

Resuspensie, sedimentatie en lichtklimaat in de Breukeleveense Plas

Inleiding

Licht onder water is één van de belangrijkste sturende variabelen voor de ontwikkeling van een aquatisch ecosysteem. De beschikbaarheid van licht nabij de bodem is belangrijk voor de groei van submerse vegetatie. Zicht onder water is voor vissen en vogels die op zicht jagen en voor recreanten op en in het water eveneens van belang. In Nederlandse oppervlaktewateren wordt een zichtdiepte van tenminste 0,4 m (Algemene Milieukwaliteit) tot ten minste 1 m voor zwemwater nagestreefd [AMvB, 1983].



M. LÜRLING
LUW Vakgroep
Waterkwaliteitsbeheer
en Aquatische Oecologie



G. BLOM
LUW Vakgroep
Waterkwaliteitsbeheer
en Aquatische Oecologie



E. VAN DONK
LUW Vakgroep
Waterkwaliteitsbeheer
en Aquatische Oecologie

In de Breukeleveense Plas is sinds de jaren vijftig de zichtdiepte gering door sterke eutrofiëring. Gedurende het gehele jaar worden er zichtdiepten van minder dan 0,5 m gemeten; 's zomers is het doorzicht over het algemeen slechts 0,3 m [Gons, 1987].

In 1989 startte de provincie Utrecht met het restauratieproject 'Breukeleveense Plas'. Door Actief Biologisch Beheer werd geprobeerd het doorzicht in de Breukeleveense Plas te vergroten om zowel de ontwikkeling van een gezond, helder en stabiel ecosysteem te stimuleren als de veiligheid en het plezier van recreatie te vergroten. Na grote inspanningen en het nemen van diverse saneringsmaatregelen, zoals het defosfateren van het inlaatwater sinds 1984 [Van Liere *et al.*, 1992] en het reduceren van de visstand in 1989 [Van Donk *et al.*, 1990], bleek het lichtklimaat niet te verbeteren. De doelstelling van 1 m zichtdiepte werd niet gehaald. Als één van de belangrijkste oorzaken werd de opwerveling van bodemmateriaal (bestaande uit zowel gesedimenteerde algen als detritus) door de grote windinvloed gezien [Van Donk *et al.*, 1993]. In grote, ondiepe en onbeschutte meren kan resuspensie van bodemmateriaal ten gevolge van de door

Samenvatting

Opwerveling van slib kan in ondiepe Nederlandse oppervlaktewateren een aanzienlijke bijdrage leveren aan de uitdoving van het licht onder water. In 1989 werd gepoogd om door Actief Biologisch Beheer, door verwijdering van een groot deel van de planktivore en benthivore visstand, het doorzicht in de Breukeleveense Plas te vergroten. Deze ingreep gaf echter geen verbetering in het onder water lichtklimaat te zien. Als één van de belangrijkste oorzaken voor het uitblijven van succes wordt de door de wind veroorzaakte opwerveling van bodemslib gezien. Deze studie beschrijft het onder water lichtklimaat in de plas. Het onderzoek was gericht op de bijdrage van verschillende componenten en de invloed van wind op de uitdoving van licht en de vermindering van het doorzicht. De extinctiecoëfficiënten en het doorzicht zijn geschat met behulp van het model **UTZICHT**. Met dit model werd inzicht verkregen in de bijdrage van verschillende componenten aan de extinctie en het doorzicht. In de plas blijken algen (ca. 50%) en detritus (ca. 25%) in hoge mate verantwoordelijk voor de uitdoving van licht. Met het model **DYNEX** kon worden afgeleid wat de bijdrage van geresuspendeerd bodemslib aan de extinctie en de afname van het doorzicht is. In het slibrijke zuidwesten van de plas is de bijdrage aan de extinctie gemiddeld 25% resulterend in een afname van het doorzicht van gemiddeld 0,44 tot 0,30 m. In het meer zanderige noordoosten is de bijdrage van resuspensie aan de extinctie gemiddeld 17%, het doorzicht wordt hierdoor gereduceerd van gemiddeld 0,41 tot 0,32 m. In perioden met hevige wind kunnen de bijdragen van resuspensie aan de extinctie oplopen tot 72% in het zuidwesten en tot 44% in het noordoosten van de plas. Tijdens deze perioden blijkt het doorzicht gereduceerd te worden tot 0,13 m in het zuidwesten en tot 0,22 m in het noordoosten van de plas. Voor een verbetering van het doorzicht zullen naast reductie van de planktivore en benthivore visstand aanvullende maatregelen voor de reductie van de slibopwerveling nodig zijn aangezien baggeren, vanwege de extreem hoge kosten, geen reële oplossing blijkt.

de wind veroorzaakte golfbeweging een aanzienlijke bijdrage aan de zwevende stofconcentratie in de waterkolom leveren [Blom, 1989; Gons & Van Keulen, 1989; Blom, 1991; Van Duin, 1992] en daarmee aan de extinctie van licht [Kirk, 1983; Blom, 1992]. De doelstelling in dit onderzoek is de kwantificering van de factoren die bijdragen aan de extinctie van licht in de Breukeleveense Plas. Hiertoe is er gekeken naar de bijdrage van resuspensie van bodemslib door windinvloed aan de extinctie. De bijdragen van verschillende lichtklimaat bepalende componenten aan de extinctie en het doorzicht zijn eveneens gekwantificeerd.

Materialen & methoden

Monsterlokaties

Van 17 juni tot en met 9 september 1992 zijn op 8 verschillende lokaties metingen uitgevoerd en monsters genomen. De monsterpunten 1 tot en met 6 lagen in de 6 in het zuidwesten van de plas gesitueerde enclosures. De monsterpunten 7 en 8 werden gevormd door in het noordoosten en zuidwesten van de plas geïnstalleerde meetplatforms (afb. 1).

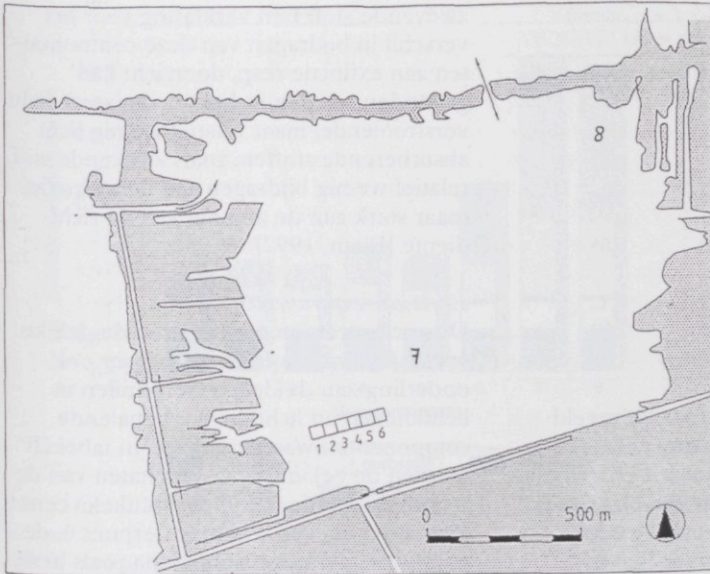
Enclosures

In het zuidwesten van de plas zijn door de provincie Utrecht 6 enclosures met een diepte van circa 1,5 m gesitueerd waarmee

in 1991 het effect van verschillende beheersmaatregelen, onder andere reductie van de visstand, toevoegen van een coagulatiemiddel en baggeren, op het onder water lichtklimaat onderzocht zijn (afb. 1) [Van Donk *et al.*, 1993]. Door de geringe afmetingen, 25 bij 25 m, en de afscheiding van de plas door een stalen damwand is de windinvloed in de enclosures sterk gereduceerd. In 1992 werden de enclosures opnieuw ingericht om vooral inzicht te verkrijgen in de impact van planktivore visbroed, via het voedselketeneffect, op het systeem. Dit resulteerde in een inrichting van de compartimenten zoals weergegeven in tabel I. In dit onderzoek zijn de enclosure experimenten gevolgd om een indruk te verkrijgen van de impact van zowel benthivore vis als planktivore visbroed op het onder water lichtklimaat.

Continu metingen

Op de twee meetplatforms in de plas werd continu de irradiantie op 0,15 en 0,40 m onder het wateroppervlak gemeten. Ook werden op monsterpunt 7 de windsnelheid en -richting gemeten, waarvan elke 2 minuten de gemiddelden werden geregistreerd. Door automatische watermonstername apparatuur werden met 8 uren intervallen 1 l watermonsters op 0,30 m onder het wateroppervlak



Afb. 1 - Ligging enclosures en monsterpunten in de Breukeleveense Plas.

TABEL I - Inrichting van de enclosures en verwachte visbiomassa (Witteveen+Bos, 1993) gedurende het onderzoek in 1992.

Enclosure	Beheersmaatregel vis	Broed	Visbiomassa begin	(kg ha ⁻¹) eind (verwacht)
1	geen	geen	0	0
2	geen	baars + witvis	0,25	50
3	20% populatie plas	geen	24 - 28	60 - 70
4	100% populatie plas	geen	120	150 - 190
5	20% populatie plas	baars + witvis	24 - 28	80 - 120
6	100% populatie plas	baars + witvis	120	150 - 190

genomen, die geanalyseerd werden op zwevende stof en gloeirest volgens NEN 3235.

Wekelijkse metingen

Op elk monsterpunt werden wekelijks 2 l watermonsters genomen en onmiddellijk geanalyseerd op Chlorofyl-*a* (NEN 6520), zwevende stof en gloeirest (NEN 3235), detritusgehalte en absorptie door humuszuren bij 380 nm [Bricaud *et al.*, 1981]. Bovendien werden doorzicht met een Secchi-schijf (NEN 6606) en irradiaties op 0,15 en 0,45 m onder het wateroppervlak gemeten.

Rond elk platform werden zes sedimentvallen [Lüring, 1993] en in elke enclosure werden twee sedimentvallen geplaatst, waarmee gesedimenteerde materiaal kon worden verzameld en sedimentatiefluxen worden bepaald.

Modellen

De op bovenstaande wijze verkregen veldgegevens zijn geëvalueerd met behulp van een tweetal bestaande modellen.

1: *UITZICHT*, een model voor de berekening van het doorzicht en de extinctie van licht [Buiteveld, 1990; Blom, 1991; Blom, 1992]. In dit model wordt onderscheid gemaakt tussen de bijdragen van water, humuszuren, algen, detritus en minerale zwevende stof aan de absorptie en verstrooiing van licht in het water.

De basis in het model wordt gevormd door de spectra van de absorptie- en verstrooiingscoëfficiënten van de optisch actieve stoffen in het water. Met behulp van *UITZICHT* zijn door Buiteveld [1990] lineaire relaties tussen concentraties van de verschillende lichtklimaat bepalende componenten en de extinctie en het doorzicht afgeleid. Deze relaties hebben de volgende vorm:

$$K_d = K_{d,acht} + \alpha_g a_g(380) + \alpha_a Chl + \alpha_m Min + \alpha_d Det \quad (1)$$

$$S_d^{-1} = S_d^{-1,acht} + \beta_g a_g(380) + \beta_a Chl + \beta_m Min + \beta_d Det \quad (2)$$

waarin $K_{d,acht}$ de achtergrondsextinctie is (0,627 m⁻¹), $S_d^{-1,acht}$ de achtergrondswaarde voor de reciproke Secchi-diepte (0,302 m⁻¹), α_g en β_g zijn coëfficiënten voor Gelbstoff (resp. 0,0498 en 0,0107), α_a en β_a zijn de coëfficiënten voor algen (resp. 0,0209 en 0,0111 m⁻¹µg⁻¹), α_m en β_m zijn de coëfficiënten voor minerale zwevende stof (resp. 0,0253 en 0,0606 m⁻¹mg⁻¹), α_d en β_d zijn de coëfficiënten voor detritus (resp. 0,0490 en 0,0636 m⁻¹mg⁻¹).

In deze studie zijn de parameterwaarden op enkele punten aangepast (zie modeluitkomsten). De hoeveelheid detritus

(DET, mg l⁻¹) werd berekend volgens:

$$DET = \text{Zwevende stof} - \text{Gloeirest} - (0,07 * Chl-a) \quad (3)$$

2: *DYNEX*, een dynamisch model voor de berekening van de bijdrage van wind geïnduceerde resuspensie van bodemmateriaal aan de zwevende stof concentratie en de extinctie [Blom, 1991]. In dit model wordt de totale extinctie opgesplitst in een langzaam variërend deel, veroorzaakt door componenten die op korte termijn niet significant variëren, zoals water, humuszuren en algen, en een snel variërend deel gerelateerd aan de opwerveling en/of bezinking van bodemslib. Voor de beschrijving van het gedrag en transport van bodemslib in de Breukeleveense Plas werden enkele aannames gemaakt. Aangenomen mag worden dat er geen verticale concentratiegradiënten in zwevende stof voorkomen [Lijklema *et al.*, 1994]. Korte perioden in beschouwing nemend hebben ook productie en afbraak van slib een geringe invloed op de dynamiek van het slibgehalte.

Omdat in de plas, onder andere door het ontbreken van dieptever verschillen, geen belangrijke ruimtelijke concentratiegradiënten te verwachten zijn en ook de stroomsnelheden beperkt zijn, mag aangenomen worden dat voor de zwevende stof in de waterfase de volgende massabalans geldt:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\phi_r - \phi_s}{H} \quad (4)$$

waarin c de zwevende stof concentratie in de waterfase is (g m⁻³), t is de tijd (s), H is de waterdiepte (m), ϕ_r is de resuspensieflux (g m⁻² s⁻¹) en ϕ_s is de sedimentatieflux (g m⁻² s⁻¹). De resuspensie van bodemslib kan gerelateerd worden aan de snelheid van de golfbeweging aan de bodem, de orbitaalbeweging. Deze orbitaal-snelheid wordt met een golfmodel [Van Duin, 1992] berekend uit de ingevoerde windsnelheid, strijklengte en waterdiepte. De resuspensie van bodemslib kan nu weergegeven worden met de vergelijking:

$$\phi_r = K_r * (U_b - U_{b,cr}) \quad (5)$$

waarin K_r de resuspensie-evenredigheidsconstante is (g m⁻³), U_b is de orbitaal-snelheid (m s⁻¹) en $U_{b,cr}$ is de kritische orbitaal-snelheid (m s⁻¹). De sedimentatieflux kan worden berekend met de volgende vergelijking [Sheng & Lick, 1979]:

$$\phi_s = w_s * C \quad (6)$$

waarin w_s de valsnelheid van zwevende stof is (m s⁻¹). Gebruik makend van lineaire verbanden (zie vgl. 1) tussen de concentratie opgewerveld bodemslib en de extinctiecoëfficiënt volgens:

$$K_{d,slib} = \alpha_s * C \quad (7)$$

waarin κ_s de specifieke extinctiecoëfficiënt van opgewerveld slib is ($m^2 g^{-1}$) en $K_{d,slib}$ de bijdrage van opgewerveld slib aan de extinctie (m^{-1}), dan geldt dus ook:

$$\frac{dK_{d,slib}}{dt} = H^{-1} * [(K_r * \kappa_s) * (U_b - U_{b,cr}) - (W_s * K_{d,slib})] \quad (8)$$

Deze relatie vormt de basis van het model *DYNEX*.

Echter, zowel de resuspensieparameters (K_r en $U_{b,cr}$) als de valsnelheid (w_s) van het bodemslib zijn afhankelijk van slibeigenschappen als deeltjesgrootte en soortelijke massa, die in natuurlijke wateren een grote variatie kunnen vertonen. Deze variatie gaat meestal gepaard met verschillen in samenstelling van de deeltjes en daarmee ook met verschillen in optische eigenschappen, zoals absorptie en verstrooiing [Blom *et al.*, in press]. Hierdoor is het gewenst verschillende slibfracties te onderscheiden. Het met behulp van sedimentvallen verzameld materiaal werd door experimenteel onderzoek gescheiden in vijf slibfracties op basis van verschillen in valsnelheid [Van Duin, 1992]. Hiermee zijn eveneens de specifieke extinctiecoëfficiënten van de fracties bepaald. De resuspensieconstanten voor de verschillende slibfracties in het model *DYNEX* zijn geschat op grond van de verkregen veldgegevens en uit het experimentele onderzoek.

Modeluitkomsten

UITZICHT

Met behulp van *UITZICHT* kon een goede beschrijving van de extinctie in de Breukeleveense Plas, inclusief de erin gelegen enclosures verkregen worden (afb. 2). De parameterwaarden voor

TABEL II - De standaard en de d.m.v. calibratie bepaalde parameterwaarden in het model *UITZICHT*.

		Standaard	LUW-studie
Gelbstoff	k_g	0,014	0,014
Algen	k_a	1,9	1,9
	m_a	0,07	0,07
Detritus	$k_{d,a}$	0,05	0,055
	$P_{d,a}$	1	1
	$k_{d,b}$	0,60	0,85
	$P_{d,b}$	1	1
Min. zwev. stof	k_m	0,42	0,42
	P_m	1,05	1,05
Secchi-diepte	τ	7	7

detritus, zoals gegeven door Buiteveld [1990], dienden echter aangepast te worden (tabel II). Ook tussen de gemeten en berekende Secchi-diepten blijkt geen systematische afwijking op te treden (afb. 3). Gemeten bodemzichten in de enclosures zijn overigens niet meegenomen.

Bijdrage van lichtklimaat bepalende componenten

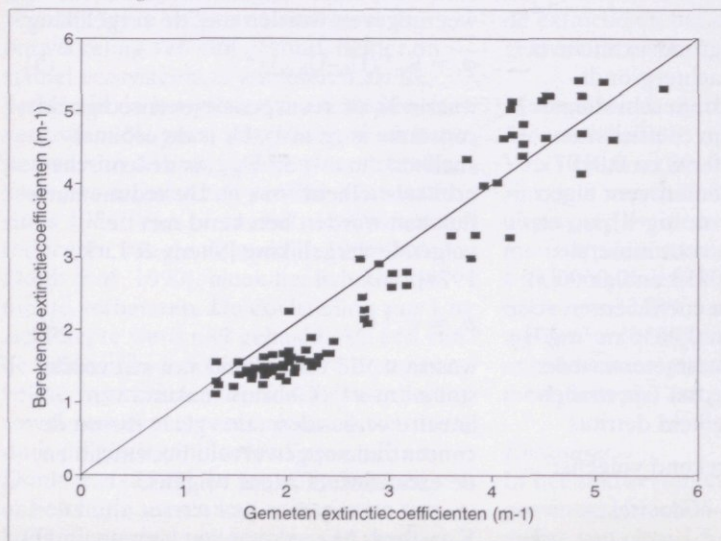
Aan de hand van de gemeten gemiddelde concentraties van lichtklimaat bepalende componenten, wordt met behulp van de lineaire relaties, afgeleid uit *UITZICHT* direct inzicht verkregen in de bijdrage van de componenten aan de extinctiecoëfficiënt (afb. 4) en aan de reciproke waarde van de Secchi-diepte (afb. 5). De extinctiecoëfficiënt in de plas wordt gemiddeld voor circa 50% bepaald door de bijdrage van algen en voor circa 27% door de bijdrage van zwevende stof, waarvan circa 25% bepaald wordt door detritus en circa 2% door minerale zwevende stof. De reciproke Secchi-diepte (Sd^{-1}) in de plas wordt voor circa 37% bepaald door algen, voor circa 52% door de bijdrage van detritus en voor circa 7% door minerale

zwevende stof. Een verklaring voor het verschil in bijdragen van deze componenten aan extinctie resp. doorzicht kan gevonden worden in het feit dat sterk licht verstrooiende, maar relatief weinig licht absorberende stoffen, zoals zwevende stof, relatief weinig bijdragen aan de extinctie, maar sterk aan de afname van de zichtdiepte [Blom, 1992].

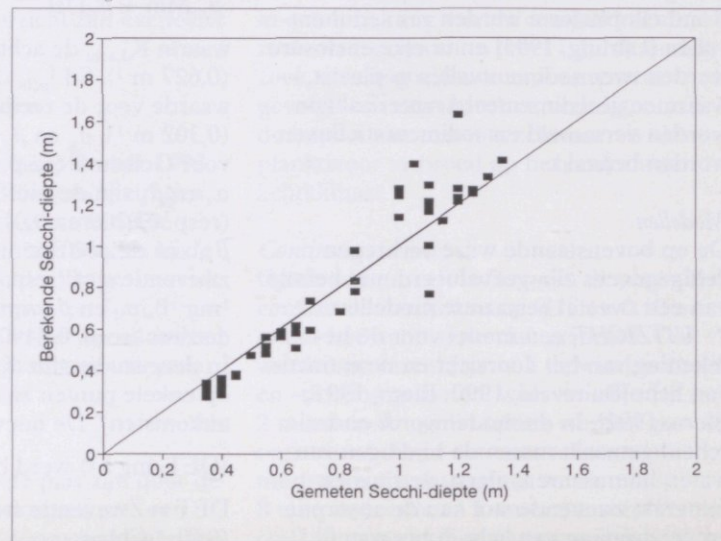
Enclosure experimenten

De enclosures laten niet alleen duidelijke verschillen zien met de plas, maar ook onderling zijn duidelijke verschillen in lichtklimaat en lichtklimaat bepalende componenten waarneembaar. In tabel III worden de belangrijkste resultaten van de wekelijkse metingen in de Breukeleveense Plas weergegeven. Op monsterpunt 6, de enclosure met een vispopulatie zoals in de plas, worden uitdoving van licht en doorzicht vooral bepaald door algen en detritus. In de overige enclosures daarentegen wordt het onder water lichtklimaat vooral bepaald door de bijdragen van het water zelf en de erin opgeloste humuszuren. De bijdrage van de minerale zwevende stof is in zowel de plas als in alle enclosures zeer gering. Enclosures met visbroed en zonder visbroed gaven geen duidelijke verschillen te zien. Vergelijking van enclosures met benthivore vis (monsterpunten 4 en 6) met enclosures zonder of met een sterk gereduceerde visstand (monsterpunten 1, 2, 3 en 5) laat alleen voor monsterpunt 6 een duidelijk hogere K_d en Sd^{-1} zien (afb. 4 en 5). De monsterpunten 4 en 6 hebben significante verschillen in detritus- en chlorofyl- α concentraties, resulterend in een significant verschil in lichtklimaat. Uit de geschatte valsnelheden voor het zwevend materiaal bleek dat het materiaal in en-

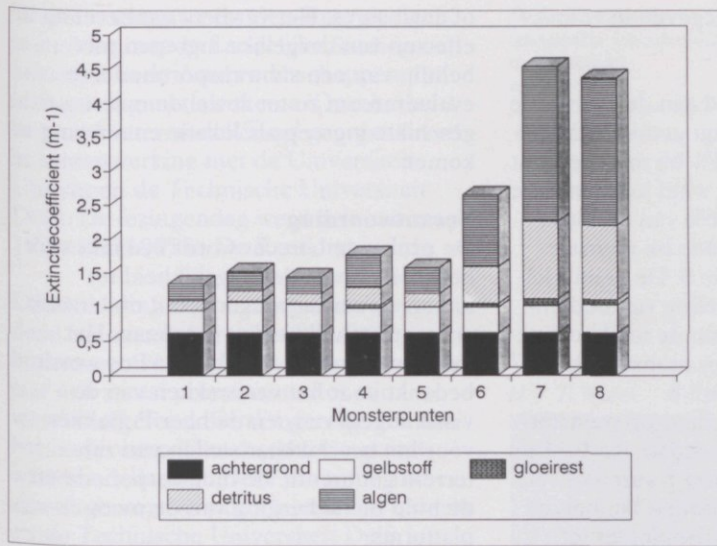
Afb. 2 - Vergelijking van de met *UITZICHT* geschatte extinctiecoëfficiënt met de veldwaarnemingen.



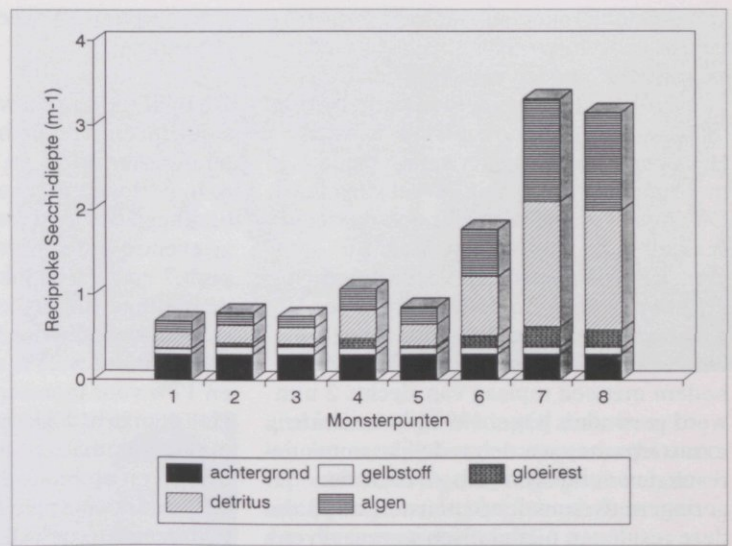
Afb. 3 - Vergelijking van de met *UITZICHT* geschatte zichtdiepte met de veldwaarnemingen.



Verbondenheid in grondwatermodellering



Afb. 4 - De bijdrage van verschillende optisch actieve componenten aan de extinctiecoëfficiënt op de verschillende monsterlokaties in de Breukeleveense Plas.



Afb. 5 - De bijdrage van verschillende optisch actieve componenten aan de reciproke waarde van de Secchi-diepte in de Breukeleveense Plas.

TABEL III - Gemiddelde concentratie van componenten, sedimentatiefluxen, extinctie en Secchi-diepte en standaardafwijking (σ) voor de monsterlokaties in de Breukeleveense Plas.

Lokaties	Chl- <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Zwst (mg l^{-1})	Glr (mg l^{-1})	Det (mg l^{-1})	A (380) (m^{-1})	Sedflux ($\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ext (m^{-1})	Sd (cm)
1	(n=11)						(n=12)	
gem.	12,3	4,1	0,2	3,0	6,63	5,9	1,60	141
σ	7,2	0,8	0,3	0,9	0,35	4,1	0,21	14,9
2	(n=11)						(n=10)	
gem.	13,8	5,1	0,9	3,3	9,19	8,1	2,07	112
σ	5,4	1,2	0,7	0,6	0,59	2,8	0,85	9,9
3	(n=11)						(n=12)	
gem.	12,2	4,6	0,7	3,0	8,54	5,3	1,95	125
σ	4,2	1,1	0,5	1,0	0,61	2,9	0,19	6,9
4	(n=11)						(n=12)	
gem.	23,4	9,0	2,1	5,3	7,40	25,9	3,22	105
σ	9,5	4,2	0,9	2,9	0,52	18,0	0,30	20,9
5	(n=11)						(n=12)	
gem.	18,7	6,0	0,6	4,1	7,48	9,1	1,88	124
σ	8,4	2,5	0,5	1,8	0,48	4,6	0,18	13,0
6	(n=11)						(n=12)	
gem.	50,7	17,2	2,5	11,1	7,50	25,6	3,30	62
σ	15,3	2,4	1,0	1,3	0,55	19,7	0,46	8,4
7	(n=11)						(n=13)	
gem.	109,6	34,9	4,0	23,2	8,05	46,4	4,73	38
σ	22,4	4,8	1,8	2,8	0,58	25,6	0,43	3,2
8	(n=11)						(n=8)	
gem.	104,2	33,0	3,4	22,3	8,14	24,4	4,22	38
σ	33,9	4,0	2,4	2,8	2,32	7,4	1,59	11,0

TABEL IV - De in het model DYNEX gebruikte parameterwaarden voor de verschillende slibfracties.

	Slibfractie MSP	1	2	3	4	5
Resusp. const. K_r (g m^{-3})	7:	$3.5 \cdot 10^{-4}$	$7.5 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.65 \cdot 10^{-3}$	$3.2 \cdot 10^{-3}$
	8:	$2.1 \cdot 10^{-4}$	$4.1 \cdot 10^{-4}$	$6.7 \cdot 10^{-4}$	$7.6 \cdot 10^{-4}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$
Spec. ext. coëff. χ_s ($\text{l mg}^{-1} \text{m}^{-1}$)	7:	0.0229	0.0311	0.0471	0.0397	0.0360
	8:	0.0305	0.0431	0.0323	0.0491	0.0323
Valsnelheid w_s (m s^{-1}):		$2.0 \cdot 10^{-6}$	1.5110^{-5}	$2.4 \cdot 10^{-5}$	$6.5 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$
Kritische orbitaalsnelheid voor opwerveling $U_{b,cr}$ (m s^{-1}):		0	0	0	0	0
Waterdiepte H (m)	7:	1.60				
	8:	1.50				

closure 4 een hogere valsnelheid had dan in enclosure 6, waardoor, ondanks opwerveling door benthivore vis (zie sedimentatiefluxen), geen nadelig effect op het onder water lichtklimaat optrad. Deze hogere valsnelheid voor zwevende stof in enclosure 4 kan zeer goed veroorzaakt zijn door het feit dat in 1991 in deze enclosure, voor een eerder experiment FeCl_3 (een coagulatiemiddel) is toegediend [Van Donk *et al.*, 1993].

Het verschil tussen de enclosure 6 en de plas kan toegeschreven worden aan de sterke reductie van de windinvloed, waardoor resuspensie van bodemmateriaal door windgolven vrijwel nihil is. Echter in perioden met hevige wind werden er vooral in de enclosures 4 en 6 significant hogere sedimentatiefluxen gevonden analoog aan het verloop in de plas op monsterlokatie 7.

Resumerend kan gesteld worden dat er geen duidelijkheid over de invloed van het visbroed op het lichtklimaat verkregen werd. Een indicatie van de invloed van benthivore vis werd wel verkregen. Een verhoging van de extinctiecoëfficiënt met 31 tot 52% en een reductie van het doorzicht variërend van 25 tot 57% in enclosures met benthivore vis werden gevonden ten opzichte van de enclosures zonder benthivore vis. Voorts bleek dat zich in extreme situaties wel degelijk een windinvloed in de enclosures voordoet.

DYNEX

Zowel de zwevende stof concentratie in de waterkolom als de extinctie in de plas zijn gesimuleerd op basis van de onderscheiden slibfracties. De gebruikte parameterwaarden voor de verschillende slibfracties in het model zijn weergegeven in tabel IV.

Het bleek niet mogelijk om één set resuspensie-constanten ($K_{r,1} \dots K_{r,5}$) te vinden, waarmee een goede simulatie van de zwevende stof op beide monsterpunten in de plas (7 en 8) verkregen kon worden. Het opgewerkte materiaal op beide monsterpunten verschilt teveel van elkaar. Dit wordt veroorzaakt door een duidelijk verschil in bodemsamenstelling. Bij monsterpunt 7 werd een veenachtige bodem met veel fijn bodemslib en een waterige toplaag van 1 cm dik aangetroffen, terwijl bij monsterpunt 8 een zandige bodem met een toplaag van slechts 2 mm werd gevonden [Otte, 1993]. Voor beide monsterpunten werden redelijke simulatie-resultaten verkregen (afb. 6; door de geringere dynamiek op monsterpunt 8 zijn deze resultaten niet grafisch weergegeven). De achtergrond zwevende stof concentratie voor de lichtste fractie is op $17,2 \text{ mg l}^{-1}$ gesteld en werd verkregen uit de gemiddelde zwevende stof concentratie in enclosure 6. Het gebruik van een constante achtergrondswaarde op langere tijdschaal is echter af te raden door optredende variaties in achtergrond zwevende stof concentraties, die voornamelijk toe te schrijven zijn aan de groei en sterfte van fytoplankton. De lichte onderschatting van zwevende stof in de waterfase van 15 juli tot 10 augustus bij monsterpunt 7 kan geheel toegeschreven worden aan een toename in algen biomassa. Voor simulaties van de extinctiecoëfficiënt werd de achtergrondsextinctie niet voor de gehele periode constant genomen, maar berekend uit de bijdrage van de wekelijks gemeten lichtklimaat bepalende componenten aan de extinctie, waardoor ook variatie in de achtergrondsextinctie kon worden meegenomen. De simulatie van de extinctiecoëfficiënten op

monsterpunt 7 is weergegeven in afbeelding 7.

De bijdrage van de wind aan de zwevende stof concentratie bedraagt gemiddeld 45% bij monsterpunt 7 en 44% bij monsterpunt 8. In perioden met veel wind kunnen deze bijdragen oplopen tot 86% van de totale zwevende stof concentratie bij monsterpunt 7 en 71% bij lokatie 8. De gemiddelde bijdrage van opwerveling van bodemslib door windinvloed aan de totale extinctiecoëfficiënt is 25% voor monsterlokatie 7 en 17% voor monsterpunt 8.

Het doorzicht blijkt hierdoor op monsterpunt 7 gereduceerd te worden van 0,44 tot 0,30 m en op monsterpunt 8 van 0,41 tot 0,32 m. In windrijke perioden kunnen de bijdragen aan de extinctie oplopen tot 72% bij monsterpunt 7 en tot 44% bij monsterpunt 8 resulterend in een afname van het doorzicht tot 0,13 m respectievelijk 0,22 m.

De gebruikte modellen bleken nuttige instrumenten voor het schatten van de Secchi-diepte en de extinctiecoëfficiënt en voor de beschrijving van de dynamiek van deze coëfficiënt.

Conclusies en aanbevelingen

Naast algen blijkt opgewerkeld bodemmateriaal in de Breukeleveense Plas een aanzienlijke bijdrage te leveren aan de uitdoving van licht en de vermindering van de zichtdiepte. Zonder ook de opwerveling van bodemmateriaal onder invloed van de wind te beperken lijkt het bereiken van de waterkwaliteitsdoelstellingen in de Breukeleveense Plas niet mogelijk. Voor het beperken van de sedimentopwerveling kan gedacht worden aan de aanleg van eilanden, dammen, nieuwe legakkers, tijdelijke dwarschotten

of enclosures. Het verdient aanbeveling de effecten van dergelijke ingrepen met behulp van een slibtransportmodel te evalueren om zo tot zowel de meest geschikte ingreep als lokatie en omvang te komen.

Verantwoording

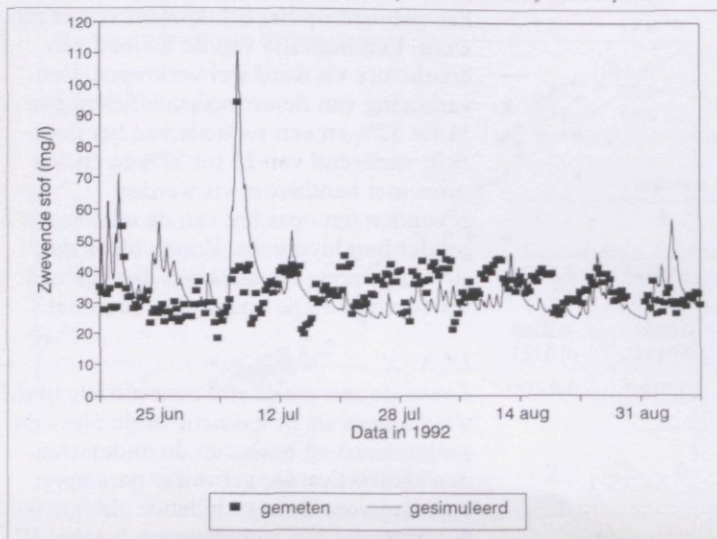
De provincie Utrecht wordt bedankt voor het creëren van de mogelijkheid tot uitvoeren van bovengenoemd onderzoek en voor het uitlenen van de boot. Het ingenieursbureau Witteveen+Bos wordt bedankt voor het verstrekken van de visstandgegevens en de heer P. Bakker voor het beschikbaar stellen van zijn terrein gedurende de monsterperiode en de hulp bij de berging van de meetplatforms.

Literatuur

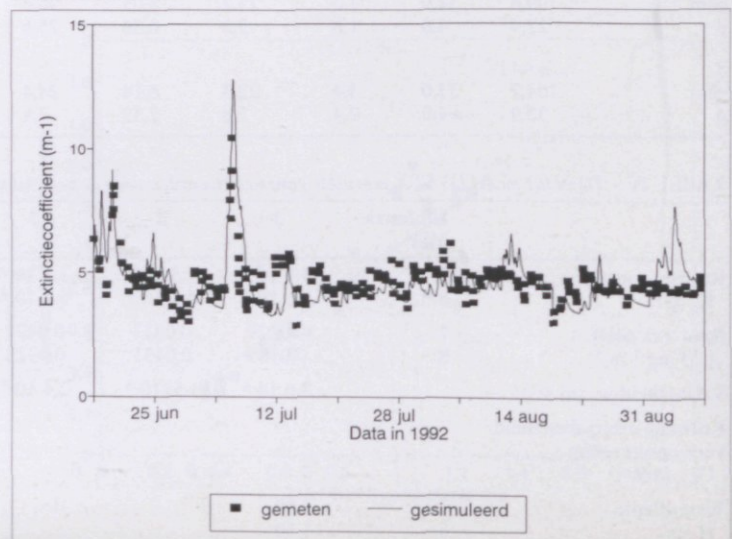
- AMvB ex art.13 en 15 WVO (1983). *Besluit kwaliteitsdoelstellingen en metingen oppervlaktewateren*. Staatsblad 1983, 606.
- Blom, G. (1989). *Lichtklimaat bepalende factoren in het Veluwemeer, onderzoek naar de bijdrage van verschillende componenten aan de extinctiecoëfficiënt van Veluwemeerwater*. Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, Sectie Waterkwaliteitsbeheer, Wageningen.
- Blom, G. (1991). *Slib, slibtransport en lichtklimaat in de randmeren*. Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, Sectie Waterkwaliteitsbeheer.
- Blom, G. (1992). *Licht onder water. Het belang van extinctiemetingen*. Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, Sectie Waterkwaliteitsbeheer.
- Blom, G., Duin, E. H. S. van and Lijklema, L. (in press). *Sediment resuspension and light conditions in some shallow Dutch lakes*. Wat. Sci. Tech.
- Bricaud, A., Morel, A. and Prieur, L. (1981). *Absorption of dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains*. *Limnology and Oceanography*, 26: 43-53.
- Buiteveld, H. (1990). *Uitzicht, model voor de*

• Slot op pagina 219.

Afb. 6 - Gesimuleerde en gemeten zwevende stof concentraties bij monsterpunt 7.



Afb. 7 - Gesimuleerde en gemeten extinctie bij monsterpunt 7 in het zuidwesten van de Breukeleveense Plas.



een spaarbekken beter te kunnen analyseren, is, naast kennis over de groei van algen, ook informatie over de mate van verlies aan algen nodig. Deze factor omvat een aantal processen die moeilijk te kwantificeren zijn. Nader onderzoek naar deze processen zal de kennis hierover vergroten.

Sturing van de populatiedynamica van algen in een bekken door beïnvloeding van deze factor lijkt mogelijk.

Verantwoording

De auteurs bedanken drs. L. W. C. A. van Breemen (NV Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch), dr. S. P. Klapwijk (Stowa), mw. ir. J. Willemsen-Zwaagstra en dr. W. Hoogenboezem (PWN) en ing. R. A. Wyatt (WRK) voor het kritisch lezen en het leveren van inhoudelijk commentaar op dit artikel.

Literatuur

- Boers, P. C. M. (1986). *Fosfaatgiftige door het sediment van het spaarbekken bij Andijk*. Rapport 1986-2, Limnologisch Instituut, Nieuwersluis. 20 p.
- Bolier, G., Veer, B. van der en Wuijts, S. (1992). *Algen groei in het PWN-bekken*. Technische Universiteit Delft en NV PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland, Bloemendaal, 79 p.
- Dubelaar, G. B. J., Balfout, H. W. en Hofstraat, J. W. (1990). *Flowcytometrie: snelle optische analyse van fytoplankton in watermonsters*. H₂O (23) 1990, p. 472-475.
- Reynolds, C. S. (1984a). *The ecology of freshwater phytoplankton*. Publ.: Cambridge University Press, Cambridge, 384 p.
- Reynolds, C. S. (1984b). *Plankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability*. *Freshwater Biology*, 14: 111-142.
- Sommer, U. (1988). *Growth and survival strategies of planktonic diatoms*. In: *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. P. 227-260 Ed: C. D. Sandgren, Cambridge University Press, Cambridge.
- STOWA (1992). *Bestrijding van overlast door drijflagen van blauwvieren*. STOWA rapport 92-03 Den Haag, 62 p. + bijl.
- Vlasblom, W. J. (1973). *Spaarbekken Andijk: meng- of verdringingsbekken*. NV PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland, Bloemendaal.

Breukeleveense Plas

- *Vervolg van pagina 198.*

berekening van doorzicht en extinctie. Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, nota nr. 90.058. Lelystad.

Donk, E. van, Grimm, M. P., Gulati, R. D., Heuts, P. G. M., Kloet, W. A. de and Liere, L. van (1990).

First attempt to apply whole lake foodweb manipulation on a large scale in The Netherlands. *Hydrobiologia*, 200-201: 291-301.

Donk, E. van, Grimm, M. P., Heuts, P. G. M., Blom, G., Everaards, K. and Tongeren, O. F. R. (1993). *Use of mesocosms in a shallow eutrophic lake to study the effects of different restoration measures*. *Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol.*, 40: 283-294.

Duin, E. H. S. van (1992). *Sediment transport, light and algal growth in the Markermeer*. Proefschrift Landbouwwuniversiteit Wageningen.

Eck, J. van en Steensma, J. (1993). *Onderzoek naar de mogelijkheden voor restauratie van de Breukeleveense Plas, de invloed van visbroed op de fyto- en zoöplankton gemeenschappen*. Landbouwwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, Sectie Aquatische Ecologie, doctoraalverslag nr. 3073. Wageningen.

Gons, H. J. (1987). *De relatie tussen doorzicht en slib in de Loosdrechtse plassen in verband met de zwemwaternorm*. Limnologisch Instituut, WOL-rapport 1987-3, Nieuwersluis.

Gons, H. J. en Keulen, R. van (1989). *De relatie tussen doorzicht en slib in de Loosdrechtse plassen in verband met de zwemwaternorm, afsluitend onderzoek*. Limnologisch Instituut, WOL-rapport 1989-4, Nieuwersluis.

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

Liere, L. van, Parma, S. and Gulati, R. D. (1992). *Working group water quality research Loosdrecht Lakes: its history, structure, research programme, and some results*. *Hydrobiologia*, 233: 1-9.

Lijklema, L., Alderink, R. H., Blom, G. and Duin, E. H. S. van (1994). *Sediment transport in shallow lakes - Two case studies related to eutrophication*. In: *Transport and transformation of contaminants near the sediment-water interface*. DePinto, J. V., Lick, W. & Paul, J. F. (eds.). Lewis Publishers, Ann Arbor, Boca Raton, London, Tokyo: 253-280.

Lürling, M. (1993). *Resuspensie, sedimentatie en lichtklimaat in de Breukeleveense Plas: De invloed van wind, vis en visbroed op de uitdoving van licht*. Landbouwwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, Sectie Waterkwaliteitsbeheer, doctoraalverslag nr. 3061. Wageningen.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1989). *Derde Nota Waterhuishouding; water voor nu en later*. Tweede kamer, vergaderjaar 1988-1989 21250 nrs. 1-2. SDU, Den Haag.

Otte, A. J. (1993). *Eerste aanzet tot modellering van de slibhuishouding en het lichtklimaat in de Breukeleveense Plas*. Landbouwwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, sectie Waterkwaliteitsbeheer, doctoraalverslag nr. 3062. Wageningen

Sheng, Y. P. and Lick, W. (1979). *The transport and resuspension of sediments in a shallow lake*. *Journal of Geophysical Research*, 84: 1809-1826.

Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs (1993). *De Breukeleveense Plas: De proeven in de compartimenten in 1992*. Bkn. 1.5, juli 1993, Deventer.

● ● ●

Summaries

- *End of page 193.*

● ● ●

H₂O (28) 1995, nr. 7; 214

S. WUIJTS, G. BOLIER, B. VAN DER VEER and Y. A. VAN ZANTEN:

Dynamics of algae and nutrients in a deep and a shallow storage reservoir for drinking water production

Algae in the reservoir of the PWN-waterworks caused problems during the production of drinking water. During summer most of the time the wished capacity could not be realized. The same problems did not occur in the much deeper adjacent reservoir of the WRK-waterworks. The problems were related to the quantity of the algae, but also to the physical and biological properties of the algal species.

The aim of this study was to relate the processes in the shallow and in the deep reservoir to the problems during the treatment of the water. Increase and decrease of the amount of algae is related to physical-chemical, biological and

hydraulic processes in both reservoirs. The changes of the parameters in the shallow and the deep reservoir during the year was characteristic for such reservoirs. Qualification of the population-dynamics of algae is based on the development of the concentration of chlorofyl- α and other relevant parameters. Quantification is based on calculations of the water-, chlorofyl- and nutrient balances. This study on the behaviour of different parameters and of the problems at the water treatment shows that chlorofyl- α is not the most suitable parameter to predict an increase of problems with the production of drinking water. Information about the community and the proportions of the dominant algae gives more suitable information.

H₂O (28) 1995, nr. 7; 220

C. G. E. M. VAN BEEK:

Groundwater conservation requires tailor-made actions

It is foolish to assume that general environmental legislation alone will ensure high-quality groundwater everywhere. Soil properties vary; consequently, some soils are more vulnerable to pollution than others. If environmental legislation were pitched at the most vulnerable soils, then agriculture in the Netherlands would be faced with extremely stringent requirements, which would be difficult to meet and, in many situations, unnecessary. On the other hand, for reasons of equality before the law and legislation enforcement different legislation for different areas is not recommendable.

This does not mean that general regulations are unnecessary. On the contrary. But it is more realistic to pitch them at an 'average group' of soils. What this implies is that in the case of the more vulnerable soils the desired groundwater quality can be achieved only by building on the legislation and carefully seeking a balance between the present use of the land in question and the possibilities for its use.

The incentives policy adopted by various water companies within the framework of the VEWIN Environmental Plan offers starting points for this. Nevertheless, it is likely that in the case of the most vulnerable soils the standards governing groundwater quality will still not be met; in these cases the only solution remaining is to prevent the land being used for agriculture.

For every groundwater conservation area a decision must be taken as to whether an additional policy is necessary and, if this is the case, what kind of policy this should be.