

ir A. Hekkink.  
ir G. Blom

Vakgroep Waterkwaliteitsbeheer

oktober 1994

## LICHTKLIMAAT IN ONDIEPE MEREN.

Onderzoek naar de toepasbaarheid  
van het model UITZICHT  
en modellen voor de resuspensie  
van bodemmateriaal.



Landbouwwuniversiteit Wageningen



# INHOUDSOPGAVE

## VOORWOORD

## SAMENVATTING

<b>1</b>	<b>INLEIDING EN DOELSTELLING</b>	<b>5</b>
1.1	Inleiding.	5
1.2	Doelstelling van het onderzoek.	6
1.3	Opzet van het onderzoek.	7
1.3.1	De benodigde data en morfologische gegevens.	7
1.3.2	Toetsing en optimalisatie UITZICHT.	7
1.3.3	Resuspensie van bodemmateriaal.	7
<b>2</b>	<b>DATA EN MORFOLOGISCHE GEGEVENS</b>	<b>8</b>
2.1	Overzicht meren.	8
2.2	Morfologische gegevens.	9
<b>3</b>	<b>MODELLEN</b>	<b>11</b>
3.1	Het model UITZICHT.	11
3.2	Het programma GLOBOPT.	12
3.3	Het model RESUSPENSIE.	13
3.3.1	Inleiding.	13
3.3.2	Sedimenttransport in ondiepe meren.	14
3.3.3	Windgolven.	16
3.3.4	Een benadering van de gemiddelde orbitaalsnelheid.	17
3.3.5	Schatting van de gemiddelde bijdrage van resuspensie aan de slibconcentratie.	21

<b>4</b>	<b>TOETSING EN OPTIMALISERING UITZICHT</b>	<b>22</b>
4.1	Optimalisatie op basis van extinctie en secchidiepte gegevens.	22
4.2	Optimalisatie UITZICHT parameters op basis van secchidiepte gegevens.	26
4.2.1	Clustering op basis van de optimale parametercombinatie.	29
4.2.2	Optimalisatie $k_1$ en $k_3$ .	31
4.2.3	Clustering van de beschikbare datasets.	32
<b>5</b>	<b>RESUSPENSIE</b>	<b>34</b>
5.1	Resultaten resuspensie.	35
5.1.1	Berekening van de slib concentratie op basis van $K/w_s$ .	38
5.2	Biomassa versus detritus	41
5.3	Detritus/biomassa in relatie met een maat voor de schuifspanning	43
<b>6</b>	<b>DISCUSSIE EN CONCLUSIE</b>	<b>44</b>
6.1	Discussie.	44
6.2	Conclusie.	44

## LITERATUUR

## BIJLAGEN

## VOORWOORD

In dit rapport worden de resultaten besproken van het onderzoek naar de toepasbaarheid van het model UITZICHT. Tevens is er onderzoek gedaan naar resuspensie van bodem-materiaal. Het onderzoek is uitgevoerd aan de Landbouwwuniversiteit Wageningen, vakgroep Waterkwaliteitsbeheer, door A. Hekkink en G. Blom in opdracht van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), overeenkomst 1448. Het onderzoek werd vanuit het RIZA begeleid door dr.P. Boers en ir.H. Buiteveld.

Voor het beschikbaar stellen van data wil ik T. Joosten, E.H.S van Duin, G. Blom, P. Boers en H. Buiteveld bedanken. De heer H. Buiteveld wil ik ook extra bedanken voor het beschikbaar stellen van het optimaliseringsprogramma GLOBOPT. Verder wil ik G. Blom van de vakgroep waterkwaliteit bedanken voor de begeleiding en ondersteuning van dit onderzoek.

Arthur Hekkink.

## SAMENVATTING

In dit onderzoek is gekeken naar de toepasbaarheid van het model UITZICHT voor een groot aantal meren in Nederland. Met behulp van het programma GLOBOPT is voor elk individueel meer een optimale parametercombinatie bepaald. Ook is gezocht naar parametercombinaties, voor groepen meren met dezelfde systeemkarakteristieken, die beter voldoen dan de standaard-instelling van het model.

Tevens is in dit onderzoek gekeken naar de bijdrage van resuspensie van bodemslib aan de totale zwevende stofconcentratie. Met behulp van geschatte resuspensie-/sedimentatieparameters is inzicht verkregen over de deeltjessamenstelling van opgewerveld slib. Voor het onderzoek zijn beschikbare meetgegevens gebruikt van een groot aantal Nederlandse meren.

Voor veel meren is een significant betere parametercombinatie gevonden voor de berekening van de extinctie en de secchidiepte met het model UITZICHT. De gevonden parameterwaarden liggen soms buiten de grenzen waarbinnen ze volgens de literatuur behoren te liggen.

Door meren in te delen in clusters met overeenkomstige systeemkarakteristieken zijn voor enkele clusters parametercombinaties gevonden die bij de berekening van de secchidiepte betere resultaten geven dan de standaard-instelling van het model UITZICHT. De standaard randmereninstelling en de in dit onderzoek gevonden parameterwaarden staan in de onderstaande tabel.

Parameterwaarden voor UITZICHT

parameters	standaardinstelling randmeren	clusterinstelling randmeren	clusterinstelling Friese meren *
$k_1$	0.73	0.79	0.54
$k_2$	1.0	0.95	0.96
$k_3$	0.026	0.038	0.020
$k_4$	2.5	3.08	2.05
Tau	7.8	7.43	4.97

\* Voor de Friese meren waren geen gloeirest gegevens beschikbaar. Voor de hier gepresenteerde parameterwaarden is de absorptie berekend op basis van de totale zwevende stofconcentratie (excl. de bijdrage van algen).

Met behulp van het model voor de bijdrage van resuspensie aan de zwevende stofgehalten worden goede resultaten verkregen. De bijdrage van resuspensie aan de zwevende stof is afhankelijk van de bodemsamenstelling en de strijklengte.

Bij een grotere strijklengte komt (en blijft) ook zwaar slib in opwerveling.

Ook is in dit onderzoek gekeken naar relaties tussen biomassa en detritus op verschillen in lineaire verband. Hieruit blijkt dat er weinig significante correlaties zijn tussen biomassa en detritus concentraties binnen clusters.

### 1.1 Inleiding

Het onderwater-lichtklimaat is een bepalende factor voor de ontwikkeling van aquatische ecosystemen. Door ondermeer het RIZA, LUW, TUD, IvM en het NIVO-CL is in de afgelopen jaren onderzoek uitgevoerd met als doel het vergroten van het inzicht in de factoren die het lichtklimaat in het water bepalen. Dit heeft ondermeer geleid tot de ontwikkeling van het model UITZICHT, waarin de extinctie en het lichtklimaat worden beschreven in relatie met de concentraties aan algen, detritus en anorganisch zwevend materiaal. Ook heeft het onderzoek geleid tot de ontwikkeling van het model DYNEX, waarin de dynamiek van de extinctiecoëfficiënt wordt beschreven als functie van de opwerveling van bodemslib ten gevolge van windgolven.

Het uitgevoerde onderzoek heeft geleid tot het inzicht dat de uitdoving en verstrooiing van licht door algen, detritus en anorganische zwevende stof mede afhankelijk is van de samenstelling en deeltjesgrootte van het materiaal. Voor algen is met name de soortensamenstelling van belang. Voor dode zwevende stof is, in ondiepe meren, vooral de samenstelling van het opgewervelde bodemmateriaal van belang. Het uitgevoerde onderzoek heeft tevens geleid tot het inzicht dat de opwerveling van bodemmateriaal een functie is van de samenstelling van de waterbodem, de diepte en het oppervlak van meren.

Het model UITZICHT is ontwikkeld om het doorzicht te voorspellen in situaties waar de concentraties van stoffen in het water afnemen en ten gevolge daarvan het doorzicht toeneemt. Het model is geoptimaliseerd met gegevens uit het Veluwemeer en het Wolderwijd. Het bleek dat hiermee ook goede berekeningen van doorzicht en extinctie in andere randmeren en het Markermeer mogelijk zijn. Voor de berekening van het doorzicht en de extinctie in het Volkerak/Zoommeer moest het model opnieuw geoptimaliseerd worden daar dit meer nogal verschilt met het Veluwemeer en het Wolderwijd.

In dit onderzoek wordt onder andere het model UITZICHT getoetst voor een groot aantal meren en groepen van meren om te zien of met de huidige instelling het doorzicht en de extinctie goed berekend wordt. De verwachting is dat er voor een aantal meren en groepen van meren, met dezelfde systeem karakteristieken (net als voor het Volkerak/Zoommeer) er met een andere instelling van parameterwaarden binnen het model betere resultaten behaald kunnen worden.

De opwerveling van bodemslib in meren is een functie van de diepte, het oppervlak en van de bodemsamenstelling. In dit onderzoek zullen de relaties tussen diepte, strijklengte en de gemiddelde concentratie opgewerveld bodemslib worden afgeleid. Tevens zal worden onderzocht of en hoe de gemiddelde zwevende stofconcentratie in meren afhangt van de bodemsamenstelling.

## 1.2 Doelstelling van het onderzoek

Doel van dit onderzoek is:

- Het toetsen en (zodanig) verbeteren van de toepasbaarheid van het model UITZICHT.

Hiertoe zullen relaties tussen relevante eigenschappen van watersystemen en de voor UITZICHT relevante eigenschappen van het zwevende materiaal onderzocht worden.

- Het onderzoeken van de bodemsamenstelling, de diepte en het oppervlak van meren in relatie tot de concentratie van detritus, de anorganische zwevende stof en de algenbiomassa.

Deze studie heeft betrekking op een groot aantal ondiepe meren in Nederland.



### 1.3 Opzet van het onderzoek

Het uitgevoerde onderzoek is onder te verdelen in drie delen, namelijk:

- Het verzamelen en verwerken van de nodige data en morfologische gegevens.
- Toetsing en optimalisatie van het model UITZICHT.
- Onderzoek naar resuspensie van bodem materiaal gerelateerd aan oppervlak en bodemsamenstelling.

#### 1.3.1 De benodigde data en morfologische gegevens

Voor dit onderzoek zijn gegevens van een groot aantal Nederlandse meren geanalyseerd. Van elk van de meren zijn tijdreeksen verzameld die nodig zijn voor de invoer van de gebruikte modellen. Verder zijn gegevens nodig over het oppervlak, strijklengtes, gemiddelde diepten en de samenstelling van de bodem. De gegevens zijn deels door het RIZA en deels door de LUW aangeleverd.

#### 1.3.2 Toetsing en optimalisatie UITZICHT

Eerst is het model UITZICHT getoetst, voor de verschillende meren, met de parameterwaarden zoals die door Buiteveld gegeven zijn voor de randmeren. Vervolgens is er een optimalisatie uitgevoerd van de model-parameters met het optimaliseringsprogramma GLOBOPT. Met behulp van een T-toets is nagegaan of de verschillende parameter-combinaties significante verschillen opleveren.

Als tweede stap is er geprobeerd relaties te vinden tussen de waarden van de gevonden parameters en systeem-karakteristieken om zo tot een clustering te komen van meren met min of meer overeenkomstige karakteristieken. Voor deze clusters zou dan een optimale parameter-set bepaald kunnen worden.

#### 1.3.3 Resuspensie van bodemmateriaal

In dit deel van het onderzoek zijn de relaties tussen de (gemiddelde) concentraties aan detritus en anorganische zwevende stof en systeemkarakteristieken zoals bodemsamenstelling, diepte en het oppervlak onderzocht. Op basis van de aanwezige kennis over de relatie tussen strijklengte, diepte, resuspensie en de zwevende stofconcentratie is een algemeen model voor de relatie tussen oppervlak, diepte en zwevende stofconcentratie afgeleid. Vervolgens zijn de resuspensie-/sedimentatieparameters geschat. Met behulp van deze parameters is de bijdrage van resuspensie aan het zwevende materiaal beschreven.

### 2.1 Overzicht meren

Ten behoeve van dit onderzoek zijn van zoveel mogelijk meren in Nederland data en morfologische gegevens verzameld.

Een overzicht, van meren die voor dit onderzoek gebruikt zijn, staat vermeld in bijlage 2 en tabel 1.

Van deze meren zijn tijdreeksen beschikbaar van de chlorofyl concentratie, zwevende stofconcentratie, gloeirest en doorzicht. Met uitzondering van de Friese meren. Hiervan zijn geen gloeirest gegevens beschikbaar. Om deze groep meren toch in dit onderzoek mee te kunnen nemen is de aanname gedaan dat de gloeirest, van de zwevende stof, in deze meren nul is. Dit is een reële aanname omdat de bodemsamenstelling hoofdzakelijk bestaat uit veen (zie tabel 1). Opgewerveld bodemmateriaal zal dan ook hoogst waarschijnlijk bestaan uit organisch materiaal en niet zozeer uit anorganische bestanddelen.

Van enkele meren zijn meerdere datasets beschikbaar. De bron en/of het monsterpunt verschilt. Deze worden als een op zichzelf staand meer beschouwd. De herkomst van deze data is tevens te vinden in bijlage 2.

In een groot deel van de datasets zijn geen extinctie gegevens opgenomen. Bruikbare extinctie gegevens zijn beschikbaar voor: Beesd, Binnenschelde, Breukeleveense plas, Drontermeer, Eemmeer, Haringvliet, IJsselmeer, Markermeer, Reeuwijkse plas, Veluwemeer, Volkerak/zoommeer en het Wolderwijd.

In de meeste datasets zijn geen absorptie gegevens bij 380 nm opgenomen (een maat voor de hoeveelheid opgeloste humuszuren ( $a_h(380)$ )). De missende gegevens zijn, voor zover dat mogelijk was, uit de literatuur gehaald. De dan nog missende  $a_h(380)$ -waarden zijn geschat. In bijlage 3 staan de  $a_h(380)$ -waarden die gebruikt zijn bij berekeningen met het model UITZICHT indien er binnen de datasets geen  $a_h(380)$ -waarden aanwezig waren. De invloed van humuszuur op extinctie en doorzicht is pas van belang als het doorzicht groter is dan 1 à 1,5 meter, Buiteveld (1990). Een foute schatting van de  $a_h(380)$  waarde zal dus, over het algemeen, geen of nauwelijks invloed hebben op de berekening van de extinctie en het doorzicht.

## 2.2

## Morfologische gegevens

Ten behoeve van dit onderzoek zijn een aantal morfologische gegevens verzameld. De belangrijkste voor dit onderzoek zijn: oppervlakte in vierkante kilometers, de gemiddelde diepte, de gemiddelde strijklengte bij een zuidwesten wind (de karakteristieke strijklengte), en de bodemsamenstelling. Tabel 1 geeft hiervan een overzicht. In deze tabel is ook de maximale strijklengte en de maximale strijklengte in de zuidwestelijke richting opgenomen. De maximale strijklengte van een meer is de afstand waarover de wind zonder onderbreking vrij kan waaien ongeacht de richting. De karakteristieke strijklengte van een meer is de gemiddelde afstand waarover de wind zonder onderbreking vrij kan waaien in zuidwestelijke richting. De maximale strijklengte kan een overschatting van de windinvloed op de resuspensie geven. Omdat er bij de schatting van de windinvloed op de resuspensie geen rekening gehouden kan worden met alle mogelijke windrichtingen (hoofdstuk 3.3.3) wordt in het onderzoek gebruik gemaakt van de karakteristieke strijklengte.

Het bodemtype is bepaald met behulp van een geologische kaart (Stiboka) en/of literatuurgegevens. Bij de bodemsamenstelling van de meren is onderscheid gemaakt in drie typen. Namelijk: K, V en Z respectievelijk klei-, veen- en zandbodem.

Tabel 1: Morfologie meren.

	Opp km <sup>2</sup>	gem. diepte meters	gem. strijkl ZW km	max. strijkl ZW km	max. strijkl km	bodem
Beesd	0.05		0.1	0.1	0.45	Z K
Belterwijde	2	1	1.4	1.9	2.5	V
Binnenschelde	1.8	1.5				Z
Braassemmermeer	4.5	3	1.4	1.75	3.0	V
Breukeleveenseplas	1.3	1.5	1.0	1.75	1.75	V
Drontermeer	2.5		1.0	1.2	9.0	Z
Duiningermeer	0.3		0.25	0.25	0.9	V
Eemmeer	18	1.4	7.5	11.5	11.5	Z
Geerplas	0.24	2.5				V
Gr. vogelzang	0.16	1.5				V
Haringvliet	71		10.0	20.0	23.5	Z
Hol. Ankeveense Plas	0.7	1.1	1.0	1.0	1.0	V
IJsselmeer	1150	4.5	41.12	>40.0	>40.0	Z
Markermeer	700	3.7	43.12	>40.0	>40.0	K
Nieuwkoopnoord	1.5	2.5	0.75	1.0	2.25	V

	Opp km-2	gem. diepte meters	gem. strijkl ZW km	max. strijkl ZW km	max. strijkl km	bodem
Nieuwkoopzuid	1.1	2.5	1.0	1.25	1.5	V
Reeuwijkse plas	1.5	3	1.0	2.0	2.0	V
Schutsloterwilde	1.5		1.0	1.0	1.5	
Veluwemeer	31	1.35	2.0	2.5	17.0	Z
Volkerakzoommeer	45.7	5	4.0	8.0	17.0	Z
Westeinderplassen	8.4	2.9	1.6	2.0	5.65	V
Wolderwijd	20	1.7	3.0	3.75	11.5	Z K
Bergumermeer	4	1.25	1.5	2.0	3.5	V
Brandemeer	0.6	2	0.75	0.1	1.25	V
Fluessen	12	1.5	1.5	2.0	6.0	Z V
Grootte Brekken	3.5	2	1.0	1.0	4.0	V
Heegermeer	6.5	2	1.5	2.0	7.5	V
Koelvordermeer	3.5	1.0	1.0	1.25	3.75	V
Langweerderwielen	2	1.3	1.0	1.5	2.5	V
Leijen de	3	1	1.5	1.75	1.85	V
Pikmeer	1.8	1.5	1.0	1.25	1.25	V
Sitebuurster EE	0.7	2	0.25	0.5	1.75	V
Slotermeer	9.5	1.7	2.5	3.0	4.25	Z V
Smalle Eesterzanding	0.5	0.8	0.5	0.5	1.25	<u>V</u>
Sneekemeer	5	1.5	1.5	1.75	4.0	V
Sondelereien	0.4		0.25	0.25	1.0	V
Tjeukemeer	18	1.7	3.5	4.75	7.0	V
Wijde EE	1	1.5	0.5	0.65	2.25	<u>V</u>
Zandmeer	0.3	1.2	0.5	0.5	0.75	<u>V</u>

Voor enkele meren is het bodemtype, bij het ontbreken van gegevens, naar eigen inzicht geschat. Deze bodemtypes zijn in de tabel onderstreept.

In dit hoofdstuk worden de toegepaste modellen besproken, te weten:

- het model UITZICHT.
- het programma GLOBOPT.
- het model RESUSPENSIE.

### 3.1 Het model UITZICHT

Met het model Uitzicht (Buiteveld, 1990) kan het doorzicht en de extinctie berekend worden. Het model maakt gebruik van de optische eigenschappen van stoffen in het water. Invoer voor het model zijn gehalten zwevende stof, gloeirest, chlorofyl-a en de absorptie van humuszuren (bij 380 nm).

De basis van het model zijn de spectra van absorptie en verstrooiingscoëfficiënten van de optisch actieve stoffen in het water. Met behulp van een afgeleid verband tussen de extinctie bij één golflengte en optische eigenschappen is de hoeveelheid licht bij die golflengte op een bepaalde diepte te berekenen. Deze berekening wordt herhaald voor alle golflengten, in stapjes van 5 nm, tussen de 400 en 700 nm, het Photosynthetic Active Radiation (PAR) gebied. Daarna worden de afzonderlijke hoeveelheden licht bij de verschillende golflengten gesommeerd en kunnen de extinctie en het doorzicht worden berekend.

In bijlage 1 wordt het model beschreven aan de hand van de in het model gebruikte formules.

Calibratie van het model geschiedt onder meer door het optimaliseren van de waarden voor de parameters  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_a$  en Tau. Deze parameters hebben betrekking op opgelost en zwevend materiaal in de waterkolom.

- $k_1, k_2$  = constanten bundelverzwakking zwevende stof
- $k_3$  = constante absorptie detritus
- $k_a$  = correctiefactor chlorofyl
- Tau = constante bij de berekening van de secchidiepte

Het programma GLOBOPT is een optimalisatieprogramma geschreven in Fortran77 ontwikkeld door J.Pintér (1990) in opdracht van het RIZA. Het programma bepaalt het minimum van een Lipschitz-continu functie  $f(x): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$  met een aftelbaar aantal extrema binnen een gesloten interval  $[a, b]$ . De minimalisatie verloopt in twee stappen. Allereerst wordt er een globale zoekprocedure gestart om een indicatie te verkrijgen van de lokatie van het minimum. Vervolgens wordt met een lokale zoekprocedure het minimum bepaald. De lokale zoekprocedure is gebaseerd op het algoritme van Fletcher en Reeves. Dit algoritme bepaalt voor elke stap een nieuwe zoekrichting via een geconjugeerde gradiënt methode, Havekes (1993).

Het programma GLOBOPT-uitzicht optimaliseert de parameters  $k_1, k_2, k_3, k_a$ , en Tau. De optimalisatie wordt uitgevoerd op basis van extinctie-, secchidiepte-, chlorofyl-, zwevende stof-, gloeirest- en  $a_t(380)$ -gegevens.

Bij elke optimalisatieprocedure kan het interval  $[a, b]$  opgegeven worden waarbinnen het optimum van de betreffende parameter moet komen te liggen.

Bij de optimalisatie van de parameters  $k_1, k_2, k_3, k_a$  en Tau kan een zogenaamde weegfactor voor de extinctie en secchidiepte worden ingesteld. Met behulp van deze weegfactor is de mogelijkheid aanwezig om bij de optimalisatie van deze parameters de gemeten extinctie- en secchidiepte-gegevens in meer of mindere mate mee te nemen. Ook kan de optimalisatieprocedure plaatsvinden op enkel secchidiepte- en of extinctie-gegevens.

### 3.3 Het model RESUSPENSIE

#### 3.3.1 Inleiding

In ondiepe meren kan de opwerveling van bodemslib een belangrijke bijdrage leveren aan de zwevende stofgehalten in de waterfase en daarmee ook aan de extinctie van licht en vermindering van de zichtdiepte. (Blom, 1989b; 1991; 1992; Somlyody and Koncsos, 1991; Van Duin, 1992; Van Duin *et al*, 1992; Blom *et al*, 1994). Resuspensie van bodemslib is in deze meren vooral gerelateerd aan de invloed van windgolven (Lam & Jacquet, 1976, Aalderink *et al*, 1984, Lijklema *et al*, 1994). Voor verschillende Nederlandse meren zijn modellen, waarin de dynamiek van de extinctiecoëfficiënt wordt beschreven als functie van de opwerveling van bodemslib door windgolven, met succes toegepast (Blom, 1991; 1992; Somlyody and Koncsos, 1991; Van Duin, 1992; Van Duin *et al*, 1992; Blom *et al*, in press). De invloed van windgolven op de bodem is mede afhankelijk van de diepte van het water en de strijklengte van de wind.

De resuspensie van bodemslib is afhankelijk van de deeltjesgrootte en -dichtheid (Lam & Jacquet, 1976; Aalderink *et al*, 1984; Binkman & Van Raaphorst, 1986; Lee and Bedford, 1987). Het is aannemelijk dat de resuspensie van bodemslib tevens wordt beïnvloed door bodemeigenschappen zoals de cohesiviteit. Volgens de Wet van Stokes is de valsnelheid van kleine deeltjes evenredig met hun relatieve dichtheid en het kwadraat van de diameter. Doordat de resuspensie- en sedimentatie-eigenschappen gerelateerd zijn aan deeltjes- en bodemkarakteristieken verschillen de parameterwaarden, die voor verschillende meren gebruikt moeten worden in modellen voor de opwerveling en bezinking van slib. Veelal is het gewenst onderscheid te maken tussen verschillende slibfrakties, om de verschillen in deeltjes-eigenschappen die binnen één meer voorkomen, te verdisconteren (Blom *et al*, 1992; Van Duin, 1992; Van Duin *et al*, 1992; Lijklema *et al*, 1994).

Met hiervoor kort beschreven modellen wordt de dynamiek van de zwevende stofconcentratie, de extinctiecoëfficiënt en de ruimtelijke verschillen binnen één meer beschreven. Doel van deze studie is na te gaan of er een relatie bestaat tussen de diepte, de omvang en de sedimenteigenschappen van Nederlandse meren en het (gemiddeld) zwevende stofgehalte en de bijdrage daarvan aan de lichtuitdoving. In dit hoofdstuk zal allereerst een eenvoudig model voor de (gemiddelde) bijdrage van resuspensie door windgolven aan de zwevende stofconcentratie worden afgeleid. De parameterwaarden in dit model zijn afhankelijk van de bodem- en slibeigenschappen. In het tweede deel van dit hoofdstuk zal worden nagegaan of deze parameterwaarden statistisch te relateren zijn aan bekende bodemeigenschappen.

### 3.3.2 Sedimenttransport in ondiepe meren

Het sedimenttransport en de slibconcentratie in ondiepe meren worden bepaald door (a) de aan- en afvoer van slib, (b) de produktie en afbraak daarvan, (c) het horizontaal transport door advectie en dispersie, (d) de opwerveling van bodemslib en (e) de bezinking van zwevende stof. In de meeste Nederlandse ondiepe meren is de aan- en afvoer van slib klein ten opzichte van de resuspensie- en sedimentatiefluxen. Productie en afbraak van zwevende stof zijn vooral het gevolg van de algengroei en -sterfte. Elders in dit rapport wordt het verband tussen de algenbiomassa en de hoeveelheid dood organisch zwevend materiaal (detritus) in de waterfase onderzocht. Voor deze studie, die zich richt op het gemiddeld zwevende stofgehalte in meren, is het horizontaal transport van slib minder van belang. De aandacht in dit hoofdstuk gaat dan ook met name uit naar resuspensie en sedimentatie.

De veranderingen in de zwevende stofconcentratie door resuspensie en sedimentatie kunnen worden beschreven met:

$$\frac{\delta(HC)}{\delta t} = \phi_r - \phi_s \quad (1)$$

waarin  $C$  de zwevende stofconcentratie ( $\text{g m}^{-3}$ ) is,  $H$  de diepte (m),  $t$  de tijd (s),  $\Phi_r$  de resuspensieflux ( $\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) en  $\Phi_s$  de sedimentatieflux ( $\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

In de literatuur worden verschillende relaties voor het verband tussen windgolven en resuspensie beschreven. Door o.m. Lam & Jacquet (1976) Aalderink *et al* (1984) wordt de resuspensie beschreven als functie van de orbitaalsnelheid van de golfbeweging aan de bodem. Auteurs zoals Lick (1986) en Metha *et al* (1989) relateren de resuspensieflux aan de schuifspanning, die door windgolven aan de bodem ontstaat. Deze schuifspanning is evenredig met het kwadraat van de orbitaalsnelheid (Phillips, 1966). Gebaseerd op studies in enkele Nederlandse meren (Blom, 1989a; Van Duin, 1992; Lijklema *et al*, 1994) wordt hier de voorkeur gegeven aan een relatie tussen resuspensieflux en orbitaalsnelheid. In deze studie wordt uitgegaan van een vereenvoudiging van de relatie, die door Lam & Jacquet (1976) wordt gegeven:

$$\phi_r = K (u_b - u_{b,cr}) \quad (2)$$

waarin  $K$  de resuspensieconstante ( $\text{kg m}^{-3}$ ) en  $u_{b,cr}$  de kritische orbitaalsnelheid ( $\text{m s}^{-1}$ ), d.w.z. de minimale orbitaalsnelheid, die nodig is voor opwerveling van slib.



De sedimentatieflux is een functie van de valsnelheid  $w_s$  ( $\text{m s}^{-1}$ ) en de zwevende stofconcentratie  $C$  ( $\text{mg/l}$ ) (Sheng & Lick, 1979; Somlyody, 1980; Lick, 1982; Aalderink *et al.*, 1984):

$$\phi_s = w_s C \quad (3)$$

Voor het lichtklimaat in ondiepe meren zijn vooral de lichtste slibfrakties van belang (Blom, 1991; 1992; Blom *et al.*, in press). Door hun kleine diameter is de verstrooiing en absorptie van licht door deze deeltjes relatief sterk (Van de Hulst, 1981; Kirk, 1983). Veelal is het organisch stofgehalte van deze lichtste fraktie ook hoger dan van de zwaardere frakties (Brinkman en Van Raaphorst, 1986; Blom, 1991; Van Duin, 1992; Blom *et al.*, in press), waardoor de absorptie van licht relatief sterk is. De lichtste slibfrakties wervelen relatief makkelijk op en verdwijnen, door hun geringe valsnelheid, slechts langzaam uit de waterfase. De zwevende stof in de waterfase bestaat dan ook meestal uit de lichtste slibfrakties. De bijdrage van zwevende stof aan de uitdoving van licht wordt gedomineerd door de bijdrage van de lichtste frakties (Blom, 1991; 1992; Blom *et al.*, 1994; in press).

Eén van de kenmerken van de lichtste slibfrakties is dat de kritische orbitaalsnelheid nihil is (Brinkman en Van Raaphorst, 1986; Van Duin, 1992; Blom *et al.*, 1992; Blom en Toet, 1993). Wordt de kritische orbitaalsnelheid verwaarloosd, dan kan, op basis van vergelijkingen (1), (2) en (3) de verandering van de zwevende stofconcentratie beschreven worden met:

$$\frac{\delta(\text{HC})}{\delta t} = K \cdot u_b - w_s \cdot C \quad (4)$$

Voor een stationaire toestand, wanneer resuspensie en sedimentatie elkaar in evenwicht houden, geldt dan dat:

$$C = \frac{K}{w_s} \cdot u_b \quad (5)$$

Voor een langere periode (b.v. een maand, seizoen of jaar) geldt, als er geen aan- of afvoer van slib plaatsvindt, dat sedimentatie en resuspensie elkaar in evenwicht houden. Anders uitgedrukt; de verandering van de slibconcentratie is over een langere periode in de regel verwaarloosbaar ten opzichte van de resuspensie- en sedimentatiefluxen. De gemiddelde slibconcentratie over een dergelijke periode kan dan worden berekend met vergelijking (5); dit op basis van de gemiddelde orbitaalsnelheid in deze periode.

In deze studie is gebruik gemaakt van het model voor de beschrijving van door wind geïnduceerde golven, zoals dat beschreven is door o.m. Blom (1989a), Van Duin (1992) en Lijklema (1994). Het golfmodel is gebaseerd op de golf-voorspellings-curves voor ondiepe wateren, beschreven door CERC (1977). Er wordt gebruik gemaakt van een aangepaste windsnelheid (Bouws, 1986). Uit de berekende golfkarakteristieken kan vervolgens de orbitaalsnelheid worden berekend op basis van Phillips (1966). Het model is voor het Markermeer getoetst en vergeleken met andere modellen (Van Duin, 1992; Lijklema, 1994). In Bijlage 4 wordt het golfmodel beschreven.

Het golfmodel is sterk niet-lineair. Dat betekent onder meer dat de gemiddelde maximale orbitaalsnelheid (bijvoorbeeld in een jaar) niet mag worden berekend op basis van de gemiddelde strijklengte, de gemiddelde diepte en de gemiddelde windsnelheid. Voor deze studie, waarin de resuspensie in een groot aantal meren wordt beschouwd, zou dit betekenen dat voor elk van die meren een berekening moet worden uitgevoerd over een langere periode, met gegevens over de windsnelheid, de windrichting en bijbehorende strijklengte. Dat is om praktische redenen onmogelijk. In de volgende paragraaf wordt daarom een eenvoudige benadering van de gemiddelde orbitaalsnelheid in ondiepe meren uitgewerkt.

### 3.3.4 Een benadering van de gemiddelde orbitaalsnelheid

Met het hiervoor beschreven golfmodel is de gemiddelde orbitaalsnelheid berekend voor een groot aantal combinaties van strijklengte en diepte. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen plassen, meren en grote meren. De berekeningen werden uitgevoerd met een windfrequentieverdeling, die afgeleid is uit meetgegevens bij Lelystad (Houtribsluizen) in de periode 1978-1986. In tabel 3 wordt de windsnelheidsverdeling gegeven.

Tabel 2: Kenmerken van de onderscheiden watertypen

	Strijklengte (km)		Diepte (m)	
	min	max	min	max
plassen	0	1	0.5	1.5
meren	1	3	1.0	3.0
grote meren	3	10	1.0	10

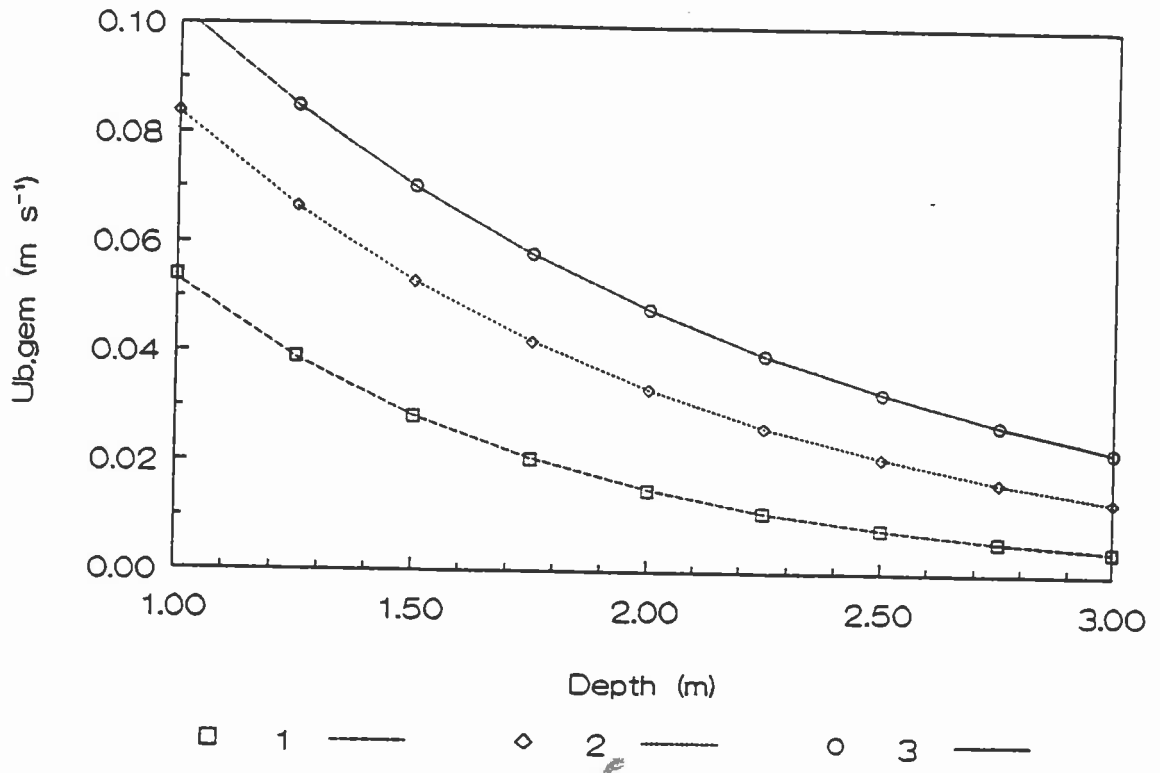
Tabel 3: Frequentieverdeling van de windsnelheid bij Lelystad (periode 1978-1986).

Windsnelheid (m s <sup>-1</sup> )		"gemiddeld"	Frequentie (-)
min	max		
0	1,75	0,875	4,60
1,75	3,25	2,5	12,05
3,25	4,75	4	16,14
4,75	6,75	5,75	23,49
6,75	8,25	7,5	16,24
8,25	12,25	10,25	21,76
12,25		12,5	5,72

In figuur 1 wordt voor het type "meren" de berekende gemiddelde orbitaalsnelheid als functie van de diepte, voor drie verschillende strijklengten gegeven. Door middel van "curve-fitting" is onderzocht met welk eenvoudig verband de relatie tussen de diepte en de gemiddelde orbitaalsnelheid het best benaderd wordt. Het beste bleek een exponentieel verband te voldoen:

$$u_{b, gem} = a_0 \exp(a_1 H) \quad (6)$$

waarin  $a_0$  en  $a_1$  coëfficiënten zijn,  $H$  de diepte is en  $u_{b, gem}$  de gemiddelde orbitaalsnelheid. Met vergelijking (6) worden voor strijklengten van 1000, 1250, 1500, .. 2750, 3000 m zeer goede fits verkregen. Voor drie strijklengten is de benaderde gemiddelde orbitaalsnelheid in figuur 1 weergegeven. De gemiddelde afwijking tussen de resultaten van het golfmodel en de benaderde waarde is slechts 0.3 %.



figuur 1: De relatie tussen de diepte en de gemiddelde orbitaalsnelheid voor drie strijklengten (1, 2 en 3 km).

De coëfficiënten  $a_0$  en  $a_1$  zijn echter afhankelijk van de strijklengte. De coëfficiënt  $a_0$  bleek het best beschreven te kunnen worden met:

$$a_0 = c_0 F^{c_1} \quad (7)$$

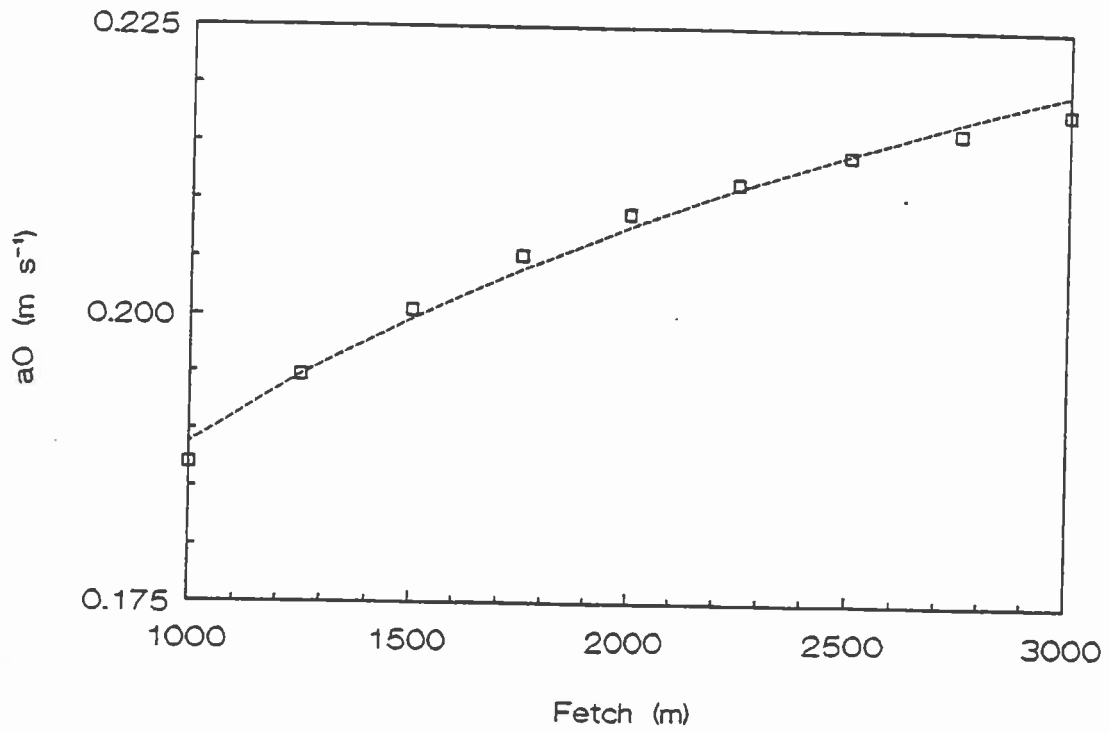
De coëfficiënt  $a_1$  bleek het best benaderd te kunnen worden met:

$$a_1 = c_2 + c_3 \ln(F) \quad (8)$$

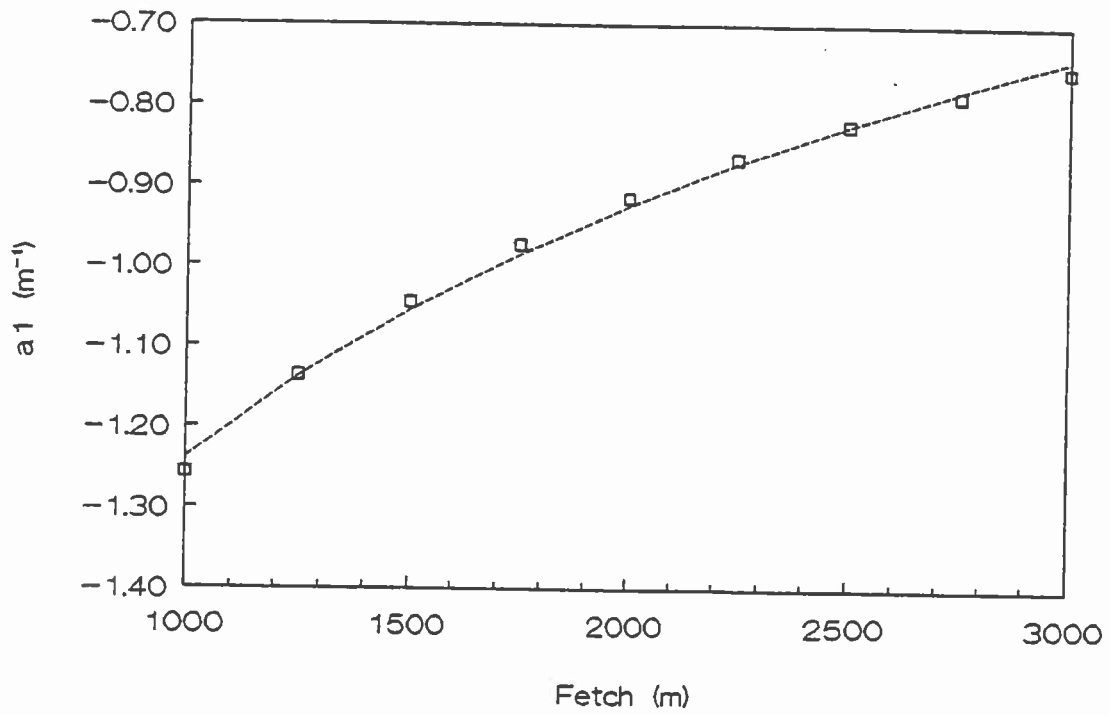
In vergelijkingen (7) en (8) zijn  $c_0$  tot en met  $c_3$  coëfficiënten.  $F$  is de strijklengte (m). In figuur 2 en 3 wordt de relatie tussen de strijklengte en de coëfficiënten  $a_0$  en  $a_1$  en de fit van vergelijkingen (7) en (8) geïllustreerd. De geschatte coëfficiënten worden in tabel 4 gegeven.

Tabel 4: Geschatte coëfficiënten in vgl. (15) en (16).

$c_0$	7,296	$10^{-2}$
$c_1$	1,376	$10^{-1}$
$c_2$	-4,376	
$c_3$	4,451	$10^{-1}$



Figuur 2: Relatie tussen coëfficiënt  $a_0$  en de strijklengte.



Figuur 3: Relatie tussen coëfficiënt  $a_1$  en de strijklengte.

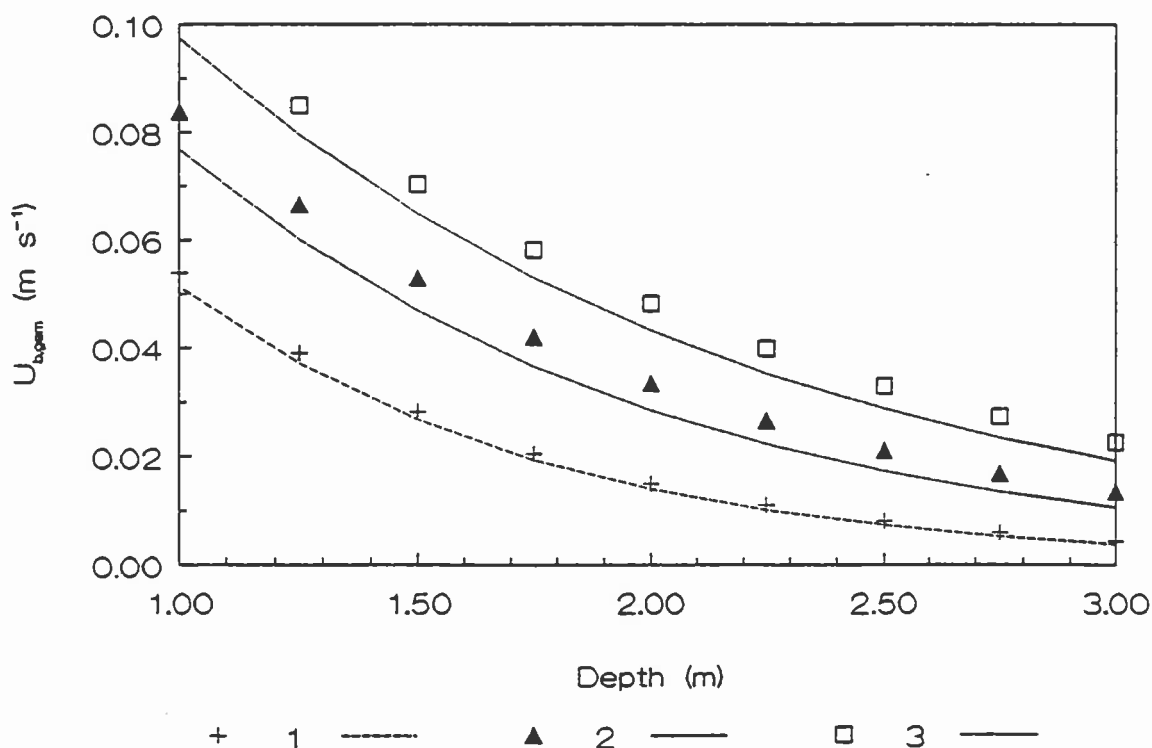
Op basis van vergelijkingen (6), (7) en (8) kan de gemiddelde orbitaalsnelheid worden berekend met:

$$u_{b, gem} = c_0 \cdot F^{c_1} \cdot \exp[ H (c_2 + c_3 \cdot \ln(F))] \quad (9a)$$

Deze vergelijking kan ook worden geschreven als:

$$u_{b, gem} = c_0 F^{(c_1 + c_3 \cdot H)} e^{(c_2 \cdot H)} \quad (9b)$$

De gemiddelde afwijking tussen de met het golfmodel berekende gemiddelde orbitaalsnelheid en de benaderde waarde met vergelijking (9) en de coëfficiënten uit tabel 4 voor strijklengten van 1000 tot 3000 meter is 12,5 %. Hoewel voor de verschillende strijklengten met vergelijking (6) en steeds verschillende coëfficiënten  $a_0$  en  $a_1$  een beter resultaat behaald wordt (een fout van maar 0,3 %) is de fout, die met vergelijking (9) gemaakt wordt acceptabel en is het voordeel van één relatie voor alle diepten en strijklengten evident. In figuur 4 worden de met het golfmodel berekende en met vergelijking (9) benaderde gemiddelde orbitaalsnelheden bij drie strijklengten met elkaar vergeleken.



figuur 4: De met het golfmodel berekende en benaderde gemiddelde orbitaalsnelheid voor drie strijklengten (1, 2 en 3 km).

Ook voor plassen en grote meren blijkt met vergelijking 9 een redelijke benadering van de met het golfmodel berekende gemiddelde orbitaalsnelheid mogelijk.

Wel zijn de coëfficiënten  $c_0$  tot en met  $c_3$  anders dan voor meren. Ze worden in tabel 5 gegeven. De gemiddelde fout voor plassen is 10 %; die voor grote meren 4 %.

Tabel 5: Geschatte coëfficiënten in vgl. (17) voor plassen en grote meren.

	plassen		grote meren	
$c_0$	3,186	$10^{-2}$	5,974	$10^{-2}$
$c_1$	2,719	$10^{-1}$	1,479	$10^{-1}$
$c_2$	-7,589		-2,630	
$c_3$	9,227	$10^{-1}$	2,412	$10^{-1}$

### 3.3.5 Schatting van de gemiddelde bijdrage van resuspensie aan de slibconcentratie

Uit de vergelijking (5) en (9) kan worden afgeleid dat de gemiddelde bijdrage van resuspensie van bodemslib aan het zwevende stofgehalte ( $C_{gem}$ ,  $g\ m^{-3}$ ) kan worden geschat met:

$$C_{gem} = \frac{K}{w_s} \cdot c_0 F (c_1 + c_3 \cdot H) e^{(c_2 \cdot H)} \quad (10)$$

In de afleiding van deze relatie is verondersteld dat (a) horizontaal transport van slib geen invloed heeft op de concentratie op de lokatie waarvoor berekeningen worden uitgevoerd en (b) de strijklengte voor alle windrichtingen gelijk is. Deze veronderstellingen betekenen dat vergelijking (10) slechts geldig is voor min of meer ronde meren met geringe diepteverschillen. Niet alle onderzochte meren voldoen aan dit criterium. Voor de meren zullen schattingen gemaakt worden op basis van de gemiddelde diepte en de gemiddelde- of een karakteristieke-strijklengte. De karakteristieke strijklengte is de gemiddelde strijklengte bij een zuid- tot westelijke windrichting (de meest voorkomende windrichtingen; zie bijlage 5). Voor meren met een sterk afwijkende vorm kan worden gekozen voor het berekenen van de (gewogen) gemiddelde strijklengte, op basis van de frequentieverdeling van de windrichting (bijlage 5) en de gemiddelde strijklengte bij verschillende windrichtingen.

Naar verwachting zijn de parameters  $K$  en  $w_s$ , alsmede de verhouding daartussen, afhankelijk van bodem- en deeltjeseigenschappen. De waarde van  $(K/w_s)$  voor de meren kan worden geschat op basis van gemeten zwevende stofconcentratie (verminderd voor de bijdrage van algen aan de zwevende stof).

Het model UITZICHT is getoetst voor de meren, met de randmereninstelling. De parameterwaarden van deze instelling zijn respectievelijk voor  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_a$  en Tau 0.73, 1.0, 0.026, 2.5 en 7.8.

Vervolgens is er een optimalisatie uitgevoerd voor de modelparameters met het optimaliserings-programma GLOBOPT-uitzicht. Met behulp van een T-toets is nagegaan of de verschillende parametercombinaties significant verschillende resultaten opleveren.

In hoofdstuk 4.1 is er getoetst en geoptimaliseerd op basis van extinctie- en secchidieptegegevens. Bij de optimalisatie procedure is eerst het gedeelte geoptimaliseerd dat betrekking heeft op de berekening van de extinctie. Daarna is de berekening van de secchidiepte geoptimaliseerd door de waarde van Tau te bepalen. De extinctie en de secchidiepte zijn niet gezamenlijk gebruikt bij de optimalisatie. Omdat er geen inzicht is in hoeverre beide meetgegevens bij de optimalisatie meegenomen moeten worden. In hoofdstuk 4.2 is de optimalisatie uitgevoerd op enkel secchidiepte gegevens.

Als tweede stap is er gezocht naar relaties tussen de waarden van de gevonden parameters en systeem-karakteristieken om zo tot een clustering te komen van meren met min of meer overeenkomstige karakteristieken.

In hoofdstuk 4.2.1 is geprobeerd een clustering te vinden op basis van de in hoofdstuk 4.2 gevonden parametercombinaties.

In hoofdstuk 4.2.2 is het aantal vrijheidsgraden terug gebracht tot twee, namelijk  $k_1$  en  $k_3$ . Voor deze twee parameters is de optimalisatieprocedure opnieuw uitgevoerd. Op basis van deze resultaten is opnieuw gekeken of er een clustering mogelijk is.

In hoofdstuk 4.3 zijn de meren onderverdeeld in clusters op basis van bodemsamenstelling en of lokatie. Voor elk cluster is een optimale parametercombinatie bepaald.

#### 4.1 Optimalisatie op basis van extinctie en secchidiepte gegevens

De calibratie van het model UITZICHT is in twee onderdelen te splitsen.

Eerst is het gedeelte dat de extinctie berekent geoptimaliseerd, door met het programma GLOBOPT-uitzicht de waarden van  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  en  $k_a$  te optimaliseren op basis van extinctie-, chlorofyl-, zwevende- stof-, gloeirest- en humuszuurgegevens.

Daarna is de secchidiepte geoptimaliseerd door middel van de eerder gevonden parameterwaarden voor  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , en  $k_a$  vast te zetten en met GLOBOPT-uitzicht Tau te bepalen op basis van secchidieptegegevens.



De gevonden parametercombinaties voor de berekening van de extinctie staan vermeld in tabel 6. Tevens is de standaardfout tussen de gemeten extinctie en de berekende extinctie in tabel 6 opgenomen.

Tabel 6: Optimale parametercombinaties op basis van extinctie gegevens.

Weegfactor secchi=0 extinctie = 1	$k_1 \cdot 10$	$k_3 \cdot 100$	$k_a$	$k_2 \cdot 10$	st.ft. ex randm.inst.	st.ft. ex Glo
Beesd	12,93	1,13	2,05	11,98	1,29	1,19
Binnenscheide	9,43	3,86	2,34	5,00	0,34	0,28
Breukeleveensepias	11,65	4,76	1,57	10,25	0,62	0,53
Drontermeer	11,61	4,96	3,00	6,23	1,01	0,92
Eemmeer	13,63	7,83	2,92	10,96	2,62	2,59
Haringvliet	12,48	1,47	0,71	13,46	0,43	0,34
IJsselmeer	12,39	4,56	2,13	6,91	0,82	0,74
Markermeer	12,00	1,00	2,00	8,97	0,91	0,90
Reeuwijkse plassen	12,00	2,08	2,00	12,50	0,72	0,68
Veluwemeer	12,74	5,03	2,25	8,12	0,82	0,84
Volkerakzoommeer	9,48	0,50	1,28	10,28	0,43	0,35
Wolderwijd	11,53	1,31	2,23	11,17	1,13	1,14

Voor alle meren uit tabel 6 is een parametercombinatie gevonden waarmee bij de berekening van de extinctie de standaardfout, tussen de gemeten extinctie en de met de in tabel 6 vermelde parametercombinatie berekende extinctie, kleiner is dan de standaardfout die gevonden wordt tussen de gemeten en de met de randmereninstelling berekende extinctie. Met uitzondering van het Veluwemeer en het Wolderwijd waar de randmereninstelling een beter resultaat geeft.

Door de gevonden parameters  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  en  $k_a$  vast te zetten en alleen op de secchidieptegegevens te optimaliseren is de waarde voor de parameter Tau bepaald. De waarden voor Tau zijn te vinden in tabel 7.

Tabel 7: Tau-waarden voor de berekening van de secchidiepte.

Weegfactor secchi=1 extinctie=0 $k_1$ , $k_2$ , $k_3$ en $k_4$ vastgezet.	Tau	st.ft secchi randm.inst.	st.ft. secchi Globopt
Beesd	17,73	0,15	0,23
Binnenschelde	5,51	0,23	0,15
Breukeleveenseplas	8,30	0,15	0,16
Drontermeer	6,15	0,07	0,07
Eemmeer	11,37	0,12	0,12
Haringvliet	20,00	0,09	0,09
IJsselmeer	7,70	0,27	0,26
Markermeer	7,55	0,17	0,17
Reeuwijkse plassen	13,35	0,10	0,17
Veluwemeer	6,67	0,18	0,17
Volkerakzoommeer	10,53	0,56	0,54
Wolderwijd	10,02	0,12	0,14

De standaardfout tussen de gemeten en de berekende secchidiepte (tabel 7) is over het algemeen kleiner als deze berekend worden met de GLOBOPT-parametercombinaties. Dit geldt niet voor Beesd, de Breukeleveenseplas, de Reeuwijkse plassen en het Wolderwijd. Hier geeft de randmereninstelling een beter resultaat.

De gevonden Tau-waarden hebben een erg grote spreiding. Ook zijn er te weinig datasets met extinctie en secchidiepte-gegevens om een zinvolle clustering te kunnen uitvoeren.

Of de extinctie en secchidiepte berekend met de GLOBOPT-parametercombinatie ook significant verschilt met de extinctie en secchidiepte berekend met de randmereninstelling staat beschreven in tabel 8.

Verschillen zijn getoetst met een T-toets met een 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Tabel 8: Significante verschillen tussen de gemeten extincties en secchidieptes en tussen de extincties en secchidieptes berekend met de randmereninstelling van Buiteveld en de door GLOBOPT-uitzicht berekende parametercombinatie.

Een R geeft aan dat er een significant verschil is en de N geeft aan dat er geen sprake is van een significant verschil tussen de met elkaar vergeleken reeksen.

- 1: gemeten ext. met de GLOPOPT ext.
- 2: gemeten ext. met de randmereninstelling ext.
- 3: GLOBOPT ext. met de randmereninstelling ext.
- 4: gemeten secchi. met de GLOBOPT secchi.
- 5: gemeten secchi. met de randmereninstelling secchi.
- 6: GLOBOPT secchi. met de randmereninstelling secchi.

	1	2	3	4	5	6
Beesd	R	R	R	N	N	N
Binnenschelde	N	N	N	N	R	N
Breukeleveenseplas	N	N	N	N	N	N
Drontermeer	N	N	N	N	N	N
Eemmeer	N	R	R	N	N	N
Haringvliet	N	R	R	R	R	R
IJsselmeer	N	N	N	N	R	N
Markermeer	N	N	R	N	N	N
Reeuwijkse plassen	R	R	R	N	N	N
Veluwemeer	N	N	R	R	N	R
Volkerakzoommeer	N	R	R	R	R	R
Wolderwijd	N	R	N	N	R	R

Met GLOBOPT en randmereninstelling wordt in het bovenstaande respectievelijk bedoeld de met de GLOBOPT-parametercombinatie of met de standaard randmereninstelling berekende extinctie of secchidiepte.

Uit kolom 3 van tabel 8 is af te lezen dat er bij de berekening van de extinctie verschillen zijn gevonden voor: Beesd, Eemmeer, Haringvliet, Markermeer, Reeuwijkse plassen, Veluwemeer en het Volkerak/zoommeer. Bij de berekening van de secchidiepte zijn er verschillende uitkomsten gevonden voor het Haringvliet, Veluwemeer, Volkerak/zoommeer en het Wolderwijd.

## 4.2 Optimalisatie UITZICHT-parameters op basis van secchidieptegegevens

Met het programma GLOBOPT-uitzicht is voor elk meer de optimale parametercombinatie bepaald op basis van secchidieptegegevens.

De gevonden parametercombinaties zijn die combinaties, geselecteerd uit meerdere optimalisatieprocedures, met de kleinste function value, zonder dat één van de parameters tegen de grens van het opgegeven interval aanzit.

Het programma Globopt geeft bij elke gevonden parameter combinatie een zogenaamde function value. Hoe kleiner de function value is hoe dichter de gevonden parameter combinatie bij het optimum ligt. Bij de kleinste gevonden function value benaderen de berekende secchidieptes de gemeten secchidieptes het beste.

Ook zijn de standaardfouten tussen de gemeten secchidieptes en de secchidieptes berekend met de randmereninstelling en de door Globopt gevonden parametercombinatie vermeld.

Bij de eerste verkenning is ervoor gekozen de optimalisatie zo vrij mogelijk te laten verlopen door de gekozen grenzen, waarbinnen de parameters gevonden moeten worden, zo ruim mogelijk te kiezen. Aan de hand van de gevonden parameterwaarden zijn de grenzen opnieuw vastgesteld en is de optimalisatie procedure herhaald.

Bij het zoeken naar de optimale parameterwaarden zijn grenzen ten aanzien van deze waarden, die in de literatuur gegeven worden met opzet niet in acht genomen. Deze grenzen hebben veelal een meer empirische dan theoretische basis en hoeven derhalve niet op te gaan voor de onderzochte meren.

Later in dit onderzoek worden de geschatte parameterwaarden vergeleken met deze theoretische grenzen.

De met GLOBOPT-uitzicht geschatte parametercombinaties zijn opgenomen in bijlage 6.

De parametercombinatie met de kleinste standaardfout tussen de gemeten en de berekende secchidiepte kan als de betere beschouwd worden.

Of er sprake is van een significant verschil, tussen de berekende secchidieptes, is bepaald met behulp van een T-toets, met een 95%-betrouwbaarheidsinterval.

In bijlage 7, kolom 3 (T-toets 95%), is aangegeven of de secchidieptes, berekend met de randmereninstelling significant verschillen met de secchidieptes berekend met de GLOBOPT-parametercombinatie.

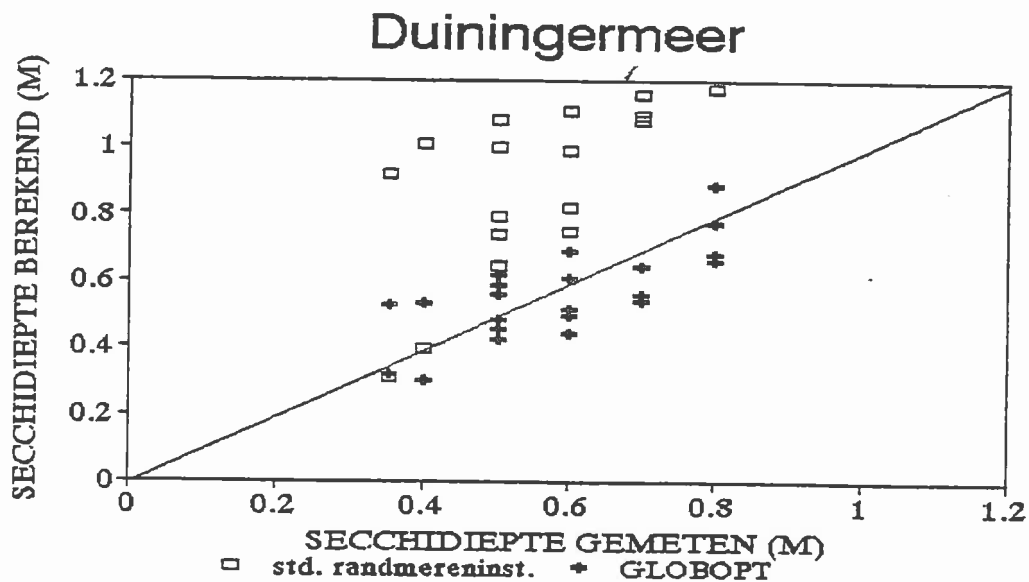
Een N geeft aan dat er geen sprake is van een significant verschil en de R geeft aan dat de berekende secchidieptes significant verschillen.

De Globopt parametercombinatie die een significant beter resultaat geeft dan de randmereninstelling, voor het berekenen van de secchdiepte, is als volgt gedefinieerd:

- De standaardfout tussen de gemeten en berekende secchdiepten moet kleiner zijn.
- Er moet sprake zijn van een significant verschil tussen de berekende secchdiepten.

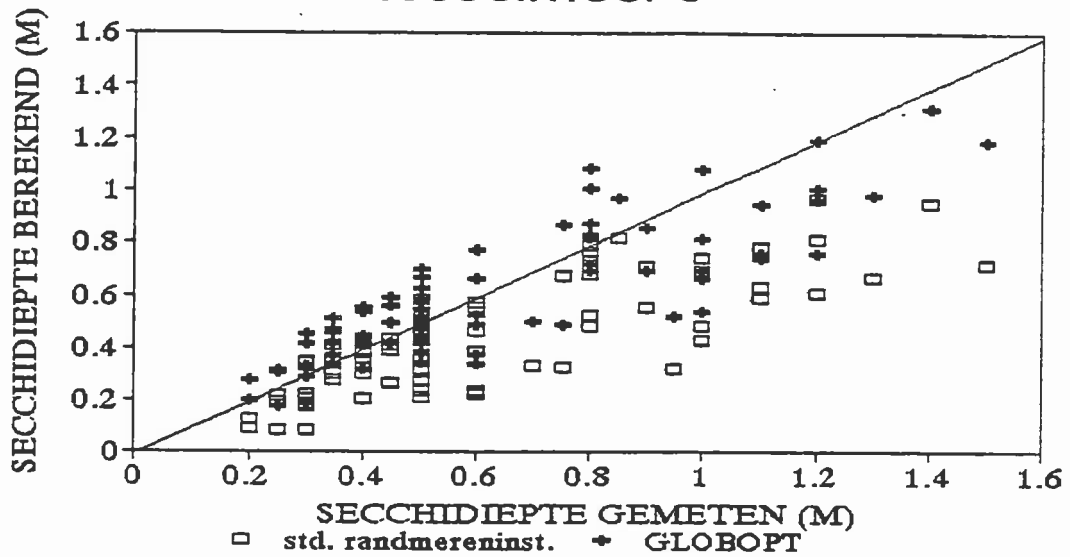
Dit is het geval voor de meeste Friese meren met uitzondering van het Bergumer-, Brande-, Pik-, Sloter- en het Sneeker-meer. Ook wordt met Globopt een betere parametercombinatie gevonden voor Beesd, Duiningermeer, Gr.vogelzang, IJsselmeer 3, Markermeer 4, Schutsloterwijde, Volkerakzoommeer, Veluwemeer 2 en Wolderwijd 3 en Wolderwijd 4.

Enkele resultaten zijn weergegeven in figuur 5, 6 en 7.

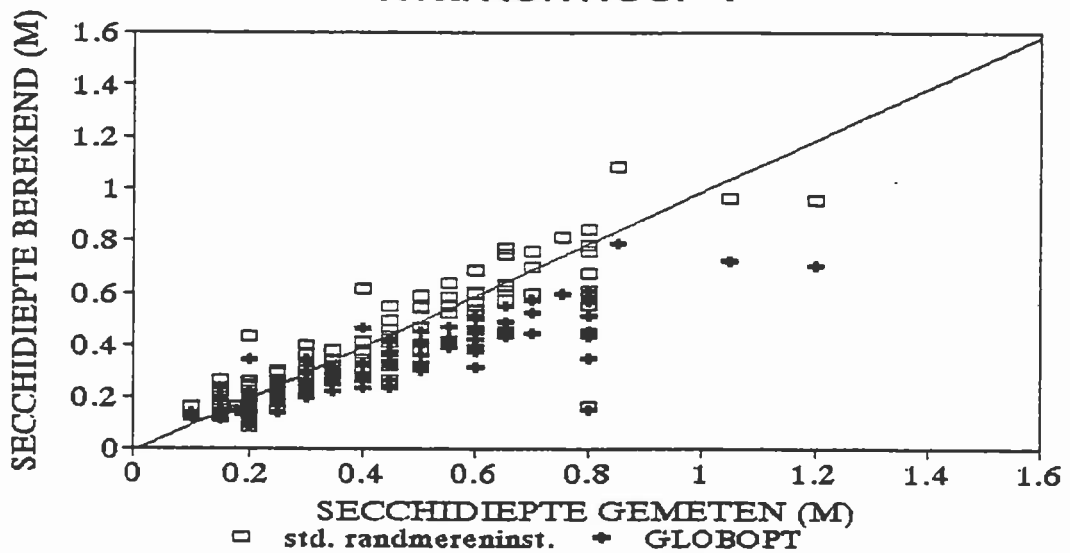


Figuur 5: Secchdiepten berekend met de randmereninstelling en GLOBOPT-uitzicht als functie van de gemeten secchdiepten.

### IJsselmeer 3



### Markermeer 4

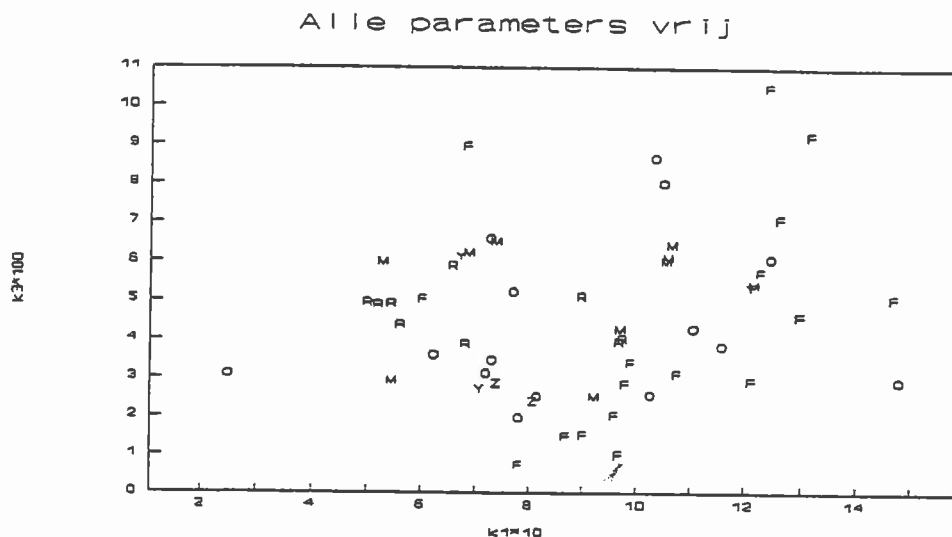


Figuur 6 en 7 : Secchidiepten berekend met de randmereninstelling en GLOBOPT-uitzicht als functie van de gemeten secchidiepten.

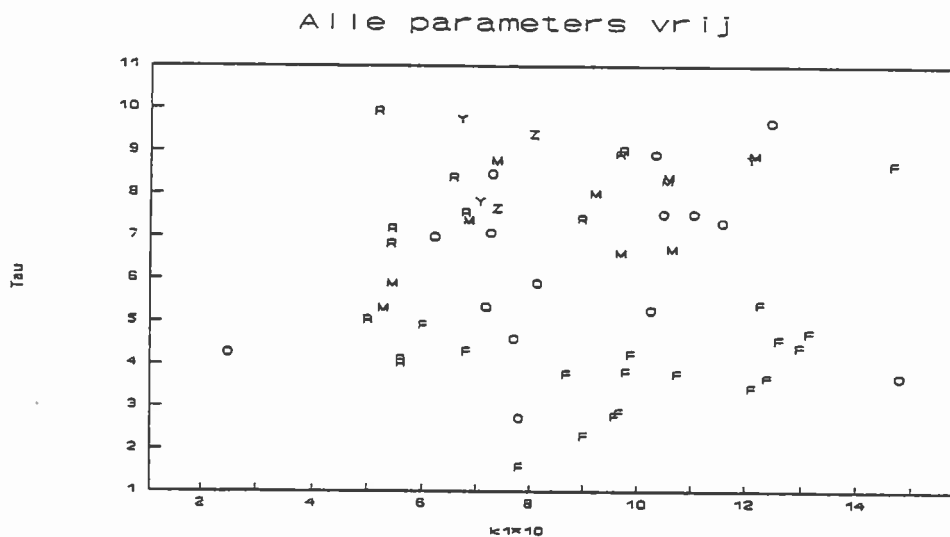
De met GLOBOPT-uitzicht geschatte parameters hebben een grote spreiding en liggen soms ver buiten de in de literatuur vermelde waarden. De gevonden  $K_d$  bij de proefvijver Beesd is 7,2 terwijl deze in theorie niet veel hoger kan zijn dan 3 (Buiteveld, 1991). Ook de gevonden waarden voor Tau variëren tussen de 2,72 en 9,73 (bijlage 6).

#### 4.2.1 Clustering op basis van de optimale parametercombinatie

Om te onderzoeken of er 'clusters' onderscheiden kunnen worden in de dataset zijn de relaties onderling en tussen parameterwaarden en systeemkenmerken als strijklengte en bodemsamenstelling onderzocht. Er is geen verband tussen de parameterwaarden onderling aan te tonen. Dit is geïllustreerd in figuur 8 en figuur 9 door  $k_1$  uit te zetten tegen  $k_3$  en Tau.

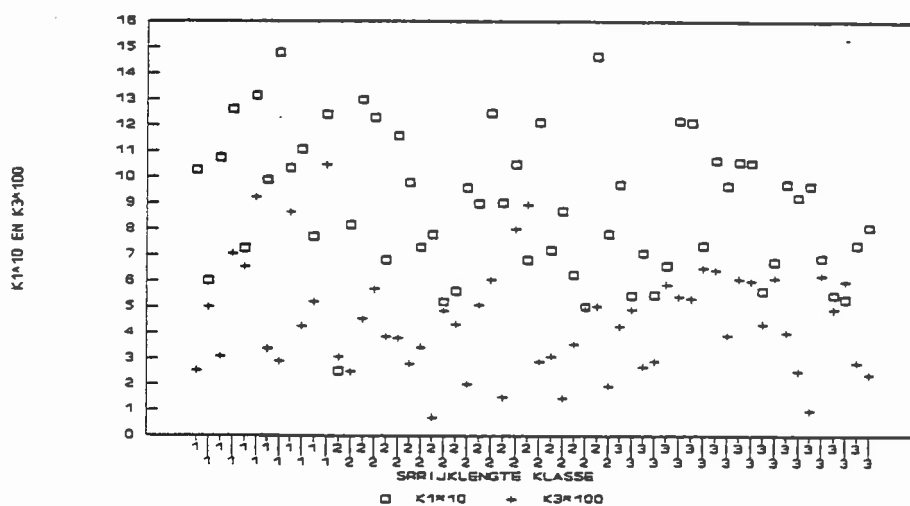


Figuur 8:  $k_3$  als functie van  $k_1$ . De letters staan voor de eventuele clusters: Friese meren, Markermeer, Overige meren, Randmeren, Ysselmeer en Zuidhollandse wateren.

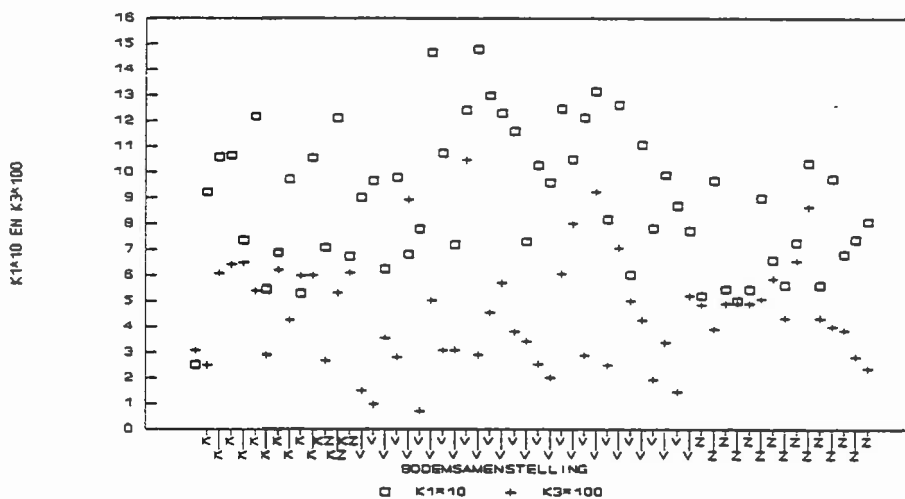


Figuur 9: Tau als functie van  $k_1$ . De letters staan voor de eventuele clusters: Friese meren, Markermeer, Overige meren, Randmeren, Ysselmeer en Zuidhollandse wateren.

Op basis van bodem- en/of oppervlakte eigenschappen kunnen ook geen éénduidige clusters gevonden worden. Met behulp van de figuren 10 en 11 wordt dit aangetoond.



Figuur 10:  $k_1$  en  $k_3$  als functie van de strijklengte. 1=strijklengte tot 1000 m. 2=strijklengte tot 2000 m. 3=strijklengte tot 3000 m.



Figuur 11:  $k_1$  en  $k_3$  als functie van de bodemsamenstelling. V=Veen, K=Klei en Z=Zand

Het gebrek aan samenhang tussen de parameters onderling en tussen de systeemkenmerken en parameterwaarden zou veroorzaakt kunnen zijn door een te groot aantal 'vrije' parameters in de optimaliseringsprocedure. Om dit te onderzoeken zijn in hoofdstuk 4.2.2 het aantal vrije parameters beperkt.



#### 4.2.2 Optimalisatie $k_1$ en $k_3$

Het aantal vrijheidsgraden is gereduceerd door  $k_2$ ,  $k_a$  en Tau vast te zetten en  $k_1$  en  $k_3$  te optimaliseren. Hier voor is gekozen omdat we vooral geïnteresseerd zijn of er een clustering gevonden kan worden gebaseerd op verschillen in de slib- en detritus-samenstelling in de meren.

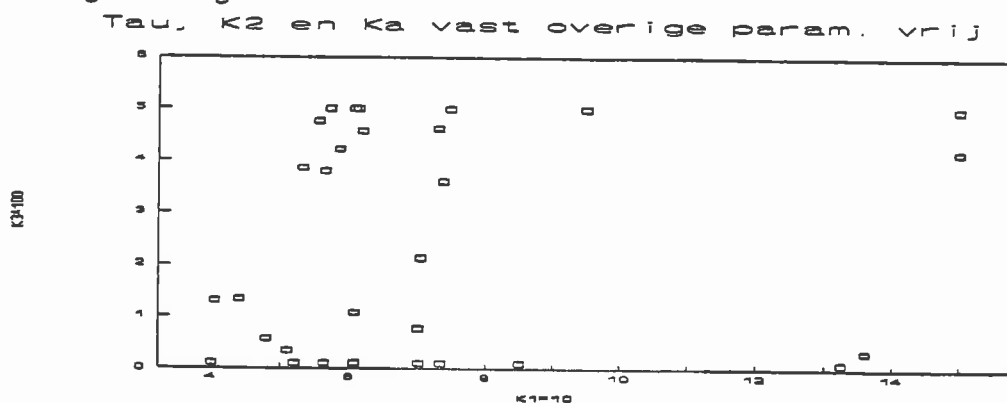
$k_2$  is vast gezet op 1. Dit geeft een lineaire vergelijking. Deze sluit beter aan bij lagere concentraties zwevende stof volgens Buiteveld (1990).

In de verzamelde datasets van de verschillende meren zijn geen gegevens beschikbaar over de algensoort-samenstellingen. Het is dus ook niet mogelijk om op grond hiervan de meren onder te verdelen. Daarom is de  $k_a$  is vastgezet op 2,75. Dit is de mediaan waarde die gevonden is in paragraaf 4.2.1 met uitzondering van de Friese meren. De waarde 2,75 komt overeen met in de literatuur gevonden waarden voor blauwwieren. (Buiteveld, 1991)

De waarde voor Tau is vast gezet op 7,4. Dit is de mediaan van alle individuele datasets uit paragraaf 4.2.1 met uitzondering van de Friese meren.

De Friese meren zijn niet meegenomen omdat de glóeirest in deze datasets niet aanwezig was en op nul gesteld is (hoofdstuk 3.1). Hoe dit doorwerkt op de berekening van  $k_a$  en Tau is niet verder onderzocht. In bijlage 6 is te zien dat de door Globopt gevonden Tau-waarden voor deze groep meren systematisch lager is dan bij de overige datasets.

De resultaten van deze optimaliseringsprocedure staan in bijlage 8. De  $k_1$  en  $k_3$  zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 12.



Figuur 12:  $k_1$  als functie van  $k_3$ .

Uit figuur 12 is af te lezen dat er geen duidelijke clusters gevormd kunnen worden. Ook als  $k_1$  en  $k_3$  als functie van de bodemsamenstelling of oppervlakte van het meer worden uitgezet geeft dit geen aanleiding tot clustering. Daarom is besloten om zelf clusters te vormen en bij deze clusters een optimale parametercombinatie te zoeken. De methode en werkwijze staan beschreven in hoofdstuk 4.2.3

### 4.2.3 Clustering van de beschikbare datasets

Het vormen van clusters op basis van de geoptimaliseerde parameterwaarden bleek niet mogelijk zoals in hoofdstuk 4.2.1 en 4.2.2 beschreven is. Daarom zijn de meren ingedeeld op basis van kenmerken als bodemsamenstelling en op de lokatie van de meren, in voor de hand liggende clusters. Te weten:

- \* Friese meren gebied
- \* IJsselmeergebied
  - Randmeren
  - IJsselmeer
  - Markermeer
- \* Utrechtse en Zuidhollandse veenplassen
- \* Zuidhollandse wateren
- \* Overige meren en plassen

Welke meren zijn ingedeeld in de verschillende clusters is o.a. te zien in bijlage 2 en 7. In hoofdstuk 4.2.1 is te zien dat, met name voor de groep Friese meren, de secchidiepten berekend met de Globopt-parametercombinaties significant beter waren dan de secchidiepten berekend met de randmereninstelling. Dit geldt ook voor IJsselmeer 2 en IJsselmeer 3.

De verwachting is dan ook dat met name voor deze clusters een parametercombinatie gevonden moet kunnen worden waarmee, bij berekening van de secchidiepte, significant betere resultaten behaald worden dan met de randmereninstelling.

Er is gebruik gemaakt van kwartaalgemiddelden bij de optimalisatie van de parametercombinatie. De praktische aanleiding hiervoor was dat het programma GLOBOPT-uitzicht datasets groter dan driehonderd waarnemingen niet aankon. Een voordeel van het gebruik van kwartaalgemiddelden is dat aanwezige ruis uit de data gefilterd wordt. De gevonden parametercombinaties staan weergegeven in tabel 9.

Tabel 9: Optimale parametercombinaties van de clusters.

Parametercombinaties					
Clusters	$k_1 * 10$	$k_3 * 100$	$k_a$	Tau	$k_2 * 10$
Friese meren	5,35	2,04	2,05	4,97	9,6
IJsselmeer	9,83	1,38	1,11	6,14	7,61
Markermeer	5,06	5,00	2,05	6,25	8,73
Randmeren	7,85	3,84	3,08	7,43	9,46
Zuidhollandse wateren	4,5	2,55	2,05	7,30	10,00
U en Z veenplassen	10,78	2,55	1,75	6,14	7,50
Overige meren en plassen	6,00	1,50	2,35	5,31	6,95

Vervolgens zijn de parametercombinaties uit tabel 9 gebruikt in het model UITZICHT om de secchidiepten te berekenen. De berekende secchidiepten zijn vergeleken en getoetst met de secchidiepten berekend met de randmereninstelling. De resultaten staan in bijlage 9.

Optimalisering met behulp van kwartaalgemiddelden geeft een goed resultaat voor de Friese meren. De standaardfout tussen de gemeten en de berekende secchidiepten is kleiner dan de standaardfout die gevonden wordt met de randmereninstelling (Bijlage 9 kolom 1 en 2). Ook zijn er geen significante verschillen aangetoond tussen de gemeten en berekende secchidiepten (bijlage 9 kolom 4). De secchidiepten berekend met de randmereninstelling geven wel een significant verschil met de gemeten waarden (bijlage 9 kolom 3).

Bij het IJsselmeer is de standaardfout tussen gemeten en berekende secchidiepten het kleinst bij gebruik van de randmereninstelling (bijlage 9 kolom 1). Wel is er echter sprake van een significant verschil tussen de berekende en gemeten secchidiepten. Dit is niet het geval als de parametercombinatie uit tabel 9 wordt gebruikt (bijlage 9 kolom 4). Aan de hand van deze gegevens mag dus geconcludeerd worden dat de secchidiepten berekend met de cluster-parametercombinatie (uit tabel 9) beter zijn.

Voor het Markermeer voldoet de gevonden parametercombinatie niet beter dan de randmereninstelling.

De standaardfouten zijn tussen gemeten en berekende secchidiepten met de randmereninstelling kleiner. Bij beide parametercombinaties worden er geen verschillen aangetoond tussen de berekende en gemeten secchidiepten (bijlage 9 kolom 3 en 4)

De gevonden parametercombinatie voor de randmeren geeft tussen de gemeten en de berekende secchidiepten een kleinere standaardfout dan met de randmereninstelling van Buiteveld (bijlage 9, kolom 9). Ook zijn er minder significante verschillen tussen de berekende en gemeten secchidiepten dan met de randmereninstelling (bijlage 9, kolom 3 en 4).

De berekende secchidiepten bij de Zuidhollandse wateren verschillen met de gemeten secchidiepten. Zowel met de in dit hoofdstuk gevonden parametercombinatie en de randmereninstelling. Kijken we naar de standaardfouten tussen de gemeten en berekende secchidiepten (bijlage 9 kolom 1 en 2) blijkt dat die voor het Haringvliet het kleinst is bij de randmereninstelling en voor het Volkerak/zoommeer het kleinst bij de cluster-parametercombinatie.

Bij de Utrechtse en Zuidhollandse veenplassen is de standaardfout over het algemeen kleiner bij de cluster parametercombinatie. Bij het cluster overige meren en plassen niet. Hier voldoet de randmereninstelling beter. Tussen de gemeten en berekende secchidiepten met de randmereninstelling zijn geen significante verschillen aangetoond bij het cluster Utrechtse en Zuidhollandse veenplassen (bijlage 9 kolom 3 en 4).

Over het algemeen voldoet de randmereninstelling het beter ten opzichte van de hier gevonden parameter voor de berekening van de secchidiepte.

In dit hoofdstuk is gekeken naar relaties tussen concentraties zwevende stof en systeemkarakteristieken zoals bodemsamenstelling, diepte en oppervlak. Met formule 18 uit hoofdstuk 3.3 is de  $K/w_s$  waarde berekend.

De  $K/w_s$  verhouding geeft informatie over de slib samenstelling. Een lage waarde voor  $K$  duidt aan dat bodemmateriaal moeilijk in resuspensie komt en een hoge  $K$  waarde geeft aan dat bodemmateriaal gemakkelijk resuspendeert. Dit is te relateren aan bodem en slibdeeltjes eigenschappen.

De  $w_s$  geeft informatie over het soortelijk gewicht van zwevende stof.

Verondersteld mag worden dat de  $K$  en  $w_s$  afhankelijk van elkaar zijn. Bij een lage  $K$  waarde hoort een grote  $w_s$ , en omgekeerd. Samenvattend geeft dit het volgende beeld.

$K$	<	weinig resuspensie	————	zwaar slib
$K$	>	veel resuspensie	————	licht slib
$w_s$	<	lage valsnelheid	————	licht slib
$w_s$	>	hoge valsnelheid	————	zwaar slib

Combinatie van de bovenstaande gegevens laat zien dat een grote waarde voor  $K/w_s$  een indicator is voor slib dat snel resuspendeert en langzaam sedimenteert. Een lage waarde geeft aan dat we te maken hebben met slib dat niet gemakkelijk in resuspensie gaat en snel sedimenteert.

Op basis van de gemiddelde zwevende stofconcentratie, chlorofyl gehalte, het totale zwevende stofgehalte verminderd voor de bijdrage van algen ( $C_{gem}$ ) en morfologische gegevens is de  $K/w_s$  bepaald.

In tabel 1 (blz 6 en 7) staan de morfologische gegevens van de onderzochte meren. Hierin zijn opgenomen: karakteristieke strijklengte, gemiddelde diepte, oppervlak en bodemsamenstelling. Een overzicht van de gemiddelde zwevende stofconcentraties, chlorofyl gehalten en de gloeirest zijn opgenomen in bijlage 10.

## 5.1 Resultaten resuspensie

Een overzicht van de berekende  $K/w_s$  waarden voor verschillende groepen van meren zijn weergegeven in tabel 10. In de kolom 'aantal' staat vermeld uit hoeveel verschillende datasets van het meer of datasets van meren de groep is samengesteld. In de kolom st.fout is de standaardfout binnen de betreffende groep weergegeven. Hoe homogener de groep des te kleiner de st.fout. De groepen in deze tabel zijn als volgt samengesteld: de Friese plassen is een groep van plassen en meren uit friesland met een oppervlak kleiner dan één vierkante kilometer. Friese meren is de groep Friese plassen en meren met een oppervlak groter dan één vierkante kilometer. U en Z veenplassen bestaat uit Utrechtse en Zuidhollandse veenplassen. Overig meren zijn plassen en meren die niet specifiek in een bepaalde groep zijn in te delen. In de groep Zuidhollandse wateren zitten de grote Zuidhollandse wateren. Markermeer, IJsselmeer en randmeren spreken voor zichzelf.

Tabel 10: Gemiddelde  $K/w_s$  waarden.

GROEP	AANTAL	GEMIDDELDE $K/w_s$	ST.FOUT
Friese plassen	5	815	52
Friese meren	12	395	36
Markermeer	10	629	44
U en Z veenplassen	8	208	34
Overige meren	7	594	193
Randmeren	7	255	21
Veluwemeer	4	353	13
IJsselmeer	3	470	19
Zuidhollandse wateren	2	123	13
Totaal	58	444	27

Hoge  $K/w_s$  waarden worden gevonden voor de Friese plassen, Markermeer, IJsselmeer en voor de groep Overige meren. Dit zou betekenen dat we bij deze meren te maken hebben met relatief licht slib wat gemakkelijk in resuspensie komt en slechts langzaam sedimenteert.

Voor de andere groepen: Friese meren, Utrechtse en Zuidhollandse veenplassen, Randmeren, Veluwemeer en de Zuidhollandse wateren is de  $K/w_5$  lager dan het totale gemiddelde. Het aanwezige slib is in deze meren relatief zwaar.

Op basis van de bodemsamenstelling, strijklengte of oppervlak van de verschillende meren en de berekende  $K/w_5$ , kan er nu meer inzicht verkregen worden over de samenstelling van het slib dat zich in de waterkolom bevindt.

### **Friese plassen en meren**

De bodem van de Friese plassen en meren bestaat uit veen. De gevonden slib-samenstelling in deze twee clusters verschilt uitgaande van de berekende  $K/w_5$ -waarden. In de plassen zit relatief lichter slib in de waterfase dan bij de meren. Dit is te relateren aan het verschil in strijklengte. In de meren, waar de strijklengte groter is, krijgt gesuspendeerd slib minder kans te bezinken dan in de plassen. Ook resuspensie van de wat zwaardere slibdeeltjes zal in de plassen, door de kortere strijklengte minder zijn. Het slib zal hoofdzakelijk bestaan uit detritus van veendeeltjes en dode algen.

### **Markermeer**

In het Markermeer is het slib volgens de gevonden  $K/w_5$ -waarde ook relatief licht. De bodem van het Markermeer bestaat hoofdzakelijk uit klei. In bijlage 10 zien we tevens dat de zwevende stof voor plus minus 70 % uit anorganische stof bestaat. Uit deze drie gegevens mag wel gesteld worden dat een groot gedeelte van de zwevende stof bestaat uit geresuspendeerde klei deeltjes. Het detritus gedeelte van het slib bestaat waarschijnlijk voor een groot gedeelte uit dode algen.

### **Utrechtse en Zuidhollandse veenplassen**

De bodem van deze meren bestaat hoofdzakelijk uit veen. De lage  $K/w_5$ -waarde toont aan dat het slib voor het grootste gedeelte zal bestaan uit een zware fractie veendeeltjes en uit dode algen. Een andere mogelijke verklaring is dat we te maken hebben met klei/veen bodems, hoewel de gevonden gloeiresten over het algemeen klein zijn, met uitzondering van de Reeuwijkse plassen.

## Randmeren en Veluwemeer

In de randmeren en het Veluwemeer bestaat de bodem hoofdzakelijk uit zand. De gloeiresten geven aan dat in het Eemmeer en het Veluwemeer de zwevende stof voor iets meer dan 50 % uit anorganisch materiaal bestaat. Dit betekent dat er in de bodem van deze meren ook leem en klei voorkomt. De gevonden  $K/w_s$ -waarde geeft aan dat het slib bestaat uit relatief zwaar materiaal. Dit kan in resuspensie blijven door de grote strijklengten van de meren.

## IJsselmeer

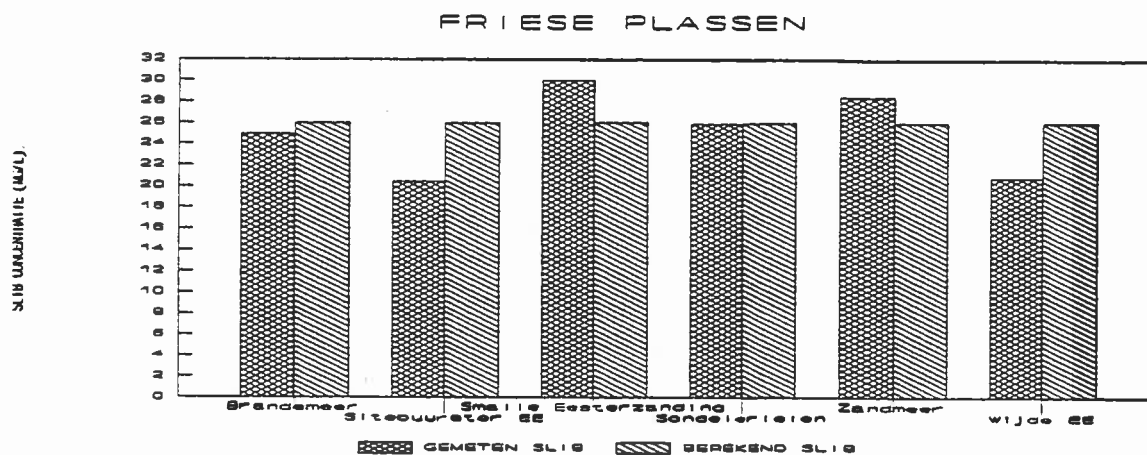
De berekende  $K/w_s$ -waarde toont aan dat het zwevende slib in het IJsselmeer relatief licht is. Uit de gloeiresten blijkt ook dat het zwevend materiaal voor meer dan 50% uit anorganische stof bestaat. Het slib in het IJsselmeer zal dus hoogstwaarschijnlijk bestaan uit kleideeltjes en dode algen. → tabel 1, zand

## Zuidhollandse wateren

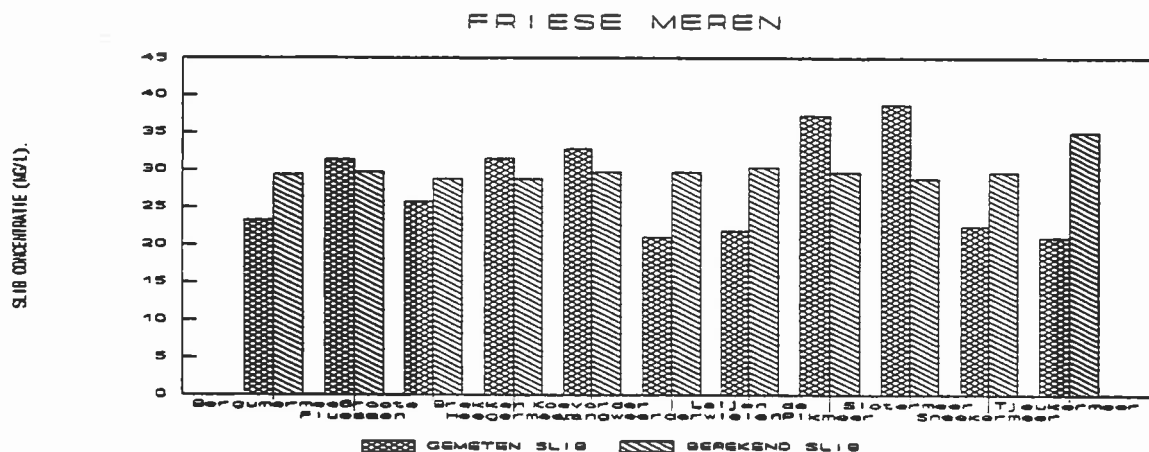
In de Zuidhollandse wateren wordt de laagste  $K/w_s$ -waarde gevonden. Door de grote strijklengten van deze meren is het mogelijk dat relatief zwaar materiaal in resuspensie kan blijven. Ook de samenstelling van de bodem kan hier de oorzaak van zijn, want waarschijnlijk zijn de bodems in deze meren zandig met weinig slib.

### 5.1.1 Berekening van de slibconcentratie op basis van $K/w_s$

Met de gevonden  $K/w_s$ -waarde, de strijklengte en de diepte is het mogelijk om de concentratie slib in de waterfase te schatten. Deze schatting is tevens een indicatie of de gemiddelde  $K/w_s$  binnen een groep wel juist is. Met behulp van enkele figuren wordt dit aangetoond.

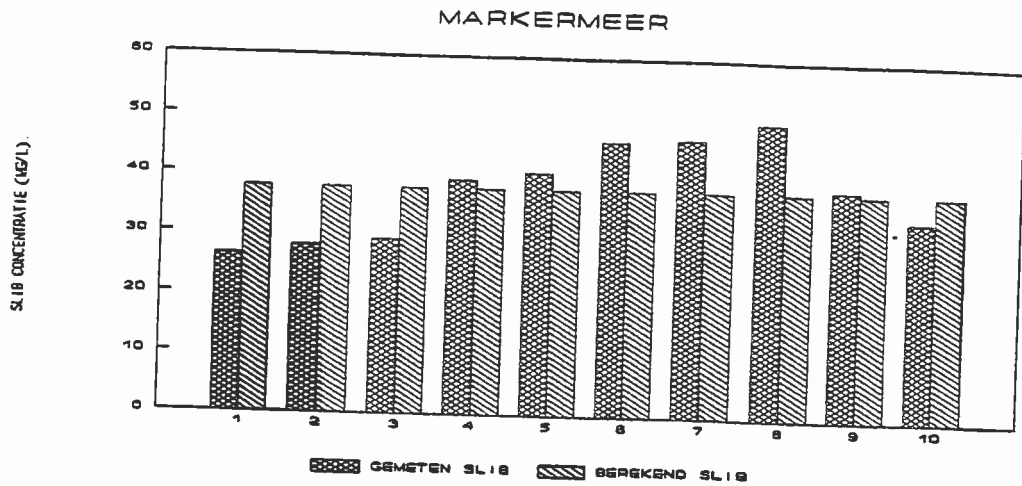


Figuur 13: De gemeten slibconcentraties en de berekende slibconcentraties in de Friese plaspen.

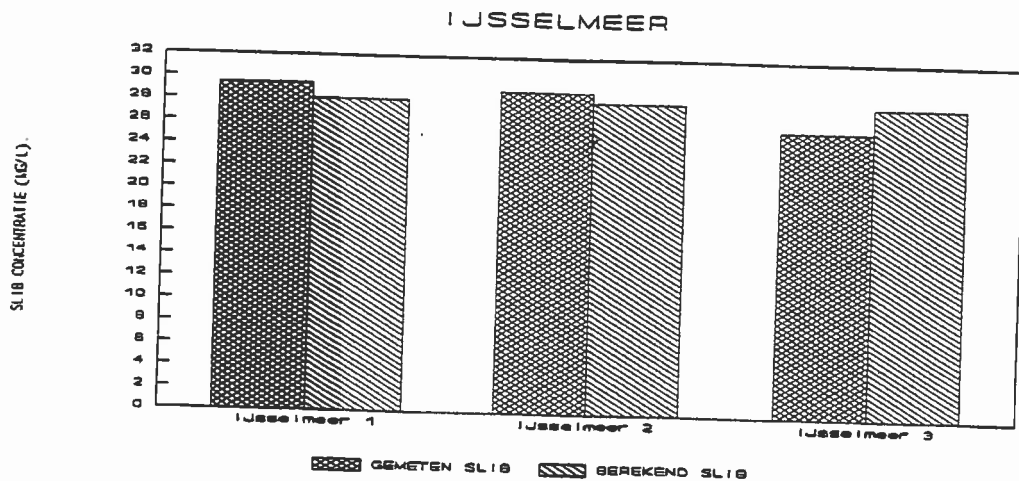


Figuur 14: De gemeten slibconcentraties en de berekende slibconcentraties in de Friese meren.

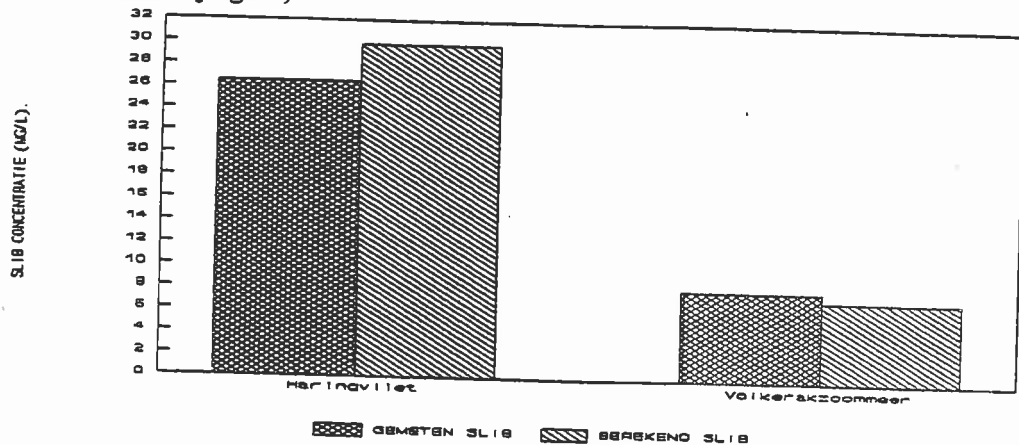




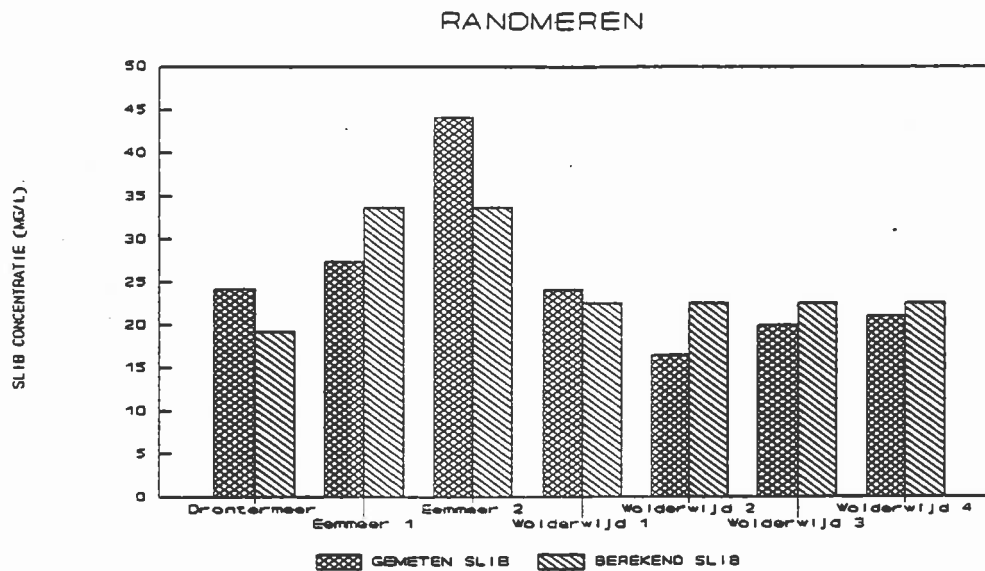
Figuur 15: Slibconcentraties (mg/l) berekend en gemeten, Markermeer. De nummers 1 t/m 10 komen overeen met verschil in monsterlocatie en/of bron (zie bijlage 2).



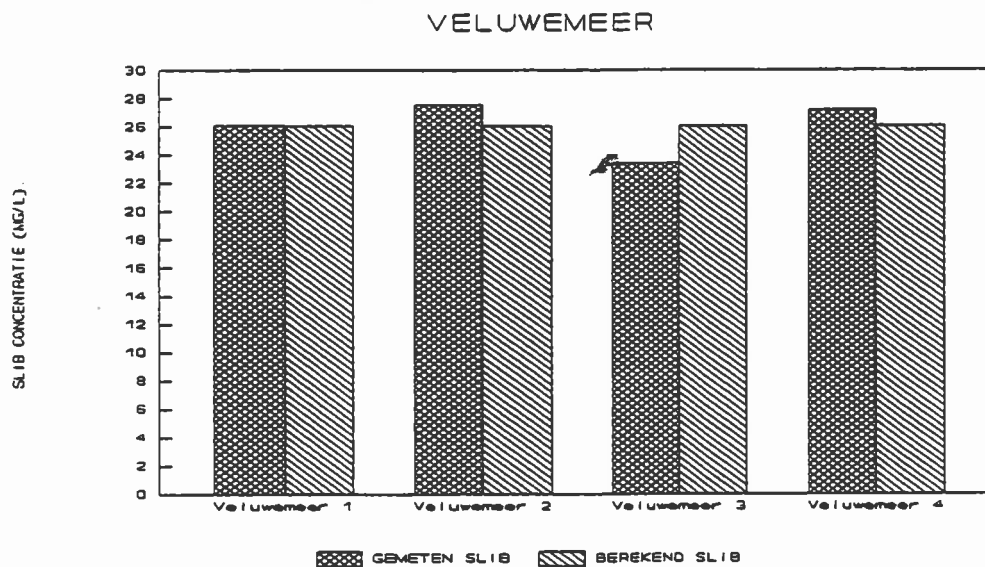
Figuur 16: Slibconcentraties (mg/l) berekend en gemeten, IJsselmeer. De nummers 1 t/m 3 komen overeen met verschil in monsterlocatie en/of bron (zie bijlage 2).



Figuur 17: Slibconcentraties (mg/l) berekend en gemeten, Zuidhollandse wateren.



Figuur 18: Slibconcentraties (mg/l), berekend en gemeten, randmeren.



Figuur 19: Slibconcentraties (mg/l), berekend en gemeten, Veluwemeer.

Uit de figuren 13 t/m 19 blijkt dat de slibbijdrage aan de zwevende stof goed geschat kan worden op basis van de  $K/w_s$ . Vooral in de clusters waar de samenhang van karakteristieken, als bodemsamenstelling, homogeen zijn.

Tevens wordt, met de op basis van de  $K/w_s$  berekende slibconcentratie voor individuele meren binnen een cluster, aangetoond dat de strijklengte en de diepte van invloed zijn op het zwevende stofgehalte en hiermee indirect aan het lichtklimaat in het water.

In deze paragraaf is gekeken naar de relatie tussen biomassa en detritus. Hiervoor zijn de kwartaalgemiddelden gebruikt voor de verschillende clusters zoals die beschreven staan in paragraaf 4.1.3. De biomassaberekeningen zijn gebaseerd op chlorofyl-a gegevens. Detritus is afgeleid van het zwevende stofgehalte, de gloeirest en de biomassa. Ook kan de biomassa en het detritus berekend worden aan de hand van het biovolume. Hier zijn geen gegevens van beschikbaar in de meeste datasets en deze methode levert, over het algemeen, minder significante verbanden op (Ballegooijen *et al.*, 1993).

#### Berekening biomassa.

De formule voor de berekening van het drooggewicht van de biomassa is als volgt:

$$\text{Biomassa} = \text{Chlorofyl-a (ug/l)} * 0.075 \quad (11)$$

#### Berekening van detritus.

Voor de berekening van de detritus is uitgegaan van de droge stofgehaltenes per liter. de berekening is als volgt:

$$\text{Detritus} = \text{Zwevende stof} - \text{Gloeirest} - \text{Biomassa} \quad (12)$$

De relatie tussen biomassa en detritus is onderzocht op verschillen in het lineair verband. De richtingscoëfficiënt geeft de verhouding aan tussen biomassa en detritus. De hoeveelheid detritus moet vermeerderd worden met de hoeveelheid basisdetritus (de constante bij de regressieberekening). Wanneer de richtingscoëfficiënt een grotere waarde heeft, betekent dit dat de toename van detritus groter is over een klein concentratiegebied van de biomassa.

Met behulp van de figuren in bijlage 11, waarin van elk cluster de biomassa en detritus per kwartaal tegen elkaar zijn uitgezet, worden de resultaten besproken.

Uit de regressielijnen blijkt dat er over het algemeen weinig significante correlaties gevonden worden binnen de clusters. De  $R^2$  is laag. Bij de clusters Markermeer, IJsselmeer, randmeren en Friesland is er in het tweede kwartaal wel sprake van significante relaties. Bij een toenemende biomassa neemt ook de detritusconcentratie toe.

Binnen de meeste clusters is de biomassa per kwartaal niet erg verschillend. Bij het IJsselmeer-cluster is echter duidelijk te zien dat de biomassaconcentratie in het vierde kwartaal duidelijk lager is dan in de kwartalen 1, 2 en 3.

Bij het cluster randmeren valt op dat in de jaren '90 de hoeveelheid biomassa duidelijk verminderd is in vergelijking met voorgaande jaren.

In het cluster Zuidhollandse wateren zijn de kwartalen niet afzonderlijk bekeken omdat hiervoor te weinig gegevens beschikbaar zijn. Wel valt op dat in vergelijking met de andere clusters de biomassa- en detritusconcentratie erg laag zijn.

In het cluster Friese meren worden hoge detritusconcentraties gevonden. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de bodemsamenstelling die hoofdzakelijk bestaat uit veen. Ook moet er rekening gehouden worden met het feit dat de gloeirest van deze meren niet in de datasets opgenomen was en op nul gesteld is. Dezelfde hoge detritusconcentraties worden niet gevonden in het cluster Utrechtse en Zuidhollandse veenplassen waar de bodemsamenstelling ook hoofdzakelijk uit veen bestaat.

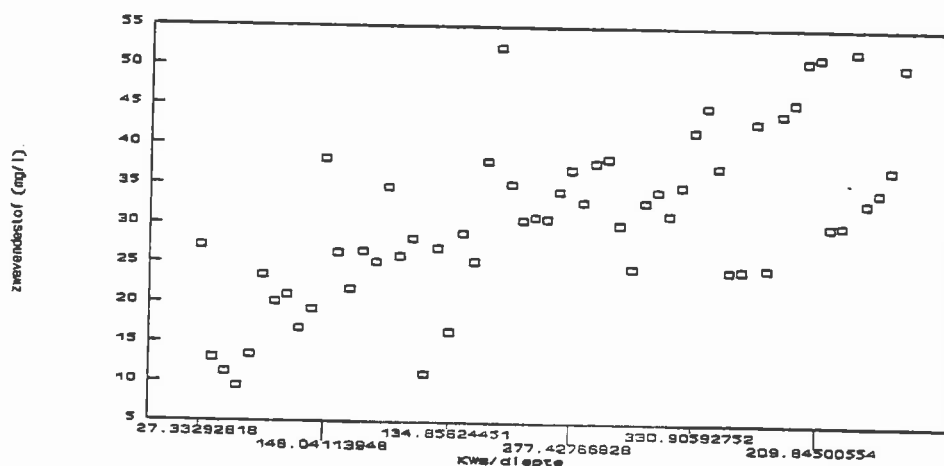
### 5.1.3 Detritus/biomassa in relatie met een maat voor de schuifspanning

In deze paragraaf is gekeken naar de relatie tussen detritus/biomassa en een maat voor de schuifspanning bij de bodem. De schuifspanning aan de bodem is onder andere afhankelijk van de strijklengte en de diepte. Voor het bekijken van relaties is gebruik gemaakt van totale gemiddelden van detritus, chlorofyl en zwevende stofconcentraties (bijlage 10).

In Bijlage 12 zijn enkele figuren opgenomen waarin de gemiddelde concentratie detritus, zwevende stof en detritus gedeeld door de biomassa van algen zijn uitgezet tegen een maat voor de schuifspanning. Als maat voor de schuifspanning is gekozen voor de karakteristieke-strijklengte gedeeld door de diepte en de  $KW_s$  (zie hoofdstuk 3 en 5) gedeeld door de diepte.

Met behulp van de figuren in bijlage 12 worden de resultaten kort besproken.

Uit de regressie blijkt dat er slechte significante correlaties gevonden worden op basis van de karakteristieke-strijklengte gedeeld door de diepte. Op basis van de  $KW_s$ /diepte is er wel sprake van significante relaties.



Figuur 21: Gemiddelde zwevende stofgehalte (mg/l) versus  $KW_s$ /diepte.

Regressie-uitvoer geeft bij figuur 21 de volgende resultaten:

Constante	20.12541
Std. fout geschatte Y	8.435587
R-kwadraat	0.386244
Aantal waarnemingen	58
Vrijheidsgraden	56

### 6.1 Discussie

Om het model UITZICHT goed te kunnen toetsen en te optimaliseren, voor de berekening van de extinctie in meren met verschillende systeemkarakteristieken, zijn er te weinig datasets met bruikbare extinctiegegevens beschikbaar.

Het zoeken naar een eventuele clustering op basis van beschikbare extinctiegegevens is dan ook niet zinvol.

In de meeste datasets zijn geen  $a_h(380)$ -gegevens opgenomen. De missende gegevens zijn, voor zover dat mogelijk was, uit de literatuur gehaald. De dan nog missende  $a_h(380)$ -waarden zijn geschat. De invloed van humuszuur op extinctie en doorzicht is pas van belang als het doorzicht groter is dan 1 à 1,5 meter (Buiteveld, 1990). Een foute schatting van de  $a_h(380)$ -waarde zal dus nauwelijks invloed hebben op de berekening van de extinctie en de secchidiepte.

Een ander punt van discussie heeft te maken met het optimaliseringsprogramma GLOBOPT.

Het programma is erg gevoelig voor de opgegeven grenzen waarbinnen de betreffende parameters gezocht moeten worden. Bij een klein verschil van deze grenzen kan het voorkomen dat de gevonden parametercombinaties, geschat met dezelfde dataset, erg van elkaar verschillen. Hierdoor ontstaat onzekerheid of we wel de meest optimale parametercombinatie gevonden hebben. Door de optimalisatieprocedure meerdere keren te herhalen met een klein verschil in de opgegeven grenswaarden kan dit voor een groot deel ondervangen worden.

### 6.2 Conclusies

Bij optimalisatie op zowel extinctie- en secchidieptegegevens is er voor de meeste meren een betere parametercombinatie gevonden dan de randmereninstelling die in UITZICHT gebruikt wordt. Significant betere resultaten voor de berekening van de extinctie ten opzichte van de randmereninstelling zijn gevonden voor de meren: Beesd, Eemmeer, Haringvliet, Markermeer, Reeuwijkse plassen, Veluwemeer en het Volkerak/zoommeer. Bij de berekening van de secchidiepte worden er significant betere uitkomsten gevonden voor het Haringvliet, Veluwemeer en het Volkerak/zoommeer.

Bij de optimalisatie van de parameters op basis van secchidieptegegevens verschillen de geschatte parameters sterk van meer tot meer en zijn veelal niet in overeenstemming met theoretisch te verwachten waarden.

Op basis van de geschatte parameters kunnen geen clusters worden onderscheiden.

Ook bij het optimaliseren van enkel de 'slibparameters',  $k_1$  en  $k_3$ , kunnen er geen clusters gevormd worden op basis van de gevonden parameterwaarden.

Ook als  $k_1$  en  $k_3$  als functie van de bodemsamenstelling en/of oppervlakte van het meer worden uitgezet geeft dit geen aanleiding tot clustering.

Bij het indelen van de meren in clusters, op basis van regio, bodemsamenstelling en grootte en met behulp van kwartaalgemiddelden zijn er voor enkele clusters parametercombinaties geschat die beter voldoen dan de standaard randmereninstelling van het model UITZICHT.

Voor de clusters Friese meren en randmeren is een parametercombinatie gevonden die significant betere resultaten geeft bij het berekenen van de secchidiepte.

Voor het IJsselmeer zijn tegenstrijdige resultaten gevonden. De gevonden standaard fout, tussen gemeten en berekende secchidiepten, is kleiner bij de standaardinstelling. Echter bij het toetsen op significante verschillen tussen berekende en gemeten waarden blijkt de geschatte parametercombinatie beter te voldoen.

Voor de overige clusters voldoen de gevonden parametercombinaties niet beter dan de standaardinstelling. Bij de clusters Markermeer en Utrechtse en Zuidhollandse veenplassen wordt met de standaardinstelling van het model UITZICHT geen significant verschil aangetoond tussen de gemeten en de berekende secchidiepten.

Met het model waarmee de bijdrage van resuspensie<sup>2</sup> aan het zwevende stofgehalte wordt berekend worden goede resultaten verkregen. De bijdrage van resuspensie aan de zwevende stof is afhankelijk van de bodemsamenstelling en de strijklengte.

Hoge  $K/w$ , waarden worden gevonden voor de Friese plassen, Markermeer, IJsselmeer en voor de groep Overige meren. Dit betekent dat we in deze meren te maken hebben met relatief licht slib wat gemakkelijk in resuspensie komt en slechts langzaam sedimenteert.

Voor de clusters: Friese meren, Utrechtse en Zuidhollandse veenplassen, Overige meren, Randmeren, Veluwemeer en de Zuidhollandse wateren is de  $K/w$ , lager dan het totale gemiddelde. Het aanwezige slib is in deze meren relatief zwaar. Door de grotere strijklengte komt (en blijft) ook zwaar slib in opwerveling.

De bijdrage van slib op het totale zwevende stof kan goed geschat worden op basis van de  $K/w$ . Vooral in de clusters waar de samenhang van karakteristieken, als bodemsamenstelling, homogeen zijn. Dit moet echter nog wel getoetst worden met andere datasets welke niet gebruikt zijn bij het bepalen van de  $K/w$ -waarde.

De relatie tussen biomassa en detritus is onderzocht op verschillen in het lineaire verband. Hieruit blijkt dat er weinig significante correlaties tussen biomassa- en detritus-concentraties voorkomen binnen de clusters. Alleen bij de clusters Markermeer, IJsselmeer, randmeren en Friesland is er in het tweede kwartaal wel enige sprake van een significante relatie. Binnen de meeste clusters verschilt de biomassa-concentratie per kwartaal niet veel met uitzondering van het IJsselmeer-cluster.

## LITERATUUR

- Aalderink, R.H., Lijklema, L.L., Breukelman, J., Van Raaphorst, W. en Brinkman, A.G. (1984). Quantification of wind induced resuspension in a shallow lake. *Wat. Sci. Techn.* 17 (6/7), 903-914.
- Ballegooijen, L. van, Boers, P.C.M., Groeneveld, M. (1993). Kwantificering van detritus in de waterfase in enkele ondiepe meren in Nederland. RIZA onderafdeling AOCB, werkdocument 93.126X, Lelystad.
- Blom, G. (1989a). Beïnvloeding transport fosfaatrijk slib in het Veluwemeer, een studie naar de effecten van slibvangen en dammen op de slibhuishouding in het Veluwemeer. Landbouwwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, 127 pp.
- Blom, G. (1989b). Lichtklimaat bepalende factoren in het Veluwemeer, een onderzoek naar de bijdrage van verschillende componenten aan de extinctiecoëfficiënt van Veluwemeerwater. Landbouwwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, 88 pp.
- Blom, G. (1991). Slib, slibtransport en lichtklimaat in de randmeren. Landbouwwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, Sectie Waterkwaliteitsbeheer, nr. 91-15, 98 pp.
- Blom, G. (1992). Licht onder water, het belang van extinctiemetingen. Landbouwwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, Sectie Waterkwaliteitsbeheer, nr. 92-07, 49 pp.
- Blom, G., Van Duin, E.H.S., Aalderink, R.H., Lijklema, L.L. en Toet, C. (1992). Modelling sediment transport in shallow lakes - interactions between sediment transport and sediment composition. In: *Sediment/Water interactions*, B.T. Hart and P.G. Sly (Eds.). *Hydro-biologia/Dev. Hydrobiol.*, 235/236, 153-166.
- Blom, G. en Toet, C. (1993). Modelling sediment transport and sediment quality in a shallow Dutch lake (Lake Ketel). *Wat. Sci. Techn.* 28 (8/9) 79-90.
- Blom, G., Van Duin, E.H.S. en Vermaat, J.E. (1994). Factors contributing to light attenuation in Lake Veluwe. In: *Lake Veluwe, a macrophyte-dominated system under eutrophication stress*, Van Vierssen *et al* (eds.), Kluwer Academic Publishers, Amsterdam.
- Blom, G., Van Duin, E.H.S. en Lijklema, L. (in press). Sediment transport and light conditions in some shallow Dutch Lakes. *Wat. Sci. Techn.*
- Bouws, R. (1986). Verwachting van de zeegang door middel van groeicurves; bevindingen verkregen aan de hand van de Markermeerdataset. K.N.M.I.:00-86-33, De Bilt.
- Brinkman, A.G. en Van Raaphorst, W. (1986). De fosfaathuishouding van het Veluwemeer. Proefschrift, Technical University Twente, Enschede, 481 pp.
- Buiteveld, H. (1990). Uitzicht, model voor berekening van doorzicht en extinctie. Nota 90.058, Rijkswaterstaat DBW/RIZA, Lelystad.
- Buiteveld, H. (1991). Handleiding UITZICHT. Rijkswaterstaat RIZA, Lelystad.
- CERC (1977). (Coastal Engineering Research Centre) Shore protection manual, volume I. Department of the U.S. Army, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. (U.S.A.)
- Havekes, R.A.W. (1990). Aanpassingen en verbeterde functionliteit in het pakket GLOBOPT. Werkdocument 93.125. Rijkswaterstaat RIZA, Lelystad.
- Kirk, J.T.O. (1983). Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, 401 pp.



- Lam, D.C.L. and Jaquet, J.H. (1976). Computations of physical transport and regeneration of phosphorus, fall 1970. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 33, 550-563.
- Lee, D.Y. and Bedford, K.W. (1987). Resuspension and sorting effects on tributary sediment loads to Lake Erie. In: *Proceedings of IAHR-Congress*, IAHR, Lausanne, p:56-61.
- Lick, W. (1982). Entrainment, deposition and transport of the fine grained sediments in lakes. *Hydrobiologia* 91, 31-40.
- Lick, W. (1986). Modelling the transport of fine-grained sediments in aquatic systems. *Sci. Total Environ.*, 55, 219-228.
- Lijklema, L., Blom, G., Aalderink, R.H. and Van Duin, E.H.S. (1994). Sediment transport in shallow lakes; two cases related to eutrophication. In: *Transport and transformation of contaminants near the sediment water interface*, DePinto, J.V. (ed.). Springer Verlag, Berlin.
- Metha, A.J., McAnally, W.H. Jr., Hayter, E.J., Teeter, A.M., Stoelhamer, D., Heltzel, S.B. and Carey, W.M. (1989). Cohesive sediment transport II; application. *J. Hydr. Eng.* (115), 8, 1093-1103.
- Phillips, O.M. (1966). The dynamics of the upper ocean. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sheng, Y.P. and Lick, W. (1979). The transport and resuspension of sediments in a shallow lake. *J. Geophysical Res.* 84, 1809-1826.
- Somlyody, L. (1980). Preliminary study on wind induced interaction between water and sediment for Lake Balaton (Scenes Basin). In: *Proceedings of the 2nd joint MTA/ILASA task force meeting on Lake Balaton modelling II*, G. van Straten, S. Herodek, J. Fisher and I. Kovacs (eds.). MTA-VEAB, Veszprém, Hungary, pp. 26-49.
- Somlyody, L. and Koncsos, L. (1991). Influence of sediment resuspension on light conditions and algal growth in Lake Balaton. *Ecological Modelling*, 57, 173-192.
- Van de Hulst, H.C. (1981). Light scattering by small particles. Dover Publications, New York/London, 453 pp.
- Van Duin, E.H.S. (1992). Sediment transport, light and algal growth in the Markermeer, Proefschrift, Landbouwniversiteit Wageningen, 274 pp.
- Van Duin, E.H.S., Blom, G., Lijklema, L.L. en Scholten, M.J.M. (1992). Some aspects of modelling sediment transport and light conditions in Lake Marken. In: *Sediment/Water interactions*, B.T. Hart and P.G. Sly (Eds.). *Hydrobiologia/Dev. Hydrobiol.*, 235/236, 167-176.

## BIJLAGEN.

- 1 Berekeningen model UITZICHT.
- 2 Overzicht van de onderzochte meren.
- 3 Overzicht  $a_h(380)$ -gevens.
- 4 Golfmodel.
- 5 Windrichtings-frequentie-verdeling.
- 6 Optimale parametercombinaties gevonden met GLOBOPT-uitzicht.
- 7 Uitkomsten T-toets.
- 8 Optimale parametercombinaties gevonden met GLOBOPT-uitzicht  $k_2$ ,  $k_a$  en Tau vastgezet.
- 9 Standaardfouten tussen berekende en gemeten secchidiepten bij gebruik van verschillende parametercombinaties.
- 10 Invoer gegevens voor berekening van de  $K/w_s$  en gevonden  $K/w_s$ -waarden.
- 11 Figuren biomassa versus detritus.
- 12 Figuren detritus/biomassa algen versus een maat voor de schuifspanning bij de bodem.

In deze bijlage zal eerst worden ingegaan op de berekening van de extinctiecoëfficiënt. Daarna wordt de berekeningswijze voor het doorzicht behandeld. Tenslotte wordt ingegaan op de in het model gebruikte absorptie- en verstrooiingsspectra van de zwevende- en opgeloste stoffen in het water.

### Berekening van de extinctie.

De irradiantie (licht hoeveelheid) bij een bepaalde golflengte en diepte is (wet van Lambert Beer):

$$E_z(\lambda) = E_0(\lambda) * e^{-K(\lambda)z}$$

$\lambda$  = golflengte, nm

$z$  = diepte, m

$E_z(\lambda)$  = irradiantie op diepte  $z$ ,  $Wm^2$

$E_0(\lambda)$  = irradiantie net onder het wateroppervlak,  $Wm^2$

$K(\lambda)$  = extinctiecoëfficiënt voor golflengte  $\lambda$ ,  $m^{-1}$

(1)

De extinctiecoëfficiënt wordt onderverdeeld in een absorptiecoëfficiënt (a) en een verstrooiingscoëfficiënt (b). De extinctie van een oneindig smalle lichtbundel die loodrecht op het water valt is gelijk aan de som van de absorptie en de verstrooiing, de bundelverzwakking:

$$c(\lambda) = a(\lambda) + b(\lambda)$$

$c(\lambda)$  = bundelverzwakingscoëfficiënt,  $m^{-1}$

$a(\lambda)$  = absorptiecoëfficiënt,  $m^{-1}$

$b(\lambda)$  = verstrooiingscoëfficiënt,  $m^{-1}$

(2)

Deze situatie zal in de praktijk zich nooit voordoen omdat licht zich in een andere vorm manifesteert. In werkelijkheid bestaat het licht onderwater niet uit een oneindig smalle lichtbundel en valt het ook niet loodrecht op het wateroppervlak binnen. Uit een empirisch verband tussen de hoek van het invallende licht, de absorptie- en de verstrooiingscoëfficiënt kan per golflengte de extinctiecoëfficiënt worden berekend volgens Kirk (Kirk, 1984).

$$K(\lambda) = 1/\mu [a(\lambda)^2 + (0,425 \mu - 0,19) a(\lambda) b(\lambda)]^{1/2}$$

(3)

$$\mu = \cos(Z_0)$$

$Z_0$  = zenithoek van de zon (onderwater)

De extinctie van het zichtbare licht in de waterkolom wordt verkregen door  $E_z$  te integreren over alle golflengten in het PAR-gebied. Dit geeft  $E_{par}$ . Hierbij wordt rekening gehouden met het feit dat de energie van fotonen afhankelijk is van de golflengte.

De extinctie van fotosynthetisch actief licht ( $K_{par}$ ) wordt berekend via  $E_{par}$  op twee verschillende dieptes in de waterkolom volgens:

$$K_{par} = 1/(z_1 - z_2) * \ln (E_{par}(z_1)/E_{par}(z_2))$$

(4)

### Berekening van de Secchidiepte.

De Secchidiepte, ofwel het doorzicht wordt bepaald door middel van een eenvoudige vergelijking (Preisendorfer, 1986):

$$Sd = \Gamma / (c_{par} + K_{par})$$

$Sd$  = secchidiepte,  $m$

$\Gamma$  = konstante

$c_{par}$  = bundelverzwaktingscoëfficiënt voor PAR,  $m^{-1}$

$K_{par}$  = extinctiecoëfficiënt voor PAR,  $m^{-1}$

(5)

### OPTISCHE EIGENSCHAPPEN

De in het model gebruikte optische eigenschappen van het opgelost en zwevend materiaal worden hieronder kort, in de vorm van formules, weergegeven.

#### Berekening bundelverzwakking zwevende stof.

$$c_z(\lambda) = k_1 \cdot zw-stf^{k_2} \cdot (400/\lambda)$$

(6)

$c_z(\lambda)$  = bundelverzwaktingscoëfficiënt zw. stof,  $m^{-1}$

$k_1, k_2$  = constantes bundelverzwakking zw. stof

$zw-stf$  = gloeirest + detritus,  $mg/l$

#### Berekening absorptiecoëfficiënt.

$$a_z(\lambda) = k_3 \cdot det (400/\lambda)$$

(7)

$a_z(\lambda)$  = absorptiecoëfficiënt detritus

$k_3$  = constante absorptie detritus

$det$  = detritus  $mg/l$

$$c_a = (a_a(550) + 0,12 \cdot chlor^{0,63}) \cdot k_a$$

$$a_a(\lambda) = (0,058 + 0,018 \cdot chlor) \cdot a_{chl}(\lambda) \cdot k_a$$

$$b_a(\lambda) = c_a - a_a(\lambda)$$

$$c_a = \text{bundelverzwakkings-coëfficiënt voor algen} \quad (8)$$

$$a_a(\lambda) = \text{absorptie-coëfficiënt voor algen, } m^{-1}$$

$$b_a(\lambda) = \text{verstrooiings-coëfficiënt voor algen, } m^{-1}$$

$$a_{chl}(\lambda) = \text{specifieke absorptiecoëfficiënt voor chlorofyl, } m^{-1}/\mu g/l$$

$$k_a = \text{correctiefactor}$$

$$chlor = \text{concentratie chlorofyl-a, } \mu g/l$$

Calibratie van het model UITZICHT geschiedt door het optimaliseren van de waarden voor de parameters  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_4$  en Tau.

$k_1, k_2$  = constanten bundelverzwakking zwevende stof  
 $k_3$  = constante absorptie detritus  
 $k_4$  = correctiefactor chlorofyl  
 Tau = constante bij de berekening van de secchidiepte

**FRIESE MEREN**

Bergumermeer, Brandemeer, Fluessen, Groote Brekken, Heegermeer, Koevorder, Langweerderwielen, Leijen de, Pikmeer, Sitebuurster EE, Slotermeer, Smalle Eesterzanding, Sneekermeer, Sondelerleien, Tjeukermeer, Wijde EE, Zandmeer.

**OVERIGE MEREN**

Binnenschelde, Duiningerveer, Geerplas, Gr.vogelzang, Schutsloterwilde.

**UTRECHTSE EN ZUIDHOLLANDSE VEENPLASSEN**

Braassemmermeer, Breukeleveenseplas, Hollandse Ankeveense Plassen, Nieuwkoopnoord, Nieuwkoopzuid, Reeuwijk 13408, Reeuwijk 13409, Westeinderplassen.

**ZUIDHOLLANDSE WATEREN**

Haringvliet, Volkerakzoommeer.

**MARKERMEER**

Markermeer 1	Rijpcijfers (ij 101) 1982.
Markermeer 2	Rijpcijfers (ij 106) 1982.
Markermeer 3	Rijpcijfers (ij 107) 1982.
Markermeer 4	Liz van Duin (ij 111 diepte 0.5 m) 1987-1989.
Markermeer 5	Liz van Duin (ij 111 diepte 2.0 m) 1987-1989.
Markermeer 6	Liz van Duin (ij 112 diepte 0.5 m) 1987-1989.
Markermeer 7	Liz van Duin (ij 112 diepte 1.5 m) 1987-1989.
Markermeer 8	WORSO (m111) 1986-1994.
Markermeer 9	(ij 111) 1982-1984.
Markermeer 10	(ij 112) 1984-1985.

**RANDMEREN**

Drontermeer	
Eemmeer 1	Bakema 1973-1978.
Eemmeer 2	WORSO (ij 129) 1986-1994.
Veluwemeer 1	Bakema 1978-1984.
Veluwemeer 2	1991-1992.
Veluwemeer 3	Vlot 1 en 2
Veluwemeer 4	WORSO (vel 8) 1987-1993.
Wolderwijd 1	Bakema 1978-1984.
Wolderwijd 2	Buitenveld N9 W6 WNL WOL 1991-1992.
Wolderwijd 3	WORSO 1987-1993.
Wolderwijd 4	Wol&vei 1989-1990.

**IJSSELMEER**

IJsselmeer 1	WORSO (ij 1) 1986-1994.
IJsselmeer 2	WORSO (ij 23) 1986-1994.
IJsselmeer 3	Bakema (ij 1, 2, 24, 20, 23, 9, 25).

	A-380nm		A-380nm
Beesd	3-4	Bergumermeer	** 21
Belterwijde	3-10	Brandemeer	** 21
Binnenschelde	2-3	Fleussen	** 21
Braassemmermeer	* 12.8	Gr. Brekken	** 21
Breukeleveenseplas	5-11	Heegermeer	** 21
Drontermeer	** 4	Koelvordermeer	** 21
Duiningermeer	0.4	Langweerderwielen	** 21
Eemmeer	** 8	Leijen	** 21
Geerplas	1.8-16	Pikmeer	** 21
Gr.vogel 2	** 8	Siterbuurster EE	** 21
Haringvliet	** 3	Slotermeer	** 21
Hol.Ankeveense Plas	** 8	Smalle Eesterzanding	** 21
IJsselmeer	* 3	Sneekermeer	** 21
Markermeer	* 4	Sondelerleien	* 21
Nieuwkoopnoord	** 8	Tjeukermeer	** 21
Nieuwkoopzuid	** 8	Wijde EE	** 21
Reeuwijkse plas	*6.4-8.8	Zandmeer	** 21
Schutsloterwijde	** 8		
Veluwemeer	* 3		
Volkerakzoom meer	2.5-3		
Westeinderplassen	** 8		
Wolderwijd	2-3		

In de kolom A-380 staan de waarden voor de absorptie bij 380 nm.. Een sterretje geeft aan dat de a-380 niet in de betreffende tijdreeks is bepaald maar elders in de literatuur gevonden is. Bij twee sterretjes is er sprake van een aanname.

*Relatie tussen golflengte, golfhoogte en -periode:*

$$C = L/T$$

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \pi} \tanh \left[ \frac{2 \pi z}{L} \right]$$

*Aangepaste windsnelheid:*

$$U_s = c_1 U_{10}^{c_2}$$

*Dimensieloze golfparameters:*

$$\begin{aligned} TT &= g T_s / U_s \\ HH &= g H_s / U_s^2 \\ FF &= g F / U_s^2 \\ ZZ &= g z / U_s^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TT &= c_3 f_1 \tanh [f_1^2 / f_1] \\ HH &= c_4 f_2 \tanh [f_2^2 / f_2] \end{aligned}$$

*Parameters en constanten:*

$$\begin{aligned} c_1 &= 0.537 \\ c_2 &= 1.23 \\ c_3 &= 7.54 \\ c_4 &= 0.283 \\ f_1^2 &= \tanh [0.833 ZZ^{0.375}] \\ f_2^2 &= \tanh [0.530 ZZ^{0.75}] \\ f_1^2 &= \tanh [0.077 FF^{0.25}] \\ f_2^2 &= \tanh [0.0125 FF^{0.42}] \end{aligned}$$

*Berekening orbitaalsnelheid:*

$$u_b = \frac{\pi H_s}{T_s} / \sinh \left[ \frac{2 \pi z}{L} \right]$$



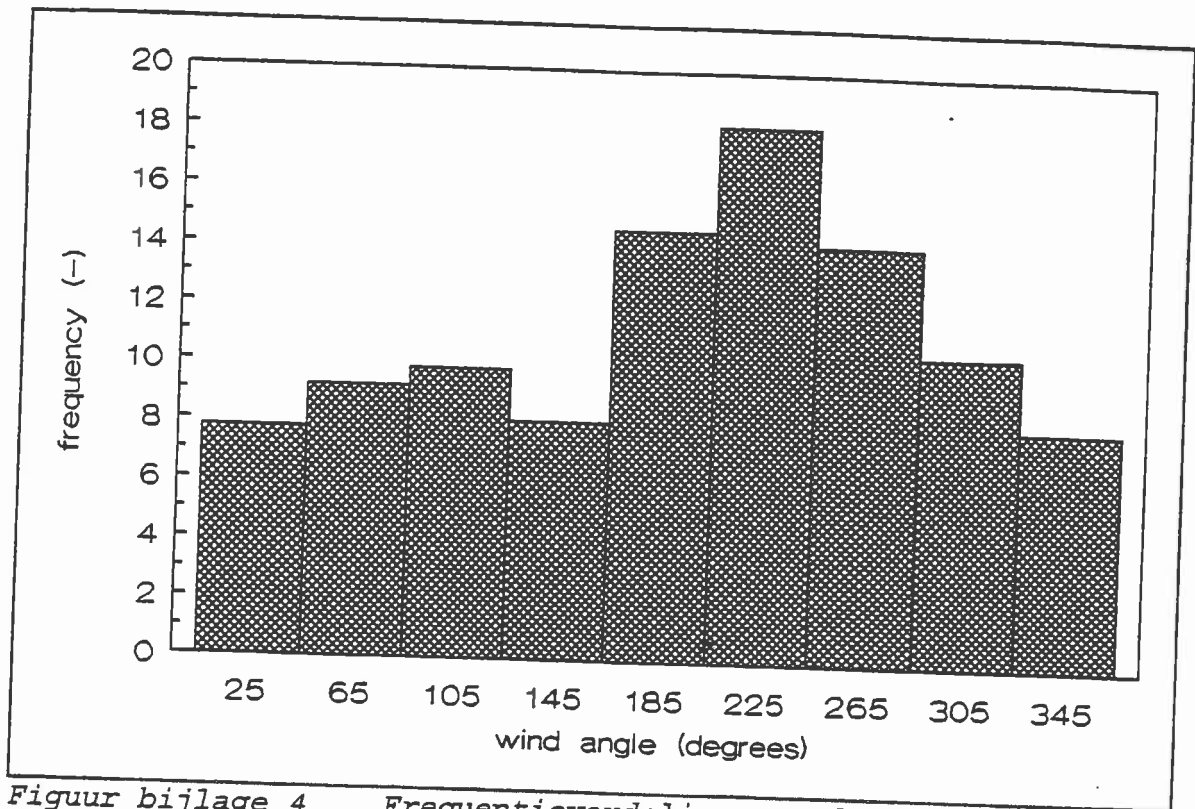
## SYMBOLLEN

### Symbolen:

$c_i$	:	constante
$C$	:	golfsnelheid ( $m s^{-1}$ )
$f_i$	:	functie van de dimensieloze diepte
$f_i^F$	:	functie van de dimensieloze strijklengte
$F$	:	strijklengte (m)
$FF$	:	dimensieloze strijklengte-parameter
$g$	:	gravitatieversnelling (ca. $9.8 m s^{-2}$ )
$H_s$	:	significante golfhoogte (m)
$HH$	:	dimensieloze golfhoogte-parameter
$L$	:	golflengte (m)
$T$	:	golfperiode (s)
$T_s$	:	significante golfperiode (s)
$TT$	:	dimensieloze golfperiode-parameter
$u_b$	:	maximale orbitaalsnelheid ( $m s^{-1}$ )
$U_{10}$	:	windsnelheid op 10 meter hoogte ( $m s^{-1}$ )
$U_a$	:	aangepaste windsnelheid ( $m s^{-1}$ )
$z$	:	diepte (m)
$zz$	:	dimensieloze diepte-parameter

### Toelichting:

De significante golfhoogte en -periode worden berekend als het gemiddelde van de 33% hoogste golven.



*Figuur bijlage 4 Frequentieverdeling van de windrichting; gemiddelde van 1987 - 1986 bij Lelystad*

	k1*10	k3*100	ka	Tau	k2*10	st.ft. randm	st.ft. combitot	T-toets 95%
gumermeer	6,82	8,94	0,80	4,28	7,38	0,085	0,068	N
ndemeer	9,88	3,38	1,69	4,22	7,00	0,078	188,37	N
essen	12,98	4,55	1,48	4,37	7,02	0,117	0,087	R
ote Brekken	7,80	0,71	0,39	1,56	2,39	0,085	0,090	R
egermeer	9,02	1,50	0,70	2,29	5,92	0,108	0,070	R
evorder	8,69	1,46	1,50	3,75	7,50	0,090	0,075	R
gweerderwielen	12,13	2,88	1,13	3,41	7,00	0,084	0,071	R
en de	9,59	2,01	1,01	2,76	6,53	0,141	0,071	R
meer	14,68	5,03	3,43	8,65	8,93	0,055	0,050	N
ebuurstster EE	6,02	5,00	1,79	4,89	10,29	0,067	0,050	R
ermeer	9,79	2,82	1,30	3,80	7,11	0,064	0,049	N
alle Eesterzanding	13,15	9,23	2,32	4,71	7,28	0,156	0,098	R
ekermeer	12,29	5,70	2,09	5,38	6,69	0,066	0,070	N
ndelerleien	10,75	3,08	1,89	3,75	5,91	0,123	0,091	R
kermeer	9,67	0,97	0,93	2,84	6,23	0,068	0,065	R
ide EE	12,62	7,06	2,36	4,55	5,74	0,112	0,082	R
rdmeer	12,42	10,48	2,32	3,65	3,64	0,082	0,091	R
ermeer 1	9,71	4,25	2,05	6,60	7,00	0,210	0,208	N
ermeer 2	12,18	5,40	2,65	8,88	7,92	0,117	0,117	N
kermeer 3	7,38	6,50	4,00	8,76	8,72	0,213	0,215	R
kermeer 4	10,66	6,42	3,18	6,69	8,73	0,282	0,279	R
kermeer 5	5,47	2,90	2,05	5,88	9,40	0,278	0,227	N
kermeer 6	10,59	6,09	3,01	8,37	8,47	0,085	0,095	N
kermeer 7	10,56	6,00	2,96	8,28	8,40	0,094	0,092	N
kermeer 8	9,23	2,50	1,75	8,00	10,00	0,189	0,188	N
kermeer 9	6,88	6,21	3,05	7,36	9,71	0,100	0,097	N
kermeer 10	5,30	5,97	2,05	5,30	9,50	0,107	0,101	N
sd	10,34	8,65	7,21	8,91	8,91	0,148	0,137	R
erwijde	10,50	8,00	3,05	7,50	10,50	0,071	1,270	N
enscheide	7,28	6,56	5,05	7,06	6,10	0,275	0,251	N
assammermeer	7,81	1,94	0,91	2,72	1,91	0,284	0,113	N
akeleveenseplas	8,16	2,50	2,05	5,88	7,00	0,145	0,124	N
tingermeer	14,80	2,90	2,39	3,68	4,96	0,252	0,101	R
erplas	11,06	4,26	2,17	7,50	9,13	0,108	0,104	N
ogelz	10,27	2,54	1,67	5,25	7,59	0,066	0,060	R
Ankeveense Plas	6,25	3,56	1,75	6,96	9,00	0,253	0,248	N
oopnoord	7,71	5,20	1,50	4,58	6,40	0,091	0,095	N
oopzuid	7,30	3,44	2,79	8,44	10,34	0,098	0,098	N
uwwijk 08	11,60	3,80	2,00	7,30	8,60	0,098	0,096	N
uwwijk 09	7,20	3,09	1,25	5,33	8,96	0,053	0,051	N
tsloterwijde	2,51	3,07	2,76	4,26	11,66	0,092	0,086	R
teinderplassen	12,48	6,05	2,98	9,66	8,44	0,100	0,099	N
termeer	8,99	5,08	3,07	7,39	5,58	0,067	0,065	N
meer 1	9,68	3,91	2,68	8,91	10,06	0,142	0,139	N
meer 2	9,74	4,01	2,76	9,01	10,13	0,103	0,099	N
wmeer 1	6,82	3,85	2,88	7,53	9,81	0,109	0,112	N
wmeer 2	5,62	4,34	3,22	4,09	6,74	0,140	0,098	R
wmeer 3	5,01	4,92	2,93	5,02	6,06	0,257	0,193	N
wmeer 4	5,21	4,86	6,67	9,92	10,07	0,119	0,102	N
derwijd 1	6,59	5,87	4,57	8,36	8,01	0,067	0,066	N
derwijd 2	5,62	4,34	3,22	4,01	6,70	0,253	1,156	R
derwijd 4	5,46	4,90	4,76	7,16	8,76	0,130	0,120	R
derwijd 3	5,44	4,90	4,76	6,81	8,73	0,093	0,073	R
meer 1	7,08	2,69	2,13	7,79	9,86	0,212	0,217	N
meer 2	12,13	5,32	2,61	8,78	7,86	0,218	0,220	R
meer 3	6,74	6,11	3,01	9,73	8,48	0,292	0,278	R
agvliet	7,38	2,84	2,42	7,63	9,53	0,092	0,094	N
erakzoommeer	8,08	2,38	2,05	9,38	8,94	0,632	0,607	R

T-TOETS 95%

BIJLAGE 7

KOLOM	1	2	3	4	5	
	<b>FRIESE MEREN</b>					
Bergumermeer	R	R	N	N	N	
Brandemeer	R	N	N	N	N	
Fluessen	R	N	R	N	N	
Groote Brekken	N	N	R	N	N	
Heegermeer	R	N	R	N	N	
Koeverdier	R	N	R	N	N	
Langweerderwielen	R	R	R	N	N	
Leijen de	R	N	R	N	N	
Pikmeer	N	N	N	N	N	
Sitebuurster EE	R	N	R	N	N	
Slotermeer	N	N	N	N	N	
Smalle Eesterzanding	R	N	N	N	N	
Sneekermeer	N	N	N	N	N	
Sondelerleien	R	N	R	N	N	
Tjeukermeer	R	N	R	N	N	
Wijde EE	R	N	R	N	N	
Zandmeer	R	N	R	N	N	
	<b>MARKERMEER</b>					
Markermeer 1	N	N	N	N	N	
Markermeer 2	N	N	N	N	N	
Markermeer 3	N	N	R	N	N	
Markermeer 4	N	R	R	N	R	
Markermeer 5	N	N	N	N	R	
Markermeer 6	N	R	N	R	R	
Markermeer 7	N	N	N	N	R	
Markermeer 8	N	N	N	R	R	
Markermeer 9	N	N	N	R	R	
Markermeer 10	N	N	N	R	R	
	<b>UTRECHTSE EN ZUIDHOLLANDSE VEENPLASSEN</b>					
Braassemmermeer	N	N	N	R	N	
Breukeleveenseplas	N	N	N	N	N	
Hol. Ankeveense Plas	N	N	N	R	N	
Nieuwkoopnoord	N	N	N	N	N	
Nieuwkoopzuid	N	N	N	N	N	
Reeuwijk 08	N	N	N	N	N	
Reeuwijk 09	N	N	N	N	N	
Westeinderplassen	N	R	N	N	N	
	<b>OVERIGE MEREN</b>					
Beesd	N	N	R	R	R	
Belterwijde	N	R	N	N	R	
Binnenschelde	R	N	N	R	R	
Duiningermeer	R	N	R	R	R	
Geerplas	N	N	N	R	R	
Gr. vogelz	N	N	R	R	R	
Schutsloterwijde	R	N	R	R	N	
	<b>RANDMEREN</b>					
Drontermeer	N	N	N	N	N	
Eemmeer 1	N	N	N	N	N	
Eemmeer 2	N	N	N	N	N	
Veluwemeer 1	N	N	N	N	N	
Veluwemeer 2	R	N	R	N	N	
Veluwemeer 3	N	N	N	N	N	
Veluwemeer 4	N	N	N	N	N	
Wolderwijd 1	R	N	N	N	N	
Wolderwijd 2	R	R	R	R	N	
Wolderwijd 4	R	N	R	N	R	
Wolderwijd 3	R	R	R	R	R	
	<b>ISSELMEER</b>					
Isselmeer 1	R	N	N	N	R	
Isselmeer 2	R	N	R	N	R	
Isselmeer 3	R	N	R	N	R	
	<b>ZUIDHOLLANDS WATEREN</b>					
Haringvliet	R	2	3	4	5	
Volkerakzoommeer	R	R	R	R	R	

T-toets 95%  
R = significant verschil  
N = geen significant verschil

1 gemeten  
randmereninsetting

2 gemeten  
globopt

3 globopt  
randmereninsetting

4 gemeten  
kwartaal

5 kwartaal  
randmereninsetting

	grenzen 4-15 k1*10	0.1-5 k3*100	ka	Tau	k2*10	st.ft. randmi.	st.ft. Tau,k2,ka
Bergumermeer	12,51	4,01	2,75	7,4	10	0,085	
Brandemeer	10,60	1,16	2,75	7,4	10	0,078	
Fluessen	10,60	0,10	2,75	7,4	10	0,117	
Groote Brekken	10,21	2,65	2,75	7,4	10	0,085	
Heegermeer	9,87	0,71	2,75	7,4	10	0,108	
Koelvorder	10,43	0,36	2,75	7,4	10	0,09	
Langweerderwielen	10,55	2,55	2,75	7,4	10	0,084	
Leijen de	12,36	0,10	2,75	7,4	10	0,141	
Pikmeer	9,50	0,10	2,75	7,4	10	0,055	
Sitebuurster EE	12,33	0,49	2,75	7,4	10	0,067	
Slotermeer	10,04	1,29	2,75	7,4	10	0,064	
Smalle Eesterzanding	14,55	0,10	2,75	7,4	10	0,156	
Sneekermeer	9,50	3,89	2,75	7,4	10	0,066	
Sondelerleien	11,92	0,10	2,75	7,4	10	0,123	
Tjeukermeer	11,68	0,82	2,75	7,4	10	0,068	
Wijde EE	12,01	1,21	2,75	7,4	10	0,112	
Zandmeer	10,27	3,08	2,75	7,4	10	0,082	
Markermeer 1	5,20	0,10	2,75	7,4	10	0,21	0,199
Markermeer 2	4,05	1,30	2,75	7,4	10	0,117	0,121
Markermeer 3	5,31	3,86	2,75	7,4	10	0,213	0,211
Markermeer 4	6,11	5,00	2,75	7,4	10	0,282	0,281
Markermeer 5	5,54	4,76	2,75	7,4	10	0,278	0,278
Markermeer 6	5,70	5,00	2,75	7,4	10	0,085	0,085
Markermeer 7	5,64	3,80	2,75	7,4	10	0,094	0,093
Markermeer 8	7,33	0,10	2,75	7,4	10	0,189	0,191
Markermeer 9	7,05	2,13	2,75	7,4	10	0,1	0,097
Markermeer 10	7,29	4,62	2,75	7,4	10	0,107	0,103
Beesd	8,50	0,10	2,75	7,4	10	0,148	0,143
Belterwijde	13,24	0,10	2,75	7,4	10	0,071	0,057
Binnenscheide	4,00	0,10	2,75	7,4	10	0,275	0,222
Braassemmermeer	13,60	0,34	2,75	7,4	10	0,284	0,215
Breukeleveenseplas	5,63	0,10	2,75	7,4	10	0,145	0,146
Duiningermeer	15,00	5,00	2,75	7,4	10	0,252	0,153
Geerplas	6,18	4,56	2,75	7,4	10	0,108	0,11
Gr.vogelz	7,01	0,77	2,75	7,4	10	0,066	0,061
Hollandse Ankeveense Plas	4,00	0,10	2,75	7,4	10	0,253	0,276
Nieuwkoopnoord	5,10	0,35	2,75	7,4	10	0,091	0,093
Nieuwkoopzuid	4,80	0,58	2,75	7,4	10	0,098	0,098
Reeuwijk 08	6,07	0,10	2,75	7,4	10	0,098	0,1
Reeuwijk 09	5,85	4,22	2,75	7,4	10	0,053	0,056
Schutsloterwijde	15,00	4,18	2,75	7,4	10	0,092	0,096
Westeinderplassen	4,89	2,18	2,75	7,4	10	0,1	0,092
Drontermeer	7,46	5,00	2,75	7,4	10	0,067	0,066
Eemmeer 1	7,02	0,10	2,75	7,4	10	0,142	0,132
Eemmeer 2	7,37	3,60	2,75	7,4	10	0,103	0,098
Veluwemeer 1	6,07	5,00	2,75	7,4	10	0,109	0,109
Veluwemeer 2	9,50	5,00	2,75	7,4	10	0,14	0,117
Veluwemeer 3	5,71	5,00	2,75	7,4	10	0,257	0,245
Veluwemeer 4			2,75	7,4	10	0,119	
Wolderwijd 1	7,86	4,64	2,75	7,4	10	0,067	0,064
Wolderwijd 2	10,60	0,10	2,75	7,4	10	0,253	0,213
Wolderwijd 4	8,63	1,36	2,75	7,4	10	0,13	0,122
Wolderwijd 3			2,75	7,4	10	0,093	
IJsselmeer 1	4,00	0,10	2,75	7,4	10	0,212	0,215
IJsselmeer 2	4,41	1,34	2,75	7,4	10	0,218	0,222
IJsselmeer 3	4,00	0,10	2,75	7,4	10	0,292	2,77
Haringvliet	6,07	1,08	2,75	7,4	10	0,092	0,095
Volkerakzoommeer	4,00	0,10	2,75	7,4	10	0,632	0,614

FRIESE MEREN

	st. ft. randmin.	st. ft. combitot	st. ft. Tauk2ka	st. ft. cluster
Bergumermeer	0,085	0,068		0,078
Brandemeer	0,078	188,365		0,067
Fluessen	0,117	0,087		0,096
Groote Brekken	0,085	0,090		0,081
Heegermeer	0,108	0,070		0,087
Koelvorder	0,090	0,075		0,078
Langweerderwielen	0,084	0,071		0,077
Leijen de	0,141	0,071		0,108
Pikmeer	0,055	0,050		0,050
Sitebuurster EE	0,067	0,050		0,054
Slotermeer	0,064	0,049		0,054
Smalle Eesterzanding	0,156	0,098		0,130
Sneekermeer	0,066	0,070		0,064
Sondelerleien	0,123	0,091		0,097
Tjeukermeer	0,068	0,065		0,062
Wijde EE	0,112	0,082		0,093
Zandmeer	0,082	0,091		0,074

MARKERMEER

	st. ft. randmin	st. ft. combitot	st. ft. Tauk2ka	st. ft. cluster
Markermeer 1	0,210	0,208	0,199	0,197
Markermeer 2	0,117	0,117	0,121	0,118
Markermeer 3	0,213	0,215	0,211	0,213
Markermeer 4	0,282	0,279	0,281	0,284
Markermeer 5	0,278	0,227	0,278	0,279
Markermeer 6	0,085	0,095	0,085	0,089
Markermeer 7	0,094	0,092	0,093	0,094
Markermeer 8	0,189	0,188	0,191	0,201
Markermeer 9	0,100	0,097	0,097	0,103
Markermeer 10	0,107	0,101	0,103	0,113

UTRECHTSE EN ZUIDHOLLANDSE VEENPLASSEN

	st. ft. randmin	st. ft. combitot	st. ft. Tauk2ka	st. ft. cluster
Braassemmermeer	0,284	0,113	0,215	0,220
Breukeleveenseplas	0,145	0,124	0,146	0,125
Hol. Ankeveense Plas	0,253	0,248	0,276	0,220
Nieuwkoopnoord	0,091	0,095	0,093	0,091
Nieuwkoopzuid	0,098	0,098	0,098	0,100
Reeuwijk 08	0,098	0,096	0,100	0,097
Reeuwijk 09	0,053	0,051	0,056	0,055
Westeinderplassen	0,100	0,099	0,092	0,091

### OVERIGE MEREN

	st. ft. randmin	st. ft. combitot	st. ft. Tauk2ka	st. ft. cluster
Beesd	0,148	0,137	0,143	0,168
Belterwilde	0,071	1,270	0,057	0,101
Binnenschelde	0,275	0,251	0,222	0,455
Duiningmeer	0,252	0,101	0,153	0,108
Geerplas	0,108	0,104	0,110	0,153
Gr.vogelz	0,066	0,060	0,061	0,072
Schutsloterwilde	0,092	0,086	0,096	0,096

### RANDMEREN

	st. ft. randmin	st. ft. combitot	st. ft. Tauk2ka	st. ft. cluster
Drontermeer	0,067	0,065	0,066	0,066
Eemmeer 1	0,142	0,139	0,132	0,128
Eemmeer 2	0,103	0,099	0,098	0,099
Veluwemeer 1	0,109	0,112	0,109	0,118
Veluwemeer 2	0,140	0,098	0,117	0,117
Veluwemeer 3	0,257	0,193	0,245	0,228
Veluwemeer 4	0,119	0,102		0,105
Wolderwijd 1	0,067	0,066	0,064	0,063
Wolderwijd 2	0,253	1,156	0,213	0,224
Wolderwijd 4	0,130	0,120	0,122	0,121
Wolderwijd 3	0,093	0,073		0,081

### IJSSELMEER

	st. ft. randmin	st. ft. combitot	st. ft. Tauk2ka	st. ft. cluster
IJsselmeer 1	0,212	0,217	0,215	0,222
IJsselmeer 2	0,218	0,220	0,222	0,223
IJsselmeer 3	0,292	0,278	2,770	0,302

### ZUIDHOLLANDSE WATEREN

	st. ft. randmin	st. ft. combitot	st. ft. Tauk2ka	st. ft. cluster
Haringvliet	0,092	0,094	0,095	0,108
Volkerakzoommeer	0,632	0,607	0,614	0,609

st. ft. = standaardfout tussen de gemeten en berekende secchidiepten

Parametercombinaties gebruikt in het model UITZICHT

randmin	= standaard randmereninstelling
combitot	= combitotaal bijlage 2
Tauk2ka	= tau, k2 en ka vastgezet bijlage 4
cluster	= clusters (op basis van kwartaalgemiddelden)

- gemiddelde chlorofyl, zwevende stof en gloeirest concentraties.
- gemiddelde strijklengte Zuid West (karakteristieke strijklengte).
- gemiddelde diepte en oppervlak
- Cgem (zwevende stof min gewicht algen)
- Cber (zwevende stof min algen, berekend met K/Ws)
- K/Ws

## FRIESE PLASSEN

	chlo ug/l	zw mg/l	gloei mg/l	gem ZW		Opp. km-2	Cgem mg/l	Cber mg/l	K/Ws
				strijkl. meter	diepte meter				
Brandemeer	72,08	30,00	0,00	750	2	0,6	24,95	25,97	783
Sitebuurster EE	56,80	24,45	0,00	250	2	0,7	20,47	26,01	642
Smalle Eesterzanding	61,64	34,36	0,00	500	0,8	0,5	30,05	26,01	942
Sondelerleien	60,95	30,19	0,00	250	n.a.	0,4	25,92	26,01	812
Zandmeer	64,84	33,07	0,00	500	1,2	0,3	28,53	26,01	894
Wijde EE	54,08	24,64	0,00	500	1,5	1	20,85	26,01	653

## FRIESE MEREN

	chlo ug/l	zw mg/l	gloei mg/l	gem ZW		Opp. km-2	Cgem mg/l	Cber mg/l	K/Ws
				strijkl. meter	diepte meter				
Bergumermeer	79,12	28,84	0,00	1500	1,25	4	23,30	29,33	314
Fluessen	81,28	37,04	0,00	1500	1,5 <sup>z</sup>	12	31,35	29,76	416
Groote Brekken	68,08	30,56	0,00	1000	2	3,5	25,79	28,74	354
Heegermeer	90,72	37,87	0,00	1500	2	6,5	31,52	28,75	433
Koelvorder	79,56	38,43	0,00	1000	1	3,5	32,86	29,70	437
Langweerderwielen	69,92	25,92	0,00	1000	1,3	2	21,03	29,70	280
Leijen de	90,12	28,16	0,00	1500	1	3	21,85	30,29	285
Pikmeer	65,72	41,92	0,00	1000	1,5	1,8	37,32	29,70	496
Slotermeer	89,04	45,00	0,00	2500	1,7	9,5	38,77	28,83	531
Sneekermeer	64,40	26,96	0,00	1500	1,5	5	22,45	29,76	298
Tjeukermeer	78,75	26,50	0,00	3500	1,7	18	20,99	35,08	236

## MARKERMEER

	chlo ug/l	zw mg/l	gloei mg/l	gem ZW		Opp. km-2	Cgem mg/l	Cber mg/l	K/Ws
				strijkl. meter	diepte meter				
Markermeer 1	51,76	30,08	20,32	43125	3,7	700	26,46	37,79	440
Markermeer 2	70,70	32,94	21,48	43125	3,7	700	27,99	37,79	466
Markermeer 3	30,96	31,34	24,93	43125	3,7	700	29,17	37,79	486
Markermeer 4	69,10	44,17	29,54	43125	3,7	700	39,33	37,79	655
Markermeer 5	70,22	45,60	30,55	43125	3,7	700	40,68	37,79	677
Markermeer 6	67,80	50,85	35,65	43125	3,7	700	46,10	37,79	767
Markermeer 7	67,41	51,37	36,10	43125	3,7	700	46,65	37,79	776
Markermeer 8	36,35	52,19	37,05	43125	3,7	700	49,65	37,79	826
Markermeer 9	65,01	43,14	28,58	43125	3,7	700	38,59	37,79	642
Markermeer 10	55,18	37,44	24,26	43125	3,7	700	33,58	37,79	559



## UTRECHTSE EN ZUIDHOLLANDSE VEENPLASSEN

	chlo ug/l	zw mg/l	gloei mg/l	gem ZW strijkl. meter	diepte meter	Opp. km-2	Cgem mg/l	Cber mg/l	K/Ws
Braassemmermeer	122,50	20,13	6,67	1410	3	4,5	11,56	15,12	159
Breukeleveenseplas	44,07	13,43	1,80	1000	1,5	1,3	10,35	15,24	141
Hol.Ankeveense Plas	34,02	11,22	2,79	1000	1,1	0,7	8,84	15,66	117
Nieuwkoopnoord	93,40	16,42	3,81	750	2,3	1,5	9,88	6,63	310
Nieuwkoopzuid	184,91	23,44	5,80	1000	2,5	1,1	10,50	15,12	144
Reeuwijk 08	71,51	21,73	13,27	1000	3	1,5	16,72	15,12	230
Reeuwijk 09	75,19	34,25	26,60	1000	3	1,5	28,99	15,12	399
Westeinderplassen	67,90	16,80	7,03	1600	2,9	8,4	12,05	15,12	166

## OVERIGE MEREN

	chlo ug/l	zw mg/l	gloei mg/l	gem ZW strijkl. meter	diepte meter	Opp. km-2	Cgem mg/l	Cber mg/l	K/Ws
Beesd	19,72	37,26	28,43	100	n.a.	0,05	35,88	18,95	1125
Belterwijde	65,83	13,00	5,74	1400	1	2	8,39	45,53	109
Binnenschede	50,39	50,20	16,44	555	1,5	1,8	46,67	18,96	1463
Duiningmeer	23,22	11,09	5,35	250	n.a.	0,3	9,46	18,95	297
Geerplas	149,39	24,54	5,97	555	2,5	0,24	14,08	18,92	442
Gr.vogelz	92,46	24,32	5,46	555	1,5	0,16	17,85	18,96	559
Schutsloterwijde	126,22	21,00	5,42	1000	n.a.	1,5	12,16	44,66	162

## RANDMEREN

	chlo ug/l	zw mg/l	gloei mg/l	gem ZW strijkl. meter	diepte meter	Opp. km-2	Cgem mg/l	Cber mg/l	K/Ws
Drontermeer	198,36	38,01	9,43	1000	n.a.	2,5	24,12	19,17	321
Eemmeer 1	154,47	38,14	20,42	7500	1,4	18	27,33	33,62	207
Eemmeer 2	118,27	52,37	32,45	7500	1,4	18	44,09	33,62	334
Wolderwijd 1	150,73	34,61	8,55	3000	1,7	20	24,06	22,48	273
Wolderwijd 2	38,84	19,19	8,52	3000	1,7	20	16,47	22,48	187
Wolderwijd 3	91,54	26,34	7,91	3000	1,7	20	19,93	22,48	226
Wolderwijd 4	60,02	25,19	10,18	3000	1,7	20	20,99	22,48	238
Veluwemeer 1	128,65	35,12	14,47	2000	1,35	31	26,11	26,05	354
Veluwemeer 2	45,69	30,76	17,41	2000	1,35	31	27,56	26,05	373
Veluwemeer 3	26,97	25,29	18,47	2000	1,35	31	23,40	26,05	317
Veluwemeer 4	53,43	30,96	17,25	2000	1,35	31	27,22	26,05	369

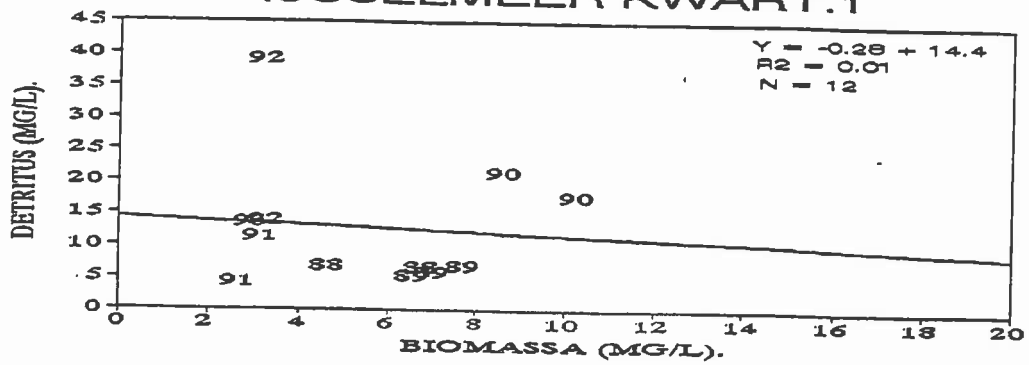
## IJSSELMEER

	chlo ug/l	zw mg/l	gloei mg/l	gem ZW strijkl. meter	diepte meter	Opp. km-2	Cgem mg/l	Cber mg/l	K/Ws
IJsselmeer 1	79,63	35,00	19,77	41125	4,5	1150	29,43	28,10	492
IJsselmeer 2	76,33	34,36	19,43	41125	4,5	1150	29,02	28,10	485
IJsselmeer 3	102,21	32,94	16,49	41125	4,5	1150	25,79	28,10	431

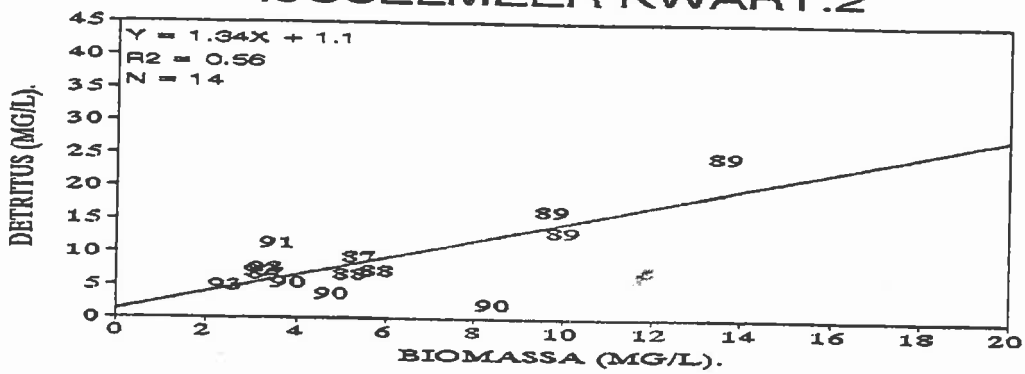
## ZUIDHOLLANDSE WATEREN

	chlo ug/l	zw mg/l	gloei mg/l	gem ZW strijkl. meter	diepte meter	Opp. km-2	Cgem mg/l	Cber mg/l	K/Ws
Haringvliet	8,85	27,15	22,19	10000	n.a.	71	26,53	29,85	109
Volkerakzoommeer	19,07	9,47	4,85	4000	5	45,7	8,14	7,35	136

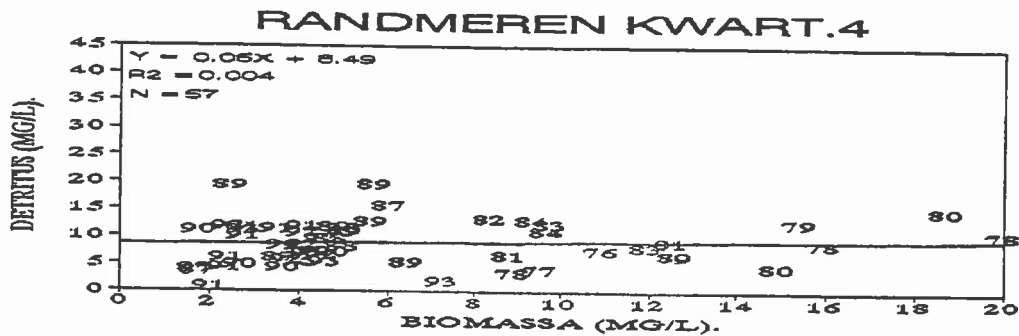
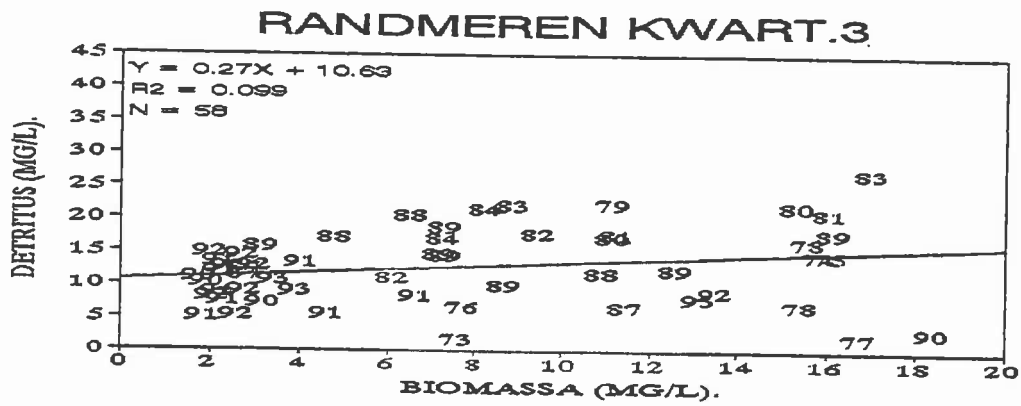
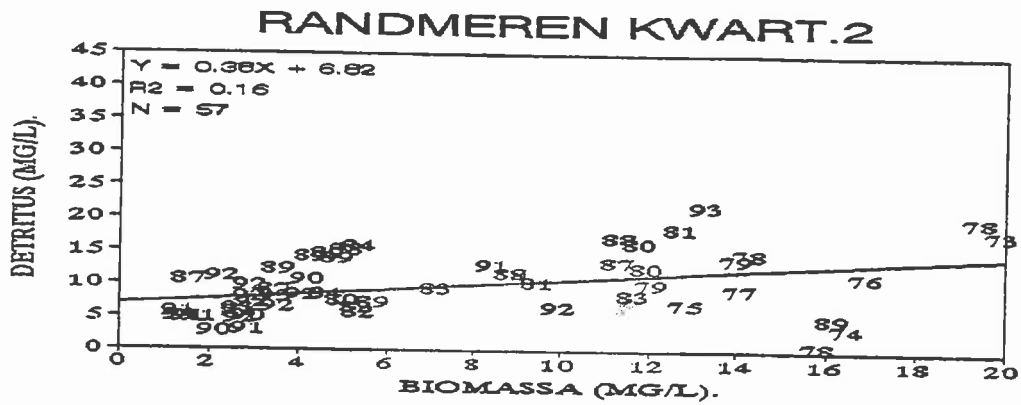
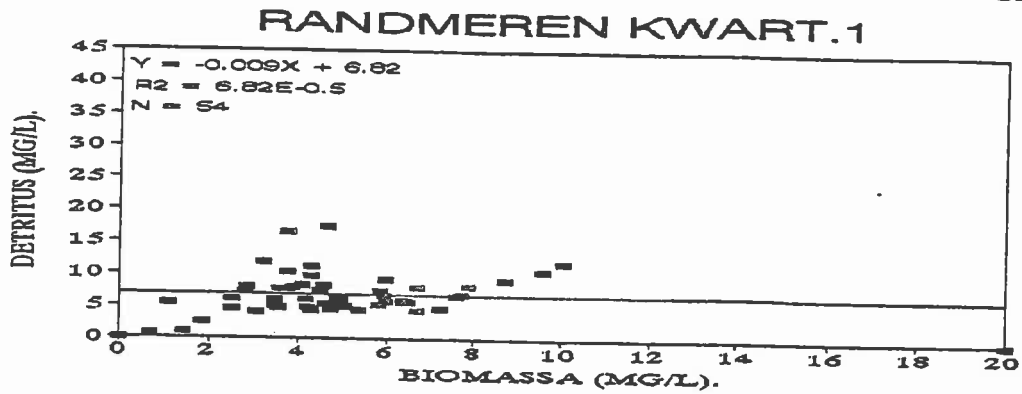
IJSSELMEER KWART.1



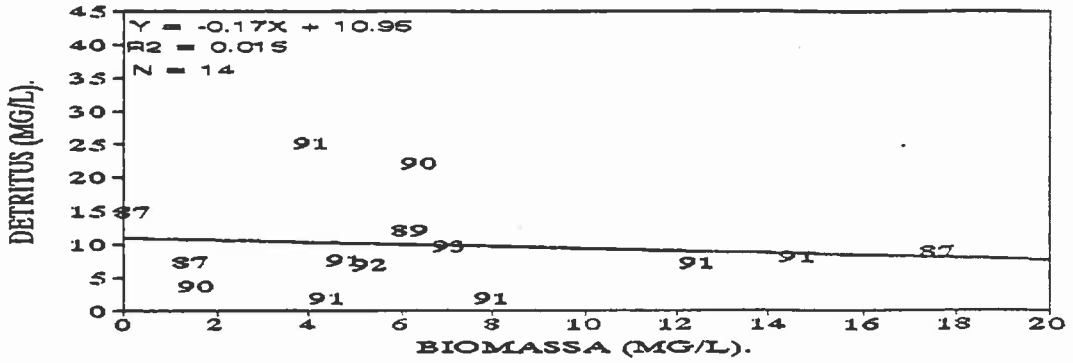
IJSSELMEER KWART.2



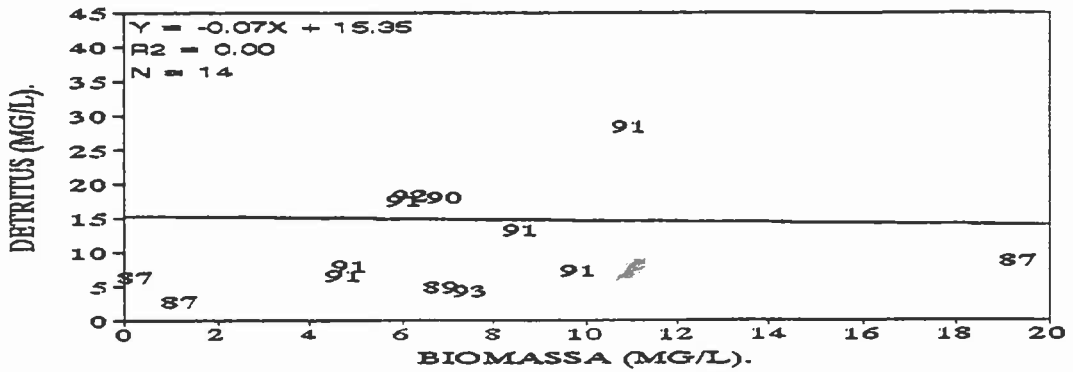




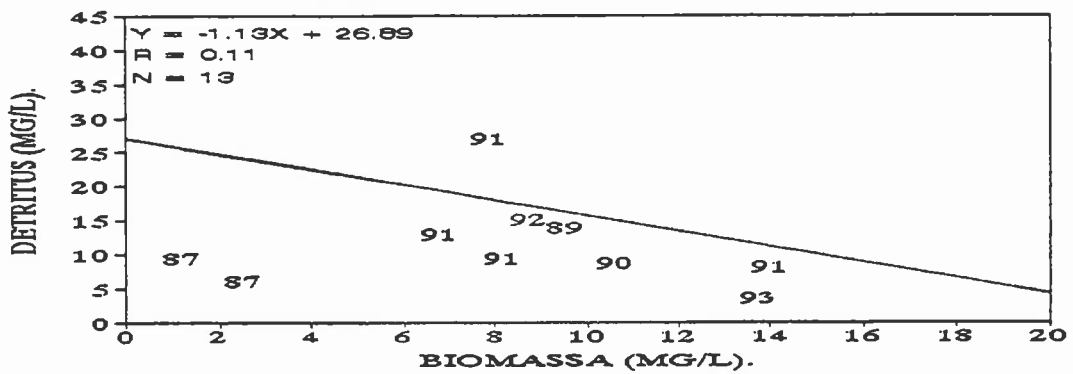
### OVERIGE MEREN KWART.1



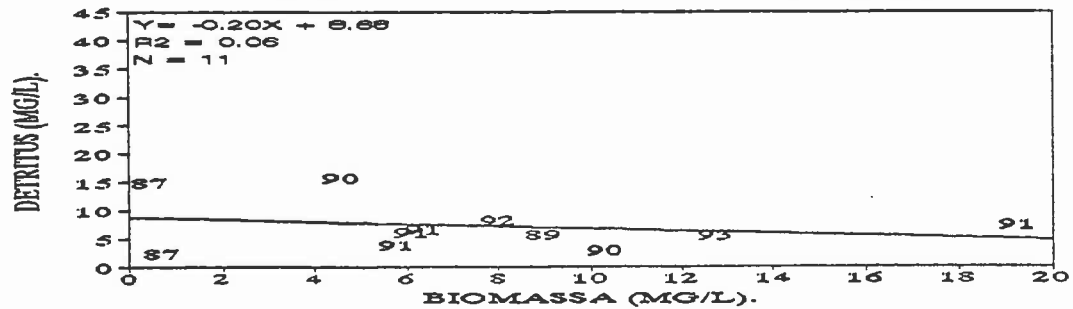
### OVERIGE MEREN KWART.2



### OVERIGE MEREN KWART.3

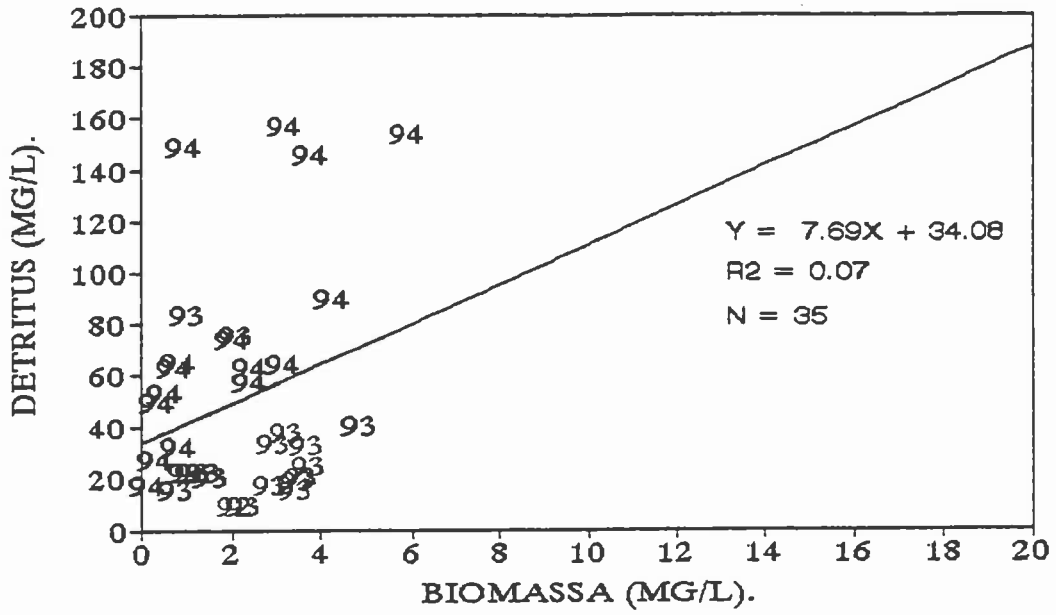


### OVERIGE MEREN KWART.4

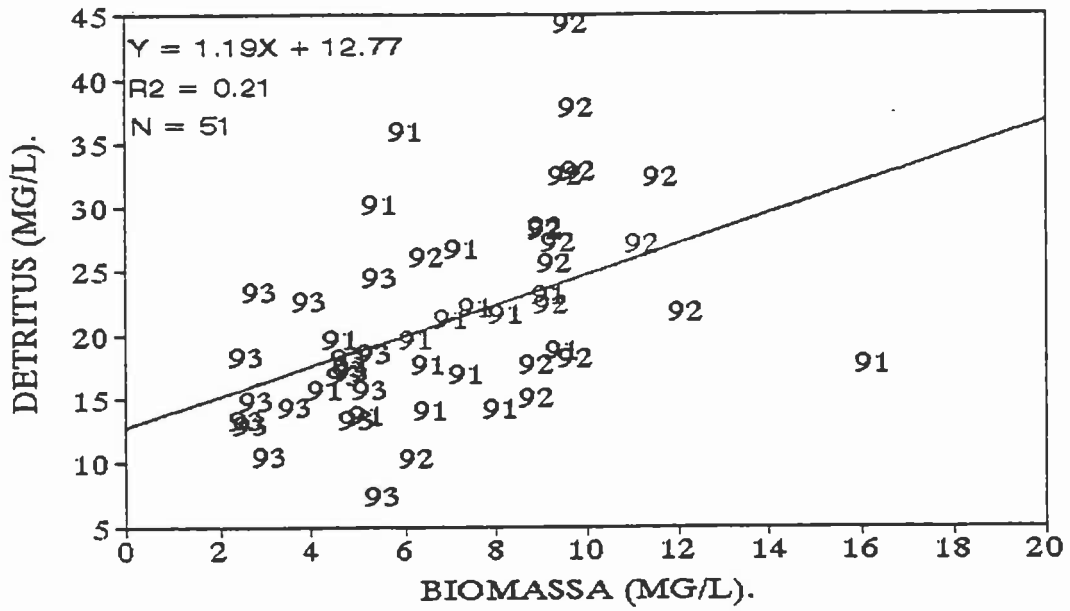




## FRIESLAND KWART 1



## FRIESLAND KWART 2

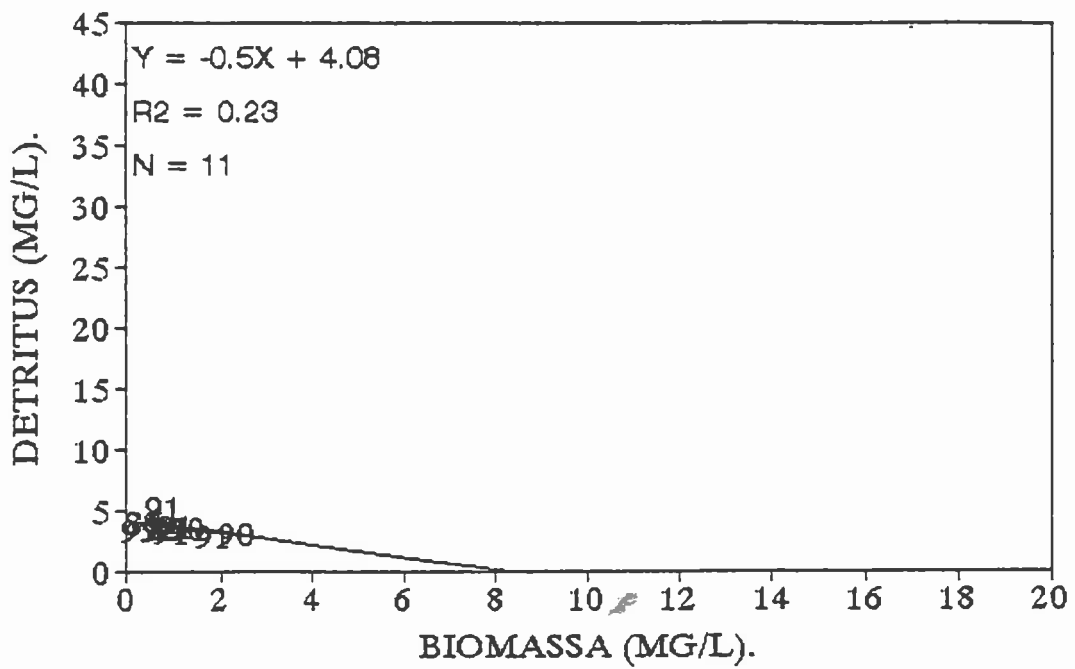


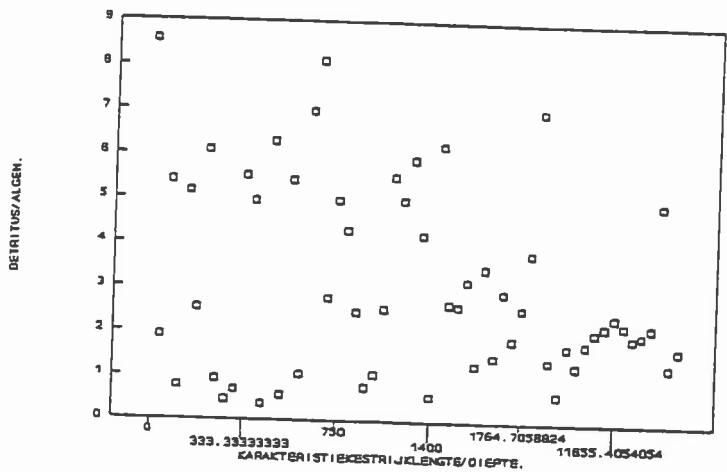




# ZUIDHOLLANDSE WATEREN

KWARTAAL 1, 2, 3 EN 4

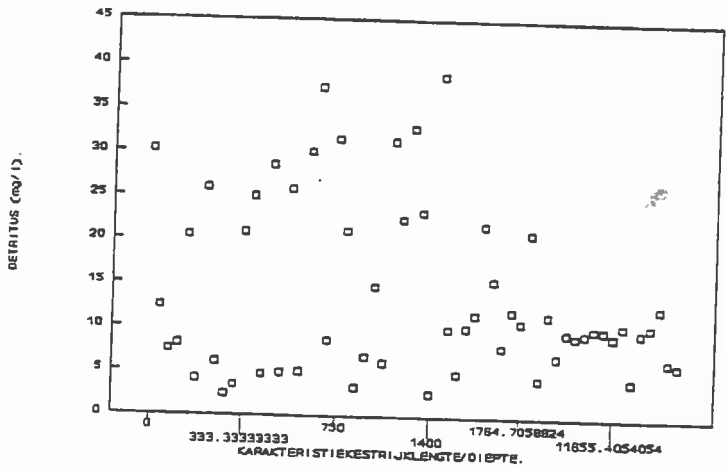




Regressie-uitvoer:

X-as: karakteristiekeestrijk lengte/diepte  
 Y-as: detritus/biomassa algen  
 Constante 3.566708  
 Std. fout geschame Y 2.072656  
 R-kwadraat 0.076095  
 Aantal waarnemingen 58  
 Vrijheidsgraden 56

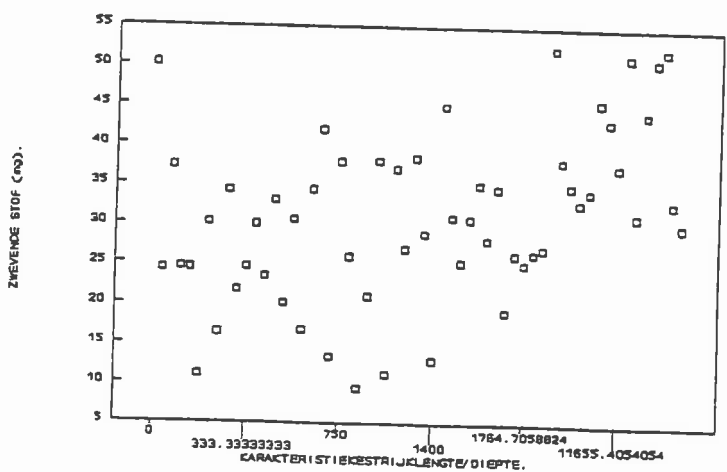
Regr. coëfficiënt(-0.00013  
 Std. fout regr. co0.000063



Regressie-uitvoer:

X-as: karakteristiekeestrijk lengte/diepte  
 Y-as: detritus (mg/l)  
 Constante 16.22404  
 Std. fout geschame Y 9.452530  
 R-kwadraat 0.086836  
 Aantal waarnemingen 58  
 Vrijheidsgraden 56

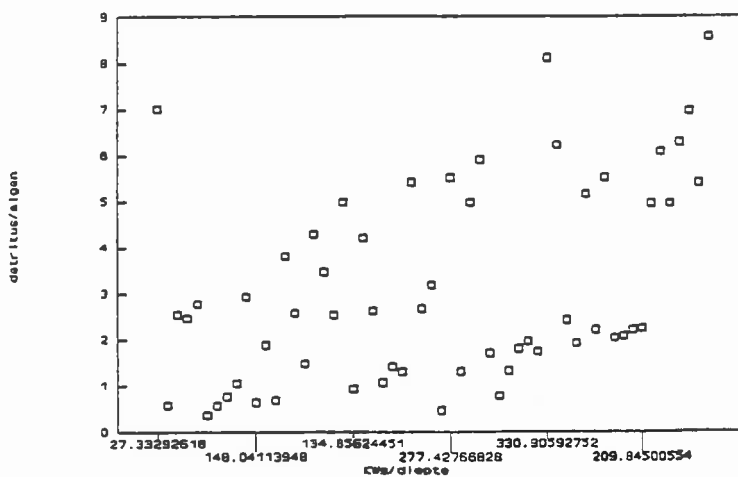
Regr. coëfficiënt(-0.00066  
 Std. fout regr. co0.000288



Regressie-uitvoer:

X-as: karakteristiekeestrijk lengte/diepte  
 Y-as: zwevendestof (mg/l)  
 Constante 26.69824  
 Std. fout geschame Y 9.165075  
 R-kwadraat 0.275503  
 Aantal waarnemingen 58  
 Vrijheidsgraden 56

Regr. coëfficiënt(0.001288  
 Std. fout regr. co0.000279

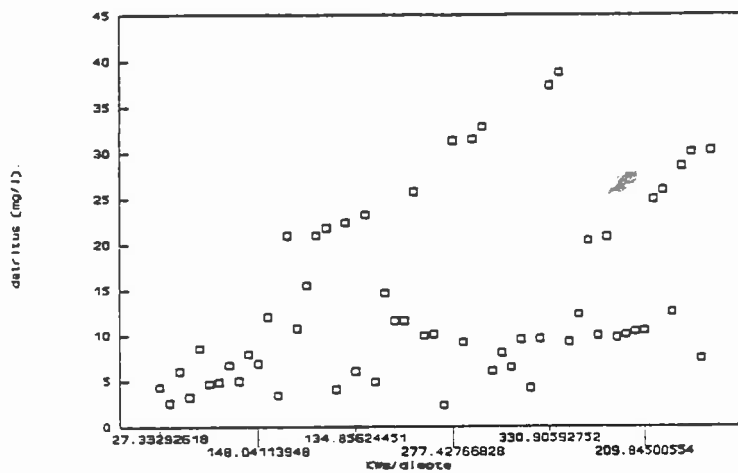


Regressie-uitvoer:

X-as: KW<sub>t</sub>/diepte  
Y-as: detritus/algonbiomassa

Constante 1.278942  
Std. fout geschame Y 1.834783  
R-kwadraat 0.275994  
Aantal waarnemingen 58  
Vrijheidsgraden 56

Regr. coëfficiënt 0.004133  
Std. fout regr. co 0.000894

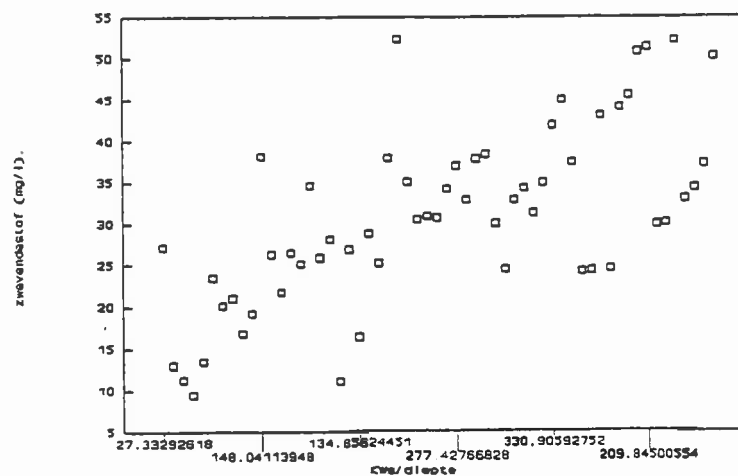


Regressie-uitvoer:

X-as: KW<sub>t</sub>/diepte  
Y-as: detritus (mg/l)

Constante 7.503116  
Std. fout geschame Y 9.039843  
R-kwadraat 0.164831  
Aantal waarnemingen 58  
Vrijheidsgraden 56

Regr. coëfficiënt 0.014654  
Std. fout regr. co 0.004408



Regressie-uitvoer:

X-as: KW<sub>t</sub>/diepte  
Y-as: zwevende stof (mg/l)

Constante 20.12541  
Std. fout geschame Y 8.435587  
R-kwadraat 0.386244  
Aantal waarnemingen 58  
Vrijheidsgraden 56

Regr. coëfficiënt 0.024418  
Std. fout regr. co 0.004113