

**EEN ZUURSTOFBALANS VAN HET
MARKERMEER**

P.C.M Boers
L. van Ballegooijen
O. van Hese

Dienst Binnenwateren/RIZA,
Lelystad
Nota nr 89.003

INHOUDSOPGAVE

1. SAMENVATTING	2
2. INLEIDING	3
3. MATERIAAL EN METHODEN	5
3.1 Onderzoekslocatie	5
3.2 Analyses	5
3.3 Primaire Productie en Respiratie	5
3.4 Bodemzuurstofverbruik	7
3.5 Reaeratie	8
4. RESULTATEN EN DISCUSSIE	10
4.1 Primaire Productie	10
4.2 Respiratie	13
4.3 Bodemzuurstofverbruik	13
4.4 Reaeratie	13
5. EEN VERGELIJKING MET ANDERE METHODEN OM PRODUCTIE- EN RESPIRATIESNELHEDEN TE BEPALEN	16
5.1 Andere meettechnieken	16
5.2 Berekening uit <i>in situ</i> registraties van zuurstofgehalten	18
6. EEN ZUURSTOFBALANS VOOR HET MARKERMEER	20
7. CONCLUSIES	21
8. DANKWOORD	22
9. REFERENTIES	23
10. FIGUREN	24
11. BIJLAGEN	
11.1 Lijst van gebruikte afkortingen	
11.2 Overzicht van de primaire productie metingen en berekeningen	

1. SAMENVATTING

Van mei tot oktober 1987 werden door middel van **in situ** metingen de primaire productie, de respiratie en het bodemzuurstofverbruik bij locatie Y 112 in het Markermeer gemeten. De primaire productie bedroeg gemiddeld $2,9 \pm 1,2$, de respiratie $6,7 \pm 3,3$ en het bodemzuurstofverbruik $0,9 \pm 0,5 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ($n = 12$). De uitwisseling van zuurstof met de atmosfeer werd berekend uit continue registraties van zuurstofgehalten en windsnelheden door de RIJP. Deze bedroeg gemiddeld $0,4 \pm 0,8 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Op grond van deze resultaten moet worden geconcludeerd dat de gemeten primaire productie vermoedelijk een onderschatting oplevert van de werkelijke productiesnelheden met een factor 3. Berekeningen uit continu registraties van de zuurstofconcentratie in het meer leverden dezelfde respiratiesnelheid op, maar een bruto productiesnelheid die inderdaad bijna driemaal zo hoog was als de gemeten waarden.

2. INLEIDING

In de periode van april 1987 tot oktober 1987 is onderzoek verricht naar primaire produktie en mineralisatie in het Markermeer. De oppervlakte van dit meer (figuur 1) bedraagt 68 km² en de gemiddelde diepte is 3,3 meter. Het streefpeil is in de zomer ongeveer 20 cm hoger dan in de winter. De bodem bestaat voornamelijk uit klei, terwijl kleine, aan erosie onderhevige delen, zandig van aard zijn.

Het systeem wordt gekenmerkt door het voorkomen van relatief geringe algenbiomassa's en grote doorzichtdieptes t.o.v. de nutriëntenbelasting van het systeem. Resuspensie van bodemmateriaal onder invloed van de wind en daardoor vermindering van licht in de waterkolom speelt een belangrijke rol in de algenontwikkeling. Coops (1988) berekende uit waterkwaliteitsgegevens dat in de zomermaanden gemiddeld circa 75 % van het zwevend materiaal uit geresuspendeerd bodemslib bestaat. Volgens Jagtman en Van Urk (1988) is dit slib belangrijker voor de lichtuitdoving onder water dan algen.

Met behulp van dit onderzoek wordt gepoogd de belangrijkste facetten van de zuurstofhuishouding te schetsen, wat onder meer belangrijk is om de toekomstige algenontwikkeling in het meer te kunnen voorspellen. De belangrijkste facetten zijn primaire produktie, respiratie, mineralisatie van bodemmateriaal (bodem-zuurstofverbruik of SOD) en reaeratie.

De eerste drie parameters werden in dit onderzoek daadwerkelijk gemeten, terwijl de reaeratie werd bepaald uit gegevens die door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (R.IJ.P) zijn verzameld. Verschillende methoden om de primaire produktie en respiratie te kwantificeren, namelijk metingen volgens verschillende typen incubatie methoden met behulp van de zuurstofmethode en berekeningen uit continu registraties van het zuurstofgehalte in het meer worden met elkaar vergeleken. De typen incubatie zijn **in situ**, met de incubator aan boord van het meetschip "Argus" en met een incubator waarbij het licht wordt aangeboden met behulp van een diaprojector.

Het onderzoek maakt deel uit van een geïntegreerd onderzoek van DBW/RIZA, de RIJP en de UvA (Universiteit van Amsterdam, afdeling Microbiologie), met als doel inzicht te verkrijgen in de invloed van de primaire produktie, sedimentatie en resuspensie op de algenbiomassa-ontwikkeling in het Markermeer.

3. MATERIAAL EN METHODEN.

3.1 MONSTERLOCATIE

Als monster- en meetpunt werd gekozen voor punt Y112 (koördinaten; x:138.000, y:499.600). Dit punt ligt even ten noordoosten van Marken (zie figuur 1). De Directie Zuiderzeewerken had hier een meetponton geplaatst voor de installatie van meetapparatuur. De in dit rapport beschreven metingen werden vanaf dit ponton verricht. Monsternamen voor chemische analyses en metingen van het lichtklimaat geschieden aan boord van een schip.

3.2 ANALYSES

De bepaling van temperatuur, doorzicht en chlorofyl-a gehalten geschieden volgens de bij DBW/RIZA gangbare standaardmethoden.

De lichtmetingen werden op punt Y112 verricht door medewerkers van de RIJP en wel binnen de inkubatieduur van de primaire produktie metingen. Met behulp van een LICOR lichtmeter werd op dieptes van 0 tot 150 cm en met een interval van 10 cm de lichtsterkte gemeten. Als referentie werd de lichtsterkte op 150 cm boven het wateroppervlak gemeten.

Uit deze lichtgegevens werden de ingestraalde hoeveelheid licht gekorrigeerd voor reflectie op het wateroppervlak en de extinctiecoëfficiënt berekend volgens de wet van Lambert-Beer (de verklaringen van alle symbolen staan in bijlage 1):

$$I_d = I_0 * \exp.-\epsilon*d \quad (1)$$

Uit regressie-analyse van $\ln(I_d)$ tegen de diepte werden I_0 (afsnede van de Y-as) en ϵ (helling van de lijn) verkregen.

3.3 PRIMAIRE PRODUKTIE EN RESPIRATIE

Primaire productie kan met behulp van de C^{14} methode en de zuurstof methode worden gemeten. Omdat de C^{14} methode een netto productiesnelheid oplevert en geen meting van de respiratiesnel-

heid toelaat werd voor de zuurstofmethode gekozen. De metingen werden verricht door middel van *in situ* incubaties in donkere en lichte flessen. De flesjes werden in aluminium rekken geplaatst, die op onderlinge afstanden van 25 cm tussen 10 en 110 cm diep in het meer werden gehangen.

Per diepte werden twee flesjes geïncubeerd. Voor meting van de respiratie werden twee flesjes donker gemaakt met behulp van aluminiumfolie en bij de flesjes in het rek op 85 cm diepte gehangen. Tevens werden twee flesjes aan het begin van de incubatie met water gevuld en direkt gefixeerd. Het watermonster werd van te voren gefiltreerd over zoöplanktongaas met een maaswijdte van 150 μm . De flesjes werden gevuld door middel van overhevelen van het gefiltreerde water. Na 2,5 uur incuberen werden de flesjes uit de rekken gehaald en gefixeerd voor bepaling van de zuurstofgehalten.

Uit deze zuurstofgegevens werden de netto produktie en de respiratie berekend. De bruto produktie volgde hieruit door de netto produktie en de respiratie bij elkaar op te tellen. De totale produktie in de waterkolom (diepte 3 m.) per dag werd berekend door de bruto producties per waterlaag te sommeren:

$$\text{dagproductie} = \Sigma(\text{laagdikte} * P(d)) * \text{effektieve daglengte} \quad (2)$$

De totale respiratie werd berekend volgens:

$$\text{Totale resp.} = \text{resp.} * Z * 24 \quad (3)$$

Er bestaan verschillende theorieën die de productiesnelheid als functie van de lichtintensiteit beschrijven. Smith gaat uit van een maximale produktie bij hoge (verzadigende) lichtintensiteiten. Steele gaat uit van een verminderde produktie bij hoge lichtintensiteiten door inhibitie. Deze laatste theorie wordt algemeen gebruikt in de volgende formulering:

$$P_d = P\text{-max} * I/I_{opt} * \exp(1 - I/I_{opt}) \quad (4)$$

Na substitutie van vgl (1) resulteert dit in de volgende

vergelijking voor de productie als functie van de diepte:

$$\ln P_d = \ln P_{\text{max}} + \ln I_0 - \ln I_{\text{opt}} - \epsilon \cdot d + 1 - I_0/I_{\text{opt}} \cdot \exp(-\epsilon \cdot d) \quad (5)$$

Met behulp van regressieanalyse werden P_{max} en I_{opt} uit de meetwaarden berekend. P_{max} wordt uitgedrukt in $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$, omdat de productie in dezelfde eenheden wordt gemeten. Door vgl. (5) te integreren over de diepte en de berekende waarden voor P_{max} en I_{opt} in te vullen werd ook de bruto productie over de gehele waterkolom berekend.

Met behulp van gemeten chlorofyl-a concentraties werd P_{max} in relatieve eenheden uitgedrukt ($\text{mg O}_2 \cdot (\text{mg chl-a})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$). Dit werd omgerekend in een maximale groeisnelheid, μ_{max} , door de zuurstofproductie om te rekenen naar een koolstoffixatie door vermenigvuldiging met 12/32 (molmassa C/O₂) en met de fotosynthesekoefficient 1,2. De groeisnelheid wordt dan uitgedrukt in $\text{mgC} \cdot (\text{mg chl-a})^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Door te vermenigvuldigen met de C:Chl-a ratio van de in het Markermeer dominante algensoort (50) werd een relatieve groeisnelheid verkregen.

3.4 BODEMZUURSTOFVERBRUIK (SOD)

De meting hiervan geschiedde met twee bodemkappen (zie fig. 2). Dit zijn cilindervormige perspex kappen met een inwendige diameter van 38 cm en een hoogte van 23 cm. Rondom de kap was een PVC kraag bevestigd, zodat de kappen maximaal 8 cm in het sediment zakten. De bovenzijde van de kap was voorzien van een klep, die zich sloot op het moment dat de kap de bodem bereikt. Voor homogenisatie van de watermassa binnen de kap zorgde een roerschopje, dat werd aangedreven door een elektromotor met een snelheid van 30 à 40 omwentelingen per minuut. Aan de bovenzijde van de kap bevonden zich een in- en uitstroomopening (inwendige diameter: 1,5 mm) voor het nemen van watermonsters en een PVC huis, waarin een WTW EOT 190 zuurstofelektrode werd geklemd. Roermotor en elektrode waren via kabels verbonden met voedings- en registratieapparatuur op het ponton. Met de kappen werd een deel van de bodem met een waterlaag

erboven geïsoleerd. De zuurstofafname in de waterkolom werd door de zuurstofelektrode gemeten.

De kappen werden voorzichtig met een lier op 1,5 m afstand van het ponton op de bodem geplaatst. Voor plaatsing op de bodem werden de kappen met een hulplijntje onder water gekanteld om de aanwezige lucht te laten ontsnappen. 20 minuten na plaatsing werd de roerder aanzet en de meting gestart. De metingen duurden 2,5 tot 3 uur.

Voor de registratie van het verloop van de zuurstofconcentratie in beide kappen werden de twee WTW Oxi 191 zuurstofmeters aangesloten op een datalogger, die ingesteld werd op een inleesfrequentie van een waarneming per minuut per kap. Het bodemzuurstofverbruik werd berekend uit de snelheid waarmee de zuurstofconcentratie in de kap afnam en de hoogte van de kap.

3.5 REAERATIE

Reaeratie werd niet gemeten, maar berekend uit andere meetgegevens, namelijk de temperatuur, zuurstofconcentratie en windsnelheid. Reaeratie is een proces dat streeft naar een verzadigde concentratie van een gas, in dit geval zuurstof, in de waterfase door uitwisseling met de atmosfeer. De verzadigingsconcentratie hangt af van de temperatuur en de luchtdruk. Wanneer nu de actuele concentratie in de waterkolom afwijkt van de verzadigingsconcentratie, zal er een uitwisseling van zuurstof over het grensvlak water-lucht plaatsvinden. De snelheid waarmee deze uitwisseling plaatsvindt, hangt af van het verschil tussen actuele en verzadigingsconcentratie en de windsnelheid. De windsnelheid beïnvloedt de overdrachtssnelheid door vergroting van het effectief oppervlak, van de schuifspanning tussen water en lucht en van de turbulente diffusie in de waterkolom.

Van Duin (1985) geeft de volgende empirische formule voor de reaeratie:

$$\delta C / \delta t = (0,042/Z) \cdot K_l(20) \cdot K(T) \cdot (C_s - C). \quad (7)$$

Voor $K_l(20)$ geldt:

$$0 < W < 1.82 : K_l(20) = 0,37 + 0,09 \cdot W \quad (8)$$

$$W > 1.82 : K_l(20) = 0,0864 \cdot (8,43 \cdot W^{0,5} - 3,67 \cdot W + 0,53 \cdot W^2) \quad (9)$$

Voor $K(T)$ geldt:

$$K(t) = 1,024^{(T-20)} \quad (8)$$

De verzadigingsconcentratie is een functie van de temperatuur (Van Duin, 1985):

$$C_s = 14,852 - 0,4$$

Uit continu registraties van windsnelheden, opgeloste zuurstofconcentraties en temperaturen, zoals die door de RIJP zijn verricht, werd met behulp van deze formules de reaeratie berekend.

4. RESULTATEN EN DISCUSSIE.

4.1. PRIMAIRE PRODUCTIE

De in het veld gemeten lichtkarakteristieken staan in tabel 1 en de uit de incubaties berekende productiesnelheden in bijlage 2. De productiesnelheden variëren sterk, onder andere als gevolg van de wisselende lichtcondities. Met behulp van vergelijking (5) zijn door middel van curve fitting uit deze gegevens de parameters P-max en I-opt berekend. De resultaten zijn weergegeven in tabel 2.

TABEL 1. LICHTCONDITIES IN HET MARKERMEER OP DE
VERSCHILLENDE MEETDAGEN.

datum	I_0	ϵ	doorzicht
dd-mmm)	(m.e.)	(m^{-1})	(m)
19-Mei	1449	5,93	0,15
02-Jun	1036	2,24	0,35
16-Jun	279	5,94	0,20
30-Jun	1286	1,32	0,70
14-Jul	1780	3,87	0,25
28-Jul	287	2,80	0,40
11-Aug	1338	1,59	0,75
25-Aug	193	2,52	0,45
08-Sep	688	1,63	0,60
22-Sep	80	1,13	0,80
06-Okt	70	1,87	0,55
20-Okt	272	5,91	0,20

TABEL 2. BEREKENDE OPTIMALE LICHTINTENSITEITEN
EN MAXIMALE PRODUCTIESNELHEDEN.

datum dd-mm)	I-opt (m.e.)	P-max (gO ₂ /m ³ .h)	chl-a (mg.m ⁻³)	P-max (gO ₂ /g chl.h)
19-Mei	354	1,04	43	24,2
02-Jun	616	0,59	23	25,7
16-Jun	NB	NB	41	NB
30-Jun	967	0,21	23	9,1
14-Jul	576	0,71	42	16,9
28-Jul	388	0,57	46	4,6
11-Aug	929	0,30	22	10,5
25-Aug	114	0,55	10	55,0
08-Sep	323	0,20	27	7,5
22-Sep	201	0,43	19	22,6
06-Okt	62	0,30	20	15,2
20-Okt	150	0,60	10	71,0

De berekende productiecurves zijn in de figuren van bijlage 2 weer ingetekend en geven een indruk van de mate van overeenstemming tussen de berekeningen en de metingen. Over het algemeen is deze redelijk, zeker gezien het betrekkelijk geringe aantal meetpunten per curve en de grote relatieve fout in de diepte en dus de lichtintensiteit bij de bovenste meetpunten.

De optimale lichtintensiteit is significant gecorreleerd met de invallende lichtintensiteit ($R = 0,75$; $N = 11$; $p < 0,01$). Vermoedelijk is de reden hiervoor dat algen zich aanpassen aan de "lichthistorie": algen die geadapteerd zijn aan hoge lichtintensiteiten hebben een hogere I-opt en μ -max dan algen die geadapteerd zijn aan lagere lichtintensiteiten (zie bijvoorbeeld Brinkman en Van Raaphorst, 1986).

Uit de productiesnelheden werden relatieve maximale groeisnelheden berekend. Het verloop hiervan is weergegeven in figuur 3. De beide hoge waarden vallen samen met uitzonderlijk lage gemeten chlorofyl-a concentraties en zijn vermoedelijk aan fouten in de chlorofyl-bepaling te wijten. Afgezien van de twee uitbijters is de gemiddelde maximale groeisnelheid $3,5 \text{ d}^{-1}$. Dit komt goed overeen met de literatuurwaarde van $3,6 \text{ d}^{-1}$ voor groenalgen (Brinkman en Van Raaphorst,

1986).

Naast P-max en I-opt werd uit de verkregen metingen voor elke meetdag de totale bruto productie over de gehele waterkolom berekend. De resultaten van de beide methoden van berekenen staan in tabel 3.

TABEL 3. RESPIRATIE, BRUTO PRIMAIRE PRODUCTIE EN BODEMZUURSTOFVERBRUIK OP DE VERSCHILLENDE MEETDAGEN.

datum dd-mm)	respiratie $\text{gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	bruto productie $\text{gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$		SOD $\text{gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
		(gemeten)	(berekend)	
19-Mei	4,03	4,32	4,91	0,08
02-Jun	4,03	5,19	6,16	NB
16-Jun	2,00	2,15	4,00	0,80
30-Jun	8,06	2,37	3,30	1,00
14-Jul	8,06	4,60	4,97	0,88
28-Jul	2,00	2,64	3,54	0,93
11-Aug	8,06	2,23	3,62	NB
25-Aug	12,10	4,08	4,38	1,47
08-Sep	4,03	1,82	2,43	0,96
22-Sep	8,06	1,88	2,45	1,23
06-Okt	12,10	1,76	2,01	1,43
20-Okt	8,06	1,54	1,98	0,08

NB=niet beschikbaar door mislukte meting

De geïntegreerde Steele-curve levert steeds iets hogere waarden, doordat de bruto productie op grotere dieptes dan 1,1 meter in de berekeningen ook wordt meegenomen. Dit in tegenstelling tot de methode waarbij de gemeten producties worden gesommeerd.

In 1976 en 1977 zijn eveneens primaire productiemetingen verricht in het Markermeer (De Haan, 1987). Toen werd een gemiddelde bruto productiesnelheid van $7,9 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ gevonden, aanzienlijk meer dan in 1987 werd gemeten (gemiddeld $2,9 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). Daar staat wel tegenover dat in 1976 en 1977 de biomassa hoger was: Toen bedroeg de gemiddelde chlorofyl-a concentratie $65 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, terwijl in 1987 deze slechts $27 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. De relatieve productiesnelheden zijn vrijwel gelijk: 40 en $35 \text{ gO}_2 \cdot (\text{g chl-a})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

4.2 RESPIRATIE

De berekende respiratiesnelheden in de waterkolom per meetdag staan weergegeven in tabel 3. Daar de verschillen in zuurstofconcentraties tussen startwaarde en eindwaarde na 2'5 uur incuberen niet veel groter waren dan de meetnauwkeurigheid van ca $0,1 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$, is de nauwkeurigheid van de metingen niet groot en moet aan de gevonden verschillen tussen de meetdagen niet veel waarde worden toegekend. Er werd dan ook geen enkel verband gevonden tussen de gemeten respiratiesnelheden en gehalten aan chlorofyl of particulier organisch koolstof. De gemiddelde respiratie was $6.7 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. In 1976 en 1977 werd gemiddeld $5.9 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ gemeten (De Haan, 1987). Ondanks de grote verschillen in biomassa tussen 1976/1977 en 1987 werd in beide perioden eenzelfde respiratiesnelheid gevonden. Dit wijst erop dat de algenbiomassa niet de belangrijkste variabele is die de respiratiesnelheid bepaald. Mogelijk speelt afbraak van de grote voorraad detritus in het systeem een rol.

4.3 BODEMZUURSTOFVERBRUIK

De gemeten SOD- waarden staan in tabel 3. Opvallend is dat de spreiding in de meetwaarden, op de eerste en de laatste meting na, niet groot is. Hoewel op theoretische gronden (Bowman and Delfino, 1980) verwacht mag worden dat de SOD sterk gestuurd wordt door de temperatuur, werd geen verband gevonden tussen SOD en temperatuur.

4.4 REAERATIE

Hoewel door de RIJP gedetailleerde metingen van windsnelheid, temperatuur en zuurstofgehalten werden verricht, bleek het niet mogelijk te zijn hieruit nauwkeurige reaeratiesnelheden te berekenen. De reden hiervoor was dat de **in situ** gemeten zuurstofgehalten niet betrouwbaar waren (pers. meded. L. van Duin). De verschillen tussen gemeten zuurstofgehalten en verzadigingsconcentratie waren verder meestal minder dan 1

tot $2 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$. Bovendien vertoonden de concentraties in het algemeen fluctuaties tussen onderverzadiging 's nachts en oververzadiging overdag. Hierdoor compenseerden de fluxen tussen lucht en water 's nachts en overdag elkaar gedeeltelijk. Om onder dergelijke omstandigheden betrouwbare berekeningen van de reaeratiesnelheid te maken zijn nauwkeurige metingen van zowel zuurstofgehalte als temperatuur en windsnelheid nodig.

De met behulp van de aangeleverde meetgegevens berekende reaeratiesnelheden lagen in het algemeen tussen de $-1,5$ en $+1,5 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Voor enkele dagen was het mogelijk nauwkeurigere schattingen van de reaeratiesnelheid te maken door de continue registratie van de RIJP te vergelijken met de door DBW/RIZA gemeten zuurstofconcentratie in het startmonster van de primaire productiemetingen. Het uitgangspunt hierbij is dat de door DBW/RIZA met behulp van een Winkler-titratie gemeten concentratie betrouwbaarder is dan de door de RIJP met een electrode gemeten concentratie. Alle door de RIJP gemeten waarden over een periode van 24 uur werden gecorrigeerd met het verschil tussen de meting van DBW/RIZA en de RIJP meting die was uitgevoerd om 11 uur. Dit verschil bedroeg vaak $1 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ of meer. Ook deze procedure gaf, doordat soms registraties van de temperatuur op de dagen waarop de primaire productie werd gemeten ontbraken, niet altijd bevredigende resultaten. De resultaten van deze berekeningen zijn te vinden in tabel 4.

TABEL 4. BEREKENINGEN VAN REAERATIESNELHEDEN OP ENKELE DAGEN IN 1987.

DATUM	REAERATIESNELHEID ($\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	
	uit RIJP-gegevens	idem na correctie
14-juli	-0,28	-0,16
27-juli	4,61	-0,17
28-juli	0,91	-0,22
25-aug	3,78	1,98
7-sep	4,40	0,30

Uit deze resultaten blijkt dat de berekeningen met behulp van de continu registraties van de RIJP inderdaad onbetrouwbaar zijn. Vrijwel alle berekeningen liggen buiten de range van $-1,5$ tot $+1,5 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ die uit langere meetreeksen van de RIJP werd berekend. De -schaarse- gecorrigeerde berekeningen liggen wel in deze range. Uit deze laatste getallen blijkt dat de bijdrage van reaeratie aan de zuurstofhuishouding van het Markermeer niet groot is en niet significant afwijkt van nul. De beste schatting is $0,4 \pm 0,8 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

5. EEN VERGELIJKING MET ANDERE METODEN OM PRODUCTIE- EN RESPIRATIESNELHEDEN TE BEPALEN.

5.1. Andere meettechnieken

Productie- en respiratiemetingen zijn in 1987 ook door anderen verricht. Breukelaar (1988) mat incidenteel de zuurstofproductie met behulp van de incubator aan boord van de ARGUS en routinematig met een incubator, waarbij de verschillende lichtintensiteiten met behulp van een diaprojektor werden aangeboden. Omdat beide methoden routinematig worden gebruikt, worden de resultaten die met deze methoden worden verkregen hier met elkaar vergeleken. Breukelaar constateerde al dat deze beide laatste technieken grote verschillen te zien gaven. Een vergelijking van de in dit rapport gegeven waarden voor P-max en de met de diaprojektor gemeten waarden bevestigt dit (Figuur 4).

Er waren meer verschillen tussen de beide meettechnieken: De resultaten van de diaprojektor-methode lieten geen fotoinhibitie zien, ook niet bij lichtintensiteiten van $2000 \text{ mE/m}^2 \cdot \text{s}$, terwijl de *in situ* metingen hier vaak wel op wezen. Daarnaast werden met de diaprojektor-methode al bij zeer lage lichtintensiteiten een hoge productie gemeten, soms zelfs meer dan 60% van P-max (zie Figuur 5). Voor deze verschillen zijn enkele oorzaken aan te wijzen. Ten eerste werd met de diaprojektor-methode uitsluitend de productie binnen enkele minuten na het aanbieden van de gewenste lichtintensiteit gemeten, terwijl met de *in situ* techniek de respons op een gedurende enkele uren aangeboden min of meer constante lichtintensiteit werd gemeten. Lichtinhibitie treedt waarschijnlijk pas na langere tijd op door afbraak van de fotosynthetische pigmenten. Bovendien is vermoedelijk de productienelheid kort na het aanbieden van grote hoeveelheden licht relatief hoog, omdat pas na langere tijd verzadiging van het enzymapparaat optreedt, gevolgd door verminderde productie. Anderzijds zijn de algen zijn in de natuur niet gefixeerd op een vaste diepte, maar bewegen ze zich door de gehele waterkolom. Het is dan ook de vraag of langdurige metingen bij een vaste

hoeveelheid licht wel een juist beeld van de productiesnelheid geven.

De hoge productie die vrijwel zonder licht in de projector is gemeten lijkt onwaarschijnlijk. Vermoedelijk is niet goed gecorrigeerd voor respiratie en/of uitwisseling met de atmosfeer. Maar ook wanneer aangenomen wordt dat de gehele productiecurve lager moet liggen, blijft de in de diaprojector gemeten maximale productiesnelheid hoger dan die welke **in situ** is gemeten.

De **in situ** methode en die met de incubator van de ARGUS zijn in principe gelijk. Het betreft beide langdurige incubaties bij min of meer constante lichtcondities, gevolgd door een meting van de geproduceerde hoeveelheid zuurstof. Alleen de wijze waarop het lichtklimaat tot stand komt verschilt. In de incubator wordt gewerkt met een constante lichtbron, die met grijsfilters wordt verzwakt, **in situ** is men afhankelijk van het natuurlijk lichtklimaat. Men zou verwachten dat beide methoden dezelfde resultaten geven. Daar echter slechts enkele metingen aan boord van de ARGUS zijn verricht, is een goede vergelijking niet mogelijk. Tweemaal zijn de metingen **in situ** en aan boord van de ARGUS op opeenvolgend dagen verricht, de overige metingen lagen minimaal zes dagen van elkaar. Dit maakt een goed vergelijk moeilijk. In figuur 6 zijn de meetresultaten van de twee series metingen die vlak na elkaar zijn verricht in één grafiek weergegeven. Bij lage lichtintensiteiten zijn de resultaten goed vergelijkbaar. Bij hoge lichtintensiteiten zijn veel minder meetpunten en is een vergelijking niet goed mogelijk. Ook zijn aan boord van de ARGUS respiratiemetingen verricht. Tabel 5 geeft een overzicht van de gevonden waarden.

TABEL 5. EEN VERGELIJKING VAN **IN SITU** EN AAN BOORD VAN DE ARGUS GEMETEN RESPIRATIESNELHEDEN (in $\text{mg O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

Methode	Respiratie	S.D.	n
ARGUS in situ	6.4	4,6	5
	6.7	3,3	12

Er blijkt geen significant verschil te zijn tussen de beide series metingen.

5.2 Berekening uit **in situ** registraties van zuurstofgehalten.

Ook uit de door de RIJP verrichte continue zuurstofmetingen kunnen productie- en respiratiesnelheden worden afgeleid. De concentratieverandering gedurende de lichtperiode is namelijk de resultante van bodemzuurstofverbruik, respiratie, reaeratie en productie, terwijl gedurende de nacht de productie geen rol speelt. De bijdrage van de reaeratie kan op de eerder beschreven wijze apart worden bepaald en het bodemzuurstofverbruik is gemeten. Zo kunnen een respiratiesnelheid, een netto productiesnelheid en een bruto productiesnelheid worden bepaald.

Voor de berekening van de respiratie is uitgegaan van de periode tussen 9 uur 's avonds en 3 uur 's nachts. De productie is berekend uit de gegevens van de periode tussen 9 uur 's morgens en 3 uur 's middags, omdat dan de maximale hoeveelheid licht aanwezig is en ook gedurende dat deel van de dag de **in situ** metingen waren verricht. Het zou interessant zijn om de resultaten van de berekeningen met de individuele **in situ** metingen te vergelijken, maar helaas waren van slechts twee meetdagen zuurstof registraties beschikbaar. Omdat geen significante verschillen tussen de maanden juli, augustus en september werden gevonden, worden hier slechts de gemiddelde resultaten besproken (zie tabel 6).

TABEL 6. EEN VERGELIJKING VAN GEMETEN EN BEREKENDE PRODUCTIE- EN RESPIRATIESNELHEDEN (in $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)

	BEREKEND	GEMETEN
$\delta[\text{O}_2]/\delta t$ overdag	$0,37 \pm 0,20$	$0,03 \pm 0,17$
Reaeratie	$0,02 \pm 0,05$	
Netto productie	$0,36 \pm 0,20$	
$\delta[\text{O}_2]/\delta t$'s nachts	$0,31 \pm 0,14$	$0,28 \pm 0,14$
Reaeratie	$0,02 \pm 0,05$	
Respiratie	$0,30 \pm 0,10$	
SOD		
Bruto productie	$0,70 \pm 0,22$	
		$0,04 \pm 0,02$
		$0,31 \pm 0,10$

Duidelijk is dat de reaeratie geen enkele rol speelt. De gemeten en berekende respiratiesnelheden komen goed overeen. De berekende bruto productiesnelheden zijn echter veel hoger dan de gemeten waarden.

De vraag blijft hoe realistische primaire productie metingen verricht moeten worden. Duidelijk is dat langdurige incubaties onder constante lichtcondities te lage waarden opleveren, terwijl ook bij de diaprojector methode vraagtekens gezet moeten worden.

6. EEN ZUURSTOFBALANS VOOR HET MARKERMEER

Nu enkele belangrijke componenten van de zuurstofbalans van een stagnant water, namelijk productie, respiratie en SOD gemeten zijn en de reaeratie geschat is, is het mogelijk een globale zuurstofbalans voor het Markermeer op te stellen. Dit zou in principe kunnen voor elke meetdag, maar gezien de onnauwkeurigheid van vooral de respiratiemetingen werd hier van afgezien en is de gemiddelde zuurstofbalans voor de meetperiode (mei - oktober 1987) berekend. Deze ziet er als volgt uit (Tabel 7):

TABEL 7. EEN GLOBALE ZUURSTOFBALANS VOOR HET MARKERMEER.
(Alle getallen zijn in $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

	GEMETEN	BEREKEND
Primaire Productie	$2,9 \pm 1,2$	$9,5 \pm 3,0$
Respiratie	$6,7 \pm 3,3$	$7,2 \pm 2,4$
Bodemzuurstofverbruik	$0,9 \pm 0,5$	$0,9 \pm 0,5$
Reaeratie	----	$0,4 \pm 0,8$
Verschil	$-4,3 \pm 3,6^1$	$+1,0 \pm 4,0$

¹ Berekend met behulp van de berekende reaeratiesnelheid.

De gemeten waarden blijken geen sluitende balans op te leveren, terwijl dit bij de berekende waarden wel het geval is. De primaire productie, zoals die *in situ* gemeten is, wordt overtroffen door de zuurstofverbruikende processen respiratie en SOD. Het tekort kan niet worden aangevuld door uitwisseling van zuurstof met de atmosfeer, omdat dit proces nauwelijks een rol speelt. Om een sluitende zuurstofbalans te verkrijgen zijn primaire productiesnelheden nodig die ongeveer driemaal zo hoog zijn als de gemeten snelheden.

7. CONCLUSIES

Ten aanzien van de zuurstofhuishouding van het Markermeer zijn de volgende conclusies te trekken:

- De respiratie in de waterkolom is het belangrijkste zuurstofvragende proces. Het is veel belangrijker dan het bodem-zuurstofverbruik. Het is echter moeilijk de respiratie nauwkeurig te meten. Om nauwkeurigere waarden te krijgen zijn nauwkeurigere bepalingen van de zuurstofconcentraties nodig. De berekeningen uit **in situ** zuurstof metingen bevestigden echter de metingen.
- Op grond van de zuurstofbalans van het meer, en met name uit de discrepantie tussen de reaeratie en het zuurstoftekort in de waterkolom, moet worden geconcludeerd dat de gevolgde meetmethode van primaire productie een onderschatting van de werkelijke productie oplevert. Deze onderschatting bedraagt ongeveer een factor drie.
- Primaire productie metingen **in situ** lijken geen andere resultaten op te leveren dan die aan boord van de ARGUS. Beide technieken hebben enkele kleine voor- en nadelen.
- Anders is het gesteld met de diaprojector-techniek. Deze levert wezenlijk hogere waarden voor de primaire productie. Gezien het feit dat de **in situ** methode een onderschatting van de productie oplevert, zijn de resultaten van de diaprojector methode misschien beter.

8. DANKWOORD.

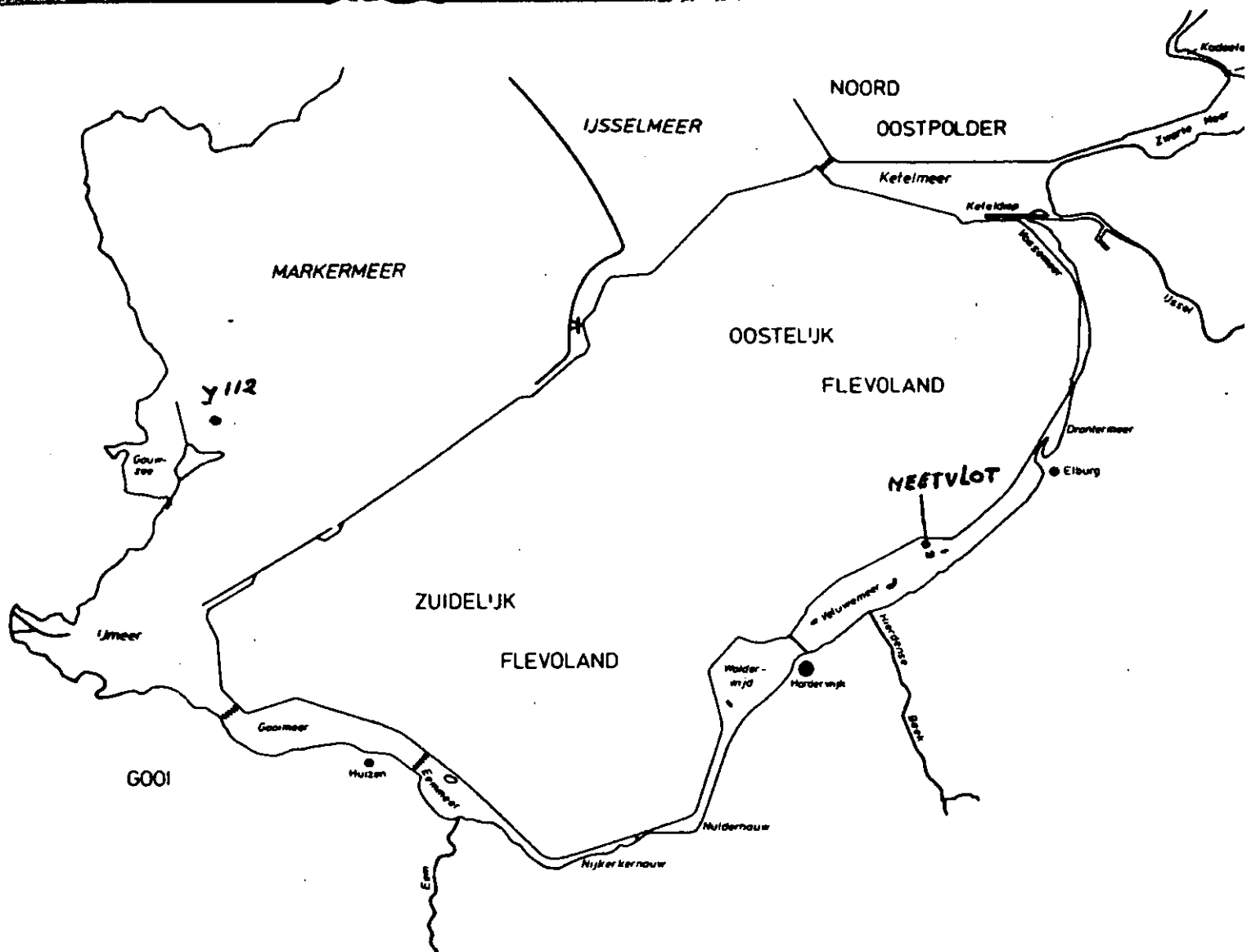
Onze dank gaat uit naar Ir. L. van Duin van de voormalige Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (thans directie Flevoland) voor het bereidwillig ter beschikking stellen van continu registraties van temperatuur, windsnelheid en zuurstofgehaltes in het Markermeer.

9. REFERENTIES

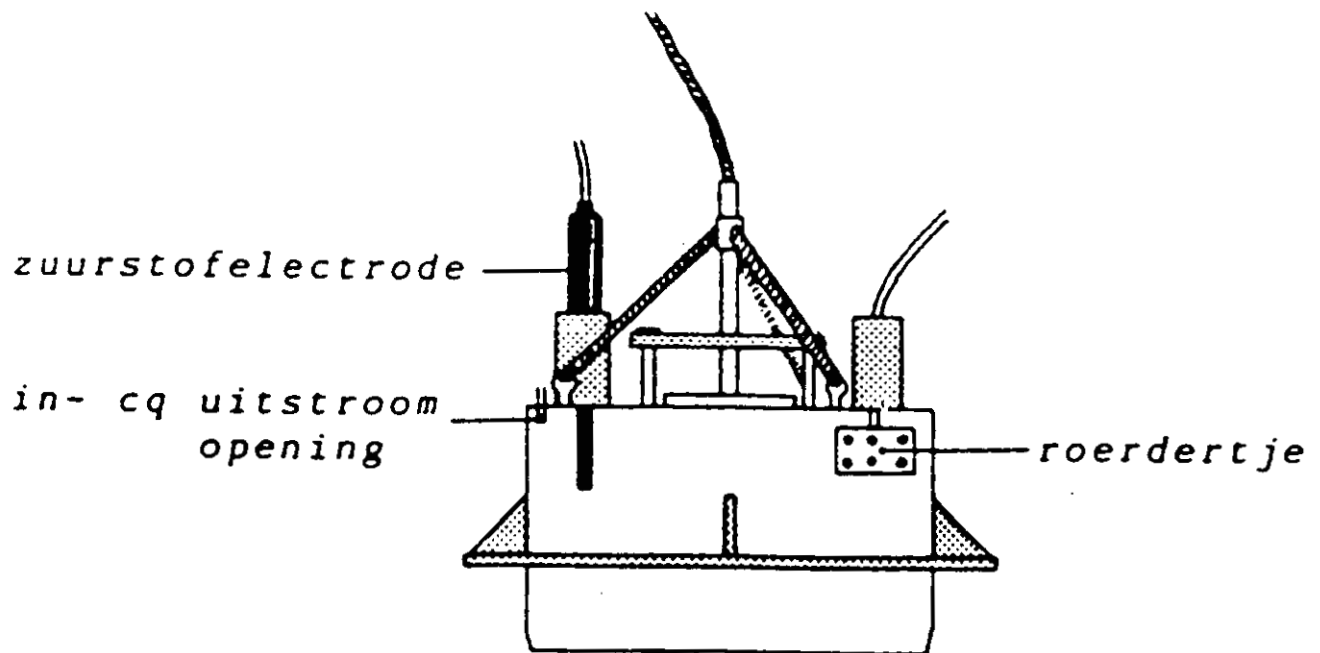
- Coops, O. (1988). Fosfaathuishouding in het oppervlaktewater. Stageverslag DBW/RIZA.
- Bowman, G.T. and Delfino, J.J. (1980). Sediment oxygen demand techniques, a review and comparison of laboratory and *in situ* systems. Water Research 14: 491 - 499.
- Brinkman, B. en Van Raaphorst, W. (1986). De fosfaathuishouding van het Veluwemeer. Proefschrift T.H. Twente.
- Breukelaar, A. en Meijer, M.L. (1987). Primaire productie onderzoek 1987 DBW/RIZA. Concept notitie DBW/RIZA.
- De Haan, M. (1987). Koolstofbalans van het Markermeer. DBW-/RIZA notitie 87044 X.
- Van Duin, L. (1985). Een model voor de zuurstofhuishouding van het Wolderwijd. RIJP werkdocument 1985-103 Abw.
- Jagtman, E. en Van Urk, G. (1988). Algen in het Markermeer: groei of opwerveling? H₂) 21: 606 - 610

10. FIGUREN

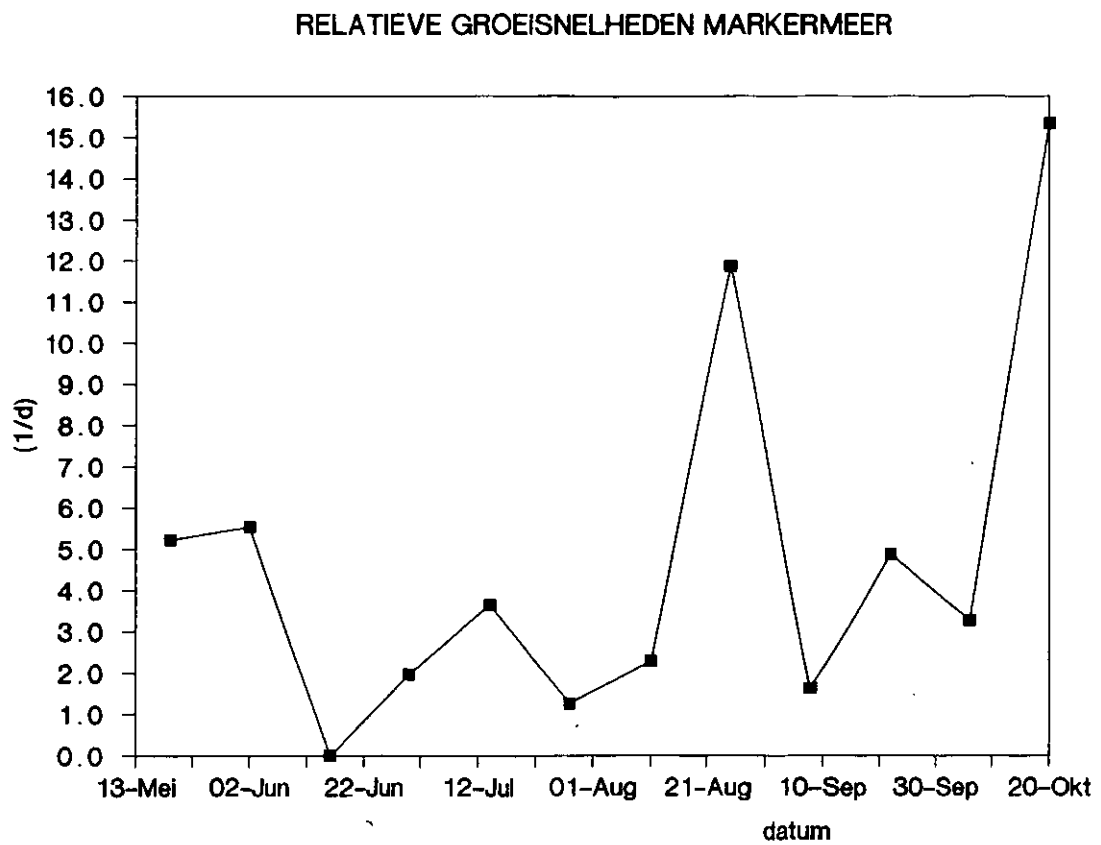
Figuur 1. Het Markermeer met onderzoekslocatie



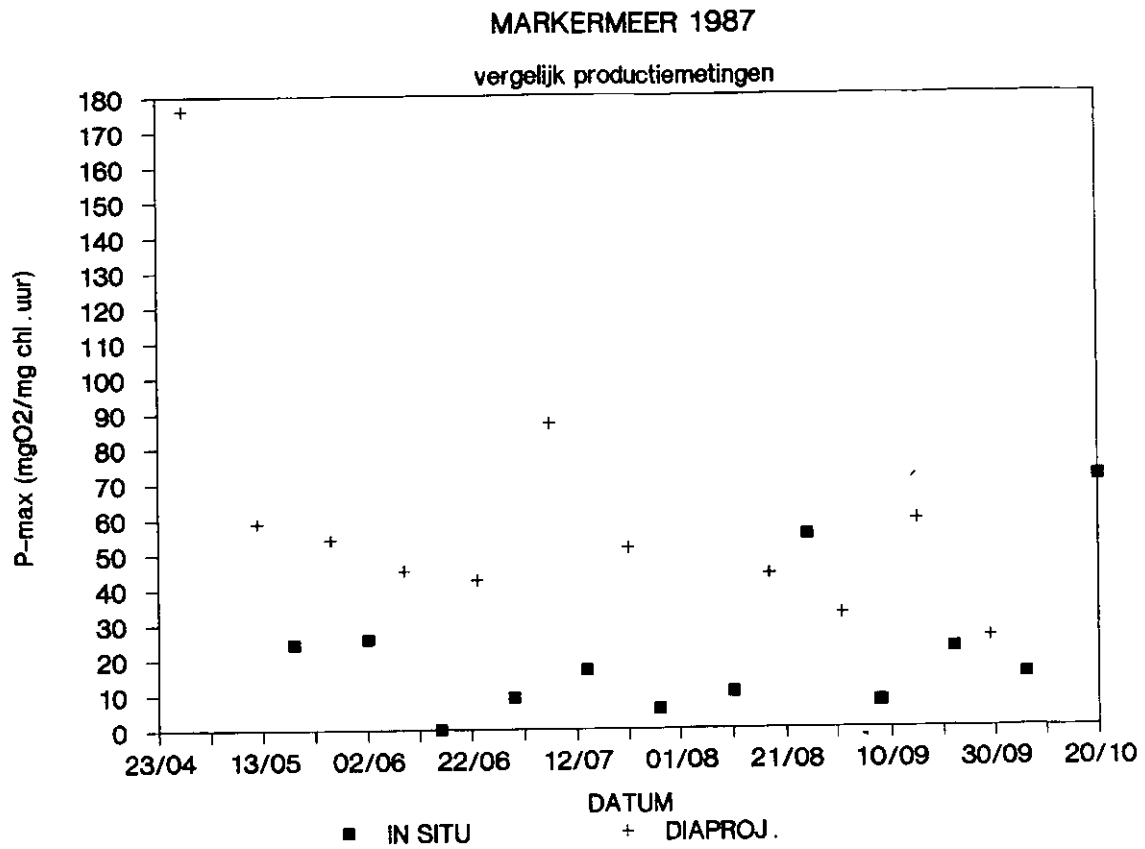
Figuur 2. De bodemkap



Figuur 3. Maximale groeisnelheden van het fytoplankton in het Markermeer in 1987.

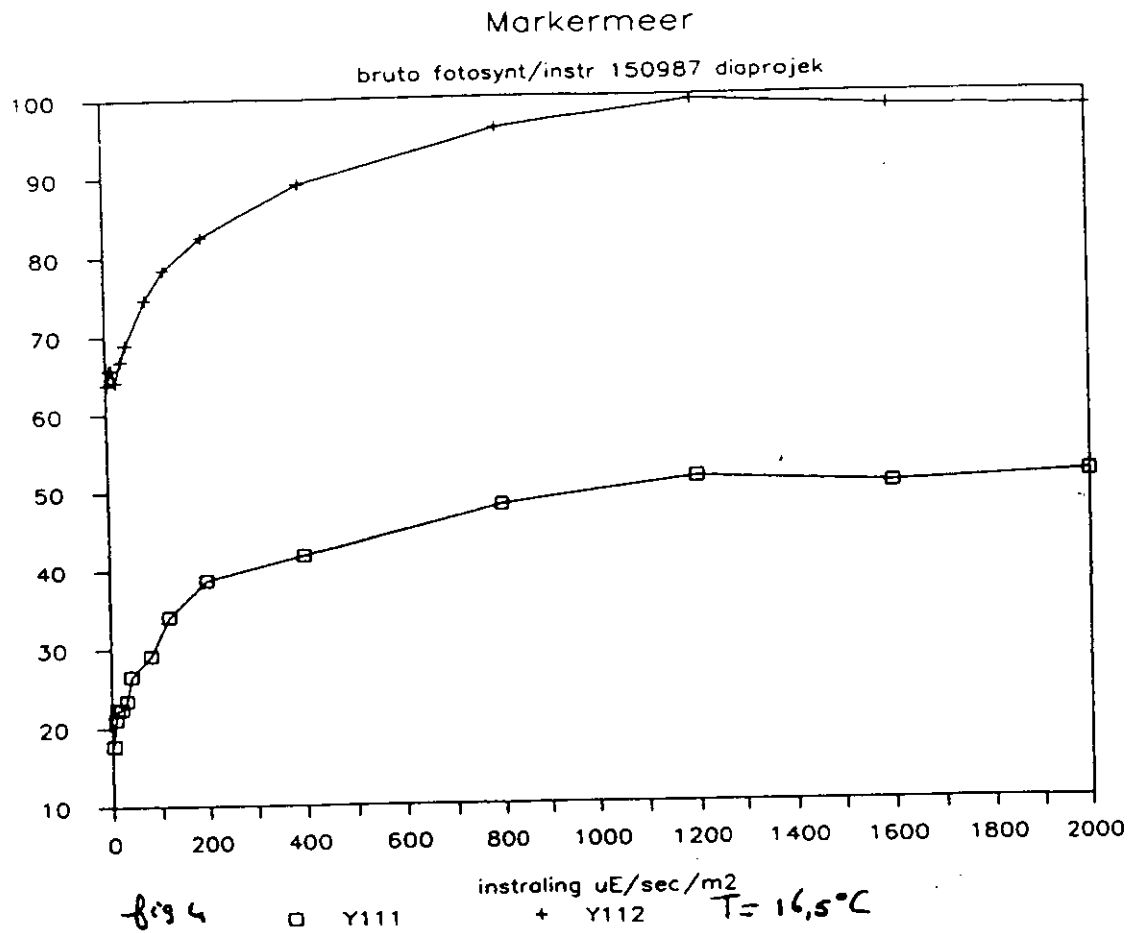


Figuur 4. Vergelijk van *in situ* en met de diaprojector gemeten maximale productiesnelheden.

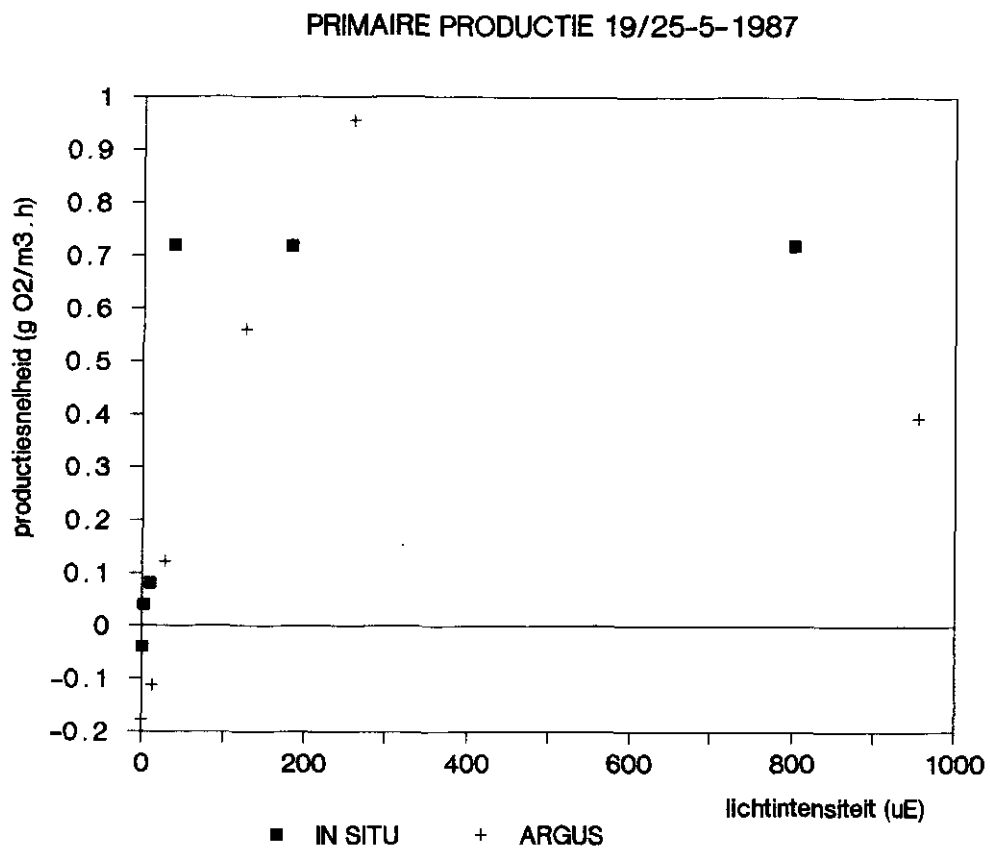


Figuur 5. Voorbeeld van een met de diaprojector gemeten productiecurve.

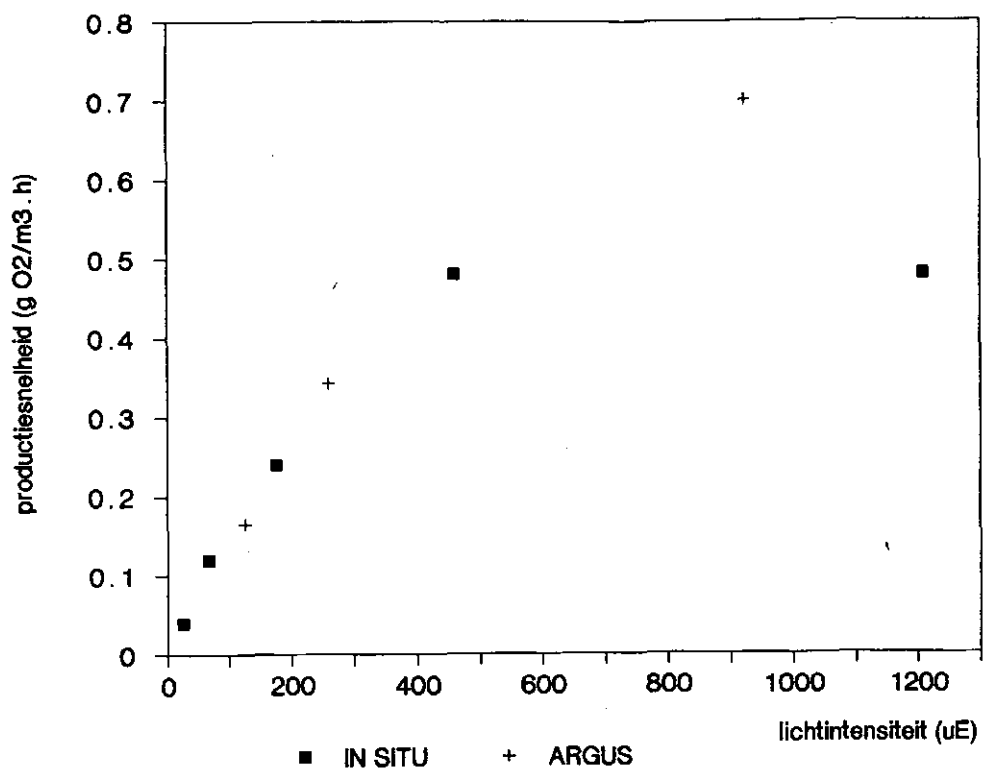
mgO₂/mgchl-a/uur



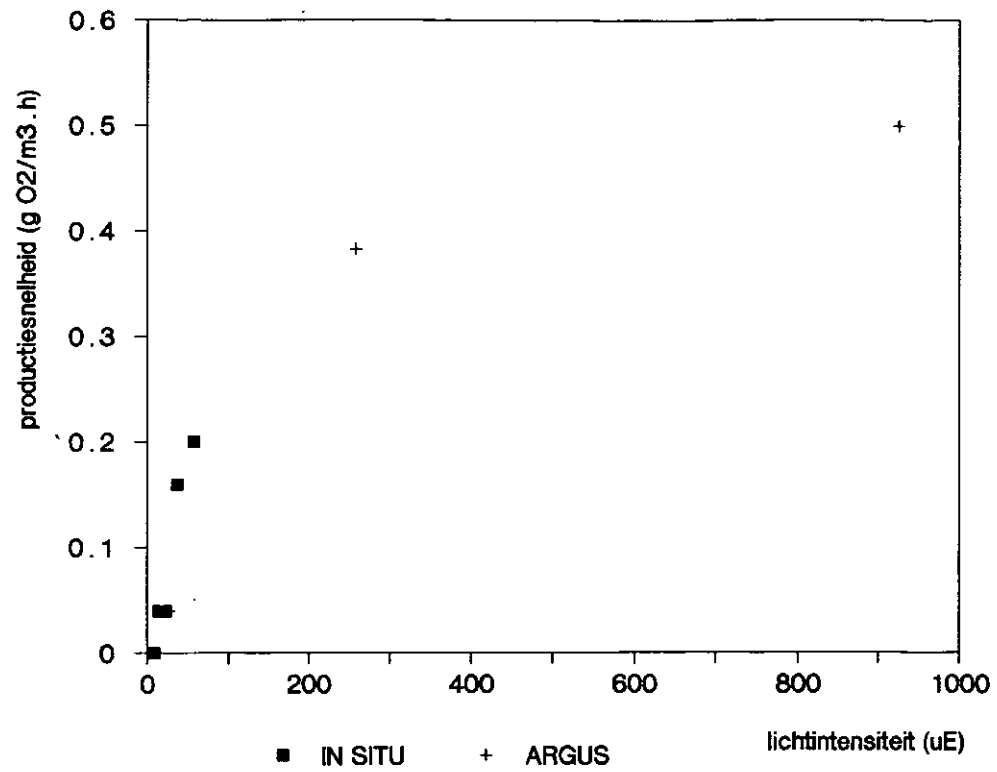
Figuur 6. Een vergelijking van **in situ** en aan boord van de ARGUS gemeten productiecurven.



PRIMAIRE PRODUCTIE 14/15-7-1987



PRIMAIRE PRODUCTIE 7/8-10-1987



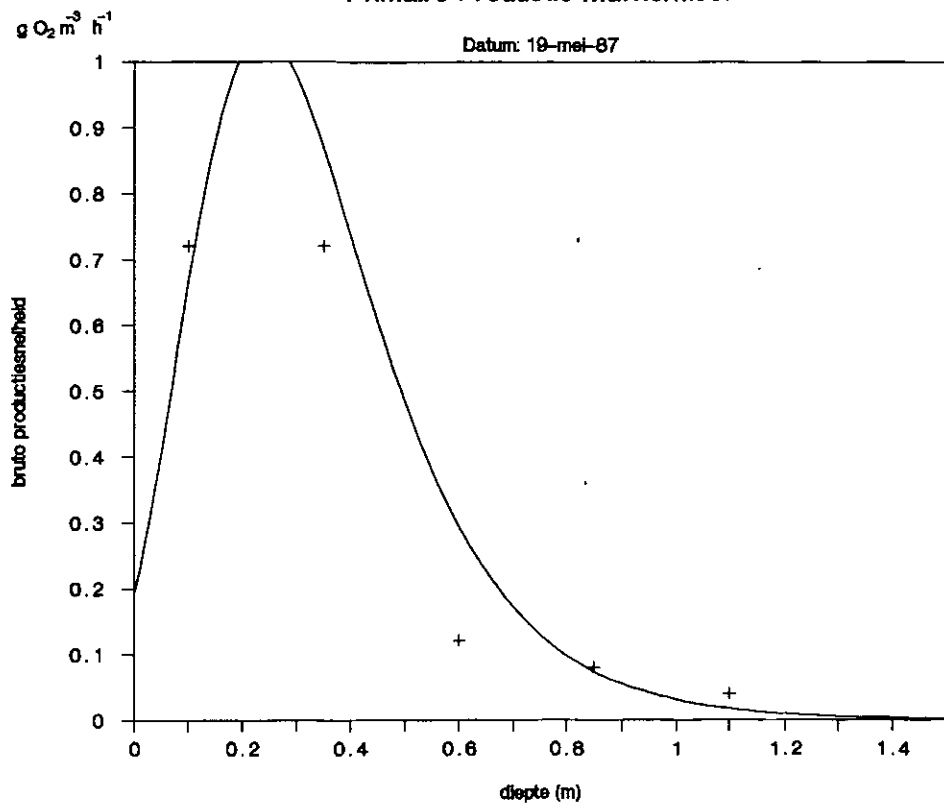
11. BIJLAGEN

BIJLAGE 1. Overzicht van de gebruikte afkortingen.

d = diepte onder het wateroppervlak	(m)
C = zuurstofconcentratie	(mg.l ⁻¹)
Cs = verzadigingsconcentratie van zuurstof	(mg.l ⁻¹)
c = conversiefactor van datalogger uitlezingen (mV naar mg.l ⁻¹ O ₂)	
ε = extinctiecoëfficiënt	(m ⁻¹)
f = uitleesfrequentie van datalogger	
h = hoogte van bodemkap	(m)
I ₀ = instraling net onder het wateroppervlak	(μE)
I _d = instraling op diepte d	(μE)
I-opt = instraling waarbij maximale groei optreedt	(μE)
K _l = overdrachtscoëfficiënt	(d ⁻¹)
K(T) = temperatuurfunctie	(-)
P _d = productiesnelheid	(mg O ₂ .l ⁻¹ .h ⁻¹)
P-max = maximale productiesnelheid	(mg O ₂ .l ⁻¹ .h ⁻¹)
r.c. = richtingscoëfficiënt van verandering van de zuurstofconcentratie in de bodemkap met de tijd	(mg O ₂ .l ⁻¹ .h ⁻¹)
SOD = Sediment Oxygen Demand	(g O ₂ .m ⁻² .d ⁻¹)
T = temperatuur	(°C)
t = tijd	
μ = relatieve groeisnelheid	(d ⁻¹)
μ-max = maximale relatieve groeisnelheid	(d ⁻¹)
W = windsnelheid	(m.s ⁻¹)
Z = diepte van het meer	(m)

Bijlage 2. Alle **in situ** gemeten bruto productiesnelheden (♦)
en daaruit berekende productiesnelheden.

Primaire Productie Markermeer

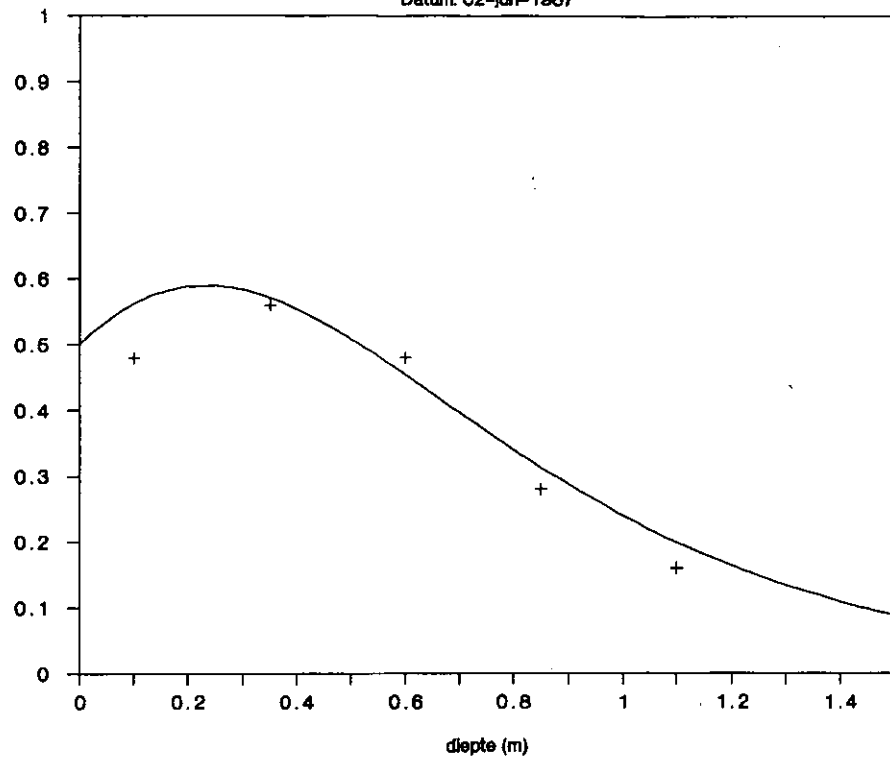


Primaire Productie Markermeer

$\text{g O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$

Datum: 02-jun-1987

bruto productiesnelheid

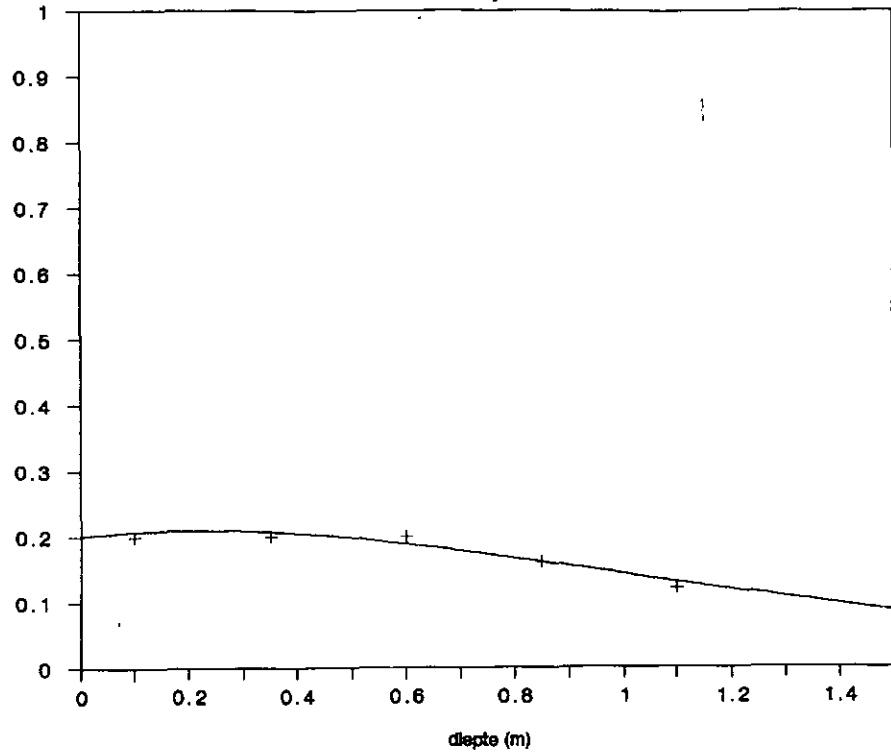


Primaire Productie Markermeer

$g\ O_2\ m^{-3}\ h^{-1}$

Datum: 30-jun-1987

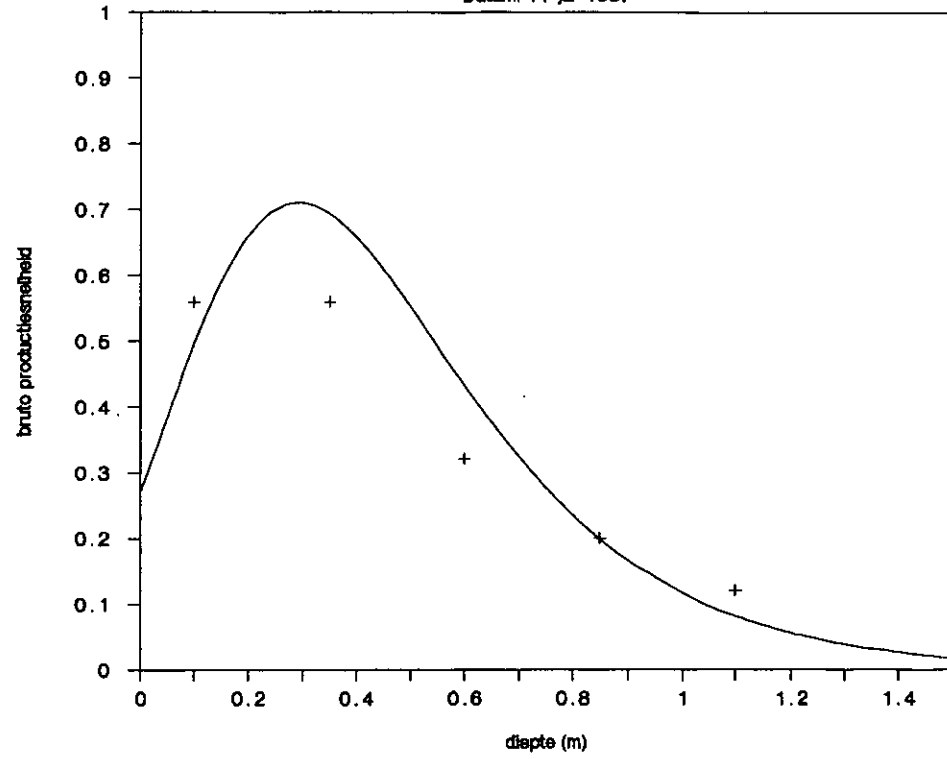
bruto productie/m²



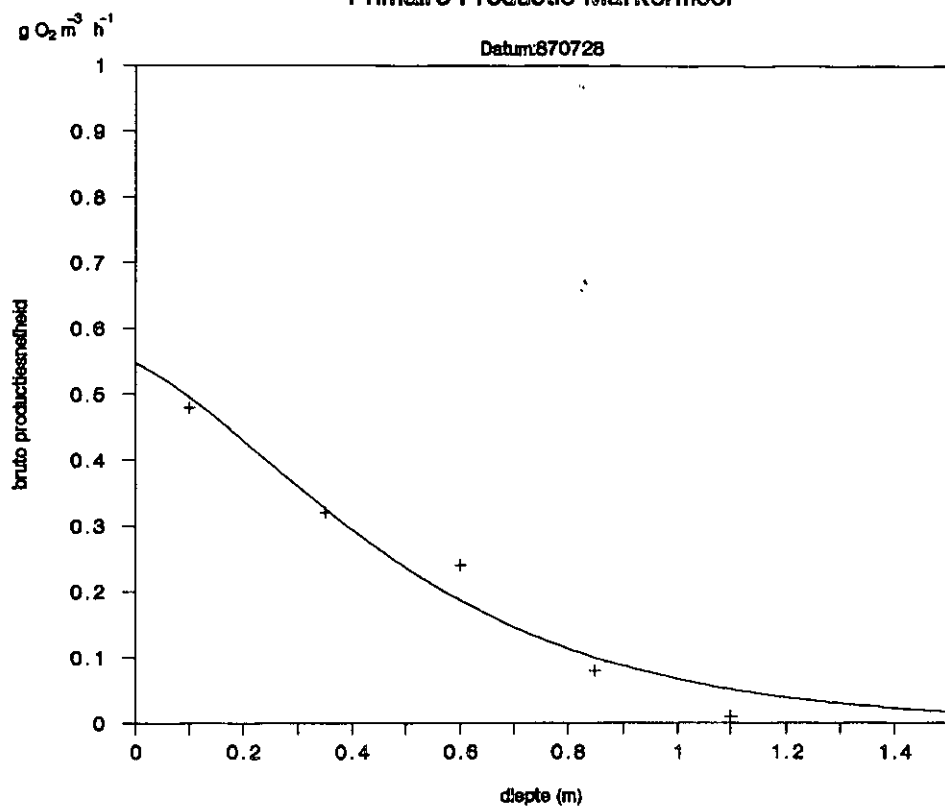
Primaire Productie Markermeer

$g\ O_2\ m^{-3}\ h^{-1}$

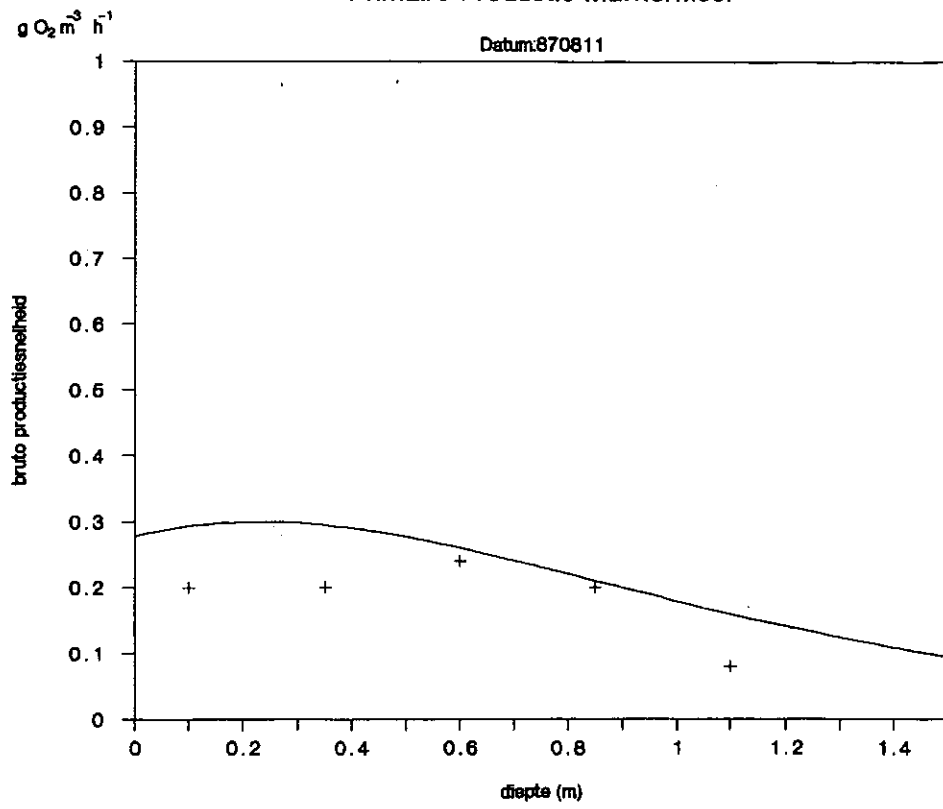
Datum: 14-jul-1987



Primaire Productie Markermeer



Primaire Productie Markermeer

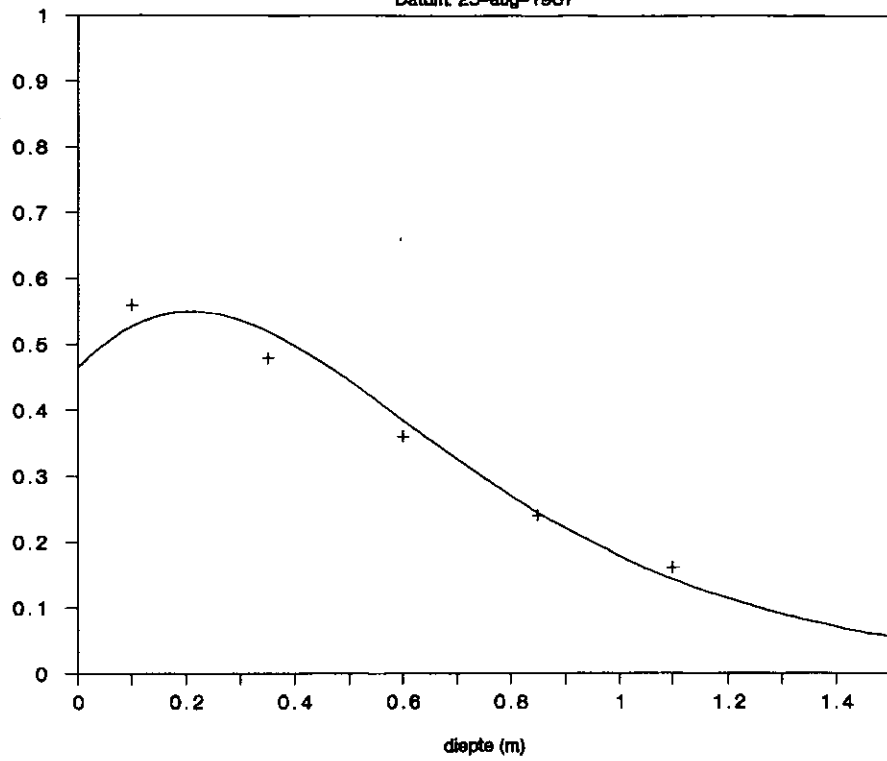


Primaire Productie Markermeer

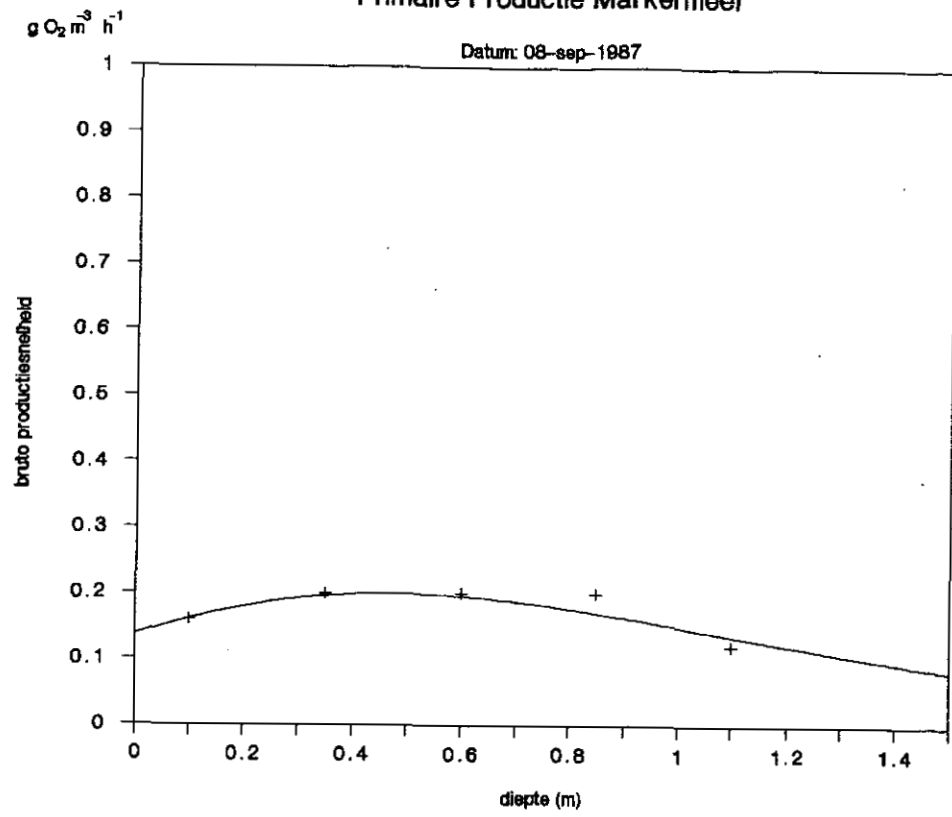
$g\ O_2\ m^{-3}\ h^{-1}$

Datum: 25-aug-1987

bruto productiesnelheid



Primaire Productie Markermeer

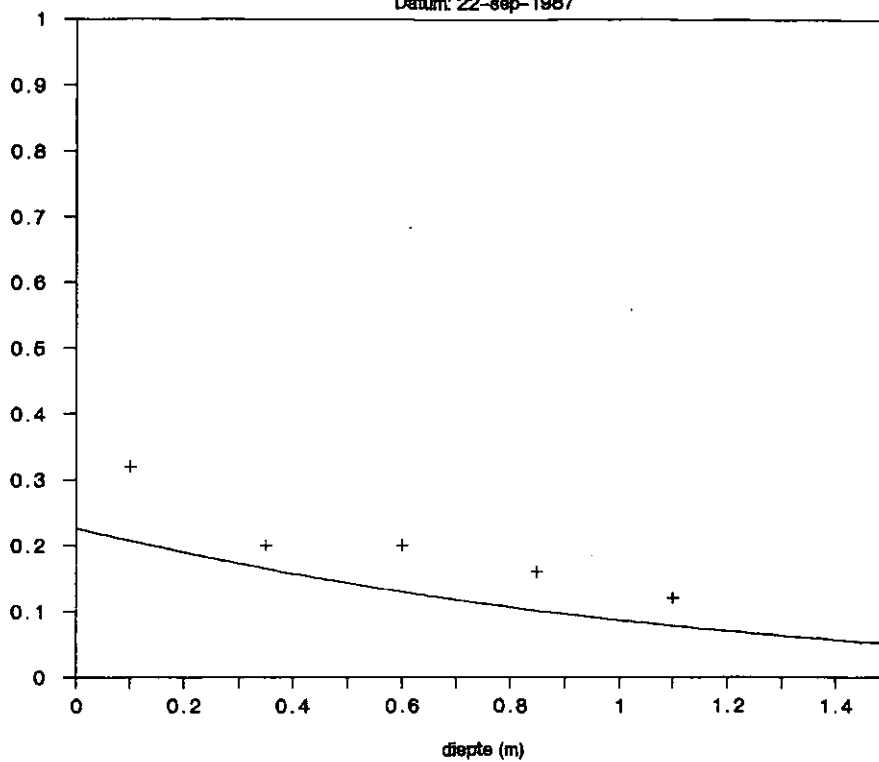


Primaire Productie Markermeer

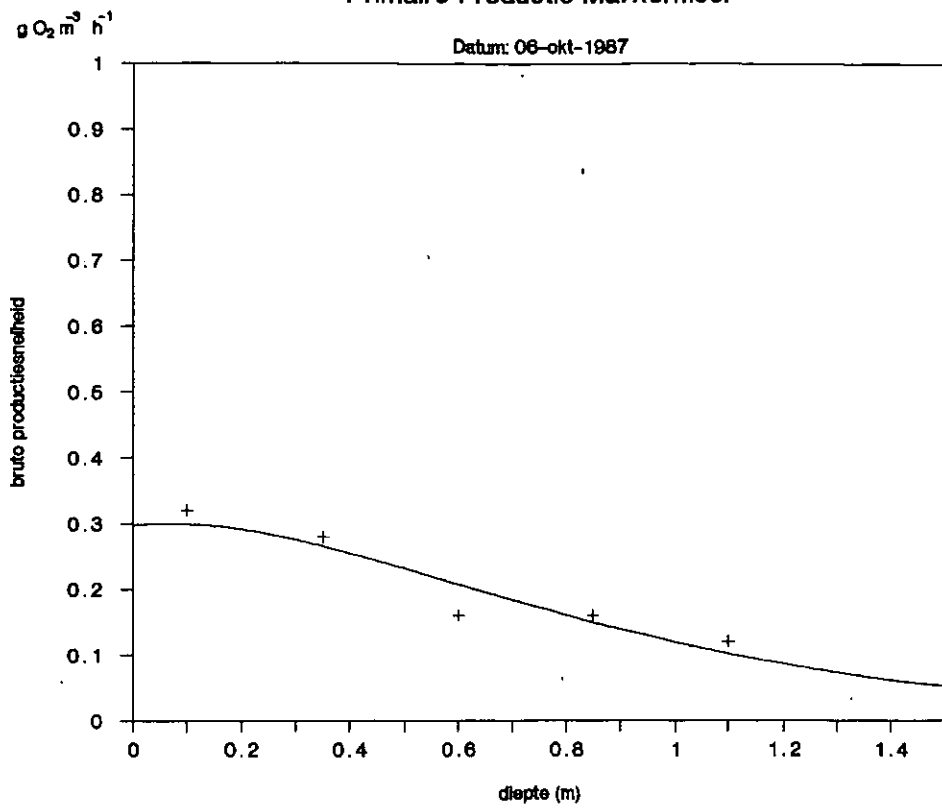
$\text{g O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$

Datum: 22-sep-1987

bruto productiesnelheid



Primaire Productie Markermeer



Primaire Productie Markermeer

