

ZUURSTOFHUISHOUDING VAN TWEE POLDERSLOTEN
IN DE POLDER DEMMERIK

K. Kersting

RIN-rapport 87/5

Rijksinstituut voor Natuurbeheer
Leersum

1987

255014

RIJKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER
VESTIGING TEXEL
Postbus 59, 1790 AB Den Burg
Texel, Holland

BIBLIOTHEEK
RIJKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER
POSTBUS 9201
6600 HB ARNHEM-NEDERLAND

R.I.N.-RAPPORT.5

INHOUD

Voorwoord	4
Inleiding	5
Materiaal en methoden	5
Resultaten	10
Discussie	27
Samenvatting	29
Summary	31
Literatuur	32
Bijlagen	34

VOORWOORD

Ondanks de dominante plaats van het watertype sloten in ons land, is hier nog relatief weinig onderzoek aan gedaan. Vandaar dat de afdeling Hydrobiologie van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer de sloten heeft onderzocht in het veenweidegebied bij Demmerik. In het ecosysteem neemt zuurstof een centrale plaats in. Het is niet alleen een expressie van het functioneren van het ecosysteem, maar is ook bepalend voor de overleving van organismen. Het was dan ook vanzelfsprekend dat hieraan aandacht besteed zou worden. De expertise en technische voorzieningen van de afdeling maakten het mogelijk om op een aantal meetpunten continue metingen te verrichten gedurende perioden van telkens 24 uur. Deze metingen zouden de basis kunnen zijn voor de berekening van de biologische processen die aan de zuurstofhuishouding ten grondslag liggen. Deze processen vormen een zinvoller basis voor de beoordeling van de kwaliteit van het systeem dan de actueel gemeten zuurstofconcentraties. Bovendien zouden deze gegevens gebruikt kunnen worden voor voorspellingen op korte termijn. Een tweede aspect dat onderzocht werd, is de mogelijke aanwezigheid van verticale gradienten. De bemonstering ten behoeve van de Wet verontreiniging oppervlaktewater gebeurt op een vaste diepte op een willekeurig tijdstip van de dag. Bij diepe meren is het duidelijk dat dit niet voldoende informatie geeft, maar het was niet bekend in hoeverre dit ook zou gelden voor sloten.

De Directie

INLEIDING

De afdeling Hydrobiologie van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer heeft een intensief onderzoekprogramma in twee sloten in de polder Demmerik uitgevoerd. De locaties waren gekozen op grond van hun verschil in karakter. Een sloot was in de zomer voor een groot deel begroeid met draadwieren (flap), terwijl de andere sloot een dichte vegetatie van waterlelies had. Dit verschil was opmerkelijk omdat de sloten aan twee kanten van een weiland lagen en beide in verbinding stonden met dezelfde wetering. Het onderzoek richtte zich op het beschrijven van de verschillen en het zoeken naar mogelijke oorzaken van deze verschillen. In dit rapport zullen de resultaten van het onderzoek naar de zuurstofhuishouding worden gepresenteerd.

Het verloop van de zuurstofconcentratie in een aquatisch ecosysteem is een belangrijke parameter. Aan de ene kant is dit verloop een weerslag van het functioneren van het ecosysteem. Aan de andere kant is het een van de belangrijkste abiotische levensvoorwaarden van veel organismen. Poldersloten zijn nog weinig op hun zuurstofhuishouding onderzocht. Het belangrijkste onderzoek op dit gebied in Nederland is uitgevoerd door R. Veeningen van het Limnologisch Instituut te Nieuwersluis. Hij heeft metingen verricht in een aantal sloten niet ver van onze onderzoeklocatie. Voor een uitvoerige beschrijving van het onderzoeksgebied zij verwezen naar zijn publikaties (Veeningen 1982, 1985). Uit dat onderzoek bleek de grote variatie over dag en nacht en in de ruimte belangrijk te zijn. De etmaalmetingen van Veeningen waren zeer arbeidsintensief omdat ze uitgevoerd waren met de hand. De intervallen tussen de metingen waren dientengevolge vrij groot (enkele uren). Wij hadden de behoefte om het verloop in meer detail te bepalen en konden dit doen omdat we de beschikking hadden over geautomatiseerde meetapparatuur.

MATERIAAL EN METHODEN

De zuurstofmetingen werden verricht met een geautomatiseerd registratiesysteem. Dit systeem bestond uit een tienkanaals zuurstofmeter met een schakelaar die telkens een van de kanalen doorverbond met een datalogger. Deze Microdate M200 datalogger registreerde de meetwaarden op een musicassette (voor verdere beschrijving zie Kersting 1978). Het doorschakelen van de zuurstofmeter gebeurde na het registreren van de meetwaarden. Het meetcircuit van de zuurstofkanalen was gebaseerd op het schema van de YSI-zuurstofmeter. Een thermistor was echter niet opgenomen in het temperatuurcompensatie-circuit, maar werd direct met de datalogger verbonden voor de temperatuurregistratie. Met behulp van de geregistreerde temperatuur werd de temperatuurcompensatie van de zuurstofmeting rekenkundig uitgevoerd. In het zuurstofmeetcircuit was deze thermistor vervangen door een vaste weerstand. Dank zij deze oplossing was het mogelijk om met de YSI-zuurstofelektrode tegelijkertijd zuurstof en temperatuur te meten.

Tussen maart 1982 en augustus 1984 werden eens in de vier tot vijf weken gedurende 24 uur metingen verricht op de beide locaties. De meetapparatuur werd midden op het weiland opgesteld en de elektroden werden in de beide sloten geplaatst. Op iedere meetplaats werden twee

elektroden geplaatst, een op ongeveer 10 cm onder het wateroppervlak en een op 10 cm boven de bodem. Het definiëren van de bodem is enigszins arbitrair gebeurd omdat er een dunne laag modder lag. In ieder geval bevond de elektrode zich nog boven deze modderlaag. Nadat in 1983 in beide sloten een enclosure was aangebracht zijn in deze enclosures eveneens zuurstofmetingen verricht. Omdat de apparatuur aanvankelijk niet toereikend was, zijn de metingen in de enclosures pas vanaf oktober 1983 volledig uitgevoerd. De meetpunten in de sloot zelf waren gemarkeerd door een steigerbuis die diep in de bodem was geslagen. Aan deze buis was een dwarspijp van ongeveer 1 meter bevestigd die op de bodem/modder rustte. De zuurstofelektrodes werden aangesloten op roerders die op een staaf geklemd werden. Deze staaf had twee manchetten die over de in de sloot staande steigerbuizen konden glijden tot de onderste manchet stuitte op de dwarspijp op de bodem. Deze constructie maakte het mogelijk om met een 'hengel' vanaf de kant de elektroden elke keer op hun zelfde plaats aan te brengen.

Nadat de elektroden geïnstalleerd waren werden de roerders in beweging gezet en daarna de datalogger. Aanvankelijk werden slechts vier elektroden gebruikt en werden samen met een referentiekanaal vijf zuurstofkanalen geregistreerd. Het meetinterval was ingesteld op een minuut, hetgeen betekent dat de meetwaarde van elke elektrode eens per vijf minuten werd geregistreerd. Later werden acht elektroden gebruikt en werden, om de verwerking op de computer vergelijkbaar te houden, alle tien kanalen van de zuurstofmeter geregistreerd met een scaninterval van 30 seconden. Behalve het zuurstofsignaal en het temperatuursignaal werd ook de lichtintensiteit boven water geregistreerd met een LiCor quantum-sensor.

De dataloggerbanden werden na afloop verwerkt met een computer. Hiertoe moesten de banden eerst vertaald worden in een voor de gebruikte computer leesbare vorm. Aanvankelijk werden de gegevens verwerkt op een Wang 2200 microcomputer. Later gebeurde de verwerking op een HP86 microcomputer.

Onderzoeklocatie

De metingen werden verricht in twee sloten gelegen langs een weiland dat in bezit was van Staatsbosbeheer (Fig.1). Het was verpacht aan de heer Mur, die er veeteelt bedreef op enigszins extensieve wijze. Het einde van het onderzoek werd in 1984 ingeluid door een uitruil van het land in verband met de ruilverkaveling. De nieuwe eigenaar past een veel intensievere manier van bewerking toe en staat ons ook niet toe het onderzoek voort te zetten. De meetlocaties lagen op ongeveer 100 m van de wetering aan de oostkant waar de beide sloten mee in verbinding stonden. De breedte van het weiland was ongeveer 50 m. Aan de westkant liepen de sloten dood op een dam op ongeveer 600 m van de meetlocatie. Dit betekent dat er weinig stroming in de sloten was. Slechts waterbewegingen van en naar de wetering speelden een rol. Het viel dan ook te verwachten dat de aard van het water voor beide sloten gelijk was. Eventuele verschillen zouden slechts het gevolg kunnen zijn van het functioneren van de beide sloten. De sloot aan de noordzijde (in dit rapport verder aangeduid als Noordsloot) werd gedomineerd door waterlelies, terwijl de Zuidsloot aanvankelijk door draadwieren (flap) gedomineerd werd. De flap in de Zuidsloot was

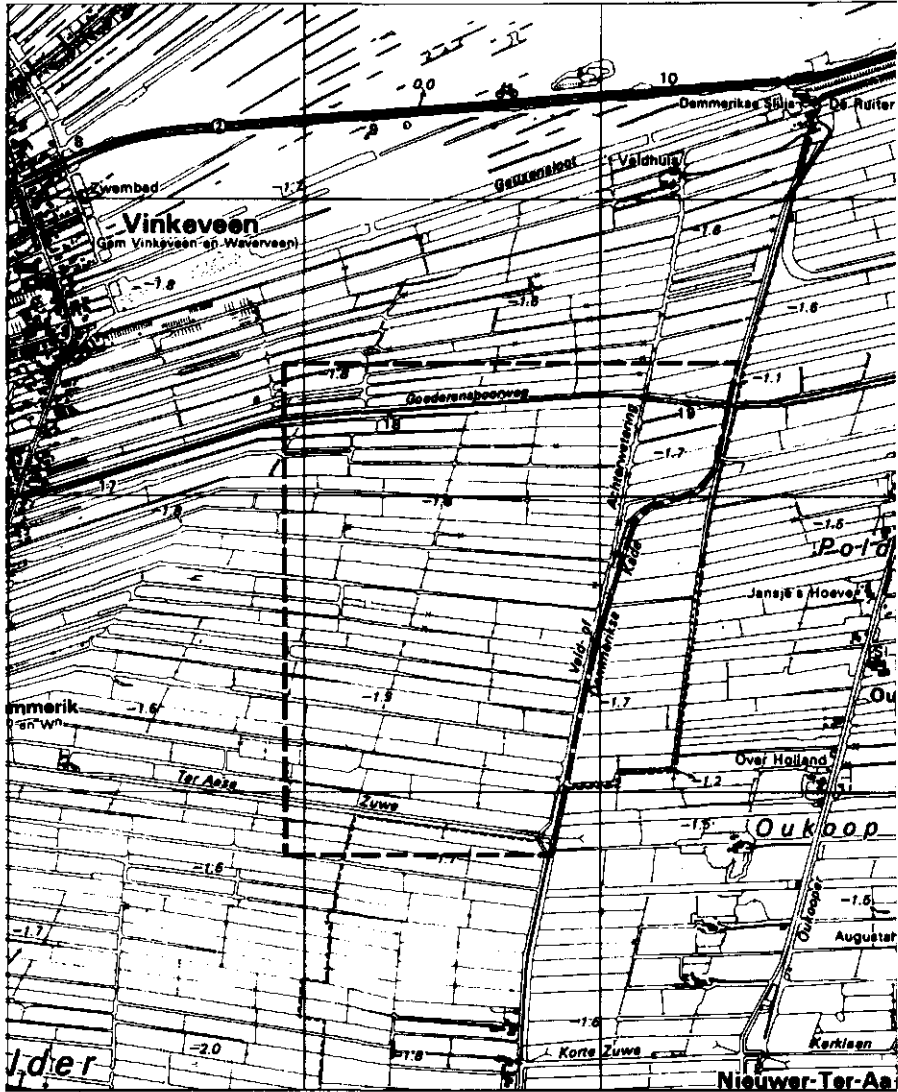
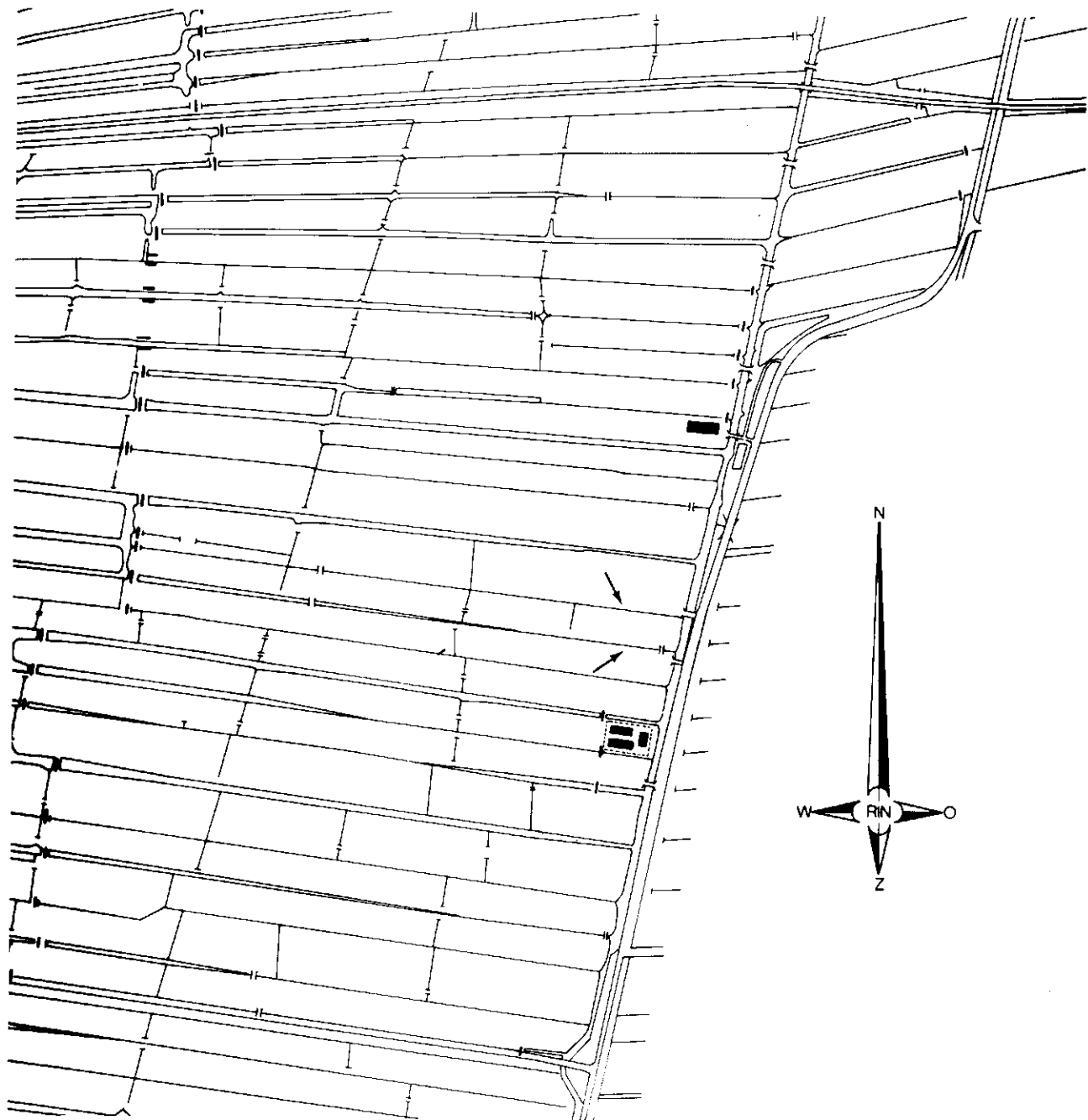
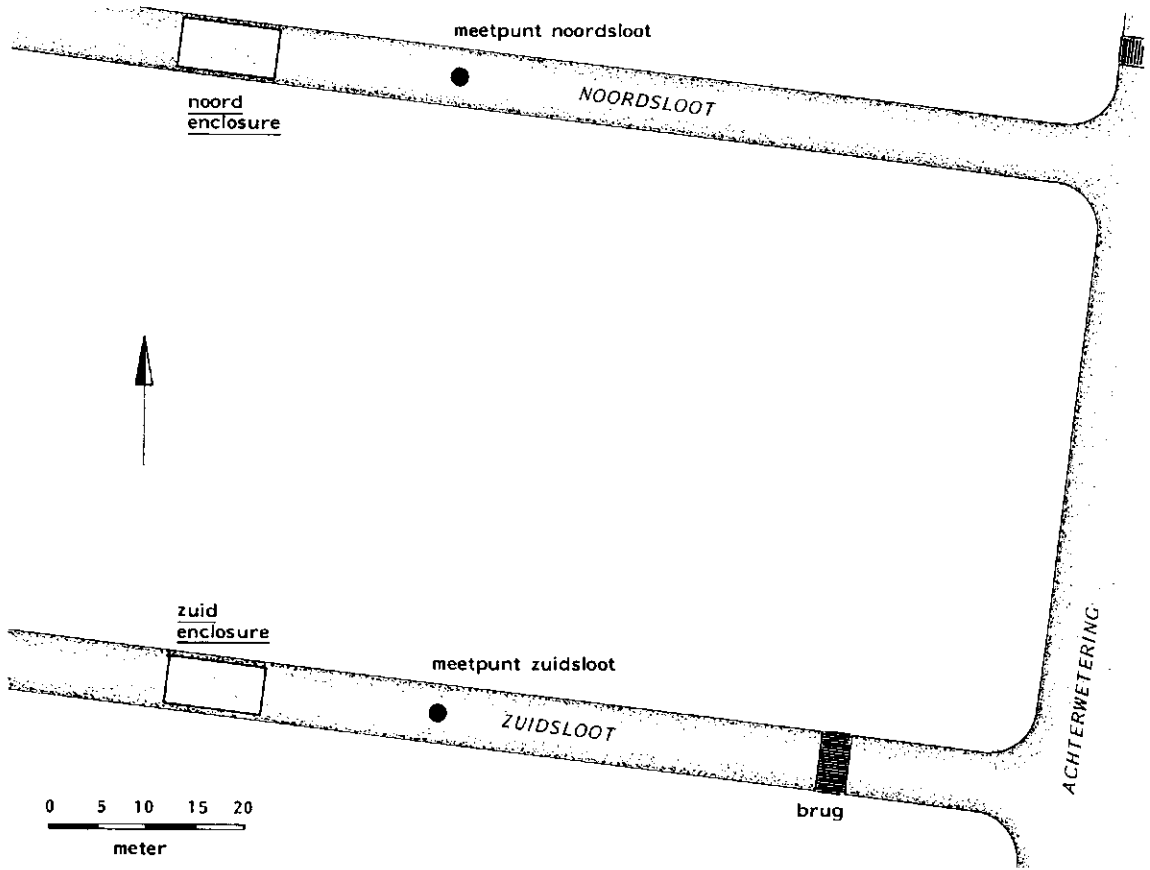


Fig. 1: Onderzoeklokatie en ligging van de meetpunten.
Research location and situation of the sampling points.





echter niet gedurende de gehele onderzoeksperiode dominant. De sloten waren ongeveer 6 m breed en verschilden enigszins in diepte op de plaats waar de metingen verricht werden. De Noordsloot was afhankelijk van de waterstand 70 - 80 cm diep. De Zuidsloot was 50 - 60 cm diep.

Ten behoeve van het onderzoek aan de nutriëntenhuishouding zijn in maart 1983 in beide sloten enclosures geconstrueerd van 10 m lang en 5 m breed. Ze bestonden uit enigszins ruim hangende rubber wanden die 40 cm diep in de oorspronkelijke slootbodem waren ingegraven. Dank zij de extra ruimte in de zijwanden kon het volume van de enclosures variëren zonder dat er niveauverschillen ontstonden met het water erbuiten. Dit variabele volume was nodig omdat er een grote wegzijging was die in de sloot aangevuld werd vanuit de wetering. In de enclosure gebeurde dit niet en daalde het volume. Regelmatig werd de enclosure aangevuld met water uit de sloot, waarvan de hoeveelheid en de nutriëntenconcentraties gemeten werden. Vanaf juli 1983 werd in de enclosure van de Zuidsloot zuurstof gemeten en vanaf oktober 1983 eveneens in die van de Noordsloot. Tussen oktober 1983 en april 1984 was een van de zijkanten geopend, zodat uitwisseling van water in die periode mogelijk was.

RESULTATEN

Twee belangrijke variabelen die de zuurstofprocessen beïnvloeden zijn temperatuur en licht. In figuur 2 zijn voor de meetperioden weergegeven de totale instraling en de gemiddelde temperatuur gedurende de 24 uur van de metingen. Beide volgen uiteraard het verwachte patroon van de seizoenen, met, vooral bij het licht, het effect van het weer op de dag van de metingen.

Zoals verwacht traden in beide sloten grote variaties op in de zuurstofconcentraties. Dit betreft variatie in dag en nacht, tussen de seizoenen, tussen de sloten en over de diepte van de waterkolom. Deze variaties zullen stapsgewijs nader worden geanalyseerd. Indien we alle waarnemingen samennemen, dan zien we een minimale zuurstofconcentratie van 0 ppm en een maximumconcentratie van 23,15 ppm. Dit betreft dus het minimum en maximum in zuurstofconcentratie over de gehele meetperiode, in beide sloten, in en buiten de enclosures en geeft dus een zeer grof beeld van de mogelijke concentraties. Een nadere precisering wordt verkregen door dit per meetpunt te bekijken (tabel 1). Het blijkt dat de range per meetpunt al veel kleiner is geworden. Het meetpunt met als maximale zuurstofconcentratie 23,15 ppm gaf nooit een lagere zuurstofconcentratie dan 2,72 ppm. Hoewel dit een zeer grove beschrijving van de zuurstofhuishouding is, geeft dit toch wel enigszins de verschillen aan tussen de meetplaatsen. De overlap is echter zeer groot. Het effect van de meetplaats kan meer in detail bekeken worden door de metingen van oppervlak en bodem apart te bekijken (tabel 1). De zuurstofconcentratie bij de bodem buiten de enclosures heeft een lagere range dan die bij het oppervlak. Het verschil is echter niet zo groot. Dit betekent niet dat er geen verschillen zijn tussen bodem en oppervlak, maar deze manifesteren zich niet in de ranges over langere perioden. Tevens blijkt dat de variatie per punt ook groter is dan de variatie tussen de punten. In de extremen zijn er

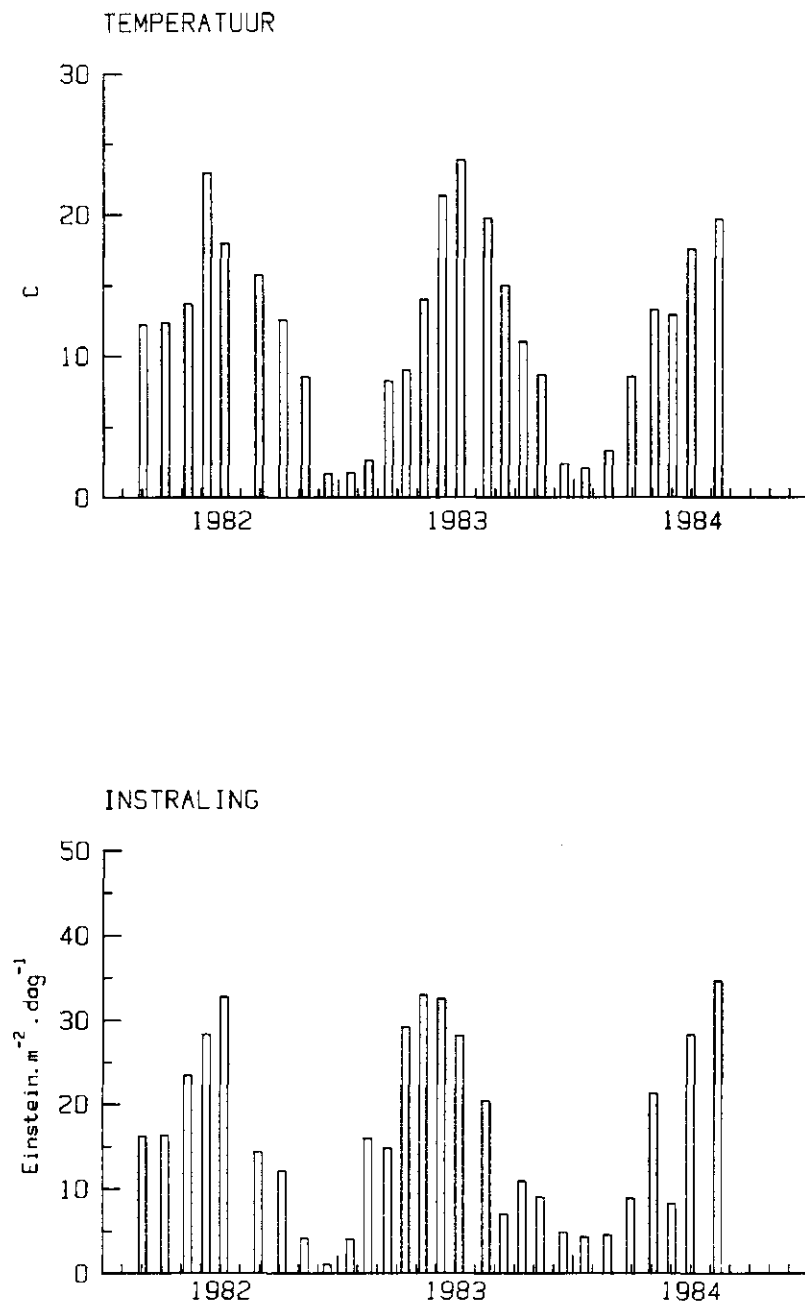


Fig. 2: Gemiddelde temperatuur en totale instraling van de meetperiodes van 24 uur.
Mean temperature and total irradiation of the sampling periods of 24 hours.

wel verschillen, maar er is een grote overlap.

TABEL 1

Minima en maxima van de zuurstofconcentraties
Minimum and maximum oxygen concentrations

Locatie	Totaal		Oppervlak		Bodem	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Zuidslot	.2	19.25	.79	19.25	.2	18.5
Noordslot	0	18.66	.75	18.66	0	17.25
Zuid Enclosure	2.72	23.15	3.22	22.65	2.72	23.15
Noord Enclosure	7.52	17.23	7.52	17.23	7.76	15.78

Naast de variatie in de plaats is er ook de variatie in de loop van het jaar. In figuur 3 zijn de minima en maxima per meetperiode weergegeven. Hieruit is goed het effect van de seizoenen te zien. In de winter en het voorjaar zijn de variaties vrij klein en schommelen rond de verzadigingswaarde. In de zomer wordt de range groter door het lager worden van de minima. In de herfst worden de variaties weer vergelijkbaar met die in het voorjaar, maar zijn de gemiddelden belangrijk lager. Globaal geeft dit aan dat organisch materiaal in het voorjaar wordt opgebouwd en in de herfst afgebroken. Tijdens ons onderzoek in Demmerik traden er in de winter geen lage zuurstofconcentraties op, zelfs niet onder een ijsdek. Het verloop in de seizoenen duidt op de belangrijke rol van de temperatuur voor de zuurstofhuishouding. In de zomer wordt de respiratie door de hoge temperatuur zo verhoogd dat lage zuurstofconcentraties een gevolg zijn. De fotosynthese die door de gelijktijdig optredende hoge lichtintensiteiten hoog is, blijkt de verhoogde respiratie te volgen, zonder echter een sterk verhoogde zuurstof concentratie te geven. Hierbij speelt natuurlijk ook een rol dat de verzadigingswaarde bij die hoge temperaturen laag is en een deel van de zuurstofproductie door diffusie naar de atmosfeer verloren gaat. Te verwachten is dat vooral de metingen bij de bodem de lage zuurstofconcentraties geven. In figuur 4 zijn de ranges van oppervlak en bodem apart weergegeven. Daaruit blijkt dat het algemene patroon geldt voor bodem en oppervlak. Omdat het verschil tussen de seizoenen vooral bepaald wordt door de minima, is het patroon het duidelijkst voor de bepalingen bij de bodem.

Zoals blijkt is de variatie afhankelijk van de plaats en het seizoen en is de volgende stap in de analyse het beschrijven van de variatie per plaats door de seizoenen (Fig. 5). Het algemene patroon zoals hiervoor beschreven is ook herkenbaar bij de afzonderlijke meetpunten. Tussen de meetpunten treedt er wel een verschil op. De variatie is in de Zuidslot, vooral in 1982, iets groter dan in de Noordslot. In het algemeen is er een grote overlap tussen de range

ZUURSTOFVARIATIE BEIDE SLOTEN

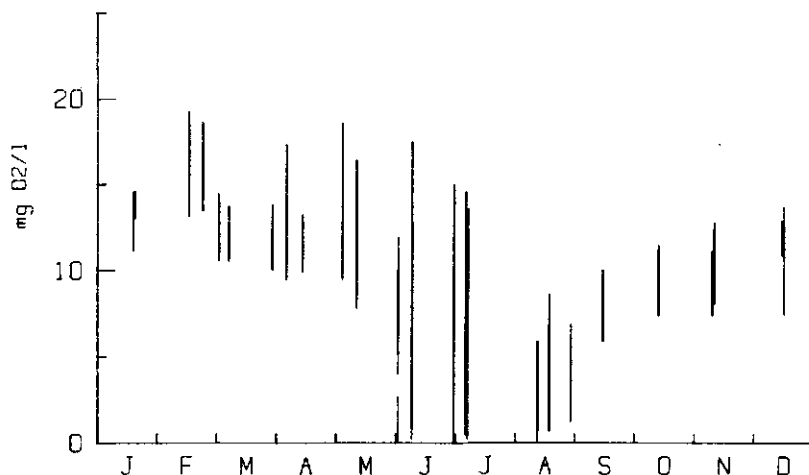


Fig. 3: Zuurstofrange per meetperiode in de verschillende seizoenen. Alle openwater meetpunten gecombineerd.
Oxygen range per sampling period in the different seasons. All sampling points of open water combined.

ZUURSTOFVARIATIE BEIDE SLOTEN OPPERVLAKE

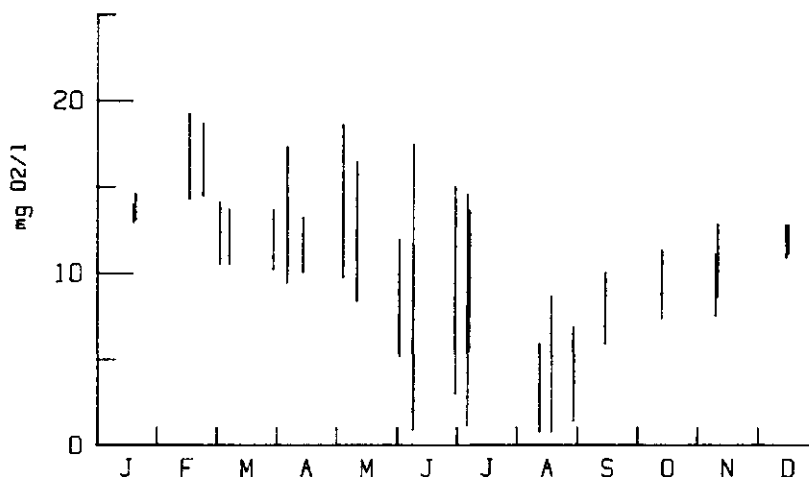
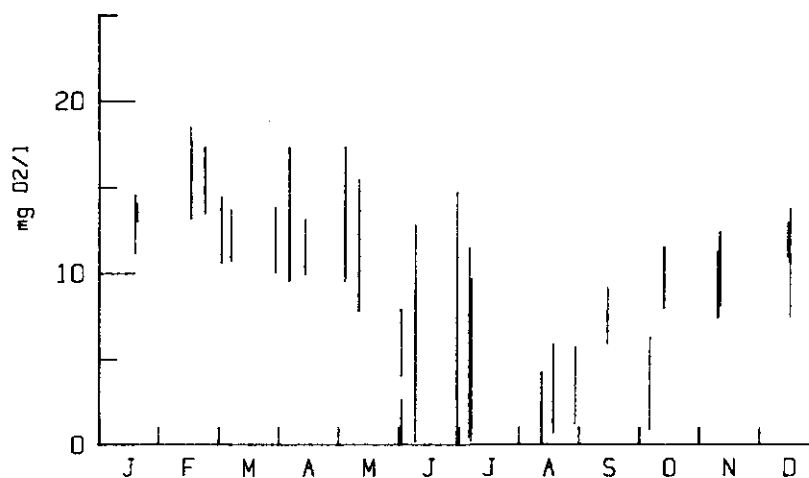


Fig. 4: Zuurstofrange per meetperiode in de verschillende seizoenen. Metingen bij oppervlak en bodem apart weergegeven.
Oxygen range per sampling period in the different seasons. Sampling of surface and bottom are given separately.

ZUURSTOFVARIATIE BEIDE SLOTEN BODEM



ZUURSTOF MINIMA EN MAXIMA VAN OPPERVLAK EN BODEM

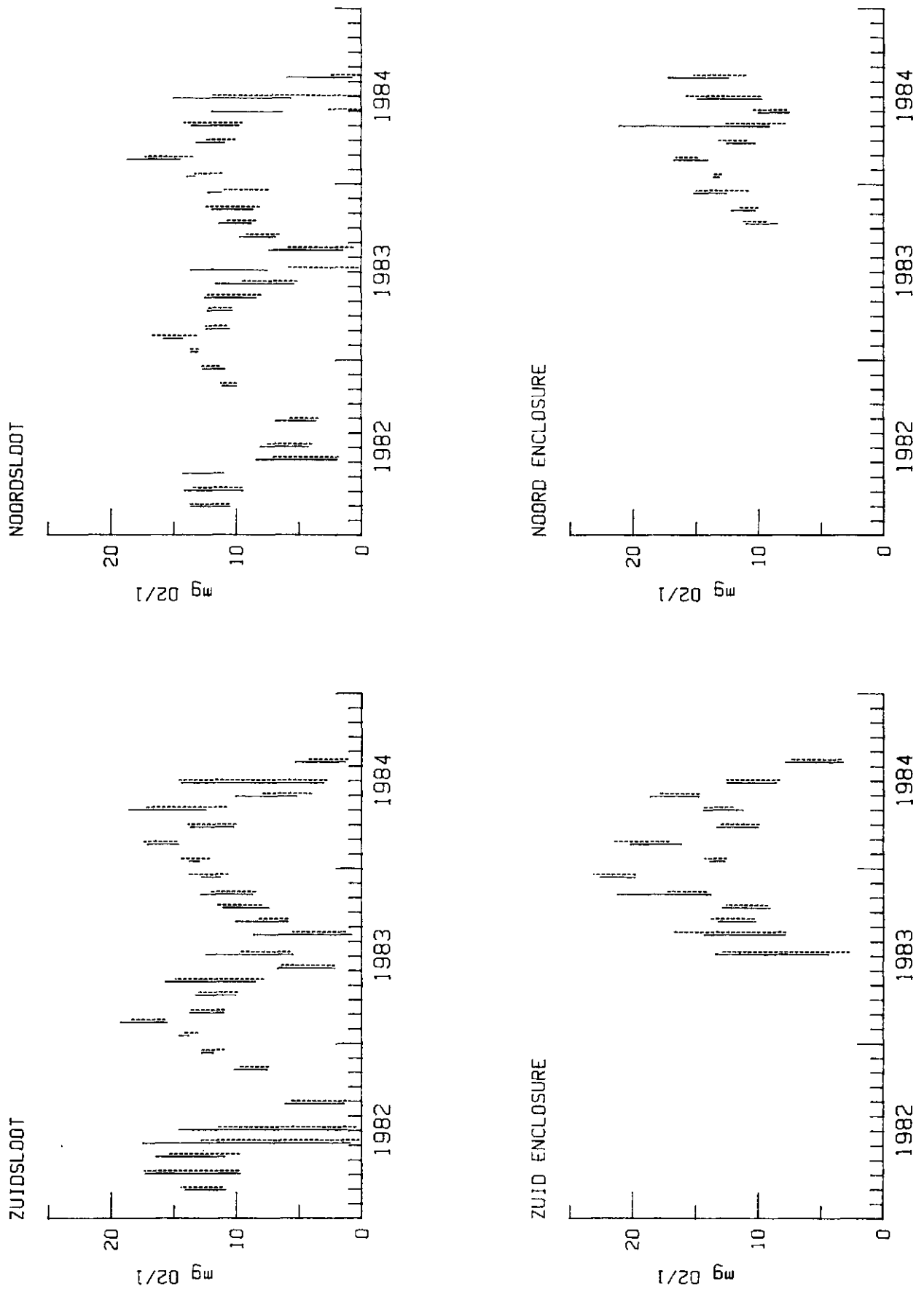


Fig. 5: Zuurstranges per meetperiode van alle meetpunten uitgezet tegen de tijd.
Oxygen ranges per sampling period plotted against time.

Getrokken lijnen: Oppervlak;
Gebroken lijnen : Bodem;

Solid lines : Surface
Dashed lines: Bottom

bij bodem en oppervlak. Bij de Noordsloot komt het echter regelmatig voor dat er totaal geen overlap is. Dit kan zowel in de zomer (juli 1983, juni 1984) als in de winter (december 1983, januari 1984) optreden. Hierop zal in de volgende paragraaf teruggekomen worden.

Etmaalmetingen

Tot nu toe zijn de minima en maxima bekeken. Er is echter geen aandacht geschonken aan de manier waarop deze minima en maxima tot stand kwamen. Hiervoor zullen de metingen bekeken moeten worden. De cassettebandjes van de datalogger werden na een meetserie op een standaardmanier verwerkt. De grafieken van de 28 meetseries zijn opgenomen als bijlage van dit rapport. Het heeft geen zin om alle gegevens uitvoerig te bespreken. Veel hangt af van de toevallige omstandigheden. Er zijn echter een aantal opvallende patronen. Een hiervan, het voorkomen van bimodale zuurstofkrommen bij de bodem, is reeds in een publikatie beschreven (Kersting 1983). Hierin wordt het optreden van dit verschijnsel toegeschreven aan het optreden van een temperatuurstratificatie tijdens dagen met een hoge temperatuur en een hoge instraling. Tijdens de afkoeling in de avond en nacht treedt er menging op met het zuurstofrijke water van het oppervlak en stijgt de zuurstofconcentratie bij de bodem. Bij een nadere analyse van de grafieken is het merkwaardig dat er geen extra sterke daling van de zuurstofconcentratie in het oppervlak optreedt tijdens de menging. Dit betekent dat de zuurstofconcentraties van bodem en oppervlak niet representatief zijn voor waterlagen van vergelijkbare dikte. De laag bij de bodem moet dun zijn in verhouding tot die bij het oppervlak. De gradient zou dus mogelijk beperkt zijn tot een laag vlak boven de bodem. Hierover zijn geen waarnemingen gedaan. De twee voorbeelden die in deze publikatie gegeven waren, zijn nog gevolgd door andere. Het verschijnsel leverde vooral in de Noordsloot enkele extreme situaties op. Overdag daalde de zuurstofconcentratie bij de bodem zeer sterk. In de avond trad een sterke stijging op en verliep de concentratie parallel met de waarde aan het oppervlak. De concentratie aan het oppervlak nam na zonsopkomst weer toe, maar bij de bodem zette de daling zich voort en werd de zuurstofconcentratie overdag lager dan 'snachts. Voorbeelden hiervan zijn gevonden in augustus 1983 en 1984. In de Zuidsloot werden wel bimodale zuurstofkrommen gevonden, maar nooit in de extreme vorm als die van de Noordsloot. Op zichzelf is het optreden van een sterke stratificatie in de met waterlelies bedekte Noordsloot niet zo verwonderlijk. De drijfbladeren vangen het zonlicht op en absorberen het vrijwel volledig. Dit betekent, dat alle energie wordt opgenomen door de drijfbladeren en de temperatuurstijging zal dus pal aan het wateroppervlak plaatsvinden. Bij de draadwierenvegetatie van de Zuidsloot wordt de opwarming van het water verdeeld over een groter deel van de waterkolom. Een tweede oorzaak van het optreden van de lage zuurstofconcentraties bij de bodem van de Noordsloot kan zijn het waarschijnlijk sterkere zuurstofverbruik van de bodem. Dit verklaart tevens waarom er soms geen overlap is in de zuurstofconcentratierange van bodem en oppervlak.

Zuurstofprocessen

Onder invloed van het daglicht produceren waterplanten en andere autotrofe organismen zuurstof dat weer verbruikt wordt in de respiratie van alle organismen. Als aangenomen wordt dat de respiratie in het licht gelijk is aan die in het donker, kunnen uit de etmaalmetingen de zuurstofproductie en zuurstofconsumptie berekend worden. De respiratie wordt dan bepaald aan de afname in de zuurstofconcentratie in de nacht. De nettoproductie is de verandering in zuurstofconcentratie gedurende 24 uur. Indien we hierbij de respiratie over 24 uur optellen, wordt de brutoproductie verkregen. Hierbij dient men echter nog wel rekening te houden met het transport van zuurstof naar en van de lucht. Als basis voor het ontrafelen in deelprocessen dient de zuurstofmassabalans.

$$dC/dt = K(C_s - C) + (P - R) \dots \dots \dots (1)$$

C is de zuurstofconcentratie van het water, C_s is de verzadigingswaarde bij de heersende temperatuur en druk, K is de diffusie of reaeratiecoëfficiënt, P is de fotosynthetische of brutoproductie, R is de respiratie, (P - R) is de nettoproductie. Gedurende de nacht is $P=0$ en dan reduceert de vergelijking tot:

$$dC/dt = K(C_s - C) - R \dots \dots \dots (2)$$

Odum (1956) gaf een techniek om de reaeratiecoëfficiënt K te bepalen vooropgesteld dat deze K en de respiratie constant waren. Deze methode was gebaseerd op de bepaling van de helling van de zuurstofkromme vlak na zonsondergang en voor zonsopkomst. Vooral indien continue metingen zoals in dit onderzoek voorhanden zijn, is deze methode goed toepasbaar. Een nadeel is echter dat de bepaling gebaseerd is op slechts twee punten in de zuurstofkromme. Dit maakt de methode gevoelig voor meetfouten. Hornberger & Kelly (1975) hebben een techniek beschreven waarbij alle waarnemingen gedurende de nacht gebruikt worden. Met een kleinste-kwadratenmethode wordt vergelijking (2) gefit op de waarnemingen en worden de beste waarden van K en R gevonden. In principe werkt deze methode goed, behalve als er weinig variatie in de zuurstofconcentratie optreedt. Een nadeel is bovendien dat er grote fouten gemaakt kunnen worden als de veronderstellingen niet kloppen. Indien bijvoorbeeld de respiratie gedurende de nacht afneemt levert deze methode van berekenen een hogere diffusiecoëfficiënt op. Bovendien is de berekening van de respiratie gekoppeld aan de berekening van de diffusiecoëfficiënt. Bij de metingen in Demmerik is er dan ook nog het nadeel van de menging gedurende de nacht. Alleen bij een homogene waterkolom kan een redelijke schatting van diffusie en respiratie gemaakt worden. Bovendien kunnen alleen betrouwbare resultaten verkregen worden bij een aanzienlijke afname van de zuurstofconcentratie gedurende de nacht. Voor de Zuidsloot zijn de berekeningen uitgevoerd met een variabele nachtperiode. Omdat de waterkolom niet geheel homogeen was, is een iets gewijzigde formule gebruikt. Het nadeel van vergelijking (2) was bovendien dat de diffusie berekend wordt op basis van de gehele waterkolom. De gevonden diffusiecoëfficiënt is dan alleen geldig voor die bepaalde waterdiepte en vergelijking met waarden uit

de literatuur is dan moeilijk. De volgende vergelijking werd gebruikt:

$$dC_k/dt = K_l(C_s - C) - R \dots\dots\dots(3)$$

Hierbij is C_k de over de diepte geïntegreerde zuurstofinhoud, C_s is de verzadigingsconcentratie bij de temperatuur van het oppervlak en C is de zuurstofconcentratie bij het oppervlak. K_l is dan de diffusiecoëfficiënt voor de berekening van de diffusie per oppervlakteenheid per tijdseenheid. De respiratie die op deze manier berekend wordt is de respiratie van de gehele waterkolom.

In zeer veel gevallen was het resultaat (tabel 2) sterk afhankelijk van de periode waarover de berekening werd uitgevoerd. Indien de veronderstellingen, die aan deze methode ten grondslag liggen, juist zijn, zou het geen verschil mogen maken. De verschillen bleken echter groter te zijn dan aangenomen mag worden op grond van onnauwkeurigheden in de waarnemingen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor alle meetperioden met verschillende nachtintervallen. Er kunnen drie oorzaken zijn waarom een bepaalde waarneming onbetrouwbaar is. Ten eerste kan het gekozen nachtinterval te lang zijn voor de tijd van het jaar. Er is dan nog produktie en dan geldt vergelijking (3) uiteraard niet. Als grens is de z.g. burgerlijke schemering aangenomen. Ten tweede kan de waterkolom gestratificeerd zijn bij het begin van het interval en dan kan de berekening van de zuurstofinhoud van de kolom onjuist zijn. Ten derde kan de verandering in zuurstofconcentratie aan het oppervlak te klein zijn voor een betrouwbaar resultaat. Als minimale zuurstofverandering is 3 ppm aangehouden. Uiteindelijk voldeed slechts een zeer klein aantal van de bepalingen aan alle voorwaarden voldaan werd. Deze waarnemingen zijn onderstreept in de tabel.

Zelfs indien alleen die waarnemingen worden beschouwd, zijn de gevonden diffusiecoëfficiënten zeer variabel en zelfs negatief hetgeen theoretisch onmogelijk is. De veronderstelling dat de respiratie constant was gedurende de nacht is niet juist. Ten eerste blijkt de ademhaling van hogere waterplanten afhankelijk te zijn van de zuurstofconcentratie (Owens & Maris 1964). Bovendien mag aangenomen worden, dat de respiratie afhankelijk is van de temperatuur. Beide effecten zouden een verlaging van de respiratie in de loop van de nacht moeten geven. Een negatieve diffusiecoëfficiënt duidt echter op een toename van het zuurstofverbruik in de nacht. Dit kan dus niet verklaard worden met de verandering van de respiratie. Er zijn blijkbaar nog andere storingen die maken dat het gebruikte rekenmodel onmogelijke resultaten geeft. Horizontale transporten (stroming) zouden eveneens aanleiding kunnen geven tot afwijkingen van het model (Kemp & Boynton 1980). Echter bij de berekening voor de enclosures waren de resultaten eveneens onbetrouwbaar. Stroming in de sloot kan dus niet de enige verklaring zijn voor de gevonden afwijkingen van het verwachte patroon. Omdat de diffusiecoëfficiënten niet betrouwbaar te bepalen waren, is de berekening van de voor diffusie gecorrigeerde processen uitgevoerd met uit de literatuur overgenomen diffusiecoëfficiënten. Als waarschijnlijkste diffusiecoëfficiënt is de waarde van 0,03 m/h (Goulder 1970) genomen. Uit de resultaten van Marshall (1981) blijkt dat waarden tussen 0,01 en 0,1 m/h reeel zijn voor watertypen vergelijkbaar met onze sloten. De berekeningen zijn

TABEL 2

Diffusiecoëfficiënten in m/h berekend voor verschillende nachtperiodes
 Onderstreepte waarden voldoen aan alle randvoorwaarden
 Diffusion coefficients in m/h calculated for different night periods.
 Underlined values meet all prerequisites

DATUM		NACHTPERIODE			
		22-2	21-3	20-4	19-5
1 - 3 MAART	1982	.243	.111	.120	.084
5 - 6 APRIL	1982	-.023	<u>.001</u>	<u>.009</u>	-.013
10 - 11 MEI	1982	.101	<u>.074</u>	<u>.040</u>	-.026
8 - 9 JUNI	1982	<u>.110</u>	<u>.067</u>	.014	-.011
5 - 6 JULI	1982	<u>.013</u>	-.000	-.027	-.028
30 - 31 AUGUSTUS	1982	<u>.054</u>	.047	<u>.042</u>	.047
9 - 10 NOVEMBER	1982	.139	.069	<u>.075</u>	.018
14 - 15 DECEMBER	1982	.570	.398	.240	.189
19 - 20 JANUARI	1983	.340	.013	.085	.017
16 - 17 FEBRUARI	1983	-.210	-.123	-.115	-.058
16 - 17 MAART	1983	.062	.062	.035	.025
13 - 14 APRIL	1983	.056	.044	.046	.016
10 - 11 MEI	1983	.079	<u>.044</u>	.052	.051
8 - 9 JUNI	1983	.051	<u>.039</u>	.009	.003
6 - 7 JULI	1983	.081	.106	.010	.001
17 - 18 AUGUSTUS	1983	.043	<u>.023</u>	.005	-.008
14 - 15 SEPTEMBER	1983	.347	-.041	-.019	.012
12 - 13 OKTOBER	1983	.112	-.007	.006	-.010
9 - 10 NOVEMBER	1983	.361	.137	.075	.086
14 - 15 DECEMBER	1983	.173	.059	.002	.023
17 - 18 JANUARI	1984	.746	.294	.173	.046
22 - 23 FEBRUARI	1984	-.001	.018	.041	.032
28 - 29 MAART	1984	.031	.021	.028	.059
2 - 3 MEI	1984	.012	-.043	-.151	-.056
29 - 30 MEI	1984	.352	.155	.041	-.050
27 - 28 JUNI	1984	-.029	-.012	.014	.010
8 - 9 AUGUSTUS	1984	<u>-.029</u>	-.013	-.022	-.030

uitgevoerd met drie diffusiecoëfficiënt (0,01, 0,03, en 0,1 m/h). Daarnaast geeft de stratificatie, zoals al eerder genoemd, problemen bij de berekening van de zuurstofinhoud van de waterkolom. Ten einde een indruk te krijgen van de variatie die dit oplevert zijn de produkties berekend op basis van de waarden aan het oppervlak en op basis van het gemiddelde van bodem en oppervlak. Daar waar grote verschillen gevonden worden is het resultaat onbetrouwbaar. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in de figuren 6 t/m 9. Voor elk der meetpunten is achtereenvolgens weergegeven voor elk

waarnemingsinterval van 24 uur de in situ verandering (verschil in zuurstofinhoud tussen begin en eind van het waarnemingsinterval), diffusie, respiratie, nettoproductie, brutoproductie. Daarnaast is nog de fotosynthese-efficiëntie bepaald als quotient van brutoproductie en totaal ingestraald licht.

De in situ verandering blijkt in het algemeen klein te zijn. In 1982 lijkt in de Zuidslot vaak een afname in 24 uur op te treden, maar dit berust op het feit dat niet volledig 24 uur gemeten kon worden door technische problemen. Daarom ontbreekt een stuk van de dagperiode en daarmee een stuk produktie.

Diffusie

Overduidelijk is de belangrijke bijdrage van de diffusie aan het zuurstofregime. Deze overtreft de in situ verandering aanzienlijk en is volkomen afhankelijk van de gekozen diffusiecoëfficiënt. Dit betekent dat de berekening van de nettoproductie uitermate onzeker is. Het is dan ook weinig zinvol uit de nettoproducties schattingen te maken van veranderingen in de biomassa van de vegetatie. Ondanks de grote onzekerheden lijkt de nettoproductie in het open water van de beide sloten meestal negatief te zijn. Bij de Noordslot zou dit verklaard kunnen worden door aan te nemen dat de zuurstofproductie in de drijfbladeren grotendeels wordt afgegeven aan de atmosfeer. De respiratie zou daarentegen juist de zuurstof uit het water kunnen gebruiken. Deze verklaring geldt niet voor de Zuidslot. Een andere mogelijkheid zou zijn de afbraak van organisch materiaal dat in de sloten is opgeslagen (b.v. de bodem) of dat wordt aangevoerd. Indien het aangevoerd organisch materiaal zou zijn dan zou de nettoproductie in de enclosures niet negatief moeten zijn, hetgeen inderdaad het geval is. Het verschil tussen de sloten en de enclosures blijkt eigenlijk ook al uit de diffusies. De sloten zijn in het algemeen onderverzadigd en er treedt een positieve diffusie op. Bij de enclosures daarentegen is de diffusie meestal negatief. Dit lijkt te duiden op een permanente toevoer van afbreekbaar organisch materiaal in de slot, die niet optreedt in de enclosures.

Respiratie

De respiratie van het systeem is bepaald uit de afname tussen 22.00 en 2.00 uur gecorrigeerd voor de diffusie. In zeer veel gevallen is het verloop van de kromme dan zodanig dat inderdaad redelijkerwijs kan worden aangenomen dat het zuurstofconsumptie betreft. Uit de resultaten blijkt dat de onzekerheid ten gevolge van de stratificatie in het algemeen erg meevalt. In ieder geval is de onzekerheid ten gevolge van de diffusie veel groter zodat een nadere analyse van de resultaten nauwelijks zinvol is. Daarom hoeft niet te zwaar getild te worden aan de negatieve respiraties zoals die bij bepaalde diffusiecoëfficiënten gevonden worden. Meestal valt een kleine positieve respiratie binnen de onzekerheidsgrenzen van de berekeningen. De enige uitzondering hierop vormen de negatieve respiraties in de enclosures in december 1983 en februari 1984. Toen waren de sloten echter met ijs bedekt en was de gradient waarschijnlijk zeer steil

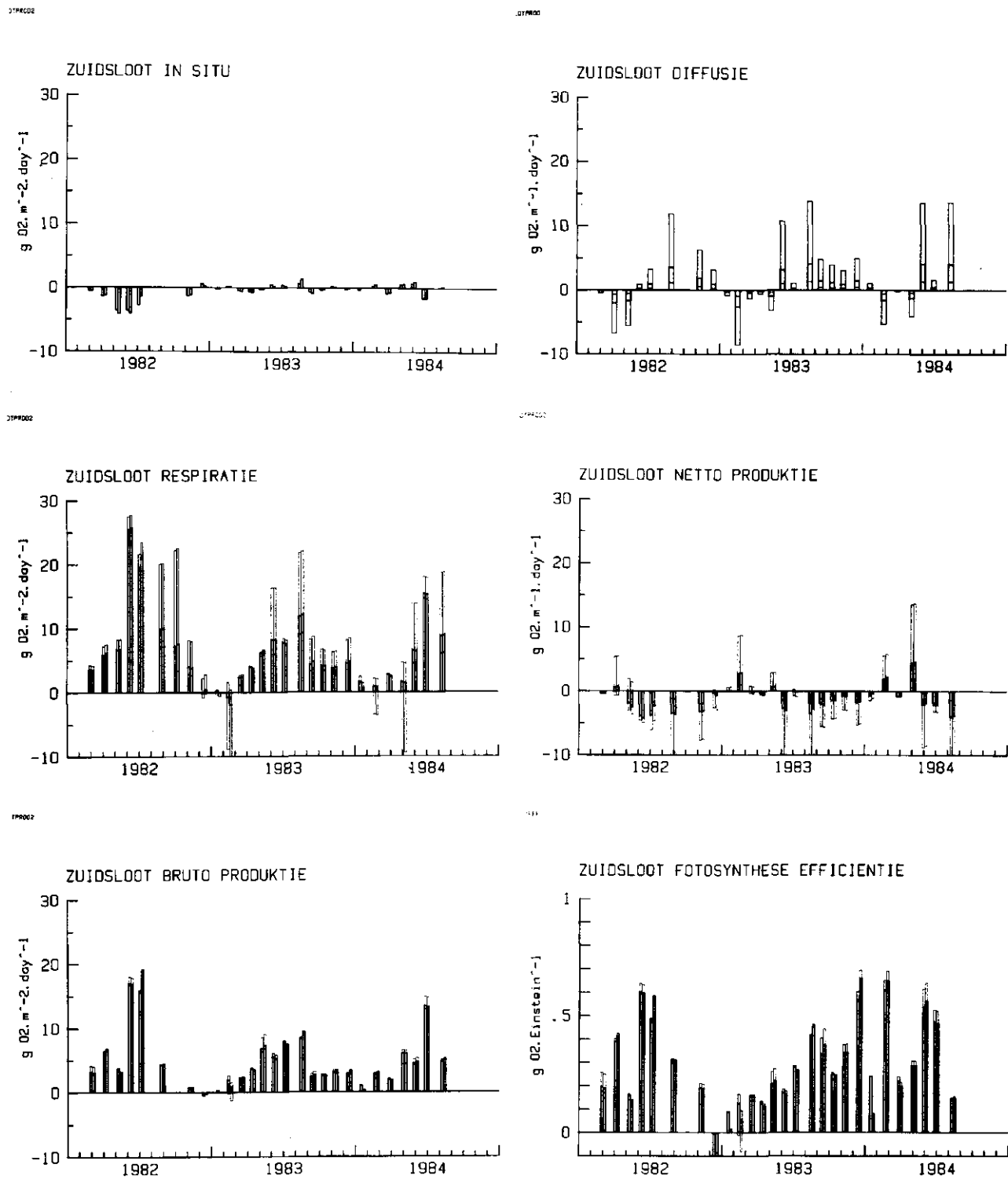
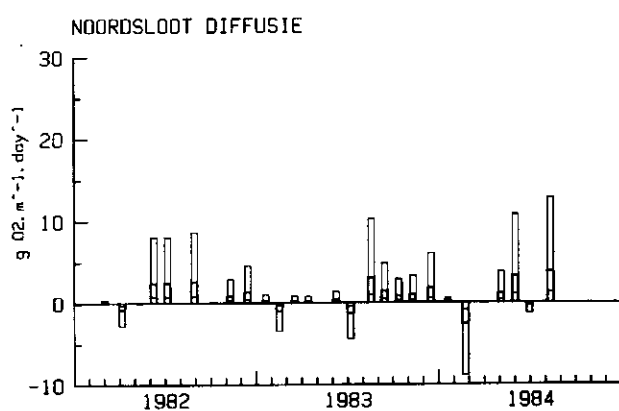
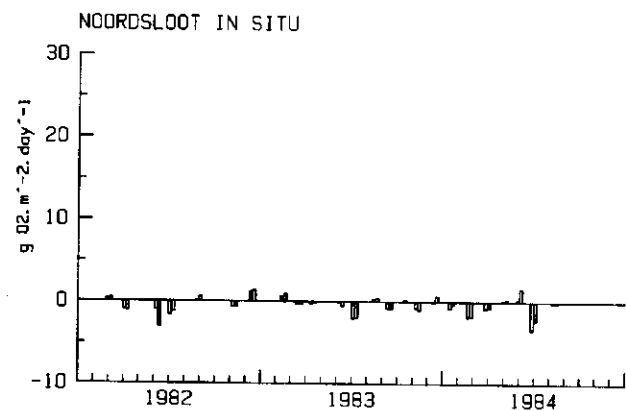


Fig. 6: Deelprocessen van het zuurstofbudget berekend met drie diffusiecoëfficiënten. Voor verklaring zie tekst.
 Constituting processes of the oxygen budget calculated with three diffusion coefficients.

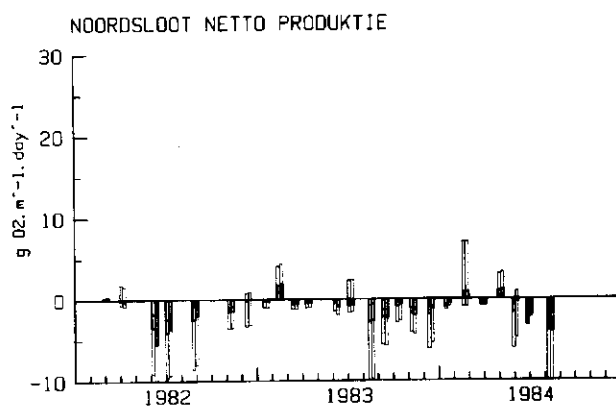
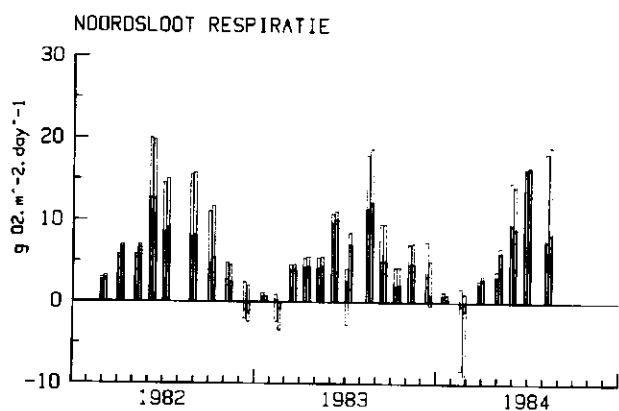
L07P002

PLOTWIS



L07P003

PLOTWIS



L07P002

L07P002

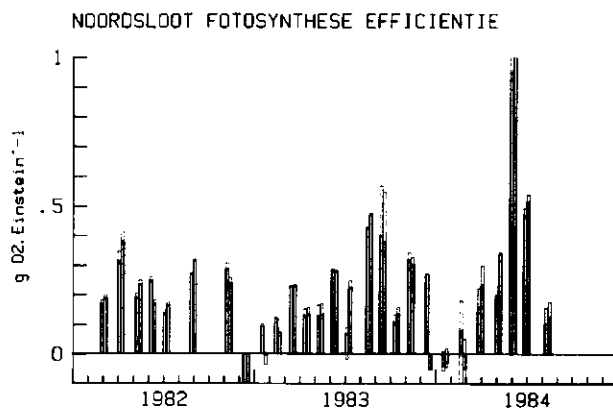
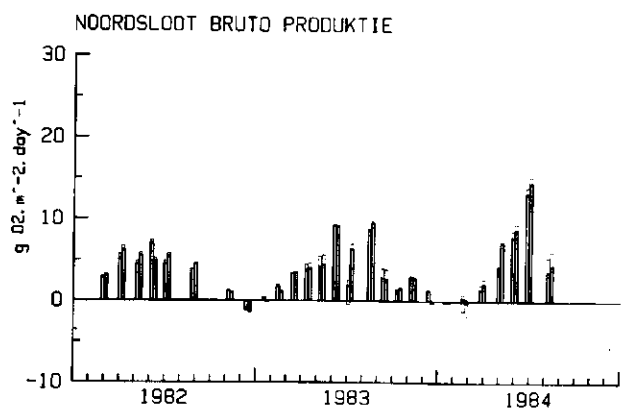


Fig. 7: Deelprocessen van het zuurstofbudget berekend met drie diffusiecoëfficiënten. Voor verklaring zie tekst.
 Constituting processes of the oxygen budget calculated with three diffusion coefficients.

01P002

01P002

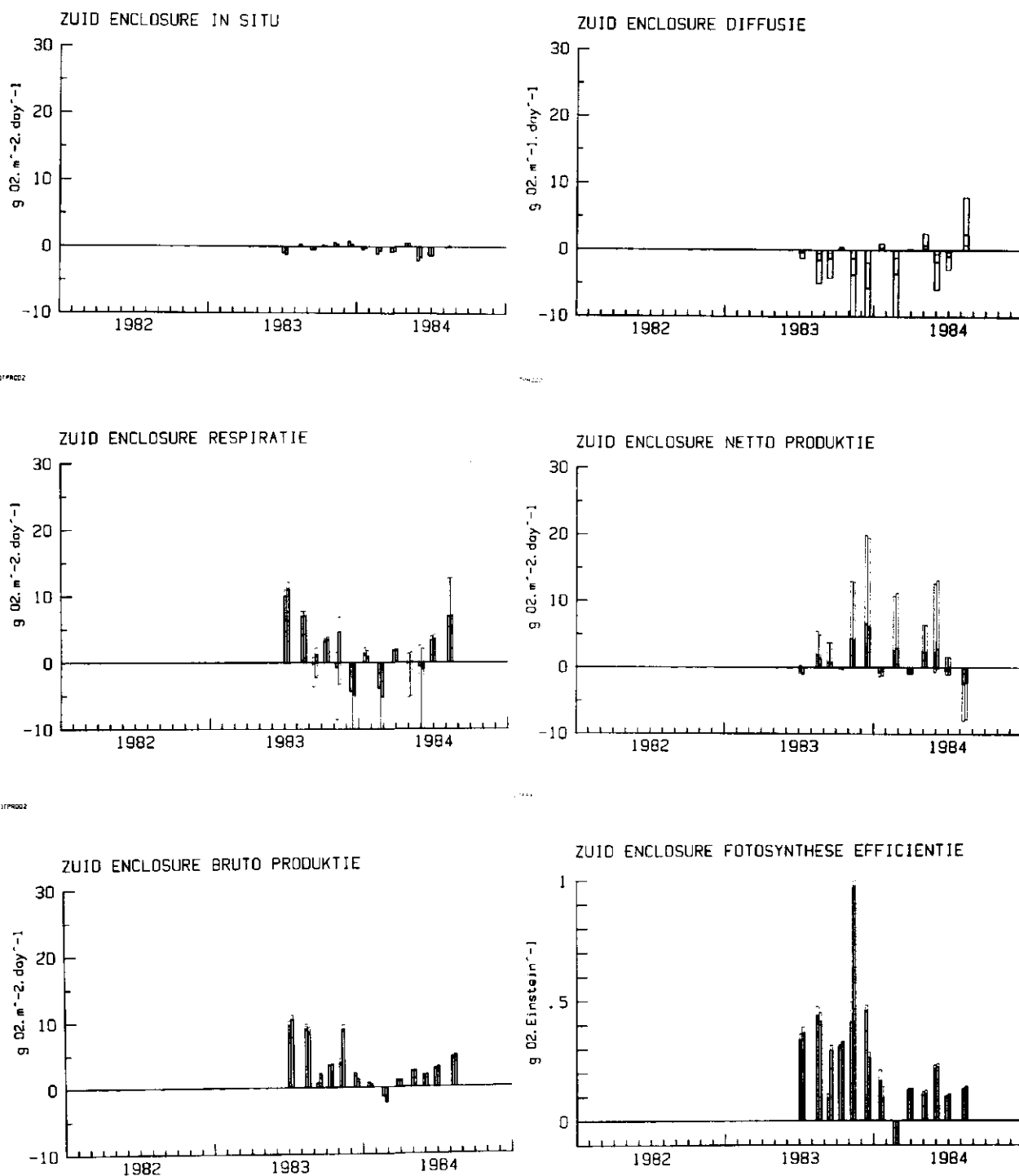


Fig. 8: Deelprocessen van het zuurstofbudget berekend met drie diffusiecoëfficiënten. Voor verklaring zie tekst.
 Constituting processes of the oxygen budget calculated with three diffusion coefficients.

11/10/82

11/10/82

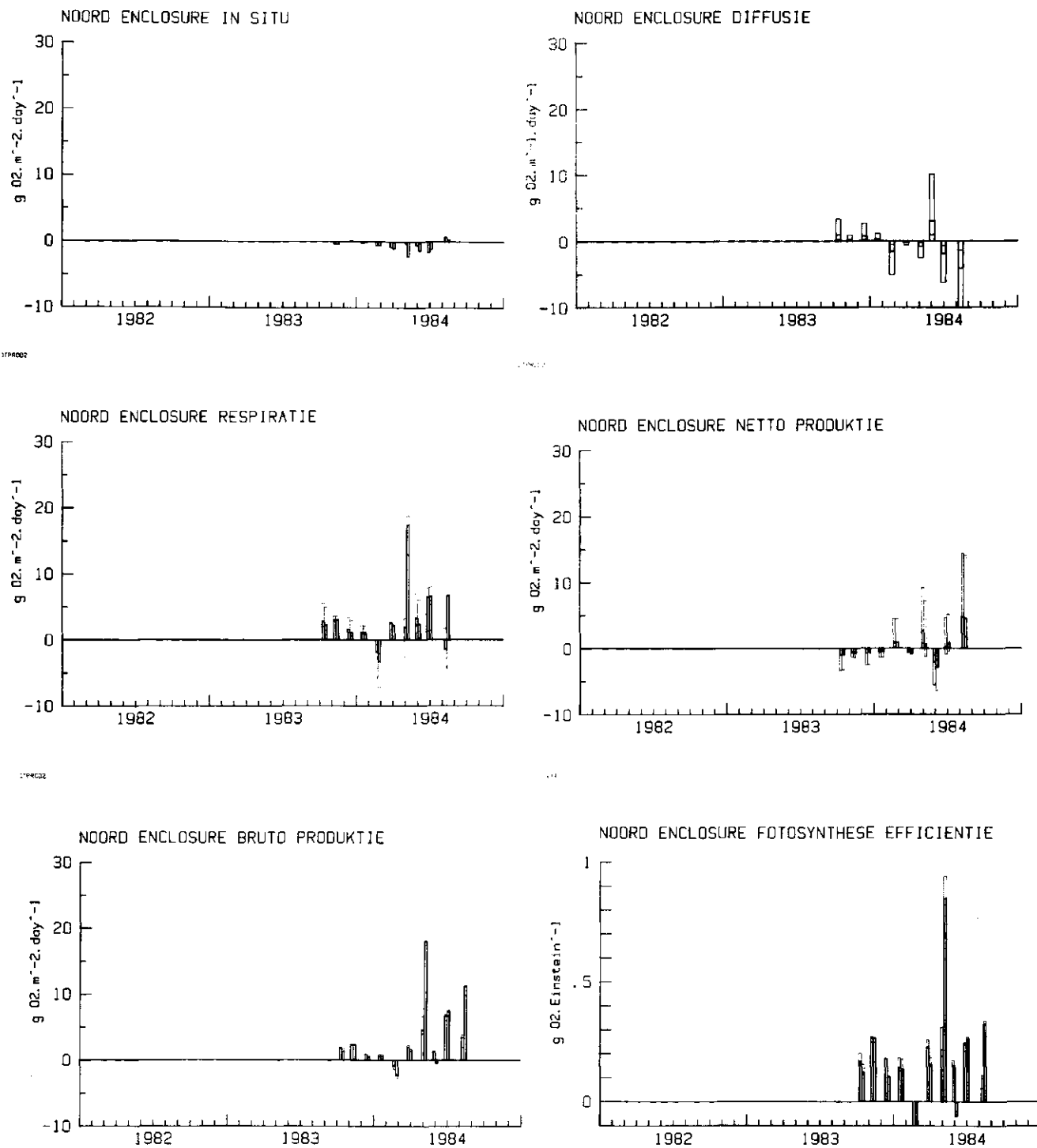


Fig. 9: Deelprocessen van het zuurstofbudget berekend met drie diffusiecoëfficiënten. Voor verklaring zie tekst.
 Constituting processes of the oxygen budget calculated with three diffusion coefficients.

vlak onder het ijs. In deze gevallen is het oppervlak niet meer representatief voor de gehele waterkolom, maar de bodem. Uitgaande van de veranderingen bij de bodem en een lage diffusieconstante wordt wel een positieve respiratie gevonden.

Brutoproduktie

De brutoproduktieberekening is veel minder afhankelijk van de diffusie dan de andere deelprocessen. Blijkbaar compenseert de onzekerheid in de berekening van de respiratie ongeveer die in de berekening van de nettoproduktie. Ook blijkt op een enkele uitzondering na de stratificatie nauwelijks van invloed te zijn op de berekening. Deze gelukkige omstandigheden maken het mogelijk om de brutoprodukties nader te bekijken.

De brutoprodukties van de vier meetplaatsen blijken weinig te verschillen. Alleen in 1982 is de bruto produktie van de Zuidslot duidelijk hoger dan die van de Noordslot. Dit verschil verdwijnt echter in de latere jaren, hetgeen waarschijnlijk samenhangt met de gelijktijdige achteruitgang van de draadwieren in de Zuidslot.

De brutoproduktie is de bij fotosynthese ontwikkelde zuurstof. De produktiviteit zal dus sterk afhankelijk zijn van de ingestraalde hoeveelheid licht. Het verwachte verband trad inderdaad op (fig. 10), maar de spreiding is erg groot. Dit is op zichzelf niet zo verwonderlijk, omdat de produkties van totaal verschillende vegetaties in totaal verschillende ontwikkelingsstadia in de seizoenen vergeleken zijn. De invloed van het licht kan, indien we aannemen dat het licht beperkend is, weggewerkt worden door te kijken naar de produktie--efficiëntie (quotient van brutoproduktie en instraling). Het blijkt dan (fig. 11) dat het licht voor een belangrijk deel verantwoordelijk was voor de seizoenvariatie van de brutoproduktie. Een lage temperatuur en weinig ontwikkelde vegetatie geven in ieder geval niet altijd een lage produktie-efficiëntie, zoals blijkt uit de zeer hoge waarden in de Zuidslot bij ijsbedekking (december 1983 en februari 1984). In deze gevallen betreft het waarschijnlijk een bloei van algen, waarvan bekend is dat deze bij ijsbedekking kan optreden. Het is dus niet goed mogelijk om vanuit de brutoprodukties, rekening houdend met licht en eventueel temperatuur, een indruk te krijgen van de ontwikkeling van de hogere vegetatie.

Biomassa en metabolisme

In de enclosures zijn enkele malen bepalingen gedaan van debiomassa van de vegetatie (Van der Linden pers. mededeling). Ook deze gegevens laten zien dat er geen duidelijk verband is tussen produktie of respiratie en biomassa (fig. 12,13). Uiteraard zijn er naast de macrofyten ook andere compartimenten van het systeem die bijdragen aan het zuurstofbudget. De belangrijkste hiervan zijn het water (fytoplankton) en de bodem. De zuurstofproduktie van de bodem zal bij een ontwikkelde vegetatie nauwelijks een rol spelen, omdat het licht er dan niet doordringt. Daarentegen zal het zuurstofverbruik van de bodem wel altijd van belang zijn. Te Marvelde (1981) vond in vergelijkbare sloten waarden tussen 0,3 en 2 gO₂/m²/dag, met de meeste

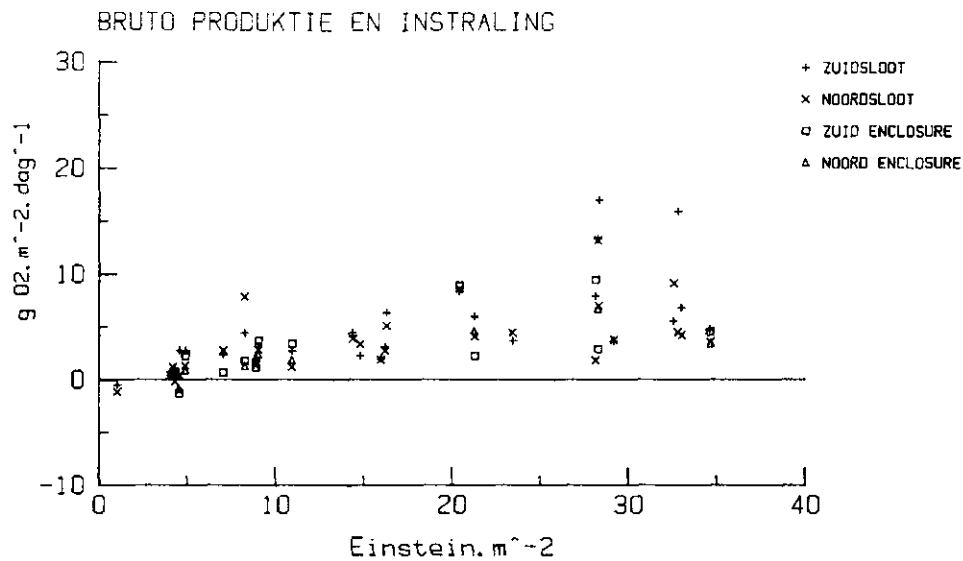


Fig. 10: Instraling en brutoproductie berekend met de meest waarschijnlijke diffusiecoëfficiënt van 0.03 m/h. Irradiation and gross production calculated with the most probable diffusion coefficient of 0.03 m/h.

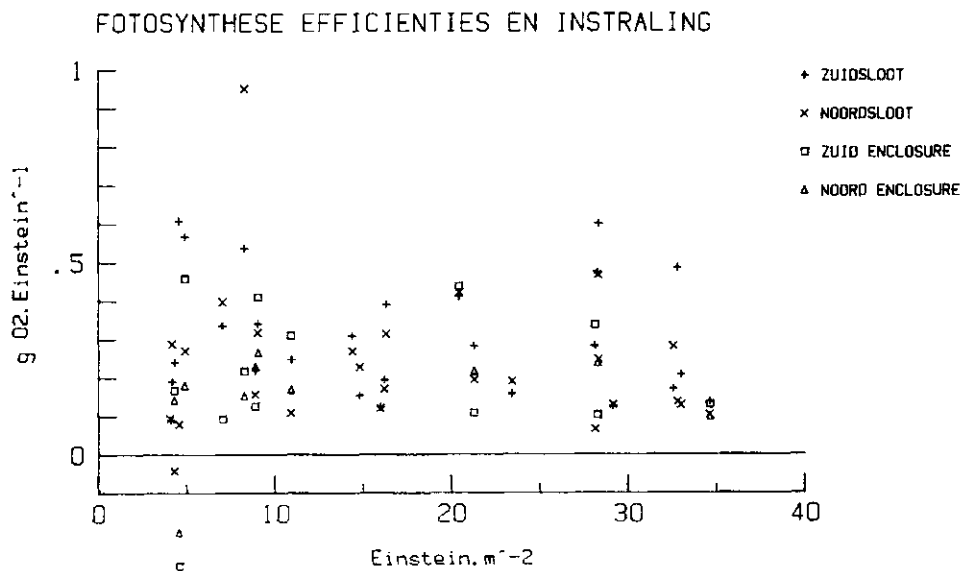


Fig. 11: Instraling en fotosynthese efficiëntie berekend met de meest waarschijnlijke diffusiecoëfficiënt van 0.03 m/h. Irradiation and photosynthetic efficiency calculated with the most probable diffusion coefficient of 0.03 m/h.

BRUTO PRODUCTIE EN BIOMASSA

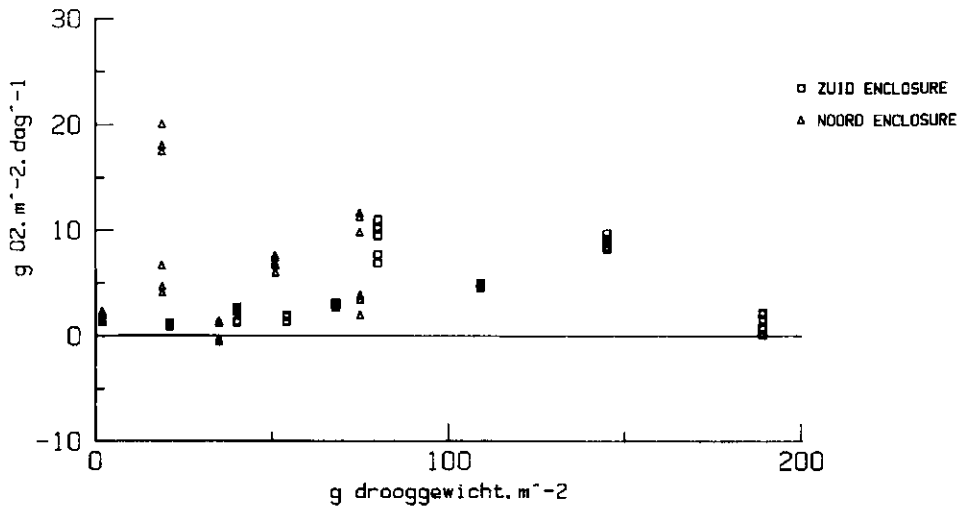


Fig. 12: Relatie tussen biomassa en brutoproduktie. Berekening uitgevoerd met drie diffusiecoëfficiënten en twee veronderstellingen over de stratificatie.
Relation between biomass and gross production calculated with three diffusion coefficients and two assumptions about the stratification.

RESPIRATIE EN BIOMASSA

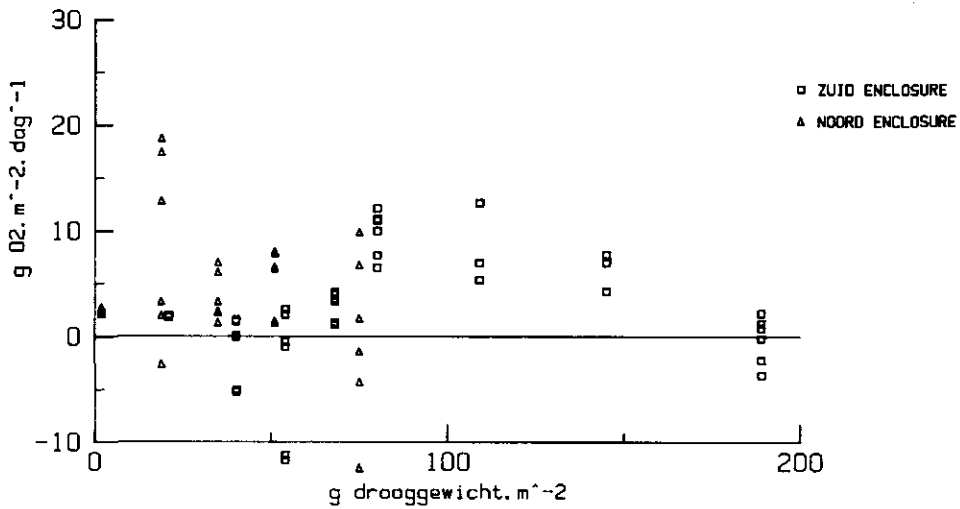


Fig. 13: Relatie tussen biomassa en respiratie. Berekening uitgevoerd met drie diffusiecoëfficiënten en twee veronderstellingen over de stratificatie.
Relation between biomass and respiration calculated with three diffusion coefficients and two assumptions about the stratification.

FOTOSYNTHESE EFFICIENTIE EN BIOMASSA

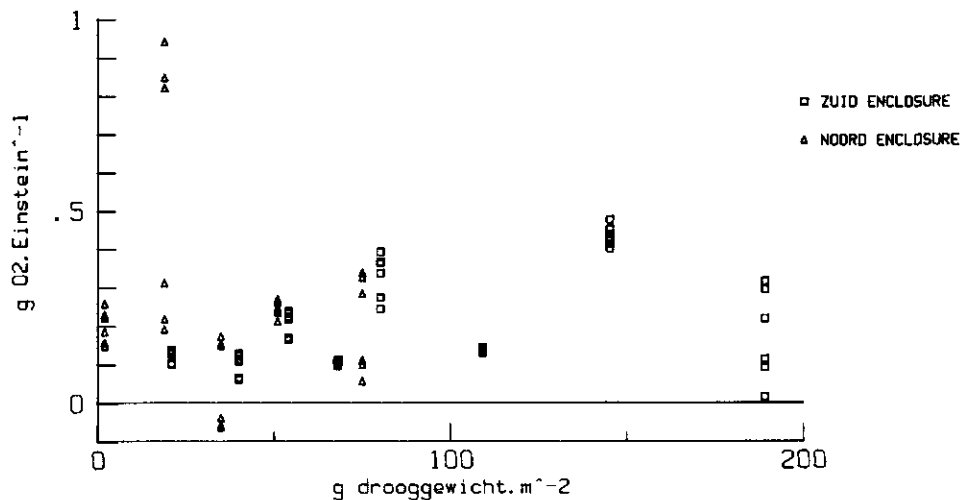


Fig. 14: Relatie tussen biomassa en fotosynthese efficiëntie. Berekening uitgevoerd met drie diffusiecoëfficiënten en twee veronderstellingen over de stratificatie.
Relation between biomass and photosynthetic efficiency calculated with three diffusion coefficients and two assumptions about the stratification.

waarden beneden $1 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{dag}$. Deze waarden zijn redelijk laag vergeleken met de processen berekend voor de gehele waterkolom en kunnen dus niet de oorzaak kan zijn van het ontbreken van een duidelijk verband tussen biomassa en de processen. Daarentegen is de grote onzekerheid in de berekening van de processen, vooral die van de respiratie, het grote struikelblok voor het trekken van conclusies. Bij de brutoproduktie is er vaak nog wel een redelijke betrouwbaarheid en er is enigszins een verband tussen produktie en biomassa. Alleen de produktie bij de hoogste biomassa is veel lager dan op grond van de biomassa verwacht zou mogen worden. Het is mogelijk dat de vegetatie op dat moment niet meer vitaal was. Het verband is wel geflatteerd, omdat de lage biomassa's gevonden werden in het voorjaar toen ook de lichtintensiteit nog laag was. Een betere maat is dan ook de fotosynthese-efficiëntie (fig. 14). Nu blijkt het verband inderdaad slechter te worden, vooral bij de lage biomassa's in de Noord-Enclosure. Dit kan verklaard worden door het feit dat de produktie door fytoplankton en de bodem een wezenlijke bijdrage vormde in het zuurstofbudget.

DISCUSSIE

De zuurstofmetingen in de sloten en de enclosures geven een beeld van een zeer dynamisch gebeuren. De ranges lopen van vrijwel zuurstofloos tot 250% verzadiging. Deze enorme variatie is karakteristiek voor dit watertype en is in binnen- en buitenland reeds zo gemeten (Veeningen 1982, 1985, Caspers & Heckman 1981, Edwards et al. 1978, Marshall 1981). Deze laatste vond evenals wij een duidelijke verlaging van de zuurstofconcentraties in de nazomer. Zijn sloten waren echter in het voorjaar en ook in de zomer veel sterker oververzadigd dan de sloten in dit onderzoek. Caspers & Heckman (1981) vonden een enigszins ander seizoenbeeld, met in de winter duidelijk lagere waarden dan in de overige seizoenen. Vooral bij ijsbedekking vonden zij extreem lage zuurstof concentraties. Het vergelijken van de verschillende onderzoeken moet met de nodige voorzichtigheid gebeuren. De enorme dynamiek, vooral gestuurd door het licht, maakt de resultaten sterk afhankelijk van het weer van de meetdag en mogelijk de dagen ervoor.

Geheel buiten beschouwing gelaten is de ruimtelijke variatie zoals door o.a. Veeningen (1982) is gevonden. Onze metingen zijn op vaste punten verricht, hetgeen nodig was om de gewenste meetintensiteit te realiseren. Dit betekent dat alle uitspraken slechts betrekking kunnen hebben op de vaste meetpunten en dat deel van de sloot waarvoor deze meetpunten representatief waren. Incidenteel zijn waarnemingen gedaan op enige afstand van de vaste meetpalen en deze gaven vergelijkbare resultaten. Het lijkt er dus op dat de meetpunten representatief waren voor stukken sloot van enkele tientallen meters. Op veel kleinere schaal zullen er zeker gradienten optreden. Uit onze metingen blijkt dit al voor de metingen op twee verschillende diepten. In horizontale richting zullen kleinschalige gradienten door het effect van de roerders (nodig voor een juiste werking van de zuurstof-elektroden) tenietgedaan worden.

Zoals gezegd is het weer in grote mate bepalend voor de gevonden zuurstofconcentraties. Dit maakt het gebruik van de zuurstofconcentraties op zichzelf ongeschikt voor de beoordeling van de toestand van het water. Dit oordeel is te afhankelijk van externe omstandigheden, waarvan de invloed niet zonder meer in de beoordeling verdisconteerd kan worden. Veel zinvoller informatie kan daarom verkregen worden door het meten van de processen die ten grondslag liggen aan de veranderingen. Door het ontrafelen van de invloed van sturende factoren (zoals licht en temperatuur) kunnen voorspellingen gedaan worden over mogelijk optredende zuurstofconcentraties aan de hand van weergegevens. Ons project van 24-uurs-metingen was juist hiertoe opgezet.

Het grote probleem bij de analyse van onze gegevens bleek de bepaling van de diffusie te zijn. De sunset/sunrise methode van Odum (1956) gemodificeerd door o.a. Hornberger & Kelly (1975) bleken bij de metingen in Demmerik geen betrouwbare resultaten op te leveren. Deze problemen blijken in de literatuur ook regelmatig vermeld te worden. Kemp & Boynton (1980) vonden dat in estuaria horizontaal transport in belangrijke mate bijdraagt aan het zuurstofbudget. In die situatie kan de methode van Odum (1956) niet zonder meer worden toegepast. Volgens Melack & Fisher (1983) speelde naast horizontaal transport ook verticale turbulente menging een complicerende rol bij de analyse van de zuurstofhuishouding van hun kleine meren. Zij hadden daar echter te maken met een anaeroob hypolimnion hetgeen de rol van turbulente menging verklaarbaar maakt. Bovendien waren er in de meren en vooral de estuaria grote stroomsnelheden en sterke grootschalige gradienten. In de sloten traden dergelijke hoge stroomsnelheden niet op. Verticale turbulentie kan mogelijk wel een rol gespeeld hebben. De diffusie wordt in dit rapport bepaald aan de hand van de afname van de zuurstofinhoud van de waterkolom gedurende de nacht. Een steeds dalende verzadigingsgraad gedurende die periode zou het transport van zuurstof naar het water doen toenemen en daarmee een verlaging geven van de afnamesnelheid van de zuurstofinhoud. Hierbij wordt aangenomen dat alle processen verder met een constante snelheid verlopen. In deze nachtperiode treedt er echter aan het oppervlak ook een afkoeling op, met als gevolg een verticale circulatie. De hiermee gepaard gaande turbulentie geeft mogelijk een verhoging van het zuurstofverbruik door de bodem, waarvoor het transport een belangrijke beperkende factor is. Hiermee wordt de veronderstelling dat de zuurstof verbruikende processen constant verlopen geweld aangedaan, en vervalt de mogelijkheid om de diffusie te bepalen. Gebruik van in de literatuur vermelde diffusiecoëfficiënten is niet mogelijk door de grote variatie in deze coëfficiënten en het grote aandeel van de diffusie in het zuurstofbudget. Berekeningen van de diffusiecoëfficiënten aan de hand van windsnelheden op basis van een oppervlaktefilm theorie (Peng & Broecker 1980) levert geen nauwkeuriger schattingen op. Het grote probleem bij de sloten is de overheersende rol van de diffusie. Dit hangt samen met de ongunstige, althans voor het analyseren van de zuurstofhuishouding, oppervlakte/inhoudrelatie. Vooral de respiratie en de nettoproductie blijken bepaald te worden door de keuze van de diffusiecoëfficiënt. De bruto productie blijkt hier veel minder afhankelijk te zijn. Blijkbaar compenseren de onnauwkeurigheden elkaar bij de berekening van de brutoproduktie.

Het berekeningsmodel dat wij gebruikt hebben, is alleen gebaseerd op de verandering gedurende enkele uren tijdens de nacht waardoor de fotosynthese buiten beschouwing gelaten kan worden. Er zijn ook berekeningstechnieken waarbij alle gegevens worden gebruikt. Hierbij wordt dan uitgegaan van een bepaald verband tussen fotosynthese en lichtintensiteit. De heer Kouwenhoven van de TH-Twenthe heeft deze techniek uitgetoetst met een voorbeeld van onze gegevens en het resultaat was zeer hoopvol. Er zal nu getracht worden in samenwerking met hem onze gegevens verder te verwerken. De resultaten hiervan zullen in een later rapport worden gepresenteerd.

SAMENVATTING

Van maart 1982 tot augustus 1984 zijn eens per vier tot vijf weken gedurende 24 uur continue zuurstof- en temperatuurmetingen verricht in twee poldersloten, respectievelijk gedomineerd door draadalgen en door waterlelies. De sloten waren ongeveer 6 m breed en respectievelijk 55 cm en 75 cm diep. De metingen werden verricht in het midden van de sloten op 10 cm van het oppervlak en op 10 cm van de bodem. Naast metingen in de open sloot werden ook metingen verricht in enclosures van 10 bij 5 m, die gedurende een deel van de onderzoeksperiode in de beide sloten waren opgesteld.

Het zuurstofregime in de sloten bleek zeer dynamisch, vooral in de zomer. De verschillen tussen dag en nacht konden oplopen tot meer dan 15 ppm. Alle metingen tezamen genomen was er een variatie tussen 0 en 23 ppm. De verschillen tussen de sloten tijdens een meetperiode waren klein ten opzichte van de verschillen van een meetpunt gedurende de seizoenen. Slechts in details konden verschillen tussen de sloten aangetoond worden.

Tussen de metingen aan het oppervlak en bij de bodem traden soms grote verschillen in zuurstofconcentratie op. Deze verschillen ontstonden onder invloed van de ontwikkeling van een temperatuurgradient. Dit is opvallend gezien de geringe diepte en de geëxponeerde ligging van de sloten. Het optreden van de gradienten was afhankelijk van de weersomstandigheden. Hoge instraling en hoge watertemperaturen waren hiervoor nodig. Vandaar dat de stratificatie voornamelijk in het zomerhalfjaar optrad. Onder een ijsdek kon echter ook een stratificatie optreden, echter nu met de laagste temperaturen bij het oppervlak.

In de door waterlelies gedomineerde sloot bleef de zuurstofgradient soms gehandhaafd, hoewel deze in de nacht wel minder werd. Bij de andere sloot werd de waterkolom tijdens de nachtelijke afkoeling altijd geheel homogeen. In de sloot met waterlelies trad enkele malen de situatie op dat in de nacht bij de bodem hogere zuurstofconcentraties gemeten werden dan overdag.

Vanuit de veranderingen in de zuurstofconcentratie gedurende het etmaal is getracht de onderliggende processen van fotosynthese en respiratie te bepalen. Dit bleek tot nu toe niet goed mogelijk. In de eerste plaats bleek een meting op twee diepten niet voldoende om een nauwkeurige schatting te maken van de zuurstofinhoud van de waterkolom. Alleen in de perioden zonder stratificatie zouden de berekeningen kunnen worden uitgevoerd. Naast de biologische processen speelt ook het transport van zuurstof tussen water en lucht een

belangrijke rol in de veranderingen van de zuurstofinhoud van de waterkolom. Pogingen om dit transport te bepalen leverden geen redelijke resultaten op. Gebruik van gegevens uit de literatuur gaf zo'n grote variatie in de resultaten, dat interpretatie hiervan weinig zinvol was. In samenwerking met de TU Twente zullen betere berekeningsmodellen gebruikt worden om de gegevens te verwerken. De resultaten hiervan zullen in een volgend rapport worden gepresenteerd.

SUMMARY

From March 1982 to August 1984 with intervals of four to five weeks oxygen was measured continuously during 24 hours in two polder ditches, one dominated by filamentous algae, and the other by *Nymphaea alba*. The ditches were about 6 m wide and 55 and 75 cm deep. The measurements were carried out in the middle at 10 cm from the surface and 10 cm above the bottom. In addition to the measurements in the open water of the ditches, measurements were performed in enclosures of 10 times 5 m that were placed in the ditches for part of the research period.

The oxygen regimes were very dynamic, especially during the summer. The differences between day and night could be as high as 15 ppm. All measured values gave a range from 0 to 23 ppm. The differences between the ditches during one measuring period were small compared with the differences within one ditch during the seasons. Only in detail the two ditches were different from each other.

Frequently there were remarkable differences in oxygen concentration between bottom and surface. These differences emerged under the influence of a temperature gradient. The occurrence of these gradients was peculiar taking into account the small depth and the exposed position of the ditches. The occurrence of the gradients was strongly dependent on the weather situation, high irradiation and high water temperatures being prerequisites. Consequently, the gradients were predominantly found during the summer. An exception are the gradients under an ice-cover during the inversed stratification.

In the ditch dominated by water lilies the oxygen gradient could sustain during the night, only decreasing somewhat. It sometimes led to the situation that the oxygen concentration near the bottom was higher during the night than during the day. In the ditch dominated by filamentous algae the water column always became homogeneous during the night.

From the changes in oxygen concentration during a diurnal period it was tried to quantify the underlying processes of photosynthesis and respiration. However, the measurements near the bottom and the surface were turned out to be insufficient to calculate the oxygen content of the water column accurately enough. This restricted the calculations to situations without gradient. Even then the calculations could not be made satisfactorily because oxygen transport over the air-water interface contributes to the oxygen regime, but could not be determined. It was tried to calculate the transport with a simple model but no reasonable results were obtained. Calculations using data from the literature did not give a solution, because the enormous variation in published reaeration coefficients determined the obtained result. It is now tried in cooperation with the Technical University Twente to use better models for the calculation of the processes underlying the oxygen regime. The results will be published in another report.

LITERATUUR

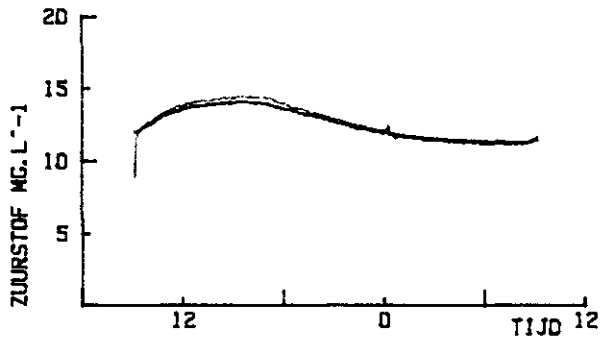
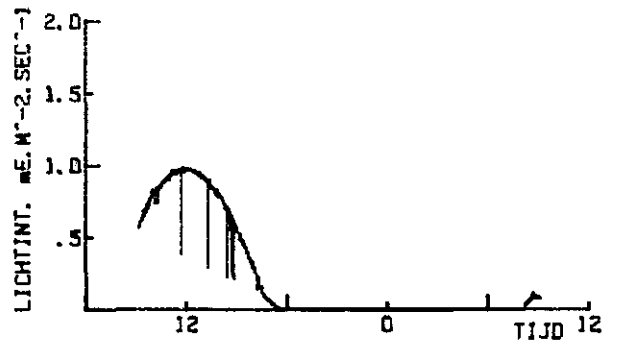
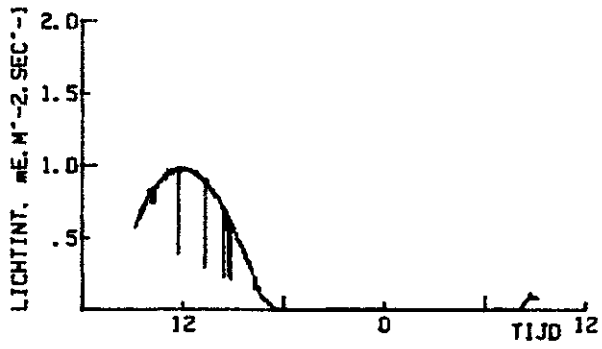
- Caspers, H. & C.W. Heckman 1981. Ecology of orchard drainage ditches along the freshwater section of the Elbe Estuary. Arch. Hydrobiol./Suppl. 43: 347-486.
- Edwards, R.W. & A.N. Duffield & E.J. Marshall 1978. Estimates of community metabolism of drainage channels from oxygen distributions. Proc. EWRS 5th Symp. on Aquatic Weeds: 295-302.
- Goulder, R. 1970. Day-time variations in the rates of production by two natural communities of submerged freshwater macrophytes. J. Ecol. 58: 521-528.
- Hornberger, G.M. & M.G. Kelly 1975. Atmospheric reaeration in a river using productivity analysis. J. Environ. Eng. Div. ASCE 101: 729-739.
- Kemp, W.M. & W.R. Boynton 1980. Influence of biological and physical processes on dissolved oxygen dynamics in an estuarine system: implications for measurement of community metabolism. Estuar. Coast. Mar. Sci. 11: 407-431.
- Kersting, K. 1978. Automatic continuous oxygen and temperature profile measurements. Verh. Internat. Verein. Limnol. 20: 1216-1220.
- Kersting, K. 1983. Bimodal diel dissolved oxygen curves and thermal stratification in polder ditches. Hydrobiologia 107: 165-168.
- Marshall, E.J.P. 1981. The ecology of a land drainage channel-I. Oxygen balance. Water Res. 15: 1075-1085.
- Marvelde, J.H.B. te 1981. Onderzoek naar de zuurstofconsumptie door het sediment in poldersloten. Limnologisch Instituut Nieuwersluis Studentenverslag 1981-13. 51 p.
- Melack, J.M. & T.R. Fisher 1983. Diel oxygen variations and their ecological implications in Amazon floodplain lakes. Arch. Hydrobiol. 98: 422-442.
- Odum, H.T. 1956. Primary production in flowing waters. Limnol. Oceanogr. 1: 102-117
- Owens, M. & P.J. Maris 1964. Some factors affecting the respiration of some aquatic plants. Hydrobiologia 23: 533-543.
- Peng, T-H. & W. Broecker 1980. Gas exchange rates for closed-basin lakes. Limnol. Oceanogr. 25: 789-796.

- Veeningen, R. 1982. Temporal and spatial variations of dissolved oxygen concentrations in some Dutch polder ditches. *Hydrobiologia* 95: 369-383.
- Veeningen, R. 1984. De zuurstofhuishouding als ecologische indicator voor de kwaliteitsbeoordeling van poldersloten. In: E.P.H. Best & J. Haeck (red.), *Ecologische indicatoren voor de kwaliteitsbeoordeling van lucht, water, bodem en ecosystemen*. PUDOC, Wageningen : 140-154.
- Veeningen, R. 1985. *Zuurstofhuishouding in poldersloten. Rapport Limnologisch Instituut Nieuwersluis in opdracht Ministerie VROM. 79 p + Bijlagen.*

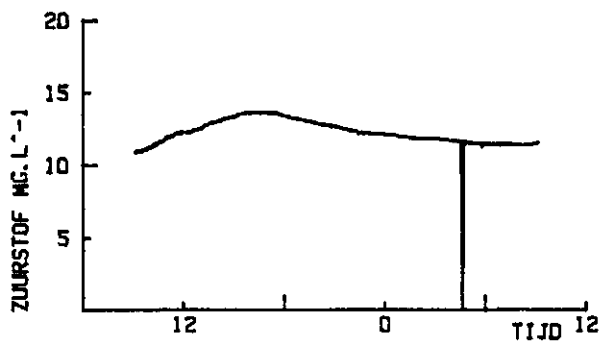
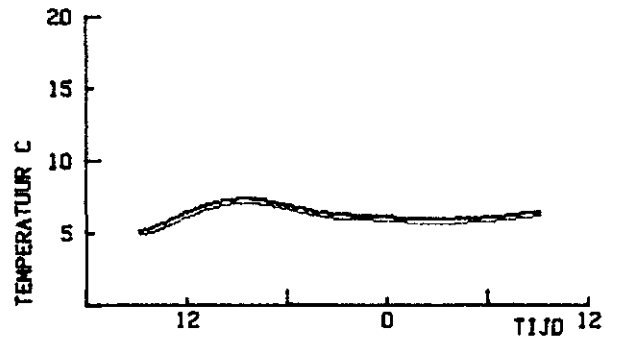
BIJLAGEN

Grafische protocollen van alle meetperioden

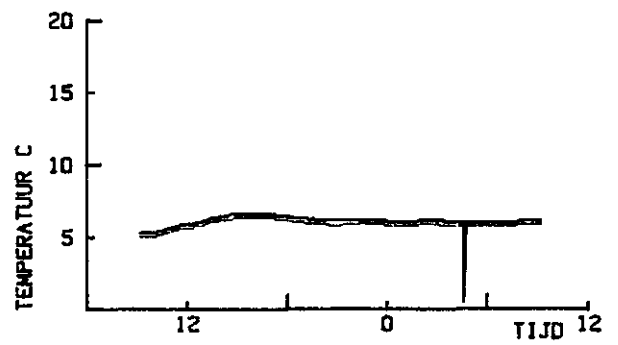
1 - 3 MAART 1982



ZUID

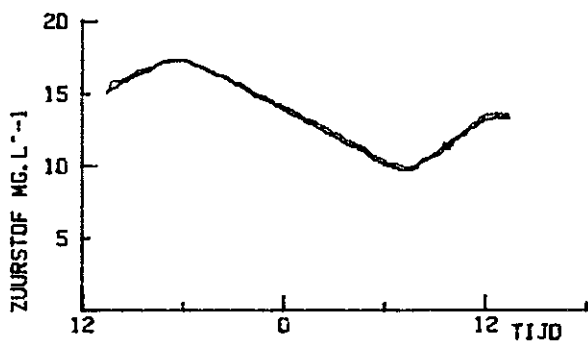
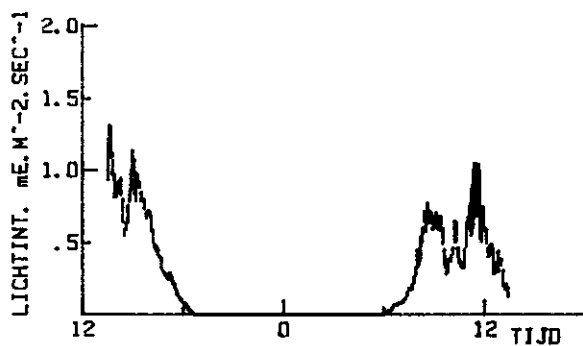
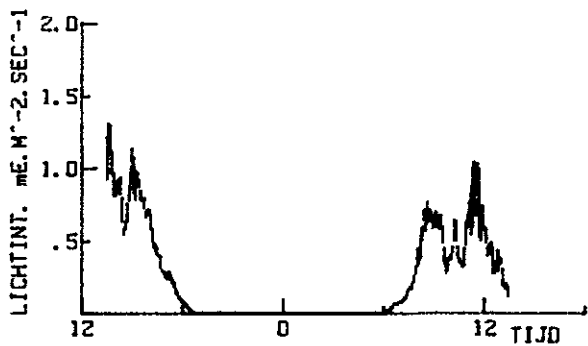


NOORD

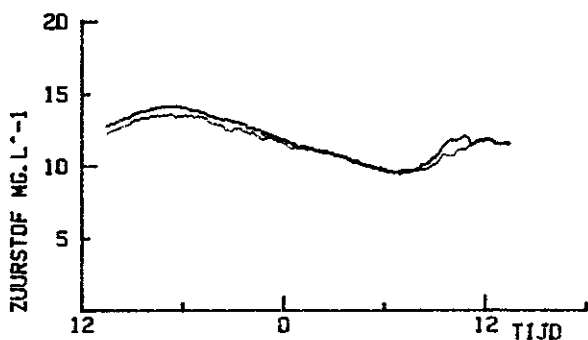
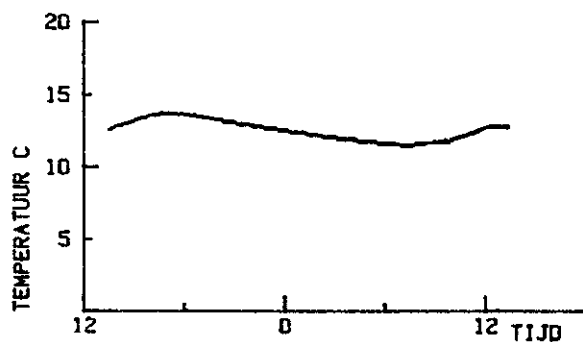


OPPERVLAK
BODEM

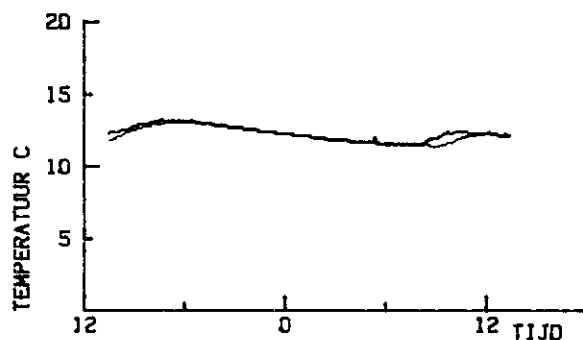
5 - 6 APRIL 1982



ZUID

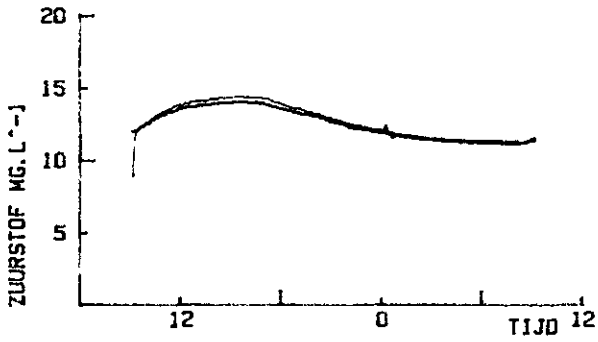
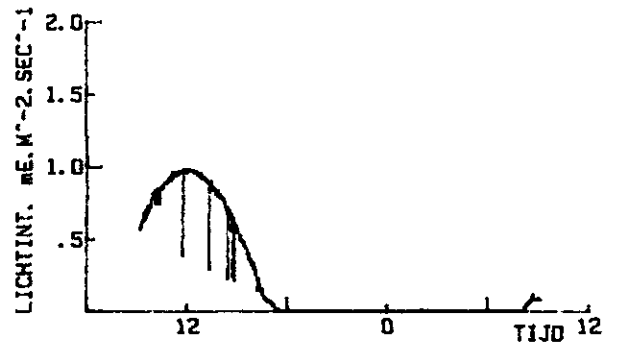
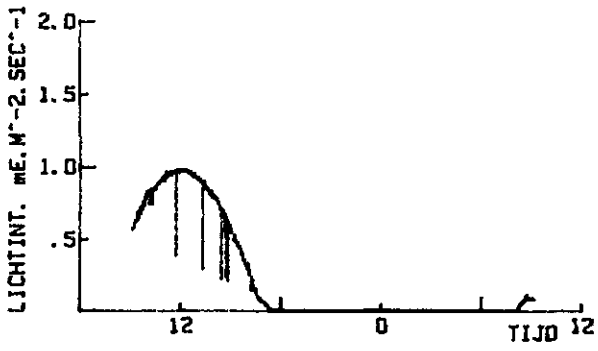


NOORD

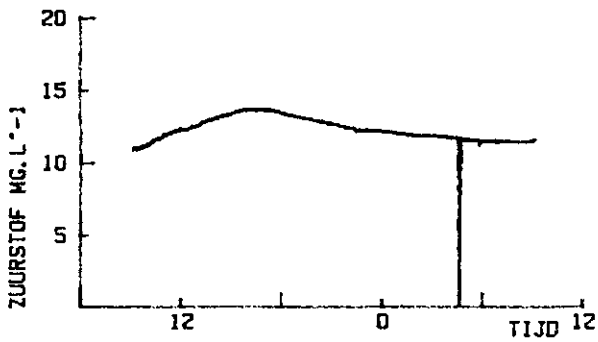
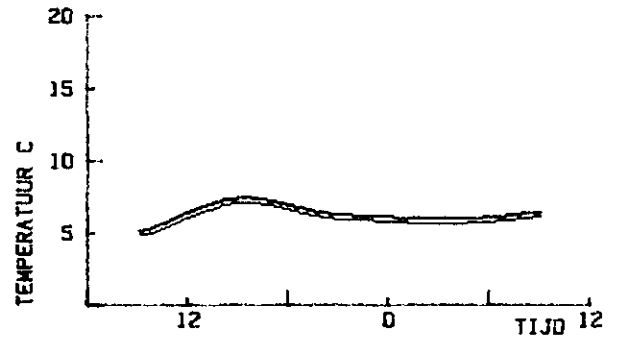


OPPERVLAK
BODEM

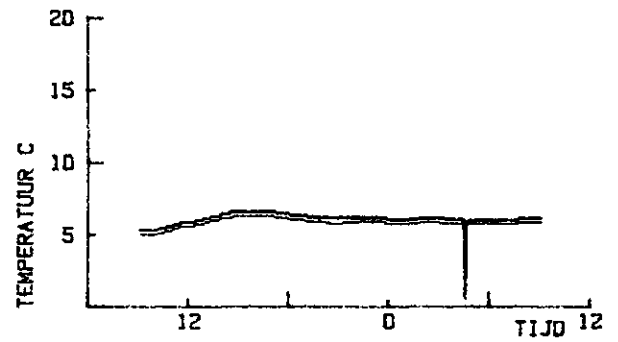
1 - 3 MAART 1982



ZUID

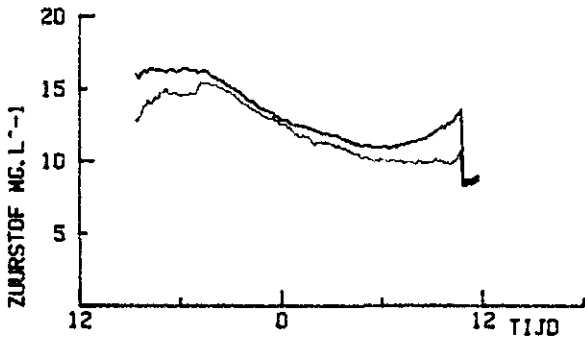
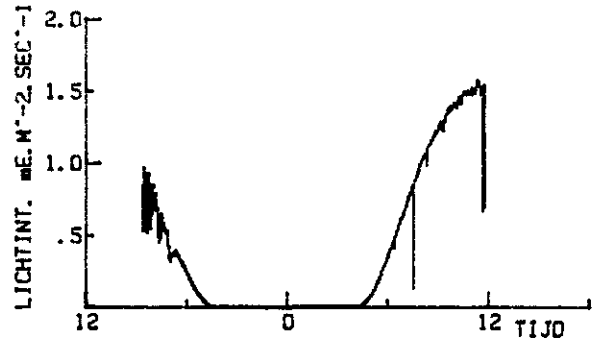
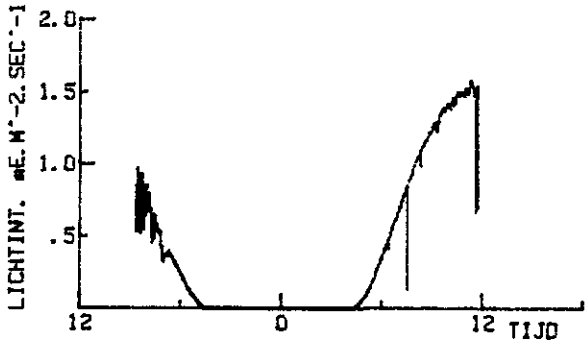


NOORD

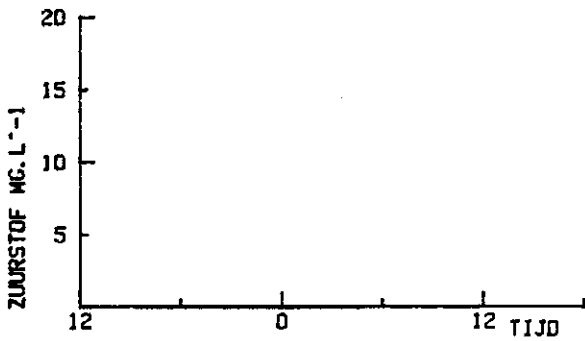
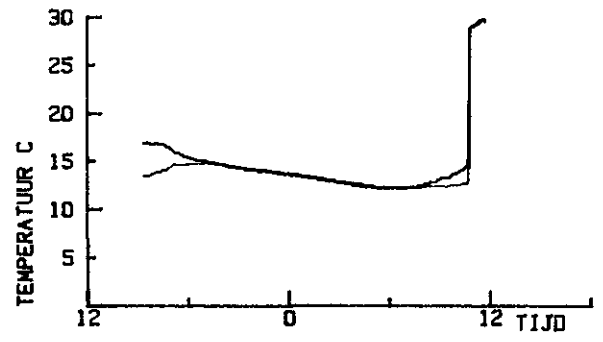


OPPERVLAK
BODEM

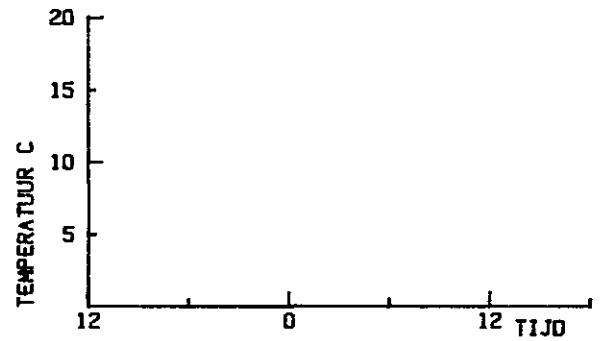
10 - 11 MEI 1982



ZUID

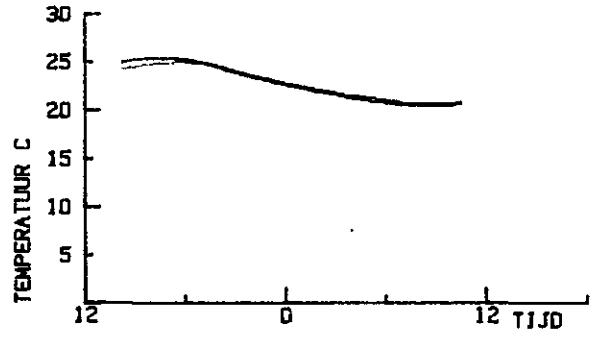
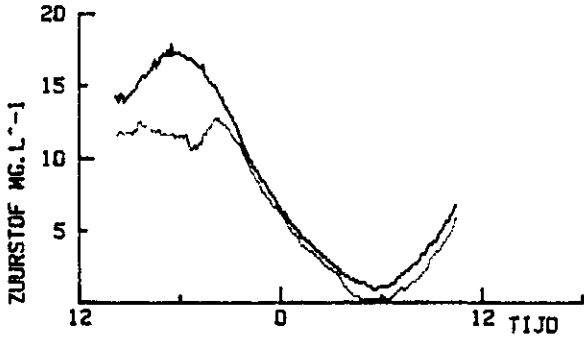
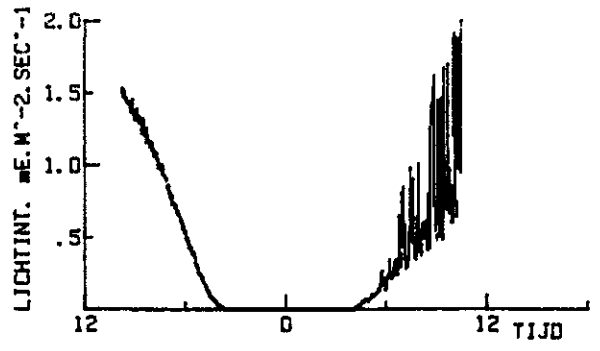
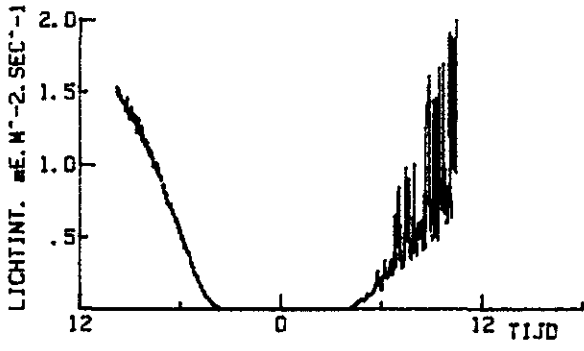


NOORD

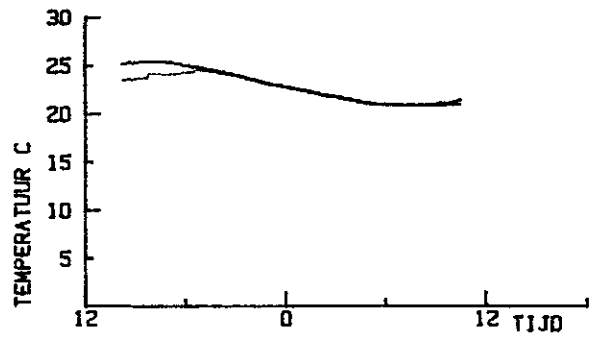
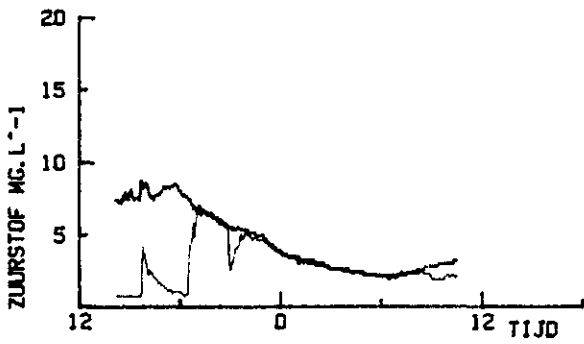


OPPERVLAK
BODEM

8 - 9 JUNI 1982



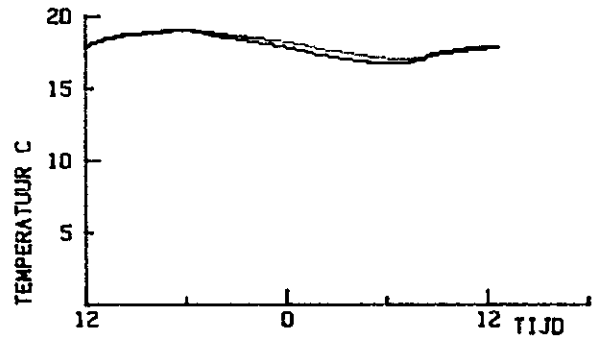
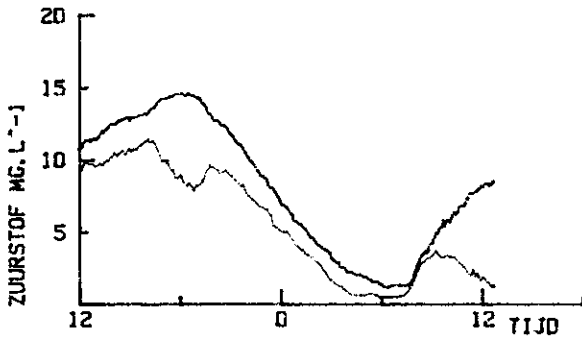
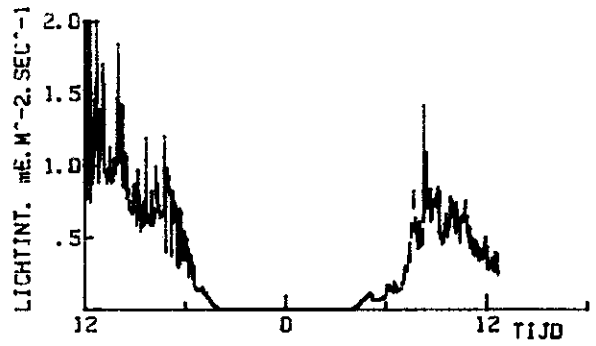
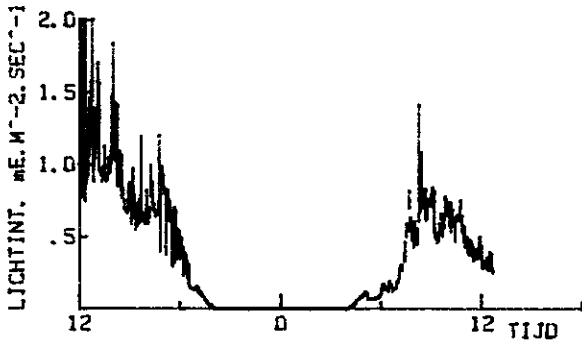
ZUID



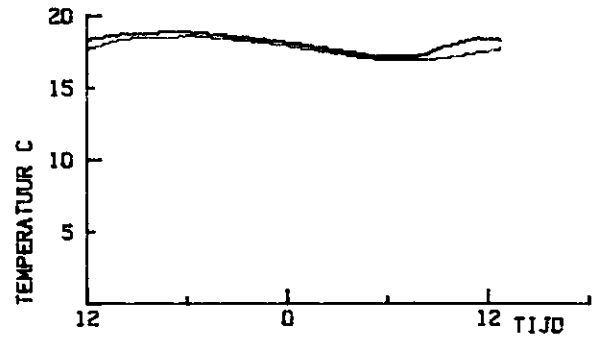
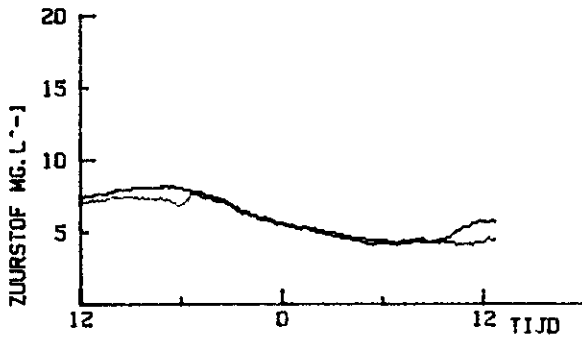
NOORD

OPPERVLAK
BODEM

5 - 6 JULI 1982



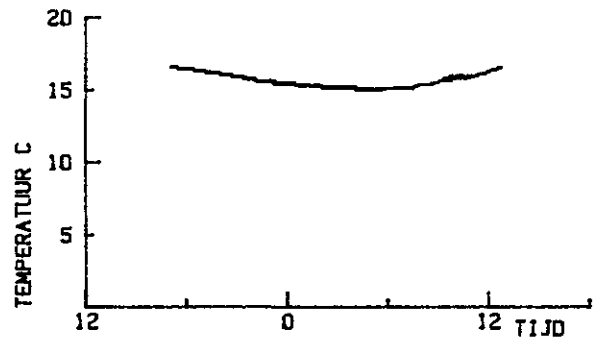
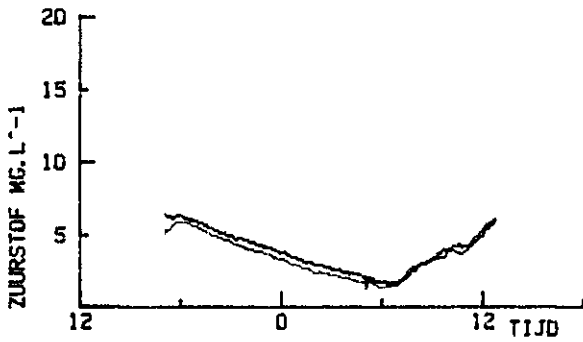
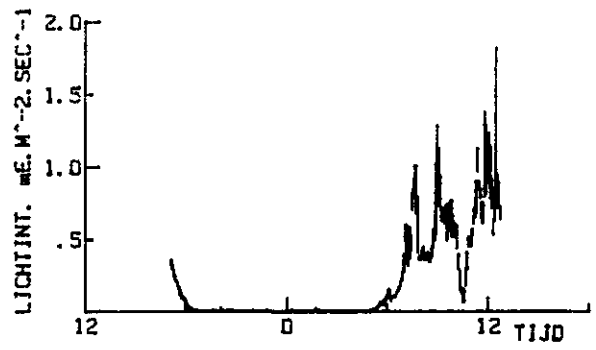
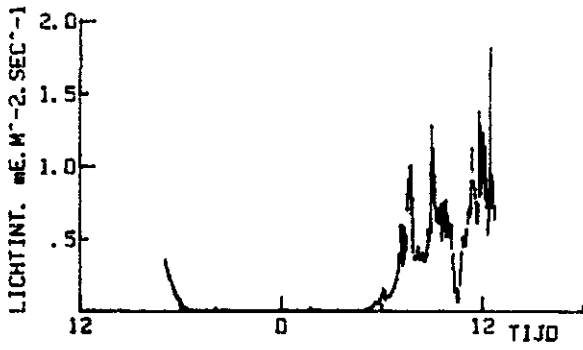
ZUID



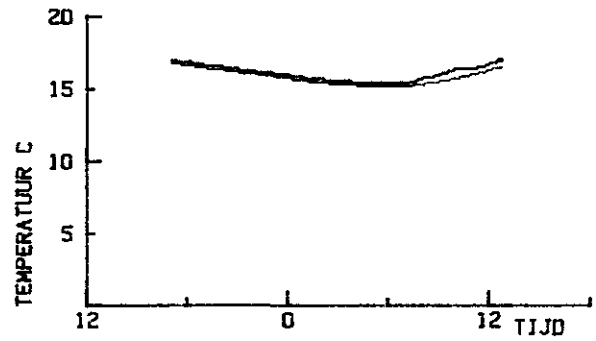
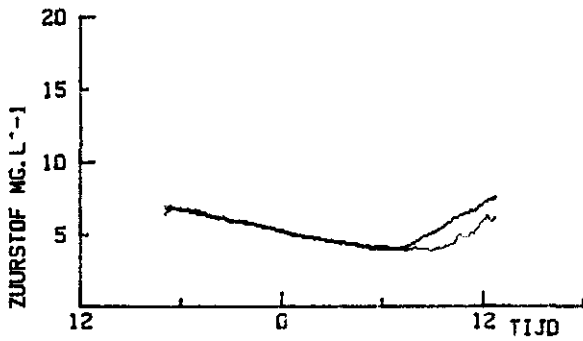
NOORD

OPPERVLAK
BODEM

30 - 31 AUGUSTUS 1982



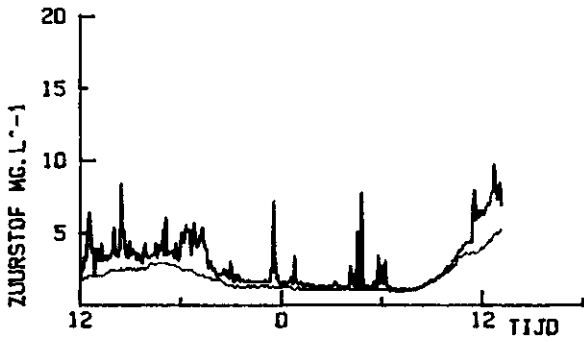
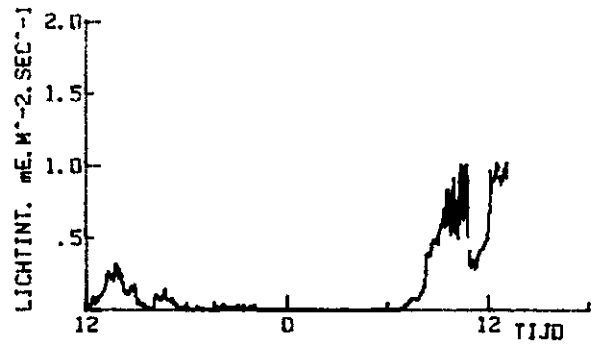
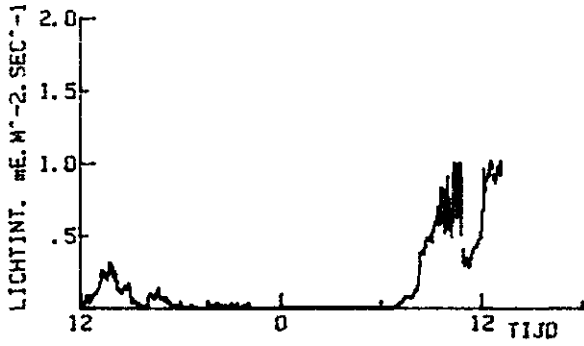
ZUID



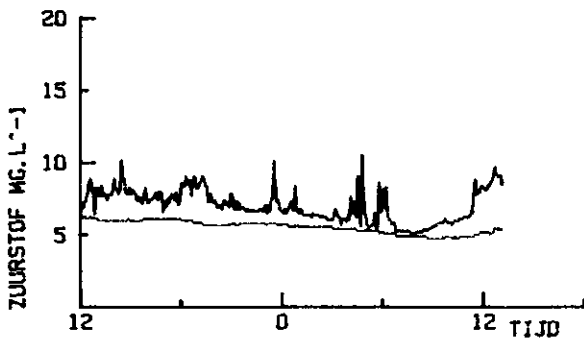
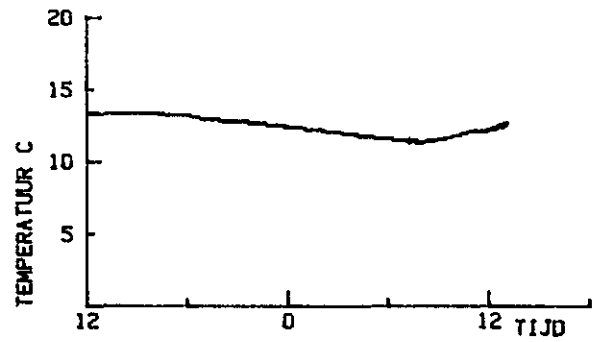
NOORD

OPPERVLAK
BODEM

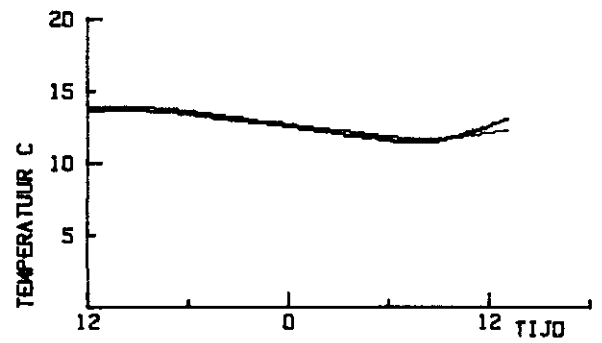
5 - 6 OKTOBER 1982



ZUID

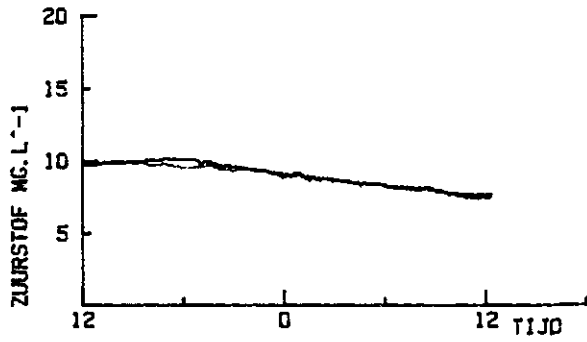
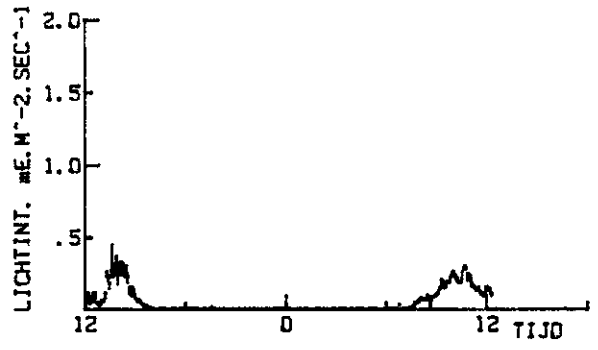
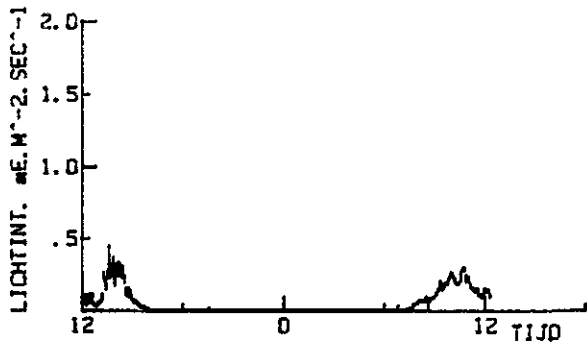


NOORD

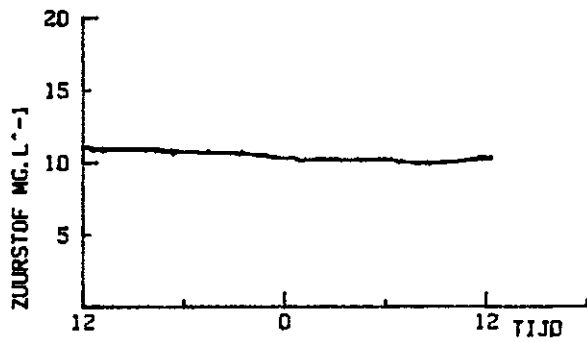
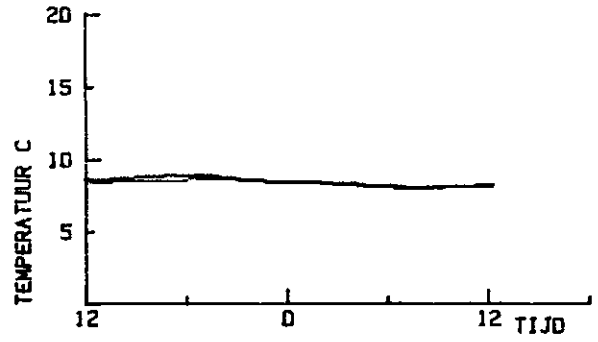


OPPERVLAK
BODEM

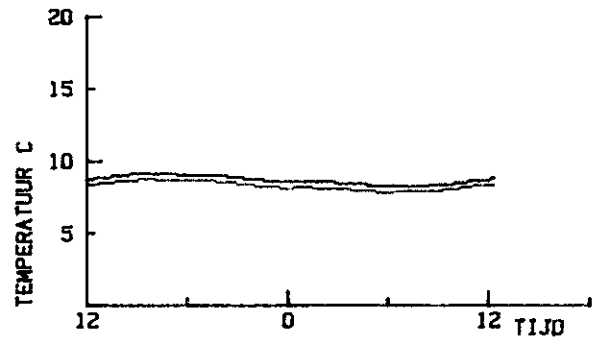
9 - 10 NOVEMBER 1982



ZUID

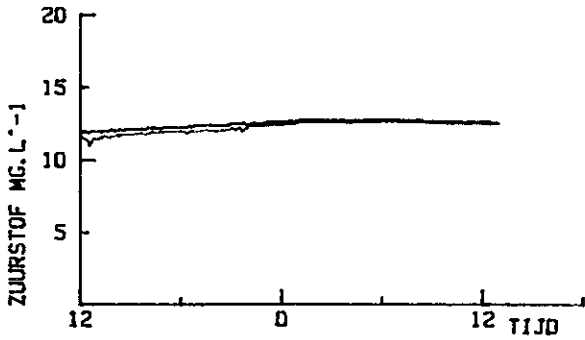
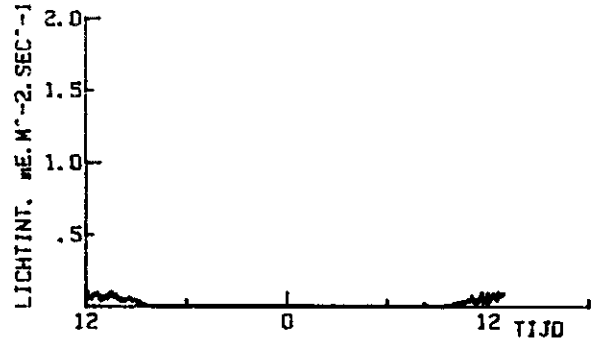
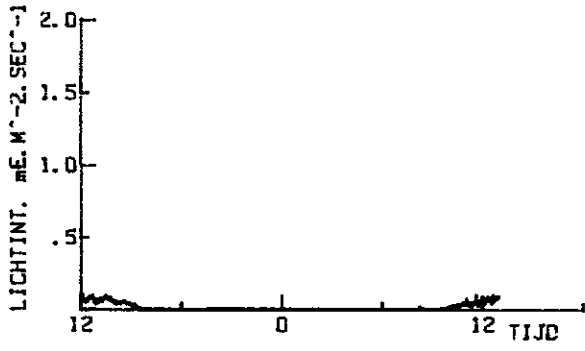


NOORD

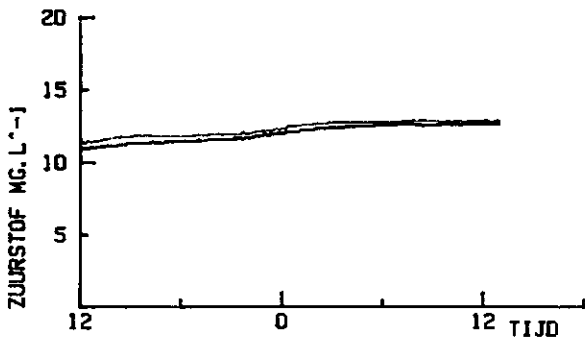
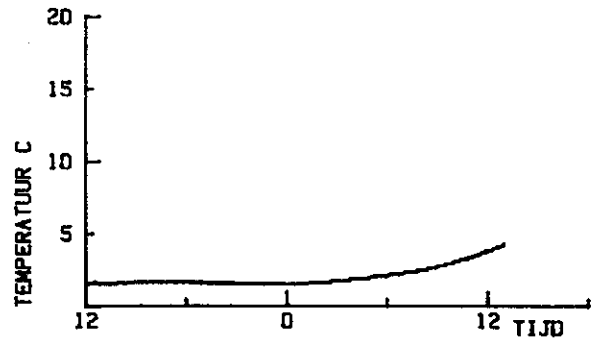


OPPERVLAK
BODEM

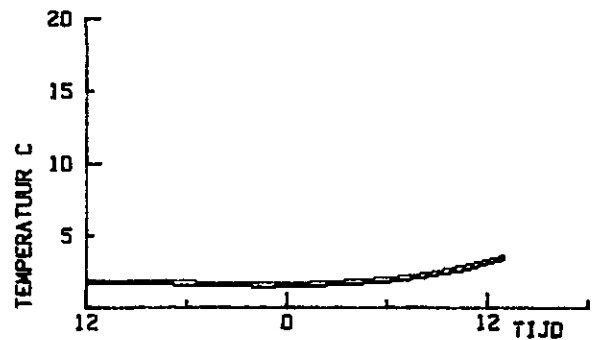
14 - 15 DECEMBER 1982



ZUID

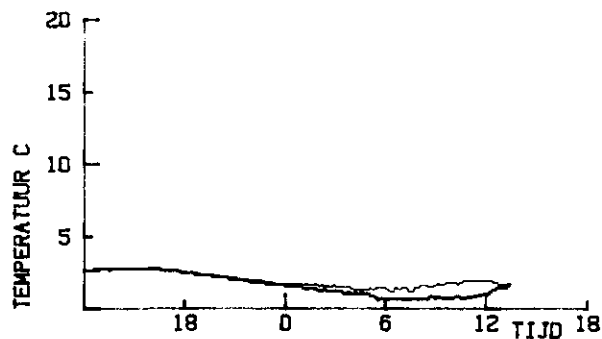
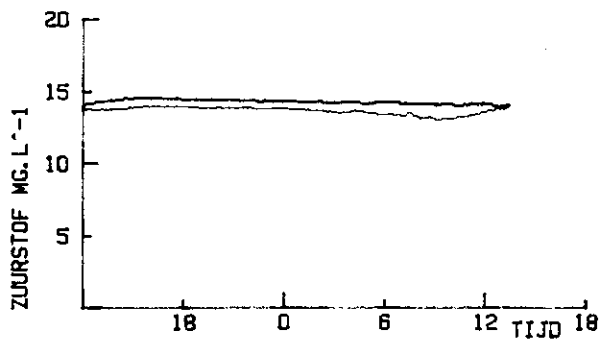
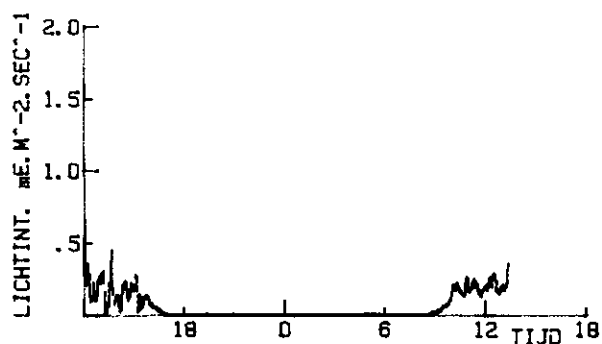
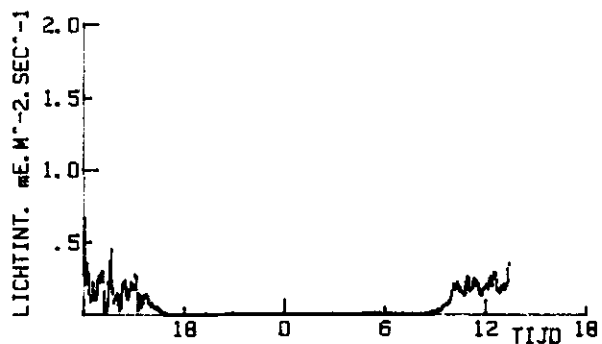


NOORD

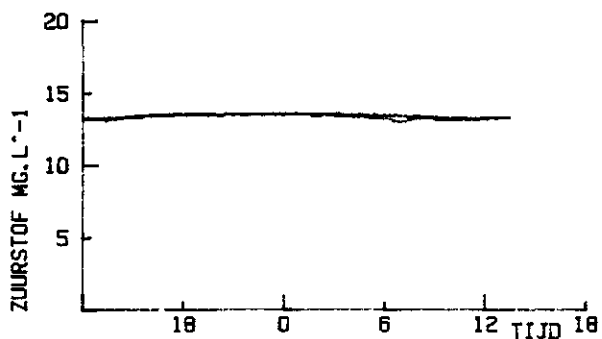


OPPERVLAK
BODEM

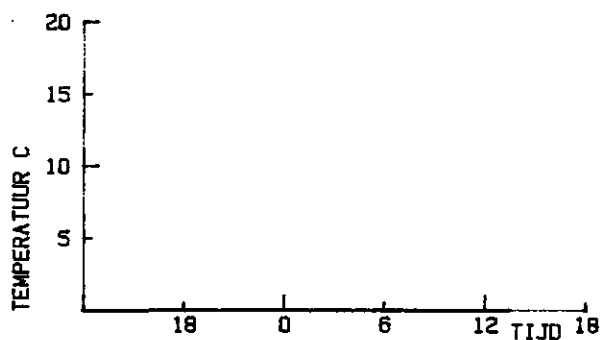
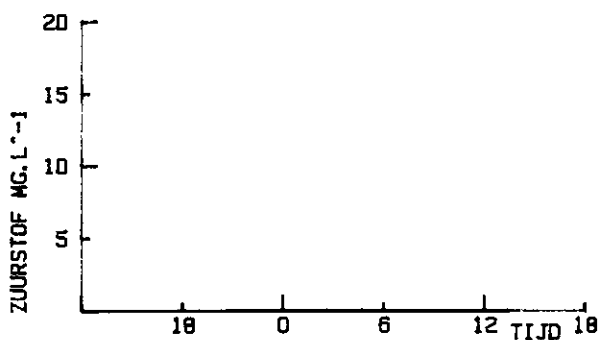
19 - 20 Januari 1983



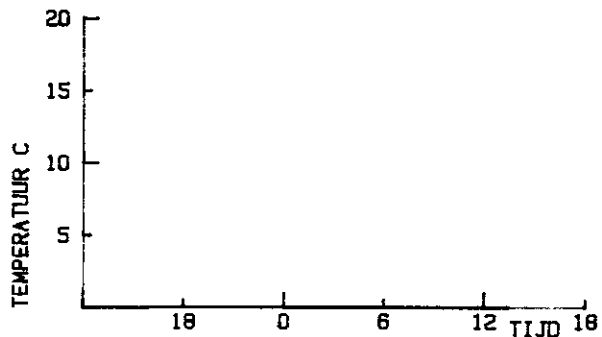
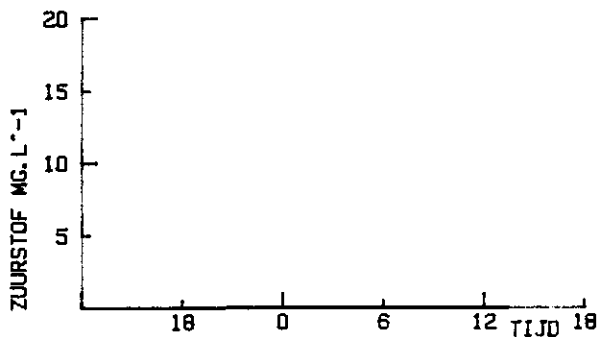
ZUID



NOORD



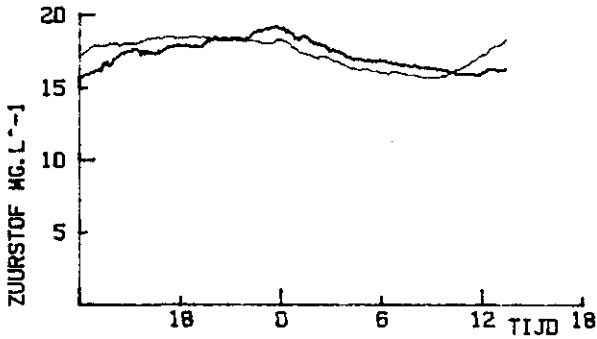
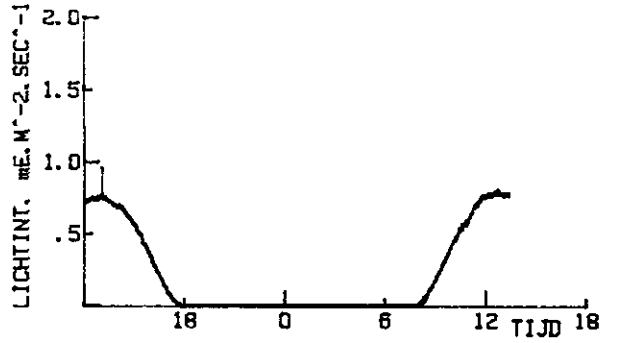
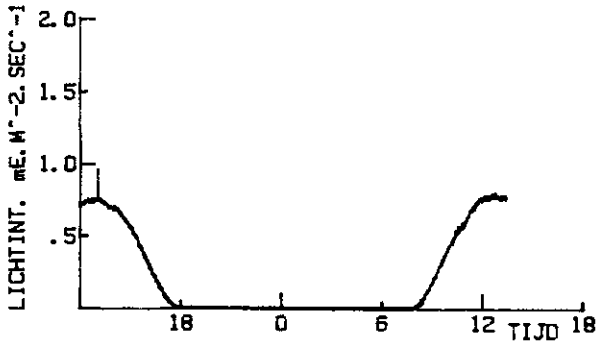
ZUID
ENCL



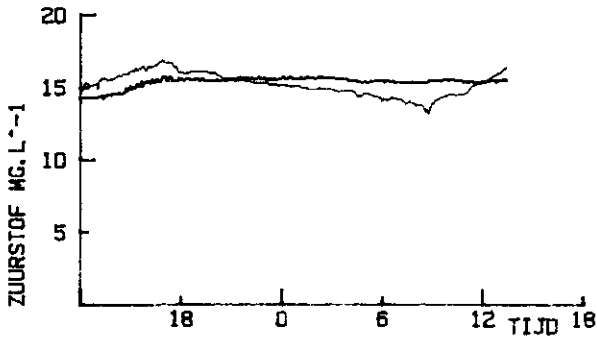
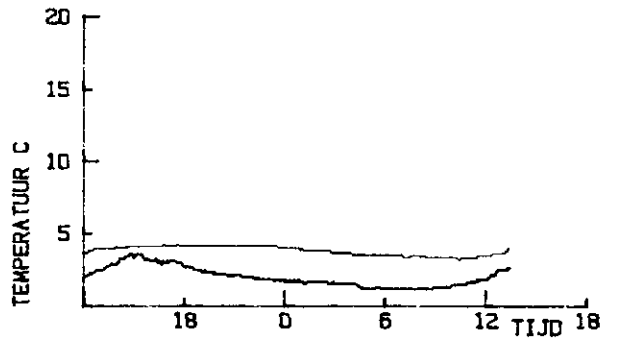
NOORD
ENCL

OPPERVLAK
BODEM

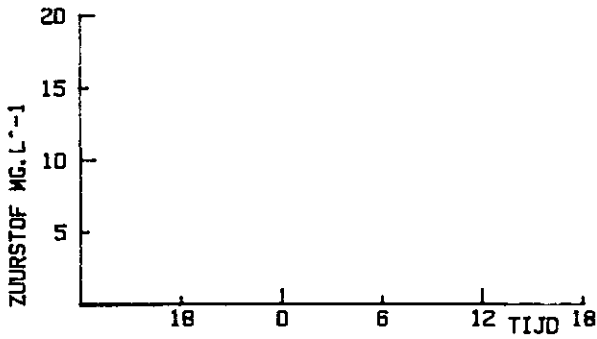
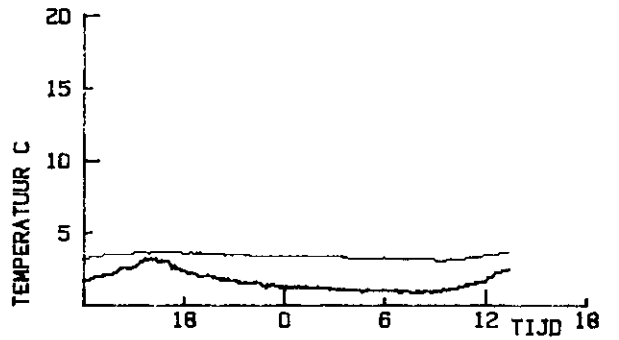
16 - 17 Februari 1983



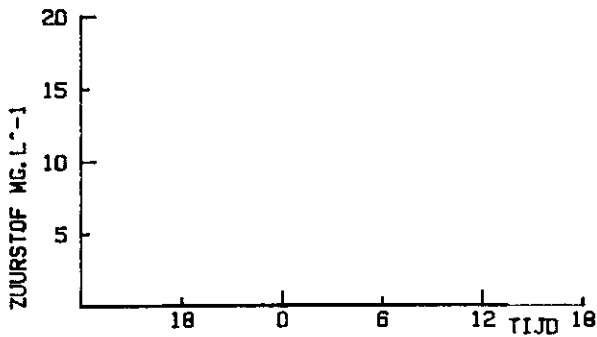
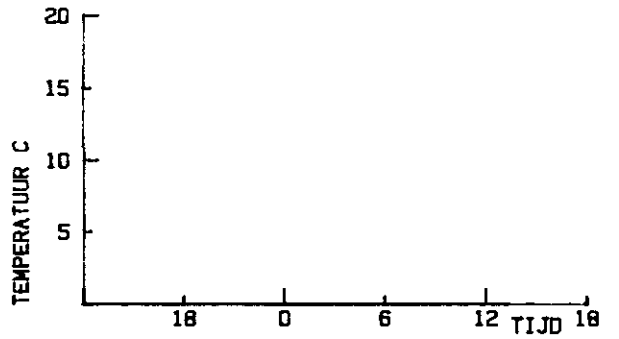
ZUID



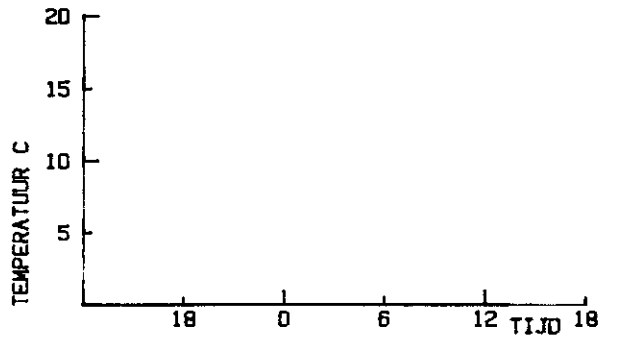
NOORD



ZUID
ENCL

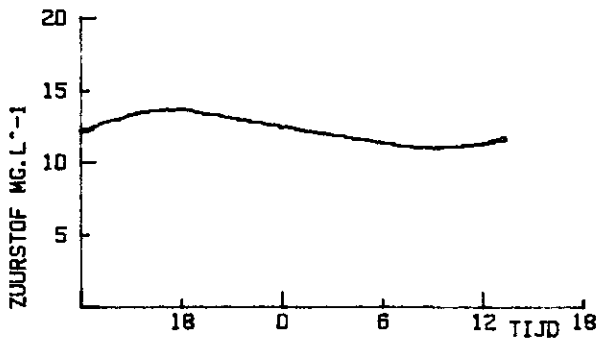
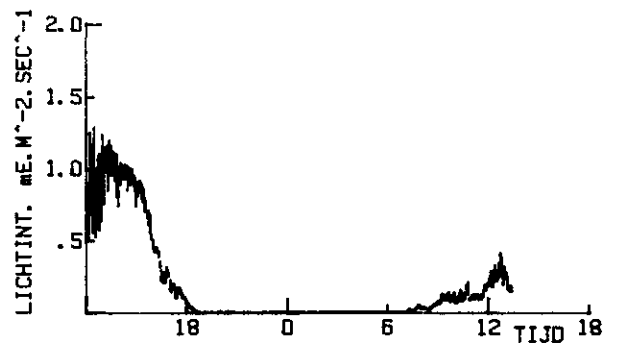
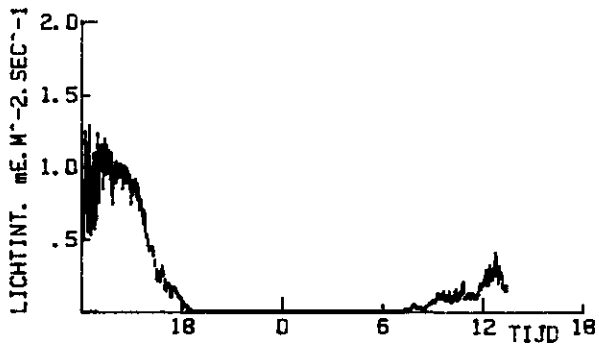


NOORD
ENCL

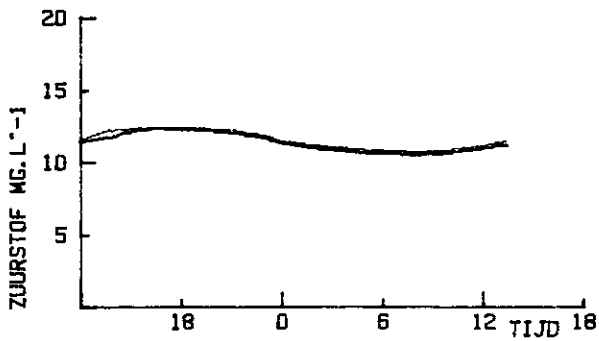
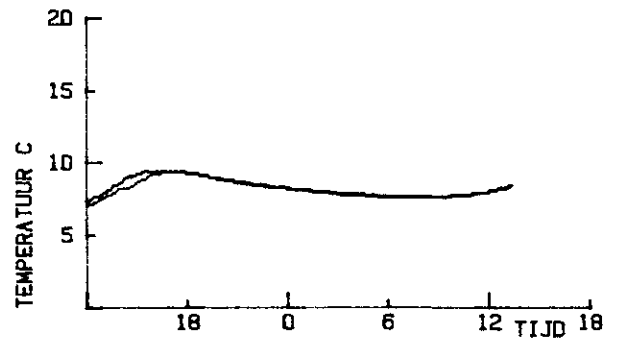


OPPERVLAK
BODEM

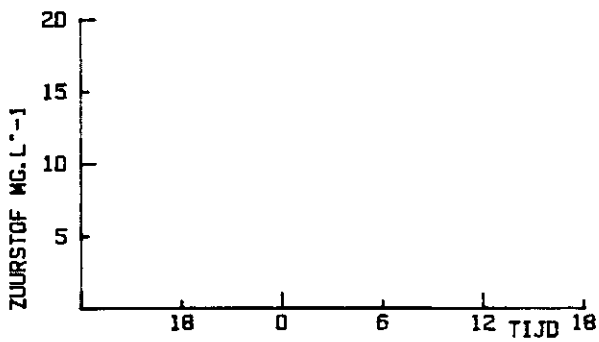
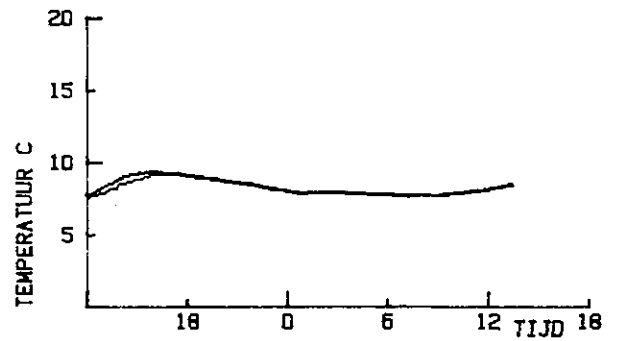
16 - 17 Maart 1983



ZUID

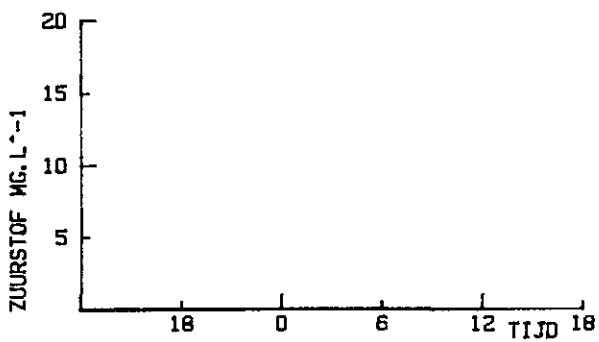
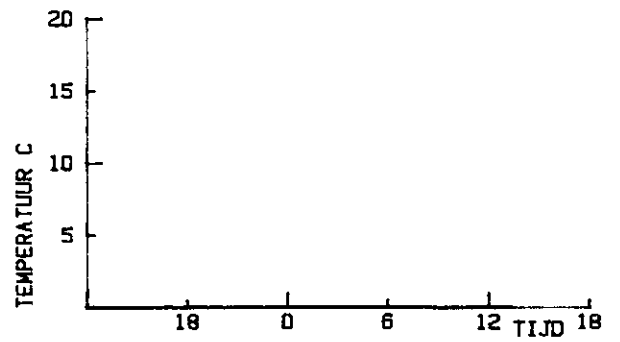


NOORD



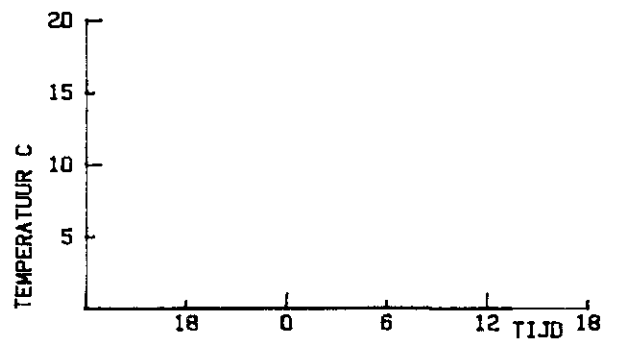
ZUID

ENCL



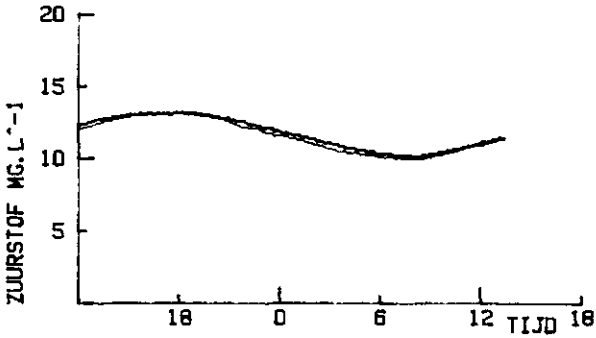
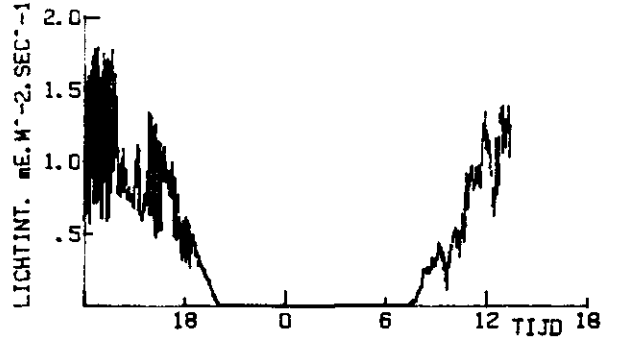
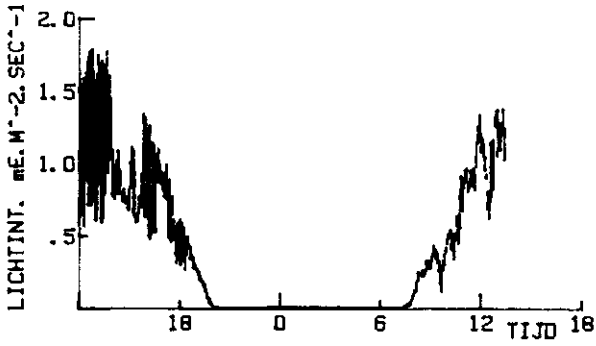
NOORD

ENCL

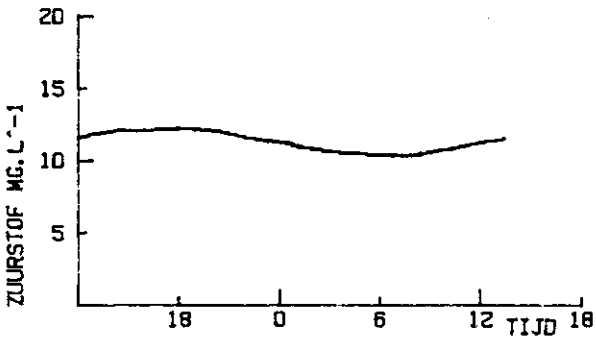
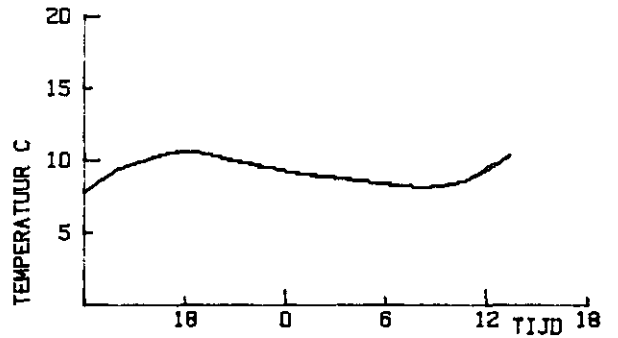


OPPERVLAK
BODEM

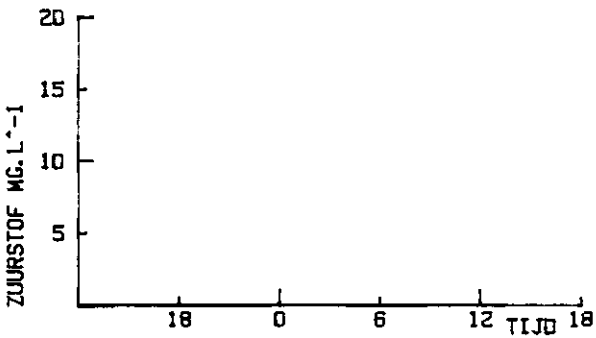
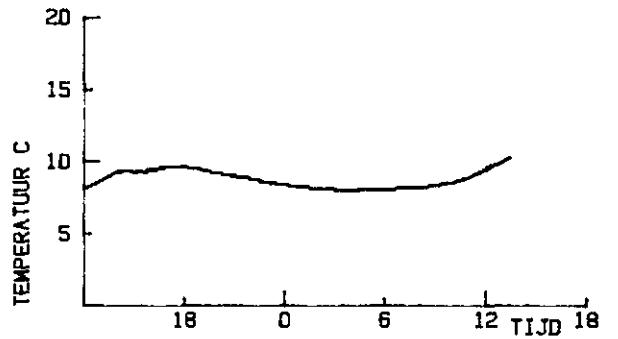
13 - 14 April 1983



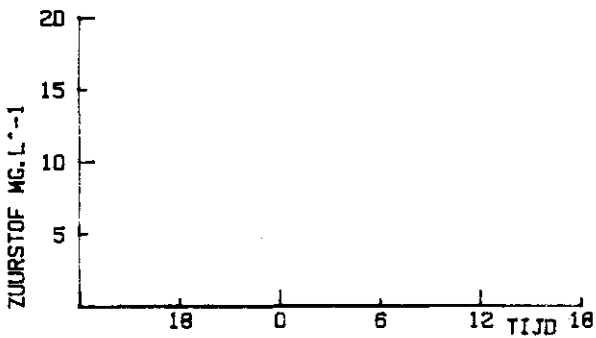
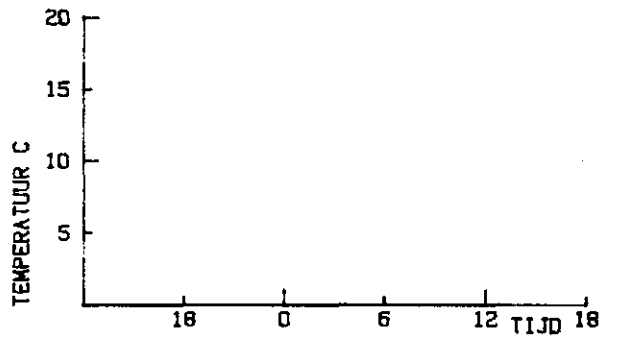
ZUID



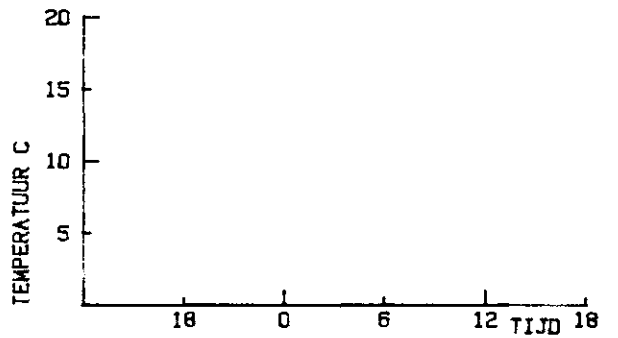
NOORD



ZUID
ENCL

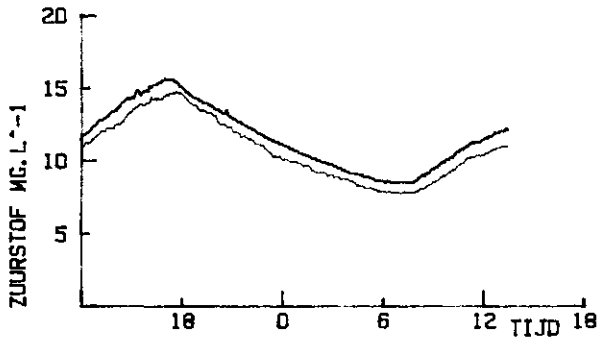
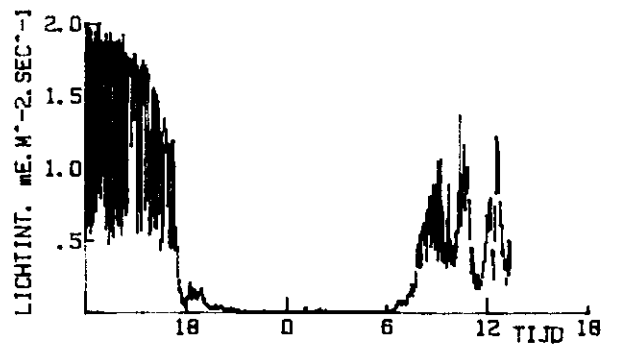
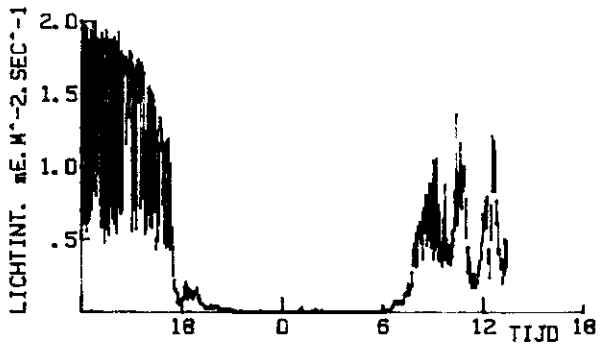


NOORD
ENCL

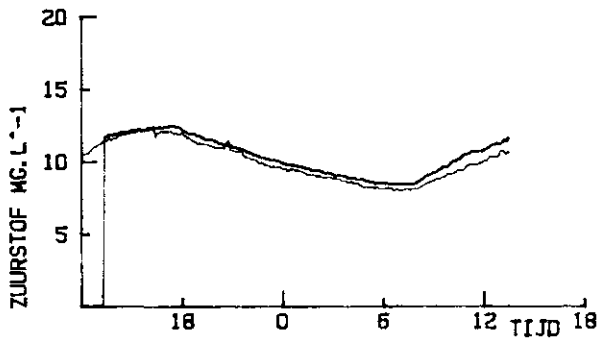
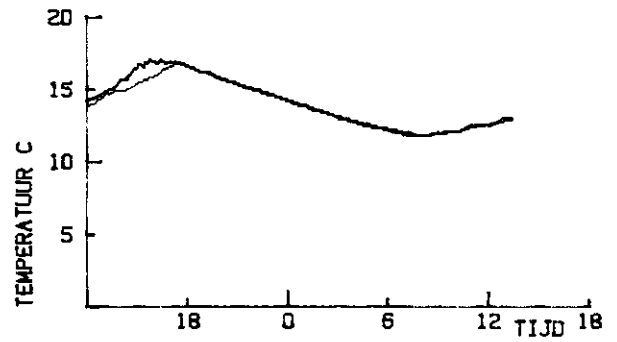


OPPERVLAK
BODEM

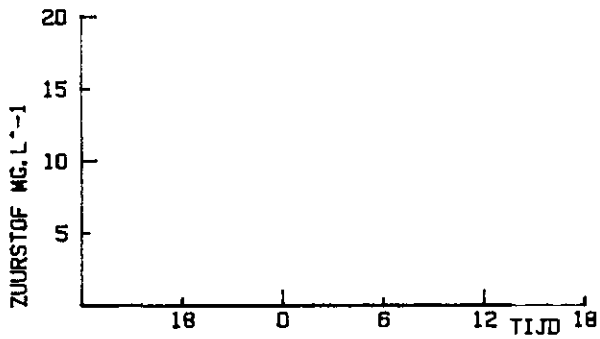
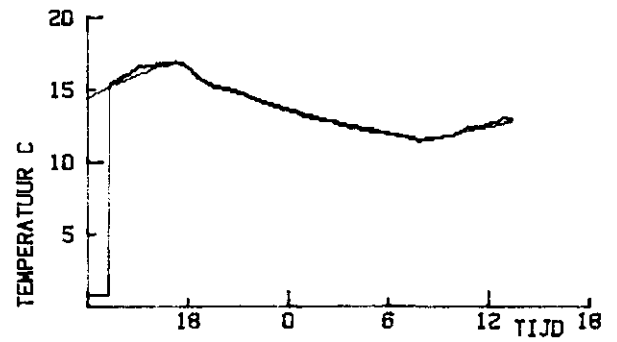
10 - 11 Mei 1983



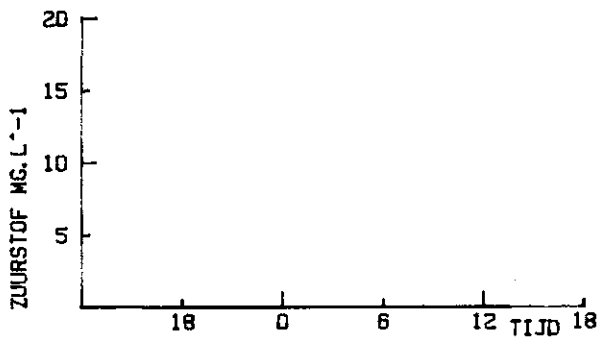
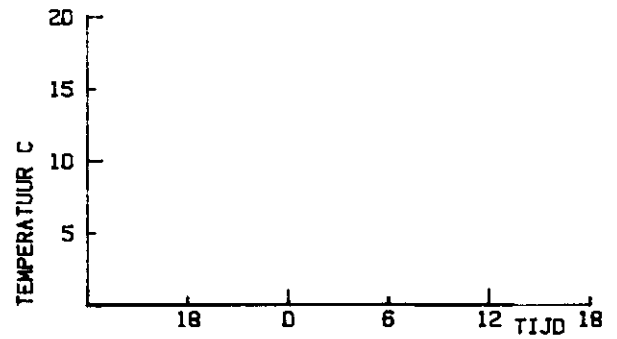
ZUID



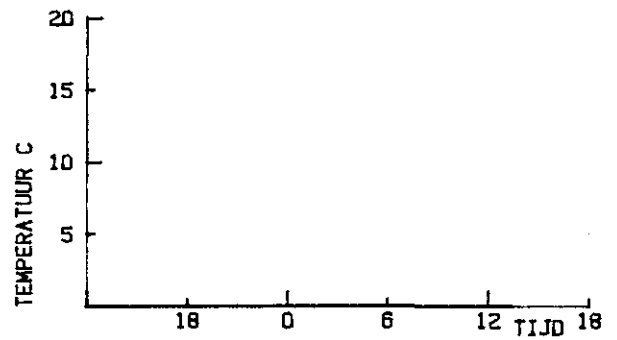
NOORD



ZUID
ENCL

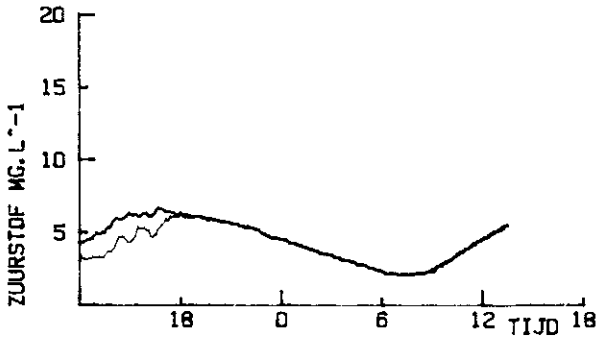
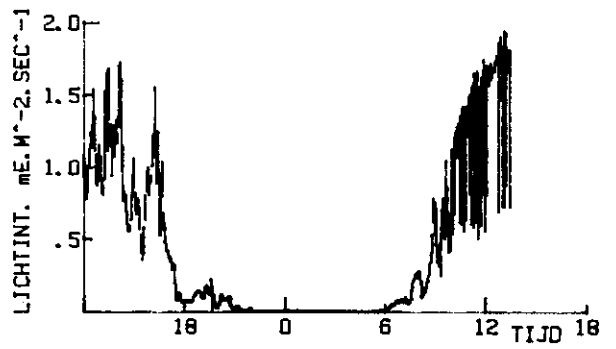
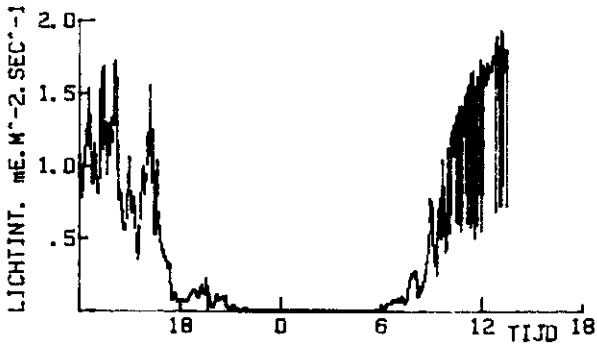


NOORD
ENCL

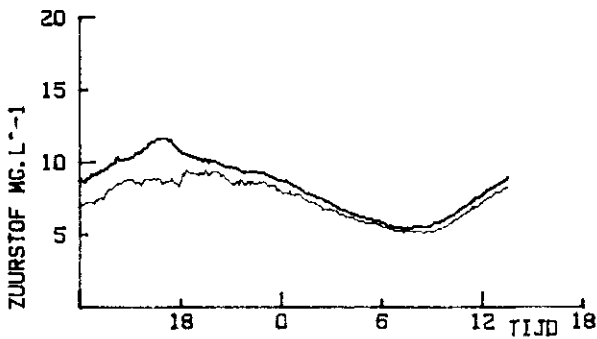
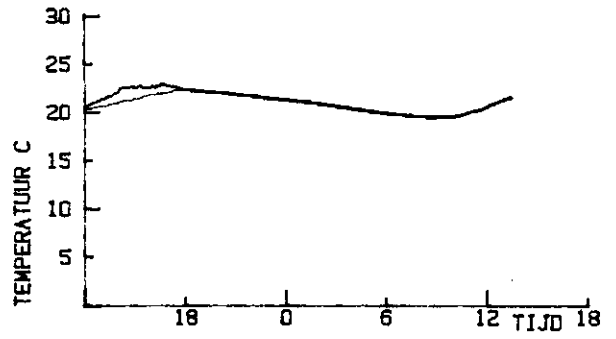


OPPERVLAK
BODEM

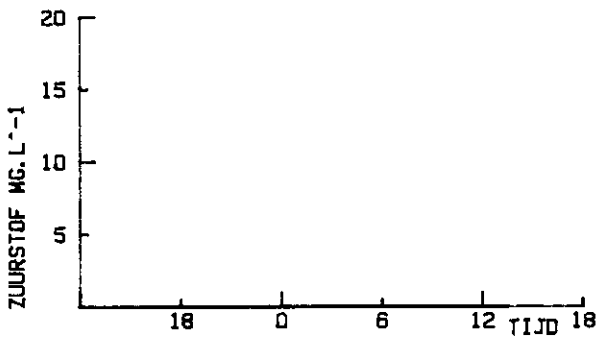
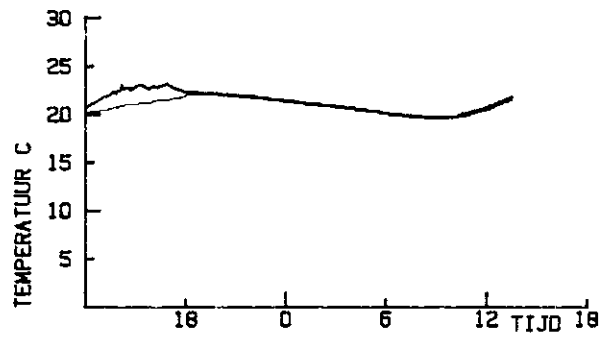
8 - 9 Juni 1983



ZUID

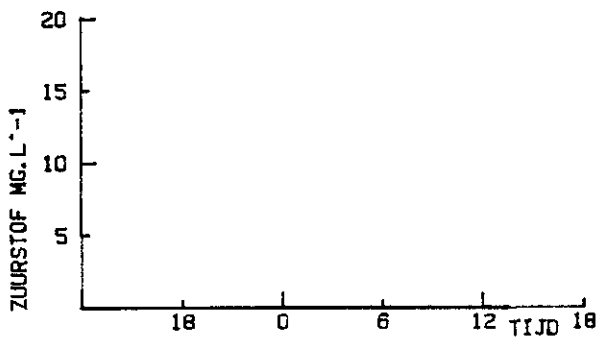
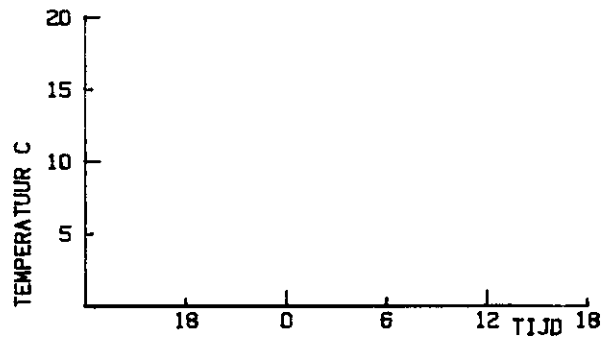


NOORD



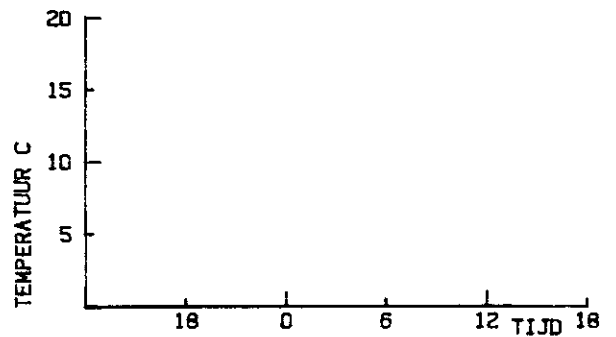
ZUID

ENCL



NOORD

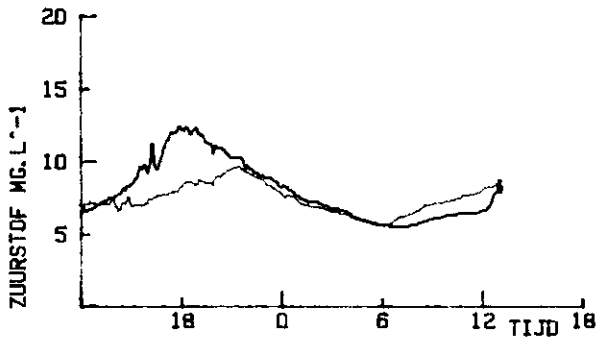
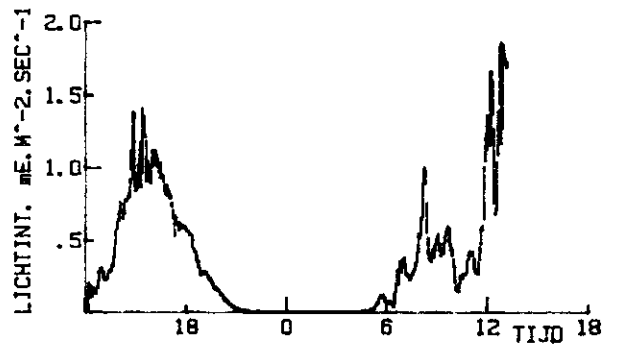
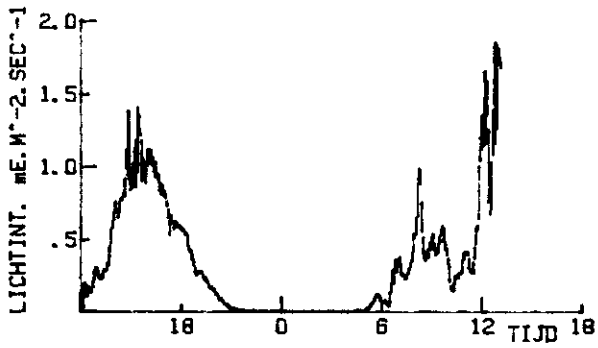
ENCL



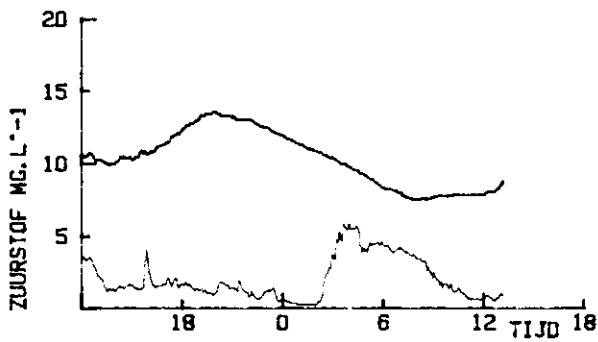
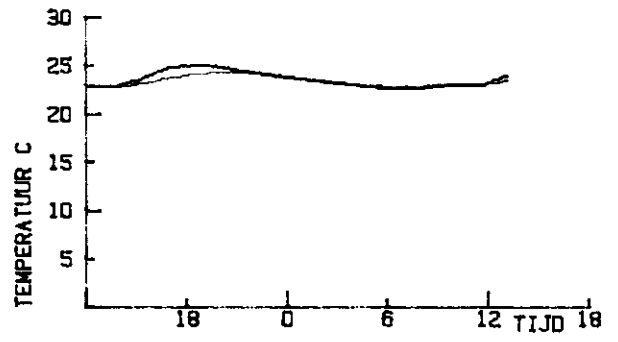
OPPERVLAK

BOEEM

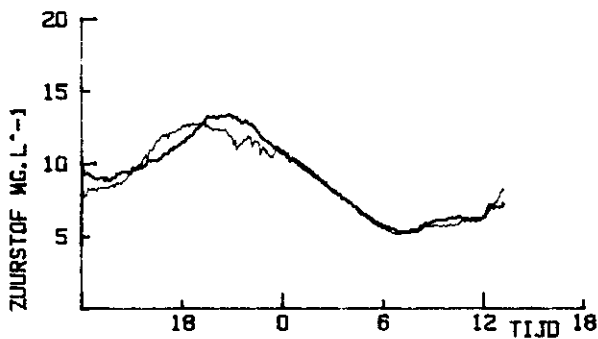
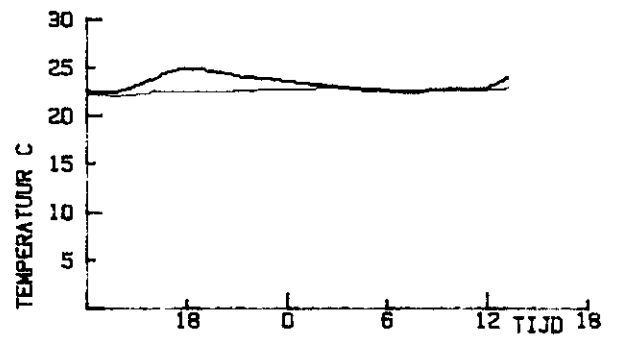
6 - 7 Juli 1983



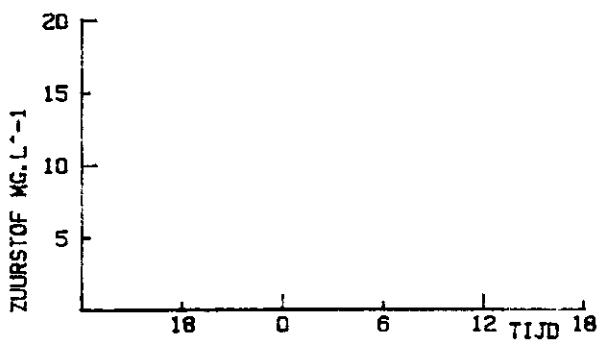
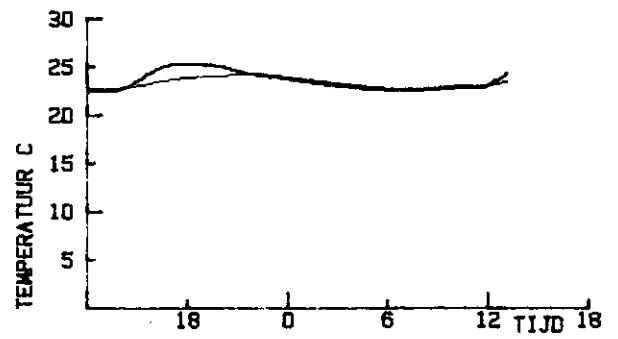
ZUID



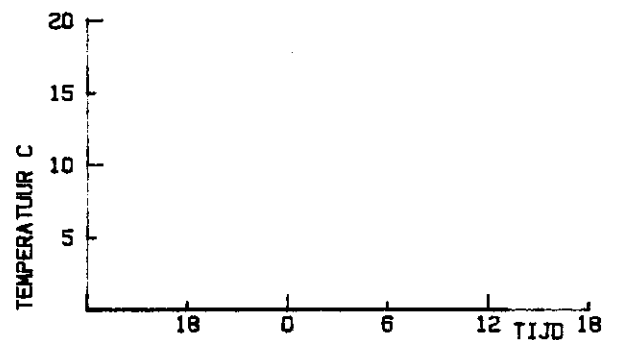
NOORD



ZUID
ENCL

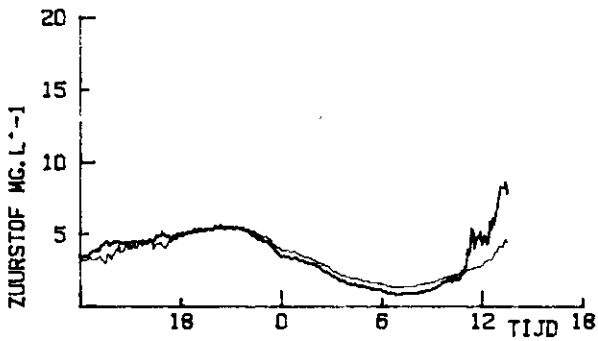
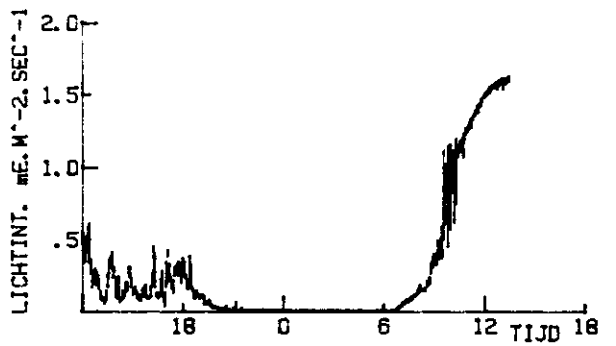
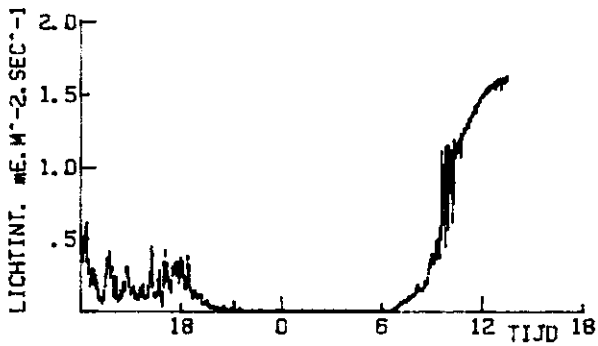


NOORD
ENCL

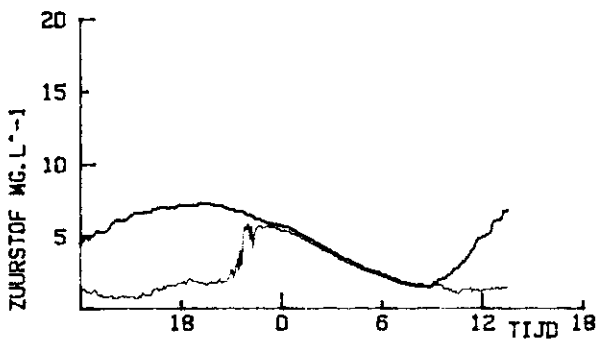
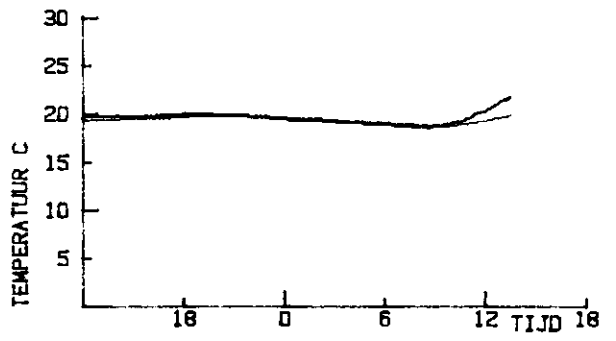


OPPERVLAK
BODEM

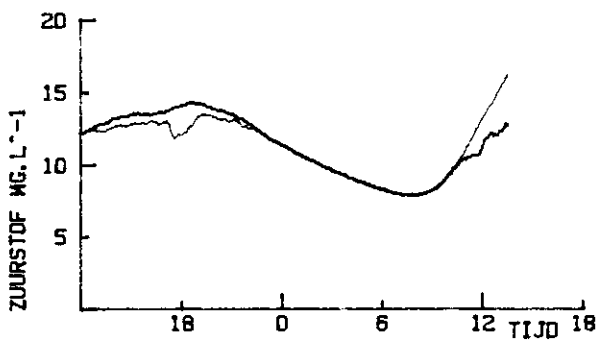
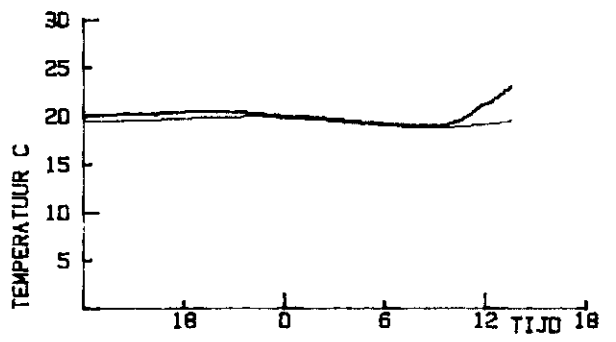
17 - 18 Augustus 1983



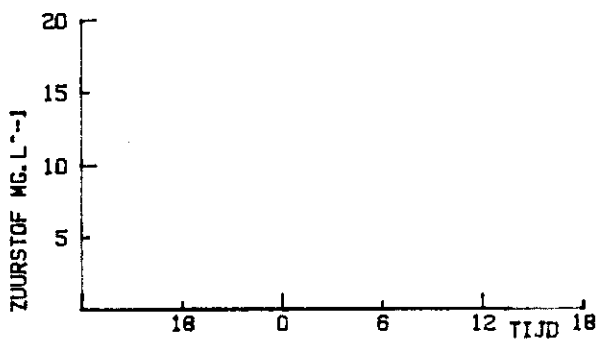
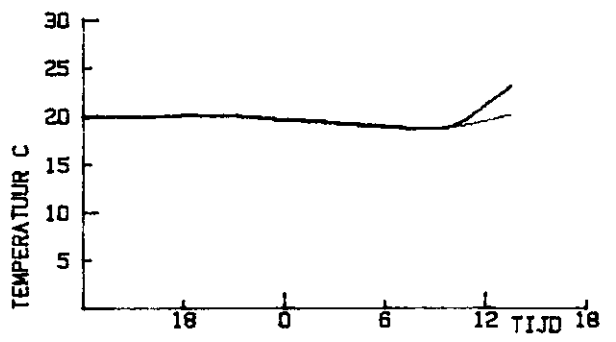
ZUID



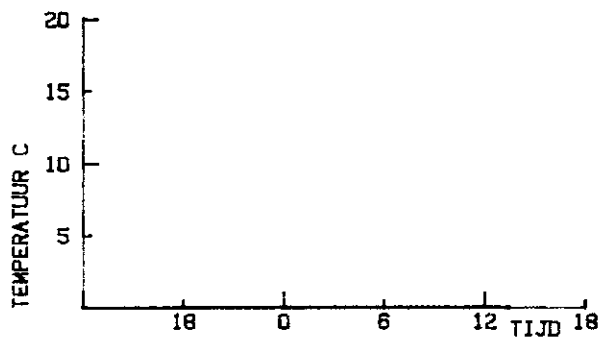
NOORD



ZUID
ENCL

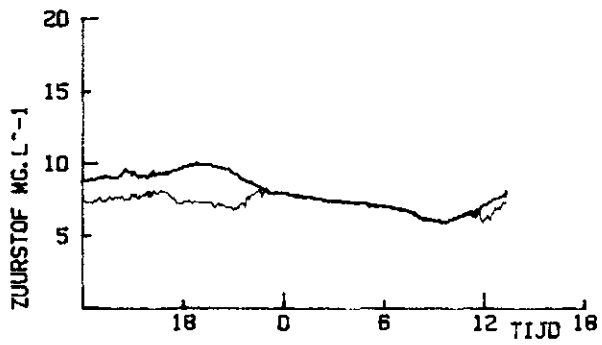
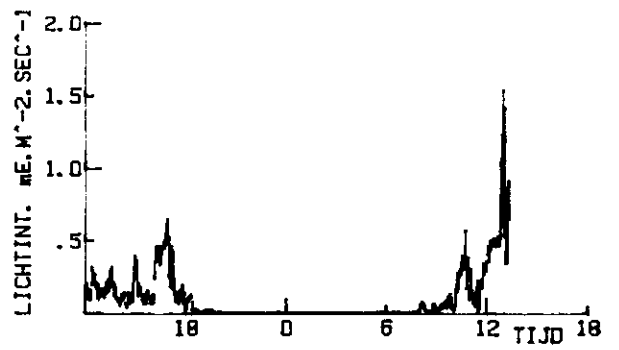
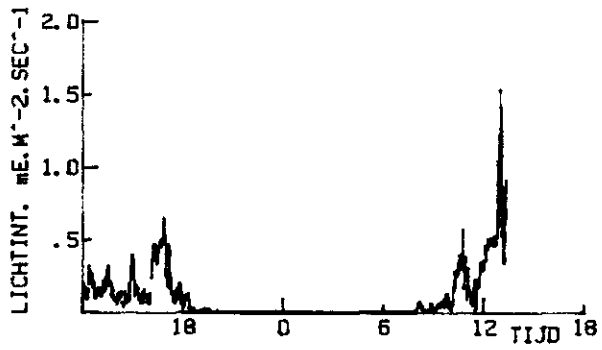


NOORD
ENCL

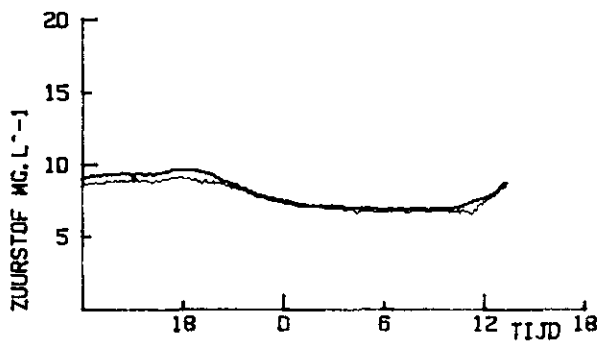
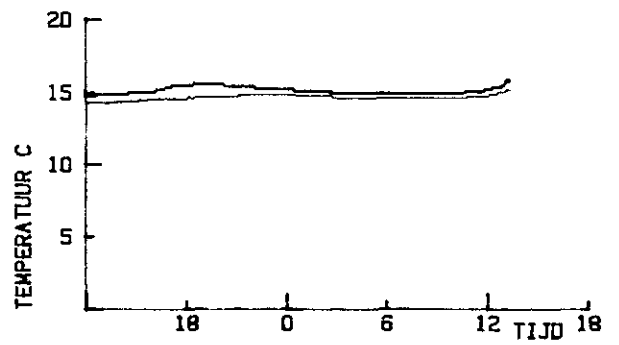


OPPERVLAK
BODEM

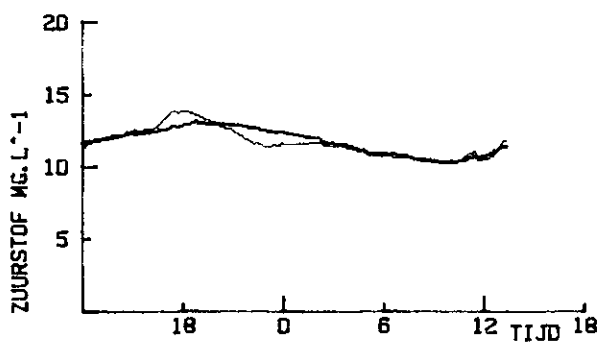
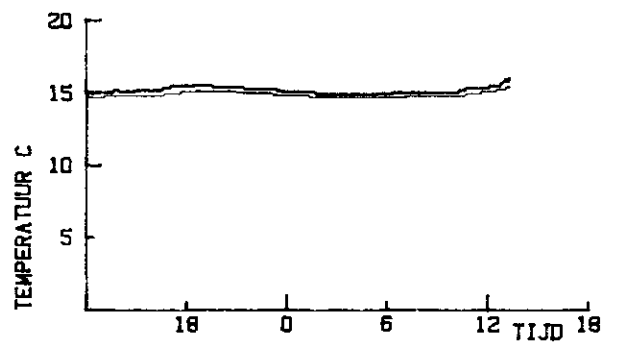
14 - 15 September 1983



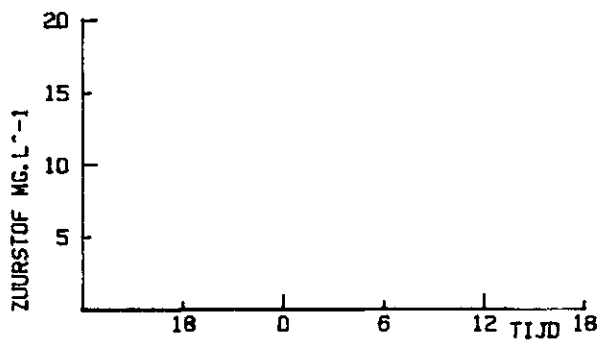
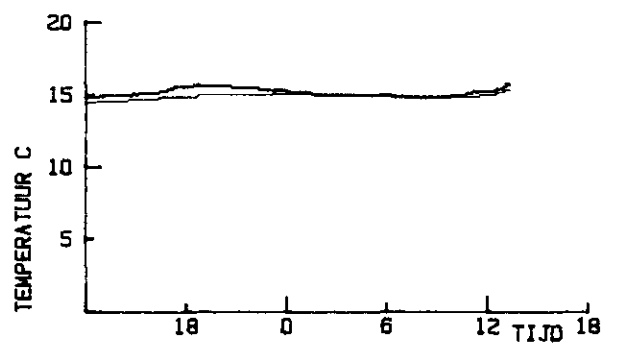
ZUID



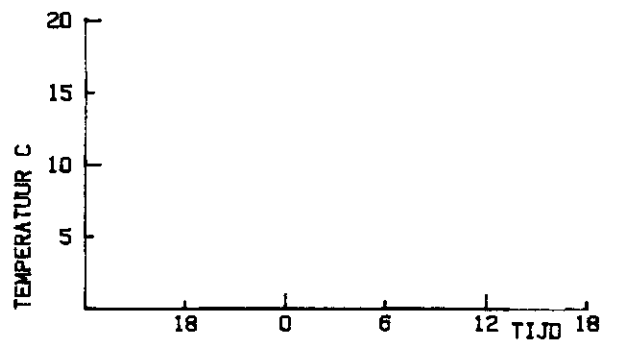
NOORD



ZUID
ENCL

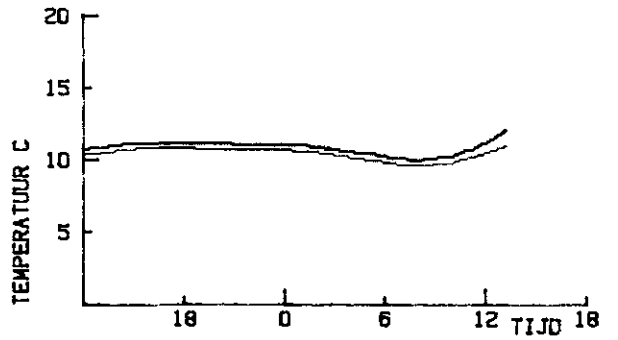
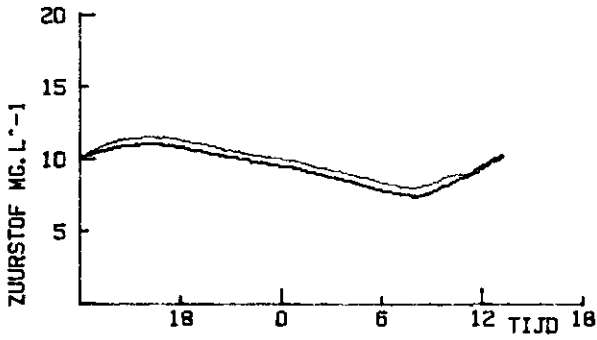
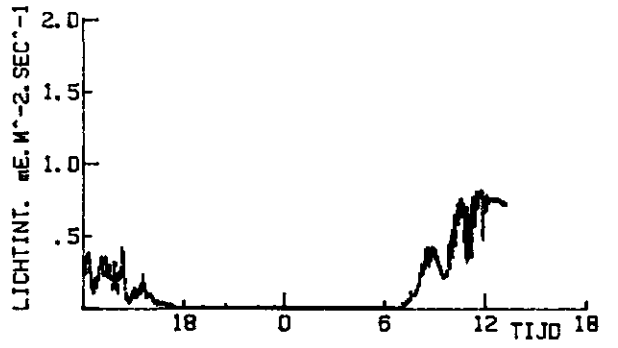
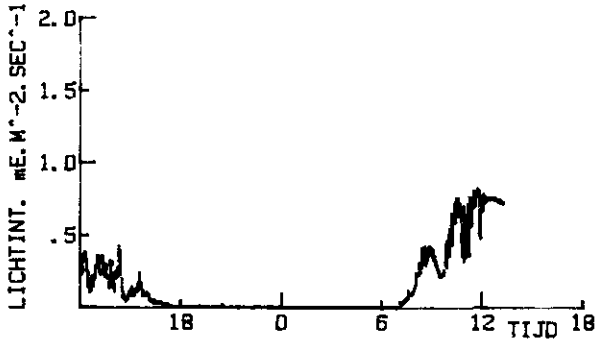


NOORD
ENCL

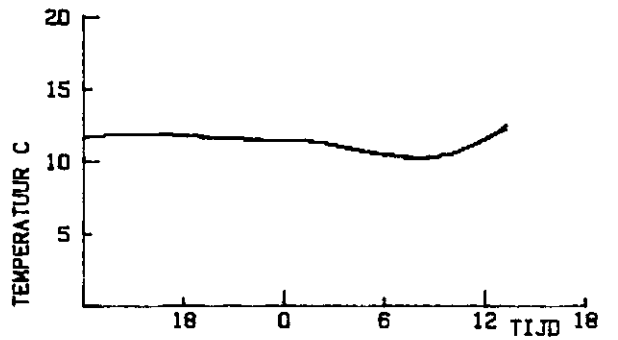
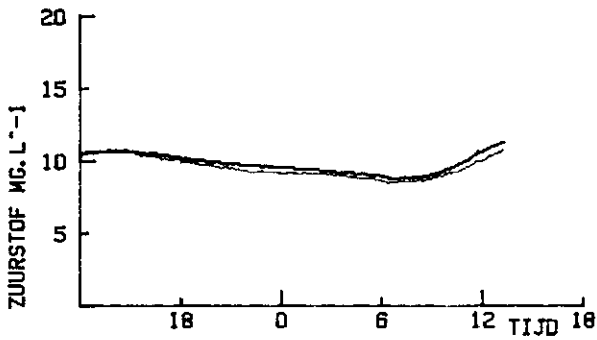


OPPERVLAK
BODEM

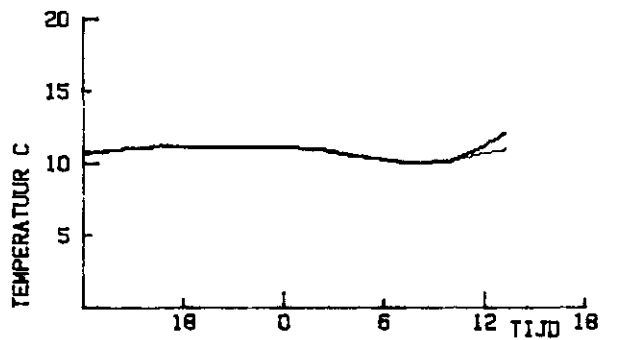
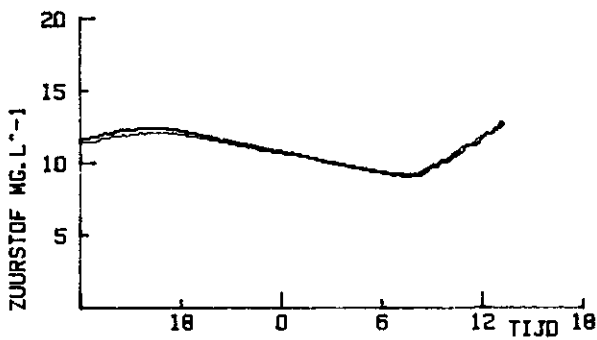
12 - 13 Oktober 1983



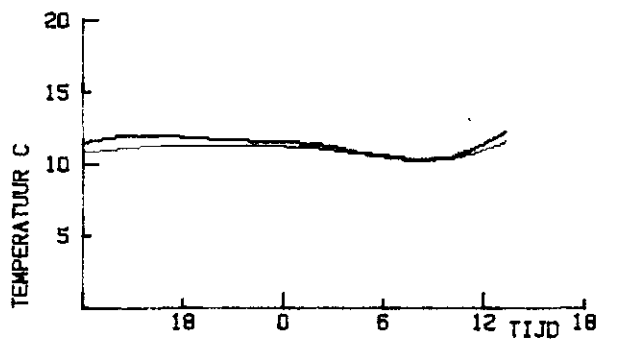
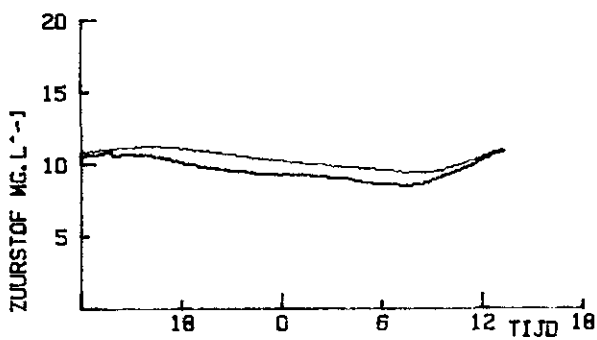
ZUID



NOORD



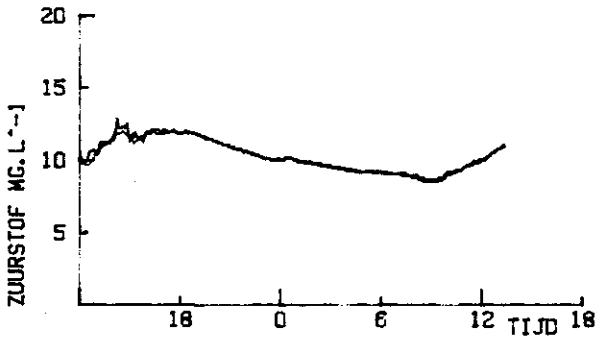
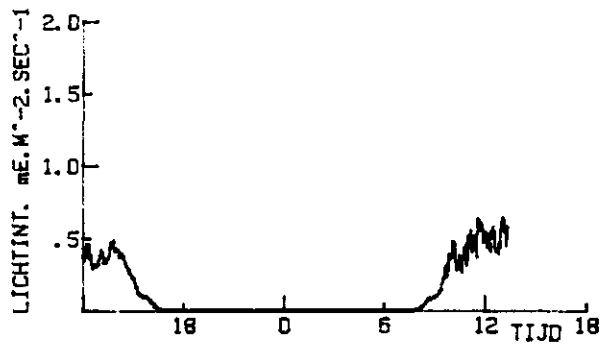
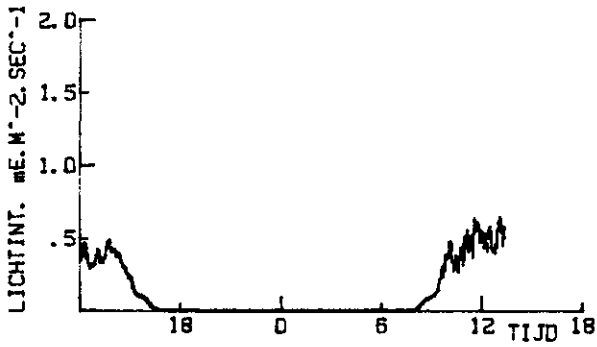
ZUID
ENCL



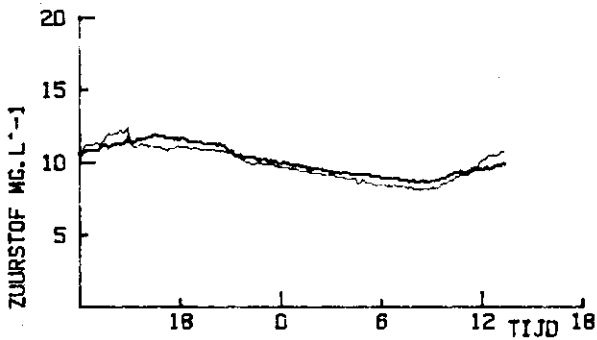
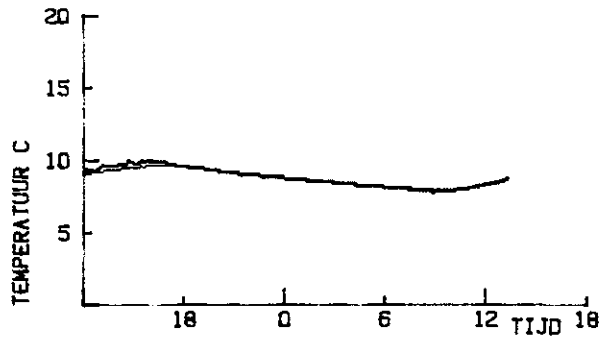
NOORD
ENCL

OPPERVLAK
BODEM

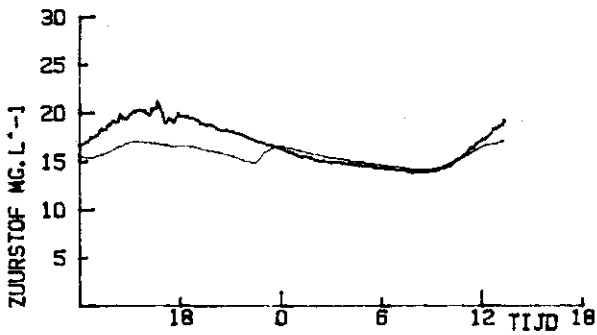
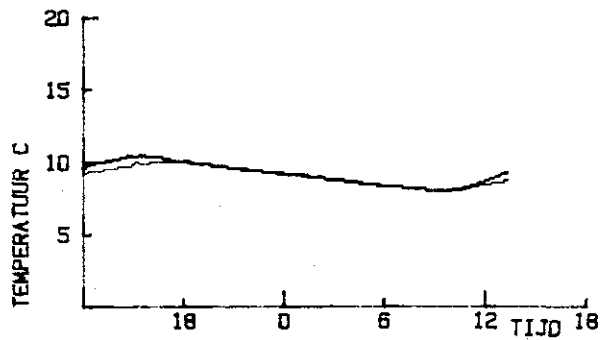
9 - 10 November 1983



ZUID

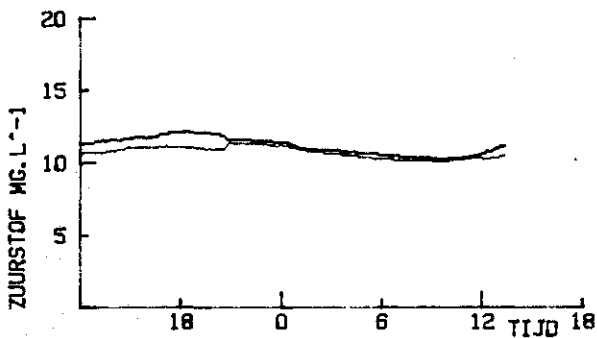
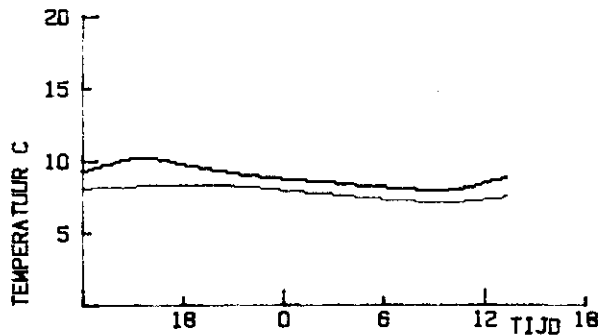


NOORD



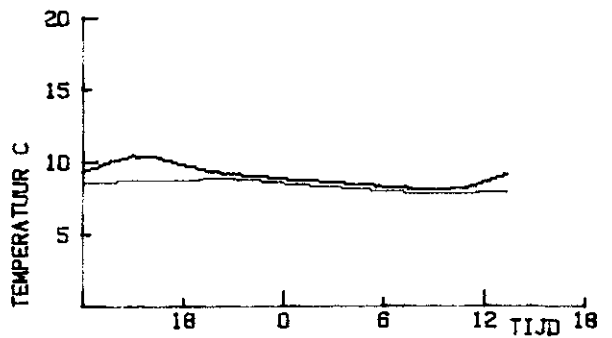
ZUID

ENCL



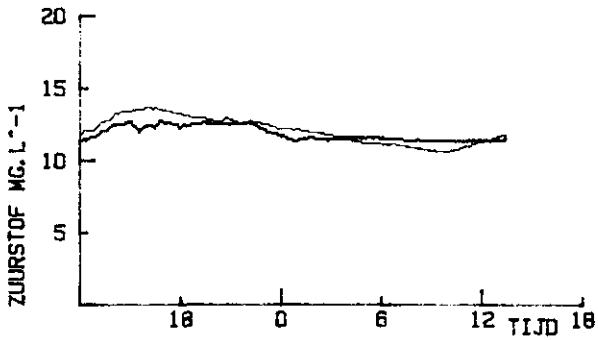
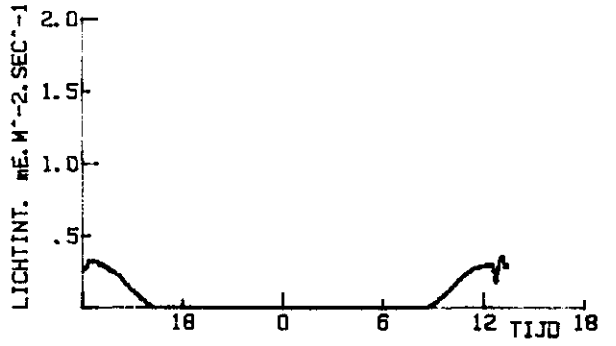
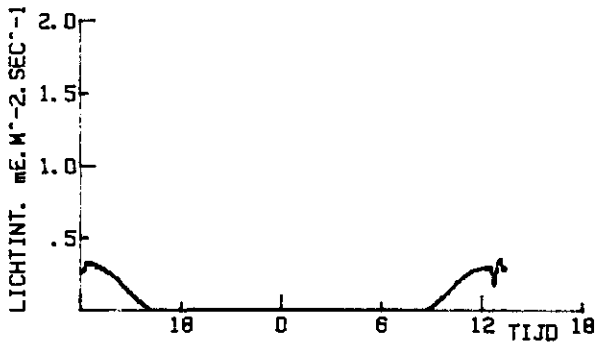
NOORD

ENCL

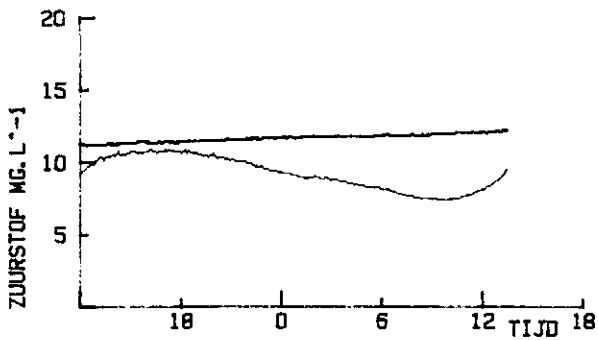
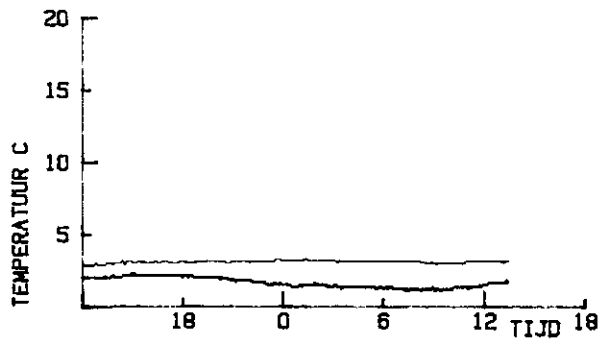


OPPERVLAK
BODEM

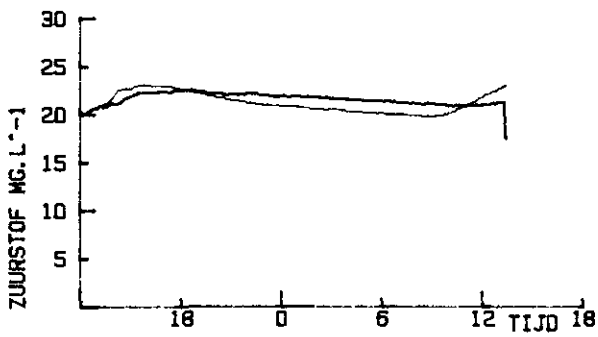
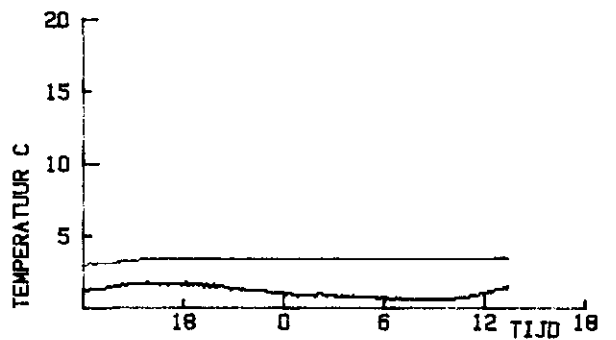
14 - 15 December 1983



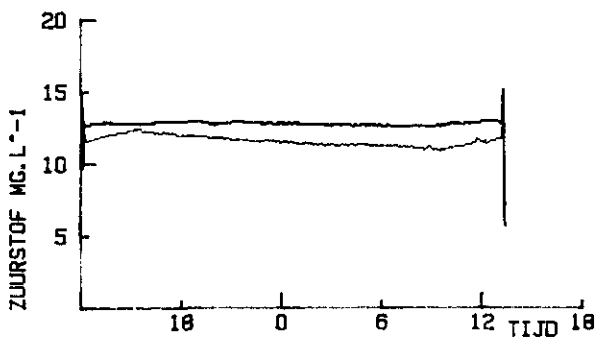
ZUID



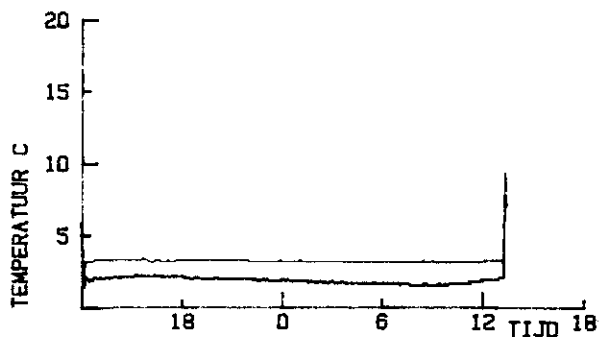
NOORD



ZUID
ENCL

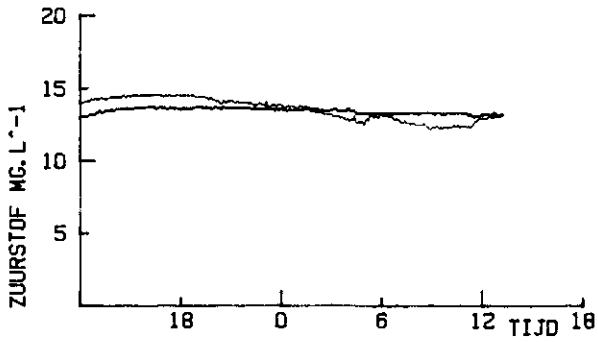
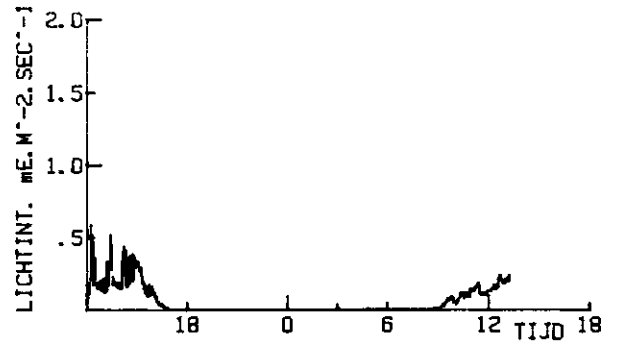
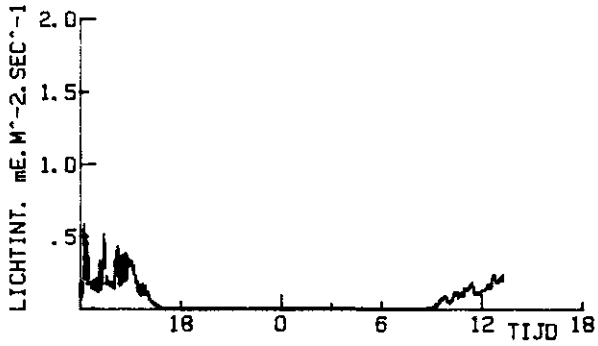


NOORD
ENCL

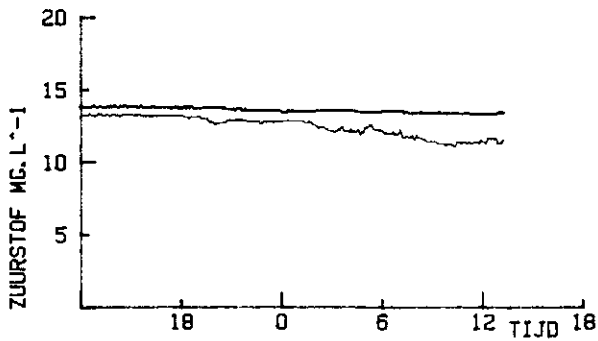
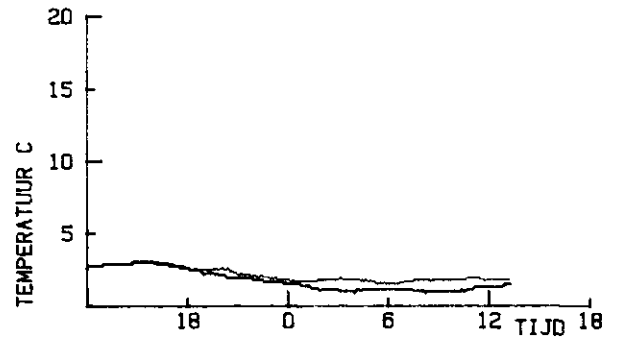


OPPERVLAK
BODEM

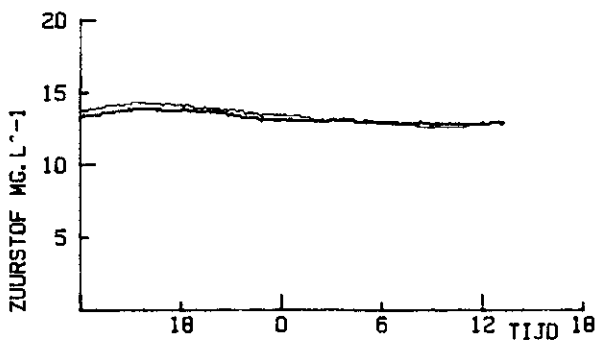
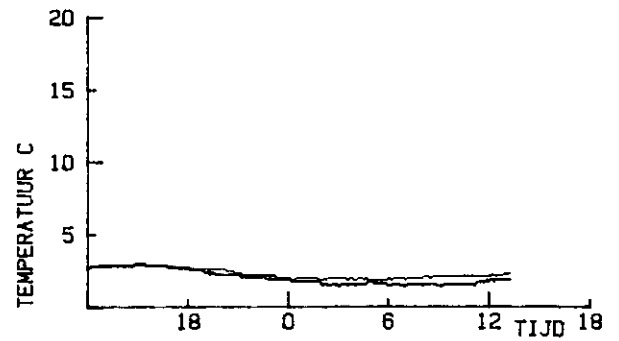
17 - 18 JANUARI 1984



ZUID

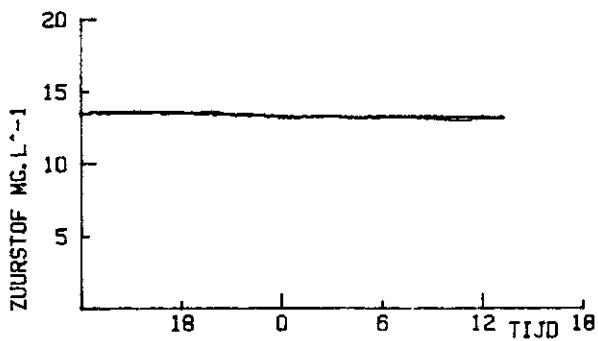
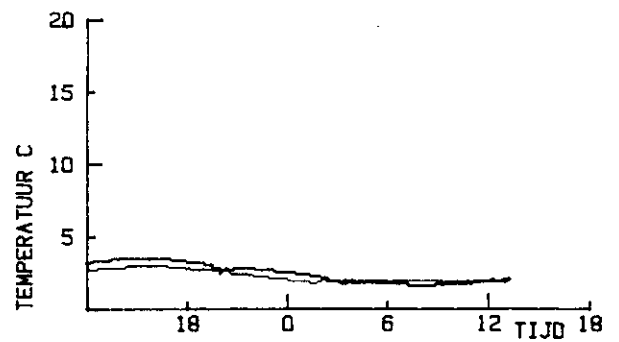


NOORD



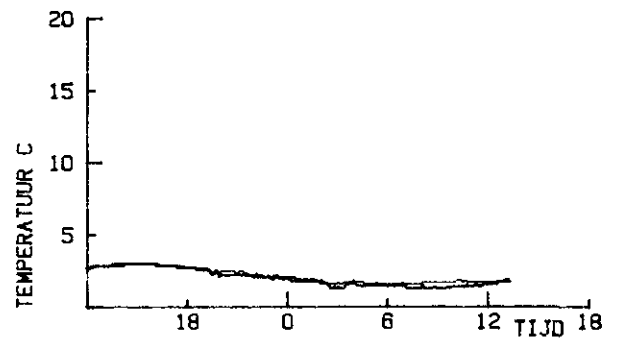
ZUID

ENCL



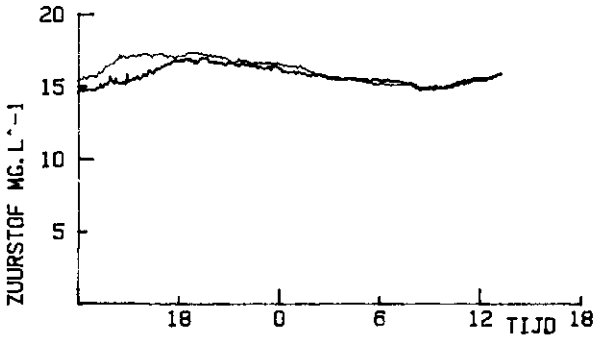
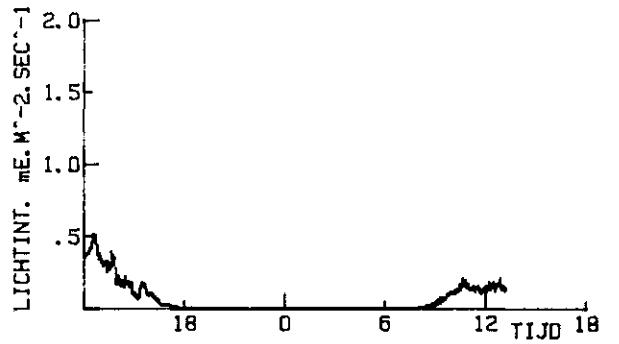
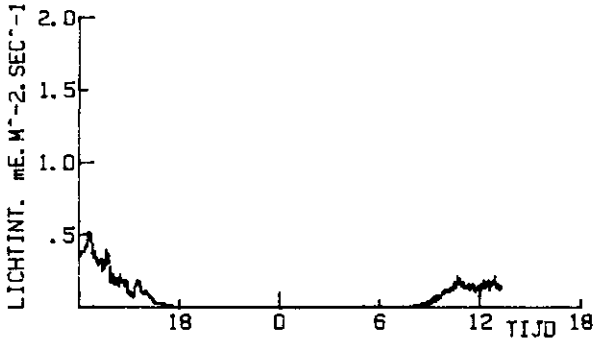
NOORD

ENCL

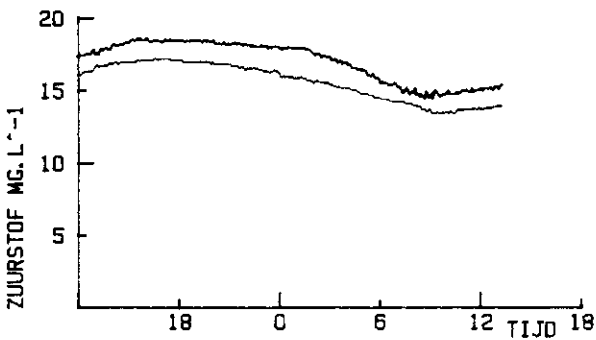
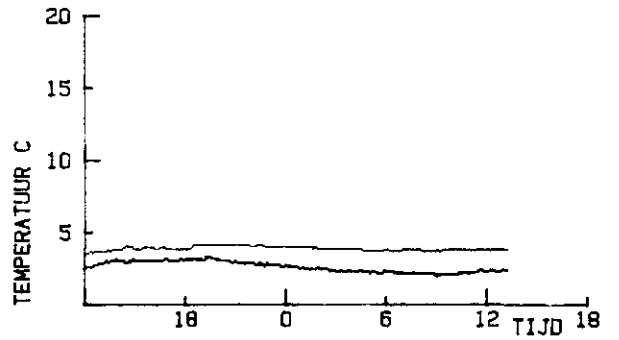


OPPERVLAK
BODEM

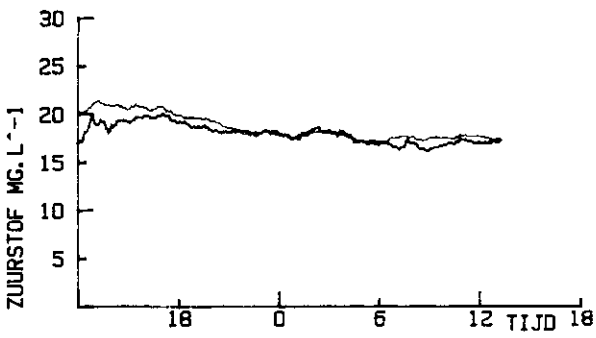
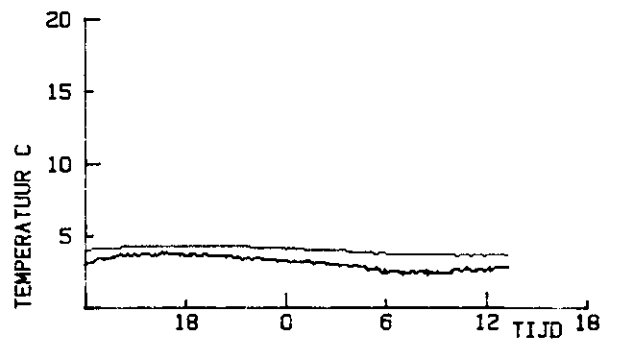
22 - 23 FEBRUARI 1984



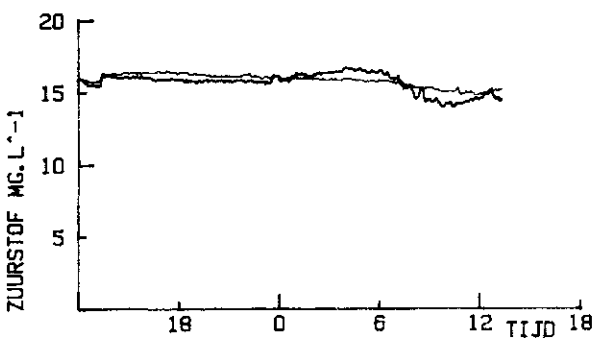
ZUID



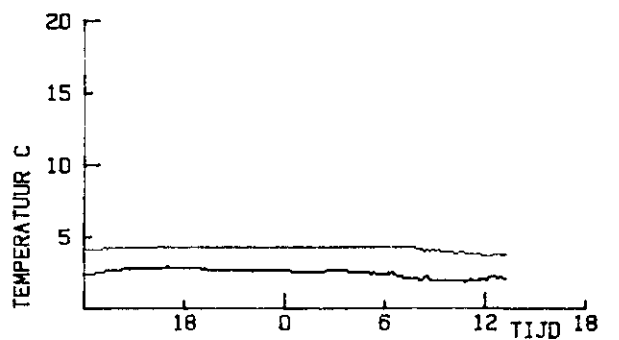
NOORD



ZUID
ENCL

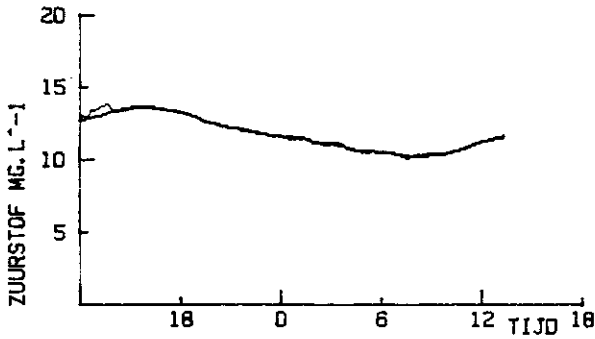
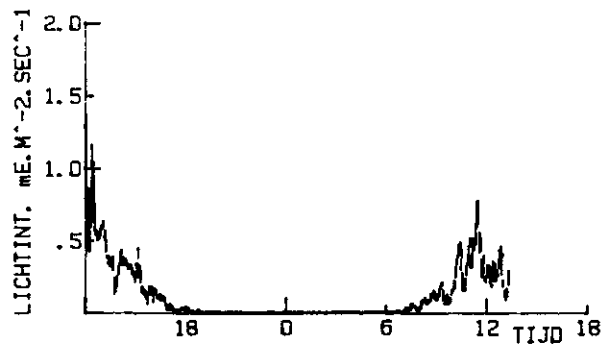
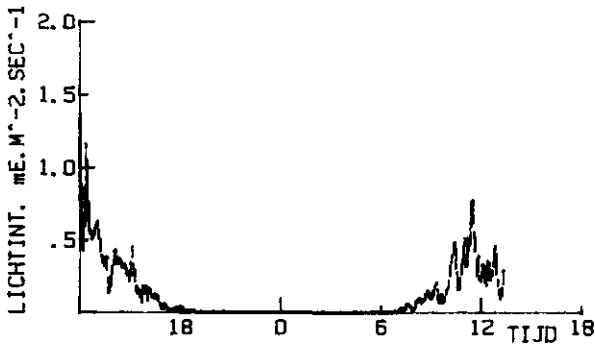


NOORD
ENCL

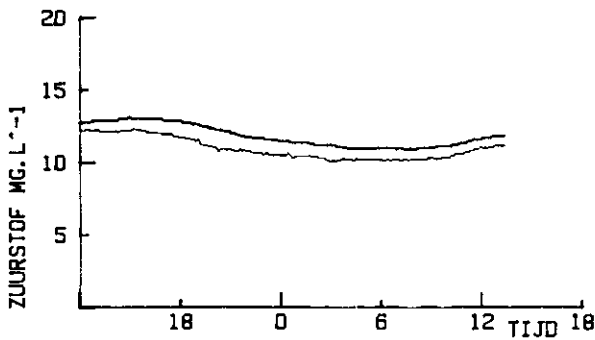
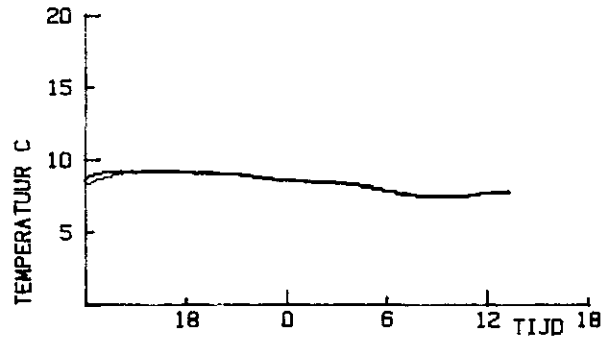


OPPERVLAK
BODEM

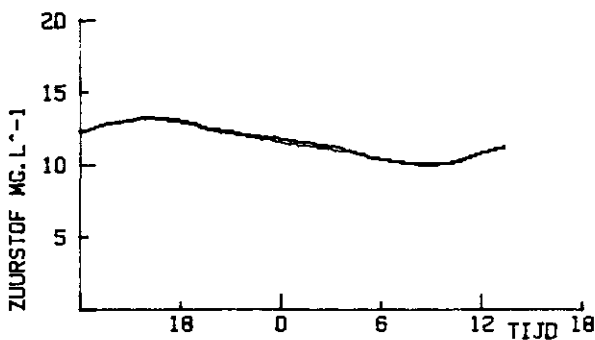
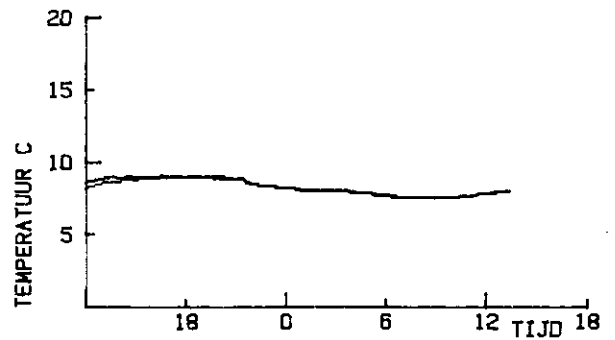
28 - 29 MAART 1984



ZUID

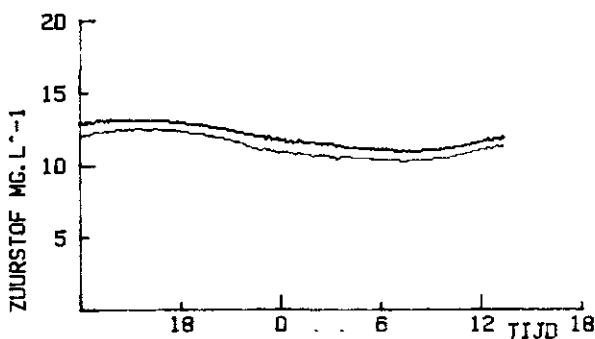
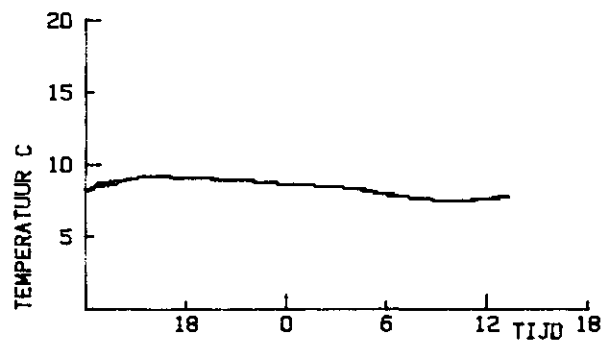


NOORD



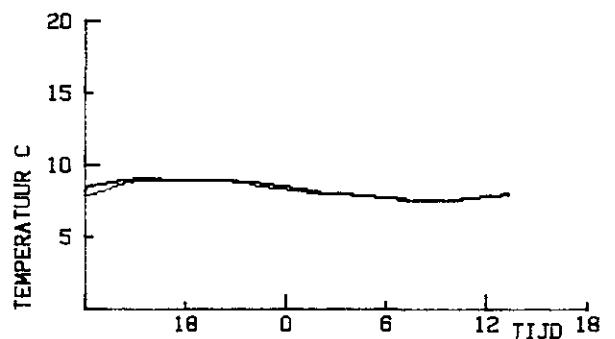
ZUID

ENCL



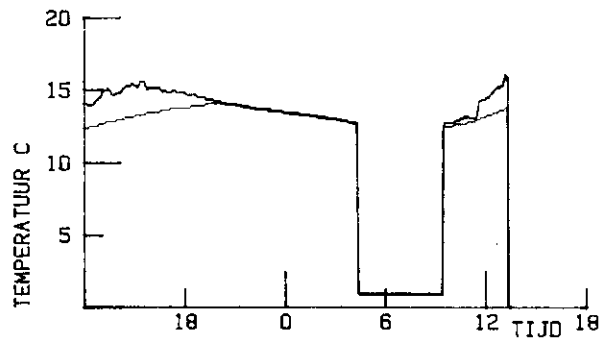
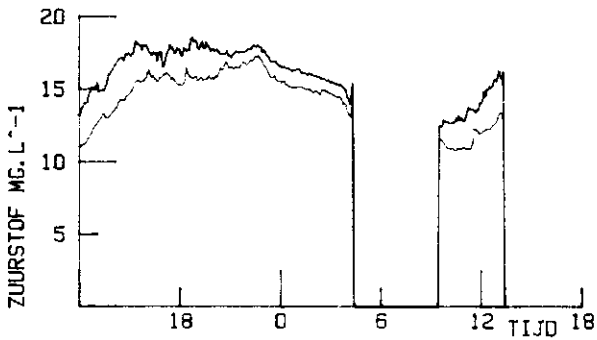
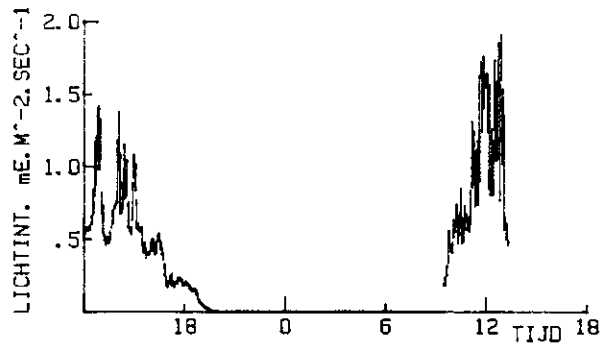
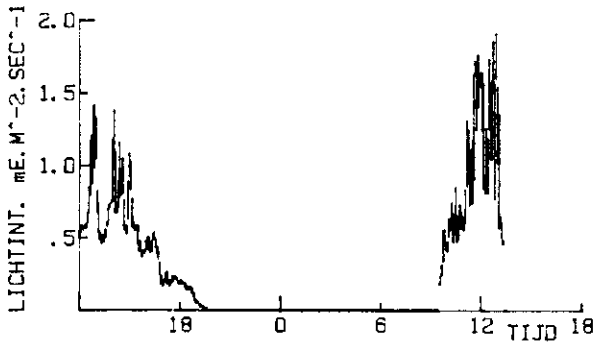
NOORD

ENCL

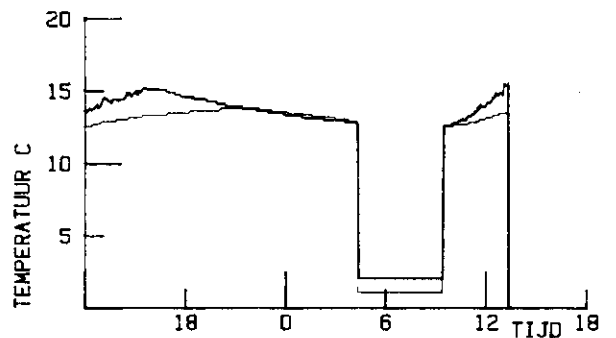
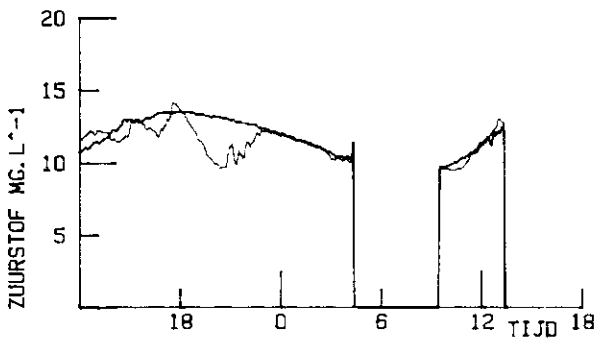


OPPERVLAK
BODEM

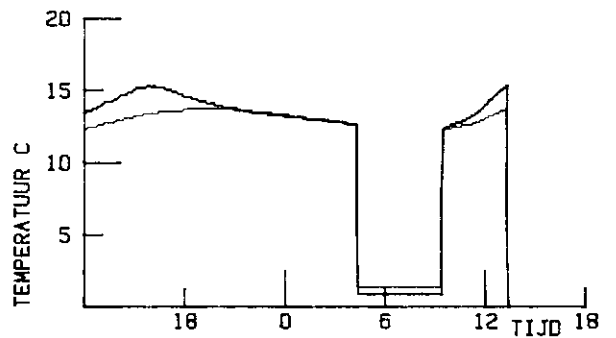
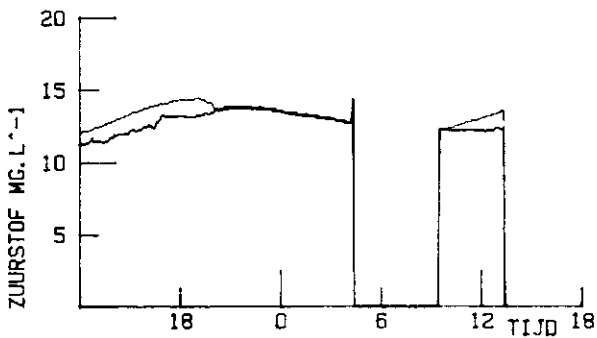
2 - 3 MEI 1984



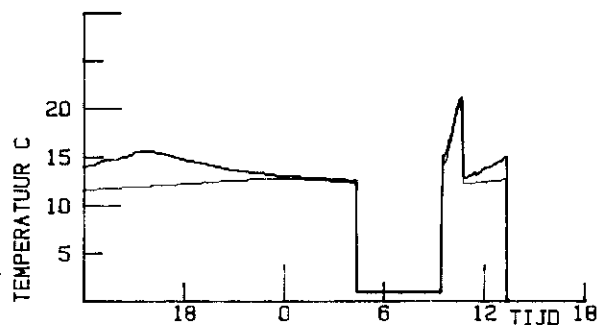
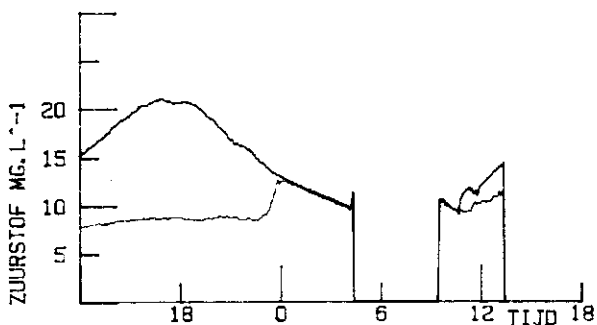
ZUID



NOORD



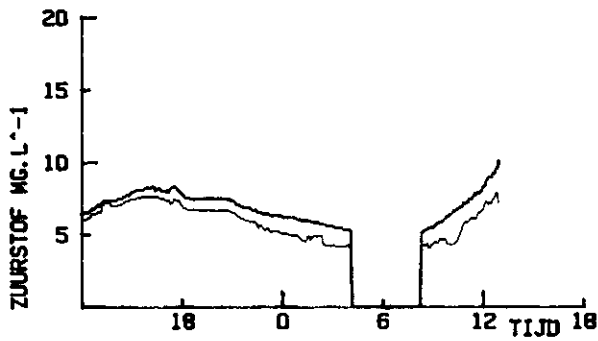
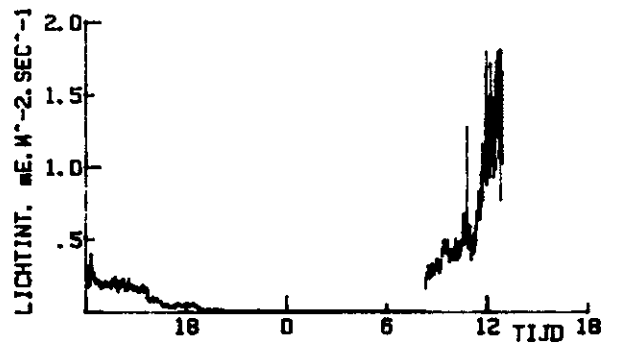
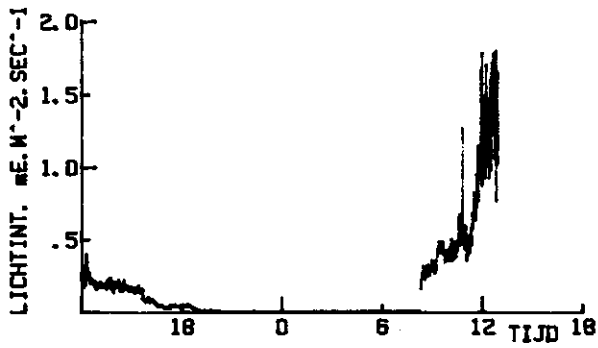
ZUID
ENCL



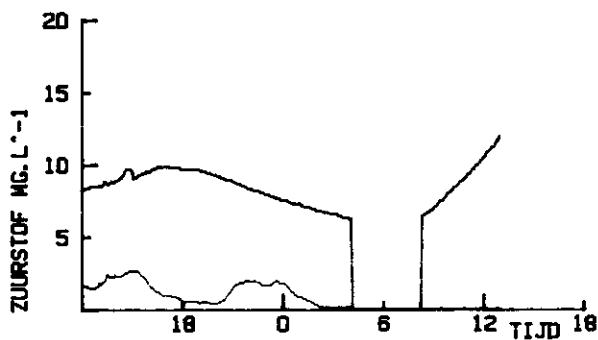
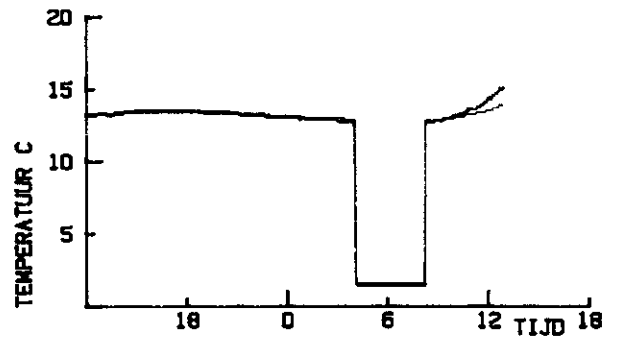
NOORD
ENCL

OPPERVLAK
BODEM

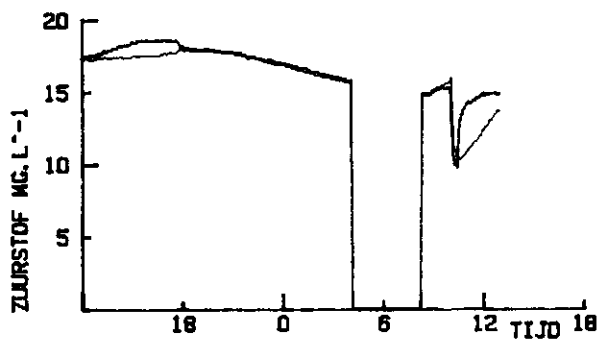
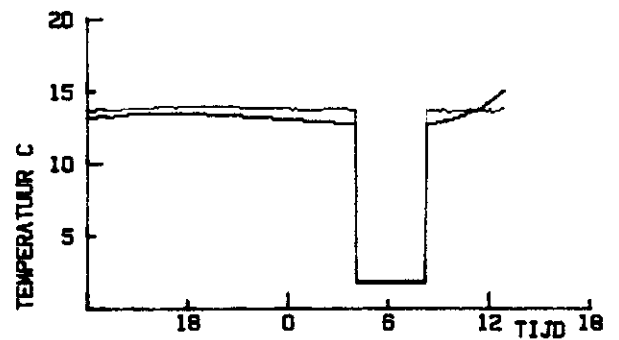
29 - 30 MEI 1984



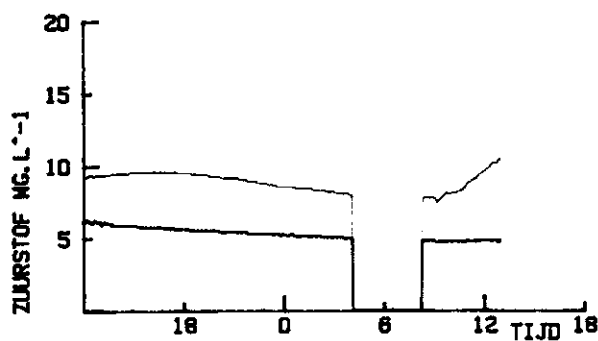
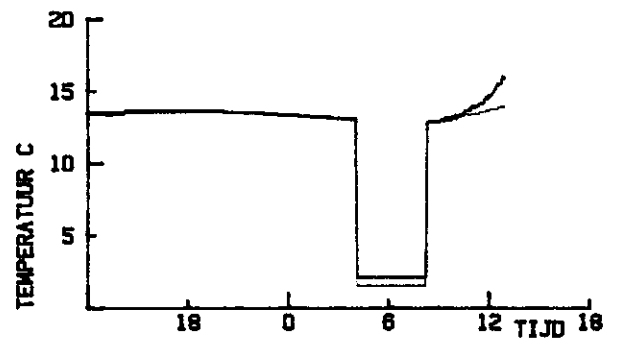
ZUID



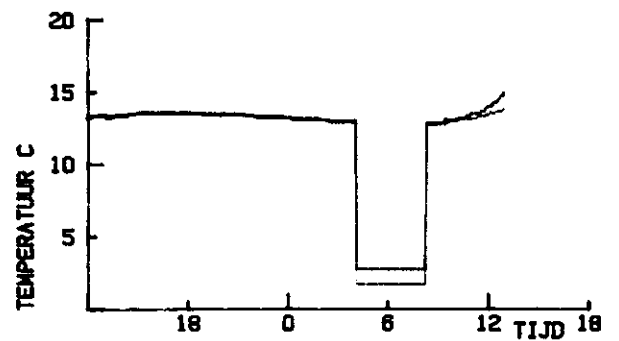
NOORD



ZUID
ENCL

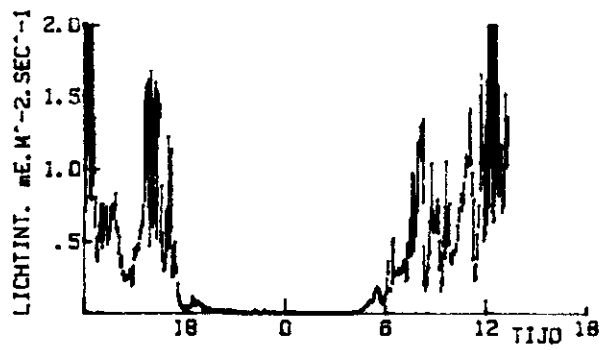
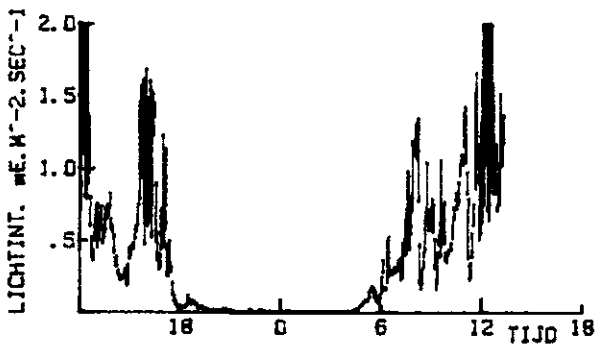


NOORD
ENCL

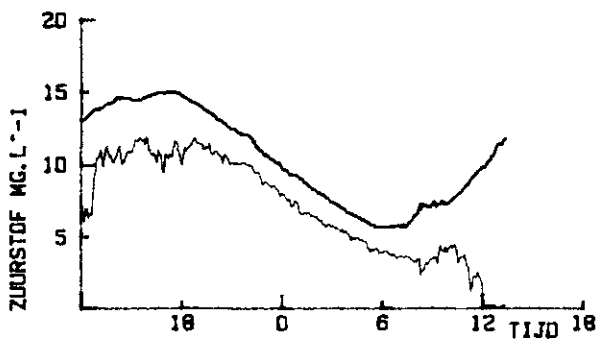
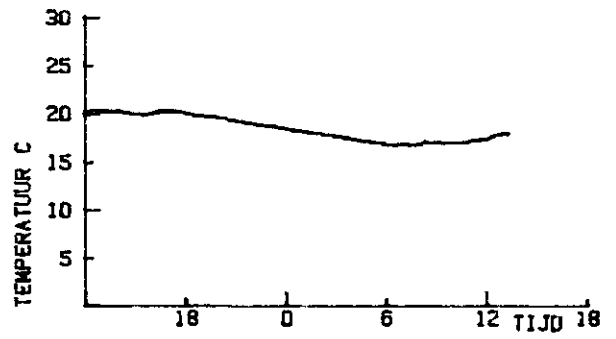


OPPERVLAK
BODEM

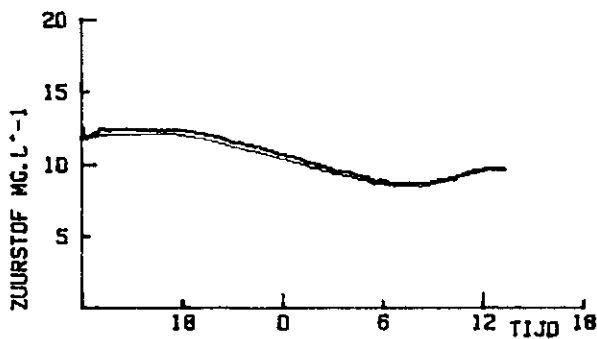
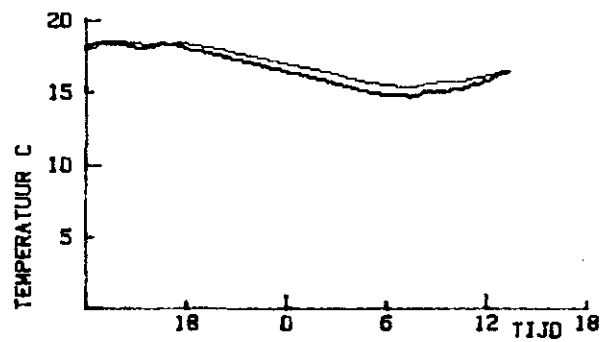
27 - 28 JUNI 1984



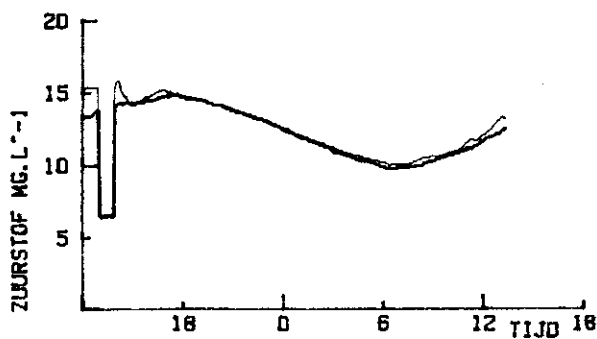
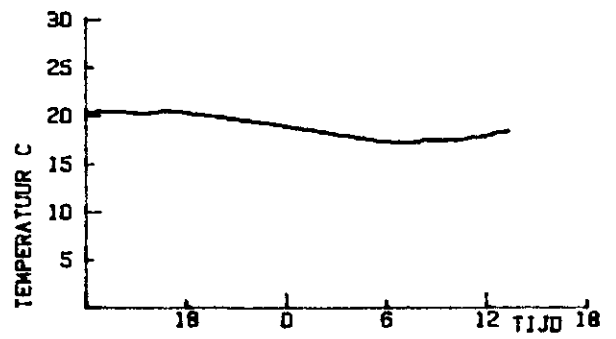
ZUID



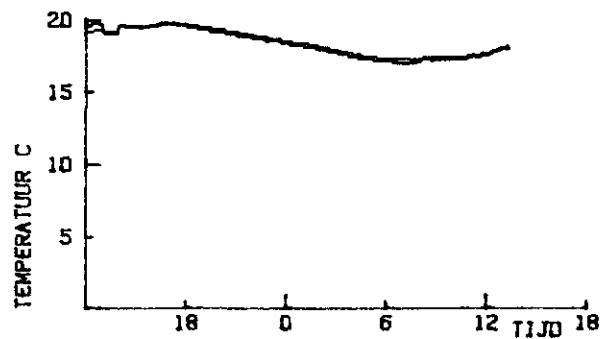
NOORD



ZUID
ENCL

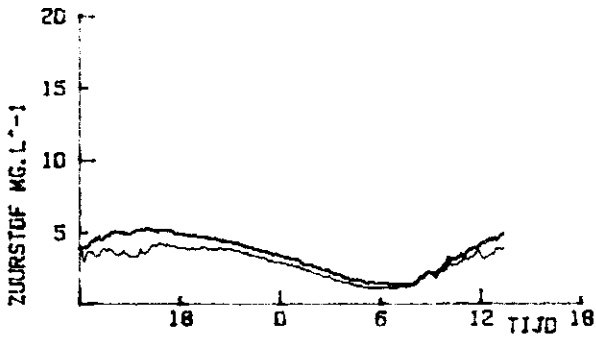
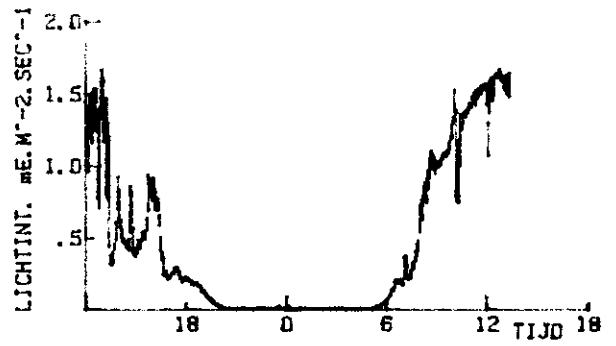
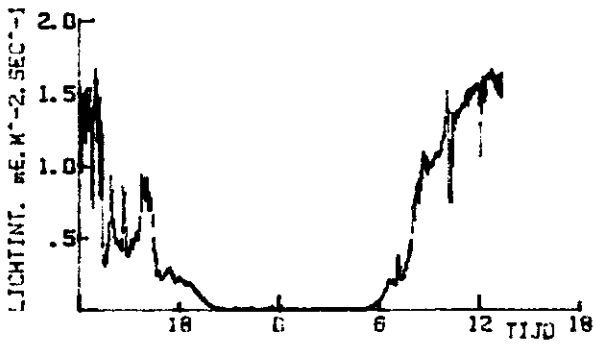


NOORD
ENCL

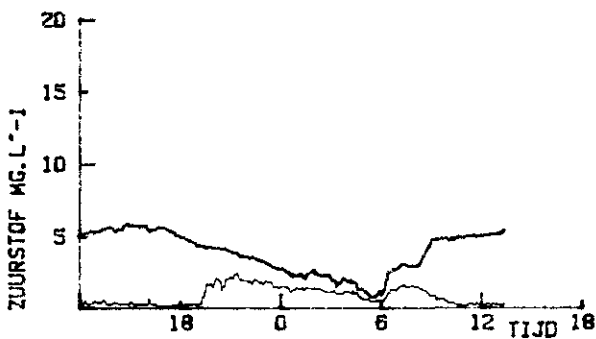
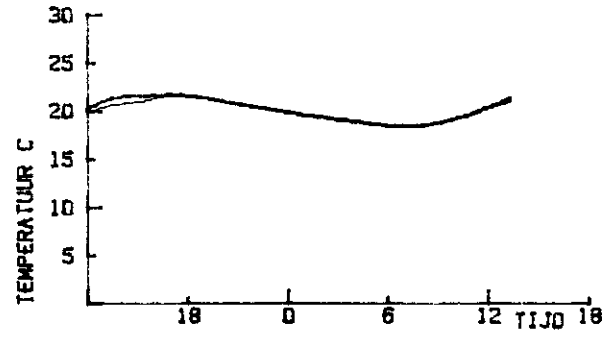


OPPERVLAK
BODEM

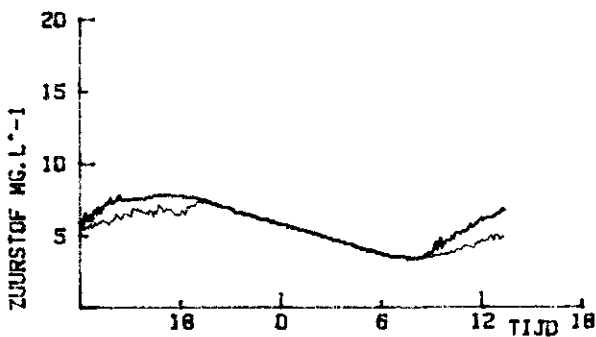
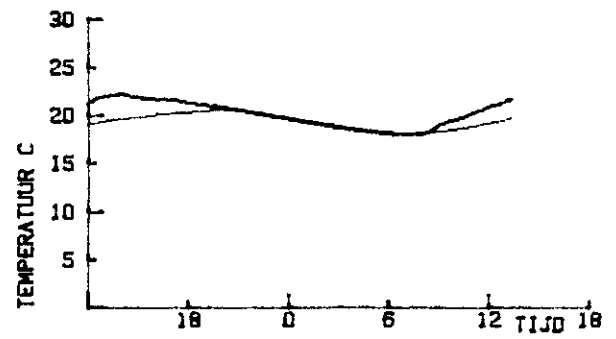
8 - 9 AUGUSTUS 1984



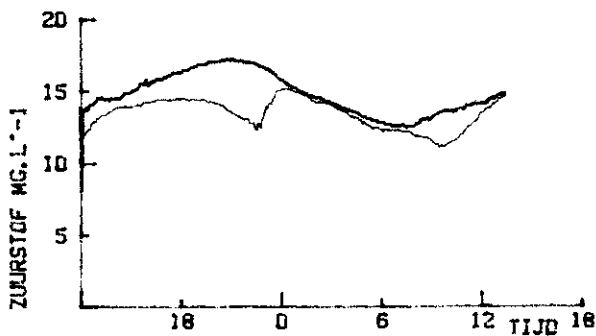
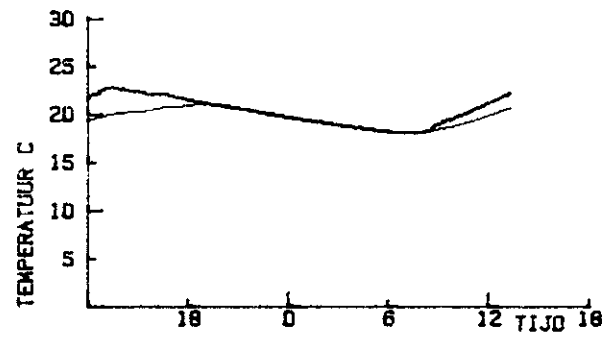
ZUID



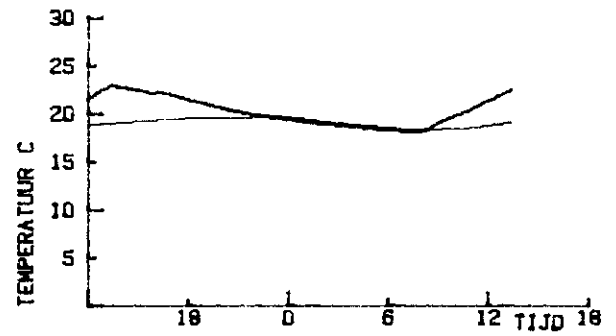
NOORD



ZUID
ENCL



NOORD
ENCL



OPPERVLAK
BODEM

De volgende RIN-rapporten kunnen besteld worden door overschrijving van het verschuldigde bedrag op giro 516 06 48 van het RIN te Leersum onder vermelding van het rapportnummer. Uw giro-overschrijving geldt als bestelformulier. Toezending geschiedt franco.

- 85/1 P.Opdam & S. Woldhek, De invloed van roofvogels en uilen op hun prooidieren; een literatuuronderzoek. 33 p. f 6,50
- 85/2 G.M.Dirkse, Sphagnum sect. Subsecunda in Nederland. 28 p. f 5,40
- 85/4 F.Niewold, Hondsdolheid in het Nederlandse grensgebied. I. De periode tot 1980. 29 p. f 5,20
- 85/7 A.W.M.Mol, Hydrobiologische districten in Nederland. 50 p. f 7,30
- 85/8 L.H.H.van Vliet, Mogelijke gevolgen van anorganische en organische stoffen in baggerspeciedepots voor daar aanwezige of zich ontwikkelende bodem- en zoöfauna. 152 p. f 19,45
- 85/9 H.P.M.Hillegers, De stinzenflora van Zuid-Limburg. 53 p. f 7,60
- 85/10 H.Eijsackers, Onderzoek naar zware metalen en zure regen in Zweden. 41 p. f 6,40
- 85/11 M.Aerts, De effectiviteit van angstkreten bij verjaging van roeken *Corvus frugilegus* L. in de landbouw. 98 p. f 14,-
- 85/12 S.Broekhuizen & H.Vink, De dassen van Utrecht en het Gooi; een populatie in de schaduw van het uitsterven. 19 p. f 4,20
- 85/13 K.S.Dijkema e.a., Cumulatie van ecologische effecten in de Waddenzee. 105 p. f 14,75
- 85/15 A.J.de Bakker & H.F.van Dobben, Inventarisatie van epifytische lichenen in Midden-Nederland en de Meijepolder. 37 p. f 6,-
- 85/16 L.M.J. van den Bergh, Ganzenpleisterplaatsen in Nederland. 58 p. + bijlagen. f 14,50
- 85/17 W.Ma & W.H.Diemont, Het kweken van regenwormen in heidecompost en vermicompostering. 43 p. f 6,60
- 85/18 N.Dankers & K.Zegers, Maatregelen ter voorkoming van verdrinking van zeehonden en hun effecten op de visvangst in harderfuiken. 10 p. f 2,60
- 85/19 P.J.H.Reijnders, Verdrinking van zeehonden in fulken. 10 p. f 2,60
- 85/20 H.M.Beijs & G.J.Baaijens, Effecten van ingrepen in de waterhuishouding op de vegetatie in het Beerzedal. 20 p. f 4,50
- 85/21 A.W.M.Mol, De literatuur over Nederlandse aquatische macrofauna tot 1983. 176 p. f 22,-
- 85/22 W.J.Wolff, Het effect van natuur- en milieubescherpende maatregelen op de levensgemeenschappen van de Waddenzee. 18 p. f 3,40
- 85/23 M.A.Binsbergen & W.J.Wolff, Verslag van een oriënterend onderzoek naar de bodemfauna van de Haaksgronden nabij Texel. 28 p. f 5,-
- 85/24 J.B.M.Thissen & M.J.S.M.Reijnen, Effect van verkeer op broedvogels in populierenbossen en grienden. 90 p. f 13,25
- 86/2 N.Dankers e.a., De effecten van het stoppen van de stroming op een mosselbank. 24 p. f 5,50
- 86/4 A.W.M.Mol, Overzicht van de hydrobiologische literatuur in Noord-Brabant. 356 p. f 43,-
- 86/5 J.G.de Molenaar, Een literatuurstudie naar vogelsterfte door het opnemen van hagelkorrels. 16 p. f 4,-
- 86/6 H.M. Beijs, Onderzoek de effecten van militaire oefeningen op bodem, vegetatie en fauna. Rapport 16. Samenvattend rapport. 94 p. f 10,-
- 86/7 M.Nooren, Inventarisatie van de houtwallen in het Nationale Park De Hoge Veluwe. 49 p. f 8,-
- 86/8 M.Nooren, Over het verleden van de Hoge Veluwe. 89 p. f 13,50
- 86/9 K.Stoker, De verspreiding van rode bosmieren op de Hoge Veluwe. 110 p. f 15,60
- 86/10 W.Denneman e.a., Zware metalen en hun effecten op natuurwaarden; een case study over de Brabantse Kempen. 76 p. f 12,-
- 86/11 H.N.Leyns, Geologische en vegetatiekundige aspecten van de holwortel (*Corydalis cava*). 132 p. f 19,-
- 86/12 J.A.Sinkeldam, Het plankton van de zandwinplas 'de Kuilen' in het Kuinderbos van 1981-1983. 77 p. f 12,-
- 86/13 M.Platteeuw, Effecten van geluidhinder door militaire activiteiten op gedrag en ecologie van wadvogels. 50 p. f 7,50
- 86/14 N.Dankers, Onderzoek naar de rol van de mossel en de mosselcultuur in de Waddenzee. 36 p. f 6,-
- 86/16 G.Hanekamp & R.M.Beijs, Natuurwetenschappelijke aspecten van het machinaal plaggen van heide. 36 p. f 6,-
- 86/17 G.Visser, Verstoringen en reacties van overtuigende vogels op de Noordvaarder (Terschelling) in samenhang met de omgeving. 221 p. f 27,50
- 86/18 C.J.Smit, Oriënterend onderzoek naar veranderingen in gedrag en aantallen van wadvogels onder invloed van schietoefeningen. 44 p. f 7,-
- 86/19 B.van Noorden, Dynamiek en dichtheid van bosvogels in gefsoleerde loofbosfragmenten. 60 p. f 8,50
- 87/5 K.Kersting, Zuurstofhuishouding van twee poldersloten in de polder Denmerik. 63 p. f 11,-
- 87/6 G.F.Willemsen, Bijzondere plantesoorten in het nationale park de Hoge Veluwe; voorkomen en veranderingen. 92 p. f 13,50
- 87/7 M.J.Nooren, Het verleden van de houtwallen in het nationale park de Hoge Veluwe. 23 p. f 4,-
- 87/8 G.Groot Bruinderink, D.Kloeg & J.Wolkers, Het beheer van de wilde zwijnen in het Meinweggebied (Limburg). 100 p. f 14,50
- 87/10 P.Doelman, M.Fredrix & H.Schmiermann, Microbiologische afbraakprocessen als saneringsmethode van met bestrijdingsmiddelen verontreinigde gronden. 225 p. f 27,50