

Algen en de zuurstofhuishouding van de Rijn

1. Inleiding

Al meermalen is gesignaleerd dat de zuurstofgehalten van de Rijn sterk zijn verbeterd [Dijkzeul, 1982; Van Urk, 1981; Stock, 1981].

Circa 10-15 jaar geleden kon de zuurstofhuishouding van de Rijn praktisch helemaal beschreven worden via de klassieke 'oxygen sag' curve van Streeter-Phelps waarin nabij Lobith een dieptepunt lag als gevolg van de lozingen in het Duitse gedeelte van de rivier. Deze 'oxygen sag' curve heeft de vorm van de getrokken lijn in afb. 1. De zuurstofgehalten



G. VAN URK
Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor zuivering
van Afvalwater, Lelystad

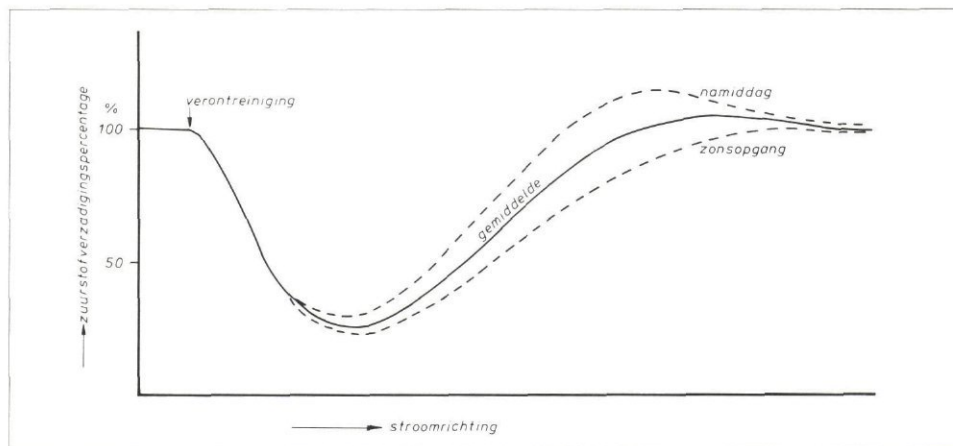
waren lager naarmate de afvoer lager werd en de temperatuur hoger. Een voorbeeld van de temperatuursafhankelijkheid van het zuurstofgehalte bij een bepaalde afvoer geeft afb. 2 (uit een interne RIZA-nota over thermische verontreiniging).

TABEL 1 – Frequentieverdeling van zuurstofverzadigingspercentages in de IJssel bij Kampen van 1968-1974, gebaseerd op steekmonsters uit het manueel waterkwaliteitsmeetnet.

	< 40%	40-60%	60-80%	80-100%	> 100%
april	7	38	55	—	—
mei	21	55	24	—	—
juni	30	67	3	—	—
juli	27	67	6	—	—
aug.	43	53	4	—	—
sept.	43	57	—	—	—

De minimumgehalten werden meestal in augustus waargenomen. Uit tabel I is af te leiden dat verzadigingspercentages groter dan 60% in de zomer vrijwel niet voorkwamen; in het voorjaar was de zuurstofhuishouding het gunstigst door de veelal lage temperaturen en hoge afvoeren. Door het ontbreken van continue registratie in de jaren voor 1975 is een erg gedetailleerde analyse van de zuurstofcijfers in deze periode niet mogelijk.

De te verwachten daling van het zuurstofgehalte bij hogere temperaturen heeft een grote rol gespeeld bij de discussie over de toelaatbare hoeveelheid koelwaterlozingen op de Rijn (zie bijv. IMP 1975-1979 blz. 78). Bij toegenomen zuivering van organische afvalstoffen (zonder nutriëntenverwijdering) treedt een verschuiving op van afbraakprocessen naar fototrofe processen: onder invloed van licht komt de fotosynthese van algen op gang en bij aanwezigheid van voldoende nutriënten wordt nieuw organisch materiaal gevormd.



Afb. 1 - Theoretische dag-nacht-variaties van het zuurstofgehalte bij verontreiniging van een rivier met afbreekbaar organisch materiaal [naar Wuhrmann 1972].

De gevolgen voor het zuurstofgehalte zijn theoretisch beschreven door Wuhrmann [1972] als een aanvulling op de 'oxygen sag' curve: het zuurstofgehalte gaat stijgen, en tegelijk gaan de dag/nacht-fluctuaties toenemen, door de fotosynthese overdag en respiratie 's nachts (afb. 1).

Waar vanuit een zuiveringsinstallatie een overmaat aan nutriënten wordt geloosd, zal geen daling van het zuurstofgehalte optreden, maar zullen algen gaan groeien, zover het onder water beschikbare licht dat toelaat.

Stroomafwaarts neemt de hoeveelheid algen toe en worden de fluctuaties in het zuurstofgehalte groter, overeenkomstig het patroon in afb. 1. In afb. 2 is al te zien dat de spreiding in de zuurstofgehalten toenam bij hoge temperaturen, waarschijnlijk door de fotosynthese van algen, maar metingen over de zuurstofproductie in het Nederlandse deel van de Rijn zijn in de periode waarop de grafiek betrekking heeft (1966-1971) niet gedaan.

Uit het Duitse gedeelte van de Rijn zijn gegevens van Knöpp [1960] en Müller [1976]

over de zuurstofproductie voorhanden.

Beiden vonden een hoge zuurstofproductie van het rivierwater (tot ca. $12 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$), maar geven weinig details wat betreft algenhoeveelheid, instraling en doorzicht.

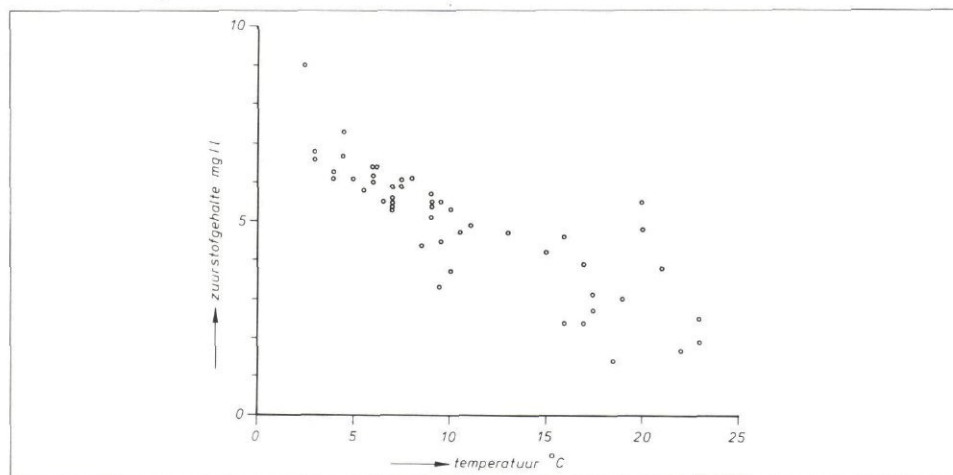
Backhaus en Kemball [1978] vermelden een aantal gegevens over de relaties tussen algenontwikkeling en zuurstofgehalten in de Rijn van Bodensee tot Mannheim. De nadruk ligt bij de samenstelling van het fytoplankton en niet bij procesparameters, zoals fotosynthese-snelheid.

Door Schurr en Rucht [1977] werd de fotosynthese-snelheid voor de Rijn bij Rheinfelden berekend uit continu geregistreerde zuurstofgehalten.

De berekende waarde bedroeg voor de maand juli 1972 ca. $0,06 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ als etmaalgemiddelde. Meer meetgegevens voor de Rijn zijn niet beschikbaar.

Met het waterkwaliteitsmodel MODQUAL is berekend, voor de situatie in 1977, dat door de productie van algen het maandgemiddelde zuurstofgehalte bij Lobith in de zomermaanden met ca. $2-3 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ wordt verhoogd [Waterlooppkundig Laboratorium

Afb. 2 - De relatie tussen het zuurstofgehalte en de temperatuur van het Rijnwater bij Lobith bij afvoeren tussen $1,430$ en $1,670 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in de periode 1966-1971.



TABEL II – Maandgemiddelde watertemperatuur in de Rijn bij Lobith (°C).

	1980	1981	1982	1983
juni	17,7	19,0	19,6	18,8
juli	16,2	19,8	22,2	23,6
augustus	20,5	19,6	21,4	22,7

1981]. De procesparameters voor de primaire productieprocessen zijn voor dit doel ontleend aan de literatuur; ze berusten niet op meetwaarden uit de rivieren. In 1977 was de afvoer met gemiddeld 2.221 m³ s⁻¹ dichtbij het langjarig gemiddelde van de Rijn te Lobith en waren de watertemperaturen niet hoog. 1983 was een uitzonderlijk jaar qua weersomstandigheden; de globale straling was in de zomermaanden ca. 13% hoger dan normaal. De temperaturen van het Rijnwater waren bijzonder hoog vergeleken met de voorafgaande jaren (tabel II). Het is interessant eens na te gaan welke zuurstofgehalten in deze periode van hoge temperaturen in de rivier voorkwamen en hoe deze tot stand kwamen.

2. Hoeveelheid algen in de Rijntakken

Alle groene planten kunnen in principe bijdragen aan de zuurstofproductie. In de rivieren is in de oeverzone op hard substraat zoals stenen en dergelijke slechts een smalle zone bezet met mossen en draadalg. Hogere waterplanten zijn voor de zuurstofhuishouding eveneens te verwaarlozen, al komen bijvoorbeeld in de benedenloop van de IJssel onder andere gele plomp en enkele soorten fonteinkruiden voor. De discussie kan derhalve beperkt blijven tot het fytoplankton. De biomassa van het fytoplankton wordt doorgaans afgeleid uit het chlorophyll-a-gehalte. Chlorophyll-a wordt in de Rijntakken door het RIZA sinds 1977 bepaald (tabel III).

TABEL III – Gemiddelde chlorophyll-a-gehalten (µg l⁻¹) in de Rijntakken in de maanden april-september.

	Gorinchem/		
	Lobith	Vuren	Kampen
1977	64	72	81
1978	51	54	66
1979	80	87	92
1980	52	54	60
1981	85	88	87
1982	78	72	73
1983	59	60	48

Er zijn verschillen van jaar tot jaar, die met de afvoer samenhangen; een duidelijke trend is niet te onderkennen. Wel is opmerkelijk dat in de eerste jaren de gehalten in Kampen en Gorinchem hoger zijn dan die in Lobith, terwijl dat in de laatste jaren niet zo is. Tot 1980 is de soort-samenstelling van het fytoplankton kwalitatief onderzocht. Het fytoplankton bestaat voornamelijk uit diatomeeën en groenwieren.

Van de diatomeeën komen zeer frequent voor onder andere *Asterionella formosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Diatoma* sp., *Melosira* sp., *Nitzschia* sp. en *Stephanodiscus hantzschii*.

Frequent voorkomende groenwieren zijn onder andere *Actinastrum hantzschii*, *Ankistrodesmus* sp., *Coelastrum microporum*, *Dictyosphaerium* sp., *Scenedesmus* sp. Van de blauwwieren komt *Oscillatoria* sp. in meer dan 80% van de monsters voor, maar is nooit dominant.

De soort-samenstelling van het fytoplankton varieert niet veel van jaar tot jaar. Belangrijke bronnen voor het plankton zijn de Zwitserse meren en zijrivieren als Neckar en Moezel. Of in de riviervlakten verschuivingen in de soort samenstelling en de hoeveelheid fytoplankton optreden is uit de beschikbare gegevens niet af te leiden.

3. Zuurstofgehalten in de Rijn

Het RIZA heeft langs de Rijntakken in Lobith, Vuren, Vreeswijk en Kampen meetstations waar verschillende waterkwaliteitsparameters continu gemeten worden. Daarbij is ook het zuurstofgehalte. Uit de metingen blijkt dat duidelijke en regelmatige dag-nacht-fluctuaties optreden. Een paar voorbeelden van dag-nacht-fluctuaties in Lobith worden gegeven door Dijkzeul [1982]. De snelheid van stijging in de loop van de dag en daling in de loop van de nacht blijkt nogal variabel te zijn. Er zijn duidelijke verschillen in de hoogte van de maxima en minima in de loop van een paar dagen.

Verwacht mag worden dat de O₂-productie (bij gelijke hoeveelheid algen) groter is naarmate de instraling groter is. In afb. 3 worden de dagmaxima van de zuurstofgehalten van het meetstation Kampen uitgezet naast de instraling in de voorafgaande dagen. Instralingsgegevens zijn op de meetstations niet voorhanden. Voor afb. 3 is aangenomen dat de instraling

in Kampen ongeveer het midden zal houden tussen die in De Bilt en Eelde (afstand ca. 72 km resp. 77 km), waarvoor het KNMI dagelijks de globale straling opgeeft. Voor de instraling is steeds het voortschrijdend gemiddelde van 2 dagen aangehouden, namelijk de dag zelf en de voorafgaande dag, omdat aannemelijk is dat er een geleidelijke opbouw is van het zuurstofgehalte, waarbij het uitgangspunt mede wordt bepaald door de instraling op de voorafgaande dag. Rivieren stromen overigens; de instraling op een vast punt is dus nooit een volledige juiste maat voor de instraling in een 'blok' rivierwater.

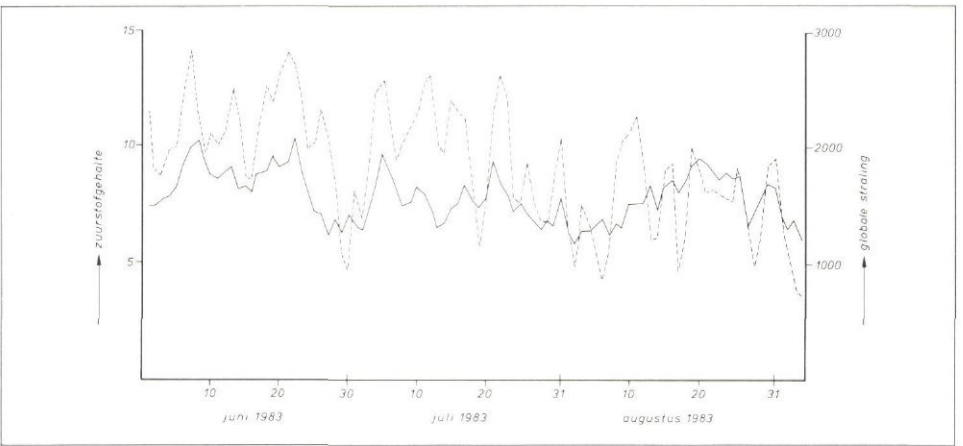
Inherent aan deze benadering zijn nog meer beperkingen: er wordt geen rekening gehouden met variaties in de belasting van het rivierwater met organische stoffen of met afvoerfluctuaties. Ondanks deze beperkingen vertonen de instraling en het dagmaximum van het zuurstofgehalte in de maanden juni en juli toch een opvallend gelijk verloop, waarbij pieken in de instraling steeds een piek in de dagmaxima van de zuurstofgehalten tot gevolg hebben.

In afb. 3 blijkt dat in de tweede helft van augustus hoge zuurstofgehalten voorkomen bij lagere instralingswaarden dan in juli. Het verschil wordt veroorzaakt door de hogere chlorophyll-a-waarden in de tweede helft van augustus. In Kampen was het gehalte in juli ca. 60 mg m⁻³ en in eind augustus ca. 125 mg m⁻³.

De interpretatie van waterkwaliteitsgegevens krijgt daarmee een raakvlak met meteorologische gegevens. Verwacht mag worden dat de minima niet slechts gekoppeld zijn aan hoge temperaturen en lage afvoeren, maar ook aan een lage instraling.

De dagminima zijn in het algemeen 1-1,5 mg/l⁻¹ lager dan de maxima van de voorafgaande dag. Hoe lager het dagmaximum, des te kleiner in het algemeen het verschil. Dit kan worden toegeschreven aan

Afb. 3 - Verloop van het zuurstofgehalte in mg l⁻¹ op het Meetstation Kampen (—) en de globale straling in J cm⁻² (- - -) in de zomer van 1983.



de grotere mate van reaëratie: bij 60% zuurstofverzadiging is de reaëratie 2 x zo groot als bij 80% zuurstofverzadiging. In september komen de laagste waarden voor. Bij het interpreteren van minimum-zuurstofgehaltes moet er rekening mee worden gehouden dat de continu-registrende apparatuur niet onder alle omstandigheden feilloos blijft werken. Zodra dit wordt onderkend, wordt de apparatuur opnieuw geijkt en worden de meetwaarden uit het gegevensbestand gehaald. Er kunnen omstandigheden zijn waarbij voor het controlerend personeel niet meer valt na te gaan of een waarde een reële meetwaarde is danwel een niet-relevante waarde. Aan een geregistreerd absoluut minimum moet dus geen absolute waarde worden toegekend. Waarnemingen zijn alleen in de tabellen opgenomen, als beide metingen van het zuurstofgehalte op het meetstation (namelijk binnen het gebouw in het ingenomen water en direct met een elektrode bij het innamepunt in de rivier) overeenkomstige waarden vertoonden. De frequentieverdeling van dagmaxima en dagminima in Kampen staat vermeld in tabel IVa + b.

TABEL IVa – Frequentieverdeling van de dagmaxima van de zuurstofverzadigingspercentages in de IJssel bij Kampen in 1983, gebaseerd op de continu-meting op het meetstation Kampen.

	< 60%	60-80%	80-100%	> 100%
april	–	31	69	–
mei	–	22	78	–
juni	–	23	47	30
juli	–	23	67	10
aug.	–	36	39	25
sept.	–	96	4	–

TABEL IVb – Frequentieverdeling van de dagminima van de zuurstofverzadigingspercentages in de IJssel bij Kampen in 1983, gebaseerd op de continu-meting op het meetstation Kampen.

	< 60%	60-80%	80-100%	> 100%
april	12	58	30	–
mei	–	67	33	–
juni	3	41	56	–
juli	3	90	7	–
aug.	10	69	21	–
sept.	15	85	–	–

In de zomermaanden worden regelmatig maxima bereikt boven 100% verzadigingswaarde. In voorjaar en najaar komt dit niet voor. De zuurstofhuishouding is in september slechter dan in april - mei.

De gemiddelde afvoeren per maand staan vermeld in tabel V. Het blijkt dat de afvoeren in september niet lager zijn dan die in augustus; de afvoer is niet de oorzaak van de verslechterde zuurstofhuishouding. De sterk verminderde zuurstofproductie van de algen moet hiervan de oorzaak zijn. In september

TABEL V – Maandgemiddelde afvoeren in m³ s⁻¹ van Bovenrijn en IJssel in 1983.

	Bovenrijn	IJssel
april	4.970	705
mei	4.000	569
juni	3.713	534
juli	1.989	309
aug.	1.456	281
sept.	1.556	285

liepen de chlorophyll-a-gehaltes van het rivierwater sterk terug. Voor Lobith kan geen goede frequentieverdeling van de zuurstofgehaltes worden opgesteld omdat het meetpunt in september 1983 voor langere tijd buiten bedrijf is geweest wegens een dokbeurt. In de maanden juni, juli en augustus zijn er bovendien tenminste 19 dagen waarvoor geen cijfers van Lobith beschikbaar zijn, een aanmerkelijk hoger uitvalpercentage dan in Kampen. Dit werd voornamelijk veroorzaakt door storingen in de datatransmissie. In juli en augustus op de dagen dat er wel een registratie beschikbaar is, waren de zuurstofgehaltes in Lobith in het algemeen hoger dan in Kampen. In een aantal gevallen zijn zelfs dagminima hoger dan 100% verzadigingswaarde geregistreerd, zoals bijvoorbeeld 18 juli, 27 juli, 1 augustus en 12 augustus. De temperatuur was op de eerste 3 dagen boven 25 °C. Van de geregistreeerde dagmaxima was in juli 1983 77% boven 100% verzadigingswaarde en in augustus 75%. Begin juni zijn de waarden in Lobith lager en zijn de dag-nacht-schommelingen geringer dan in Kampen. Chlorophyll-a-gehaltes zijn in juni in Kampen hoger.

Door hogere afvoer (zie tabel V) en/of lagere temperaturen kan de zone met maximale productie meer stroomafwaarts liggen in juni. De waarden van het meetstation Vuren zijn in juli en augustus 1983 doorgaans iets lager

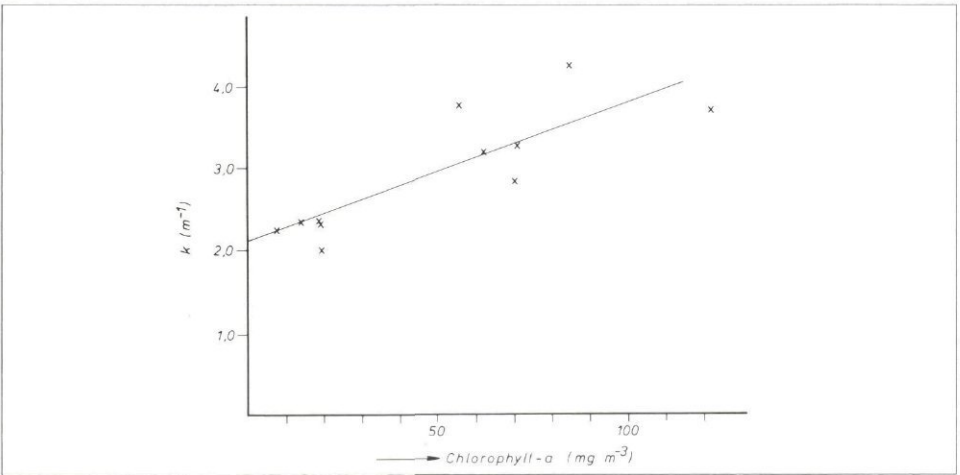
dan die van Lobith, maar duidelijk hoger dan die in Kampen. Gesteld kan worden dat de verdeling over de seizoenen van lage en hoge gehalten totaal anders is, dan ca. 10-15 jaar geleden. Bij hoge temperaturen kwamen in 1983 hoge zuurstofgehaltes voor. Daar moet overigens bij opgemerkt worden dat de hoge temperaturen het gevolg zijn van de hoge instraling; als hoge temperaturen het gevolg zouden zijn van koelwaterlozingen, ligt de situatie natuurlijk weer anders.

4. Lichthoeveelheid onder water
De conclusie uit het voorgaande is dat het zuurstofgehalte van het rivierwater sterk bepaald wordt door de productieprocessen in het water; de invloed van afbraakprocessen is veel minder. Het is daarom de moeite waard nader in te gaan op enkele factoren die de zuurstofproductie door algen bepalen. Dat is allereerst de lichthoeveelheid onder water. Een gedeelte van het ingestraalde licht wordt gereflecteerd. Onder water neemt de lichthoeveelheid af volgens de functie:

$$I_d = I_0 e^{-kd}$$

waarin:
I = lichtintensiteit
d = diepte in m
k = extinctiecoëfficiënt (m⁻¹)
Deze extinctiecoëfficiënt kan verder opgesplitst worden in de extinctie ten gevolge van de aanwezigheid van zwevende stoffen en de extinctie ten gevolge van opgeloste pigmenten. De zwevende stoffen kunnen weer opgesplitst worden in algen, ander organisch materiaal en de anorganische zwevende stof (kleideeltjes etc.). Als de gehalten aan deze stoffen en bestanddelen bekend zijn en de extinctie is gemeten, dan kan in principe via regressie-vergelijkingen het aandeel van de verschillende bestanddelen voor de totale

Afb. 4 - Relatie tussen extinctiecoëfficiënt en het chlorophyll-a-gehalte in de IJssel bij Kampen in de periode maart-september 1983.



extinctie bepaald worden [Verduin, 1982]. In 1983 is door het RIZA in de IJssel bij Kampen regelmatig de extinctie gemeten. Dit gebeurde met een Lambda Instruments Kwantummeter.

In afb. 4 is de extinctiecoëfficiënt uitgezet tegen het chlorophyll-a-gehalte, met weglating van een waarde gemeten in april tijdens een afvoergolf met zeer hoge slibgehaltes van het water. Het verband is bij hoge chlorophyll-a-gehaltes niet zo fraai; bij lage chlorophyll-a-gehaltes liggen de berekende extinctiecoëfficiënten dicht bij elkaar.

De extinctiecoëfficiënt k van het rivierwater bij afwezigheid van algen kan geschat worden op ca. $2,1 \text{ m}^{-1}$.

De achtergrondextinctie wijkt bij normale afvoeren maar weinig af van de waarden in vele Nederlandse meren [CUWVO, 1980]. Uitzondering zijn periodes met een afvoergolf zoals in april. Dan loopt deze waarde op tot ca. $3,40 \text{ m}^{-1}$.

Op 1 m diepte is dus (zonder algen) ca. 12% over van het ingestraalde niet gereflecteerde licht en op 2 m diepte ca. 1,5%. Dat lijkt niet veel, maar algen hebben hun maximale fotosynthese-capaciteit al bij lage licht-intensiteiten, en worden bij te lange blootstelling aan hoge lichtintensiteiten geremd in hun fotosynthese.

5. Productie van fytoplankton

De zuurstofproductie door algen op verschillende dieptes in de IJssel bij Kampen is in 1983 regelmatig gemeten met licht/donker-flesjes via de zuurstofmethode. Op de achtergronden van deze methode en de verschillende problemen bij de interpretatie zal hier niet worden ingegaan. Een aantal zuurstofproductie-profielen is weergegeven in afb. 5. Het gaat hier om de

TABEL VI – Gemeten maximale zuurstofproductie per eenheid chlorophyll-a per uur in de IJssel bij Kampen.

Datum	mg O ₂ mg Chl ⁻¹ hr ⁻¹	Temp. °C	Chl.a µg l ⁻¹
1983-04-28	8,1	13,3	19,6
05-11	12,7	14,7	18,8
06-24	9,9	21,8	70,5
07-08	13,0	23,0	55,2
08-05	7,7	22,1	61,9
08-19	9,0	22,4	122,2
09-02	6,5	22,5	84,5
09-16	7,7	16,6	19,4

netto-productie in lichtflesjes.

De productieprofielen bevestigen dat in september de zuurstofbalans het minst gunstig is met weinig productie en een relatief hoge respiratie. In september is ook de maximale zuurstofproductie per mg chlorophyll-a per uur vrij laag. De gemeten maximale zuurstofproductie per mg chlorophyll staat vermeld in tabel VI. Dit maximum treedt meestal op vanaf ca. $200 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Aan de schatting van dit maximum uit veldmetingen zijn een aantal praktische problemen verbonden; dit houdt verband met het feit dat de lichtintensiteit dicht onder het oppervlak door golfslag nogal variabel is. Harris & Piccinin [1977] stellen dat de productie per eenheid chlorophyll per tijdseenheid alleen temperatuursafhankelijk is; ze voorspellen een theoretisch maximum van ongeveer $13 \text{ mg O}_2 \text{ mg Chl a}^{-1} \text{ hr}^{-1}$. Dit komt goed overeen met de meetwaarden in de IJssel, maar de temperatuurs-afhankelijkheid is niet zo duidelijk. In de literatuur zijn overigens ook hogere waarden te vinden [bijv. Iwakuma & Yasuno, 1983]. In de Mississippi werden door Baker & Baker [1979] twee groepen onderscheiden: het voorjaarsplankton met een fotosynthetisch

maximum van ca. $22 \text{ mg O}_2 \text{ mg Chl a}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ bij 16°C en het zomerplankton, voornamelijk bestaande uit blauwwieren met een hoogste waarde van ca. $12 \text{ mg O}_2 \text{ mg Chl a}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ bij temperaturen van $20-30^\circ\text{C}$.

Bedacht moet worden dat alleen al verschillen in de methode van chlorophyll-analyse dit soort cijfers moeilijk vergelijkbaar maakt. De maximale productiesnelheid van het fytoplankton in de Rijn lijkt in elk geval niet principieel af te wijken van verwachte waarden. De voorzichtige conclusie kan worden getrokken dat toxische stoffen in het Rijnwater de productie niet negatief beïnvloeden.

In principe kan de productie van organisch materiaal evenredig worden gesteld met de zuurstofproductie. Uit de dag-nacht-fluctuaties en de productieprofielen kan worden afgeleid dat de productie aan organisch materiaal in de grootte-orde van 2 mg C l^{-1} ligt ofwel ca. $6 \text{ g m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$. Het gehalte aan particulier organisch koolstof in het rivierwater bedraagt ca. $4-5 \text{ mg l}^{-1}$. Per dag wordt dus ca. 50% aan nieuw materiaal gevormd wat grotendeels in de vorm van nieuw algenmateriaal zal zijn.

6. Consumptie van fytoplankton

Ondanks de grote produktie van het fytoplankton in de Rijn worden in Kampen doorgaans geen grotere hoeveelheden fytoplankton gevonden dan in Lobith afgaande op de chlorophyll-a-gehaltes. De chlorophyll-a-gehaltes zijn in Kampen de laatste jaren zelfs lager dan in Lobith behalve in het voorjaar bij hoge afvoeren.

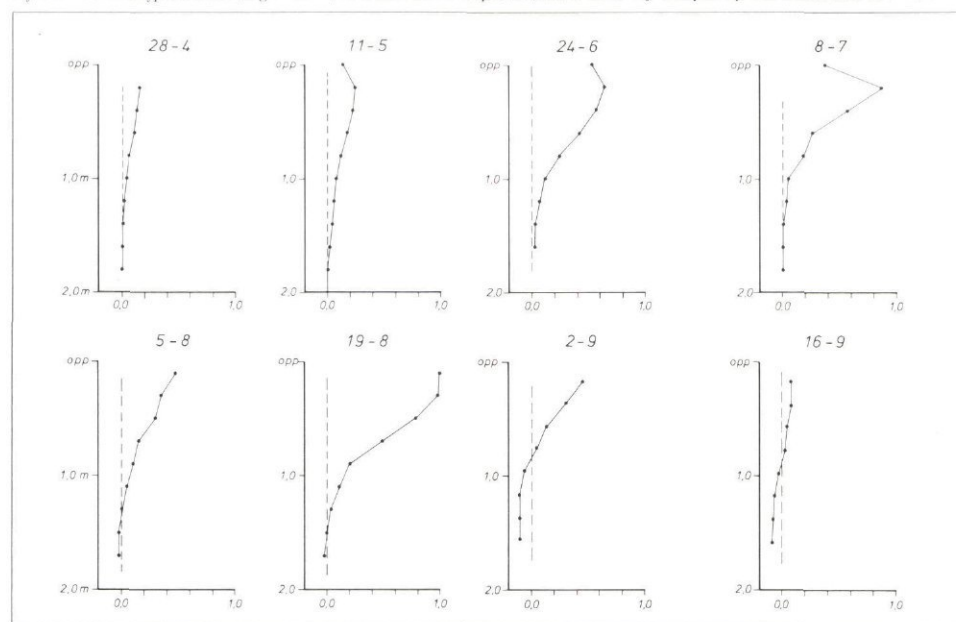
De zuurstofcijfers bevestigen de indruk, dat de produktieprocessen boven Lobith intensiever zijn dan in de IJssel.

TOC- en DOC-gehaltes en troebelheid liggen in steekmonsters van Kampen gemiddeld iets hoger dan in Lobith, terwijl de gloeirest (het anorganisch zwevend materiaal) wat lager ligt. De intensiteit van de metingen is echter onvoldoende om procesinformatie te kunnen verschaffen. Er worden TOC- en DOC-monitoren op de meetstations getest; deze monitoren waren in de zomer van 1983 nog niet operationeel. Er bestaat op dit moment nauwelijks een kwantitatieve indruk van de verliezen door begrazing van de algen door zoöplankton en benthische macro-invertebraten.

Daarnaast kunnen verliezen optreden door bezinking van algen, waaronder ook te rekenen valt het achterblijven in aanslibsel tussen draadpalen, mossen etc. op de oeverbeschoeiingen, maar een grootte-orde van deze verliezen is niet te geven.

Voor een verdere analyse van de processen die een vermindering van de hoeveelheid algen veroorzaken zou het wenselijk zijn inzicht te hebben in het verloop van een aantal parameters over de 'Fließende Welle'

Afb. 5 – Zuurstofproductie ($\text{mg l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$) in relatie tot de diepte (m) in de IJssel bij Kampen op een aantal data in 1983.



in de Rijn, met name de algenhoeveelheid en het lichtklimaat onder water. Het gaat er daarbij om vast te stellen in welke trajecten er groei optreedt en in welke trajecten een afname van de hoeveelheid algen, en of er belangrijke verschillen zijn in de licht-extinctie in het water, die consequenties zouden hebben voor de groeisnelheid. Hetzelfde doel zou bereikt kunnen worden door continue meting van de fytoplanktonhoeveelheid op de meetstations bijvoorbeeld door fluorescentiemeting, in combinatie met continue TOC- en DOC-meting. Hiermee wordt een stap gezet op weg naar een ecosysteemonderzoek, waarbij gepoogd wordt verschillen tussen verschillende riviertrajecten aan te geven. Dat er verschillen zijn tussen Bovenrijn, Waal en IJssel, is evident. De IJssel wijkt duidelijk af van Bovenrijn en Waal door zijn geringere breedte, dus een geringere verhouding tussen oppervlak en oeverlengte, en door een veel grotere lengte aan met stenen bestorte oevers.

Of deze verschillen verminderde groei van fytoplankton of een versterkte consumptie danwel snellere bezinking zouden kunnen veroorzaken, is echter niet zo gemakkelijk uit te maken.

De gevonden waarden met name incidentele dalingen gedurende de nacht geven nog weinig aanleiding de zuurstofhuishouding van de Rijn als een opgelost probleem te beschouwen.

Samenvatting

Uit continue zuurstofregistraties op de meetstations in de Rijn bij Lobith en de IJssel bij Kampen blijkt dat de dagmaxima in de zuurstofgehalten in de zomermaanden afhankelijk zijn van de hoeveelheid ingestraald licht. Ondanks de hoge watertemperaturen in de zomer van 1983 waren de zuurstofgehalten nabij het verzadigingsniveau: een tiental jaren geleden kwamen bij hoge watertemperaturen juist zeer lage zuurstofgehalten voor.

In de maanden juli en augustus nam het chlorophyll-gehalte af tussen Lobith en Kampen; de zuurstofgehalten waren in Kampen lager dan in Lobith.

De maximale fotosynthese-snelheid van het plankton in de IJssel bij Kampen was niet afhankelijk van de watertemperatuur.

Literatuur

- Backhaus, D. & Kember, A. (1978). *Gewässergüte-verhältnisse und Phytoplanktonentwicklung im Hochrhein, Oberrhein und Neckar*. Arch. Hydrobiol. 82, 166-206.
- Baker, A. L. & Baker, K. K. (1979). *Effects of temperature and current discharge on the concentration and photosynthetic activity of the phytoplankton in the upper Mississippi River*. Freshw. Biol. 9, 191-198.
- CUWVO (1980). *Ontwikkeling van grenswaarden voor doorzicht, chlorophyll, fosfaat en stikstof*. Nota 48 pp. + bijlagen.
- Dijkzeul, A. H. J. (1982). *De Waterkwaliteit van de Rijn in*

Nederland in de periode 1970-1981. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, Notanr. 82-061.

Harris, G. P. & Piccinin, B. B. (1977). *Photosynthesis by natural phytoplankton populations*. Arch. Hydrobiol. 80, 405-457.

Iwakuma, T. & Yasuno, M. (1983). *A comparison of several mathematical equations describing photosynthesis-light curve for natural phytoplankton populations*. Arch. Hydrobiol. 97, 208-226.

Knöpp, H. (1960). *Über die Rolle des Phytoplanktons im Sauerstoffhaushalt von Flüssen*. Deutsche Gewässerkundl. Mitt. 3, 139-147.

Müller, D. (1978). *New results on primary production and biogenic aeration in German rivers*. Verh. intern. Verein Limnol. 20, 1861-1866.

Schurr, J. M. & Ruchti, J. (1977). *Dynamics of O_2 and CO_2 exchange, photosynthesis and respiration in rivers from time-delayed correlations with ideal sunlight*. Limnol. Oceanogr. 22, 208-225.

Stock, H. D. (1981). *Zeitreihenanalyse der Sauerstoffgehalte des Rheins bei km 865 (Kleve-Bimmen)*. Vom Wasser 57, 289-296.

Van Urk, G. (1981). *Veranderingen in de macro-invertebraten-fauna van de IJssel*. H₂O 14, 494-499.

Verduin, J. (1982). *Components contributing to light extinction in natural waters: Method of isolation*. Arch. Hydrobiol. 93, 303-312.

Waterloorkundig Laboratorium (1981). *Toepassing van het waterkwaliteitsmodel MODQUAL op de Rijn*. Verslag onderzoek R-1056-VII/5321-VI.

Wuhrmann, K. (1972). *Stream purification in: R. Mitchell (ed.) Water Pollution Microbiology*. Wiley-Interscience New York, 119-151.

Grondwaterbescherming

● Slot van pagina 93

Literatuur

- Putte, T. van de (1978). *Methodiek voor veiligheidsstudies in de procesindustrie*. Pt-p 33, nr. 9.
- Putte, T. van de (1980). *Doel en opzet van een veiligheidsstudie*. Pt-p 35, nr. 3.
- Ohm, A. en Putte, T. van de (1982). *Toepassing van veiligheidsstudies in de procesindustrie*. Pt-p 37, nr. 7.
- Ohm, A. en Schafer, K. (1983). *Toepassen van veiligheidsstudies - ervaringen van een grote chemische industrie*. Pt-p 38, nr. 4.
- Probabilistische ontwerpen* - college 63 TH Delft.
- Extreme waarden en decisie-problemen bij het milieubeheer* - Cursus Postak. Vorming Gezondh.t., dec. 1982.
- Bressers, J. Th. A. (1983). *Beleidseffectiviteit en waterkwaliteitsbeleid* - diss. TH Twente.
- Zweegman, J. *Grondwaterbescherming en de continuïteit van de drinkwatervoorziening*. H₂O (12) 1979, nr. 23.

Trends in de afvalwaterzuivering

● Slot van pagina 95

instellingen en industrieën is verspreid. Een bepaalde vorm van overleg tussen onderzoekers in Nederland is gewenst voor het verkrijgen van een beter inzicht in wat er op het gebied van afvalwaterzuivering gebeurt en om te voorkomen dat doublures optreden. Door een goede coördinatie is het mogelijk om enerzijds belangrijk onderzoekswerk te starten en anderzijds onderzoek te verdiepen.

8. Slotwoord

De Nederlandse bijdrage aan de NATO/CCMS bijeenkomst is samengesteld door W. H. Rulkens en F. van Voorneburg van de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO en A. B. van Luin en W. van Starckenburg van het RIZA. De Nederlandse bijdrage is voor belangstellenden bij TNO of RIZA verkrijgbaar. De bijdragen van de andere deelnemende landen zijn ter inzage.

Literatuur

- Rulkens, W. H., Voorneburg, F. van, Luin, A. B. van and Starckenburg, W. van (1982). *Water Pollution Control in the Netherlands*. Nederlandse bijdrage NATO/CCMS, Bari 1982.
- Rulkens, W. H. en Starckenburg, W. van. *Ontwikkelingen op het gebied van de afvalwaterzuivering*. H₂O (16) 1983, nr. 12, blz. 285-287.
- Visscher, K. *Ontwikkeling van het Captor-proces*. H₂O (16) 1983, nr. 16, blz. 362-363.