

# UITZICHT, computermodel voor de berekening van doorzicht en extinctie

## Inleiding

Het doorzicht of de Secchidiepte is een inzichtelijke maat die aangeeft hoe diep in het water gekeken kan worden. Een belangrijk aspect van het doorzicht is de eenvoud van de meting, waardoor de meting erg populair is. Het is ook een parameter die voorkomt in verschillende normen voor de waterkwaliteit, zoals de zwemwaternorm. Het doorzicht wordt bepaald door de in het water aanwezige zwevende stoffen, algen en slib, en de opgeloste stoffen, die een kleur hebben [1]. Het geeft indirect informatie over die stoffen.



H. BUTTEVELD  
RIZA

Een andere optische eigenschap van het water is de extinctie, de uitdoving, van zonlicht in het water. Deze bepaalt de hoeveel licht die op een bepaalde diepte beschikbaar is voor groei van algen en waterplanten.

Bij beheersmaatregelen speelt het doorzicht vaak een rol, omdat er naast verlaging van algenbiomassa ook gestreefd wordt naar het verhogen van het doorzicht, bijvoorbeeld om te voldoen aan de zwemwaternorm van 1 m doorzicht. Om uitspraken te kunnen doen over het te verwachten doorzicht na een maatregel zijn modellen nodig.

De modellen voor het berekenen van het doorzicht zijn meestal gebaseerd op een meervoudige lineaire regressie (MLR) van het reciproke doorzicht met de concentraties van de voor het doorzicht van belang zijnde stoffen. Het doorzicht dat een MLR-model berekent als alle concentraties nul zijn, het zogenaamde achtergronddoorzicht, is in de meeste gevallen laag. Voor het Veluwemeer en het Wolderwijd is het op die manier gevonden achtergronddoorzicht 0,6-0,8 m [2]. Het achtergronddoorzicht verkregen met een MLR-model is een niet realistisch lage schatting van het maximaal te verwachten doorzicht. Bij het doorrekenen van beheersmaatregelen zijn deze modellen daarom slecht te gebruiken.

Om de tekortkoming van de MLR-modellen te ondervangen is bij RIZA een model gemaakt om het doorzicht te berekenen, gebaseerd op een spectrale beschrijving van het lichtklimaat onder

## Samenvatting

Het doorzicht is een veel gebruikte maat in het waterbeheer. Bij beheersmaatregelen gericht op het verbeteren van de waterkwaliteit, wordt onder andere gestreefd naar een hoger doorzicht. Voor het voorspellen van het effect van maatregelen op het doorzicht zijn modellen nodig. Het computermodel UITZICHT berekent op basis van concentraties zwevende stof, gloeirest, chlorofyl- $\alpha$  en de absorptie van humuszuren, het doorzicht en de extinctie. Het voordeel van dit model ten opzichte van meervoudige lineaire regressie modellen is een betere schatting van hogere waarden van het doorzicht. Het model is geoptimaliseerd voor de Randmeren. UITZICHT is gebruikt om het doorzicht in het Wolderwijd te schatten voor de situatie na de Actief Biologisch Beheer maatregel van eind 1990 en begin 1991.

UITdoving van licht en berekening door- ZICHT, genoemd en is beschikbaar als PC-programma. Het model berekent op basis van de voor het lichtklimaat van belang zijnde componenten: zwevende stof, gloeirest, chlorofyl en opgeloste humuszuren, de extinctie en het doorzicht. Bij het Actief Biologisch Beheer advies over het Wolderwijd zijn de na de ingreep te verwachten gehalten geschat. Met behulp van UITZICHT is vervolgens het te verwachten doorzicht berekend [4].

In dit artikel wordt ingegaan op het model UITZICHT. De benodigde gegevens, zoals de spectrale absorptie- en verstrooiingscoëfficiënten worden beschreven. Met behulp van een eenvoudig stralingstransportmodel worden de extinctie en het doorzicht berekend. Het model is geïkt met data uit de periode 1978-1983 van het Veluwemeer en het Wolderwijd. Met de gegevens uit 1991 van het Wolderwijd wordt de bruikbaarheid van dit model getest voor situaties waar een beheersmaatregel heeft plaatsgevonden.

## Lichtklimaat

In de waterkolom hebben opgeloste en zwevende stoffen interactie met het invallende licht. Het invallende licht wordt hierdoor verzwakt op zijn weg door het water. Deze verzwakking is te meten met lichtmeters. Meestal wordt daarbij gebruik gemaakt van een sensor die het gehele zichtbare gebied, 400-700 nm, van het spectrum meet. In dat geval spreken we van PAR, Photosynthetic Active Radiation. Uit de meting van de hoeveelheid PAR op verschillende dieptes is de verzwakingscoëfficiënt of extinctiecoëfficiënt  $K$  te berekenen. De definities en naamgeving van grootheden, zoals die hier worden gebruikt, zijn beschreven in [1, 5].

De extinctie van zonlicht in het water en ook het doorzicht zijn zogenaamde

zoals de zonnestand en bewolgingsgraad [5]. Daarnaast zijn er ook inherente eigenschappen die alleen afhangen van het medium. De twee belangrijkste inherente eigenschappen, absorptie- en verstrooiingscoëfficiënt, worden gebruikt bij de modellering van het lichtklimaat onder water. In praktijk worden deze coëfficiënten met een spectrofotometer gemeten.

De som van absorptie- en verstrooiingscoëfficiënt wordt bundelverzwakingscoëfficiënt ( $c$ ) genoemd. Met een standaard spectrofotometer wordt meestal een grootte gemeten die een redelijke benadering is van deze bundelverzwakingscoëfficiënt. In het geval dat er geen verstrooiende deeltjes aanwezig zijn wordt alleen absorptie gemeten. Het meten van het absorptiespectrum van verstrooiende suspensies, zoals algen, kan met een zogenaamde Ulbricht-sphere of via een meting aan het op een filter achtergebleven materiaal [6, 7, 8].

Bij absorptie wordt licht opgenomen door lichtabsorberende stoffen, water, opgeloste humuszuren, algen (fotosynthese) en dood organisch materiaal. Verstrooiing van licht vindt plaats aan deeltjes; de richting van het licht wordt hierdoor beïnvloed. Het licht legt door deze verstrooiing een langere weg door de waterkolom af waarbij de kans op absorptie toeneemt. Voor deeltjes die in het oppervlaktewater voorkomen, geldt dat het licht voornamelijk in de voorwaartse richting wordt verstrooid. Een klein deel van het licht wordt in alle richtingen verstrooid. Met optische remote sensing technieken kan dit gereflecteerde licht worden waargenomen. Kwantitatieve informatie over de componenten in het water kan worden verkregen door de intensiteit van het gereflecteerde licht te meten bij een aantal goed gekozen golflengtes [9, 10, 11].

De verzwakking van licht door de

absorptiecoëfficiënt en een verstrooiingscoëfficiënt. Deze coëfficiënten zijn een functie van de golflengte. De extinctiecoëfficiënt is daardoor golflengteafhankelijk. In een plas die wordt gedomineerd door algen vindt een hoge absorptie van blauw en rood licht plaats met als gevolg een groene kleur. De basis van het model, voor het berekenen van de extinctie en het doorzicht, is een verband dat Kirk [12], via Monte Carlo simulatie van het stralingstransport, heeft afgeleid voor de extinctiecoëfficiënt als functie van absorptie- en verstrooiingscoëfficiënt bij één golflengte.

$$K(\lambda) = \frac{1}{\mu} \sqrt{a(\lambda)^2 + (0,425 \mu - 0,19)a(\lambda)b(\lambda)} \quad (1)$$

- $K(\lambda)$  = extinctiecoëfficiënt, m<sup>-1</sup>
- $a(\lambda)$  = totale absorptiecoëfficiënt, m<sup>-1</sup>
- $b(\lambda)$  = totale verstrooiingscoëfficiënt, m<sup>-1</sup>
- $\mu$  = cos (z<sub>0</sub>)
- $z_0$  = zenith hoek van de zon (onder water)
- $\lambda$  = golflengte, nm

De spectra van absorptie- en verstrooiingscoëfficiënten zijn de som van de spectra van de coëfficiënten van de afzonderlijke optisch actieve componenten.

$$a(\lambda) = a_{\text{water}}(\lambda) + a_{\text{humus}}(\lambda) + a_{\text{algen}}(\lambda) + a_{\text{slib}}(\lambda) \quad (2)$$

$$b(\lambda) = b_{\text{water}}(\lambda) + b_{\text{humus}}(\lambda) + b_{\text{algen}}(\lambda) + b_{\text{slib}}(\lambda) \quad (3)$$

**Model UITZICHT**

Met behulp van de vergelijking voor K(λ) is per golflengte de hoeveelheid licht (irradiantie) bij die golflengte op een bepaalde diepte te berekenen. Hierbij is verondersteld dat K(λ) constant is over de diepte. De irradiantie neemt exponentieel af met de diepte en is evenredig met de irradiantie aan het wateroppervlak. Omdat in het veld PAR wordt gemeten moet de irradiantie [W·m<sup>-2</sup>] worden omgezet naar de quantum irradiantie [Ei·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>]. Dit is noodzakelijk omdat in rood licht bijna 2 keer zoveel lichtquanta aanwezig zijn dan in blauw licht, bij dezelfde energie. Per golflengte wordt de quantum irradiantie berekend. Vervolgens wordt het spectrum van de quantum irradiantie geïntegreerd van 400 tot 700 nm om PAR te bepalen.

$$E_{\text{par}}(Z) = 400 \int_{400}^{700} E_0(\lambda) \cdot K(\lambda) \cdot z \cdot \frac{\lambda \cdot 10^9}{c \cdot h \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} d\lambda \quad (4)$$

- $E_{\text{par}}(z)$  = PAR op diepte z, Ei·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>
- $E_0(\lambda)$  = irradiantie net onder wateroppervlak W·m<sup>-2</sup>
- $c$  = lichtsnelheid, 3·10<sup>8</sup> m·s<sup>-1</sup>

- $h$  = constante van Planck, 6,6262·10<sup>-34</sup> J·s
- $\lambda$  = golflengte, nm
- $z$  = diepte, m

Voor E<sub>0</sub>(λ) wordt een golflengteafhankelijkheid volgens de stralingswet van Planck aangenomen met een temperatuur van 6.000 K. Dit komt goed overeen met het spectrum van de zon. Voor de berekening van de extinctie met UITZICHT is de absolute hoeveelheid invallend licht niet van belang. Is echter de hoeveelheid straling op een bepaalde diepte gewenst dan zal een betere formulering voor het invallende licht gebruikt moeten worden. Ook moeten dan de reflectieverliezen aan het wateroppervlak in rekening worden gebracht.

De extinctie voor PAR, K<sub>par</sub>, kan nu gedefinieerd worden als:

$$K_{\text{par}} = \frac{1}{z_2 - z_1} \ln \frac{E_{\text{par}}(z_1)}{E_{\text{par}}(z_2)} \quad (5)$$

$K_{\text{par}}$  = extinctiecoëfficiënt voor zonlicht, m<sup>-1</sup>

$E_{\text{par}}(z)$  = PAR op diepte z, Ei·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>

In de modelberekening wordt de integraal berekend door E<sub>par</sub>(λ) om de 5 nm te berekenen en vervolgens te sommeren. K<sub>par</sub> wordt berekend uit E<sub>par</sub> op twee dieptes. Het blijkt dat K<sub>par</sub> afneemt met de diepte. Dit effect wordt veroorzaakt door de hoge absorptie in het blauwe en rode gedeelte van het spectrum [13, 14]. Op grotere diepte is er geen blauw en rood licht meer beschikbaar en wordt K<sub>par</sub> alleen bepaald door de extinctie van het groene licht.

Het op het wateroppervlak invallende licht bestaat uit licht dat rechtstreeks afkomstig is van de zon, direct licht, en een gedeelte dat door verstrooiing in de atmosfeer uit alle richtingen, diffuus licht, komt. Voor de beschrijving van het lichtveld wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde gemiddelde cosinus van het invallende licht [1]. Volgens De Keijzer [15] is de gemiddelde cosinus onder water voor diffuus licht ongeveer 0,85 en is de additionele afhankelijkheid van direct zonlicht in combinatie met de zonnestand ± 6%. Deze afhankelijkheid van de zonnestand is niet meegenomen, omdat behalve de zonnestand ook de verhouding tussen direct en diffuus invallend licht van belang is voor de gemiddelde cosinus van het invallende licht. Deze informatie is meestal niet beschikbaar. Bovendien bleek dat een variatie van 6% in de gemiddelde cosinus te resulteren in een variatie van 2% in de extinctie en in 0,3% in het door-

zicht. De invloed van de zonnestand is daarom niet meegenomen in de modellering. Hier is voor de zenithhoek onder water 30° genomen.

*Berekening doorzicht*

Preisendorfer [16] geeft een uitvoerige beschrijving van de theoretische achtergronden en een eenvoudige vergelijking voor de Secchidiepte. De Secchidiepte kan als volgt worden berekend:

$$\text{Doorzicht} = \frac{I}{c_{\text{par}} + K_{\text{par}}} \quad (6)$$

- $I$  = constant
- $c_{\text{par}}$  = bundelverzwakkingscoëfficiënt voor PAR, m<sup>-1</sup>
- $K_{\text{par}}$  = extinctiecoëfficiënt voor PAR, m<sup>-1</sup>

Voor c<sub>par</sub> wordt de totale bundelverzwakkingscoëfficiënt van licht tussen 400 en 700 nm genomen. Hiertoe wordt c<sub>par</sub> door c(λ) bepaald, analoog aan de berekening van K<sub>par</sub> waarbij K(λ) wordt vervangen door c(λ).

De constante I is helaas geen echte constante. Dit wordt onder meer veroorzaakt omdat in deze constante de ooggevoeligheid en ook het contrast tussen de witte (Secchi)schijf en het water zijn verwerkt. De constante I is geoptimaliseerd.

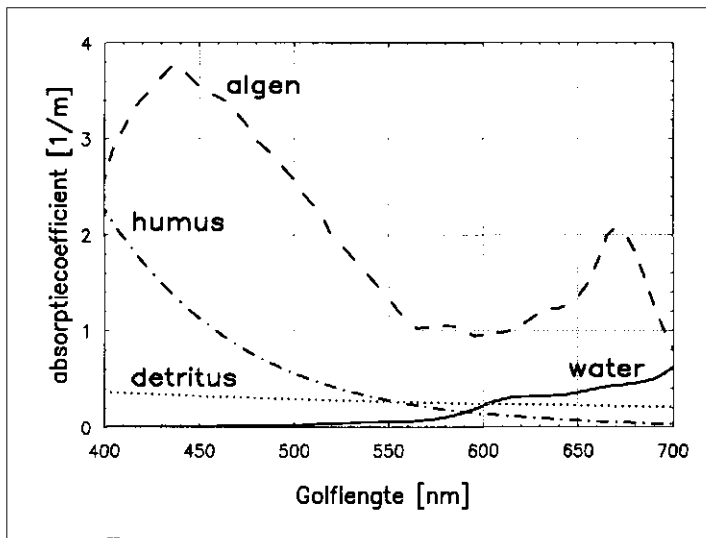
De extinctie wordt voornamelijk bepaald door absorptie. Het doorzicht daarentegen wordt in belangrijke mate door de verstrooiing bepaald. Dit komt doordat in de Nederlandse situatie verstrooiing groter is dan absorptie.

**Absorptie- en verstrooiingscoëfficiënten**

Voor het berekenen van extinctie en doorzicht worden in het model spectra van de absorptie- en verstrooiingscoëfficiënten van de afzonderlijke componenten in het water gebruikt. Helaas zijn niet al deze spectra beschikbaar. Het is daarom nodig om een aantal coëfficiënten in het model te optimaliseren aan de hand van metingen van extinctie en doorzicht. De componenten die van belang zijn voor de uitdoving van het licht zijn water, opgeloste humuszuren, algen en dode zwevende stof, hier aangeduid als slib. De laatste categorie bevat een anorganische fractie en een fractie met organische materiaal, ook wel detritus genoemd.

*Water*

Voor de absorptie- en verstrooiingscoëfficiënten van water zijn getabelleerde waarden genomen [18]. Water heeft in het grootste gedeelte van het zichtbare spectrum geen noemenswaardige absorptie, zeker in verhouding tot de



Afb. 1 - Absorptiespectra van water, opgeloste humuszuren, algen en detritus.

absorptie van licht door humuszuren in de Nederlandse zoete wateren. De absorptie neemt toe in het rode gedeelte van het spectrum, zoals te zien is in afbeelding 1.

#### Humuszuren

De in het water opgeloste humuszuren worden door hun geel-bruine kleur ook wel 'Gelbstoff' of 'yellow substance' genoemd. De absorptie van licht door humuszuren neemt exponentieel toe met kleinere golflengtes. Humuszuren in het water zijn gedefinieerd als de organische stoffen in het filtraat na een filtratie over een 0,45  $\mu\text{m}$  membraan filter. We gaan er van uit dat er alleen absorptie en geen significante verstrooiing door humuszuren is.

De golflengte-afhankelijkheid van de absorptiecoëfficiënt van opgeloste humuszuren wordt meestal als volgt weergegeven [18, 19].

$$a_h(\lambda) = a_h(380) e^{-k_h(\lambda - 380)} \quad (7)$$

$$a_h(\lambda) = \text{absorptiecoëfficiënt van humus}$$

$$k_h = \text{constante, } 0,014 \text{ nm}^{-1}$$

Als relatieve maat voor het gehalte humuszuren kan wat betreft de lichtuitdoving de absorptie  $a_h(380)$  dienst doen. De exponentiële vergelijking wordt gebruikt om de absorptie bij de andere golflengtes te berekenen. In het model zit de mogelijkheid om de constante  $k_h$  aan te passen. De range van gemeten waarden ligt tussen de 0,01 en 0,025  $\text{nm}^{-1}$ . De waarde van 0,014  $\text{nm}^{-1}$  is voor Nederlandse binnenwateren een redelijke aanname [19]. Metingen van het absorptie spectrum van humuszuren voor specifieke meren geeft natuurlijk de mogelijkheid om de 'constante' te bepalen.

Gebruik van verbanden tussen  $a_h(380)$  en DOC is niet aan te bevelen. Zelf de absorptie bij 380 nm van gefilterd water

TABEL I - Range gemeten absorptiecoëfficiënt bij 380 nm van gefilterd water.

meer	$a_h(380) \text{ m}^{-1}$
Veluwemeer	3-5
Wolderwijd	2-5
Nuldernauw	3-16
IJsselmeer	4-8
Markermeer	3-6
Volkerak/Zoommeer	2-5

bepalen is verstandiger. In tabel I staat de range van waargenomen  $a_h(380)$  voor een aantal meren.

#### Algen

Algen absorberen en verstrooien het licht. In de literatuur zijn absorptie- en verstrooiingsspectra van algen te vinden [20] en er zijn ook theoretische beschrijvingen van algenspectra gegeven [21]. Omdat voor algen het absorptiespectrum en het verstrooiingsspectrum globaal een invers verloop hebben mag als vereenvoudiging worden gesteld dat het spectrale verloop van de bundelverzwakking constant is [22].

De berekeningswijze voor de absorptie en verstrooiingscoëfficiënten van algen is dan als volgt. Als maat voor de algencentratie wordt het chlorofyl- $\alpha$  gehalte gebruikt.

$$c_a = a_a(550) + 0,12 \text{ chlorofyl}^{0,063} k_a \quad (8)$$

$$a_a(\lambda) = (0,058 + 0,018 \text{ chlorofyl}) a_{chl} k_a \quad (9)$$

$$b_a(\lambda) = c_a - a_a(\lambda) \quad (10)$$

$$c_a = \text{bundelverzwakkingscoëfficiënt voor algen, } \text{m}^{-1}$$

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

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

$$a_{chl}(\lambda) = \text{specifieke absorptiecoëfficiënt voor chlorofyl, } \text{m}^{-1}/\mu\text{g/l, [20]}$$

$k_a$  = constante  
chlorofyl = concentratie chlorofyl- $\alpha$ ,  $\mu\text{g/l}$

De voor de beschrijving van de optische eigenschappen van algen gebruikte formulering is afkomstig van Prieur en Sathyendranath [20] evenals de getallen voor de specifieke absorptie voor chlorofyl. In de natuur komen verschillende soorten algen voor, die ieder hun eigen absorptie en verstrooiingsgedrag vertonen. Door de constante  $k_a$  te kiezen kan rekening worden gehouden met de algensoortensamenstelling, hoewel dit natuurlijk slechts beperkte mogelijkheden biedt. Pigmentensamenstelling die per algensoort kan verschillen is op deze manier niet te simuleren. Hier is deze vereenvoudiging toegestaan omdat we in  $K_{par}$  en het doorzicht zijn geïnteresseerd. Is echter de spectrale beschrijving van de extinctie gewenst dan zal de hier gebruikte beschrijving voor de optische eigenschappen van algen niet meer voldoen.

#### Slib

Het totaal zwevende stof bestaat uit slib, bestaande uit gloeirest en een organische fractie (detritus) en algen. In de veldsituatie is het onderscheid tussen gloeirest en detritus moeilijk te maken, zeker in termen van optische grootheden, omdat ze in de natuur niet los van elkaar voorkomen. Hier wordt het slibgehalte gebruikt om de bundelverzwakkingscoëfficiënt  $c_s$  van het slib te berekenen. De absorptie van het slib  $a_s$  wordt berekend op basis van het detritusgehalte. Het gehalte slib en detritus wordt berekend uit de gehalten totaal zwevende stof, gloeirest en chlorofyl, waarbij het gewicht van de algen wordt geschat op basis van een omrekeningsfactor ( $g_{chl}$ ).

$$\text{detritus} = \text{zwevende stof} - \text{gloeirest} - g_{chl} \text{ chlorofyl}$$

$$\text{slib} = \text{zwevende stof} - g_{chl} \text{ chlorofyl}$$

De waarde van  $g_{chl}$  ligt tussen 0,07-0,1 [23]

De golflengte-afhankelijkheid van de optische parameters van zwevend materiaal wordt meestal beschreven met een verband omgekeerd evenredig met de golflengte [20]. Dit is een vrij grove aanname omdat de verstrooiing van deeltjes sterk afhangt van de grootte van de deeltjes. Een betere benadering is mogelijk als de deeltjesgrootteverdeling bekend is, waarna de bundelverzwakkingscoëfficiënt is te berekenen [24].

$$c_s(\lambda) = k_1 \text{ slib} k_2 \frac{400}{\lambda} \quad (11)$$

$$a_s(\lambda) = k_3 \text{ detrius } \frac{400}{\lambda} \quad (12)$$

$$b_s(\lambda) = c_s(\lambda) - a_s(\lambda) \quad (13)$$

$k_1, k_2, k_3 =$  constanten bundelverzwakking zwevende stof

**Spectra**

De spectra van de van de afzonderlijke absorptiecoëfficiënten zijn weergegeven in afbeelding 1. Het model berekent vervolgens de som van de afzonderlijke absorptie- en verstrooiingscoëfficiënten (afb. 2). Op basis van die spectra wordt het spectrum van de extinctiecoëfficiënt berekend. Opvallend is het grote verschil tussen de absorptie en de verstrooiing. Het spectrum van de extinctie wordt qua vorm en hoogte voornamelijk door de absorptie bepaald. De extinctie is iets hoger dan de absorptie door de extra weglengte die wordt afgelegd door verstrooid licht. Uit deze spectrale extinctie wordt de extinctie voor PAR afgeleid. In dit geval wordt  $K_{par} = 3,3 \text{ m}^{-1}$ , dit is iets hoger dan de minimale spectrale waarde.  $K_{par}$  wordt sterk bepaald door het minimum in de spectrale extinctie en komt qua vorm sterk overeen met het absorptiespectrum.

De verstrooiingscoëfficiënt is voor de Nederlandse situatie veel groter dan de absorptiecoëfficiënt. Dit heeft tot gevolg dat het doorzicht naar verhouding sterker wordt bepaald door de verstrooiing dan de absorptie.

**Coëfficiënten UITZICHT**

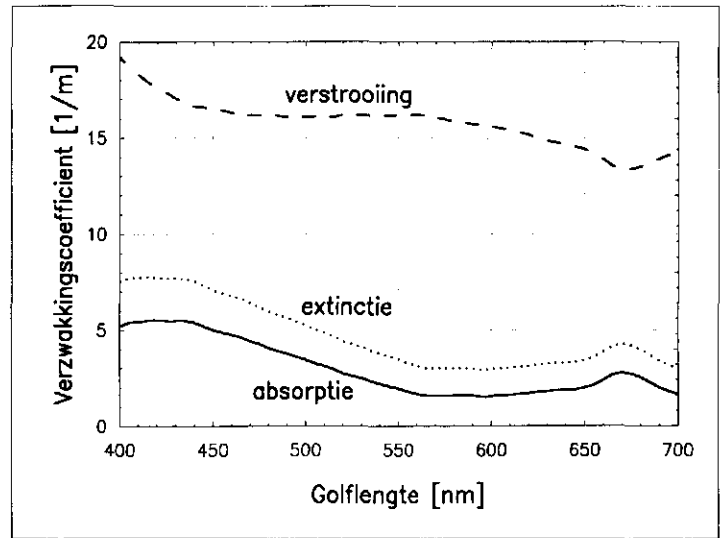
De coëfficiënten in het model zijn verkregen via een optimalisatie methode. Eerst is het gedeelte van het model dat betrekking heeft op de extinctie ge-optimaliseerd, vervolgens het gedeelte voor het doorzicht. Als criterium is de som van de kwadraten van het verschil tussen berekende waarde en gemeten waarde gebruikt. Extinctie- en doorzichtmetingen in het Wolderwijd/Nulder nauw en het Veluwemeer uit de periode 1978 t/m 1985 zijn hiervoor gebruikt. De optimalisatie resulteerde in de volgende coëfficiënten voor het model.

TABEL II - Coëfficiënten UITZICHT voor de Randmeren.

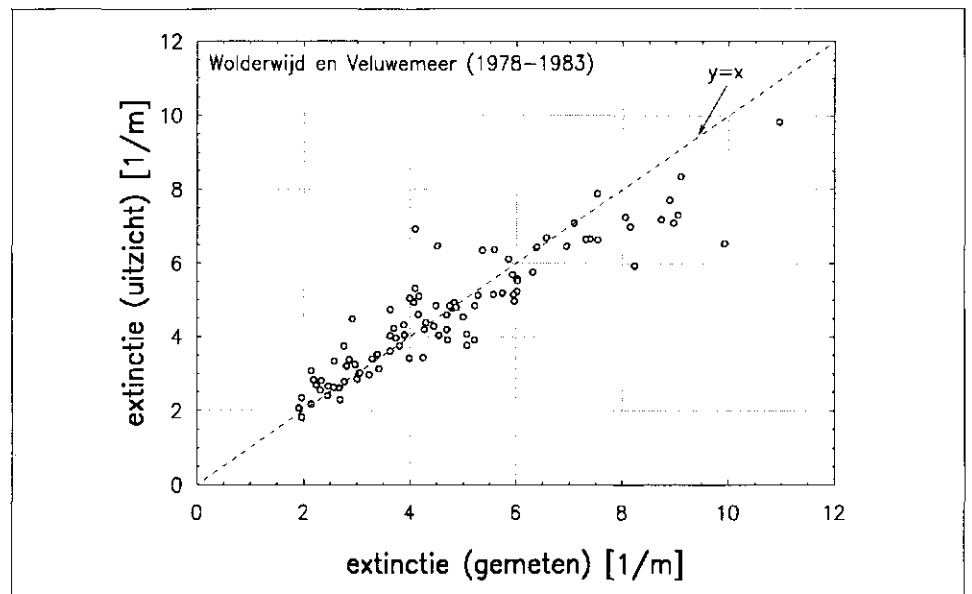
humuszuren	$k_h$	0,014		
slib	$k_1$	0,528;	$k_2$	1,0;
				$k_3$
algen	$k_a$	2,73;	$g_{chl}$	0,07 (mg/ $\mu$ g)
doorzicht	$F$	6,46		

Het resultaat van met het model berekende en gemeten extinctie en doorzicht staan in de afbeeldingen 3 en 4. UITZICHT geeft goede resultaten voor extincties tot  $8 \text{ m}^{-1}$ . Ook voor het door-

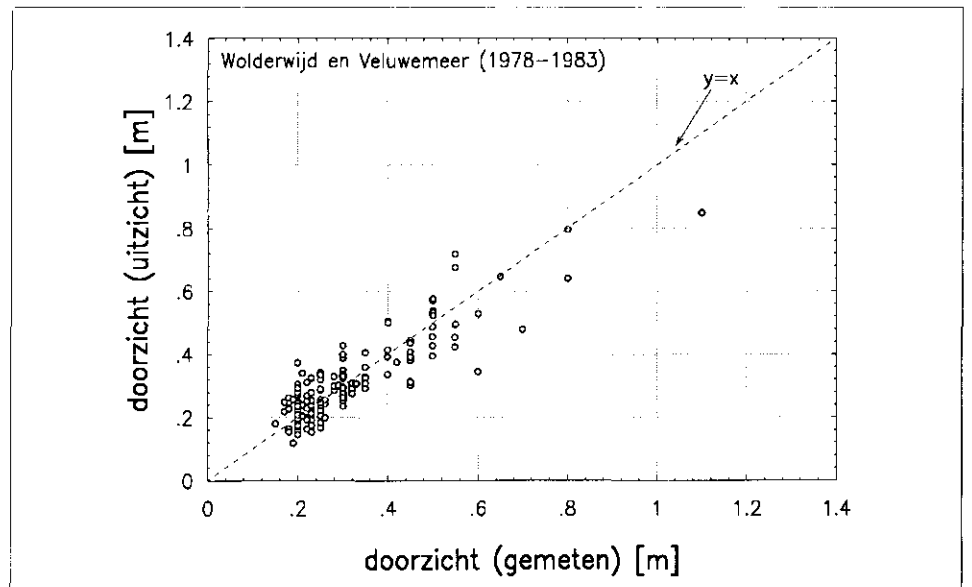
Afb. 2 - Som van de afzonderlijke absorptie- en verstrooiingscoëfficiënten en het berekende spectrum van de extinctiecoëfficiënt.

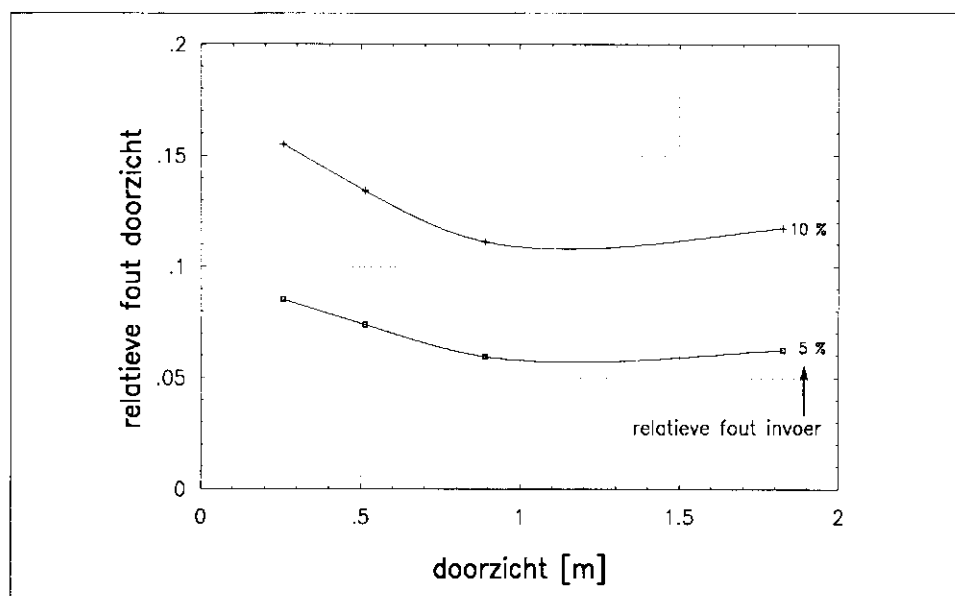


Afb. 3 - Met UITZICHT berekende extinctie als functie van de gemeten extinctie. Wolderwijd en Veluwemeer 1978-1983.

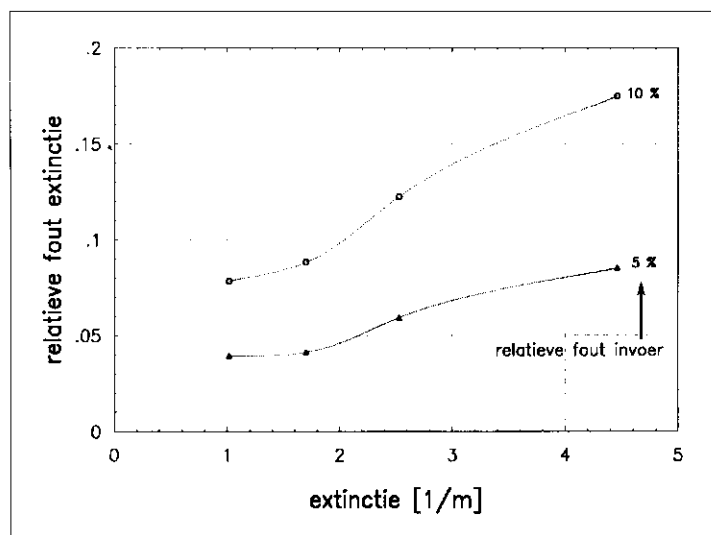


Afb. 4 - Met UITZICHT berekend doorzicht als functie van het gemeten doorzicht. Wolderwijd en Veluwemeer 1978-1983.





▲ Afb. 5 - Relatieve fout in het met UITZICHT berekend doorzicht door een relatieve fout van 5 en 10% in de invoerdata, chlorofyl, zwevende stof en gloeirest, als functie van het doorzicht.



◀ Afb. 6 - Relatieve fout in de met UITZICHT berekende extinctie door een relatieve fout van 5 en 10% in de invoerdata, chlorofyl, zwevende stof en gloeirest, als functie van de extinctie.

zicht zijn de resultaten bevredigend. In de beschikbare dataset zitten weinig doorzicht metingen van 1 m en hoger. Van systematische onderschatting van een hoger doorzicht is hier geen sprake.

#### Gevoeligheidsanalyse UITZICHT

Gemeten waarden van waterkwaliteitsparameters zijn niet vrij van fouten. Bij de beoordeling van de modelresultaten moeten we daar rekening mee houden. Om een indruk te krijgen hoe het model reageert op fouten in de invoer zijn twee situaties bekeken. Geanalyseerd is wat de invloed op extinctie en doorzicht is van een relatieve afwijking van 5 en 10% in zwevende stof, gloeirest en chlorofyl- $\alpha$ .

De invloed van opgeloste humuszuren is apart geëvalueerd. Omdat detritus wordt berekend uit zwevende stof, gloeirest en algen, heeft deze een hogere relatieve fout. De analyse is gedaan voor een aantal

concentraties, zodat zowel lage als hoge waarden voor het doorzicht worden bekeken. Met het model zijn het doorzicht en de extinctie berekend voor de oorspronkelijke concentraties en de concentraties met de foutenmarge. Vervolgens is de relatieve afwijking in doorzicht en extinctie uitgezet tegen respectievelijk de oorspronkelijke waarden voor het doorzicht en de extinctie (afbeelding 5 en 6).

De relatieve fout in het doorzicht neemt toe als het doorzicht afneemt. Bij een doorzicht van circa 1 m is de relatieve afwijking in het doorzicht ongeveer even groot als de afwijking in de invoer. Als het doorzicht lager is dan 0,5 m dan neemt de fout toe tot bijna 2 keer de relatieve fout in de invoer.

De relatieve fout in de extinctie neemt toe met de extinctie. De relatieve fout in de extinctie is voor een lage extinctie ongeveer gelijk aan de relatieve fout in de

invoer. Voor de hogere extincties is de relatieve fout ongeveer het dubbele van de fout in de invoer.

Het blijkt dus dat lage doorzichten en hoge extincties moeilijker te voorspellen zijn omdat ze gevoeliger zijn voor fouten in de invoer.

Er is hierbij van uitgegaan dat de relatieve fout in de invoer waterkwaliteitsparameters constant is en onafhankelijk van de concentratie. Dit zal niet altijd het geval zijn omdat vooral lage concentraties grotere fouten zullen hebben, als de hoeveelheid water die wordt geanalyseerd gelijk blijft. Dit laatste heeft tot gevolg dat de fout bij lage concentraties oploopt en doorwerkt bij een hoog doorzicht en een lage extinctie.

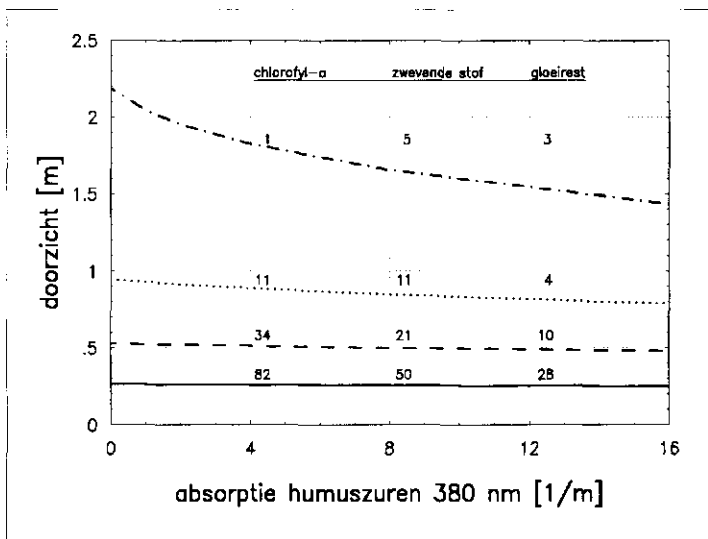
#### Humuszuren

De parameter die hier gebruikt wordt om de humuszuren te karakteriseren is minder bekend en daardoor minder bemeten dan de andere gehalten die als invoer voor dit model dienen. Om een idee te geven van de orde van grootte van de absorptie van humuszuren is in tabel I een overzicht gegeven voor een paar meren. In veenplassen komen veel hogere waarden voor dan de meren in het IJsselmeergebied. In de Friese meren komen waarden voor  $a_h(380)$  tot 20-30  $m^{-1}$  voor [19].

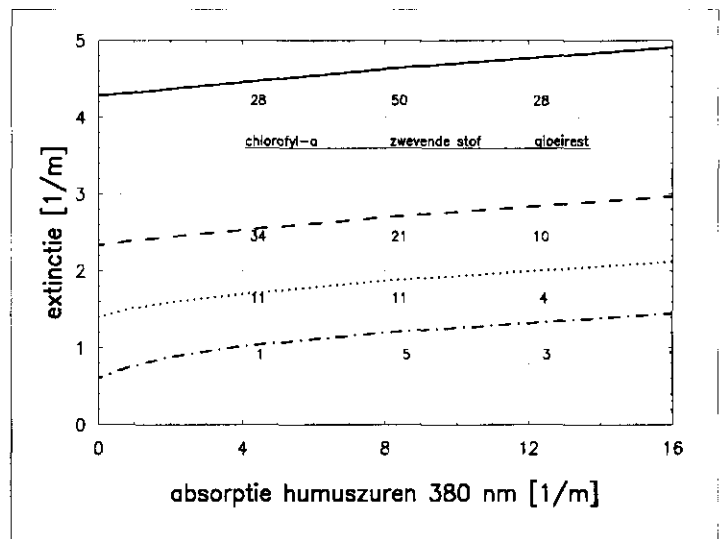
Het effect van het humuszurenghalte op extinctie en doorzicht is berekend voor 4 verschillende invoersets. In de afbeeldingen 7 en 8 is de invloed van een toename van de opgeloste humuszurenghalte op extinctie en doorzicht uitgezet, waarbij de andere gehalten constant zijn gehouden. In de afbeelding zijn die gebruikte concentraties vermeld. Het blijkt dat de invloed van humuszuren op extinctie en doorzicht hoger is als het water helderder is. Bij toenemende verstrooiing wordt de invloed op het doorzicht steeds kleiner. Voor een 'helder' water met een doorzicht van circa 2 m neemt het doorzicht 0,5 m af als  $a_h(380)$  toeneemt van 2 tot 12  $m^{-1}$ . Bij een doorzicht van 1 m is de afname slechts 0,1 m. De extinctie neemt toe als  $a_h(380)$  toeneemt. Voor  $a_h(380) > 4 m^{-1}$  en  $K_{par} > 2 m^{-1}$  is de toename constant en onafhankelijk van de andere concentraties.

#### UITZICHT en Wolderwijd 1991

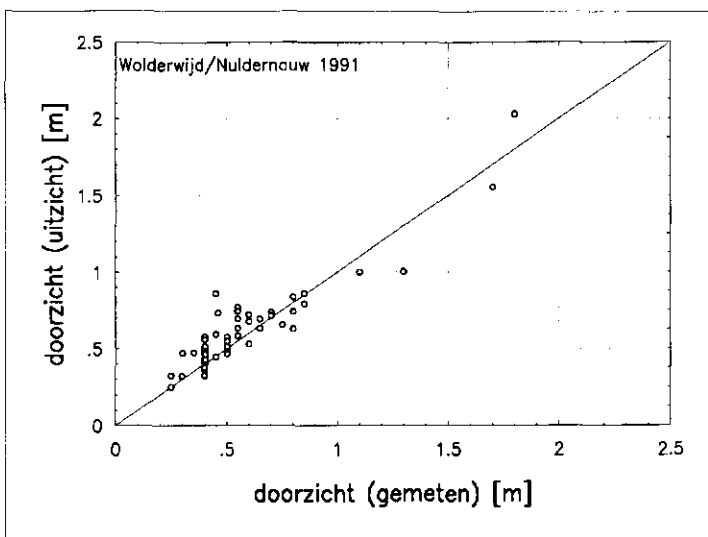
In het Wolderwijd/Nuldernauw heeft eind 1990 en begin 1991 een ingrijpende actief biologisch beheer maatregel plaatsgevonden. In totaal is circa 400.000 kg witvis gevangen en is vervolgens op grote schaal snoek uitgezet. Dit heeft geresulteerd in een toename van het zomerhalfjaargemiddelde doorzicht tot 0,7 m ten



Afb. 7 - Invloed van de toename van de absorptiecoëfficiënt bij 380 nm van humuszuren op het doorzicht voor verschillende niveaus van het doorzicht. In de afbeelding zijn per lijn de gebruikte concentraties vermeld.



Afb. 8 - Invloed van de toename van de absorptiecoëfficiënt bij 380 nm van humuszuren op de extinctie voor verschillende niveaus van de extinctie. In de afbeelding zijn per lijn de gebruikte concentraties vermeld.



Afb. 9 - Met UITZICHT berekend doorzicht als functie van het gemeten doorzicht. Wolderwijd/Nuldernauw 1991.

opzichte van circa 0,3 m in 1990 en voorgaande jaren. Bovendien was het een aantal keren mogelijk om de bodem van het meer te zien [25].

De meetgegevens van 1991 zijn gebruikt om te kijken of UITZICHT een realistische schatting geeft van het doorzicht na een eutrofiëeringsmaatregel.

In afbeelding 9 is het gemeten doorzicht uitgezet tegen het met UITZICHT berekende doorzicht. Uit de afbeelding blijkt dat bijna alle berekende waarden niet meer dan 20 cm van de gemeten waarde afwijken. De waarden boven de 1 m worden ook redelijk voorspeld. Dit laatste zou met een model gebaseerd op meervoudige lineaire regressie niet mogelijk zijn, omdat het maximale te berekenen doorzicht in dit geval op 0,8 m ligt.

### Conclusies

Gebaseerd op spectrale optische eigenschappen en een eenvoudige formulering voor het lichttransport in het water is een model UITZICHT gemaakt waarmee het doorzicht en de extinctie berekend kunnen worden. De invoer voor het model zijn de waterkwaliteitsparameters zwevende stof, gloeirest en chlorofyl-*a* en de absorptiecoëfficiënt van de opgeloste humuszuren. Gegevens over de eerste drie parameters zijn noodzakelijk voor een goed begrip van de oorzaken van een laag doorzicht. Voor de absorptie van humuszuren kan in veel gevallen worden volstaan met een schatting. Echter als het doorzicht boven de meter komt is het beter ook deze waarde te meten. Het model is goed bruikbaar voor het schatten van een doorzicht na een beheersmaatregel omdat het met UITZICHT mogelijk is om ook hogere

doorzichten goed te berekenen. Dit is niet mogelijk met MLR-modellen.

Ook is het mogelijk om met het model een afchatting te maken van de relatieve bijdrage aan de extinctie en het doorzicht van de verschillende stoffen in het water.

De invloed van opgeloste humuszuren op het doorzicht wordt merkbaar bij een doorzicht van circa 1 m en hoger. Bij een doorzicht van 0,5 m en kleiner is de invloed van humuszuren op het doorzicht verwaarloosbaar. Het effect van opgeloste humuszuren op extinctie is nagenoeg onafhankelijk van de extinctie, met uitzondering van het gebied met lage humuszurenabsorptie en lage extinctie.

### Literatuur

1. Kirk, J. T.O. (1983). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
2. Bakema, A. H. (1988). *Empirische lichtmodellering voor een aantal Nederlandse meren*. WL, T387, Delft.
3. Buiteveld, H. (1990). *UITZICHT. Model voor berekening van doorzicht en extinctie*. RIZA, nota 90.058, Lelystad.
4. Meijer M-L. (1989). *Toepassing van Actief Biologisch Beheer in het Wolderwijd-Nuldernauw. Rapportage van de projectgroep Actief Biologisch Beheer*. DBW/RIZA nota 89-057, Lelystad.
5. Ebben, M. H. M. (1992). *Optica onder water. Troebelheid, doorzicht en extinctie*. H<sub>2</sub>O, 25, 634-637.
6. Donze M. en Dubbelaar, G. B. J. (1984). *Theoretische en experimentele onderzoeken aangaande de interpretatie van spectrofotometrische waarnemingen van algen*. TUD. Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeweging. Rapport nr. 84-06.
7. Dubelaar, B. J., Visser, J. W. M. and Donze, M. (1987). *Anomalous behaviour of forward and perpendicular light scattering of a cyanobacterium owing to intracellular gas vacuoles*. Cytometry 8, 405-412.
8. Maske, H. and Haardt, H. (1987). *Quantitative in vivo absorption spectra of phytoplankton: detrital absorption and comparison with fluorescence excitation spectra*. Limnology and Oceanography 32, 620-633.
9. Stokkom, H. T. C. van en Donze, M. (1988).

Optische remote sensing en oppervlaktewater nu. *H<sub>2</sub>O*, 21, p 33-42.

10. Buiteveld, H., Meulstee, C. en Bakker, H. (1989). *Gebruik van satellietbeelden in het IJsselmeergebied*. BCRS rapport 89-31, Delft.
11. Dekker, A. G. (1990). *The remote sensing Loosdrecht Lakes project*. BCRS rapport 90-29, Delft.
12. Kirk, J. T. O. (1984). *Attenuation of solar radiation in scattering-absorbing waters: a simplified procedure for its calculation*. *Applied Optics* 23, 3737-3739.
13. Bowling and Tyler (1986). *The underwater light-field of lakes with marked physico-chemical and biotic diversity in the water column*. *J. Plankton Research* 8, 69-77.
14. Jewson, D. H., Talling, J. F. Dring, M. J., Tilzer, M. M. Heaney, S. I. and Cunningham, C. (1984). *Measurement of photosynthetic available radiation in freshwater: comparative tests of some current instruments used in studies of primary production*. *J. Plankton Research* 6, 259-273.
15. Keijzer, J. de (1988). *Verzwakking van diffuse straling in natuurlijke water*. Maritime technisch bureau, ZEMOKO, Oostkapelle.
16. Preisendorfer, R. W. (1986). *Secchi disk science: visual optics of natural waters*. *Limnology and Oceanography* 31, 909-926.
17. Buiteveld, H. and Donze, M. (In voorbereiding). *The optical properties of pure water*.
18. Bricaud, A. and Morel, A. (1986). *Light attenuation and scattering by phytoplanktonic cells: a theoretical modeling*. *Applied Optics* 25, 571-580.
19. Jong F. de, Donze, M. en Buiteveld, H. (1985). *Optische eigenschappen van stoffen in het water*. TUD. Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeweging. Rapport nr. 85-14.
20. Prieur L. and Sathyendranath, S. (1981). *An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter and other particulate materials*. *Limnology and Oceanography* 26, 671-689.
21. 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.
22. Sathyendranath, S. and Platt, T. (1988). *The spectral irradiance field at the surface and the interior of the ocean*. *J. Geophysical Research* C 93, 9270-9280.
23. Los, F. L., Stans, J. C. Rooij, N. M. de (1988). *Eutrofiëringsmodellen van de randmeren*. WL, T100, Delft.
24. Spinrad, R. W. (1986). *A calibration diagram of specific beam attenuation*. *J. Geophysical Research* C 61, 7761-7764.
25. Meijer M-L., Blaauw, E. M. en Breukelaar, A. W. (1992). *Drastische uitdunning van de visstand in het Wolderwijd*. *H<sub>2</sub>O* 25, 197-199.

## Respirometrie

• *Vervolg van pagina 167.*

Regeling van de  $r_{act}$  in het fictieve compartiment door sturing van het totale afvalwaterdebiet levert een aanzienlijk beter resultaat op dan sturing van het PW-debiet. Er dient echter bij deze regeling gebruik te worden gemaakt van de bergingscapaciteit van het laag verontreinigd riool.

De haalbaarheid van deze regeling is vooral afhankelijk van de aanvoer van het

laag verontreinigde afvalwater en van de regelwateraanvoer.

## Conclusies

Uit de verkregen resultaten zijn de volgende conclusies te trekken:

1. Uit modelsimulaties blijkt dat met een simpele PID-regeling van zowel het PW-debiet als het vijzeldebiet, grote fluctuaties in de aanvoer van biodegradeerbare stoffen naar de carrousel te voorkomen zijn.
2. Door sturing van het vijzeldebiet kan de  $r_{act}$  van het actief slib in de carrousel geregeld worden op een voorgeschreven instelwaarde. Hiermee wordt een overbelasting van de zuiveringsinstallatie voorkomen.
3. Regeling van  $r_{act}$  is ook mogelijk door sturing van het PW-debiet. Bij deze regeling dient de beluchter, wanneer de vijzels schakelen naar een hoger of lager debiet of wanneer de regelaar een andere instelwaarde krijgt, rekening te houden met een tijdelijke afwijking tussen de  $r_{act}$  die optreedt in de carrousel en de  $r_{act}$  die gemeten wordt in het respiatievat.
4. Een dag-nacht-regeling in combinatie met verschillende instelwaarden van de regelaar, geeft een lager energieverbruik van de beluchters ten opzichte van de huidige situatie. Berekend is dat er een besparing mogelijk is van minimaal 11% en maximaal 21% ten opzichte van de huidige situatie.
5. Bij regeling van  $r_{act}$  door sturing van het PW-debiet is, voor de dagelijkse verwerking van de PW-aanvoer, een buffertank nodig met een volume van 100 tot 150 m<sup>3</sup>. Bij deze regeling wordt een voldoende zuiveringsrendement verkregen met één beluchter.
6. Bij regeling van  $r_{act}$  door sturing vijzeldebiet is in principe geen buffertank voor het PW nodig.

## Literatuur

- Brouwer, H. H. (1992). *Ontwerp belastingregeling avosi QUEST INTERNATIONAL NAARDEN op basis van respirometrie*. Doctoraalverslag, Vakgroep Milieutechnologie, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Brouwer, H. H. (1993). *Modelleren en regelen van een aerobe afvalwaterzuiveringsinstallatie op basis van respirometrie*. Doctoraalverslag, Vakgroep Agrotechniek en -fysica, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Henze, M. et al. (1986). *Activated sludge model No. 1*. IAWPRC, Scient. & Techn. Reports 1, London.
- Klapwijk, A., Spanjers, H. en Tammink, H. (1991). *Regeling van actief slibinstallaties op basis van respiatiemetingen*. *H<sub>2</sub>O*, 24, 558-554.
- Klapwijk, A., Spanjers, H. en Temmink, H. (1992). *Control of activated sludge plants based on measurement of respiration rates*. *Journal A*, vol. 33, no. 3, Antwerpen, Belgium.
- Spanjers, H. en Klapwijk, A. (1990). *Dynamiek van het zuurstofverbruik in actief slibsystemen gemeten met*

*de Wazu-respiatiemeter*. Vakgroep Milieutechnologie, Landbouwniversiteit Wageningen, 35 pp.

- Spanjers, H. and Klapwijk, A. (1990). *On-line meter for respiration rate and short-term biological oxygen demand in the control of the activated sludge process*. *Proc. of the 5th IAWPRC workshop on instrumentation, control and automation of water and wastewater treatment and transport systems*. 26 July-3 Aug., Kyoto, Japan.
- Stephanopoulos, G. (1984). *Chemical process control; an introduction to theory and practice*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.



## Summaries

• *Continued from page 149.*

*H<sub>2</sub>O* (27) 1994, nr. 6; 161

J. ZWEEGMAN:

### Positive effects of watermetering

Watermetering of more than 100.000 households in the area of the Watercompany for the province of Groningen introduced in the period 1986/1987 has given a permanent reduction of at least 10% of the overall consumption. Also the peak factors max day/average day and max hour/average hour are most probably reduced with about 10%.

The cost of metering (f 150.- all-in per meter) is very acceptable compared with the profit for the environment (lesser groundwater extraction).

*H<sub>2</sub>O* (27) 1994, nr. 6; 164

H. BROUWER, A. KLAPWIJK and K. J. KEESMAN:

### Control system for the activated sludge plant, based on on-line measurement of the actual respiration

Research is presented about a control system for the activated sludge plant of QUEST INTERNATIONAL NAARDEN BV. The control system is based on on-line measurement of the actual respiration rate in the carrousel. From model simulations we could conclude that overloading can be prevented if the waste water flow is manipulated. Also energy can be saved by manipulating the waste water flow. A day/night control of the aerators will also result in a lower energy consumption. The energy saving are between 11 and 21%.

*H<sub>2</sub>O* (27) 1994, nr. 6; 168

H. BUITEVELD:

### UITZICHT, model for the calculation of Secchi depth and light extinction

Secchi depth measurements have a long tradition in water management. Measures, aiming at improving the water quality, strive amongst others for higher Secchi disk transparency. Models are needed to predict the effect of such measures on Secchi depth. The model UITZICHT calculates the Secchi depth and light extinction, based on concentrations total suspended matter, ash-free dry weight, chlorophyll-*a* and the absorption of aquatic humus. The advantage of this model compared with multiple linear regression models is better predictions of higher Secchi depth values. The model is optimized for the shallow Border Lakes in the Netherlands. UITZICHT is used to predict Secchi depth of the Wolderwijd after bio-manipulation.