaantal van de wiervegetatie in het Grevelingenmeer is, door het ontbreken van de getijbeweging en grote stroomsnelheden, kleiner dan in de Oosterschelde.

Door de grotere helderheid strekt de door wieren gedomineerde zone zich wel verder naar beneden uit: tot 8 à 9 m. In deze paragraaf worden de grote soorten algen en wieren besproken. Voor de bodemdiatomeën wordt verwezen naar paragraaf 5.5.1.

Het bruinwier *Dictyota dichotoma* wordt in het Grevelingenmeer vooral aangetroffen, vastgehecht aan schelpen van mossel en kokkel. Het wier kent zo een grote verspreiding: in 1989 werd het op 724 ha. aangetroffen, met een totaalgewicht van ca. 47 ton koolstof, naar lit.16. Of de soort in het begin van de 80-er jaren al zo wijd verspreid was, is niet met zekerheid te zeggen; eerdere onderzoekers maken er echter geen melding van.

De Fucussoorten, die in de Oosterschelde dominant zijn, spelen in het Grevelingenmeer nauwelijks een rol.

Een meer bekend bruinwier, het Japans bessenwier (*Sargassum muticum*), wordt momenteel op 60 ha aangetroffen. Het is een soort die vanaf 1980 snel over het meer is verspreid, lit.17. Zij wordt aangetroffen op harde substraten als dammen en dijken en verder op oesterschelpen, meestal niet dieper dan 3m. Door de snelle individuele groei en de omvang, heeft de soort een grote concurrentiekracht in de zone 0 - 4 m. In 1990 is er overigens een sterke afname in de biomassa van het Japans bessenwier opgetreden.

Onder de dichte massa's planten zijn de lichtcondities zodanig dat zich hier alleen dierlijke organismen kunnen ophouden. Toch zijn de meeste wiersoorten van vóór de komst van het bessenwier nog aanwezig omdat in augustus en september, na het losraken en afsterven van het bessenwier, de overige wiersoorten alsnog de kans krijgen om uit te groeien, lit.18. Vaak is er dan een snelle uitbreiding van viltwier (*Codium fragile*) te zien.

De bessenwervegetaties bieden leefmogelijkheden voor diverse soorten mobiele organismen die er voedsel en beschutting vinden.

De groenwieren zijn dominant aanwezig op mossel- en oesterbanken,

dijkbeschoeiingen en dammen, op andere wieren of loszwevend in het water, lit. 13.

Het betreft vooral de soorten *Chaetomorpha spec* (in 1989 aanwezig op 387 ha, 10 ton koolstof), *Ulva spec* & *Enteromorpha spec* (in 1989 op 10 ha) en *Codium fragile* (1989: 34 ha; 10 ton koolstof).

Na een enorme toename tussen 1973 en 1978, lijkt de verspreiding van *Chaetomorpha spec* sinds 1981 weer afgenomen. Gezien de verspreidingspatronen van dit wier en het zeegras werd in de oude situatie (1978) een competitie tussen deze twee macrofyten verondersteld, zie lit.19. De survey van 1989, lit.16, kon deze hypothese bevestigen nog ontkennen.

Van de roodwieren is *Chondrus crispus* de meest dominante: in ondiep water, op bijna 20 ha aan dammetjes en dijkglooiingen werd de soort in 1989 aangetroffen, lit.16. Een ander in ondiep water veel gezien roodwier is *Ceramium rubrum*. De andere soorten (zoals *Antithamnion spec.*, *Callithamnion spec.* en *Polysiphonia violacea*) komen dieper voor, tot 8 á 9 m.

Ten opzichte van 1978 is er waarschijnlijk niet zoveel veranderd in de verspreidingspatronen van de meeste wieren. Een aantal soorten, zoals *Griffithsia devoniensis* (vanaf 1979) en *Porphira spec.* (vanaf 1980) zijn weer waargenomen, nadat ze sinds de afsluiting verdwenen waren, naar lit.17. Een relatie met de opening van de Brouwerssluis lijkt voor de hand te liggen.

Sinds de afsluiting is het klein zeegras (*Zostera noltii*) vrijwel geheel verdwenen en is de litorale, éénjarige populatie van groot zeegras (*Zostera marina*) "omgevormd" tot een submerse ("verdrongen"), meerjarige populatie, die zich in hoog tempo heeft uitgebreid over alle ondiepe gebieden. In 1978 is een uitbreiding bereikt van ca. 4400 ha. De bovengrondse biomassa is dan ca. 2000 ton koolstof. Figuur 14 uit lit.20 geeft dat weer.

In 1980 is de populatie sterk achteruit gegaan om zich daarna weer te herstellen tot een oppervlak van ca. 3300 ha. in 1985. Zowel in 1987 als in 1989 is het areaal zeegras weer sterk verminderd tot circa 1500 ha. Tabel 13 en de figuren 15 en 16 geven de ontwikkeling weer.

Het oppervlak in tabel 13 betreft gebieden met bedekking >5%. De productie is bepaald met de bladmarkeringsmethodiek en met modelberekeningen. De biomassa heeft betrekking op de bovengrondse delen in juli-augustus, naar: Nienhuis pers. med. en lit.19 en lit.16.

Tabel 13. Oppervlak, productie en biomassa van groot zeegras *Zostera marina* in het Grevelingenmeer

jaar	oppervlak (in ha)	productie (g C/m ² /j)		biomassa (ton C)
		m ² zeegras	m ² Grevelingen	
1978	4400	105	43	2018
1980	2490	78	18	709
1981	3400			1090
1982	3370			1255
1983	3700			1855
1985	3350	104	32	1364
1987	1585	±98	±15	600
1989	1427			300*

(* lit. 16)

Het grote verschil in biomassa (48%) tussen de opnames van 1987 en 1989 is gelegen in het verschil in type bedekking: de gebieden met een hogere bedekkingsgraad zijn "omgezet" in gebieden met lagere bedek-

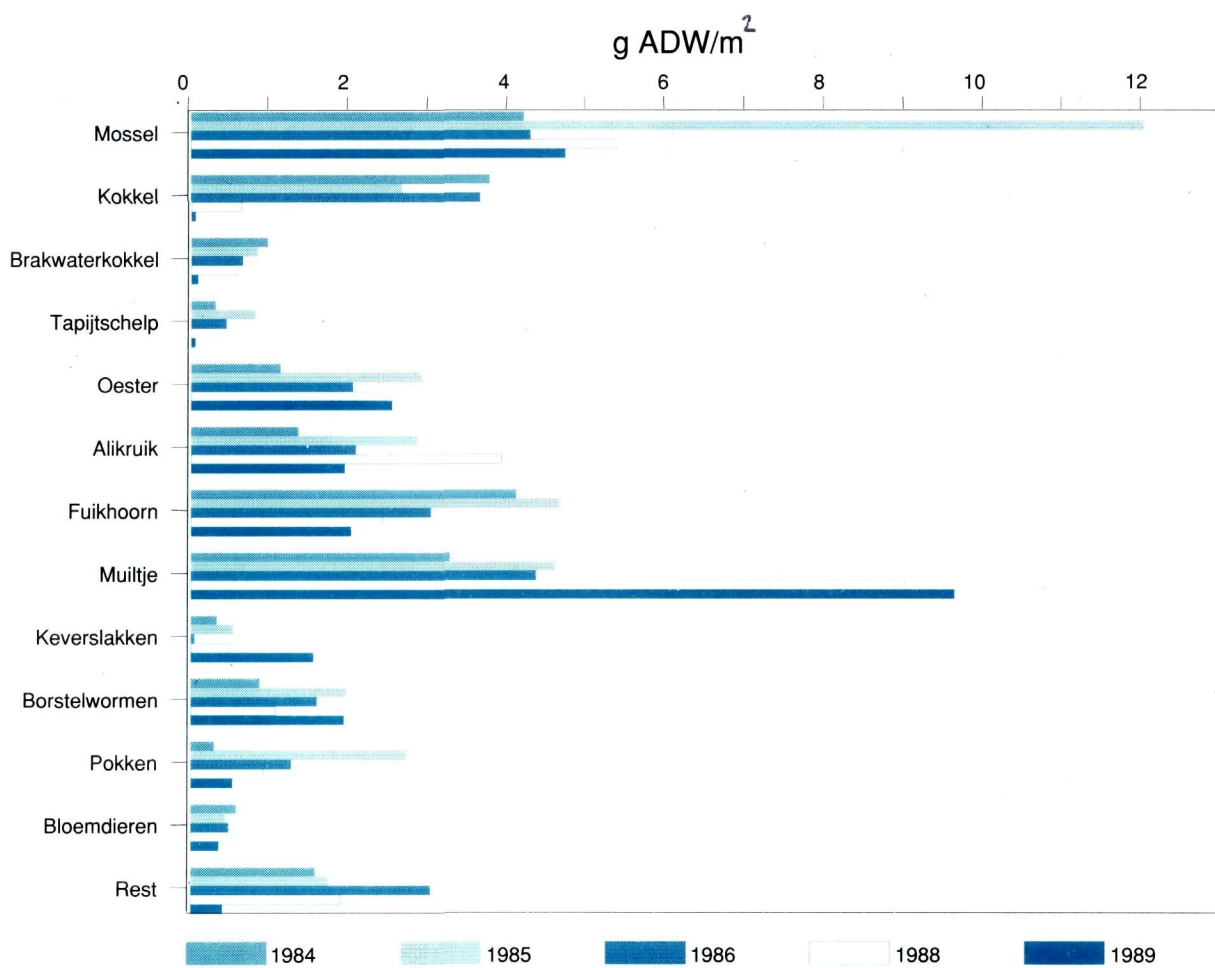


Fig.18 Biomassa bodemdieren Grevelingenmeer

Biomassa in grammen ADW per m²

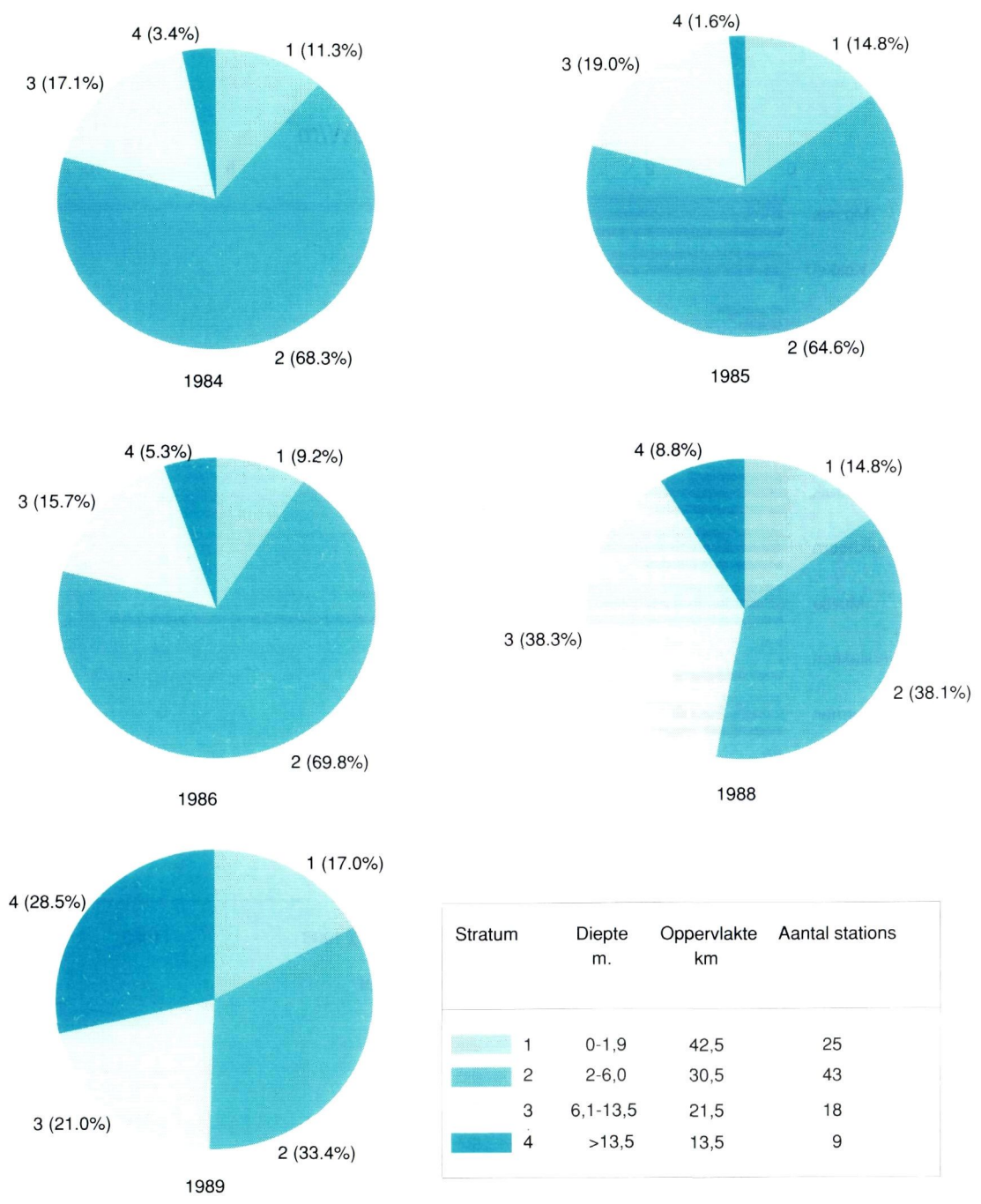


Fig.19 Benthos Grevelingenmeer per dieptestratum

king. Ondanks het geringe verschil in oppervlak geeft de ijlere bedekking toch aan dat de zeegras-populatie verder achteruit is gegaan.

Bodemdieren

Aantal en biomassa

Door het DIHO zijn van 1984 tot en met 1989 bemonsteringen uitgevoerd. De opzet van de bemonsteringen was informatie te verkrijgen over de biomassa van de grotere bodemdieren, voornamelijk de schelpdieren zoals mossel *Mytilus edulis*, oester *Ostrea edulis*, muiltje *Crepidula fornicata* en gevlochten fuikhoorn *Nassarius reticulatus*. Deze groep vertegenwoordigt naar aangenomen wordt zo'n 80% van de biomassa.

In de bemonsteringen vanaf 1984 zijn in de 3 mm fractie meestal 45 soorten aangetroffen en nog eens 10 á 12 soorten in de 1 mm fractie. Vooral kleine soorten worden met de gehanteerde uitzoekmethode gemist zodat het soortenaantal waarschijnlijk hoger is.

De soortensamenstelling is niet zoveel veranderd de laatste 6 jaar. De gevlochten fuikhoorn komt het meest voor, samen met het muiltje en de mossel. Ook de wormen *Nephtys hombergii* & *Nereis virens* worden vaak aangetroffen. Per jaar zijn wel enkele verschuivingen in frequentie van voorkomen opgetreden. De platte slijkgaper *Scrobicularia plana* wordt steeds minder aangetroffen, de witte dunschaal *Abra alba* wordt de laatste jaren weer meer gevonden.

In de biomassa van de diverse soorten zijn wel veranderingen opgetreden.

a. Per soortgroep en per soort.

De vóór- en achteruitgang van de diverse soorten resulteert in een ongeveer gelijkblijven van de algemene gemiddelde biomassa per jaar, zie figuur 17. In deze figuur is de afname van de tweekleppigen (mossel) en de netto toename van de slakken te zien (fuikhoorn afgenomen, muiltje toegenomen).

Voor de dominante soorten (of soortgroepen zoals borstelwormen *Polychaeta* en bloemdieren *Anthozoa*) is in figuur 18 de gemiddelde biomassa over het hele meer voor de jaren 1984 t/m 1989 naast elkaar gezet.

Duidelijk is de halvering van de mosselbiomassa na 1985 en de verdubbeling van de biomassa van het muiltje. Deze soort heeft de rol van belangrijkste filtereeder overgenomen van de mossel. De biomassa voor de beide kokkelsoorten *Cerastoderma edule* & *Cerastoderma lamarci* nadert het nulpunt en ook de tapijtschelp *Venerupis* heeft nu een lage biomassa.

De gevlochten fuikhoorn gaat geleidelijk naar de helft van de in 1985 vastgestelde waarde.

b. Per dieptestratum:

Vooral de laatste twee jaren heeft zich een verschuiving voorgedaan in de verdeling van de biomassa over de dieptestrata, terwijl ook het aandeel van de verschillende soorten over de jaren nogal veranderd is, figuur 19. Soorten als muiltje, mossel, oester en zee-pok komen nu ook met een hoge biomassa in het diepste stratum voor, zij het dat de spreiding erg groot is (zo hebben enkele stations een zeer hoge biomassa).

Microverontreinigingen in bodemdieren

In lit.22 is gerapporteerd over het gehalte van enige microverontreinigingen in mosselen en wadpieren uit het Grevelingenmeer in 1980/1981. Tabel 14 geeft de gehalten in g per gram vet in organismen uit het Grevelingenmeer.

Tabel 14. Organische microverontreinigingen in enige organismen uit het Grevelingenmeer in 1981.

	µg per gram vet					
	Σ6-PCB's	α-HCH	γ-HCH	Dieldrin	p,p'DDD	p,p'DDE
wadpier	10		0,6	0,5		0,7
mossel	5 - 8	0,1	0,2	0,6	0,3	0,6

Zowel het PCB- als het α-HCH gehalte in wadpier en mossel uit het Grevelingenmeer was hoger dan in die uit de Oosterschelde. In mosselen uit de Oosterschelde werd 3 µg PCB per gram vet en 0,02 µg α-HCH per gram vet bepaald en de wadpier uit het Grevelingenmeer bevatte bijna 10 µg PCB's per gram vet tegen 3 µg PCB's per gram vet in de wadpier uit de Oosterschelde. Een verklaring voor het verschil moet gelegen zijn in de groeiomstandigheden omdat de PCB-concentratie in water van het Grevelingenmeer juist lager was dan van de Oosterschelde (0,8 ng/l tegen 2,3 ng/l), zie lit 22.

6. DE BELASTING OP HET MEER DOOR POLDERLOZINGEN EN NEERSLAG

Het waterdebiet en de vracht van een aantal stoffen die via het polderen regenwater in het Grevelingenmeer terecht komen, zijn in tabel 15 samengevat. Het chloridegehalte in het water is daarin als debietgemiddelde concentratie van alle lozingen gegeven.

Tabel 15. Polderlozingen, neerslag en afstroming op het Grevelingenmeer in de periode 1980 t/m 1988. Jaarvrachten nutriënten, debiet-gewogen gemiddelde concentratie van chloride en het gemiddelde debiet van de gesommeerde lozingen.

Jaar	NH ₄ -N ton/jr	Kjdl-N ton/jr	NO ₃ +2 ton/jr	oPO ₄ -P ton/jr	tot-P ton/jr	Cl ⁻ g/l	Debiet m ³ /s
1980	257	417	244	28,3	38,4	1,44	4,11
1981	254	315	230	27,2	38,3	1,26	4,83
1982	232	283	176	25,1	38,0	1,62	3,61
1983	211	260	247	21,0	64,9	1,27	4,37
1984	279	308	275	34,2	46,8	1,66	5,04
1985	252	310	229	27,7	43,2	1,56	4,30
1986	207	274	279	29,2	39,8	1,30	4,33
1987	253	280	222	31,0	41,0	1,33	4,74
1988	222	248	272	26,2	39,7	1,50	5,18
gem.	241	299	242	27,8	43,3	1,44	4,50

Uit de tabel kan worden opgemaakt, dat de verzoetende invloed van deze belastingen vrij groot is. Dit wordt vooral veroorzaakt door de neerslag. Het gemiddelde chloridegehalte van het polderwater bedroeg in de beschouwde periode $\pm 4,75$ g/l.

De relatieve bijdrage via polderwater en neerslag voor de verschillende belastingen van nutriënten, chloride en het debiet over de periode 1980 t/m 1988 is vermeld in tabel 16.

Tabel 16. Relatieve verdeling van de belastingen van het Grevelingenmeer door polderwater (po) en neerslag (ne) van een aantal stoffen en het debiet in de periode 1980 t/m 1988.

NH ₄ -N		Kjdl-N		NO ₃ +2		oPO ₄ -P		tot-P		Cl ⁻		Debiet	
po	ne	po	ne	po	ne	po	ne	po	ne	po	ne	po	ne
38	62	50	50	69	31	87	13	92	8	99	1	30	70

In bijlage 2 is de waterbelasting en de relatieve verdeling van belasting en onttrekking op het Grevelingenmeer in beeld gebracht.

7. RELATIES TUSSEN DE ONTWIKKELINGEN IN ABIOTISCHE EN BIOTISCHE TOESTANDSVARIABLEN

7.1. Processen in het water

De belangrijkste waterkwaliteitsparameters in de Nederlandse watersystemen zijn de nutriënten en de microverontreinigingen. De verontreinigingsgraad van het Grevelingenmeer als geheel is laag, alleen lokaal (in havens) is die te hoog.

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de ontwikkelingen in de nutriëntenhuishouding. Bijlage 3 gaat kort in op het begrip nutriëntenhuishouding en hoe de processen in het Grevelingenmeer daarin een rol spelen.

7.1.1. Het nutriëntenverloop in de evaluatieperiode

De figuren 20, 22, 24 en 26 geven achtereenvolgens het seizoensverloop weer van de nutriënten: ammonium-stikstof, nitriet- plus nitraat-stikstof, ortho-fosfaat-fosfor en silicium. Het zijn de maandgemiddelde concentraties, gemiddeld over drie lokaties, voor twee perioden van vijf jaar: 1980 t/m 1984 en 1986 t/m 1989. Dat onderscheid is gemaakt omdat het niveau en het verloop van de concentratie van enkele parameters in deze perioden duidelijk verschillend is, waarschijnlijk als gevolg van verschil in temperatuur in deze perioden.

De nitriet+nitraat concentratie is als somparameter bepaald tot en met het jaar 1987. Daarna is nitraat als "nitraat gefiltreerd" geanalyseerd en is nitriet apart geanalyseerd. Voor een goede vergelijkbaarheid is gekozen voor het presenteren van eenduidig bepaalde variabelen en daarom is de tweede periode van nitriet+nitraat wat korter dan van de andere variabelen.

De figuren 21, 23, 25 en 27 geven voor de eerdergenoemde nutriënten de berekende lineaire trend weer op basis van kwartaalgemiddelde concentraties van de (drie) lokaties gemiddeld. Deze trendlijnen zijn slechts indicatief. Hoe steiler de trendlijn, hoe groter het verschil tussen het niveau van de beginconcentraties en de eindconcentraties in de beschouwde periode.

Als per nutriënt deze figuren worden beoordeeld dan kan er voor de evaluatieperiode het volgende geconcludeerd worden.

Ammonium-stikstof

Gemiddeld is de NH₄-N concentratie over de gehele periode constant en bedraagt 0,07 mg N/l. In het seizoensverloop zijn echter verschillen zichtbaar tussen de eerste en de tweede helft van de totale evaluatieperiode. Het blijkt, dat er een faseverschuiving is opgetreden in het verloop van de minimumwaarden in de zomer naar de maxima in de winter. Die verschuiving is ongeveer één maand: In de periode 1980-1984 begon de NH₄-N-toename medio augustus en verliep langzaam naar het maximum dat medio december werd bereikt. De winterwaarden bleven hoog en pas half februari namen die weer snel af. In de periode 1985-1989 nam het NH₄-N gehalte pas vanaf medio september snel toe naar een maximum dat medio december viel. Sneller dan in de voorgaande periode nam het gehalte daarna weer af.

De oorzaak ligt waarschijnlijk bij het verschil in temperatuur-verdeling (en de daarvan afhankelijke processen) over deze tijdvakken, zie figuur 28.

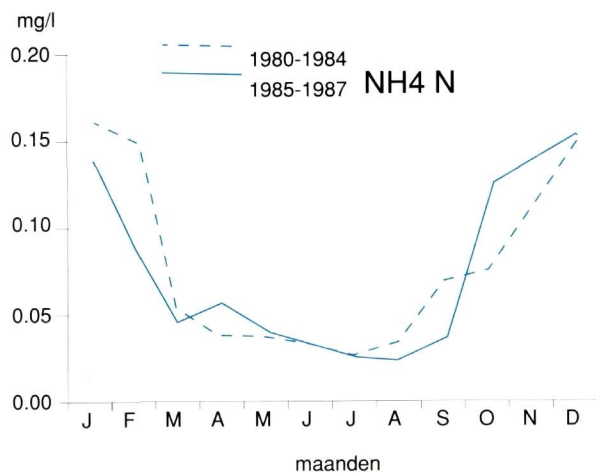


Fig.20 Ammonium

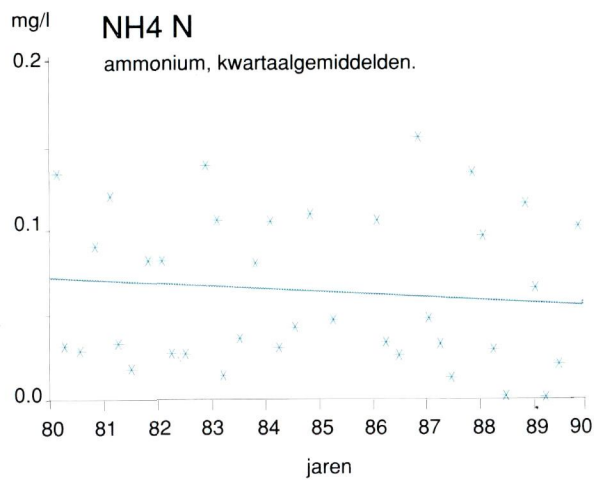


Fig.21 Ammonium trend

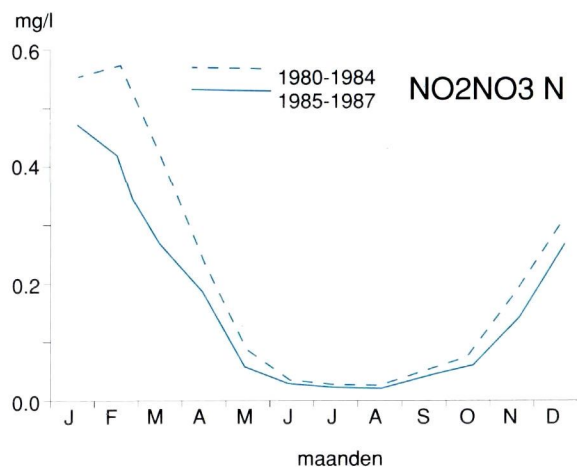


Fig.22 Nitriet + nitraat

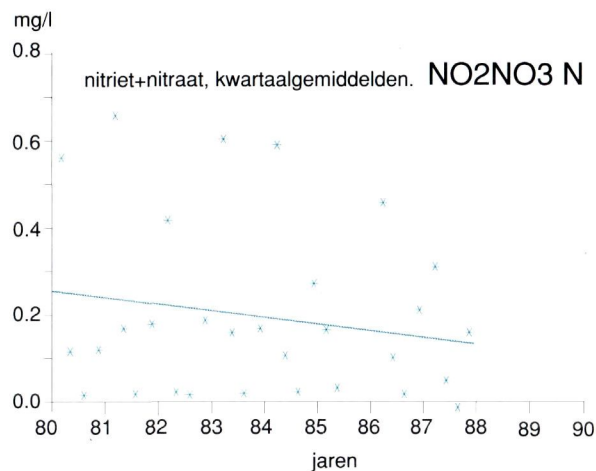


Fig.23 Nitriet + nitraat trend

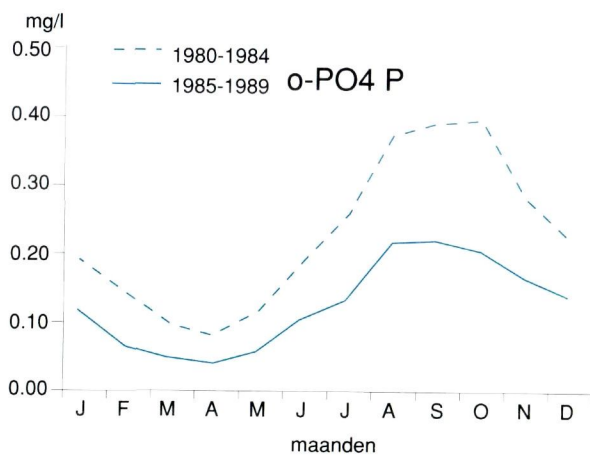


Fig.24 Ortho-fosfaat

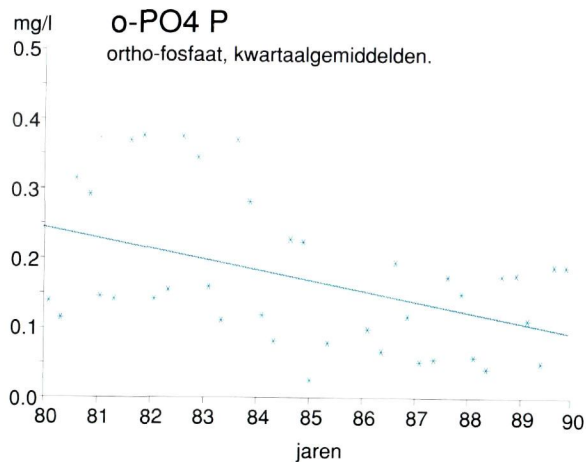


Fig.25 Ortho-fosfaat trend

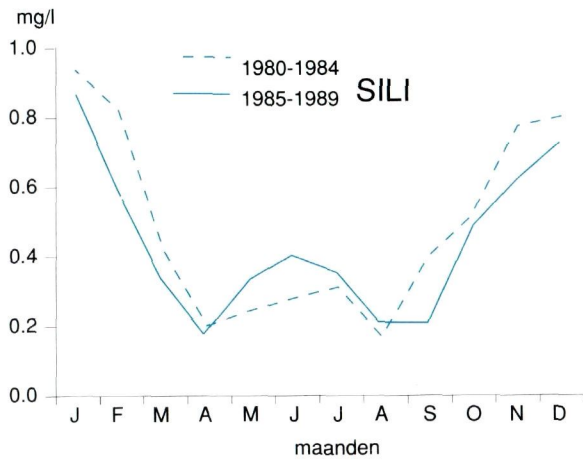


Fig.26 Silicaat (reactief)

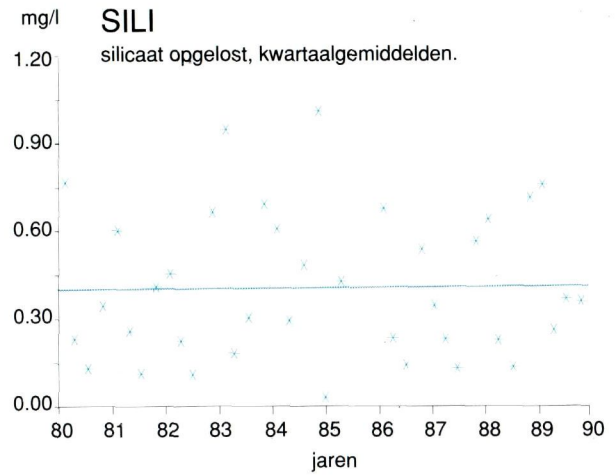


Fig.27 Silicaat trend

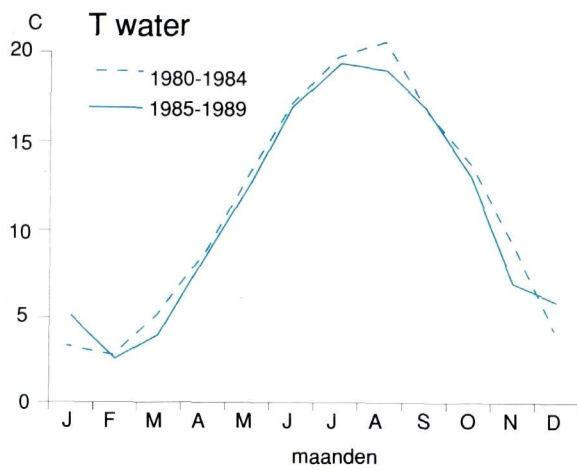


Fig.28 Watertemperatuur

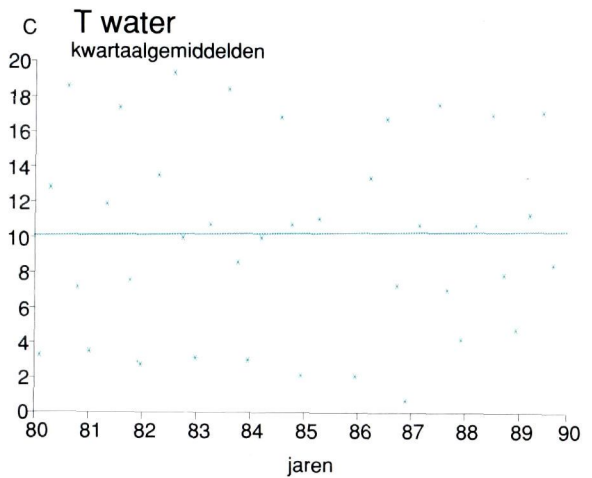


Fig.29 Watertemperatuur trend

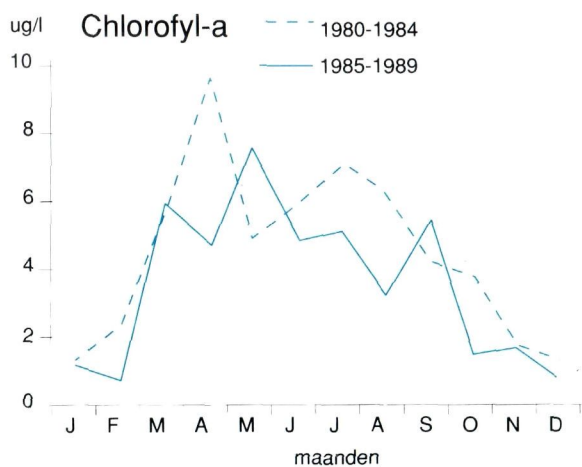


Fig.30 Chlorofyl-a

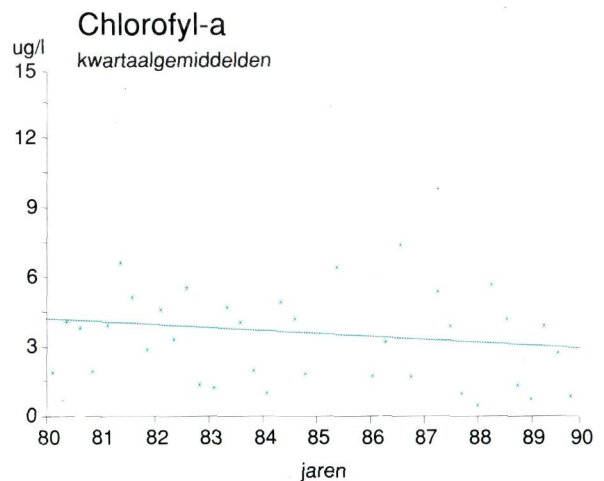


Fig.31 Chlorofyl-a trend

De augustusmaand was in de periode 1980-1984 gemiddeld één graad warmer dan in de periode 1985-1989. De chlorofylconcentratie, fig. 30, was in het tijdvak 1980-1984 in juli en augustus hoger dan in het tijdvak 1985-1989, terwijl ammonium en silicium minimaal waren in concentratie, zie de figuren 20 en 26. In het tijdvak 1985-1989 is er in de maand september een algenbloei voorgekomen. Daarmee kwam een chlorofylconcentratie overeen die het niveau van het tijdvak 1980-1984 bereikte. De algen hebben in de zomer de nutriënten opgenomen en sterven af. Er is een groot aanbod van mineraliseerbaar materiaal en een hoge mineralisatie-snelheid. De snelle toename in ammonium en silicium vanaf augustus in de periode 1980-1984 is daarmee in overeenstemming. De lagere chlorofylconcentraties gedurende de zomermaanden in de periode 1985-1989, ten opzichte van die in de periode 1980-1984, zijn in overeenstemming met de relatief lagere temperatuur (en het kleiner aantal zonne-uren dat daarmee samenhangt). Alleen in de maand september van de periode 1985-1989 is er een algenbloei geweest met een chlorofylconcentratie die overeen kwam met die in de voorgaande periode, zie figuur 30.

De lagere temperatuur is er de oorzaak van dat de ammonium- en siliciumconcentratie pas in september beginnen toe te nemen. Zie figuur 28 en de tekst bij "Temperatuur water" in paragraaf 7.1.2.

Ook in de winterperiode blijkt het gedrag van silicium in overeenstemming met dat van ammonium, de relatie met temperatuur en chlorofyl is in dat seizoen wat minder duidelijk dan de relatie die in de zomer kenmerkend bestaat.

Nitriet + nitraat stikstof

Een faseverschuiving trad bij nitriet + nitraat stikstof in iets mindere mate dan bij ammonium op. In de periode 1980-1984 werden de maximale winterwaarden in februari bereikt, er was echter geen sprake van het sneller toenemen en daarmee eerder bereiken van het wintermaximum in de periode 1985-1987.

De trendlijn van $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ neemt af. Op basis van de trendlijn kan voor 1-1-1980 een concentratie van 0,24 mg N worden berekend en voor 1-1-1988 een concentratie van 0,14 mg N als $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$. Wordt deze lijn geëxtrapoleerd naar 1990 dan zou er op 1-1-1990 een concentratie van 0,12 mg N als $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ voorkomen, een halvering in tien jaar tijd.

De totaalbelasting van nitriet- en nitraatstikstof door: polderlozingen, neerslag en afstroming oeverlanden op het Grevelingenmeer is in de evaluatieperiode niet afgenomen. Ook de ammoniumbelasting bleef gelijk. De uitwisseling met het Noordzeewater in de winterperiode heeft een netto import van stikstof tot gevolg. Dat zijn de uitkomsten van het onderzoek dat is uitgevoerd in het kader van de ontwikkeling van het model ECOLUMN, waarmee de effecten van beheersscenario's op enige nutriënten en chlorofyl kunnen worden voorspeld. Over het model en de berekeningen daarmee wordt gerapporteerd in een aparte nota.

De concentratie nitraatstikstof in het meer daalt, evenals het organische stofgehalte in de bodem. Het ammoniumgehalte in het water blijft gelijk en er is een netto import van stikstof. Dat betekent dat de denitrificatie moet zijn toegenomen. Bij denitrificatie wordt nitraatstikstof (in de bodem) omgezet in elementair stikstof dat gasvormig is en uit het systeem verdwijnt.

Een grotere denitrificatie betekent echter ook dat er meer zuurstof is verbruikt, omdat het te denitrificeren stikstof eerst moet zijn omgezet in nitraatstikstof. De omzetting van ammonium in nitraat vindt plaats waar

het ammonium-aanbod groot is, terwijl er zuurstof aanwezig is: op de grens tussen water en bodem en op het scheidingsvlak van gestratificeerde waterlagen (de spronglaag).

Ortho fosfaat fosfor

De orthofosfaatconcentratie is in de tweede helft van de tachtiger jaren, net als de nitraatconcentratie, gehalveerd ten opzichte van de eerste helft. Er is, in tegenstelling tot de stikstofcomponenten, bij orthofosfaat geen duidelijke verschuiving opgetreden in het seizoensverloop. Dat is ook niet vreemd, want het seizoensverloop wordt, door het niet beperkend zijn van fosfaat, veel minder door algen bepaald. Wat wel opvalt, is de snelle verandering tot een lager niveau van concentraties eind 1984. De verschillen tussen zomer- en winterwaarden worden vanaf dat moment ook kleiner. Over de totale periode gemiddeld is de concentratie 0,17 mg P in de vorm van o-PO₄. De berekende trend voor de periode 1982 t/m 1989 is dalend. Er is duidelijk een trendbreuk waar te nemen in de winter van 1984. De omvang van de trendbreuk is te onderscheiden door voor twee perioden apart de trendlijn te bepalen. De onderzochte perioden zijn: 1982 t/m 1984 en 1985 t/m 1989.

In die eerste periode was het orthofosfaatgehalte 0,22 mg P/l en in de tweede periode 0,11 mgP/l. De naar eind 1989 toe geëxtrapoleerde trendlijn van de eerste periode komt, ondanks de trendbreuk, uit bij de trendlijn die voor de periode 1985-1989 bepaald is, zie fig.32.

De dalende trend in de jaren 1982/1984 is het gevolg van de uitwisseling met de Noordzee: in september/oktober treedt het maximum in de concentratie in het meer op. De concentratie op de Noordzee is dan veel lager. De uitwisseling met de Noordzee verloopt in de maanden september tot maart, er vindt dan export van fosfaat plaats. De concentratie in het Grevelingenmeer neemt als gevolg daarvan af tot het niveau van het kustwater.

De plotselinge verlaging van het fosfaatgehalte eind 1984 is uitgebreid onderzocht. De conclusie luidt, dat de trendbreuk in fosfaatgehalte het gevolg is van drie opeenvolgende relatief koude winters: 1984/1985, 1985/1986 en 1986/1987.

In het kort wordt de volgende verklaring gegeven: Bij lagere temperatuur is de accumulatie van fosfaat in de bodem groter. De concentratie in het water neemt daardoor af. Alleen hogere zomertemperaturen zijn in staat een mobilisatie van fosfaat te bewerkstelligen die een concentratieverhoging in het water naar het oude niveau mogelijk maakt.

Dat er na de minder koude winters van 1987/1988 en 1988/1989 geen herstel is opgetreden naar het niveau van de concentratieverdeling van vóór 1984/1985 is ook verklaarbaar. De netto export van fosfaat in de jaren waarin het fosfaatgehalte verlaagd was door lage wintertemperaturen, ging uiteraard door. Dit werd versterkt door het gebruik van de hevel in dezelfde winters, want de fosfaatconcentratie van het ingelaten Noordzeewater via de Brouwerssluis was veel lager dan dat van het Grevelingenmeerwater dat via de hevel werd afgevoerd.

De dalende trend van de periode 1982/1985 geeft aan dat het concentratieniveau van fosfaat eind jaren tachtig ook uitgekomen zou zijn op het huidige, zie figuur 32.

Kortom: Door de strenge winters is de orthofosfaatconcentratie versneld op een laag niveau gekomen dat pas na langere tijd bereikt zou zijn als de netto export naar de Noordzee het enige belangrijke transport was.

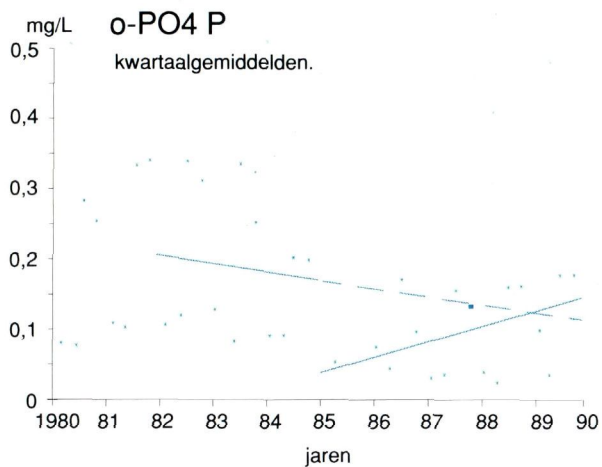


Fig.32 Ortho-fosfaat trends per periode

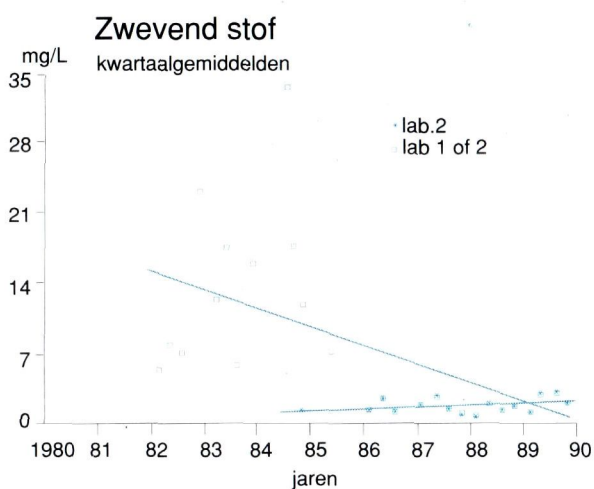


Fig.33 Zwevend stof trend

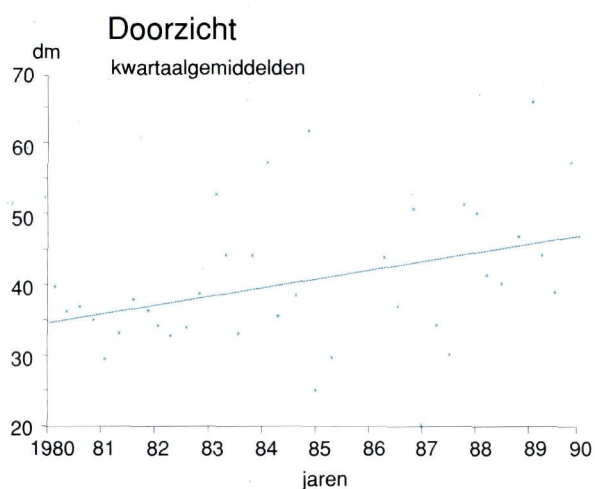


Fig.34 Doorzicht trend

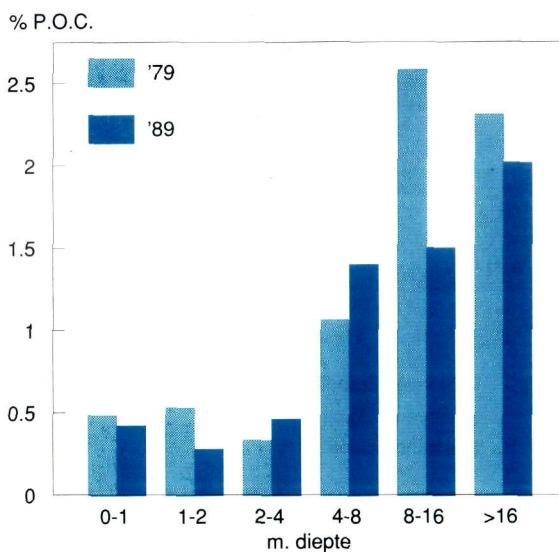


Fig.35 Percentage POC in de bodem van het Grevelingenmeer

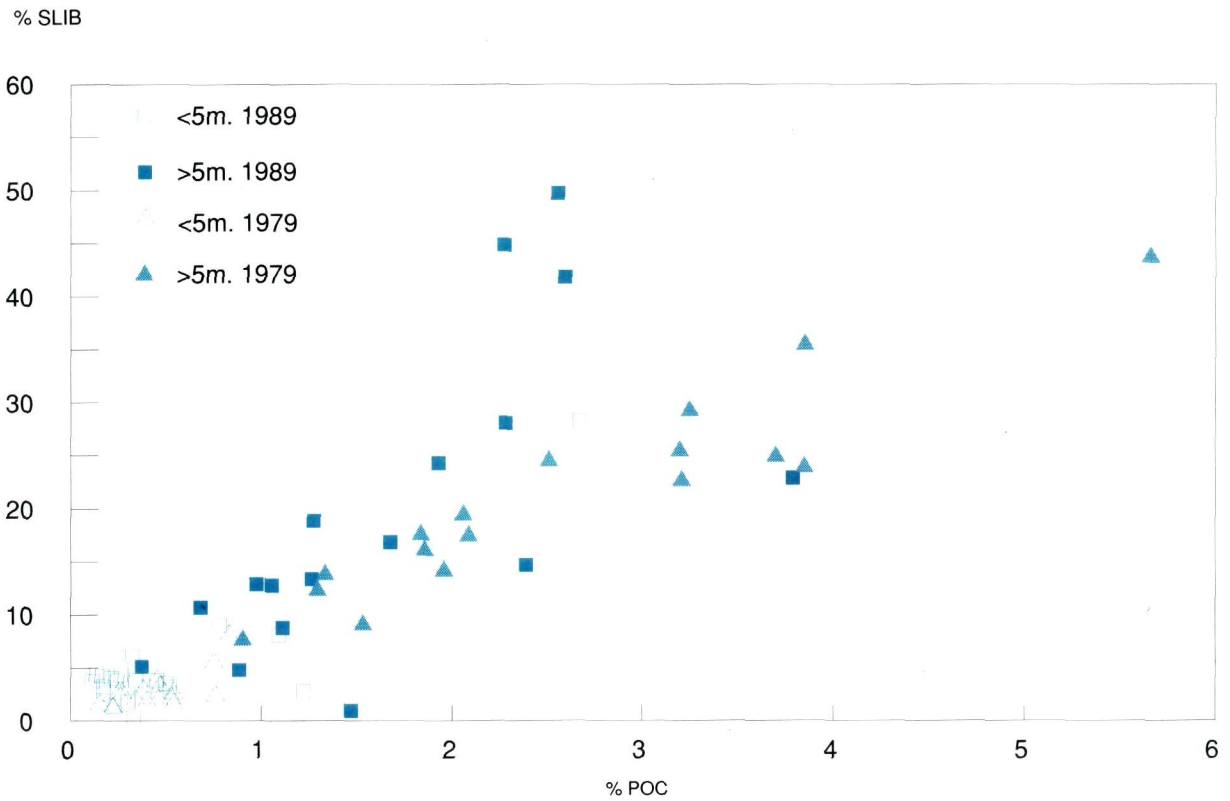


Fig.36 Relatie slib-/POC- gehalte in de bodem van het Grevelingenmeer

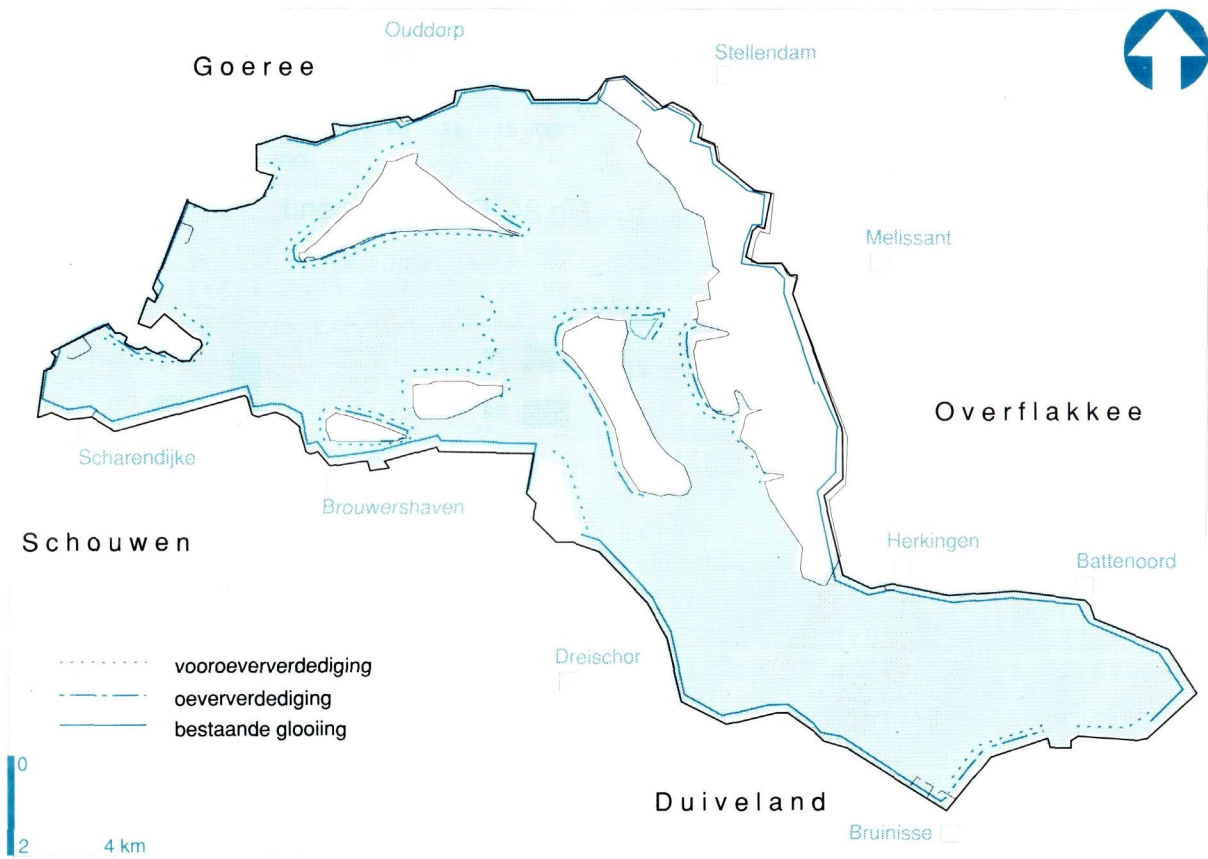


Fig.37 Oeververdedigingen Grevelingenmeer

Silicium

In de periode 1980-1984 zijn de zomerconcentraties van silicium lager en de winterconcentraties hoger dan in de periode 1985-1989, zie fig. 26. Een ander verschil is het laag blijven van het minimale siliciumgehalte dat in augustus bereikt wordt: In de periode 1985-1989 is ook in september het siliciumgehalte nog laag. Het chlorofylgehalte was in die maand juist verhoogd ten opzichte van de gehalten in het naseizoen wat betekent dat de chlorofyl hoort bij kiezelwieren die in die maand tot bloei zijn gekomen.

Jaargemiddeld is de concentratie van silicium in de evaluatieperiode weinig veranderd. De trendlijn vertoont een lichte stijging van de gemiddelde concentratie, van 0,39 mg Si/l begin 1980 tot 0,45 mg Si/l eind 1989, fig. 27.

7.1.2. Zwevend stof-, doorzicht-, temperatuurontwikkeling

Zoals in bijlage 3 beschreven, zijn niet alleen nutriënten voor de groei van plankton belangrijk. Ook het licht, of het onderwaterlichtklimaat, is in vergelijkbare mate van belang; zo kan ook het (tekort aan) licht de limiterende factor zijn voor de primaire productie. Het onderwaterlichtklimaat is afhankelijk van het doorzicht van het water en dat is afhankelijk van de hoeveelheid zwevend stof in het water.

Zwevend stof

In het voorgaande is bij de bespreking van het fosfaatgedrag de term trendbreuk gevallen. Er treedt ook een trendbreuk op als de lineaire regressie van de zwevende stof concentratie wordt berekend. Dit heeft echter geen natuurlijke oorzaak maar is het gevolg van verschillen in monsternamediepte, monsterbehandeling (transport, conservering, bewaartijd) en/of analyse.

Beoordeling van de ruwe data leert, dat de hoge zwevend stof gehalten het gevolg zijn van de laboratoriummethodiek. Vermoedelijk werd het afgefilterde materiaal op het ene laboratorium niet uitgewassen om chloride te verwijderen, anders dan bij het andere laboratorium gebruikelijk is.

Evaluatie van de ontwikkeling in zwevend stof gehalte in de eerste helft van de tachtiger jaren is daardoor onmogelijk. Afgaand op de analysegegevens die wel betrouwbaar geacht worden is het zwevend stof gehalte in de tweede helft van de tachtiger jaren 2 mg/l.

Voor het zwevend stof gehalte in de tweede helft van de jaren tachtig is een licht stijgende lijn berekend, zie figuur 33. Die komt echter niet overeen met de stijgende trend die voor het doorzicht berekend kon worden, alsmede de dalende trend van de chlorofylconcentratie, zie de figuren 34 en 31. Aan de richting van de trendlijn van zwevend stof moet dus getwijfeld worden.

Doorzicht

De parameter doorzicht wordt in-situ gemeten en externe beïnvloeding is daarbij uitgesloten. Ook aan de bepaling van de chlorofylconcentratie wordt minder getwijfeld dan aan die van zwevend stof.

Afgaande op de trendlijn is het doorzicht tussen 1980 en 1990 toegenomen van 37 naar 48 dm. Uit het verloop van het doorzicht over de jaren moet worden geconcludeerd, dat er een dalende trend van particulier materiaal in de periode 1980-1989 is opgetreden. Vooral in de eerste paar jaar, of de eerste helft van de tachtiger jaren, kunnen de concentraties particulier materiaal hoger geweest zijn dan in de tweede helft van de jaren tachtig. Door de onbetrouwbaarheid van de analyses is

daar niets van te zeggen. Het is weliswaar mogelijk uit de relatie van het gemeten doorzicht met het zwevend stofgehalte in de periode 1985/1990 te bepalen welke zwevend stofconcentratie er in de periode 1980/1985 moet zijn voorgekomen maar omdat de hellingen van trendlijnen naar verwachting niet significant zijn is deze omrekening niet uitgevoerd.

Temperatuur water

Het seizoensverloop van de oppervlaktewatertemperatuur op 1 m. diepte is gegeven in figuur 28. De gemiddelde wintertemperatuur van het oppervlaktewater blijkt in de periode 1985/1989 hetzelfde, zo niet hoger dan dat in de periode 1980/1984, terwijl eerder het omgekeerde werd verwacht. Dat komt doordat de wintertemperaturen van het water in de tweede helft van de periode 1985/1989 relatief hoog waren. Een andere oorzaak moet worden gezocht in het ontbreken van enige wintertemperaturen in de gehele periode door het uitvallen van metingen door ijsgang. Juist de extreem lage temperaturen zijn niet gemeten en de maandgemiddelde waarden zijn daardoor te hoog. De nauwkeurigheid waarmee de trendlijn kan worden berekend zal door het ontbreken van extreme wintertemperaturen nadelig beïnvloed worden. Op basis van de trendlijn kan er voor begin 1980 een gemiddelde water temperatuur van 10,4 graad celcius worden berekend en deze blijkt op te lopen tot 11,1 graad celcius begin 1990, zie figuur 29. Bij vergelijking van figuur 28 met 29 zou een afname in temperatuur worden verwacht. Het zijn vooral de hogere temperaturen in de winters van 1987/1988 en 1988/1989 die de licht stijgende trend veroorzaken, maar zoals eerder aangegeven zijn de maandgemiddelde winterwaarden van 1985 tot en met 1987 te hoog door het ontbreken van de laagste temperaturen.

7.1.3. De ontwikkeling in de chlorofylconcentratie

Het chlorofylgehalte is een maat voor de omvang van de algenbiomassa. Bij de evaluatie van het gedrag van particulier materiaal is de trend in chlorofyl-a al genoemd. Figuur 30 geeft het seizoensverloop weer en figuur 31 laat de trend zien in het oppervlaktewatermonster. Het chlorofylgehalte neemt af van bijna 5 mg/m³ op 1-1-1980 tot ruim 3 mg/m³ op de eerste dag van 1990. Deze daling is echter niet significant.

De afname van het gemiddelde chlorofylgehalte is waarschijnlijk het gevolg van het sneller beperkend worden van nutriënten. De biomassa planktoneters (bodemdieren) in het meer is in de evaluatieperiode hetzelfde gebleven en er was meer licht. De maximumconcentraties van met name nitraat en fosfaat zijn lager geworden.

De potentiële nutriëntenlimitatie wordt aangegeven met de Redfield-ratio (zie lit.3). Dat is het quotiënt van de hoeveelheid stikstof gedeeld door de hoeveelheid fosfor. Het is opvallend, maar gezien de ontwikkeling van fosfaat niet vreemd, dat ook bij deze verhoudingsgetallen er een omslagpunt optreedt in 1985. In dat jaar was de Redfield ratio veel hoger dan de voorgaande jaren en dat werd vooral door het lage fosfaatgehalte veroorzaakt.

De potentiële fosfaat-limitatie geeft alleen de mogelijkheid van fosfaatlimitatie aan maar niet of er werkelijk limitatie optreedt of wat de omvang van de effecten daarvan zal zijn. Vóór 1985 was er geen potentiële fosfaat-limitatie, daarna wel. Het Grevelingenmeer wordt kennelijk steeds armer aan voedingsstoffen.

7.1.4. Zuurstofhuishouding

Vóór het gereedkomen van de Brouwerssluis trad er vooral thermische stratificatie op. Daarna ook een chloride stratificatie. Door beide oorzaken is de uitwisseling van stoffen tussen onder- en bovenlaag gering.

Het belangrijkste gevolg is het ontstaan van zuurstofarmoede of zuurstofloosheid in de onderlaag. In juni 1979 ontstond door het langdurig geopend zijn van de Brouwerssluis en de grote hoeveelheid polderwater die in dat jaar werd toegevoerd een omvangrijke stratificatie met een zuurstofloos bodemoppervlak van 800 ha (7,5 %) tot gevolg.

Omvang zuurstofarm-en zuurstofloos bodemoppervlak

De zuurstofarme en zuurstofloze situatie in het Grevelingenmeer wordt uitgedrukt in de oppervlakte van de waterbodembodem waarboven de zuurstofconcentratie lager dan 3 mg O₂/l resp. 0 mg O₂/l is, zie paragraaf 5.2.

In de vakken I en II treedt zuurstofarmoede (lager dan 3 mg O₂/l) op in de maanden juni t/m oktober. Het areaal zuurstofarme bodem bereikt zijn maximum in de maanden juli en augustus, wanneer ook in andere delen van het Grevelingenmeer gedurende 1 tot 3 maanden zuurstofarmoede optreedt.

Het grootste bodemoppervlak met zuurstofarmoede is waargenomen in juli 1983 en augustus 1984 te weten 8% van het totale bekkenoppervlak. In 1984 begon de zuurstofarme periode al in maart in vak I ter grootte van 24 ha, het oppervlak breidde zich langzaam uit naar het oosten. In augustus 1984 is in de gehele zuidgeul zuurstofarmoede waargenomen ter grootte van 845 ha.

Zuurstofloosheid (0 mg O₂/l) kwam elk jaar voor in de vakken I en II tussen mei en oktober; het zuurstofloze bodemoppervlak is daar gemiddeld 180 ha. (zie tabel 3 in par. 5.2.1.).

In 1986 kwam in de vakken IV en V ook zuurstofloosheid voor over een oppervlak van 130 ha. Tussen juni en augustus 1983 kwam de zuurstofloze situatie voor in de gehele zuidgeul met uitzondering van het meest oostelijke vak VI. Het zuurstofloze bodemoppervlak bedroeg toen 440 ha, wat overeen komt met 4% van het totale bekkenoppervlak. Dit is dus de helft van het oppervlak dat in 1979 zuurstofloos werd. Deze ongunstige situatie is toe te schrijven aan een periode met weinig wind, waardoor er weinig menging kon optreden. De hoge temperatuur van het water zorgde daarnaast voor een hoog zuurstofverbruik op de bodem en in het water.

Zuurstofisopleten 7 mg O₂/l

De begin- en eindtoestand van de zuurstofisopleten is in paragraaf 5.2.2 gegeven.

Conclusie: In de jaren 1980 t/m 1985 lag de 7 mg O₂/l-isopleet duidelijk minder diep dan in de jaren 1985 t/m 1e helft 1990. In deze laatste periode was de minste diepte: 6 meter in juni 1986, terwijl de jaren daarna de minste diepte op 10 meter lag. (De beoordeling van de ontwikkeling van de zuurstofhuishouding is tot in 1990 uitgebreid om dezelfde reden als genoemd in hoofdstuk 5.2.2.).

Over het algemeen komt de 7 mg O₂/l-isopleet in de maand mei niet op relatief geringe diepte voor. In de tweede helft van mei 1990 was dat echter wel het geval. Een vergelijkbare situatie deed zich voor in 1981. De isopleet lag in de tweede helft van mei 1990 op een diepte van 10 meter of meer, terwijl die in 1981 op 7 m. of meer heeft gelegen. In mei 1990 heeft zich een ontwikkeling voorgedaan die in andere jaren pas in juni of juli optrad. Het warme en stabiele weer in mei 1990 is naar aangenomen wordt de hoofdoorzaak van deze ontwikkeling.

7.2. Processen in de bodem

Door het DIHO is de bodemsamenstelling in 1979 zeer uitgebreid onderzocht. In 1989 is dat onderzoek door het DIHO in opdracht van Rijkswaterstaat in beperkte omvang overgedaan. De conclusies van

het vergelijkend onderzoek zijn door het DIHO gerapporteerd en in hoofdstuk 5.4.1. aangehaald. Met de gegevens van beide jaren is door Rijkswaterstaat ook een vergelijkend onderzoek gedaan op twee dieptestrata. De uitkomsten daarvan zijn op een aantal punten anders dan in de DIHO-rapportage, want op de totale set gegevens zijn twee analysesresultaten (%POC tot -5m. en het %slib tot -5m. in 1989) niet meegenomen omdat deze als uitschieters zijn beschouwd. De significantie van de in tabel 17 gegeven veranderingen in gehalten is dan ook niet aan te geven.

Tabel 17. Veranderingen in bodemsamenstelling tussen 1979 en 1989.

gehalte	verandering:	absoluut	relatief
P.O.C.% tot -5m.	onveranderd	0,45 %	0 %
P.O.C.% van -5 tot -40m.	afgenomen van 2,6 naar 1,7	%	-35 %
slib % tot -5m.	toegenomen van 2,8 naar 4	%	+40 %
slib % van -5 tot -40m.	afgenomen van 21 naar 20	%	- 5 %
chlorofyl tot -5m.	afgenomen van 11 naar 5	ug/g	-50 %
chlorofyl van -5 tot -40 m.	afgenomen van 35 naar 17	ug/g	-50 %
calciet tot -5m.	toegenomen van 4,6 naar 5,9	%	+25 %
calciet van -5 tot -40m.	toegenomen van 8 naar 12	%	+50 %
med. korrelgrootte tot -5m.	onveranderd	2,7 phi-unit	0 %

Figuur 35 geeft voor kleinere dieptestrata de verschillen in percentage POC tussen het begin en eind van de evaluatieperiode. De afname van het POC-gehalte is vooral opgetreden op een diepte van 8 tot 16 meter.

In figuur 36 is het percentage slib uitgezet tegen het percentage POC voor de twee onderscheiden dieptestrata van tabel 17, met het weglaten van de twee resultaten in het ene monster die als uitschieters worden beschouwd. Lineaire regressie is op de gegevens van 1979 en 1989 toegepast. Daaruit blijkt een verschuiving te zijn opgetreden naar een bodem waarin het organische stof een kleiner deel van het slib uitmaakt. Dit kan het gevolg zijn van de hogere denitrificatie die bij de bespreking van de ontwikkeling in nitraatconcentratie in het water (hoofdstuk 7.1.1.) werd verondersteld.

Het in het watersysteem geproduceerde particulier organisch koolstof komt uiteindelijk op de bodem terecht. Onderweg en terplaatse wordt het gemineraliseerd en daarvoor is zuurstof nodig. Er zijn geen aanwijzingen dat de primaire productie in de loop der jaren veel veranderd is. Er is weliswaar een geringe daling van het maandgemiddelde chlorofylgehalte geconstateerd maar specialisten durven daaraan geen daling in primaire productie te koppelen gezien de omvang van de hogere trofie-niveau's. De toevoer van mineraliseerbaar materiaal is daarom constant verondersteld. Er is geen sprake van accumulatie van organisch koolstof in de bodem. Als gevolg daarvan is de zuurstofbehoefte van de bodem dan ook niet toegenomen.

De veronderstelde toename van de slibfractie in het deel tot een diepte van vijf meter is zodanig klein van omvang dat er geen merkbare effecten van verwacht kunnen worden.

Het kalkgehalte in de bodem blijkt volgens lit.9 in de periode van 1979 t/m 1989 in het westelijk deel (5400 ha.) toegenomen te zijn van 6% naar 12%, terwijl het in het oostelijk deel (5400 ha.) gemiddeld onveranderd is gebleven op 6,5%. Daarbij wordt het vermoeden uitgesproken

dat de toename in het westelijk deel het gevolg is van menselijk handelen.

De verhoging van het kalkgehalte in de bodem wordt namelijk geheel of gedeeltelijk verklaard door rekening te houden met de omvang van de hoeveelheid lege mosselschelpen die in de loop van vele jaren door de oesterkwekers in het Grevelingenmeer is gebracht om als substraat voor oesterbroed te dienen. Volgens een opgave van het RIVO is er in de periode 1979 t/m 1988 in totaal 67500 m³ mosselschelpen in het Grevelingenmeer gebracht. Als wordt verondersteld dat deze hoeveelheid homogeen over de bovenste 3 cm (diepte bodemonmonster) is verdeeld dan levert dat een toename op van 1,8 % van het calciëgehalte in droog sediment.

De aanwijzing dat bijna eenderde van de calciëttoename het gevolg is van de hoeveelheden mosselschelpen die gestort zijn, draagt zeker bij in de verklaring van de trend in calciëgehalte in de bodem. Precipitatie van calcië dat met het Noordzeewater wordt aangevoerd, verschuiving van de kalk-/asvrijdrooggewichtverhouding en verandering van de zuurgraad kunnen ook verhoging van het kalkgehalte veroorzaken.

Uit onderzoek blijkt, dat in getijdewater het calciëgehalte tijdens de vloed als gevolg van de aantrekkende stroomsnelheden oploopt tot gemiddeld 50 mg/l, om tijdens stroomkentering weer af te nemen tot een minimumwaarde van 5 mg/l. Voor de situatie in het Grevelingenmeer betekent dat, dat bijna al het calcië dat in het inlaatwater van de Brouwerssluis in suspensie is, zal bezinken in het Grevelingenmeer. Op die manier is het geïmporteerde calcië de oorzaak van de verhoging in gehalte in de bodem achter het inlaatpunt, in de omgeving van Den Osse. De calciëgehaltenes in de bodem zijn daar (van 8,5% naar 20%) opgelopen terwijl er terplaatsse geen mosselschelpen werden gevonden.

Verschuiving van de verhouding tussen kalkgehalte en biomassa van organismen is wel opgetreden omdat er een verandering van soortensamenstelling is opgetreden van het muiltje ten koste van de mossel, bij gelijkblijvende totale biomassa. De verschillen als gevolg daarvan zijn te klein om mee te tellen.

De zuurgraad tenslotte is in de evaluatieperiode gedaald van 8,35 naar 8,25 en daardoor verschuift het evenwicht theoretisch iets meer naar de opgeloste fractie. De hoeveelheden die daarmee samenhangen zijn te verwaarlozen.

Negatieve effecten van een hoger calciëgehalte in de bodem voor het functioneren van het systeem zijn niet te verwachten. Er zijn wel positieve effecten. In hoofdstuk 5.5.2. is aangenomen dat het bruinwier *Dictyota dichotoma* in de evaluatieperiode verder verspreid is en de soort zich bij voorkeur hecht aan schelpen.

Bodemkwaliteit: zware metalen. Over de processen die in de bodem voor zware metalen een rol spelen is op basis van de gegevens weinig te concluderen, zie bijlage 1.

7.3. Processen gerelateerd aan flora en fauna.

Flora

De oorzaken van het teruglopen van de wierpopulaties (zie paragraaf 5.5.2.) zijn niet geheel duidelijk. In lit.21 wordt als vermoedelijke oorzaak voor de eerste achteruitgang (omstreeks 1980) genoemd: het indirect effect van de opening van de Brouwerssluis. De uitwisseling met de Noordzee zorgde voor een import van stikstof, met als gevolg een verhoogde fytoplanktonproductie. Dit leidde tot het neerregenen van grote hoeveelheden organisch materiaal op de bodem, met als gevolg een verhoogde zuurstofbehoefte van de bodem. Vanwege de stratifica-

tie werden grote delen van de bodem in korte tijd geheel zuurstofloos. In vóórdien zuurstofrijke bodems bevonden zich toen dode en rottende wortels van de afgestorven wieren.

Voor de tweede achteruitgang is (nog) geen duidelijke verklaring gevonden. Opvallend is dat in de laatste jaren *Zostera marina* zeer weinig zaad produceerde. Mogelijk betreft het een cyclische neergang in de populatie. Er wordt verondersteld dat er inteelt (genetische achteruitgang) ontstaat, door de geïsoleerde ligging van het meer. Gedacht wordt, dat de genetische achteruitgang betekent dat het zeegras een verminderde weerstand heeft voor de microscopisch kleine slijmzwam *Labyrinthula* waardoor de verdwijnsnelheid veel hoger is geworden. Vooralsnog lijkt het waterbeheer niet de verklarende factor te zijn omdat de zuurstofontwikkeling in de waterfase geen uitbreiding van het zuurstofloze bodemoppervlak weerspiegelt. Het onderzoek naar de opkomst en neergang van het zeegras wordt voortgezet door het DIHO.

Fauna

Biomassa/aantals ontwikkeling, zie ook hoofdstuk 5.5.2. Op basis van de beschikbare informatie zijn globaal enkele trends waarneembaar.

Een verschuiving binnen de biomassa filterfeeders van mossel naar muiltje.

Een verschuiving van de diepte-afhankelijke verspreiding van de biomassa en aantallen.

Een verminderd reproductiesucces voor de meeste mollusken (tot 1988 voor mossel en kokkels), voor gevlochten fuikhoorn al langere tijd.

Reproductiesucces bodemdieren: Van de grote schelpdieren is het succes van de voortplanting schematisch weergegeven in tabel 18.

Tabel 18. Voortplantingssucces van de belangrijkste mollusken sinds 1984. Jaartal is onderzoeksjaar, de reproductie is van het jaar daarvoor.

jaar	1984	1985	1986	1988	1989	index
Soort						
muiltje		±	++	++	-	voortplantings-
alijkruik		+	±	±	-	succes
fuikhoorn	-	-	-	-	-	++ goed
mossel	++	++	+	-	+	+ normaal
kokkel	++	+	-	-	±	± matig
brakwater kokkel	+	+	-	-	-	- slecht
oester				+	-	

Aangezien de bestandsopnamen in april plaatsvonden, geeft deze tabel het succes weer van de broedval van het jaar daarvoor. Het is dus geen directe weergave van de grootte van de broedval. Predatie, wintersterfte en verlies door andere oorzaken kunnen allemaal het uiteindelijke succes bepalen.

Vanaf 1986 vertonen de meeste soorten, behalve het muiltje, een matige tot slechte voortplanting. In 1989 ziet het er voor de mossel en (in bescheiden mate) voor de beide kokkelsoorten weer wat beter uit, het muiltje daarentegen heeft geen aanwas gekregen. De slechte reproductieresultaten van de gevlochten fuikhoorn en de alijkruik komen tot uiting in de gestaag afnemende gemiddelde aantallen van deze soorten. Predators zoals de strandkrab en de alijkruik spelen mogelijk een rol in het geringe voortplantingssucces van de gevlochten fuikhoorn, door het wegeten van de eikapsels.

Een eenduidige verklaring voor deze ontwikkelingen is niet te geven. Daarvoor zouden, onder andere, gegevens over de larvenproductie en -

consumptie van de diverse soorten en de exacte omvang van de broedval nodig zijn. Wel kunnen een aantal mogelijke oorzaken op een rij worden gezet.

De voedselsituatie:

Wordt de chlorofylconcentratie als maat genomen voor het fytoplankton dan blijkt er sprake van een lichte afname in de evaluatieperiode.

De fytoplankton filtrerende dieren (zoals mossel, oester en muiltje, maar ook de zakpijpen en zeepokken) zijn zeer waarschijnlijk voedselgelimiteerd in het Grevelingenmeer, naar lit.23 en 24. Hun aandeel in de biomassa ligt de laatste jaren vrij constant op tweederde van het totale gemiddelde. Beschouwen we dit als hun plafond, dan bepaalt competitie tussen de soorten onderling de aantals- en/of biomassa-verhoudingen. De oester is een efficiëntere filterder dan de mossel onder de stagnante condities van het meer, deze eigenschap betekent kennelijk geen voordeel in aantallen oesters ten opzichte van mossels.

Het geringe voortplantingssucces van de meeste mollusken is in verband te brengen met de beschikbare primaire productie: die komt waarschijnlijk eerst ten goede aan de overjarige dieren en pas daarna aan het broed (indien aanwezig).

De groei van fytoplankton wordt achtereenvolgens bepaald door lichtlimitatie in de wintermaanden en stikstoflimitatie in de zomermaanden. Zelfs fosfaatlimitatie is niet geheel uit te sluiten. In lit.3 staat dat uit het verloop van de P/N-verhouding geconcludeerd kan worden dat er sinds 1986 een potentiële fosfaatlimitatie bestaat.

Door het ontbreken van primaire produktie metingen in de jaren 1980 kan niet geconcludeerd worden welke groeibeperking werkelijk optreedt. Ook over de ontwikkelingen van het volgende trofie-niveau, het zoöplankton, is niets te zeggen, omdat de informatie ontbreekt.

De leefwijze:

Zuurstofloosheid in de waterlaag aan de bodem komt het eerst voor in de diepere delen van het meer. Voor de biomassa schelpdieren zijn deze delen echter van ondergeschikte betekenis. Het is niet ondenkbaar dat de waterlaag op ondiepe lokaties, met hoge dichtheden opeengepakte schelpdieren, aan de bodem zuurstofloos wordt, als het warm en rustig weer is. Veel schelpdieren produceren immers veel zuurstofvragende (pseudo)faeces en sterven er eenmaal dieren af dan wordt de zuurstofvraag sterk vergroot. De muiltjes zijn dan in het voordeel omdat deze gestapeld bovenop andere schelpdieren leven. Deze soort blijft dan buiten bereik van de dunne zuurstofloze laag.

De invloed van het kalkgehalte in de bodem op het voorkomen van bodemdieren wordt verondersteld gering te zijn.

Een belangrijke factor voor het verklaren van het geringe voortplantingssucces van de gevlochten fuikhoorn (en een aantal andere mollusken) zou de aanwezigheid van tributyltin in water en bodem kunnen zijn, lit.25. De gemeten verhoogde concentraties in het Grevelingenmeer, lit.26 en lit.7 zijn nog niet direct vergeleken met het ruimtelijke patroon van deze soort. Nader onderzoek hiernaar is gewenst (voor 1990 gepland door het DIHO).

Tenslotte kunnen strenge winters (85/86 en 86/87) van invloed zijn geweest.

Het sluisbeheer heeft weinig invloed gehad op de bodemdier-ontwikkelingen, voor zover dat valt te beoordelen aan chlorofylgehalte (primaire productie) en bodemdierenbestand. Het vóórkomen van enkele Noord-

zee of Voordelta-soorten kan waarschijnlijk in verband gebracht worden met het spuiregim, zie lit 18.

Ontwikkelingen in vogelpopulaties

Het bleek vaak moeilijk een directe relatie aan te tonen tussen de aanwezigheid van potentiële voedselorganismen en ontwikkelingen in de vogelpopulaties. Enerzijds door beperkte kennis over de aanwezigheid van deze voedselorganismen (vis of bodemdieren) als gevolg van te laagfrequente monsternamen, anderzijds door een te geringe kennis over de voedselkeuze van de vogelsoorten.

Het aantal vogeldagen van enige zeegras-etende vogelsoorten is sterk gecorreleerd aan de oppervlakte zeegras. Een abrupte (tijdelijke) afname van de oppervlakte zeegras in 1980 ging gepaard met een afname van de aantallen knobbelzwaan en van -vooral- de smient.

De toename van het totaal aantal visetende vogels is het gevolg van de grote hoeveelheid prooivis, met name grondels.

De achteruitgang van de broedvogelpopulatie van de soorten die broeden op open dynamische kustmilieu's, zoals plevieren en sterns, is te wijten aan de voortgaande vegetatiesuccessie op die gebieden.

De dynamiek die in oevergebieden bestaat door overspoeling met zout water (als gevolg van windopzet, voornamelijk buiten de broedtijd), is belangrijk voor het handhaven van de populaties kustbroedvogels.

Daarnaast is de aanwezigheid van uitgestrekte, rustige, gebieden van groot belang, zowel voor broedvogels als voor doortrekkers en overwinteraars.

7.4. Morfologische ontwikkelingen

De oevers van het Grevelingenbekken staan onder voortdurende invloed van golferosie. Om de landwaartse verplaatsing van de oeverlijn af te remmen zijn in het Grevelingenmeer directe en indirecte oeververdedigingen aangebracht.

Een directe verdediging bestaat uit een verdediging van grind of stortsteen, boven en onder de waterlijn. Een indirecte oeververdediging bestaat meestal uit een, uit grind en stortsteen opgebouwde, waterdoorlatende dam, parallel lopend aan de oeverlijn.

De combinatie van een directe en een indirecte verdediging komt in het Grevelingenmeer ook voor. Indirecte verdedigingswerken moeten de hoge golven breken.

De oevererosie in de onderzochte gebieden is niet tot het einde van de evaluatieperiode gemeten, zodat de geschetste ontwikkelingen voor een deel het resultaat zijn van extrapolatie van ontwikkelingen tot 1990. Door een tekort aan metingen op bepaalde lokaties kon een deel van de oevers niet worden geanalyseerd. Tabel 19 geeft het resultaat van de analyses per type oever in het afgelopen decennium.

Tabel 19. Afname droog gebied door oevererosie.

type oever	beoordeelde lengte (m)	afname droog gebied (m ²)	toename ondiep gebied (m ²)	gemiddelde verplaatsing (10jaar) dieptelijn t.o.v. oevers in meter	
				N.A.P. -0,20 m	N.A.P. -2,00 m
onverdedigd	28.050	419.800	466.250	-16 meter	+2 meter
directe verdediging	2.920	2.600	2.500	- 1 meter	0 meter
indirecte verdediging	13.980	190.720	173.360	-14 meter	-1 meter
dir.+ind. verdediging	12.150	15.300	17.500	- 1 meter	0 meter
Totaal	57.100	628.420	650.610		

Relatief grote, boven water liggende gebieden zijn in de loop der tijd onder water verdwenen. Van de beoordeelde oevers is in 10 jaar een droog gebied ter grootte van circa 63 ha. verdwenen. Dat komt overeen met de plaat Dwars in den Weg.

De erosiesnelheid was aan het begin van de evaluatieperiode groter dan tegen het eind. Het tempo, waarmee de oeverlijn achteruit gaat neemt dus af.

Als gevolg van de erosie neemt het areaal aan droge gebieden af en neemt het areaal ondiep water toe.

Opvallend is, dat ook nog steeds erosie optreedt in gebieden die beschermd zijn door een indirecte oeververdediging. Hierbij moet worden bedacht dat deze gebieden verdedigd zijn vanwege de oorspronkelijk zeer grote erosie. De indirecte verdedigingen hebben die erosie wel aanmerkelijk gereduceerd.

De morfologische ontwikkelingen in het Grevelingenmeer zijn nog steeds niet gestabiliseerd. Door de achteruitgang van de oeverlijn, bij oevers voorzien van een indirecte oeververdediging, wordt een steeds breder wordende watervlakte ontwikkeld. Als gevolg hiervan ontstaat een grotere strijklengte. Hierdoor kunnen grotere golven in deze zone ontstaan, hetgeen weer een grotere eroderende werking tot gevolg heeft. Bij een voortzetting van de huidige tendens zal kritisch moeten worden overwogen of maatregelen vereist zijn om dit proces te beperken.

Aangezien slechts een deel van de oevers kon worden geanalyseerd, kan worden aangenomen dat de afname van de oppervlakte droog gebied nog aanzienlijk groter is dan de berekende 63 ha.

8. FUNCTIES EN FUNCTIEGERICHTE WATER- KWALITEITSDOELSTELLINGEN EN DE TOETSING DAARVAN

Functiegerichte waterkwaliteitsdoelstellingen zijn er ter bescherming van bepaalde vormen van gebruik van oppervlaktewater; dat kan menselijk gebruik zijn, maar de doelstellingen kunnen ook een ecologische achtergrond hebben.

Voor een aantal functies zijn, tussen 1975 en 1979, EG richtlijnen van de Raad van Europese Gemeenschappen tot stand gekomen. De lidstaten moesten die richtlijnen incorporeren in hun eigen wetgeving. Zo is er in Nederland een Algemene Maatregel van Bestuur (AMVB) uitgevaardigd op grond van de artikelen 13 en 15 van de WVO (Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren). Deze AMVB heet voluit "Besluit van 3 november 1983, houdende regelen inzake kwaliteitsdoelstellingen en metingen oppervlaktewateren" (Besluit kwaliteitsdoelstellingen en metingen oppervlaktewateren, Staatsblad 1983-606, in deze paragraaf verder aangehaald als het Besluit).

Het Besluit is van toepassing op gebieden waaraan functiegerichte waterkwaliteitsdoelstellingen zijn toegekend.

De functies van de Nederlandse rijkswateren zijn beschreven in het Rijkswaterkwaliteitsplan 1986. Dit plan is vastgesteld door de Ministers van Verkeer en Waterstaat en van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu.

Aan het Grevelingenmeer zijn daarin de volgende functies toegekend:

1. zwemwater, 2. schelpdierwater, 3. recreatie, 4. ecologische doelstelling.

Voor het Grevelingenmeer gelden de in het Besluit geformuleerde waterkwaliteitsdoelstellingen voor zwemwater (de richtlijn van 8-12-1975, 76/160/EEG) en voor schelpdierwater (de richtlijn van 30-10-1979, 79/923/EEG).

Het Besluit legt de verantwoording voor het onderzoeken en handhaven daarvan bij de beheerder.

Op 1 november 1984 trad ook de Wet Hygiëne en Veiligheid Zwemgelegenheden in werking. Deze wet kent taken en bevoegdheden toe aan Gedeputeerde Staten. Die zijn bevoegd om een zweminrichting te sluiten als niet aan de eisen van hygiëne en veiligheid wordt voldaan.

De EG-richtlijn voor schelpdierwater biedt volgens de Nederlandse wetgever onvoldoende bescherming aan de consument en daarom is er in Nederland een "Verordening zuiverheidseisen schelpdieren" (Produktschap Vis & Visprodukten) van kracht, waarin is opgenomen de "Regeling normen zware metalen en normen voor PCB-gehalten".

In het hiervoor genoemde Besluit zijn ook termijnen gesteld die moeten worden nagestreefd om de doelstellingen te verwezenlijken. Voor zwemwater is dat 1-1-1986 en voor schelpdierwater 6 jaar na toekenning van de functie schelpdierwater. Deze toekenning vond plaats in 1986, met het verschijnen van het Rijkswaterkwaliteitsplan, zodat de waterkwaliteitsdoelstellingen voor schelpdierwater uiterlijk in 1992 moeten zijn gehaald.

Toetsing aan de beheersdoelstellingen

In het kader van het "Kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren" worden in het Grevelingenmeer metingen verricht om de zwemwater- en de schelpdierwaterkwaliteit te kunnen toetsen. Vóór 1984 werd dat gedaan op drie meetpunten (G1, G3 en G11), maar in 1984 heeft de directie Zeeland het meetprogramma beperkt conform de grondstofgedachte. Dat wil zeggen dat een watersysteem moet voldoen als grondstof voor de op het systeem toe te passen functies.

Vanaf 1984 wordt in het Grevelingenmeer nog op één meetpunt (G1) één keer per jaar de bacteriologische zwemwaterkwaliteit gemeten. Daarmee wordt toch nog voldaan aan de eisen van het Besluit ten aanzien van de meetfrequentie.

De toetsing van de zwemwater- en de schelpdierwaterkwaliteit in de evaluatieperiode is uitgebreid onderzocht.

Het resultaat van de toetsing is als volgt:

Zwemwater

Het water van het Grevelingenmeer voldoet aan de waterkwaliteitsdoelstellingen voor zwemwater zoals die zijn vastgelegd in het "Besluit kwaliteitsdoelstellingen en metingen oppervlaktewateren van 3 november 1983".

Gegevens over zintuigelijke waarneming van kleur, geur, schuim, olie en vuil ontbreken. Het is niet duidelijk of de zintuigelijke waarnemingen wel zijn gedaan. De reden dat er gegevens ontbreken kan ook zijn, dat het water als "natuurlijk" werd beoordeeld en er daarom geen aantekening van is gemaakt.

Schelpdierwater

Voor watertemperatuur, zwevende stof en saliniteit is toetsing niet mogelijk omdat deze parameters getoetst moeten worden aan natuurlijke waarden en die zijn voor zoute stagnante meren niet gedefinieerd.

Aan de norm voor de zuurgraad werd in 1986 en in 1989 niet voldaan. De bacteriële kwaliteit in het schelpdier is alleen in 1988 en 1989 bepaald en voldeed toen aan de norm.

Het zuurstofgehalte voldeed in de zomer van 1983 en van 1989 niet aan de norm. Er kwam tweemaal per jaar een lagere concentratie in het oppervlaktewater op een diepte van 1 m. voor dan de norm van 7 mgO₂/l, terwijl slechts één overschrijding van die norm per jaar is toegestaan. Over- of overschrijding van normen, veroorzaakt door uitzonderlijke weersomstandigheden hoeven niet te worden meergerekend. Ten aanzien van zuurstof is niet duidelijk of hoge zomerse temperaturen en weinig wind tot die omstandigheden gerekend mogen worden. De parameters kleurintensiteit, olie en gehalogeneerde organische stoffen en metalen kunnen niet getoetst worden omdat gegevens daarover ontbreken. De minimum meetfrequentie voor deze parameters is één keer per jaar.

Conclusie: als de toetsing letterlijk wordt uitgevoerd dan kan niet worden vastgesteld of de waterkwaliteit als grondstof voor de functies zwemwater en schelpdierwater deugt, omdat in een aantal gevallen niet aan de norm is voldaan en niet alle parameters getoetst zijn omdat de bij de normen horende natuurlijke waarden onbekend zijn of gegevens ontbreken. De lacunes in de beoordeling zijn echter van dien aard dat, "met aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid", gesteld mag worden dat aan de zwem- als de schelpdierwaterkwaliteit werd voldaan.

Ecologisch functioneren

Het zoute Grevelingenmeer is het milieu voor een groot aantal levensgemeenschappen die via de voedselketen met elkaar verbonden zijn. In het navolgende wordt dit verband gekwantificeerd voor de evaluatieperiode. Hoewel recente meetgegevens ontbreken wordt verondersteld dat de primaire productie er van dezelfde orde grootte is als in de monding, midden en kom van de Oosterschelde. Ondanks de afname van het chlorofylgehalte in de evaluatieperiode van 5 naar 3 milligram per m^3 wordt de primaire productie geschat op 220 gram koolstof per m^2 per jaar. Dat komt overeen met 24000 ton koolstof.

De biomassa bodemdieren komt overeen met 1500 ton koolstof. Deze hoeveelheid is in de evaluatieperiode niet veranderd. Wel zijn er veranderingen in de soortensamenstelling opgetreden. De mosselbiomassa is na 1985 van 12 naar 6 gram asvrijdrooggewicht per m^2 gedaald, terwijl de biomassa van het multje van 5 naar 10 gram asvrijdrooggewicht per m^2 is gestegen. Deze soort heeft de rol van belangrijkste filtreerder overgenomen van de mossel. De biomassa voor de beide kokkelsoorten nadert het nulpunt en ook de tapijtschelp heeft nu een lage biomassa. De gevlochten fuikhoorn is geleidelijk naar de helft van de in 1985 vastgestelde waarde gedaald. De biomassa was in 1989 nog maar 2 gram asvrijdrooggewicht per m^2 .

Vooral de laatste twee jaren heeft zich een verschuiving voorgedaan in de verdeling van de biomassa over de diepte. Er is relatief meer biomassa op grotere diepte aanwezig. Van de biomassa grote bodemdieren werd in 1989 ongeveer 20% aangetroffen tot 2 m. diep, 30% op een diepte van 2 m. tot 6 m., 30% tussen 6 m. en 13 m. en 20% dieper dan 13 m.

Over de biomassa van het zoöplankton is te weinig bekend om de omvang te kunnen schatten.

De wier- en zeegrasvegetaties hebben grote veranderingen ondergaan. Het Japans bessenwier heeft zich in het meer gevestigd. Het groot zee-gras is in biomassa teruggelopen van het maximum van 1800 ton in 1983 naar 300 ton koolstof in 1989. De biomassa wieren, goed voor 70 ton koolstof, was tot het einde van de evaluatieperiode onveranderd.

De wier- en zeegrasvegetaties bieden voedsel aan vogels en beschutting en voedsel voor vissen. Door afname van het areaal van deze planten zijn de mogelijkheden voor de vissen verminderd.

De soortensamenstelling van vis in het Grevelingenmeer (1980-1989: 58 vissoorten) is van vergelijkbare orde grootte als in de Oosterschelde. In de afgelopen jaren is de soortensamenstelling nauwelijks gewijzigd, wel zijn er veranderingen in aantalsverdeling en biomassa-verdeling opgetreden. Voor grondels werd in het gedeelte dieper dan 2 meter een totale biomassa als versgewicht berekend van 12 ton. Er heeft echter een verschuiving plaatsgevonden binnen de grondelsoorten. Was het dikkopje voor wat betreft de biomassa in 1982 met bijna 9 ton de belangrijkste soort, in 1988 was dat de zwarte grondel met dat gewicht.

De schol is de meest voorkomende platvissoort in het Grevelingenmeer. Platvis plant zich niet in het meer voort. De biomassa's in het sublitoraal (>2 m.) in 1988 waren 225 ton schol als versgewicht en 88 ton bot als versgewicht. De grootste hoeveelheid van deze platvis werd aangetroffen op een diepte van meer dan 5 meter.

De vogels die op het Grevelingenmeer fourageren eten vis, zoöbenthos of zeegras(zaden). De fuut, middelste zaagbek en aalscholver waren in

de evaluatieperiode als viseters samen goed voor gemiddeld ruim 700.000 vogeldagen per jaar. De zoöbenthosetende brilduiker plus bergeend werden per jaar gemiddeld bijna 500.000 vogeldagen fouragerend aangetroffen. Het aantal vogeldagen van deze soorten nam in de evaluatieperiode toe. Het aantal plantenetende vogels; ganzen, zwanen en smienten was zo groot, dat daarvan per jaar gemiddeld 4,5 miljoen vogeldagen werden geteld. Deze planteneters namen in aantal af, de oorzaak daarvan is de teruggang van het zeegras.

Op de droge gebieden van het Grevelingenmeer broeden kustbroedvogels en ze brengen er hun jongen groot. Alle broedvogelparen namen gestaag tot de helft af, behalve de kluut waarvan het aantal broedparen bijna verdubbelde. Hoewel het areaal droogliggende gronden, als gevolg van oevererosie, afnam met 63 ha. is dat niet de oorzaak van de teruggang van een deel van de broedvogelpopulatie. Het verlies was namelijk slechts 2% van het totaal beschikbare areaal. De oorzaak moet gezocht worden bij de vegetatiesuccessie óp de drooggevallen gronden, waardoor het areaal open dynamisch kustmilieu afnam.

Voor de beroepsvisserij is paling (of aal) belangrijk. De aal komt als glasaal het meer binnen via de Brouwerssluis, daarnaast is de aalpopulatie afhankelijk van het uitzetten van pootaal. Volgens de beroepsvissers was de totale jaarvangst in 1989 nog maar de helft van die in 1980.

Voor de schelpdierkwekerij is het mosselbestand van belang voor de levering van mosselbroed. Ook is het Grevelingenmeer de enige plaats waar nog in voldoende mate exemplaren van de Zeeuwse platte oester voorkomen die niet zijn aangetast door de *Bonamia ostrea* parasiet. Door het storten van mosselschelpen die als substraat voor oesterbroed moeten fungeren wordt de bodemsamenstelling kalkrijker.

Het gevoerde waterbeheer leidt ertoe dat er een lage toevoer van nutriënten is. De primaire productie is evenwel in staat is een hoog niveau van secundaire producenten in leven te houden. De soortendiversiteit doet niet onder voor die van zoutwatersystemen die in veel ruimer contact met open zee staan. In de loop van de evaluatieperiode zijn verschuivingen in biomassaverdeling van de soorten niet uitgebleven. Deze verschuivingen zijn soms het gevolg van seizoensinvloeden, zoals bij de grondels. In andere gevallen is de verschuiving van de biomassaverdeling het gevolg van het sluisbeheer en de populatiesterkte op de Noordzee, zoals voor de schol het geval is. Wat betreft de vermindering van de zeegrasbiomassa is niet met zekerheid te zeggen of het sluisbeheer daar de oorzaak van is. Het is mogelijk dat het zeegras door inteelt wegwijnt. Wat de oorzaak van de teruggelopen zeegrasbiomassa ook moge zijn, gebleken is dat de populatie plantenetende vogels als gevolg daarvan ook is afgenomen, deels vertrokken naar het Krammer/Volkerak met momenteel een zeer hoge waterplantenproductie. Het vermoeden bestaat dat ook de aalstand door de omvang van het zeegras-areaal beïnvloed wordt.

Het functioneren van het Grevelingenmeer als ecosysteem wordt niet alleen door het waterbeheer beïnvloed. Ook de recreatiefunctie en de visserijfunctie oefenen invloed uit. Lokaal zijn er daardoor problemen ontstaan die het gevolg zijn van de antropogene belasting. Het betreft de hoge concentraties van toxische organotoinverbindingen die in de jachthavens van het Grevelingenmeer worden aangetroffen. Afgezien daarvan functioneert het ecosysteem Grevelingenmeer in zijn eigen aard op een hoog niveau.

9. AANBEVELINGEN TEN AANZIEN VAN: BELEID, BEHEER, ONDERZOEK EN MONITORING

Beleid

Het Grevelingenmeer vervult, naast de visserijfunctie en de recreatiefunctie, een belangrijke natuurfunctie. Toekenning van de ecologische doelstelling van het hoogste niveau, aan het gehele meer of een deel daarvan, moet daarom overwogen worden.

Beheer

Het huidige beheer moet gehandhaafd worden. Daarbij behoort verlenging van de uitwisselperiode in principe tot de mogelijkheden, mits goed gelet wordt op de meteorologische omstandigheden van het moment.

Het openen van de Brouwerssluis moet gestuurd worden op chloride-metingen in de Brouwerssluis zelf. Zodoende kan met grotere zekerheid beheer gevoerd worden. De chloridemetingen op meetpalen in de omgeving moeten als controle blijven bestaan.

Tijdens de inventarisatie is gebleken dat de meetapparatuur op de sluis niet goed werkt. De debiet-boekhouding vertoonde soms ook hiaten. Vertikaalmetingen van zuurstof en chloride moeten worden voortgezet en kunnen in het vervolg door de beheerder geanalyseerd worden.

Uit oogpunt van ecologisch functioneren moet de bodem van een aantal havens gesaneerd worden.

Onderzoek

Om in staat te zijn over de relaties tussen biotische en abiotische aspecten meer te kunnen zeggen, moet er meer onderzocht worden: zo wordt het door veel onderzoekers als een gemis beschouwd dat er maar weinig over de primaire productie bekend is.

Hetzelfde moet helaas gezegd worden van inventarisaties van biomassa en verspreiding van fyto- en zoöplankton, evenals vissen in het pelagische deel van het meer en de kleinere soorten bodemdieren.

Tellingen van de watervogels en de broedvogels die het Grevelingenmeer gebruiken moeten voortgezet worden omdat de ontwikkelingen gedurende de afgelopen 20 jaar nog in volle gang zijn. De voedselkeus van vogels als fuut, middelste zaagbek, aalscholver en brilduiker moet onderzocht worden om meer over de draagkracht te weten te komen.

Het is zinvol de monitoring te koppelen aan de evaluatieperiode door aan het eind van iedere evaluatieperiode een volledige inventarisatie van biotische en abiotische kenmerken uit te voeren: kwaliteitsparameters in water en bodem en biomassa en verspreiding van organismen op alle trofieniveau's.

Een onderzoek naar het verloop van de organotinconcentraties is gestart. Het is zinvol onderzoek te doen naar de effecten van moderne anti-fouling verven.

Onderzoek naar de mogelijkheid samengestelde monsters te nemen en te conserveren voor eenmalige analyse. Bijvoorbeeld voor de determinatie van algen in een mengmonster water, afkomstig van meerdere locaties en verschillende tijdstippen. Zodoende zijn bekkengemiddelde en/of seizoengemiddelde waarden te verkrijgen.

Onderzoek naar de denitrificatiesnelheid in de bodem en veranderingen

gen daarin als gevolg van een afnemend particulier organisch koolstof gehalte.

Onderzoek naar de graassnelheid, scope for growth, en andere kenmerken van het muljtje.

Monitoring

In het WORSRO basisbestand van het lopende routine-waterkwaliteits meetprogramma van Rijkswaterstaat zitten soms nog fouten. Geautomatiseerde controleprogramma's kunnen de meeste daarvan opsporen. Het is zinvol deze programma's te koppelen aan het basisbestand. Van de voorgestelde onderzoeksfrequentie van het routine programma moet niet worden afgeweken. Als een meer is dichtgevroren moet toch op een of andere manier getracht worden metingen uit te voeren (Hoovercraft?). Juist de extreme omstandigheden zijn de moeite waard onderzocht te worden. Bij uitval van metingen ontstaan witte vlekken in het bestand die bij statistische analyse een grotere onnauwkeurigheid introduceren.

De oevererosie moet bijgehouden worden. Zodoende kan de hypothese getoetst worden dat een groter wateroppervlak achter een indirecte oeververdediging weer leidt tot toename van de erosiesnelheid.

Het past op deze plaats om te melden dat er door de Dienst Getijdewateren een landelijk monitoringprogramma chemische en biologische kwaliteitskenmerken zoute watersystemen is gestart. Het voor 1990 en volgende jaren opgestelde programma voor het Grevelingenmeer staat in tabel 20.

Tabel 20. Monitoringprogramma chemische en biologische kwaliteitskenmerken van het Grevelingenmeer vanaf 1990

compartiment	lokaties	frequentie(/jr)	kenmerken
water	3	13	zuurstof, zuurgraad, saliniteit, geleidendheid, temperatuur, zwevend stof, doorzicht, opgelost organisch koolstof
	1	4	biochemisch zuurstof verbruik
	3	13	stikstof (ammoniak en nitriet-, nitraat-, Kjeldahl-, ammonium- en totaalstikstof) fosfor (orthofosfaat en totaalfosfaat) silicium, particulier organisch koolstof, chlorofyl-a, feofytine-a
	1	1	zink, lood, chroom, cadmium, kwik, koper, nikkel, arseen
	1	6	organotin
	1	5	colibacteriën, streptococcon, salmonella's
	1	1	extraheerbare organochloor verbindingen
biota mossel	1	2	lengteklasse, vetgehalte, glycogeengehalte, vochtgehalte, % drooggewicht, % asgewicht
	1	2	zware metalen en arseen
	1	2	30 organische microverontreinigingen
	1	4	thermotolerante colibacteriën
andere organismen	1	1	aantallen van fytoplankton, macrofyten, bodemfauna hard substraat, geulen en bodem, (zee)vogels

10. LITERATUUR

- Lit. 1. Derde Nota waterhuishouding.
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989.
- Lit. 2. Beleidsvoornemens 1988.
Natuur en Recreatieschap de Grevelingen, 1988.
- Lit. 3. Stronkhorst, J., 1989.
Stratificatie en nutriëntengehalten in het Grevelingenmeer
over de periode 1980-1988.
RWS-DGW, nota GWWS-89.403.
- Lit. 4. Bannink, B.A. en J.H.M. van der Meulen.
Lake Grevelingen: from an estuary to a saline lake. An intro-
duction.
Netherlands Journal of Sea Research 18(3/4):179-190(1984).
- Lit. 5. Nienhuis, P.H.
Het Grevelingenmeer, van estuarium naar zoutwatermeer.
DIHO Yerseke, 1985.
- Lit. 6. Eck, G.Th.M. van, H. van't Sant, E. Turkstra.
Voorstel referentiewaarden fysisch-chemische waterkwaliteits-
parameters Nederlandse zoute wateren.
Ministerie van Volksgezondheid Ruimtelijke Ordening en Mi-
lieu, 1985.
- Lit. 7. Ritsema, R. en R. Laane.
Dissolved butyltins in fresh and marine waters of the Nether-
lands in 1989.
RWS-DGW, nota GWAO-90.008.
- Lit. 8. Nieuwenhuize J., J.M. van Liere en A.G. Vlasblom.
Een bodemkaart van het Grevelingenmeer in 1979.
DIHO Rapporten en verslagen nr. 1980-6.
- Lit. 9. Nieuwenhuize J, P.M.J. Herman e.a.
De bodemsamenstelling van 36 meetpunten in het Grevelin-
genmeer in 1989.
DIHO Rapporten en verslagen nr. 1990-10.
- Lit.10. Kwint, R.
Doctoraalverslag onder begeleiding van S.A. de Jong en
P.A.G. Hofman. Periode: september 1986 t/m januari 1987.
Verticale verspreiding van benthische diatomeeën en bacte-
riën in de Grevelingen en Oosterschelde gekoppeld aan pri-
maire productie in de bodem.
DIHO. Studentenverslag D3 - 1989.
- Lit.11. Lindeboom, H.J. en H.A.J. de Klerk-v.d.Driessche.
C-Mineralisatie op en in de bodem van de Grevelingen.
DIHO/Rijkswaterstaat-DELTADIENST, nota:Z 83 II 5, 1983.

- Lit.12. Vos, W. de en F. Twisk.
Bestandsopname bodemvissen Grevelingenmeer, augustus 1988.
RWS - DGW, nota GWWS-89.411
- Lit.13. Meyer, A.J.M. en H.W. Waardenburg.
Monitoring-onderzoek aan de visstand van de Grevelingen: resultaten 1980-1989.
Bureau Waardenburg, Culemborg, 1982.
- Lit.14. Slob, G.J., 1989.
15 jaar vogelontwikkelingen in het afgesloten Grevelingenbekken.
Staatsbosbeheer, Goes, 1989.
- Lit.15. Meininger, P.L., 1990.
Populaties van enkele soorten broedvogels in het Deltagebied in 1990, met een samenvatting van elf jaar monitoring 1979-1989.
RWS-DGW, nota GWAO-90.083.
- Lit.16. Apon, L.P., 1990.
Verspreiding en biomassa van het macrofytobenthos in het Grevelingenmeer in 1989.
DIHO Rapporten en verslagen nr. 1990-3.
- Lit.17. Critchley, A.T., P.H. Nienhuis en J.M. Verschuure, 1987.
Presence and development of populations of the introduced brown alga *Sargassum muticum* in the southwest Netherlands.
Hydrobiologia 151/152: 245-255.
- Lit.18. Waardenburg, H.W., A.C. van Beek en A.J.M. Meijer, 1990.
Monitoringonderzoek onderwaterflora en -fauna op harde substraten in het Grevelingenmeer, resultaten 1979-1988.
Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Lit.19. Nienhuis, P.H., 1978.
Lake Grevelingen: a case study of ecosystem changes in a closed estuary.
Hydrobiological Bulletin (Amsterdam). Vol 12, 3/4: 246-259.
- Lit.20. Nienhuis, P.H., 1991.
Nutrient cycling and foodwebs in Dutch estuaries: a comparison.
Hydrobiologia (in press).
- Lit.21. Nienhuis, P.H., 1983.
Temporal and spatial pattern of Eelgrass (*Zostera marina*) in a former estuary in the Netherlands, dominated by human activities.
Marine Technology Society 17 (2): 69-77.

- Lit.22. Duursma, E.K., J. Nieuwenhuize, J.M. van Liere and M.T.J Hillebrand.
Partitioning of organochlorines between water, particulate matter and some organisms in estuarine and marine systems of The Netherlands.
Netherlands Journal of Sea Research 20(2/3): 239-251(1986).
- Lit.23. Lambeck, R.H.D.
Leven zonder getij. Bodemdieren in het Grevelingenmeer.
Natuur en Techniek, 53:916-931, 1985.
- Lit.24. De Vries, I. de, en J.P.G. v.d. Kamer.
Ecologische modelbouw. Rekenen aan een ecosysteem.
Natuur en Techniek, 53:776-791, 1985.
- Lit.25. Smith, B.S.
Tributyltin compounds induce male characteristics in female mud snails *Nassarius obsoletus* = *Ilyanassa obsoleta*.
J. appl. Toxicology 1:141-144, 1981.
- Lit.26. Brand, C.M.
Gehalten aan organotinverbindingen in het water van het Grevelingenmeer en mogelijke effecten daarvan op de oester.
RIVO-rapport, AQ 88-04, 15 pp., 1988.

BIJLAGE 1

Zware metalen gehalten in de bodem van het Grevelingenmeer.

In de bodem van het Grevelingenmeer zijn in verschillende jaren de zware metalen gehalten bepaald. Tabel 1 geeft de gemiddelde gehalten die voor het slibgehalte gecorrigeerd zijn. Het is het gemiddelde van "n" lokaties, verdeeld over het bekken. Per lokatie werden er 10 monsters genomen. De laboratoria waar de bodemanalyses zijn uitgevoerd waren niet steeds dezelfde. De analysemethodiek en de toegepaste correctiemethodiek kan daardoor verschillen introduceren, waarmee in de beoordeling rekening gehouden moet worden. Dat wil zeggen dat de nauwkeurigheid van de gepresenteerde concentraties niet groter is dan 20%.

Tabel 1. Zware metalengehalten in microgram per gram bodemsediment.

Analysemethode WL.		gecorrigeerd voor een slibgehalte van 50% <16µm.							
diepte, aantal, jaartal		As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
diep	(n=3)1973			1,9	117	39	94	28	286
ondiep	(n=1), 1981	23	1,1	1,6	117	38	84	29	280
diep	(n=6)1981								

Analysemeth. Al-control.		volgens NW3 genormeerde zware metalen gehalten							
diepte, aantal, jaartal		As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
ondiep	(n=20)1986	0,7	1,1	1	31	20	82	20	264
diepe putten	(n=10)1989	6,5	0,4	0,5	23	14	34	8	102
ondiep	(n=24)1989	3	0,2	0,1	16	8	11	7	77

Ten opzichte van wat er in 1973 en 1981 door het WL is bepaald lijken de door Al-control bepaalde, gecorrigeerde concentraties, in ondiep water in 1989 nog sterker verlaagd dan die van diepwater 1989 en ondiep water 1986 al waren tengevolge van de andere correctiemethode.

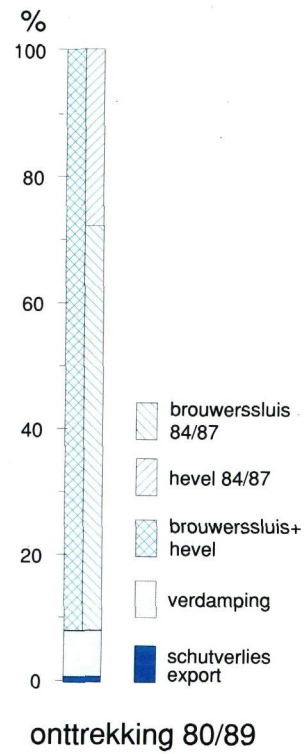
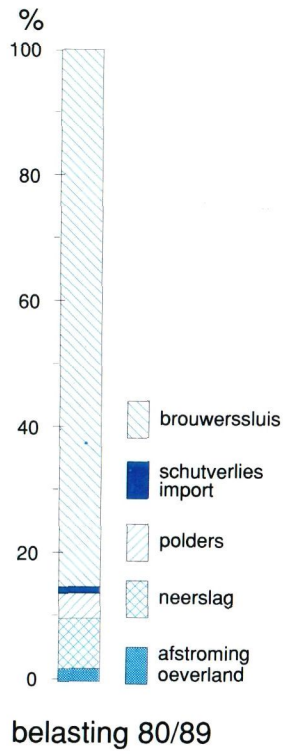
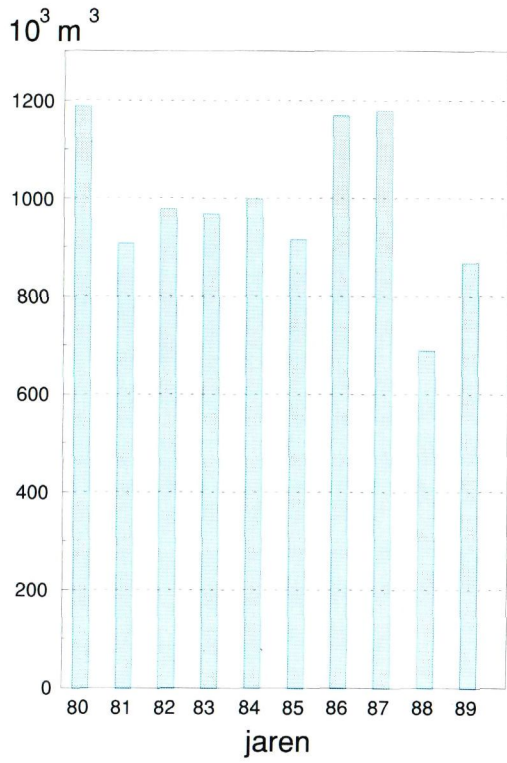
Een onderzoek aan *niet* gecorrigeerde gehalten gaf aan dat de lage gehalten in ondiep watermonsters van 1989 belast zijn met een systematische fout. Voor het zware metaal Zn was het mogelijk dit onderzoek te doen, omdat dat, naast chroom, het enige metaal was waarvan er in het analyseoverzicht van 1989 geen gehalten=0 voorkwamen. Niet alleen is er een groot verschil tussen de absolute gehalten van het Zn-ondiep in 1989 ten opzichte van Zn-diep in 1989 en Zn-ondiep in 1986, maar ook het droge stof percentage was duidelijk verschillend.

De absolute gehalten zijn allemaal betrokken op de droge stof zodat deze gehalten daardoor alleen al gaan afwijken. Daardoor zijn bijvoorbeeld alle calciethalten, organische stofgehalten en slibgehalten van 1989 lager dan die van 1986. Door het verkeerde slibgehalte kan correctiemethode niet toegepast worden.

Het is bijna uitgesloten dat er een rekenfout is gemaakt. Het lijkt er meer op, dat de monsters zijn gedecanteerd, of dat het poriënwater weg heeft kunnen lopen. Dat zou ook kunnen verklaren waarom in een groot aantal gevallen slechts zeer lage zware metalengehalten zijn bepaald.

BIJLAGE 2

Waterbalans Grevelingenmeer, 1980-1989.



Waterbelasting/onttrekking Grevelingenmeer.

BIJLAGE 3

Nutriëntenhuishouding Grevelingenmeer.

Voedingszouten maken de groei en vermenigvuldiging mogelijk van microscopisch kleine plantjes, die vóórkomen als in het water zwevende algen of als bodemgebonden algen, de bentische diatomeeën. Voor de groei is echter meer nodig: energie in de vorm van zonlicht en koolstof voor de vorming van organische stof. Bij de vorming van de organische stof worden nutriënt-elementen als fosfor en stikstof ingebouwd in de celstructuur van de algen. Silicium wordt daarnaast door specifieke algensoorten in grote hoeveelheden gebruikt voor de vorming van een skelet.

Opgeloste voedingszouten worden dus omgezet in particulier materiaal dat vervolgens in de voedselketen wordt opgenomen. De grootte en de vorm van wat we particulier moeten blijven noemen gaat daardoor sterk veranderen. Het plantaardige plankton kan als voedsel dienen voor dierlijk plankton (zoöplankton) maar er zijn ook grotere organismen die plantaardig plankton opnemen. Dat kan direct door opname uit het water. Zo zijn er op de bodem levende bodemdieren, als bijvoorbeeld mosselen, die het water filteren. In de bodem levende bodemdieren als de kokkel filteren water met syphons die juist boven de bodem uitsteken. Er zijn ook schelpdieren die de bodem "begrazen" om het bezonken particuliere materiaal, waaronder bodemdiatomeeën, op te nemen. Er zijn zelfs uitgesproken sediment-eters, waar de wadpier toe behoort. Bij het verteren van het micro-plantaardige materiaal scheiden de hogere herbivore- of carnivore organismen een deel van de nutriënten weer uit. Het andere deel wordt in celmateriaal vastgelegd en blijft op die manier in de voedselketen, waaruit het pas weer vrij komt als het celmateriaal afsterft. Het proces van opname, vastlegging, vertering en mineralisatie maakt dat er voor de nutriëntenconcentraties sprake is van een duidelijke seizoendynamiek.

In het voorjaar, als de zon meer kracht krijgt, komt de planktongroei op gang. De omstandigheden kunnen zodanig zijn, dat er na enige tijd een gebrek aan een van de nutriënten gaat ontstaan. Er is dan te weinig van het betreffende voedingszout in oplossing over, om de planktongroei verder toe te laten nemen of op peil te houden. Er is dan sprake van het beperkend of limiterend zijn van de betreffende nutriënt voor de primaire produktie.

Er zijn watersystemen waar ondanks voldoende nutriënten toch sprake is van beperking van de primaire produktie. Dat is het geval als er te weinig licht doordringt bijvoorbeeld omdat de zwevend stof concentratie te hoog is.

Kenmerkende processen van nutriënten in het Grevelingenmeer.

Het Grevelingenmeer wordt gekenmerkt als een zoutwatersysteem, waar stikstof de beperkende faktor is voor de primaire produktie.

Stikstof komt er voor als (particulair) organisch en anorganisch stikstof, als opgelost ammonium stikstof en als opgelost nitriet- en nitraat stikstof. Routinematig werden deze stoffen niet allemaal apart geanalyseerd. Het organisch stikstof komt samen met anorganisch stikstof en ammonium stikstof voor in het zogeheten Kjeldahl-stikstof dat wel routinematig wordt bepaald. Het nitriet en nitraat stikstof wordt over het algemeen ook als somparameter geanalyseerd.

Het seizoensverloop van (het oplosbare) nitraat- en ammoniumstikstof is als volgt. 'sWinters zijn de concentraties van ammonium en nitraat maximaal. In het vroege voorjaar daalt de concentratie van deze stikstofcomponenten snel. In de zomer worden de concentraties stikstofver-

bindingen minimaal en gelijk nul. Vanaf dat moment treedt er stikstoflimitatie op. Aan het eind van het groeiseizoen neemt de concentratie van ammoniumstikstof weer toe, omdat er voor algengroei weinig meer wordt opgenomen en omdat er een hoog aanbod van mineraliserende biomassa is. Het nitraatstikstof neemt wat later in het seizoen ook toe om, evenals ammonium, rond de jaarwisseling het maximum te bereiken.

Omdat in de winterperiode water wordt uitgewisseld met de Noordzee, waar de concentraties over het algemeen hoger zijn dan op het Grevelingenmeer, treedt er een netto invoer van deze stikstofcomponenten op. Het sluisbeheer is de afgelopen tien jaar consistent doorgevoerd, er is echter geen stijging van de ammonium- en nitraatconcentratie in het meer opgetreden. Dat komt door de denitrificatie: onder anaerobe omstandigheden (in de bodem) wordt door bacteriën nitraat omgezet in elementair stikstof dat gasvormig is en naar de atmosfeer verdwijnt. Door andere bacteriën wordt ammoniumstikstof onder aerobe omstandigheden omgezet in nitriet- en nitraatstikstof, dat is het nitrificatieproces.

De stikstofconcentratie stelt zich in op een evenwicht tussen de invoer door lozingen, de uitvoer door denitrificatie en het rendement van de uitwisseling met de Noordzee.

Fosfor is vooral in de vorm van orthofosfaat beschikbaar als nutriënt. Watersystemen die belast zijn met fosfor-verbindingen bergen grote hoeveelheden fosfaat, gebonden aan slib. In de zomermaanden mobiliseert dat fosfaat uit de bodem en is dan als nutriënt beschikbaar. In de winter accumuleert het fosfaat weer in de bodem. Dat gebeurt direct door bezinking van afgestorven algenmateriaal en indirect door opname via de voedselketen. Toen het Grevelingenmeer afgesloten was bevatte de bodem fosfaat uit de estuarine periode. Daarnaast bestond er nog wel een fosfaatbelasting op het meer, in de vorm van polderwater. Daardoor nam het fosfaatgehalte in de periode 1971 tot 1979 toe. Toen was de Brouwerssluis gereed en werd begonnen met de uitwisseling met de Noordzee, waardoor het fosfaatgehalte weer daalde.

Het procesmechanisme van silicium is het simpelste. Aanvoer van het reactieve silicium vindt plaats via polderwaterlozingen. Het silicium wordt in het vroege voorjaar door diatomeeën vooral gebruikt voor de bouw van het skelet. De (opgelost) siliciumconcentratie daalt daardoor tot een minimum. Het is dan maart/april. Planktonsoorten die minder van silicium afhankelijk zijn worden dan dominant, waardoor er in maanden mei, juni en juli weer silicium uit de afgestorven diatomeeën vrijkomt door mineralisatie. In augustus is het weer de beurt aan diatomeeën om silicium op te nemen waardoor er ten tweede male een minimum wordt bereikt. Vanaf oktober neemt het silicium dan weer toe door mineralisatie tot het midwintermaximum wordt bereikt. In de uitwisselingsperiode is er een netto export van silicium naar de Noordzee waardoor de winterconcentratie daalt.

Nutriëntenlimitatie.

Algengroei is op zich positief voor het milieu. De voedselketen steunt er immers op. De omvang van de algengroei kan, bij beschikbaarheid van grote hoeveelheden nutriënten, echter zo groot worden dat er negatieve effecten ontstaan die voor het ecosysteem desastreuze gevolgen kunnen hebben. Watersystemen kunnen letterlijk overvoerd worden met voedingsstoffen, er is dan sprake van overbemesting of eutrofiëring.

Onder omstandigheden van overbemesting kan de algenbiomassa dus zeer groot worden. Als die algenbiomassa aan het eind van het groeiseizoen massaal afsterft, dan is er voor de mineralisatie zeer veel zuur-

stof nodig. Hydrologische- en weersomstandigheden kunnen zo zijn, dat het water zuurstofloos raakt. Ook zijn er algensoorten die heel direct negatieve effecten veroorzaken bij andere organismen. Bijvoorbeeld de fysische eigenschappen van een algensoort die er de oorzaak van zijn dat ademhalingsorganen van vissen verstopt raken. Of afgestorven algen die bij mineralisatie giftige stoffen vormen. Als zulke algensoorten in kleine hoeveelheden aanwezig zijn dan hebben andere organismen daar geen last van, als de aantallen van deze algen groot zijn dan ontstaan de problemen. Bij een teveel aan nutriënten zijn er dus problemen te verwachten bij organismen hoger in de voedselketen.

Van overmatige algenbloei is in het Grevelingenmeer geen sprake, omdat de nutriënten bij een bloei beperkend worden.

De nutriëntenbeperking voorkomt een teveel aan algen in de waterlaag boven de spronglaag. De effecten van die optredende algenbloei zijn daardoor beperkt. Dat is echter niet het geval met het water onder de spronglaag en met de bodem. Water en bovenlaag van de bodem raken daardoor zuurstofloos. De omvang van de algenbloei is daardoor niet direct te relateren met het zuurstofloze oppervlak in het Grevelingenmeer.

Door het optreden van stratificatie kan een put aan zuurstof "uitgeput" raken. In een eutroof (voedselrijk) meer zal dat snel kunnen gaan (groot aanbod zuurstofverbruikend materiaal) in een minder eutroof meer duurt het langer. Of het nu twee of vier weken duurt: het effect, namelijk zuurstofarmoede of zuurstofloosheid, blijft bestaan tot de stratificatie verdwenen is.

