

Hulpmiddelen bij inrichting en beheer van het Markermeer

Inleiding

Bij de inrichting en het beheer van het Markermeer speelt de waterkwaliteit een belangrijke rol. Eisen aan de waterkwaliteit worden gesteld vanuit;

- de landbouw in Noord-Holland, vooral ten aanzien van het chloridegehalte van het water dat uit het Markermeer wordt ingelaten;
- de recreatie en de natuurontwikkeling, vooral met betrekking tot (blauw)algen.

van dergelijke inrichtingsmaatregelen is mede afhankelijk van plaats en omvang van de voorgenomen maatregelen.

Voor de gedeeltelijke inpoldering van het Markermeer zijn in afb. 1 twee denkbare begrenzingen van een polder weergegeven. Ondermeer vanwege de wettelijke eis bij de beoordeling van dergelijke plannen vooraf de milieueffecten vast te stellen, inclusief die van mogelijke varianten op de voorgenomen

Samenvatting

In het ondiepe Markermeer met zijn relatief groot oppervlak en fijn sediment, heeft de door wind geïnduceerde opwerveling van bodemmateriaal een grote invloed op het onderwaterlichtklimaat. Het in het water gesuspendeerde slib veroorzaakt hoge en fluctuerende extincties, die waarschijnlijk verantwoordelijk zijn voor het uitblijven van de bloei van blauwalgen als *Oscillatoria agardhii*. In verband met de invloed van de eventueel te treffen inrichtingsmaatregelen voor het Markermeergebied op de waterkwaliteit, zijn diverse modellen in ontwikkeling, waaronder de modellen STRESS-2d en CLEAR. Het model STRESS-2d is een tweedimensionaal windgestuurd sedimenttransportmodel, waarin termen zijn opgenomen voor resuspensie, sedimentatie en horizontaal transport. Het model CLEAR is een lichtextinctiemodel, gebaseerd op een onderverdeling in fractie-grootte van het zwevende materiaal. In dit artikel is ingegaan op de achtergronden van de modelontwikkeling en zijn de modelprincipes en voorbeelden van de eerste berekeningsresultaten gepresenteerd. Daarnaast is een korte beschrijving gegeven van de behoefte van de modelontwikkeling uitgevoerde veld- en laboratoriumexperimenten. Hoewel de modellen nog in ontwikkeling zijn, wijzen de eerste resultaten erop dat ze een goed hulpmiddel vormen om de gevolgen van diverse inrichtings- en beheersmaatregelen op de waterkwaliteit in het Markermeergebied te simuleren.

beschreven met relatief eenvoudige balansmodellen. Voor de kans op blauwalgenbloei ligt dit aanzienlijk gecompliceerder. In het kader van de advisering over de voorgenomen inpoldering van de Markerwaard is in 1984 door de commissie Algenbloei Westelijke Randmeren Markerwaard (commissie IJff) advies uitgebracht over de gevolgen voor de waterkwaliteit. Samengevat komt het advies op het volgende neer:

- de kans op permanente dominantie van blauwalgen in het Markermeer kan gering worden geacht en zal na inpoldering van de Markerwaard in de ontstane randmeren niet principieel verschillen;



IR. E. H. S. VAN DUIN
Landbouwniversiteit
Wageningen/dir. Flevoland
Wetenschappelijke
Afdeling



DR. IR. C. BERGER
Rijkswaterstaat
dir. Flevoland
Wetenschappelijke Afdeling



PROF. DR. L. LIJKELEMA
Landbouwniversiteit
Wageningen
Sectie Integraal
Waterkwaliteitsbeheer



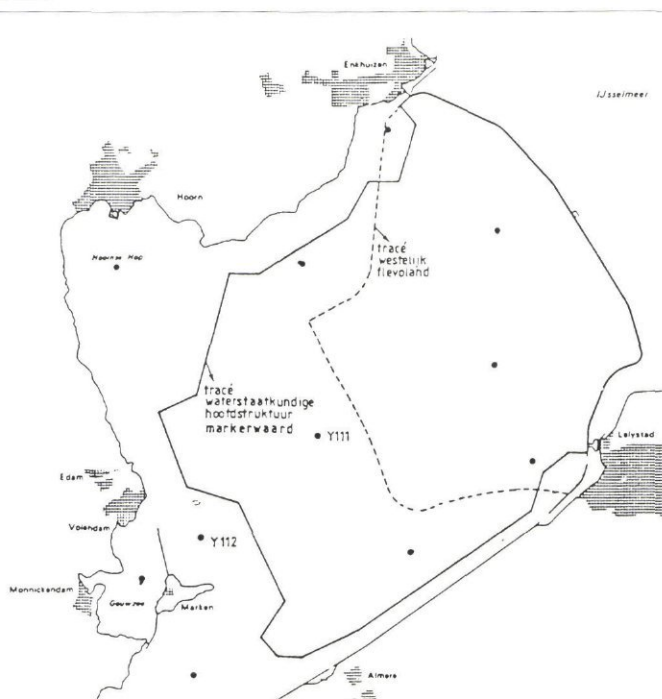
IR. E. SCHULTZ
Rijkswaterstaat
dir. Flevoland
Wetenschappelijke Afdeling

Bij zowel inrichtings- als beheersmaatregelen dienen bovenstaande waterkwaliteitsaspecten zo goed mogelijk in de beoordeling te worden betrokken. Bij inrichtingsmaatregelen die de waterkwaliteit kunnen beïnvloeden is te denken aan de aanleg van voorlanden, eilanden, ontgrondingen, geleidedammen of gedeeltelijke inpoldering(en). De mogelijke beïnvloeding van de waterkwaliteit van het open water als gevolg

maatregelen, is verdieping van de kennis ten aanzien van de waterkwaliteitsontwikkeling noodzakelijk. Modellen waarmee de milieu-effecten van (verschillende) varianten kunnen worden voorspeld, kunnen hiervoor een hulpmiddel zijn.

De invloed van inrichtings- en beheersmaatregelen op de chloridehuishouding van het Markermeer kan goed worden

Afb. 1 - Het Markermeer.



– bij inpoldering van de Markerwaard wordt een verandering in de frequentie waarmee blauwalgensoorten tot tijdelijke bloei kunnen komen niet uitgesloten, met name de kans op tijdelijk bloei van *Oscillatoria agardhii* lijkt groter te worden;

– er zijn zinvolle maatregelen te nemen bij aanleg van de Markerwaard ter beperking van de verhoogde kans op tijdelijke blauwalgenbloeien. Maatregelen als het aanpassen van de verblijftijd in de verschillende meren door aanpassingen van de meergrootte en het voorkomen van een grote toestroom van blauwalgen uit het IJsselmeer door een optimaal beheer van de sluizen bij Lelystad en Enkhuizen, worden hierbij gesuggereerd.

Met het oog op mogelijke aanpassingen in inrichting en beheer beveelt de commissie aan, het algenonderzoek in het gebied van het Markermeer, IJmeer en IJsselmeer met kracht voort te zetten.

In vervolg hierop zijn vanaf 1984 door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, thans de Directie Flevoland van Rijkswaterstaat, de sinds 1974 uitgevoerde meetcampagnes geïntensiveerd om de ontwikkeling van een model mogelijk te maken, dat de gevolgen van verschillende inrichtingsvarianten van het Markermeer-gebied met betrekking tot de voor blauwalgengroei relevante omgevingsfactoren kan doorrekenen. Dit zijn vooral fysische factoren, aangezien de nutriëntenbelasting van het Markermeer dusdanig hoog is en in eerste instantie geen beheers-

maatregelen worden overwogen om deze belasting terug te brengen, dat geen nutriëntlimitatie gedurende langere perioden te verwachten is. Daarnaast wordt de sinds 1974 bij de Wetenschappelijke Afdeling opgebouwde kennis van tot blauwalgenbloeien leidende omstandigheden uitgebreid door middel van metingen en experimenten specifiek gericht op de inrichting van het Markermeergebied. Dit moet de ontwikkeling van een blauwalgenmodel mogelijk maken dat aan het fysische model gekoppeld zal worden. In nauwe samenwerking met de Landbouwniversiteit Wageningen is in 1986 gestart met de ontwikkeling van de modellen [Van Duyn & Lijklema, 1989]. In dit artikel is een beknopte beschrijving gegeven van de opzet en de eerste resultaten van de fysische modellen. Van het algengroei-model zijn in dit artikel alleen de uitgangspunten beschreven omdat hierover elders uitgebreid zal worden gepubliceerd [Vermij, in voorbereiding]. Daarnaast is een korte opsomming gegeven van de voor dit onderzoek gebruikte meetprogramma's en -methoden en van enkele specifieke experimenten.

Het Markermeer

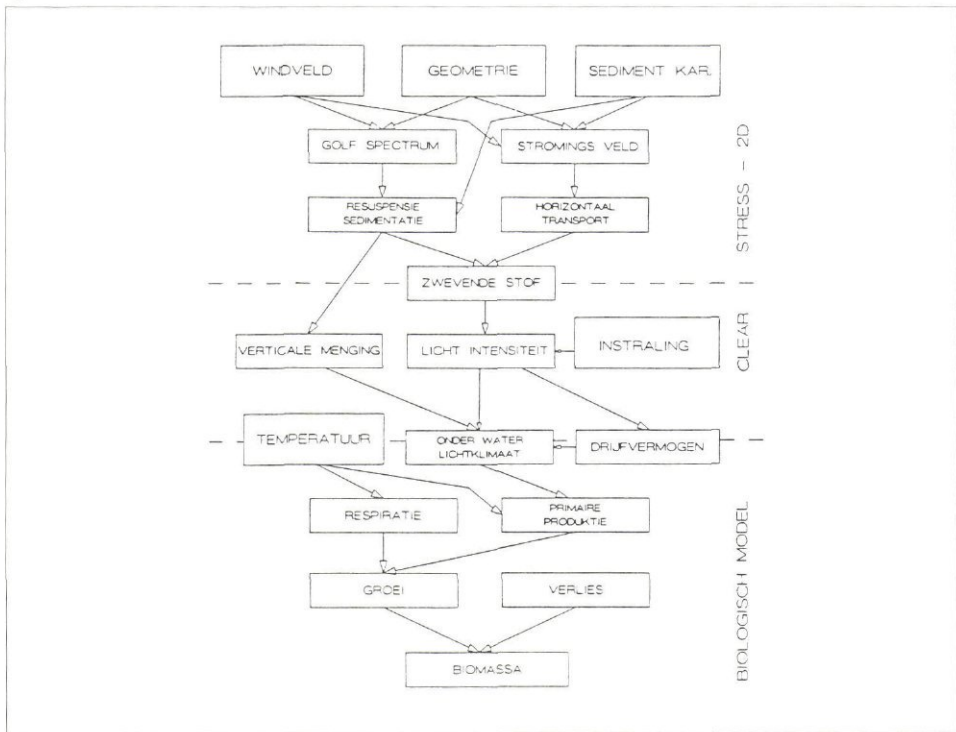
In 1975 is het Markermeer afgescheiden van het overige deel van het IJsselmeer door de sluiting van de dijk Lelystad-Enkhuizen. Het meeroppervlak met inbegrip van het IJmeer is ongeveer 68.000 hectare. De gemiddelde diepte is

ongeveer 3,6 meter met een zeer gelijkmatig diepte-profiel. Het gebied met een diepte kleiner dan 2,0 meter bedraagt slechts 9% van het totale oppervlak en minder dan 2% is dieper dan 4,5 meter [Berger et al, 1986].

De sedimentsamenstelling van het Markermeer is duidelijk bepaald door zijn ontstaansgeschiedenis. Over het gehele bodemoppervlak is de Zuiderzeefzetting aanwezig. Dit is een schelprijke mariene afzetting, die sedimenteerde voor de sluiting van de Afsluitdijk in 1932. Op deze laag bevindt zich de IJsselmeer-afzetting, een sedimentlaag die is afgezet vanaf 1932, bestaande uit fijn, slibrijk materiaal. De dikte van deze afzetting varieert over het meer. Nabij de kust van Noord-Holland en in het IJmeer is deze laag nagenoeg afwezig. Na 1975 is geen slib meer aangevoerd vanuit het IJsselmeer en worden veranderingen in de IJsselmeerafzetting veroorzaakt door interne transportprocessen.

De hydraulische verblijftijd van het water bedraagt 1 à 2 jaar. De aanvoer is afkomstig uit het IJsselmeer en het Gooimeer en van uitslagwater van Flevoland en Noord-Holland. Deze bronnen zijn verantwoordelijk voor de belasting van het meer met nutriënten, chloride en algen. De fosfaatbelasting bedraagt 1,4 g P.m⁻²-jaar⁻¹ [Berger et al, 1986] en is evenals de belasting met andere nutriënten en algen, voornamelijk afkomstig uit het IJsselmeer en het Gooimeer. Het uitslagwater van Flevoland vormt de belangrijkste chloridebron.

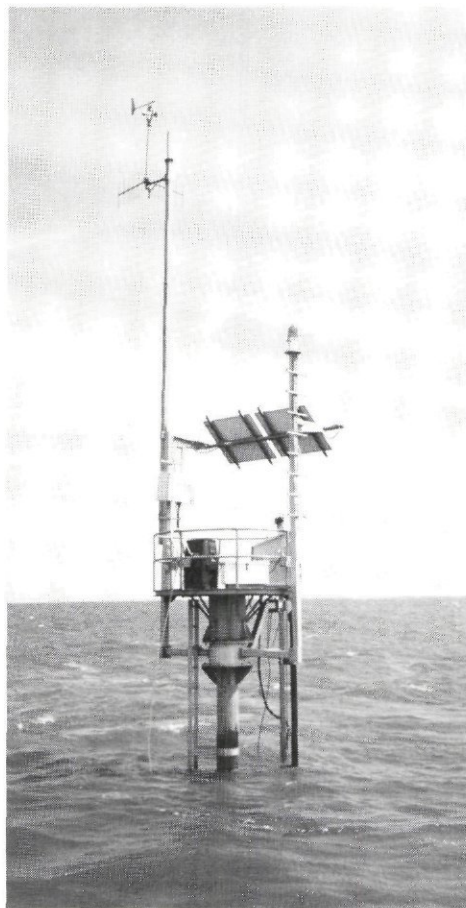
Afb. 2 - Processchema Markermeermodel.



Opzet en aanpak van het onderzoek

Door de grote strijklengten, de relatief geringe diepte en het hoge percentage fijn materiaal in het sediment is het slibgehalte in het Markermeer zeer hoog. De fosfaat-huishouding en het onderwater-lichtklimaat in het Markermeer worden grotendeels bepaald door de opwerveling en bezinking van gesuspendeerd bodemmateriaal en de daarmee samenhangende fysische en chemische processen.

Niet alleen de hoeveelheid maar ook de samenstelling van de gesuspendeerde stof is van invloed op de grootte van de extinctie en daarmee het onderwater-lichtklimaat. In het Markermeer is het percentage zeer kleine slibdeeltjes in het water hoog vergeleken met de randmeren van Flevoland of het IJsselmeer. Hierdoor is ook de extinctie groot. Onder invloed van de weersomstandigheden treden ook grote fluctuaties op in de extinctie; deze varieert tussen 1 en 15 m⁻¹. Dit betekent dat de beschikbare lichtenergie voor algen niet alleen vaak laag is, maar ook aanzienlijk fluctueert. Indien de tijd tussen



Afb. 3 - Meetopstelling lokatie Y111.

ingrijpende fluctuaties kleiner is dan de aanpassingstijd van blauwalgen op deze fluctuaties, zal dit de groei van algen remmen en mede het optredend van bloeien kunnen voorkomen [Berger, 1987].

In het in ontwikkeling zijnde model voor het Markermeer wordt dit complex aan processen op deterministische wijze beschreven. Het model combineert drie afzonderlijke modellen;

- een zwevende-stofmodel;
- een onderwater-lichtklimaatmodel;
- een algengroei-model.

Het gebruikte zwevende-stofmodel is het door Blom en Van Duin ontwikkelde model *STRESS-2d*, dat sinds september 1988 operationeel is. Het lichtmodel, *CLEAR*, is momenteel in ontwikkeling, evenals het algengroei-model. Een stroomschema van het totale model is weergegeven in afb. 2. Tevens is de reikwijdte van de diverse submodellen hierin aangegeven. Elk sub-model wordt afzonderlijk gekalibreerd. Gezien het 2-dimensionale karakter van het model is voor de kalibratie van de submodellen en de validatie van het totale model een uitgebreide dataset nodig. Deze dataset wordt momenteel verzameld.

STRESS-2d

Het zwevende-stofgehalte in het water wordt berekend met behulp van het model *STRESS-2d*, een 2-dimensional model for Sediment Transport Resuspension and Sedimentation in Shallow lakes, ontwikkeld door Blom en Van Duin, zie ook Lijklema et al. [1989]. In *STRESS-2d* is in overleg met de Dienst Informatie Verwerking (=DIV, Rijkswaterstaat) een model voor de slibhuishouding gekoppeld aan het bestaande model *WAQUA*. *WAQUA* is een door de DIV en het Waterloopkundig Laboratorium ontwikkeld 2-dimensionaal model voor de horizontale waterbeweging en het transport van conservatieve stoffen.

In *STRESS-2d* is de resuspensieflux gerelateerd aan door windgolven geïnduceerde schuifspanning. Golven veroorzaken in ondiep water harmonische oscillaties in de waterbeweging nabij de bodem. Door de hiermee samenhangende schuifspanning wordt materiaal uit het sediment losgemaakt en opgewerveld. De bijdrage aan deze opwerveling door stroming is vrijwel nihil, aangezien de stroomsnelheden in het Markermeer klein zijn. Daar komt bij dat bij advectieve stroming een grenslaag wordt opgebouwd, waarbij de schuifspanning nabij de bodem veel kleiner is dan bovenin de grenslaag. De grootte van de golfkarakteristieken wordt bepaald door de windsnelheid, de waterdiepte en de strijklengte. Voor de beschrijving van de golfkarakteristieken wordt gebruik gemaakt van de golfvoorspellingsvergelijkingen voor ondiep water, zoals beschreven door het CERC [1977] en Bouws [1986].

Uit de golfkarakteristieken worden de orbitaalsnelheid en de schuifspanning aan de bodem berekend, die de input vormen voor bestaande resuspensiemodellen. In de literatuur is een groot aantal resuspensiemodellen beschreven, die allen een min of meer empirisch verband geven tussen een bepaalde karakteristiek van het golfveld en de resuspensieflux.

In *STRESS-2d* zijn vijf verschillende resuspensiemodellen beschikbaar. Voor het Markermeermodel wordt voornamelijk gebruik gemaakt van de formules van Lam & Jacquet [1953] en Migniot [1968]. Beide modellen maken gebruik van een kritische orbitaalsnelheid aan de bodem, waarboven resuspensie begint met een snelheid evenredig aan het overschot aan schuifspanning. Deze kritische snelheid heeft een karakteristieke waarde voor de verschillende fracties waaruit het sediment is opgebouwd. In het Markermeermodel is gebruik gemaakt van vier slibfracties, gekarakteriseerd naar bezink-

snelheden met elk een kritische orbitaalsnelheid.

De grootte van de sedimentatieflux is beschreven als een eerste-orde-relatie met de zwevende-stofconcentratie in de waterfase en de bezinksnelheid.

De massabalans van de bodem wordt naast resuspensie en sedimentatie bepaald door processen als consolidatie, bioturbatie en afbraak van organisch materiaal.

CLEAR

Het onderwaterlichtklimaat wordt berekend met het voor het Markermeer ontwikkelde model *CLEAR*; Combined Light Energy Attenuation Routine. In dit model wordt de hoeveelheid licht in de waterkolom bepaald door de instraling en door de extinctie. De extinctie wordt bepaald door de in het water aanwezige opgeloste en gesuspendeerde stoffen. De bijdrage van gesuspendeerde stof aan de extinctie is afhankelijk van de dwarsdoorsnede en de samenstelling van de deeltjes. Aangezien het oppervlak van de dwarsdoorsnede en niet het volume van de deeltjes de grootte van de extinctie bepalen, zal de bijdrage van kleine deeltjes aan de extinctie per gewichtseenheid groter zijn dan de bijdrage van grotere deeltjes. Voor het lichtmodel is dezelfde indeling in fracties aangehouden als wordt gebruikt voor het slibmodel. Voor elke fractie is uit een groot aantal metingen de specifieke extinctiecoëfficiënt bepaald, dit is de extinctie per gewichtseenheid (m^2g^{-1}). Met de combinatie van *STRESS-2d* en *CLEAR* kunnen zo de door slib en opgeloste stoffen veroorzaakte extinctie in water worden berekend.

De extinctie door opgeloste stoffen en het water zelf is vastgelegd in de achtergrondsextinctie. Deze wordt in het model gekoppeld aan de concentratie opgeloste organische stoffen [Kirk, 1983].

Een derde invloedsfactor op de extinctie wordt gevormd door aanwezige algen. De bijdrage door algen wordt eveneens berekend aan de hand van een specifieke extinctiecoëfficiënt. Dit vindt echter pas plaats in het algengroei-model omdat dan pas de omvang van de algenbiomassa bekend is.

Het algengroei-model

In het model wordt algengroei gesimuleerd in afhankelijkheid van de fysische omstandigheden zoals beschreven met de twee voorafgaande modellen. Het model kan in principe worden toegepast voor diverse algensoorten maar is thans gespecialiseerd in simulatie van de groei van *O. agardhii*, omdat deze blauwalg in de relatief smalle en ondiepe randmeren

van Flevoland dominant geworden is en een verandering van de frequentie waarin deze soort in het Markermeer e.g. de randmeren van de Markerwaard tot tijdelijke bloei kan komen op basis van de tot op heden beschikbare kennis (nog) niet kan worden uitgesloten [commissie IJff, 1984].

Uitgangspunt voor het Oscillatoria-model is de 'niet-evenwichtstheorie': de structuur van de algengemeenschap wordt gedomineerd door de voortdurend wisselende omgevingsfactoren en slechts in geringe mate door interne competitie [Harris, 1986]. Een dergelijke benadering houdt ook in dat ruimtelijke inhomogeniteit een belangrijk effect kan hebben op de groei van *O. agardhii*, hetgeen via de koppeling van het algengroei-model met het twee-dimensionale model STRESS-2d gesimuleerd wordt. Gezien de hoogte van de nutriënten-concentraties in vergelijking met de algen-biomassa in het Markermeer en de grote affiniteit van *O. agardhii* voor nutriënten wordt er vanuitgegaan dat het onder-waterlichtklimaat de belangrijkste stuur-variabele is voor het ontstaan van een *O. agardhii*-populatie [Berger, 1987].

Daarbij wordt verondersteld dat naast de gemiddelde lichtintensiteit ook de beweging van de algen over de water-kolom een rol speelt. Factoren die deze verticale beweging beïnvloeden zijn turbulentie in het water door windinvloed en bij windstil weer de regeling van de drijfvermogen van *O. agardhii*. De eerste factor wordt gesimuleerd in CLEAR, de tweede factor in het algengroei-model.

Om meer inzicht te krijgen in de invloed van verticale menging op de produktie en algengroei zal een aantal experimenten uitgevoerd worden:

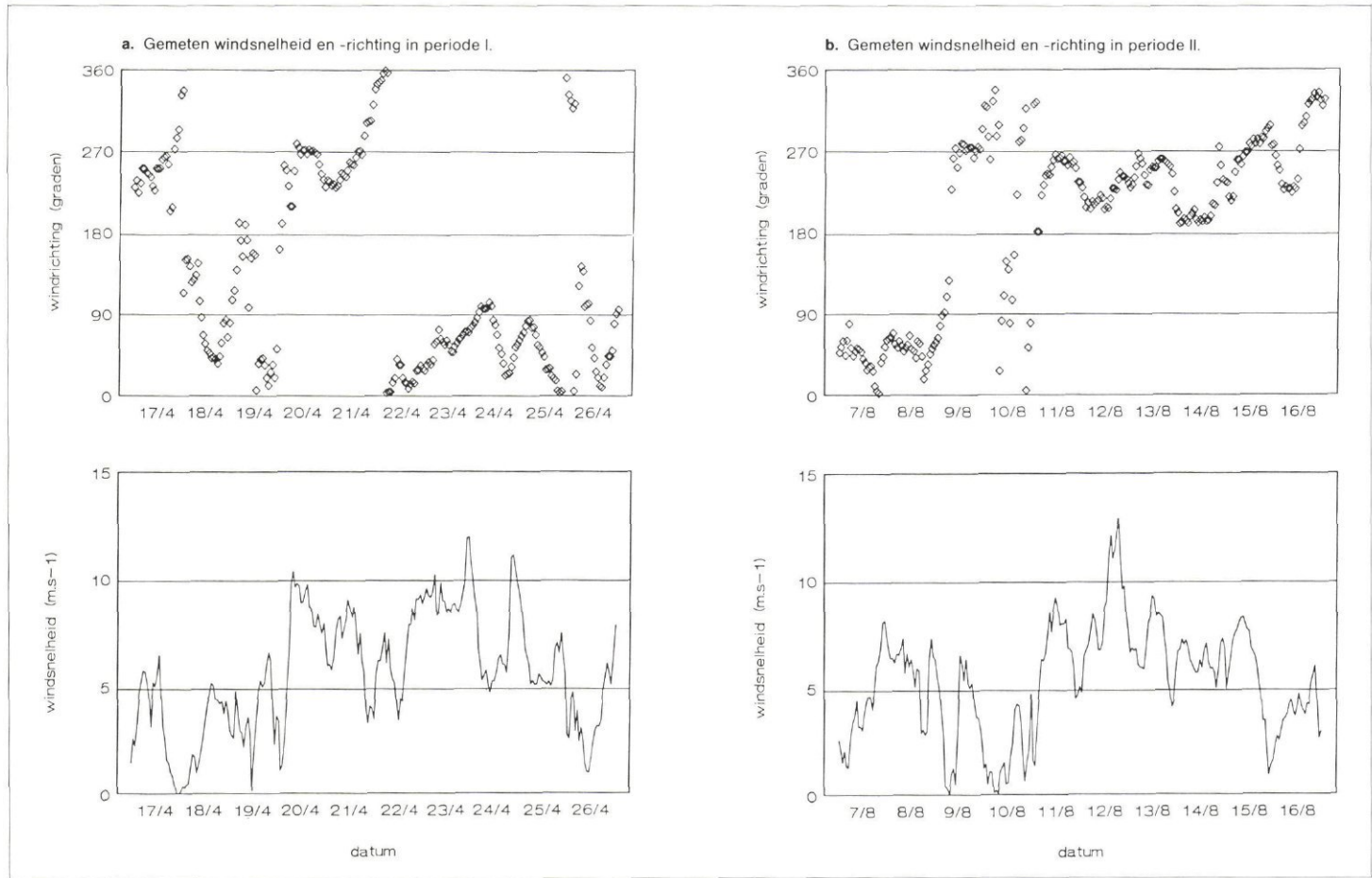
a. Flessenkettingproeven
Zeven kettingen worden opgehangen in het Markermeer op lokatie Y112. Aan de kettingen zijn lichte en donkere flessen bevestigd, die gevuld zijn met een blauw-algensuspensie. Gedurende drie uur worden de kettingen rondgedraaid, waardoor de flessen een op en neer gaande beweging maken. De snelheid waarmee de kettingen bewegen verschilt onderling. In de lichte flessen wordt de primaire produktie gemeten en vergeleken met de gemeten produktie van op een speciale diepte gefixeerde flessen. In de donkere flessen wordt de ademhaling

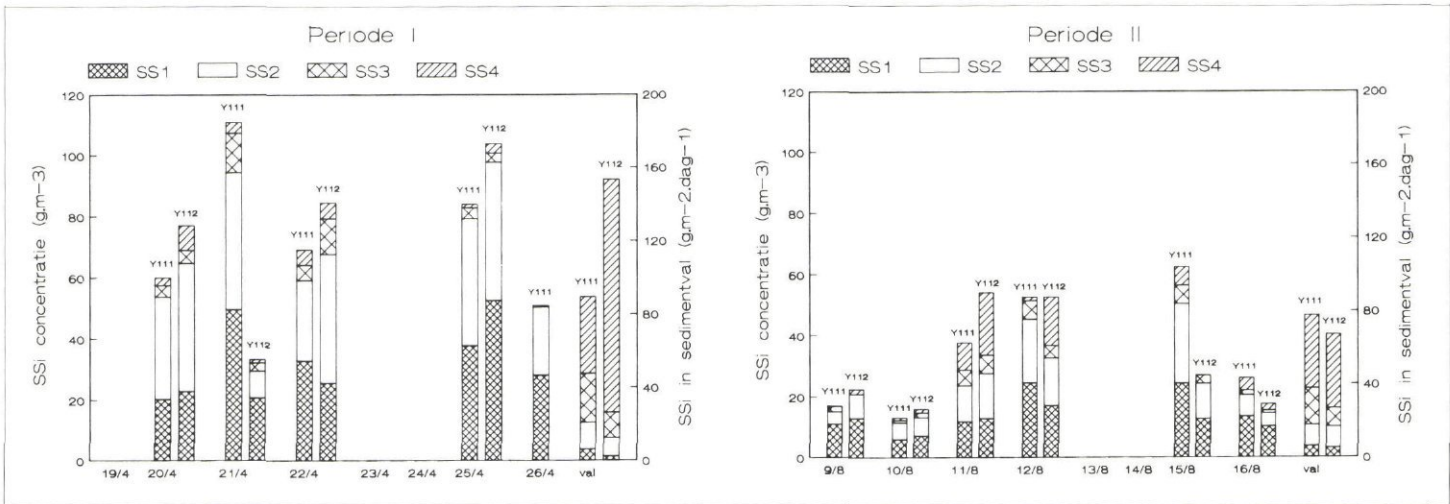
gemeten. Tijdens de proef wordt nauw-keurig het onderwater-lichtklimaat gemeten [Van Duin, 1988].

b. In situ cilinder proeven (in voor-bereiding).
In het Markermeer wordt een verticale cilinder geplaatst die zodanig geconstrueerd is, dat verschillende bewegingen in de waterkolom, zoals veroorzaakt door turbulenties met verschillende intensiteiten, gesimuleerd kunnen worden. De cilinder wordt gevuld met een blauwalgensuspensie die gedurende meerdere dagen in beweging wordt gehouden en regelmatig be-monsterd. Het zuurstofgehalte wordt continu geregistreerd. Met donkere flessen wordt de ademhaling gemeten. Zodoende kan door middel van de zuur-stofontwikkeling de primaire produktie en met de biomassatoename de groei gemeten worden, in relatie tot de beweging van algen over de verticaal.

Gegevensverzameling en toepassing
Om meer inzicht te krijgen in de betrokken processen en voor de kalibratie van de verschillende submodellen is een grote hoeveelheid gegevens noodzakelijk.

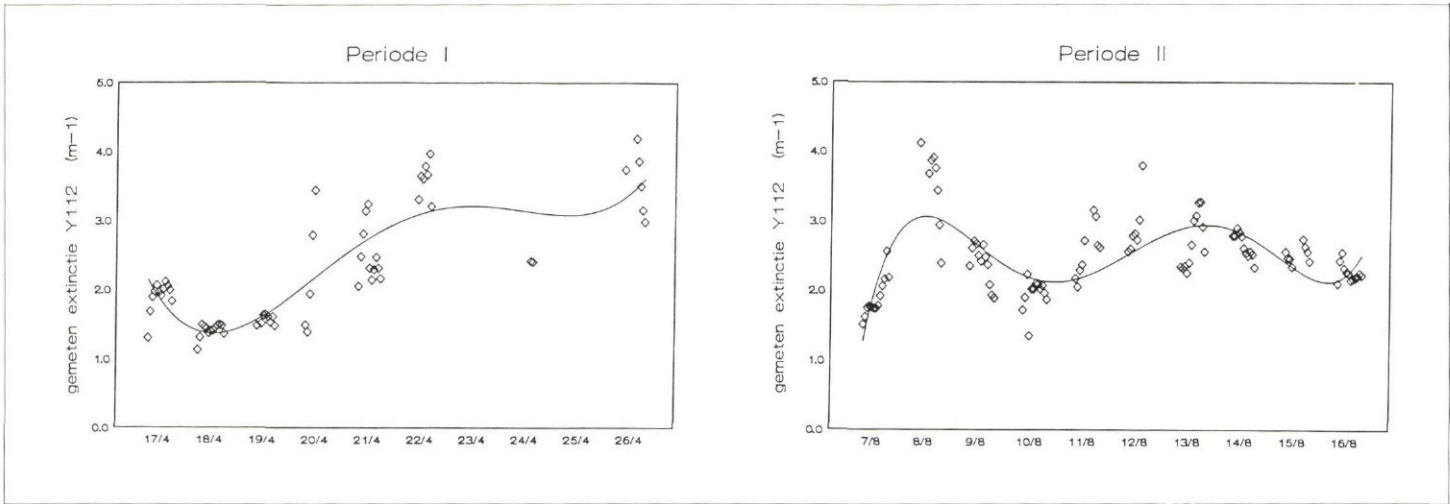
Afb. 4 - Gemeten windsnelheden en -richtingen in periode I en II.





Afb. 5 - Gemeten valsnelheidsverdeling in periode I en II.

Afb. 6 - Gemeten extinctie op Y112 in periode I en II.



Daarom is door de Directie Flevoland een uitgebreid meetprogramma opgezet, waarbij, sinds 1984 op één plaats en sinds 1988 op twee plaatsen in het Markermeer, met een hoge frequentie gegevens worden verzameld. Vanaf 1986 verloopt dit succesvol.

Het meetprogramma van 1988 en 1989 ziet er globaal als volgt uit.

a. Geautomatiseerde gegevensinwinning Dit gebeurt met automatische meet-apparatuur en dataloggers, vanaf de vaste meetopstellingen Y111 en Y112 (afb. 3). Een overzicht van de metingen is gegeven in tabel I.

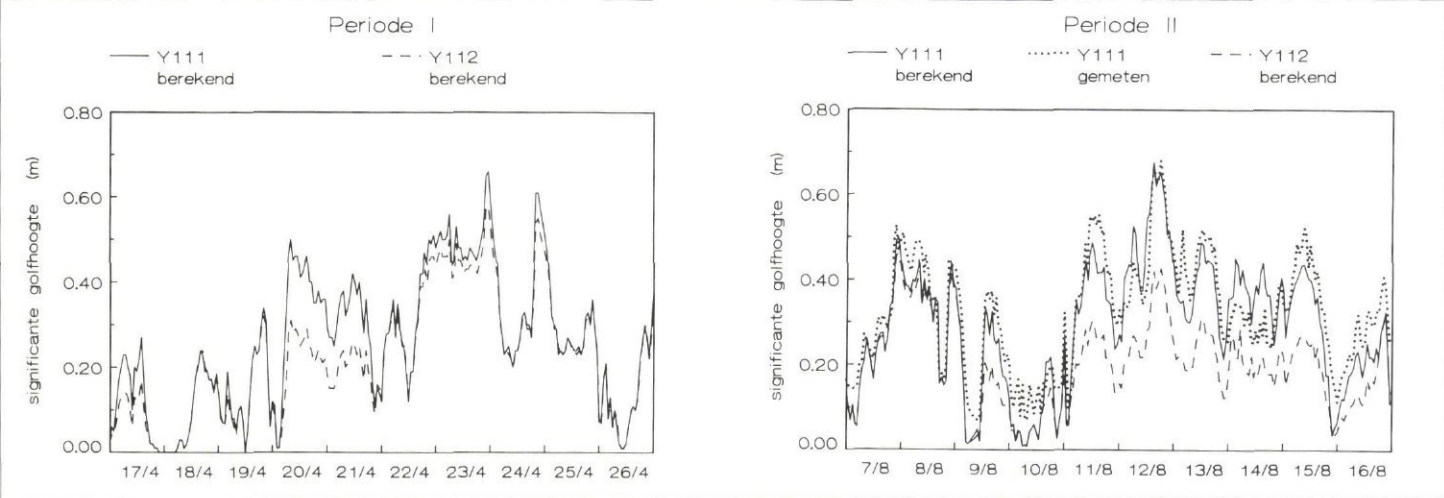
b. Aanvullende metingen Tijdens het gehele meetseizoen wordt eens per week een bezoek gebracht aan de meetopstellingen, waarbij een groot aantal metingen wordt verricht en monsters worden genomen. Dit betreft lichtmetingen, Secchi-schijfdiepte, temperatuur, pH, zuurstof, totaal- en asvrij drooggewicht, POC, DOC, chlorofyl-a,

TABEL I – Geautomatiseerde gegevensinwinning.

Variabele	Hoogte (m t.o.v. NAP)	Frequentie
windsnelheid	+ 10	60 per uur
windrichting (Y112)	+ 10	60 per uur
instraling boven water (Y112)	+ 3	360 per uur
lichtintensiteit	- 0,4, - 0,65, - 0,9	360 per uur
temperatuur	- 0,5, halve diepte	1 per uur
zuurstof	halve diepte	1 per uur
waterpeil		4 Hz
golfhoogte		4 Hz

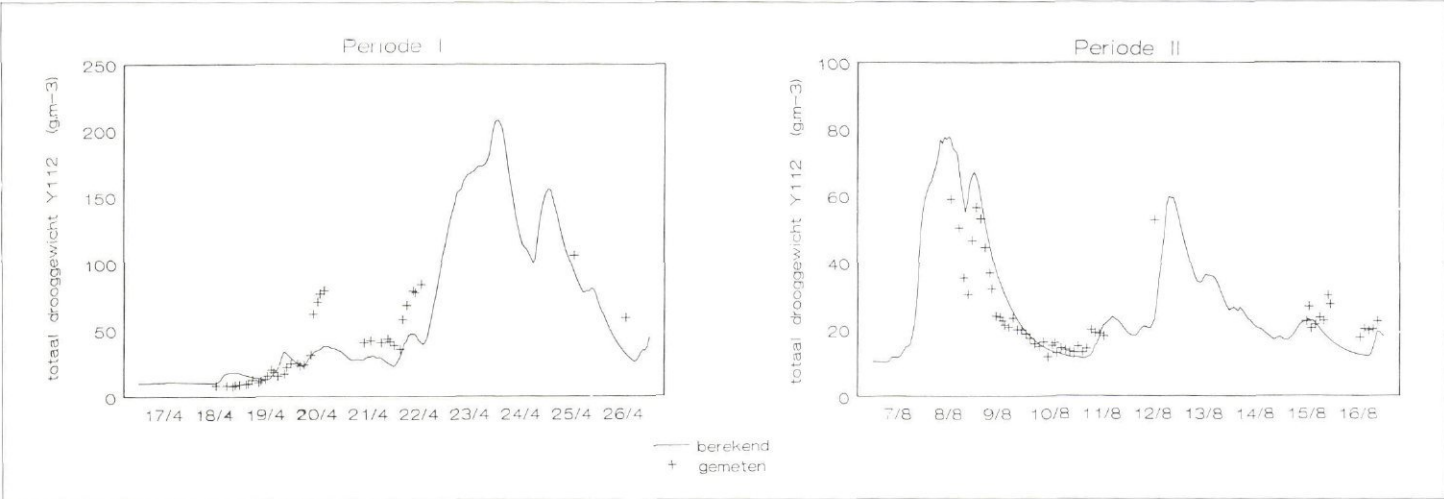
feofytine, SiO₂, P-PO₄, P-tot, N-Kjel, N-NO_x, N-NH₄, algentelling en -determinatie, fractie-grootte-verdeling naar bezinksnelheid en specifieke extinctiecoëfficiënt. Tevens wordt eenmaal per week de inhoud van de sedimentvallen geanalyseerd. c. Intensieve meetcampagnes Tijdens vier perioden van twee weken verspreid over het meetseizoen, worden onder b. genoemde metingen, met uitzondering van de sedimentvallen, drie- tot vijfmaal per week uitgevoerd. Tevens wordt gedurende deze weken elke twee uur of elke zes uur een watermonster

genomen waarin later het zwevende-stof-gehalte wordt bepaald; deze waarden worden gebruikt voor de kalibratie van STRESS-2d. Tijdens enkele van de intensieve meet-perioden worden primaire-productie-experimenten gedaan, waaronder de eerder beschreven kettingproeven. Met de experimenten met de in situ cilinder wordt in 1989 begonnen. d. Remote sensing onderzoek in samenwerking met DBW/RIZA. Eens per 16 dagen worden op 10 plaatsen waarnemingen verricht (afb. 1). Op elke plaats worden de onder b. vermelde waar-



Afb. 7 - Berekende en gemeten golfhoogte in periode I en II.

Afb. 8 - Berekende en gemeten zwevende-stofgehalten op Y112 in periode I en II.



nemingen verricht, met uitzondering van het nutriënten onderzoek, de sedimentvallen en de fractie-grootteverdeling. De gegevens worden door DBW/RIZA gebruikt voor de interpretatie van satelietfoto's waarmee 2-dimensionale kaarten met concentraties kunnen worden geproduceerd. Deze kaarten worden gebruikt worden voor de validatie van de met het model geproduceerde 2-dimensionale kaarten van concentraties.

e. Iedere 2 weken worden langs de kust van Noord-Holland in het Markermeer en langs de kust van Friesland in het IJsselmeer het onderwaterlichtklimaat, de temperatuur, de pH en het zuurstofgehalte bepaald. Nutriëntenconcentraties, fytoplankton-biomassa's en soorten determinaties worden in het laboratorium bepaald.

f. Bodemsedimentonderzoek

In het voorjaar van 1988 is een uitgebreid bodemsedimentonderzoek uitgevoerd op het Markermeer. Een aanvullend onderzoek zal in het voorjaar van 1989 plaats-

vinden. De gegevens worden gebruikt als invoer voor de simulatieberekeningen.

Eerste resultaten STRESS-2d en CLEAR

In afb. 4 is voor twee karakteristieke perioden de windsnelheid en windrichting weergegeven. Periode I loopt van 17 april tot en met 26 april 1988. In deze periode was sprake van helder weer, de windsnelheid nam toe van zeer zwak tot boven de 12 m.s⁻¹, waarbij de windrichting eerst wisselend was en vanaf 22 april noordoost. Periode II loopt van 7 tot 16 augustus 1988, met uitzondering van 7 en 8 augustus, kwam de wind voornamelijk uit westelijke richting en was het bewolkt. De grote invloed van het windveld op de slibdynamiek is verduidelijkt in afb. 5, waar voor beide perioden de slibkarakteristieken voor de meetpunten Y111 en Y112 weergegeven. De fractie die het langzaamst bezinkt is weergegeven met SS1, die het snelst bezinkt met SS4. De gewogen gemiddelde bezinktijd per fractie is weergegeven in tabel II. Door

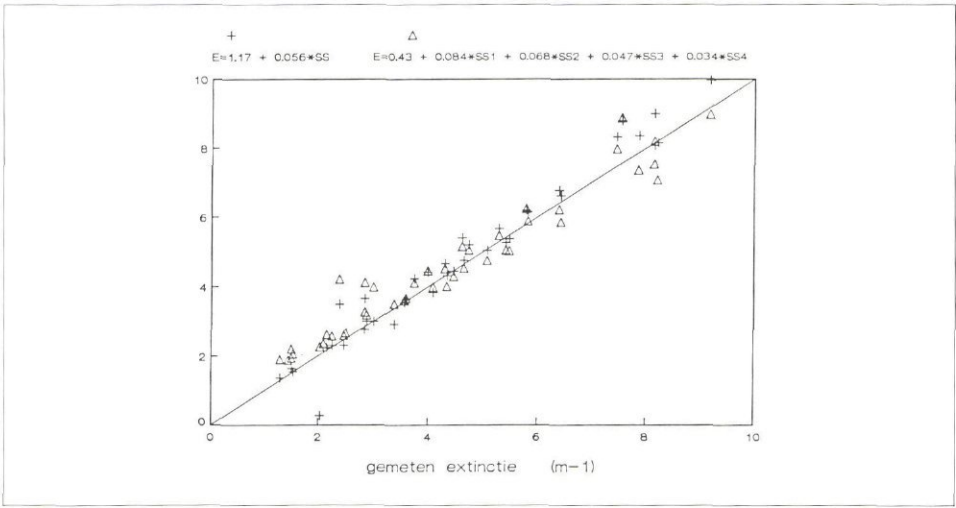
TABEL II - Gemiddelde bezinktijd per fractie.

Fractie	Bezinktijd
SS1	1,67 x 10 ⁻⁶ m.s. ⁻¹
SS2	21,5 x 10 ⁻⁶ m.s. ⁻¹
SS3	109, x 10 ⁻⁶ m.s. ⁻¹
SS4	419, x 10 ⁻⁶ m.s. ⁻¹

hun grotere sedimentatiesnelheid zullen grote fractie oververtegenwoordigd zijn in sedimentvallen ten opzichte van hun concentratie in de waterfase. Dit is duidelijk te zien in afb. 5; de kleinste fracties SS1 en SS2 nemen ongeveer 70% in van het gesuspenseerde materiaal, in de sedimentvallen wordt ongeveer 70% ingenomen door de fracties SS3 en SS4. Tevens is in afb. 5 duidelijk het strijklengte-effect waarneembaar: In periode I is na 21/4 het zwevende-slibgehalte in het water en in de sedimentvallen hoger bij Y112 dan bij Y111. De wind is dan noord tot noordoost en de windaanval op Y112 groter dan op Y111.

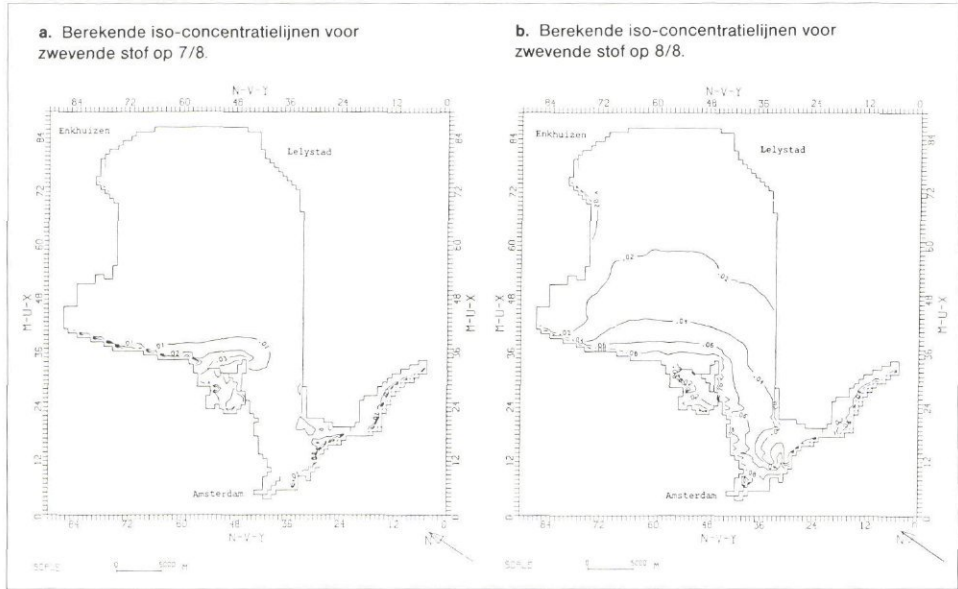
Het effect van de slibdynamiek op het onderwaterlichtklimaat is te zien in afb. 6

waar voor beide perioden de extinctie op lokatie Y112 is uitgezet tegen de tijd. De extinctie is berekend uit de op drie diepten gemeten lichtintensiteit. De extinctie tijdens periode I neemt toe aan het eind van 21/4. De hoogste waarde is gemeten op 23/4, wanneer de windsnelheid het grootst is. Op 26/4 neemt de extinctie weer af. Tijdens periode II is de extinctie het hoogst op 8 augustus, de strijklengten op Y112 zijn dan erg groot door de noordoostenwind. Op 12 augustus is de windsnelheid erg groot, meer dan 12 m.s⁻¹, ook dan is een hogere extinctie gemeten. De achtergrondextinctie is tijdens periode II groter dan tijdens periode I. De toepasbaarheid van de uit onderwater lichtmetingen berekende extinctie als maat



Afb. 10 - Gemeten en berekende extincties.

Afb. 9 - Berekende iso-concentratielijnen voor zwevende stof.



berekende slibgehaltenes zijn laag over het hele meer, waarbij de hoogste concentraties gevonden worden in de zuidwesthoek van het meer door het strijklengte-effect. In afb. 9b is de situatie 20 uur later getekend, na een periode waarbij de windstnsnelheid steeds boven de 7 m.s⁻¹ lag. De concentraties zijn enorm toegenomen, bij Marken tussen de 70 en 80 mg.l⁻¹. Dit benadert de gemeten concentraties op 8 augustus op Y112, zie afb. 8. De kalibratie van het model moet nog worden voltooid, maar het is reeds mogelijk gebieden met hoge slibgehaltenes aan te duiden, bij verschillende weersomstandigheden.

Het extinctiemodel CLEAR is nog in ontwikkeling. Een voorbeeld van de berekende extincties aan de hand van gemeten slibfracties is weergegeven in afb. 10. Naar verwachting zal eind 1989 de ruimtelijke spreiding van de extincties in het gebied berekend kunnen worden.

Nawoord

Ir. G. Blom (LUW) en dr. S. G. Vermij en ir. H. Winkels (dir. Flevoland) gaven commentaar en suggesties bij het concept van dit artikel, terwijl ing. M. J. M. Scholten assistentie verleende bij de ontwikkeling van en de uitvoering van berekeningen met STRESS-2d.

Literatuur

Berger, C. e.a. (1986). *De kans op blauwalgenvloeiën in de randmeren van de Markerwaard*. Flevovericht nr. 268, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders Lelystad.
Berger, C. (1987). *Habitat en ecologie van Oscillatoria agardhii Gomont*. Van Zee tot Land, 55, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
Bouws, E. (1986). *Verwachtingen van zeeingang door middel van groeicurves: bevindingen verkregen aan de hand van de Markermeerset*. KNMI memo: 00-86-33.
CERC (Coastal Engineering Research Center), 1977. *Shore Protection Manual I & II*. Washington.

voor het slibgehalte is beperkt, aangezien de methode 's nachts én bij hoge extincties faalt. Tussen 23 en 25 april is slechts twee maal genoeg licht gemeten om de extinctie te berekenen, juist omdat er in die periode veel slib in het water aanwezig is.

In afb. 7 zijn de met STRESS-2d berekende golfhoogten voor periode I en II op plek Y111 en plek Y112 weergegeven. Een fijnregeling van het model kan nog plaatsvinden; de huidige modefficiëntie (r²) varieert tussen de 0,8 en de 0,9, de absolute fout bedraagt 0,1 à 0,2 m. De trant wordt met het model goed voorspeld, de gevoeligheid voor de absolute grootte van de windsnelheid is echter groot. Het slibgedeelte van STRESS-2d is sediment-specifiek en verkeert voor het Markermeer nog in de kalibratiefase. Een voor-

beeld van het concentratieverloop op een bepaald punt, zoals dat met STRESS-2d berekend kan worden, is in afb. 8 weergegeven voor lokatie Y112 voor beide perioden. Tijdens periode I is de berekende waarde erg hoog tussen 23 en 25 april. Tijdens deze dagen is geen slib gemeten, de lichtmetingen bevestigen de gevonden piek, aangezien tijdens deze periode de extinctie te hoog was om nog licht te meten. In afb. 9 zijn twee voorbeelden gegeven van met STRESS-2d geproduceerde kaarten met berekende iso-concentratielijnen voor zwevende stof in het Markermeergebied. De berekeningen zijn met een schematisatie van het gebied uitgevoerd met een maaswijdte van 500 meter en een tijdstap van 10 minuten. Afb. 9a geeft de berekende iso-concentratielijnen op 7 augustus om 20.00 uur. De windrichting is noordoost, de windsnelheid neemt toe. De

Commissie IJf, (1984). *Advies van de commissie algenbloei westelijke randmeren Markerwaard*. Hilversum.

Harris, G. P. (1986). *Phytoplankton Ecology: Structure, function and fluctuation*. Chapman and Hall.

Kirk, J. T. O. (1983). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press.

Lam, D. C. and Jaquet, J. M. (1976). *Computations of Physical Transport and Regeneration of Phosphorus in lake Erie, Fall 1970*. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 33:550-563.

Lijklema, L., Aalderink, R. H., Blom, G. and Duin, E. H. S. van (1989). *Eutrophication and Sediment Transport*. In press.

Migniot, P. C. (1968). *Etude des proprietes physiques de different sediments très fins et de leur comportement sous des actions hydrodynamiques*. La Houille Blanche, 7: 561-620.



Ingezonden

Reactie op het artikel van drs. G. E. Achttien-
ribbe in H₂O (22) nr. 10, 11 mei 1989: 'Rijks-
waterstaat in de fout met Compensatieregeling
inzake het verleggen van kabels en leidingen'.

Het artikel van de heer G. E. Achttien-
ribbe bevat een aantal elementen die om
een reactie vragen, reacties overigens die
in de overlegsfase mogelijk hadden
kunnen worden opgelost.

Het aanbod van Rijkswaterstaat om, daar
waar onduidelijkheden voor belang-
hebbenden bestaan, met de belang-
hebbende of de overkoepelde organen
in open discussie de onderdelen te
bespreken is door een aantal over-
koepelende organisaties van leiding-
eigenaren tot op heden niet geaccepteerd.

Uit het artikel mag worden geconcludeerd
dat de schrijver de in de gepubliceerde
Compensatieregeling opgenomen
berekenningsmethode niet voldoende tot
de werkelijke uitkomsten doorrekent.

Op gevaar af dat door fragmentarische
behandeling er wederom onduidelijk-
heden ontstaan of blijven bestaan zal er op
het artikel puntsgewijze worden ingegaan.

Drs. Achttienribbe stelt:

1. 'In genoemde regeling wordt ten
onrechte een duidelijke beperking aan-
gelegd door de berekening van de schade
toe te spitsen op uitsluitend de
investeringskosten'.

Hierbij wordt dezerzijds opgemerkt dat de
schrijver voorbij gaat aan de ruimte die in
de regeling wordt geboden te weten als
component van de nieuwe investerings-
kosten kunnen naast directe materiaal- en
loonkosten zowel 'overige directe kosten'
alsook een 'opslag indirecte kosten'
fungeren.

Vervolgens stelt scribent:

2. 'Er van uitgaande dat hier met
'verschil' bedoeld wordt de uitkomst van
een aftrekking'.

In de door Rijkswaterstaat gekozen opzet
is een 'verschil' niet de uitkomst van een
aftrekking van twee bedragen, maar het
verschil in waarde tussen beide
grootheden.

Artikel 12 '... de bestaande restant
boekwaarde ... vermeerderd met de
contante waarde ... van het verschil
tussen de annuïteit van de oorspronkelijke
(historische) en de nieuwe
investering ...'.

Hij stelt verder:

3. 'RWS past bij de berekening van de
boekwaarde de lineaire afschrijvings-
methode toe ...'.

De regeling verdeelt de schade in twee
componenten:

- De boekwaarde van het oude actief,
uitgaande van lineaire afschrijving.
- Het verschil in annuïteiten van de oude
en de nieuwe investering, voor een
periode gelijk aan de resterende levens-
duur van het oude actief. Hierin is de
lineaire afschrijving de methode zoals ook
door de heer Achttienribbe wordt voor-
gesteld.

De toepassing van de annuïteiten is niets
meer of minder dan een objectivering
van de vergoeding voor de extra
financieringslast van de leidingeigenaar.

De schadecompensatieregeling vergoedt
de contante waarde van de stijging in
jaarlast (annuïteit nieuw -/– oud) plus de
boekwaarde van het oude actief dit in
tegenstelling tot de wens van de heer
Achttienribbe een vergoeding van de
volledige jaarlast op basis van de nieuwe
investering.

4. 'Rijkswaterstaat stelt zich voor, bij
de berekeningen, de levensduur van
leidingen in of nabij rijkswegen, te
beperken tot 10 jaar en in of nabij dijken
tot 20 jaar.'

Hier worden een aantal principiële zaken
door scribent door elkaar gehaald. In de
door Rijkswaterstaat neergelegde regeling
komen de volgende begrippen voor

- ongestoorde liggingsduur binnen Rijks-
eigendom
deze is vastgesteld op 10 respectievelijk
20 jaar voor in of nabij rijkswegen
respectievelijk in of nabij dijken
- economische levensduur
welke uit ervaringsfeiten oploopt tot
40 jaar
- technische levensduur
welke bij ongestoorde ligging wel 100 jaar
kan bedragen.

RWS houdt bij de vergunningverlening
aan leidingeigenaren van een liggingsduur
van respectievelijk 10 of 20 jaar in
financiële zin rekening met de belangen
van deze leidingeigenaren.

Na deze perioden wordt het verleggen van
de kabels en leidingen beschouwd als een

te aanvaarden maatschappelijk risico, dat
geheel voor rekening van de leiding-
eigenaar komt.

De regeling is een codificatie en
compilatie van hetgeen thans naar
Nederlands administratief en burgerlijk
recht geldt en waarborgt alle rechten van
de leidingeigenaar zodat onmogelijk
gesteld kan worden dat RWS eenzijdig en
onzorgvuldig te werk is gegaan, zoals
scribent in zijn artikel stelt.

Rijkswaterstaat zal de in de regeling
neergelegde visie gaarne getoetst zien
door een onafhankelijke rechter.

Ing. P. Jansen
Beleidsmedewerker ministerie van
Verkeer en Waterstaat

Naschrift

Het door de heer ing. P. Jansen gewraakte
artikel van mijn hand had als 'leitmotiv' de
slordigheid, eenzijdigheid en onzorgvul-
digheid waarmee Rijkswaterstaat te werk
is gegaan bij het formuleren van de
inhoud en het redigeren van de Compensatieregeling inzake het verleggen van
kabels en leidingen in Rijkswaterstaat-
werken. De bovenafgedrukte reactie geeft
mij geen aanleiding mijn visie te wijzigen.

Ik zal kort ingaan op de door de heer
Jansen aangehaalde punten.

1. De opmerking van de heer Jansen is
correct: ik ga daar inderdaad aan voorbij.

Dat doe ik, omdat ik de door hem
genoemde kosten vanzelfsprekend be-
grepen acht in de investeringskosten.

Mijn bezwaar geldt echter het feit dat
Rijkswaterstaat geen rekening houdt met
niet tot de investeringskosten doch tot de
exploitatiekosten behorende schade zoals
extra energie- en onderhoudskosten
indien de vervangende leiding langer is
dan de oorspronkelijke.

2. De tekst van de regeling vereist een
interpretatie van het woord 'verschil'.

Op zich betekent dat, dat de regeling de
nodige eenduidigheid mist. De heer
Jansen kiest één van de twee mogelijke
interpretaties. In mijn betoog heb ik
aangegeven dat ook deze interpretatie in
bepaalde gevallen onbedoelde uitkomsten
geeft.

3. Ik heb aangegeven dat Rijkswaterstaat
de schade te laag vaststelt door bij de
berekening van de boekwaarde van de
oude leiding de lineaire afschrijvings-
methode toe te passen, terwijl de jaar-
lasten van de oude leiding becijferd
worden met de annuïtaire methode.

De toelichting van de heer Jansen
verandert daar niets aan.

Overigens citeert de heer Jansen de
schadecompensatieregeling verkeerd.

Deze vergoedt niet de 'contante waarde