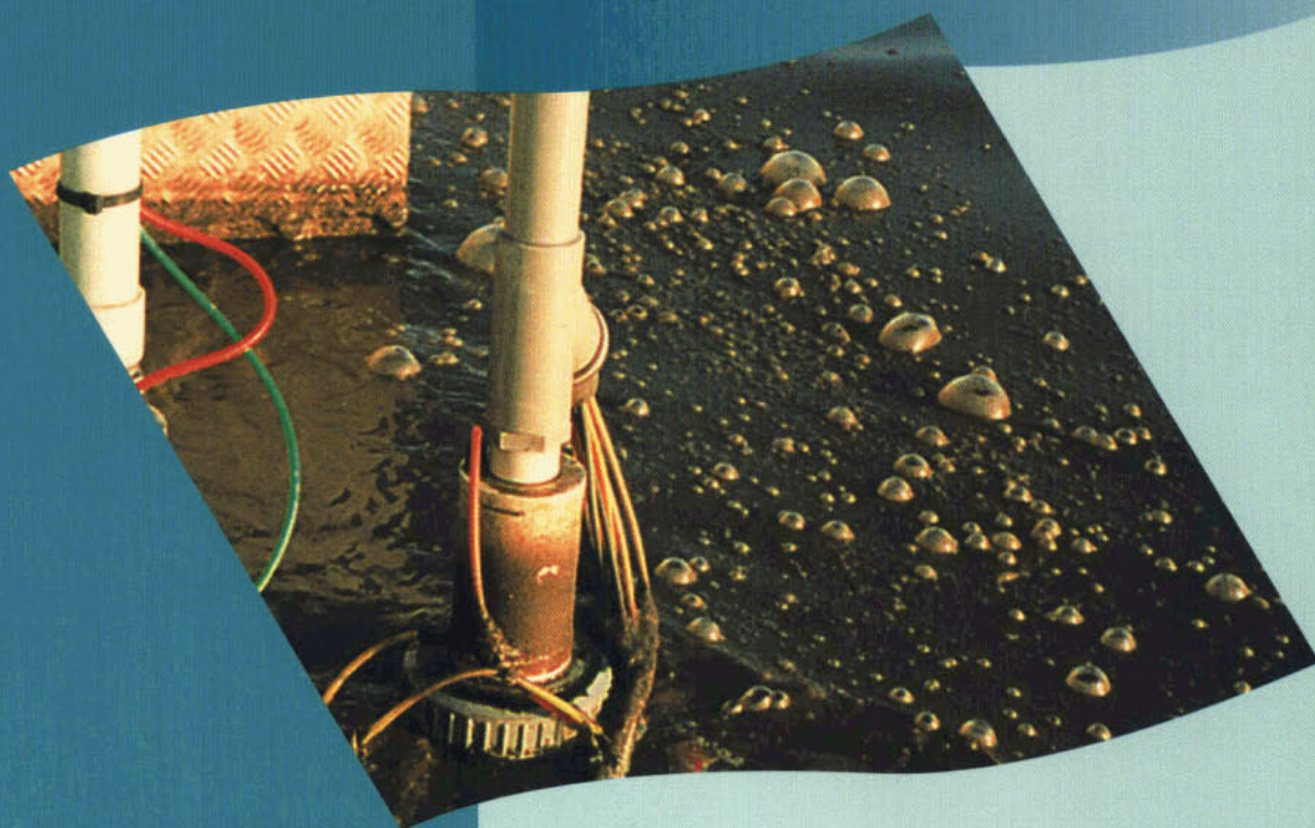


Procesbesturing van oxydatiesloten op basis van respirometrie

*Meet- en regelstrategieën voor de rwzi
Beemster*



97

w 02

Procesbesturing van oxydatiesloten op basis van respirometrie

*Meet- en regelstrategieën voor de rwzi
Beemster*

97 w 02

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:

Hageman Verpakkers BV
Postbus 281

2700 AC Zoetermeer
tel. 079 - 361 11 88
fax 079 - 361 39 27

o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.
ISBN 90.74476.95.3

SAMENVATTING

In de periode oktober 1995 t/m april 1996 is door het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier in samenwerking met Grontmij Advies & Techniek BV het praktijkonderzoek 'Procesbesturing van oxydatiesloten met respirometrie' uitgevoerd. Dit project vond plaats in het kader van het STOWA-project 'Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk'.

De belangrijkste doelstelling van het project was het ontwikkelen van een procesbesturing op basis van een on-line respiatiemeter, waarbij vergaande stikstofverwijdering in acht wordt genomen.

Voor het project is gebruik gemaakt van een MSL-respiatiemeter. Kenmerkend is dat de meter direct in het actief slib kan worden geplaatst. Het signaal dat door de respiatiemeter wordt gegenereerd, is een maat voor de zuurstofvraag van het actief slib.

De geteste regeling was vrij eenvoudig; afhankelijk van het toenemen of afnemen van de zuurstofvraag worden er één of meer beluchters bij- of afgeschakeld.

Uit de resultaten komt naar voren dat regeling van de beluchting op basis van respirometrie goed mogelijk is. Er is een $N_{\text{ totaal }}$ -gehalte in het effluent haalbaar van 5,7 mg/l. Hiermee wordt de doelstelling met betrekking tot de streefwaarde van 8 mg/l $N_{\text{ totaal }}$ gerealiseerd.

In vergelijking met de zuurstofregeling is de effluentkwaliteit van de respiratieregeling iets minder goed. Het verschil is echter klein. Het energieverbruik is bij regeling op basis van respirometrie 3 à 4 % lager.

Een ander voordeel van de respiratieregeling is het beschikbaar komen van gedetailleerde informatie over de actuele zuurstofvraag van het actief slib.

De respiatiemeting is weinig storingsgevoelig, is qua aanschafkosten vergelijkbaar met bijvoorbeeld een ammoniumanalyser (exclusief de kosten voor aanschaf van een ultrafiltratie-unit), maar is qua exploitatiekosten goedkoper. Het is wel van belang dat het personeel goed wordt geïnstrueerd over de werking van de respiatiemeter.

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING	3
2 ACHTERGROND	4
3 DOELSTELLING	5
4 BESCHRIJVING VAN DE RWZI BEEMSTER	6
5 PROEFOPZET	7
5.1 Beschrijving van de respiratiemeting	7
5.2 Beschrijving van de regeling	8
5.3 Fasering van het onderzoek	9
5.4 Bemonstering en analyse	9
5.4.1 Bemonstering	9
5.4.2 Standaardanalyses	10
5.4.3 Procescondities	10
5.4.4 Bijzondere metingen	11
5.4.5 On-line monitoren	11
6 SIMULATIE	12
6.1 Doelstelling	12
6.2 Modellerings	12
6.2.1 Opzet van de simulaties	12
6.2.2 Resultaten	13
6.3 Conclusies	14
7 EVALUATIE VAN DE RESULTATEN	15
7.1 Resultaten van de respiratieregeling	15
7.2 Statistische gegevensvergelijking	15
7.3 Bedrijfsvoeringsaspecten	16
7.4 Kosten	16
7.5 Mogelijkheden tot verdere optimalisatie	16
8 CONCLUSIES	17
Bijlage 1: Overzicht van medewerkers	
Bijlage 2: Processchema van de rwzi Beemster	
Bijlage 3: Dimensioneringsgegevens van de rwzi Beemster	
Bijlage 4: Resultaten van de simulatie	
Bijlage 5: Resultaten van periode A	
Bijlage 6: Resultaten van periode B	
Bijlage 7: Resultaten van periode C	
Bijlage 8: Resultaten van periode D	
Bijlage 9: Belasting van de rwzi in de proefperioden	
Bijlage 10: Verloop van de SVI en de slibproductie	
Bijlage 11: Statistische gegevensvergelijking	
Bijlage 12: Vergelijking van de O ₂ -regeling en de respiratieregeling met behulp van simulatie	

1 INLEIDING

In dit rapport worden de resultaten van het praktijkonderzoek 'Procesbesturing van oxydatiesloten op basis van respirometrie' weergegeven.

Het onderzoek is uitgevoerd door het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier in samenwerking met Grontmij Advies & Techniek BV op de rwzi Beemster. Het project is het vervolg op een in april/mei 1995 uitgevoerde kortdurende test met regeling van de beluchting op basis van de respiratiemeting.

Het onderzoek is uitgevoerd in de periode oktober 1995 t/m april 1996.

Het onderzoek is begeleid door de STOWA in het kader van het project 'Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk'. Deze STOWA-begeleidingscommissie heeft parallel in werkgroepverband meerdere onderzoeken van waterkwaliteitsbeheerders begeleid.

In *bijlage 1* is een overzicht opgenomen met personen die een bijdrage aan het onderzoek hebben geleverd.

In hoofdstuk 2 wordt op de achtergrond van het project ingegaan. De doelstelling van het project wordt beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de rwzi Beemster. De proefopzet van het praktijkonderzoek is weergegeven in hoofdstuk 5. Hier wordt onder meer ingegaan op de keuze en beschrijving van de regeling. In hoofdstuk 6 wordt nader ingegaan op de simulatie.

De resultaten van het onderzoek zijn weergegeven in hoofdstuk 7. In hoofdstuk 8 wordt afgesloten met conclusies.

2 ACHTERGROND

Het Hoogheemraadschap heeft het beleid vastgesteld om met ingang van 1995 respectievelijk 2003 75 % van de op de rwzi's aangevoerde vrachten totaalfosfaat en -stikstof uit het afvalwater te verwijderen.

In het kader van het STOWA-project 'Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk' is het onderzoek van 'Ontwikkeling van een procesbesturing voor oxydatiesloten' als één van de participatieprojecten geselecteerd.

Aangezien Uitwaterende Sluizen een groot aantal omloopreactoren beheert, is het onderzoek afgestemd op de ontwikkeling van een procesbesturing voor oxydatiesloten. De huidige rwzi's worden bestuurd op basis van zuurstofmeting. Voor het realiseren van het P- en N-beleid wordt een aantal rwzi's uitgebreid en zal er scherper moeten worden gestuurd. Deze uitgebreide rwzi's zullen in eerste instantie worden geregeld op basis van zuurstofmeting. Afhankelijk van de resultaten van het onderzoek zullen andere regelingen worden geïmplementeerd.

Het onderzoek is uitgevoerd op de rwzi Beemster, aangezien deze rwzi representatief is voor een groot aantal rwzi's in beheer bij Uitwaterende Sluizen.

In het kader van het onderzoek 'Ontwikkeling van een procesbesturing voor oxydatiesloten' zijn in de periode november 1994 t/m november 1996 vier verschillende regelingen beproefd. Een deel van het onderzoek betrof een kortdurende test met het regelen van de beluchting op basis van respiratiemeting. Uit dit kortdurende onderzoek bleek dat regeling van de beluchting op basis van respiratiemeting mogelijk was; er was echter nog wel aanvullend onderzoek nodig. Ook was het toepassen van simulatie noodzakelijk ten behoeve van het optimaal instellen van de regeling. Hierdoor zou kunnen worden voorkomen dat er in de praktijk veel tijd wordt besteed aan het zoeken naar de juiste instelling van de regeling/regelaar.

In dit rapport wordt alleen ingegaan op de resultaten van de regeling op basis van respirometrie. De resultaten van de andere regelingen zijn separaat gerapporteerd¹.

¹ 'Ontwikkeling van een procesbesturing voor oxydatiesloten - vergelijking van een zuurstof-, een ammonium/zuurstof- en een nitraat/ammonium/zuurstofregeling', STOWA/Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, Edam, 1997, rapport 97-W-03

3 DOELSTELLING

De doelstelling van dit onderzoek is driedelig:

- het ontwikkelen van een procesbesturing voor de zuurstofinbreng in oxydatiesloten op basis van een on-line respiratiemeter, waarbij vergaande stikstofverwijdering in acht wordt genomen;
- het optimaliseren van de procesbesturing op basis van de respiratiemeter;
- het vaststellen van technologische, operationele en financiële kentallen voor de procesbesturing.

Bij het optimaliseren van de procesbesturing worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- N_{totaal} moet minimaal voldoen aan de streefwaarde voor de rwzi Beemster voor 1995 (N_{totaal} 8 mg/l);
- stabiele procesvoering;
- in staat zijn piekbelastingen op te vangen;
- in staat zijn seizoeninvloeden (temperatuurverschillen) op te vangen;
- minimaliseren van het energieverbruik;
- behoud van slibbezinkeigenschappen;
- betrouwbaar;
- eenvoudige bediening en onderhoud;
- kostentechnisch interessant.

4 BESCHRIJVING VAN DE RWZI BEEMSTER

De ontwerpcapaciteit van de rwzi Beemster bedraagt na de uitbreiding in 1992 96.300 i.e. (op basis van 54 g BZV). De hydraulische capaciteit van de rwzi bedraagt 3600 m³/uur. Het afvalwater wordt aangevoerd via verschillende persleidingen, die vlak voor de rwzi worden samengevoegd tot één persleiding. Het effluent wordt geloosd op het Noordhollandsch Kanaal.

In *bijlage 2* is een processchema van de rwzi Beemster weergegeven.

De waterlijn bestaat uit een carrousel met een onbeluchte selector. Voor de fosfaatverwijdering wordt ijzer(II)sulfaat gedoseerd in de carrousel.

De bestaande rwzi is in 1992 uitgebreid met extra beluchtingscapaciteit.

De ontwerp-slibbelasting van de rwzi is 0,071 kg BZV/(kg ds.dag). De effluenteisen staan vermeld in *tabel 1*.

parameter	eenheid	minimum	gemiddeld ¹	maximum
pH	-	6,5		8,5
onopgeloste bestanddelen	mg/l		≤ 15	
BZV	mg/l		≤ 10	
N _{Kjeldahl}	mg/l		≤ 10	
P _{totaal}	mg/l		≤ 2	

¹ bepaald als voortschrijdend gemiddelde in 10 opeenvolgende volumeproportionele etmaalmonsters

Tabel 1: Overzicht van de lozingseisen voor de rwzi Beemster

De sliblijn bestaat uit een drietal gravitatie-indikkers en twee ontwateringscentrifuges. Hier wordt het slib ontwaterd tot circa 22% droge-stof. Sinds eind 1995 wordt het ontwaterde slib afgevoerd naar de slibdrooginstallatie in Beverwijk.

In *bijlage 3* zijn de belangrijkste dimensioneringsgegevens van de rwzi weergegeven.

De rwzi wordt door middel van een PLC met beeldschermbesturing geregeld.

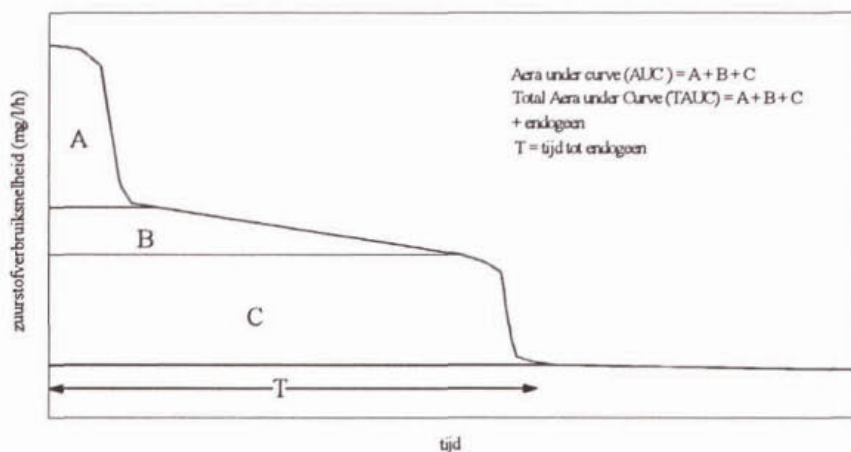
5 PROEFOPZET

5.1 Beschrijving van de respiratiemeting

Voor de regeling is een on-line respiratiemeter van Minworth Systems Ltd. gebruikt. Uitwaterende Sluizen had met de MSL-respiratiemeter eerder ervaring opgedaan op de rwzi Ursem. De respiratiemeter bestaat uit een bal met een inhoud van 4,2 liter, die rechtstreeks in het beluchtingscircuit is geplaatst. De bal is voorzien van een pneumatisch gestuurde klep om een nieuw monster actief slib in de bal te laten of om een gebruikt monster pneumatisch te verwijderen. In de bal bevinden zich een menger en een zuurstofelectrode. Het nieuwe monster wordt belucht tot een bepaald in te stellen zuurstofgehalte. Hierna wordt de afname van het zuurstofgehalte in de tijd gevolgd (binnen een bepaald zuurstoftraject) ten gevolge van zuurstofconsumptie door de biomassa. De zuurstofafnamesnelheid wordt de respiratiesnelheid genoemd (Oxygen Uptake Rate, of OUR). Vervolgens wordt het monster opnieuw belucht en wordt opnieuw de zuurstofafname gemeten. Het aantal keren herbeluchten is afhankelijk van de zuurstofvraag van het monster. In principe vindt herbeluchting plaats tot het endogene ademhalingsniveau wordt bereikt. Als echter de zuurstofvraag van het monster erg hoog is en het erg lang duurt voor het endogene niveau wordt bereikt, kan aan het aantal keren herbeluchten ook een maximum worden gesteld (om voldoende meetresultaten te krijgen). Via de software van de respiratiemeter kan een aantal instellingen van de respiratiemeter worden gewijzigd. Dit kan via een display bij de meter, of op afstand via een PC. Instellingen die kunnen worden gewijzigd, zijn onder andere: het maximale aantal aëraties, het niveau van de endogene ademhalingsnelheid en de zuurstofsetpoints waartussen de zuurstofconcentratie wordt gevolgd (ΔO_2).

De software berekent automatisch de oppervlakte onder de zuurstofcurves (Area Under the Curve (AUC) en Total Area Under the Curve (TAUC)). Hiermee wordt de totale zuurstofbehoefte van het monster vastgesteld. Een aantal gegevens, waaronder de AUC en een aantal verschillende afnamesnelheden worden opgeslagen in een datalogger. De TAUC-waarde wordt verder naar een analoge uitgang gestuurd, aangezien dat het signaal is waarop wordt gestuurd. Om goed te kunnen volgen wat zich in de respiratiemeter afspeelt, heeft MSL het speciale softwarepakket GFX ontwikkeld. Hiermee kunnen de gegevens uit de datalogger van de respiratiemeter worden beoordeeld en bewerkt.

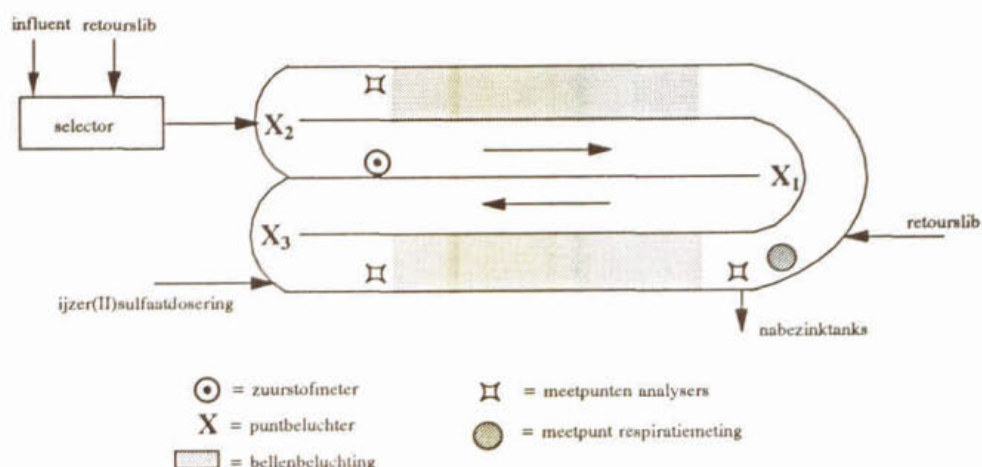
In *figuur 1* is een kenmerkende curve van de zuurstofverbruikssnelheid in nitrificerend actief slib weergegeven. Hier is tevens aangegeven welk deel van het oppervlak de AUC respectievelijk de TAUC (Total Area Under the Curve) weergeeft.



Figuur 1: Kenmerkende curve voor de zuurstofverbruikssnelheid

De TAUC en AUC worden berekend door de OUR (Oxygen Uptake Rate) te vermenigvuldigen met de tijd. Hierdoor hebben beide parameters de eenheid $\text{mg} \cdot \text{min.} / (\text{l} \cdot \text{h})$.

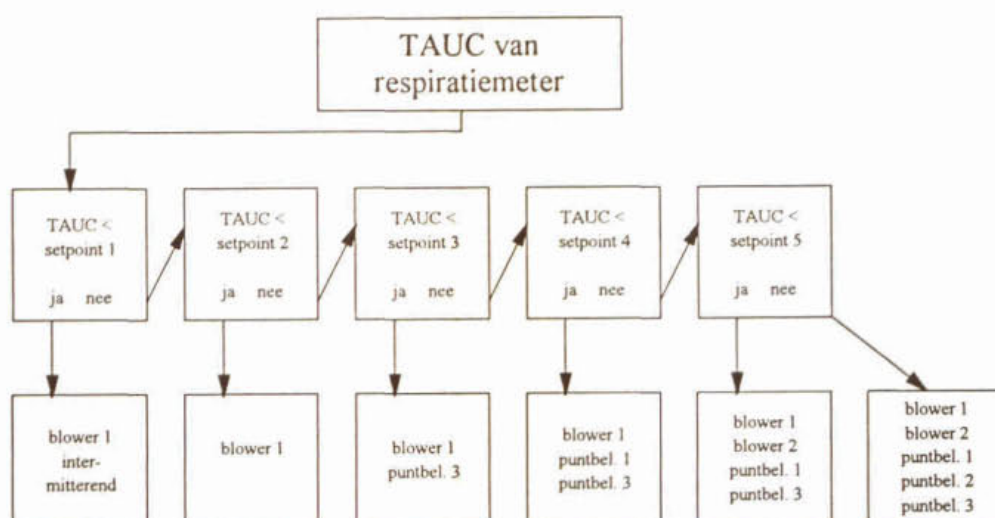
In *figuur 2* is aangegeven op welke plek in het beluchtingscircuit de respiatiemeter is geplaatst. Hierin zijn ook de meetpunten van de on-line analysers (zie paragraaf 5.4.5) en de O_2 -meting weergegeven.



Figuur 2: Meetpunten van de respiatiemeter, analysers en zuurstofmeter

5.2 Beschrijving van de regeling

Voor de regeling is gebruik gemaakt van het TAUC signaal van de respiatiemeter. Op basis van dit signaal vindt directe aansturing van de beluchters plaats. In *figuur 3* is de regeling schematisch weergegeven. Op de volgende pagina wordt het regelschema nader toegelicht.



Figuur 3: Schema van de regeling op basis van de respiatiemeter

Vanuit de respiatiemeter wordt het eerder beschreven TAUC-signaal in de PLC ingelezen. Er wordt vervolgens gecontroleerd of de TAUC boven of onder een bepaald setpoint ligt; op basis hiervan wordt beluchting aan- of uitgeschakeld.

In de PLC is de mogelijkheid aanwezig om de zuurstofinbreng te beperken bij een hoog zuurstofgehalte in de carrousel, of juist niet te beperken bij een laag zuurstofgehalte. Hier is echter in de praktijk geen gebruik van gemaakt.

5.3 Fasering van het onderzoek

In de periode oktober 1995 t/m april 1996 is de regeling onderzocht. In eerste instantie zijn voor de regeling dezelfde setpoints aangehouden als tijdens de kortdurende test in april 1995. Tegelijkertijd werd de regeling gesimuleerd om zodoende de optimale instellingen van de regeling/regelaar te vinden. De uitkomst van de simulatie heeft geleid tot een andere instelling van de setpoints. Hierbij werd een tweede reeks (afwijkende) setpoints geïntroduceerd waarbij de beluchters worden uitgeschakeld. Zie hiervoor verder hoofdstuk 6.

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de setpoints van de regeling in de verschillende perioden.

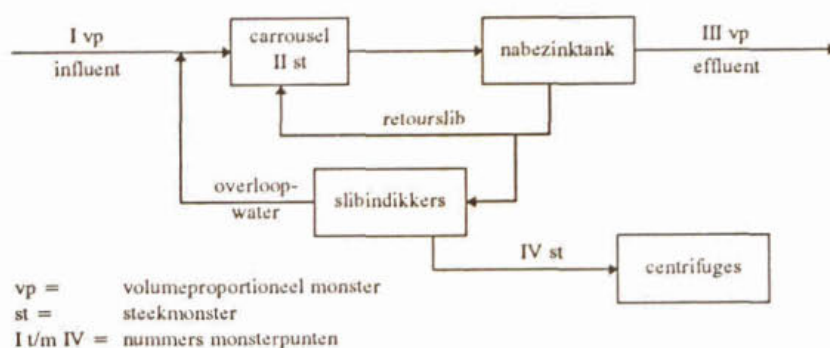
periode	van/tot	setpoint	aan bij TAUC (mg*min/(l*h))	uit bij TAUC (mg*min/(l*h))
A	23-10-1995	1	300	
		2	600	
	t/m	3	900	
		4	1200	
	15-11-1995	5	1800	
B	20-11-1995	1	300	
		2	450	
	t/m	3	550	
		4	700	
	11-12-1995	5	900	
C	28-02-1996	1	300	400
		2	550	600
	t/m	3	650	750
		4	800	900
	14-03-1996	5	900	1000
D	03-04-1996	1	300	400
		2	500	550
	t/m	3	600	700
		4	700	800
	25-04-1996	5	950	1000

Tabel 2: Overzicht van de toegepaste setpoints

5.4 Bemonstering en analyse

5.4.1 Bemonstering

In figuur 4 is aangegeven welke stromen tijdens de proefperiode zijn bemonsterd en welk type monster dit betreft.



Figuur 4: Overzicht van de monsterpunten

5.4.2 Standaardanalyses

De bemonstering van de rwzi Beemster geschiedt overeenkomstig het Nationaal Standaard Programma. Dit houdt in een bemonsteringsfrequentie van eenmaal per week.

In tabel 3 is aangegeven welke analyses in de verschillende monsters zijn uitgevoerd.

analyses	influent	actief slib	effluent	ingedikt slib
pH	X	X	X	
BZV	X		X	
CZV	X		X	
N _{Kjeldahl}	X		X	
NH ₄ -N			X	
NO ₂ -N			X	
NO ₃ -N			X	
P _{ortho}			X	
P _{total}	X		X	
Onopgeloste bestanddelen	X		X	
chloride	X		X	
droogrest		X		X
gloeirest		X		X
SVI		X		

Tabel 3: Overzicht van de analyses

De analyses zijn alle uitgevoerd door het laboratorium van Uitwaterende Sluizen.

Tevens is het actief slib vrijwel maandelijks microscopisch onderzocht.

5.4.3 Procescondities

In tabel 4 is een globaal overzicht gegeven van de procescondities in het beluchtingscircuit van de rwzi Beemster over de jaren 1992 t/m 1995.

Jaar	droge-stofgehalte (g/l)	SVI (ml/g)	temperatuur (°C)	slibleeftijd (dagen)
1992	4,9	94	16,0	17,6
1993	4,0	107	16,3	14,1
1994	4,0	93	16,1	11,3
1995	3,8	97	17,2	11,3

Tabel 4: Jaargemiddelde gegevens voor het beluchtingscircuit

In tabel 5 is de gemiddelde belasting van de rwzi in 1995 weergegeven.

belasting	gemeten in 1995	percentage van het ontwerp	percentage ten opzichte van een 'standaard' oxydatiesloot
i.e. à 136 g TZV	124.805	78 %	
BZV (kg/dag)	4.211	81 %	
BZV (kg/kg ds.dag)	0,063	89 %	117 %
CZV (kg/dag)	12.021	80 %	
CZV (kg/kg ds.dag)	0,179	87 %	133 %
N _{Kjeldahl} (kg/dag)	1.084	75 %	
N _{Kjeldahl} (kg/kg ds.dag)	0,016	81 %	133 %

Tabel 5: Gemiddelde belasting van de rwzi in 1995

5.4.4 Bijzondere metingen

Karakterisering van het influent

Voor de STOWA-begeleidingscommissie is, zowel voor het STOWA-project waarin een O₂-regeling, NH₄/O₂-regeling en NO₃/NH₄/O₂-regeling werden beproefd, als in dit STOWA-project een uitgangspunt geweest, dat de regelingen zouden worden geoptimaliseerd met behulp van simulatie volgens IAWQ-model no. 1. Een voordeel hiervan is het behalen van tijdswinst, doordat het instellen van regelingen en regelaars in de praktijk veel tijd kost. Voor het eerstgenoemde project is de simulatie door DHV uitgevoerd en voor het laatstgenoemde door Grontmij. Hiertoe is het influent van de rwzi Beemster in het voorjaar van 1995 driemaal intensief bemonsterd. Er is hierbij gekeken naar het verloop van het debiet, CZV en N_{Kjeldahl} over de dag. Hiertoe zijn elke twee uur monsters genomen. Vervolgens zijn de fracties totaal-, bezinkbaar-, colloïdaal- en opgelost CZV en N_{Kjeldahl} bepaald. Deze gegevens zijn gebruikt voor kalibratie van het model (door DHV). Grontmij heeft vervolgens met dit gekalibreerde model de respiratieregeling geoptimaliseerd. Zie hiervoor hoofdstuk 6.

Voor de meetresultaten van de influentkarakterisering wordt verwezen naar het rapport 'Ontwikkeling van een procesbesturing voor oxydatiesloten - vergelijking van een zuurstof-, ammonium/zuurstof- en een nitraat/ammonium/zuurstofregeling', STOWA/Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, Edam, 1997, rapport 97-W-03.

5.4.5 On-line monitoren

Met on-line apparatuur van Skalar zijn op een drietal plaatsen in het beluchtingscircuit (semi)-continu het ammonium- en nitraatgehalte colorimetrisch gemeten (zie *figuur 2*). Van deze metingen zijn kwartiergemiddelde waarden opgeslagen in een datalogger. Verder is ook een aantal gegevens uit de PLC van de rwzi (zoals debiet, kWh e.d.) in de datalogger opgeslagen.

De MSL-respiratiemeter is door Grontmij gemodelleerd. In paragraaf 5.1 is de werking van de respiratiemeter reeds omschreven. Hierbij is ook aangegeven welke parameters kunnen worden gewijzigd.

Door middel van de simulaties heeft een optimalisatie plaatsgevonden van de waarden van de TAUC waarbij de verschillende beluchters worden aan- of uitgeschakeld.

6.2.2 Resultaten

In oktober 1995 is met het onderzoeksproject gestart. In eerste instantie zijn de instellingen gebruikt zoals deze ook tijdens de korte proefperiode in mei 1995 zijn toegepast (15 reaëraties, $\Delta O_2 = 1$ mg/l). Er is een simulatie (*simulatie 1*) uitgevoerd met dezelfde instellingen (resultaten zie *bijlage 4* en *tabel 6*). Bij vergelijking van deze resultaten met de praktijkresultaten (zie *bijlage 4*) bleken deze vrij goed overeen te komen.

Vervolgens is nagegaan of met minder herbeluchtingen (namelijk 5) een snellere regeling, en daardoor betere resultaten konden worden verkregen (*simulatie 2*). Dit laatste was niet het geval. De gemiddelde concentraties (zie *bijlage 4* en *tabel 6*) bleven vrijwel gelijk. Wel worden de ammonium- en nitraatpieken smaller bij een gelijkblijvende maximale waarde. Dit duidt erop dat de regeling sneller is geworden. Deze situatie is tevens in de praktijk gedurende 1 dag getest en bleek niet te voldoen. De reden hiervoor is dat bij dit geringe aantal herbeluchtingen in de praktijk teveel informatie van de OUR-curve verloren gaat. Alleen het eerste stuk van de OUR-curve wordt gemeten, waardoor de regeling onvoldoende functioneert.

Om na te gaan of op een andere wijze een snellere regeling kon worden verkregen, is vervolgens een simulatie uitgevoerd met een groter aantal herbeluchtingen (10) waarbij wel voldoende informatie van de OUR-curve wordt verkregen, en een kleinere ΔO_2 (0,7 mg/l). Verder zijn hierbij twee schakelreeksen toegepast (*simulatie 3*). Een schakelreeks voor het opschakelen van de beluchting en een schakelreeks voor het terugschakelen van de beluchting (resultaten zie *bijlage 4* en *tabel 6*). Uit de resultaten van deze simulatie blijkt dat de gemiddelde effluentconcentraties vrijwel gelijk blijven, maar dat wel een snellere regeling wordt verkregen. Dit blijkt uit nog iets smallere ammonium- en nitraatpieken en het sneller bij- of afschakelen van beluchtingscapaciteit. Wel wordt nu een aantal kleinere pieken gevonden als gevolg van de relatief grote stappen waarmee beluchtingscapaciteit in de bestaande situatie dient te worden op- of afgeschakeld. De verwachting is echter dat deze regeling met name bij hogere influentvrachten betere resultaten zal geven.

De setpoints van simulatie 3 zijn derhalve in de praktijk getoetst.

De instellingen van de respiratiemeter bij de drie verschillende simulaties zijn hieronder samengevat:

Simulatie 1:	$T = 18^\circ\text{C}$, $\Delta O_2 = 1$ mg/l, maximum aantal reaëraties = 15,
schakelreeks:	
< 300	blower 1, aan/uit
300 - 600	blower 1 continu
600 - 900	+ PB 3
900 - 1200	+ PB 1
1200 - 1800	+ blower 2
> 1800	+ PB 2
Simulatie 2:	$T = 18^\circ\text{C}$, $\Delta O_2 = 1$ mg/l, maximum aantal reaëraties = 5,
schakelreeks:	
< 300	blower 1, aan/uit
300 - 450	blower 1 continu
450 - 550	+ PB 3
550 - 700	+ PB 1
700 - 900	+ blower 2
> 900	+ PB 2

Simulatie 3: $T = 18^{\circ}\text{C}$, $\Delta\text{O}_2 = 0,7 \text{ mg/l}$, maximum aantal reaëraties = 10, 2 schakelreeksen:

<u>Opregeling</u>	<u>Afregeling</u>	
< 300	< 350	blower 1, aan/uit
300 - 450	350 - 500	blower 1 continu
450 - 550	500 - 650	+ PB 3
550 - 700	650 - 800	+ PB 1
700 - 800	800 - 900	+ blower 2
> 800	> 900	+ PB 2

De resultaten van de simulatie zijn weergegeven in tabel 6.

	Ammonium (mg/l)			Nitraat (mg/l)		
	gemiddeld	minimaal	maximaal	gemiddeld	minimaal	maximaal
simulatie 1	2,07	0,63	4,46	1,39	0,18	4,45
simulatie 2	1,93	0,65	4,14	1,51	0,07	4,67
simulatie 3	1,75	0,28	4,61	1,86	0,00	4,37

Tabel 6: Resultaten van de simulaties 1 t/m 3

In december 1995 is de temperatuur in de carrousel van rwzi Beemster gedaald naar circa 11°C . In de praktijk blijft het ammoniumgehalte laag, het nitraatgehalte loopt echter op. Bij simulaties bij deze temperatuur werd hetzelfde beeld verkregen.

6.3 Conclusies

Uit het simulatie-onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- het is mogelijk gebleken, de MSL-respiratiemeter in SIMBA te modelleren waarbij een goede overeenkomst wordt gevonden tussen de resultaten verkregen met SIMBA en de praktijkresultaten;
- door invoering van twee regelingen, één voor het opschakelen en één voor het afschakelen van de beluchting, ontstaat een relatief snelle regeling, die toch voldoende reaëraties mogelijk maakt voor het verkrijgen van detailinformatie in de OUR-curves;
- bij een normale dagelijkse aanvoer zijn de te bereiken effluentconcentraties met twee schakelreeksen vrijwel gelijk aan die met één schakelreeks. De verwachting is echter dat bij hogere influentvrachten sneller zal worden ingegrepen;
- opgemerkt dient te worden dat bij het simulatieonderzoek geen aandacht is besteed aan optimalisatie van de schakelvolgorde van de beluchters of een meer verfijnde beluchtingsregeling, bijvoorbeeld door middel van frequentieregeling van de blowers en/of puntbeluchters. Dit laatste zou een stabiel verloop van de $\text{NH}_4\text{-N}$ - en $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentratie over de dag mogelijk maken.

7 EVALUATIE VAN DE RESULTATEN

7.1 Resultaten van de respiratieregeling

In *bijlage 5* tot en met *bijlage 8* is per periode het verloop weergegeven van het ammoniumgehalte, het nitraatgehalte (beide gemeten op meetpunt 3 in de carrousel), de TAUC, de kWh-beluchting en het influentdebiet.

Zoals uit deze bijlagen blijkt, functioneert de regeling goed. Als het ammoniumgehalte oploopt, stijgt de TAUC en wordt er extra beluchting bijgeschakeld.

De regeling is voldoende snel; de stijging van de TAUC is veelal eerder te zien dan stijging van het ammoniumgehalte. Dit wordt deels veroorzaakt door de reactietijd in de ammoniumanalyser en door het feit dat als de zuurstofvraag hoog is de herbeluchtingen in de respirometer sneller na elkaar plaatsvinden. Tevens is de respirometer zo ingesteld dat het aantal herbeluchtingen wordt beperkt.

In *tabel 7* zijn de resultaten van de verschillende proefperioden weergegeven.

periode	influent-debiet (m ³ /dag)	Temperatuur circuit (°C)	NH ₄ -N effluent (mg/l)	NO ₃ -N effluent (mg/l)	N _{totaal} effluent (mg/l)	N _{totaal} rendement (%)	kWh/ kg verw. TZV
A	13108	17,5	3,55	1,74	6,04	91,2	1,56
B	12761	14,2	1,08	3,63	5,72	91,9	0,66
C	14693	9,6	2,58	4,89	8,09	88,9	0,62
D	14523	13,6	1,09	5,32	7,16	90,7	0,86

Tabel 7: Resultaten in de verschillende proefperioden

In *bijlage 9* is per periode de gemiddelde belasting en rendementen (op basis van BZV, CZV en N_{Kjeldahl}) en kWh-verbruik weergegeven.

Uit *tabel 7* blijkt dat periode B de beste resultaten geeft.

In *bijlage 10* is het verloop van de SVI en van de slibproductie in de periode januari 1995 t/m april 1996 weergegeven. Hieruit blijkt dat er geen effect is van de respiratieregeling op de slibproductie. De SVI laat wel een stijging zien in de periode januari tot maart 1996. Dit is echter toe te schrijven aan de zeer koude winter, aangezien na afronding van de proefperiode de SVI weer is gedaald tot het oude niveau, terwijl nog steeds op basis van respirometrie is geregeld.

Het toepassen van de tweede schakelreeks in periode C en D heeft niet geleid tot een beter resultaat. Hierbij moet echter worden bedacht dat met name in periode C de temperatuur dermate laag was, dat de ruimte voor denitrificatie beperkt was.

7.2 Statistische gegevensvergelijking

Om verschillende regelingen goed met elkaar te kunnen vergelijken is een statistische toets noodzakelijk. Hiervoor is de Student-t-toets gebruikt. De resultaten hiervan zijn weergegeven in

bijlage 11. De resultaten van de regeling in periode B zijn hierbij vergeleken met de resultaten van de eerder geteste O_2 -regeling¹ en met de resultaten van periode D. Voor de vergelijking zijn alleen DWA-dagen gebruikt ($Q < 18000 \text{ m}^3/\text{dag}$). Verder zijn er alleen perioden met een vrijwel gelijke temperatuur vergeleken. Uit de statistische toets blijkt dat de zuurstofregeling net iets betere resultaten geeft dan de respiratieregeling in periode B voor N_{totaal} in het effluent. Het 95 % betrouwbaarheidsinterval bevat de waarde 0 net niet. Het verschil is echter zeer klein. Het verschil zit met name in het nitraatgehalte. Het energieverbruik is voor de regeling op basis van respiratie significant lager. Gecorrigeerd voor het lagere droge-stofgehalte ($0,4 \text{ g/l}$) in periode B ten opzichte van de periode waarin op O_2 werd geregeld, ligt het energieverbruik 7 % lager. Echter, zoals gezegd zijn voor de statistische toets alleen DWA-dagen gebruikt ($Q < 18000 \text{ m}^3/\text{dag}$), en zoals uit *bijlage 9* blijkt, kan ook op DWA-dagen de BZV-, CZV- en N_{Kjeldahl} -vracht vrij forse variaties vertonen. Daarom is nagegaan of met behulp van simulatie een meer betrouwbare uitspraak kon worden gedaan over een besparing op het energieverbruik. Hiertoe is met het in hoofdstuk 6 beschreven SIMBA-model de O_2 -regeling vergeleken met de respiratieregeling. De resultaten hiervan zijn weergegeven in *bijlage 12*. Hieruit blijkt dat bij een vergelijkbare effluentkwaliteit de respiratieregeling een energiebesparing van 3,5 % gaf ten opzichte van de O_2 -regeling. Gesteld kan worden dat met behulp van de respiratieregeling een besparing op de beluchtingsenergie van 3 à 4 % kan worden gerealiseerd.

Uit vergelijking van de resultaten van periode B en D van de respiratieregeling geeft periode B een significant beter resultaat te zien voor het N_{totaal} -gehalte.

Dat de regeling in periode D niet optimaal was ingesteld, blijkt niet alleen uit een hoger N_{totaal} -gehalte, maar ook uit een hoger energieverbruik.

7.3 Bedrijfsvoeringsaspecten

Uit de praktijk blijkt dat de respirometer van MSL circa 1 uur per maand onderhoud nodig heeft. Halfjaarlijks dient het membraan van de zuurstofmeting te worden vervangen. Wanneer het apparaat niet goed functioneert is veelal op afstand de oorzaak te achterhalen. Om het apparaat goed te gebruiken (de meeste functies kunnen via de PC worden ingesteld) is een cursus over de werking en vele mogelijkheden van het apparaat zeer zinvol.

In de periode januari/februari 1996 is de respirometing tijdelijk buiten bedrijf geweest ten gevolge van het bevriezen van condenswater in de luchtleidingen. Doordat het een tijdelijk opstelling betrof was er in eerste instantie geen luchtdroger geïnstalleerd. Uiteindelijk is er in maart 1996 wel een luchtdroger geplaatst. Bij het toepassen van de respirometer is dit een belangrijk aspect.

7.4 Kosten

De kosten voor aanschaf van een MSL-respirometer bedragen circa f 35.000,--. De exploitatiekosten zijn circa f 1000,-- per jaar (exclusief kapitaalslasten).

7.5 Mogelijkheden tot verdere optimalisatie

Bij een verdere optimalisatie van de respiratieregeling kan worden gedacht aan een 'feed-forward regeling', waarbij de respirometing in de selector wordt geplaatst.

Met een kleine aanpassing is de respirometing tevens als toxiciteitsmeting te gebruiken.

¹ Zie het rapport 'Ontwikkeling van een procesbesturing voor oxydatiesloten - vergelijking van een zuurstof-, een ammonium/ zuurstof- en een nitraat/ammonium/zuurstofregeling', STOWA/Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, Edam, 1997, rapport 97-W-03

8 CONCLUSIES

Regeling van de beluchting van een oxydatiesloot op basis van respiratiemeting is goed mogelijk. Het verloop van de door de respirometer berekende TAUC komt goed overeen met het verloop van het ammoniumgehalte. Er is een $N_{\text{ totaal }}$ -gehalte in het effluent haalbaar van 5,7 mg/l. Er kan worden volstaan met een eenvoudige regeling. Hiermee is voldaan aan de doelstelling dat de regeling moet voldoen aan de streefwaarde van 8 mg/l $N_{\text{ totaal }}$.

De met de respiatieregeling gerealiseerde effluentkwaliteit is in vergelijking met de zuurstof-regeling iets minder goed, echter het energieverbruik is bij de respiatieregeling 3 à 4 % lager.

De regeling heeft geen effect op de slibproductie en de slibvolume-index.

Het toepassen van een tweede schakelreeks in periode C en D heeft niet geleid tot een beter resultaat. Hierbij moet echter worden bedacht dat met name in periode C de temperatuur dermate laag was, dat de ruimte voor denitrificatie beperkt was.

Uit het onderzoek blijkt dat kan worden volstaan met alleen een respirometer als basis voor de regeling. In de regeling was wel de mogelijkheid om de zuurstofinbreng te beperken bij een hoog zuurstofgehalte, of de zuurstofinbreng niet te beperken bij een laag zuurstofgehalte, maar hiervan is in de praktijk geen gebruik gemaakt.

De zuurstofelectrode van de MSL-respirometer wordt automatisch gekalibreerd; hierdoor is er altijd een betrouwbaar meetsignaal en zijn storingen eenvoudig op te sporen.

Een voordeel van de respiatiemeting van MSL (t.o.v. N-regelingen) is dat gedetailleerde informatie wordt verkregen over het actief slib en dat de respiratiesnelheid een maat is voor de actuele zuurstofvraag. Dit laatste is een voordeel, aangezien er hierdoor (bij een goede instelling van de regeling) nooit teveel wordt belucht.

Ook in technisch opzicht heeft respirometer goed gefunctioneerd.

In verband met bevroeringsgevaar is het van belang dat er voor de aansturing van de respirometer gebruik wordt gemaakt van droge lucht.

Een energiebesparing van 3 % levert voor de rwzi Beemster een kostenbesparing op van circa f 8000,-. Dit houdt in dat de investering in een periode van 5 jaar kan worden terugverdiend.

Overzicht van medewerkers

Aan het project is door de volgende personen van het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier meegewerkt:

ing. J.W. van Dijk (projectleider)	- technoloog
ir. S.B. Gaastra	- senior technoloog
I. Oudhuis	- procesbegeleider
H. van Ruitenbeek	- procesbegeleider
medewerkers rwzi Beemster	

Vanuit Grontmij Advies & Techniek BV is meegewerkt door:

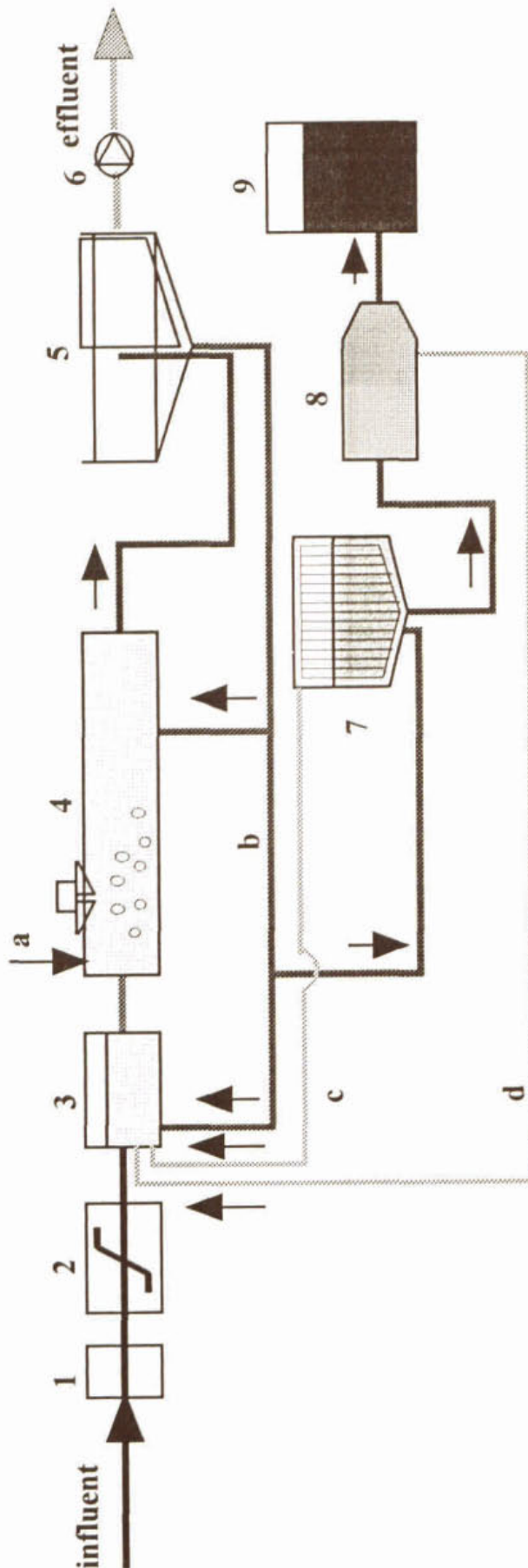
ir. H. Draaijer (projectleider)	- senior procestechnoloog
ir. A.H.M. Buunen - van Bergen	- procestechnoloog
ir. F.T.J. Hermans	- adviseur electrotechniek

Het onderzoek is begeleid door de STOWA Begeleidingscommissie 'Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk' (STOWA/432.004). De leden van de begeleidingscommissie zijn:

dipl. ing. G. Both (voorzitter)	(Zuiveringschap Amstel en Gooiland)
ir. R.J. van der Kuij	(DHV Water BV)
ir. H.F. van der Roest	(DHV Water BV)
ir. P.C. Stamperius	(STOWA)
ir. W. Weremeus Buning	(Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden)

Tevens zijn door deze begeleidingscommissie meerdere onderzoeken van waterkwaliteitsbeheerders begeleid in een werkgroep. Behalve de leden van de begeleidingscommissie zijn de leden van de werkgroep de volgende personen:

ir. F.T. van Breukelen	(Hoogheemraadschap van Schieland)
ing. J. Jonk	(Hoogheemraadschap West-Brabant)
ir. A.W.A. de Man	(Zuiveringsschap Limburg)
ir. C.A. Uijterlinde	(Provincie Utrecht)
ing. E. Vermulst	(RWA Amsterdam)
ir. T.M.G. Peeters	(Hoogheemraadschap van Schieland)



- ijzer(II)sulfaatdosering t.b.v. defosfatering
- retourslib
- overloopwater indiker
- centraat

1. Ontvangkelder / debietmeting
2. Harkrooster
3. Selector
4. Beluchtingscircuit
5. Nabezinktanks
6. Effluentgemaal
7. Slibindikers
8. Slibcentrifuges
9. Slibsilos

DIMENSIONERINGSGEGEVENS RWZI BEEMSTER**ONTWERPBELASTING**

I.E. à 54 g BZV		96300
I.E. à 136 g TZV		159750
CZV	(kg/dag)	15100
BZV	(kg/dag)	5200
N-Kjeldahl	(kg/dag)	1450
P-totaal	(kg/dag)	260
DWA	(m ³ /uur)	1900
idem	(m ³ /dag)	19000
RWA	(m ³ /uur)	3600

ZUIVERINGSSYSTEEM

Carrousel met puntbeluchters- en bellenbeluchting met simultane defosfatering, vooraf gegaan door een selector

ONTWERPGEGEVENS ALGEMEEN**Harkrooster**

spleetafstand	(mm)	6
---------------	------	---

Selector

volume	(m ³)	540
aantal compartimenten		3
verblijftijd	(min.)	8 - 13
BZV aanvoer	(kg/uur)	416
slibgehalte retourslib	(g/l)	7,0
retourslib debiet	(m ³ /uur)	591 - 926
BZV slibbelasting	(kg BZV/(kg ds.h))	0,4 - 0,6

Carrousel

volume	(m ³)	17335
aantal kanalen		4
kanaalbreedte	(m)	8
diepte	(m)	4
aantal puntbeluchters		3
bel. capaciteit (OC)	(kg O ₂ /uur)	370
aantal compressoren		2
bel. capaciteit (OC)	(kg O ₂ /uur)	526
totale bel. capaciteit (OC)	(kg O ₂ /uur)	896
slibgehalte (totaal)	(g/l)	5,5
slibgehalte (chem.)	(g/l)	1,2
BZV-slibbelasting	(kg BZV/(kg ds.d))	0,071
slibgroei	(g/kg BZVverw)	1,13
slibproductie (totaal)	(kg ds/dag)	7430
slibproductie (chem.)	(kg ds/dag)	1550
slibleeftijd	(dagen)	12,8

Defosfateringsinstallatie

aantal kelders		2
inhoud doseerkelder	(m ³)	10
inhoud oploskelder	(m ³)	35
capaciteit doseerpomp	(l/uur)	0 - 1500

Nabezinktanks

aantal		4
oppervlakte	(m ²)	4913
oppervlaktebelasting	(m ³ /(m ² .uur)	0,73
kandiepte	(m)	1,5

Effluentgemaal

aantal pompen		3
capaciteit (elk)	(m ³ /uur)	2400

Slibretourgemaal

aantal vijzels		2
capaciteit vijzels (totaal)	(m ³ /uur)	1464
aantal pompen		4
capaciteit pompen (totaal)	(m ³ /uur)	1960

Surplusslibgemaal

aantal pompen		3
capaciteit (totaal)	(m ³ /uur)	111

Surplusslibdikkers

aantal		3
oppervlakte (totaal)	(m ²)	380
d.s. oppervlaktebelasting	(kg/(m ² .dag)	20

Ingedikt slibpompen

aantal		2
capaciteit (elk)	(m ³ /uur)	5 - 20

Polymeerdoseerinstallatie

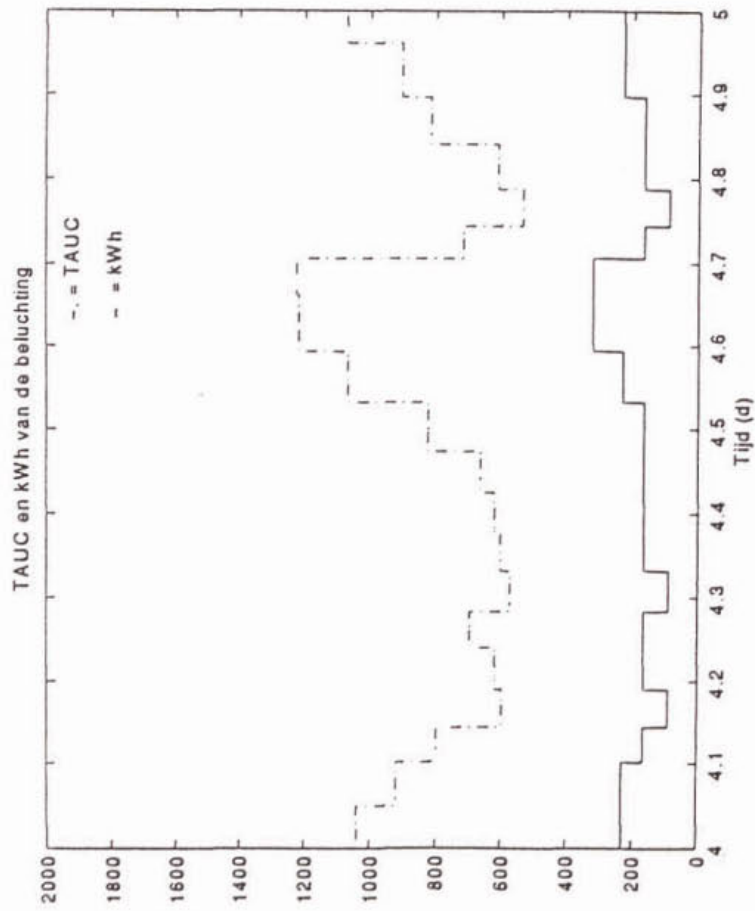
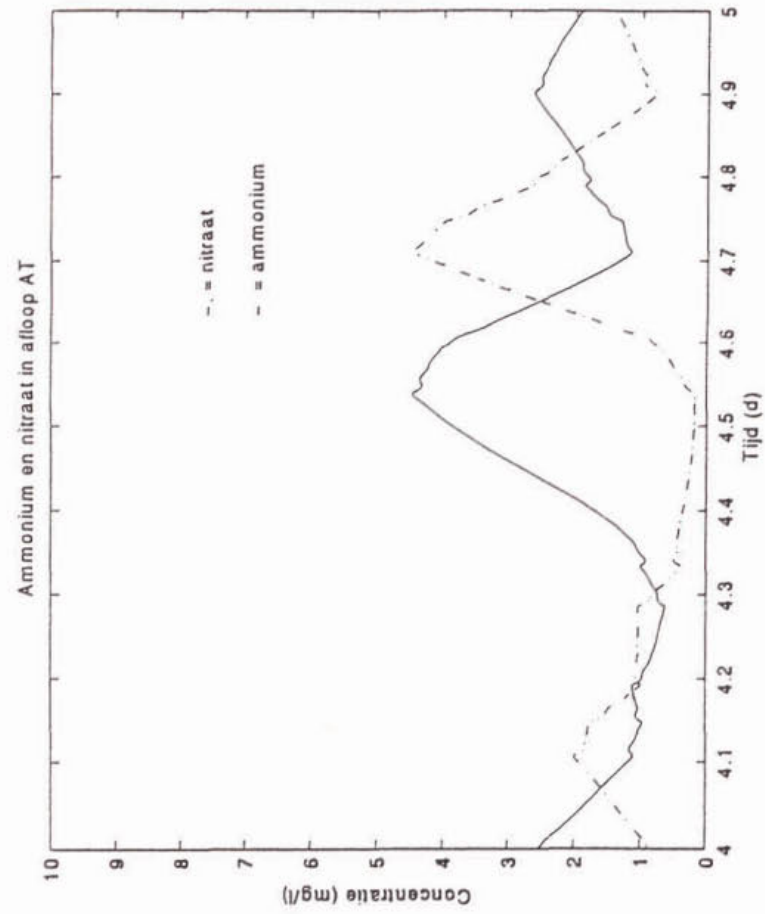
aantal pompen		2
capaciteit elk	(m ³ /uur)	0,5 - 5
max. dosering (actief PE)	(g/kg ds)	10

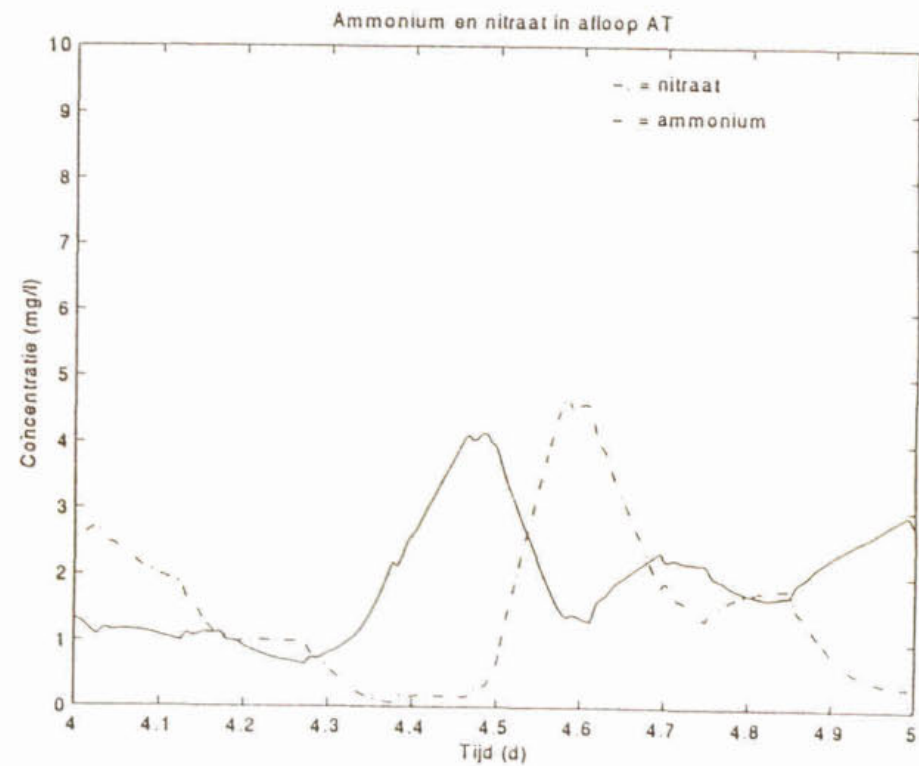
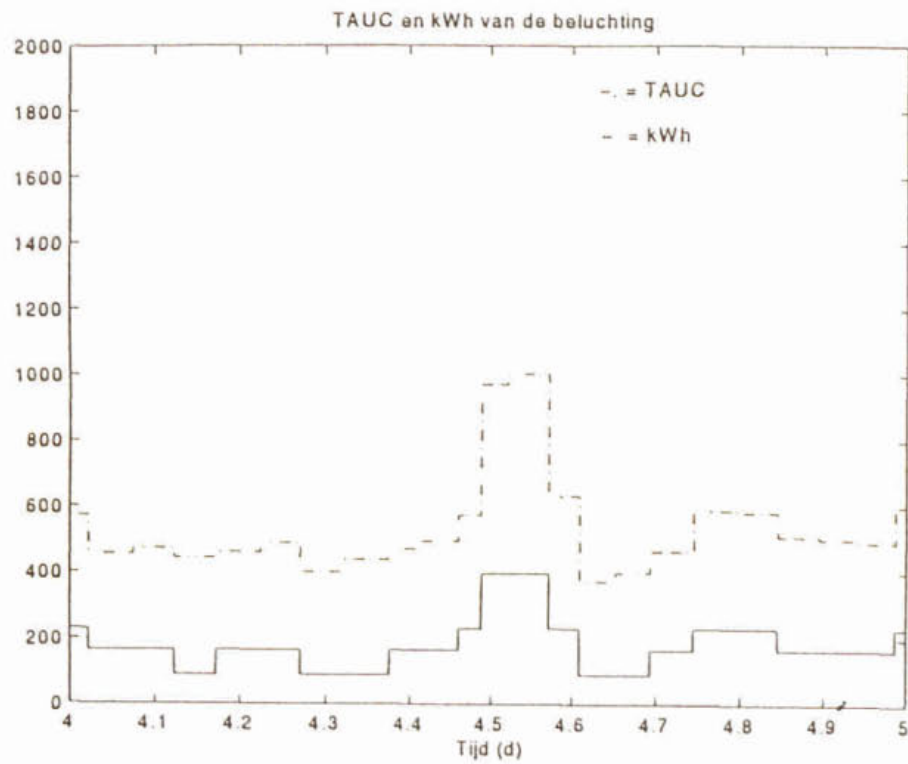
Ontwateringscentrifuges

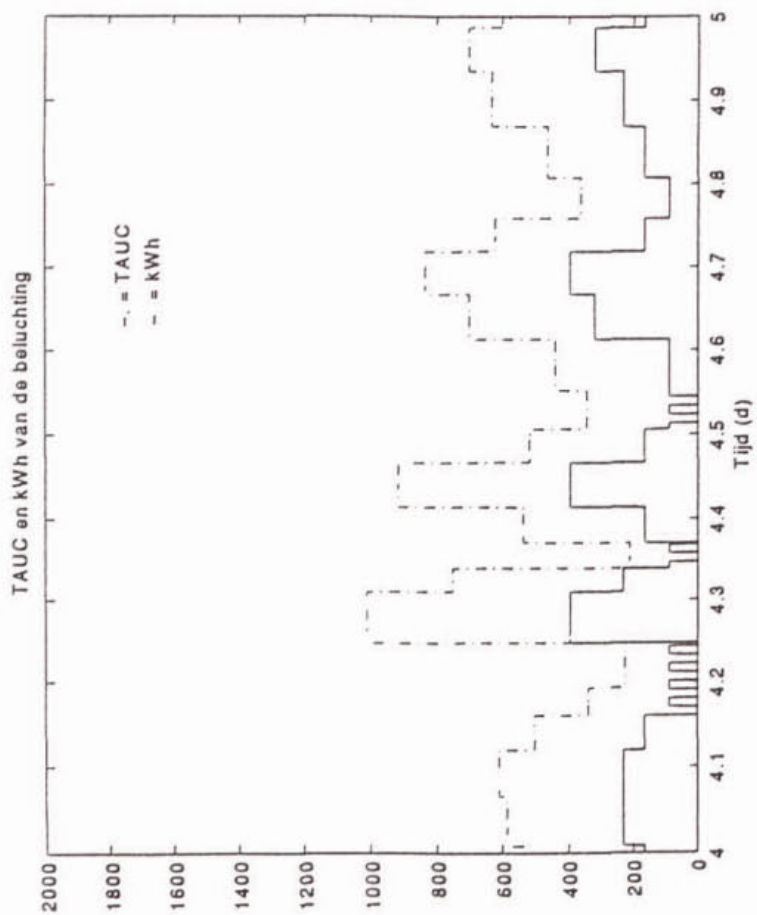
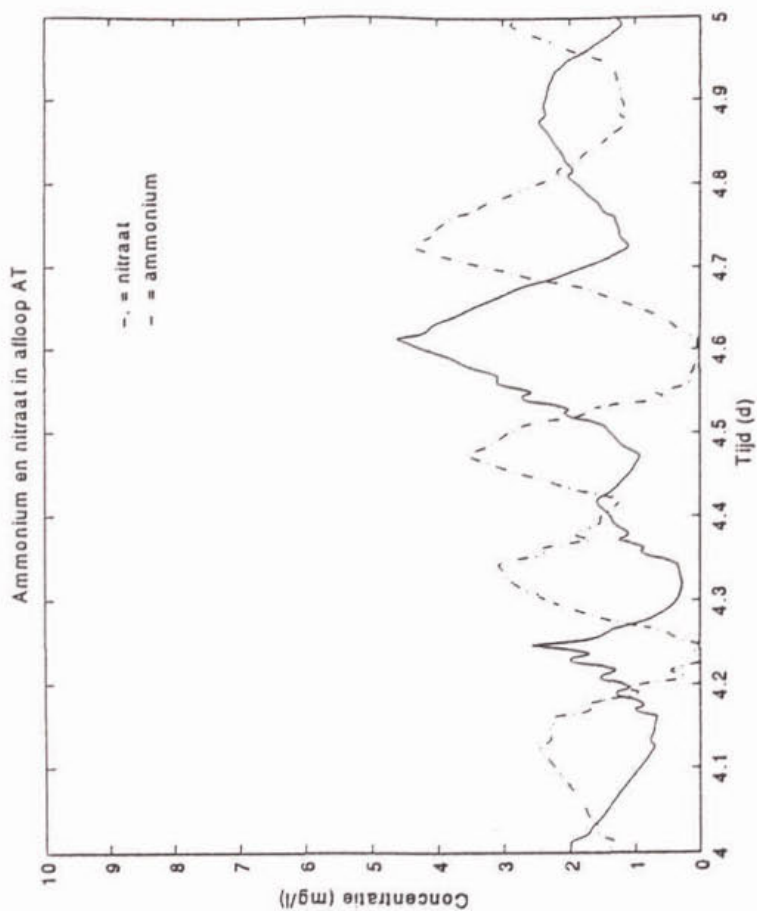
aantal		2
capaciteit (elk)	(m ³ /uur)	5 - 20
gem. doorzet (elk)	(m ³ /uur)	6,3
indamprest ontwaterd slib	(%)	18 - 23

Slibsilos

aantal silos		2
inhoud (elk)	(m ³)	150

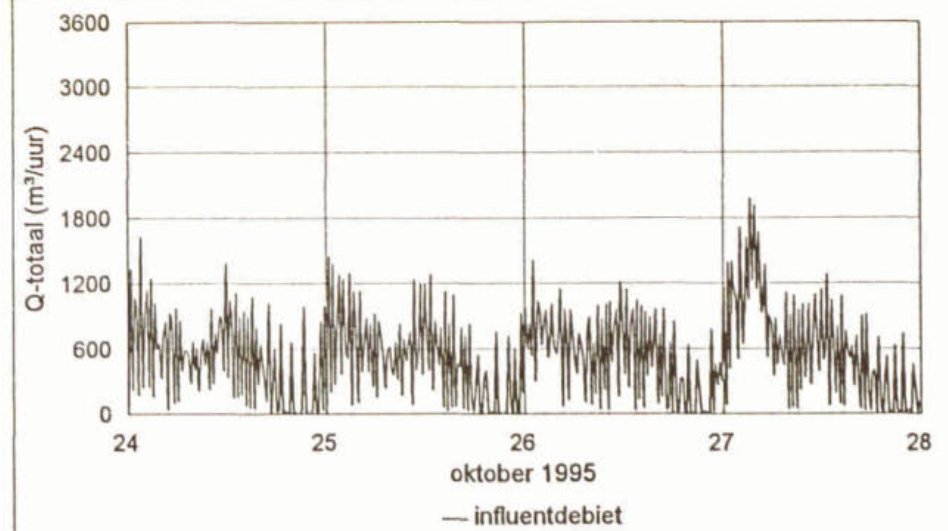
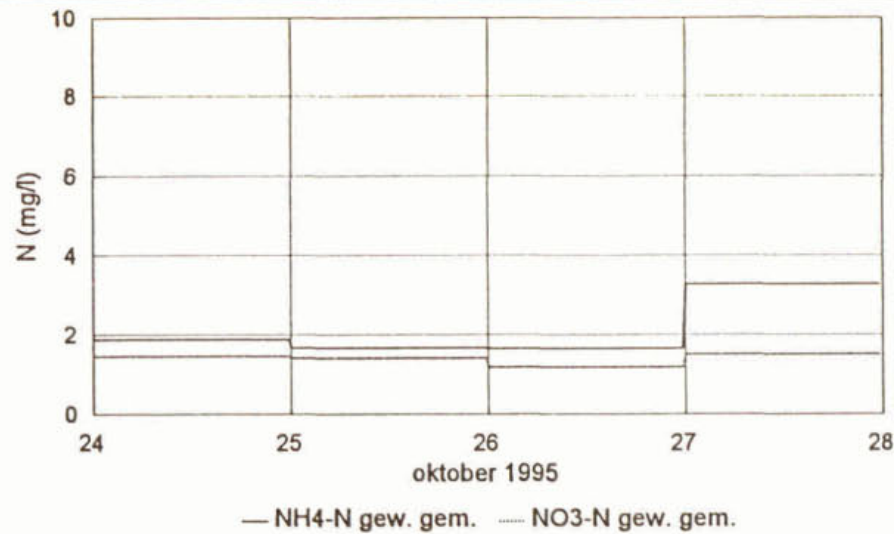
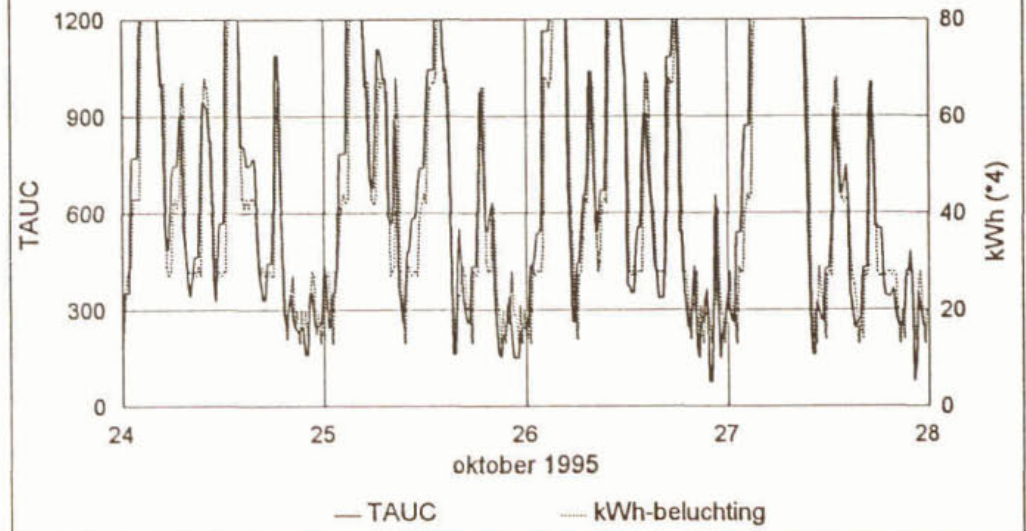
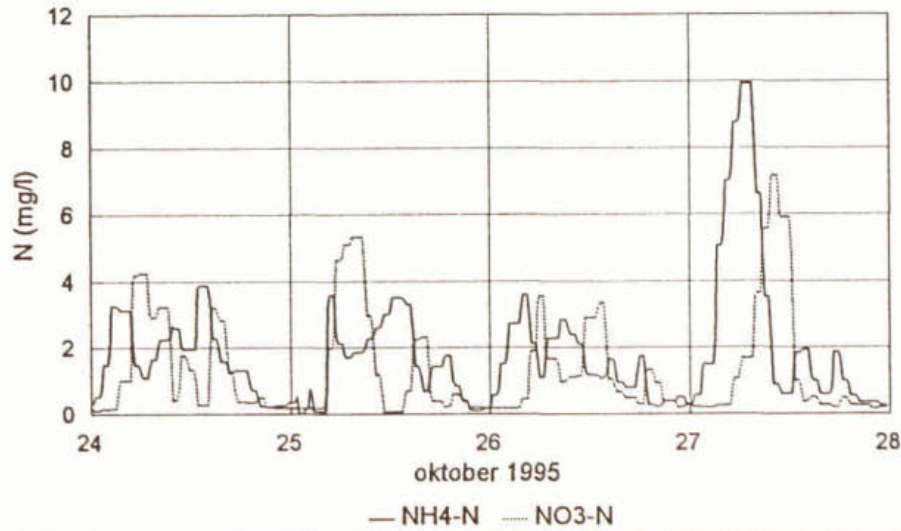




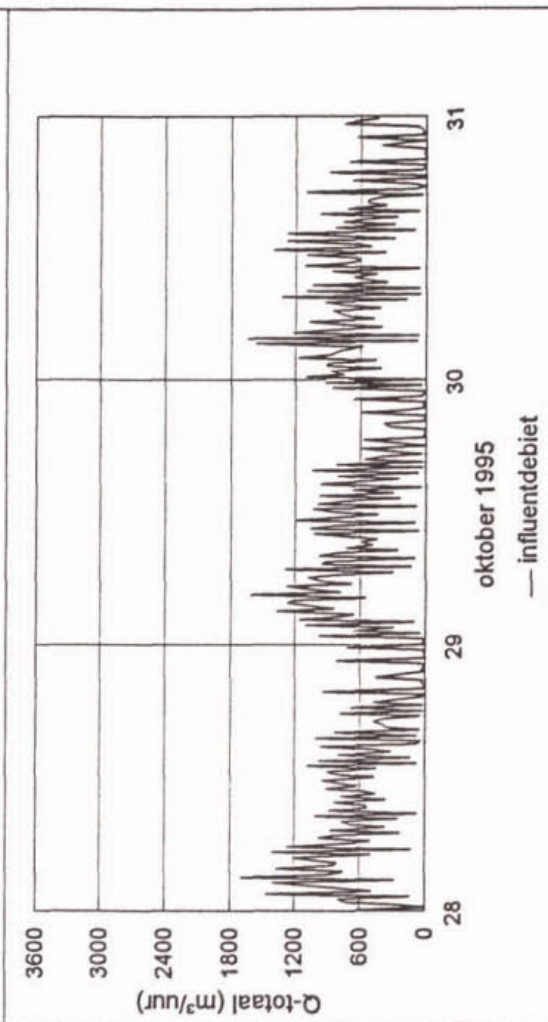
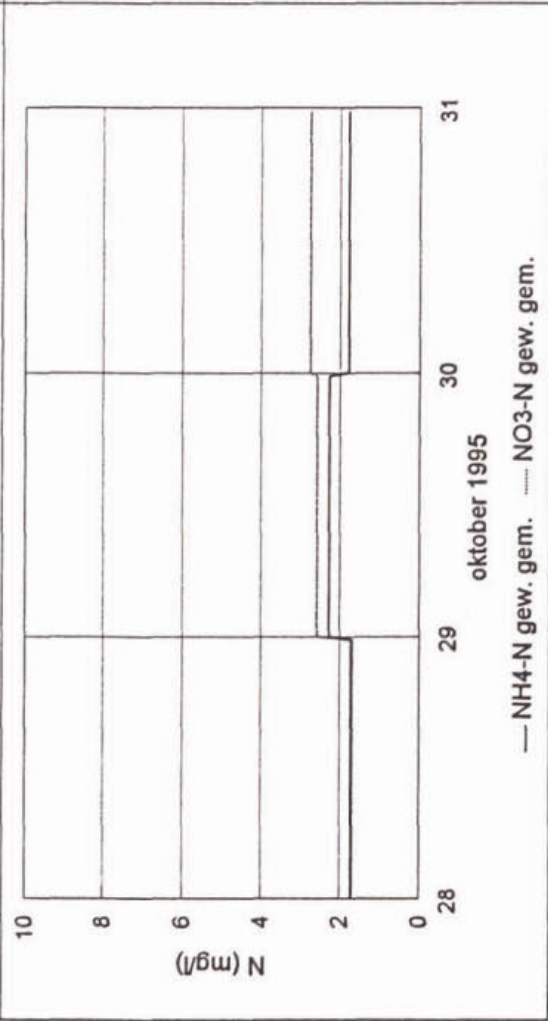
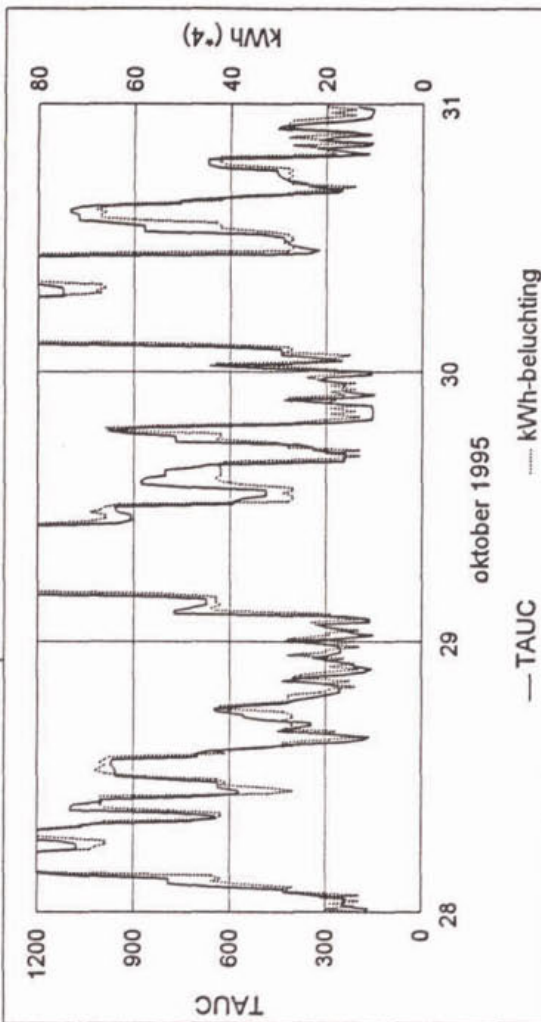
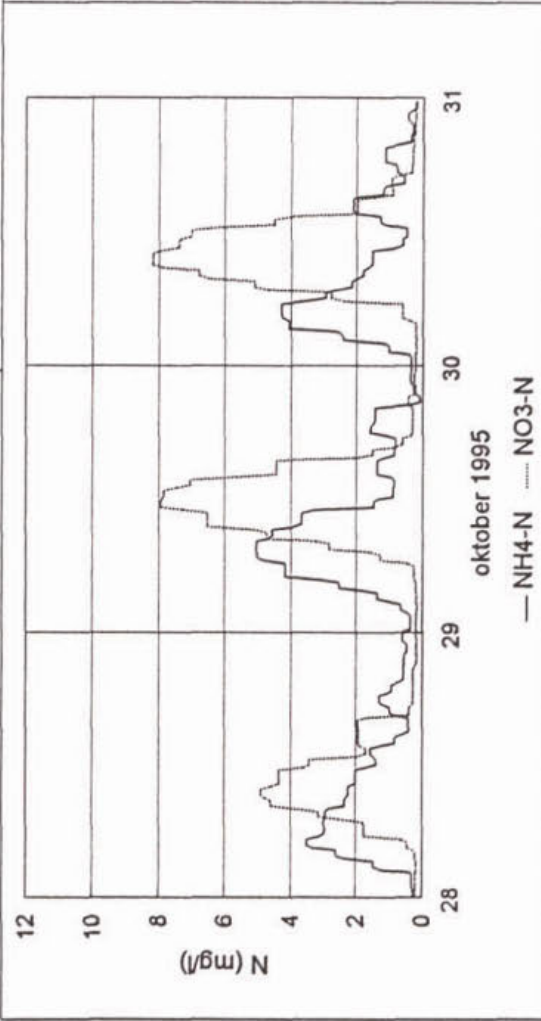


Resultaten van periode A

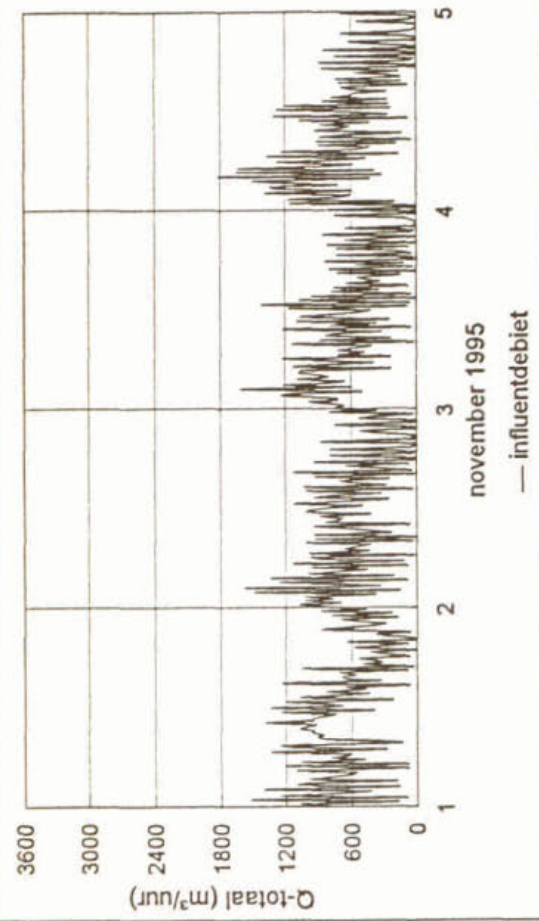
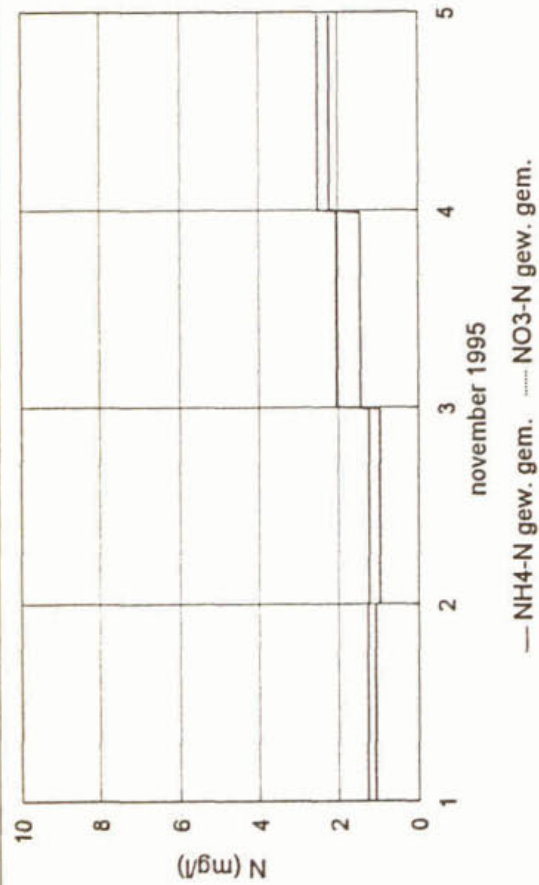
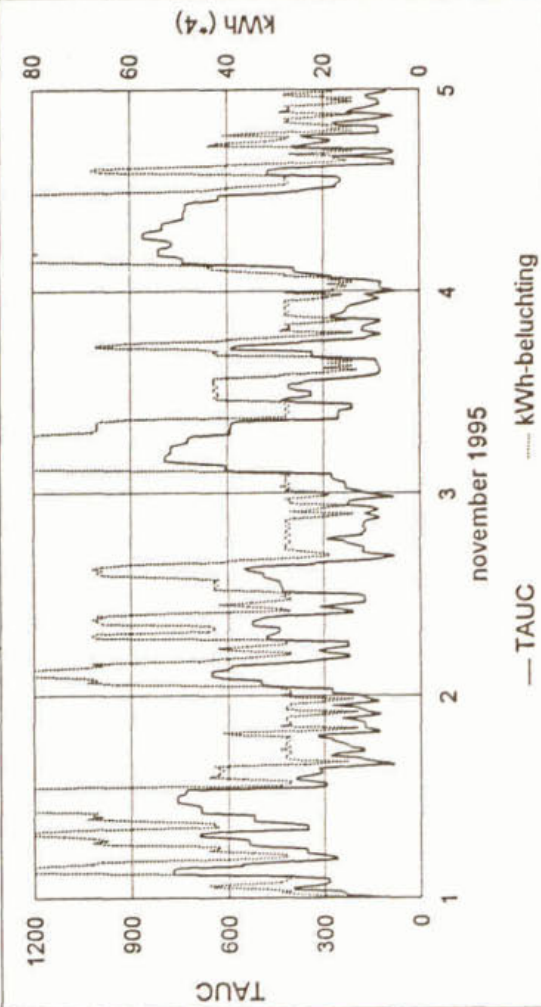
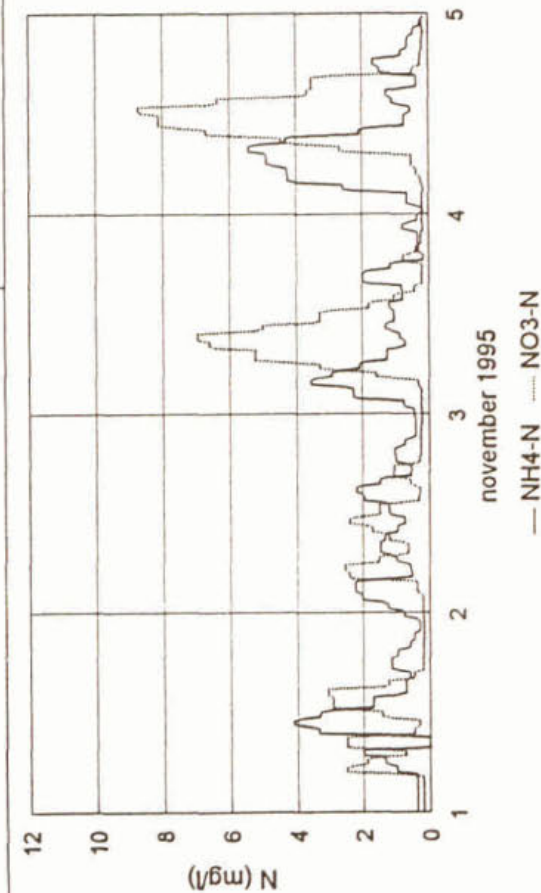
rwzi Beemster; regeling respiratiemeting



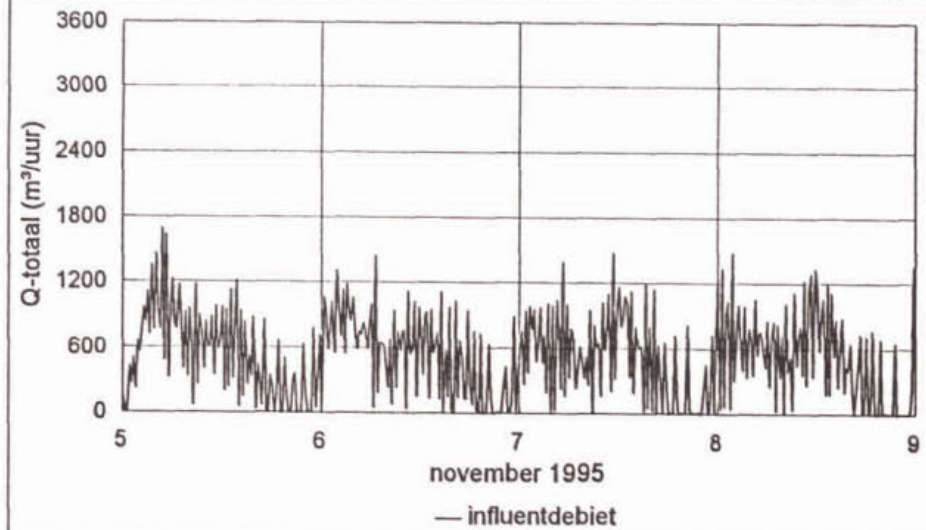
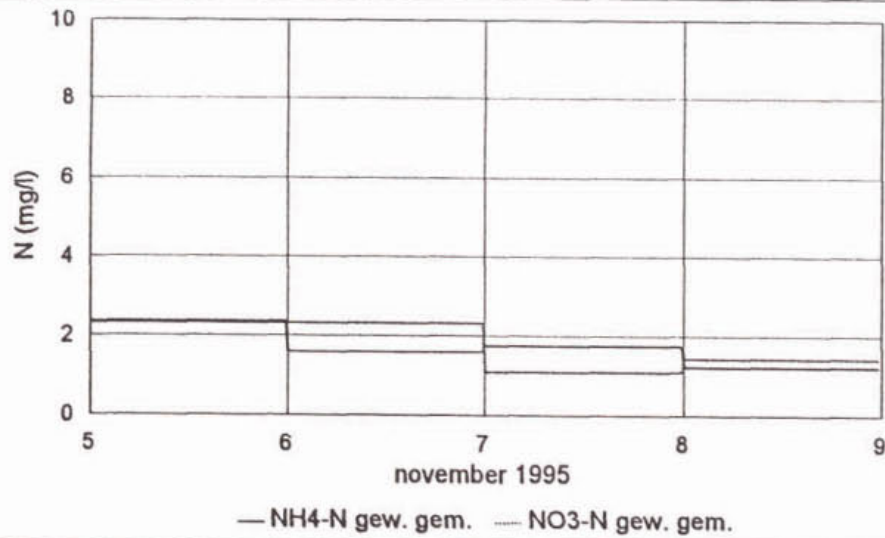
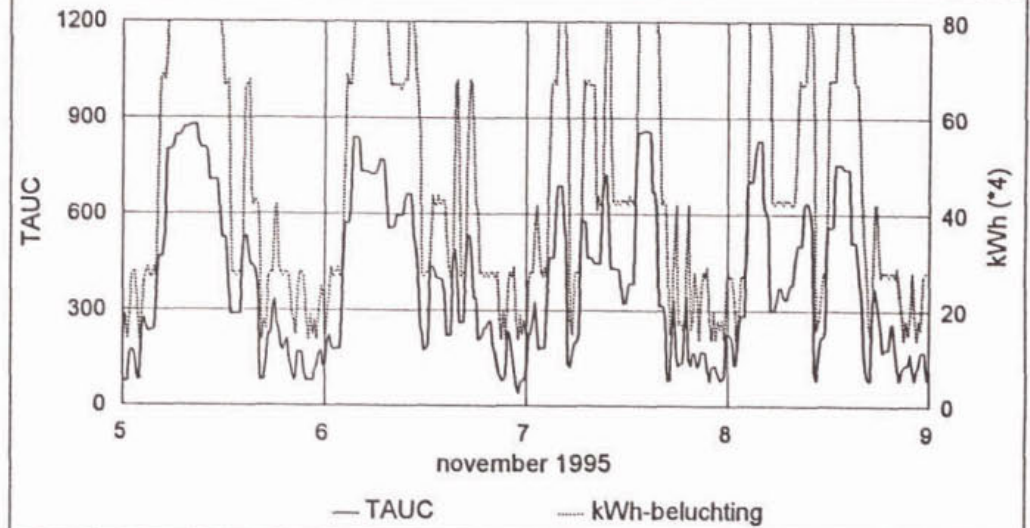
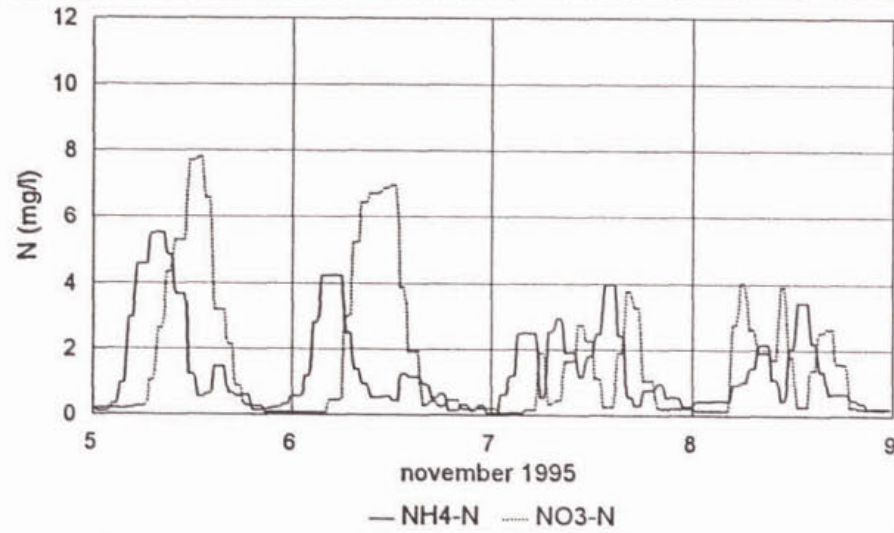
rwzi Beemster; regeling respiatiemeting



nwzi Beemster; regeling respiatiemeting

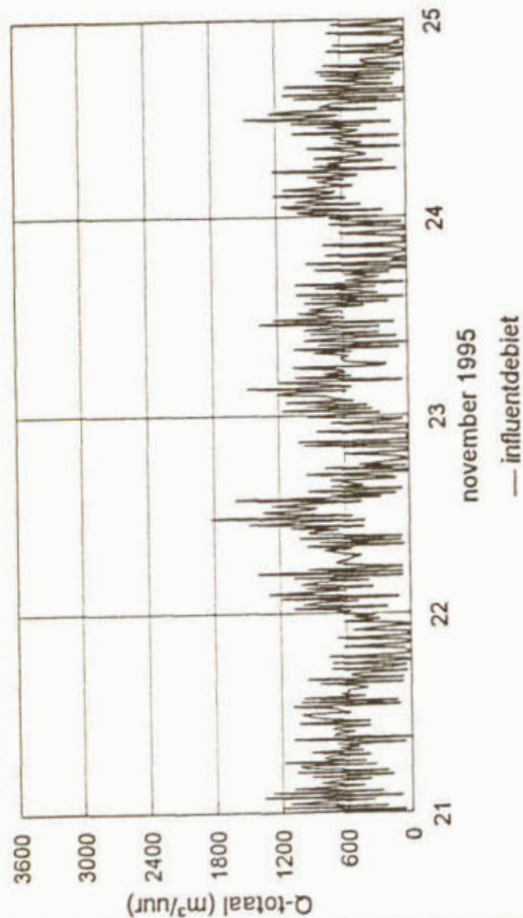
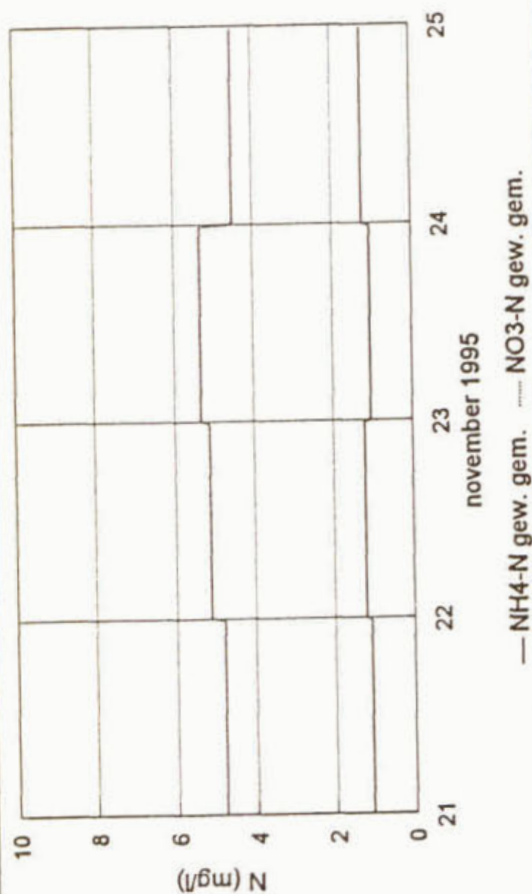
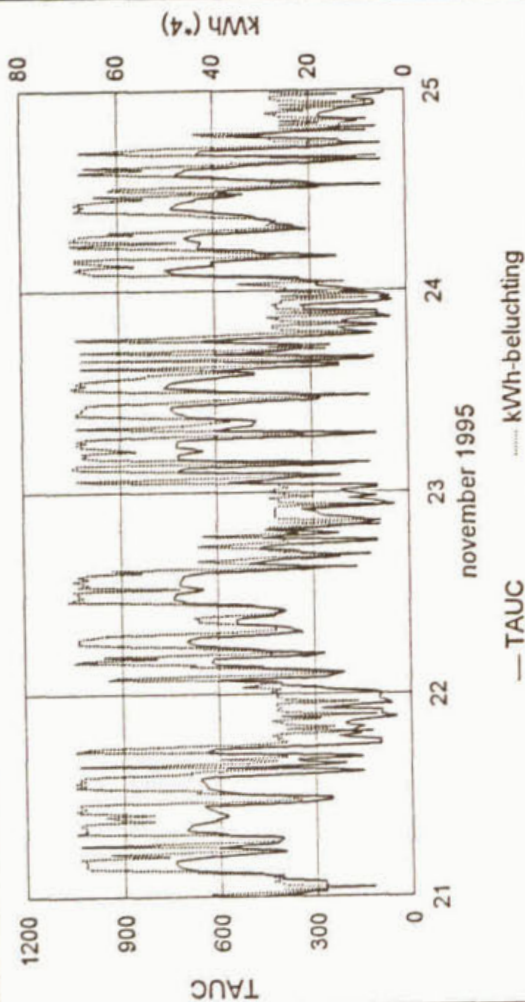
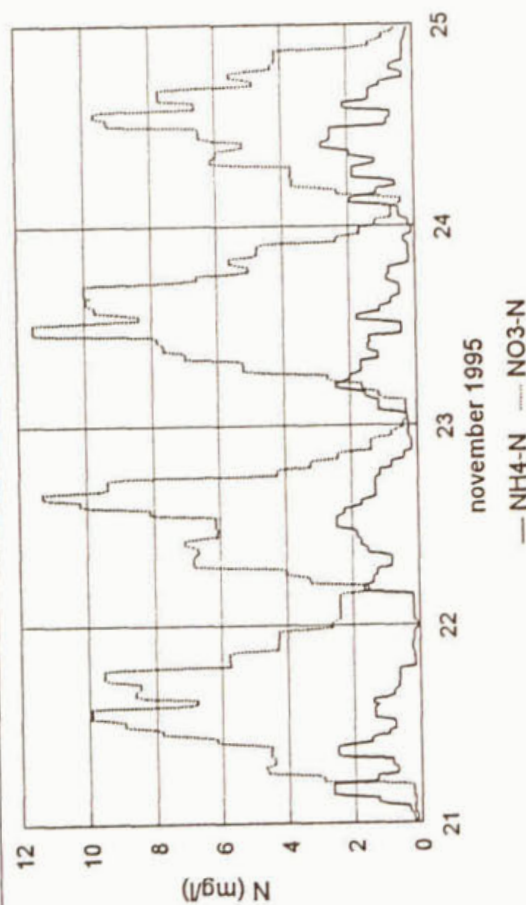


rwzi Beemster; regeling respiratiemeting

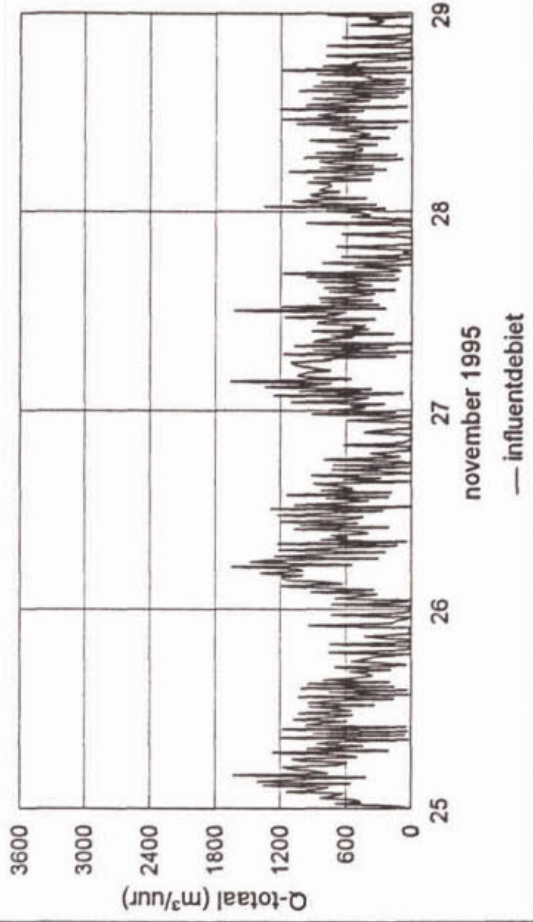
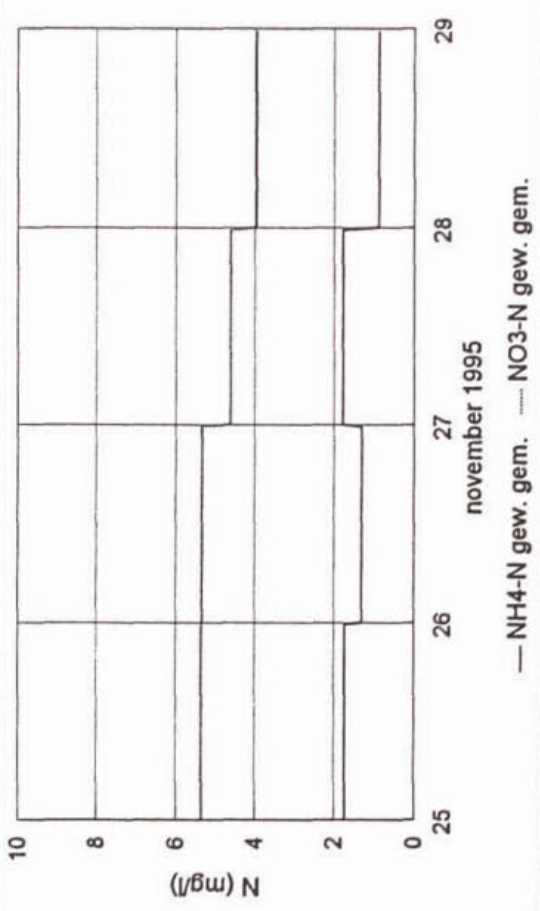
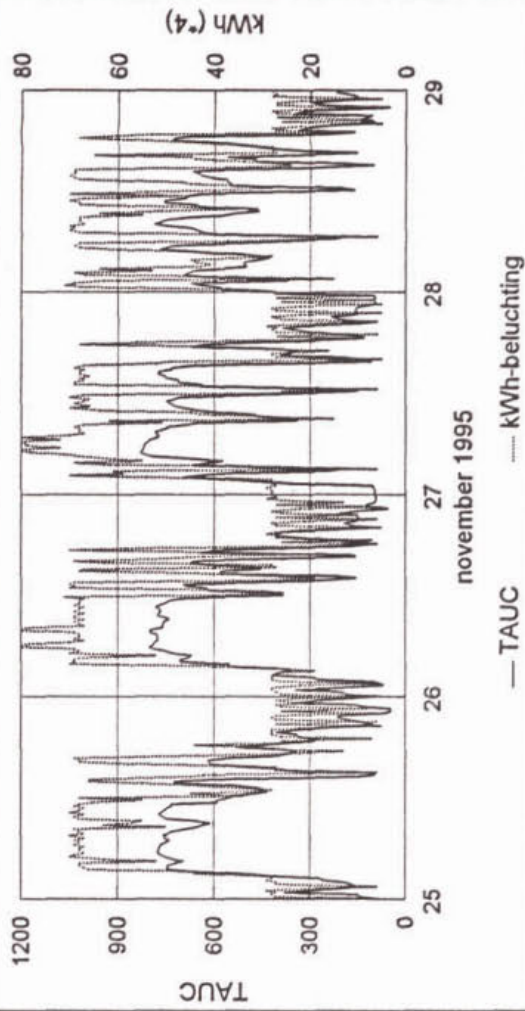
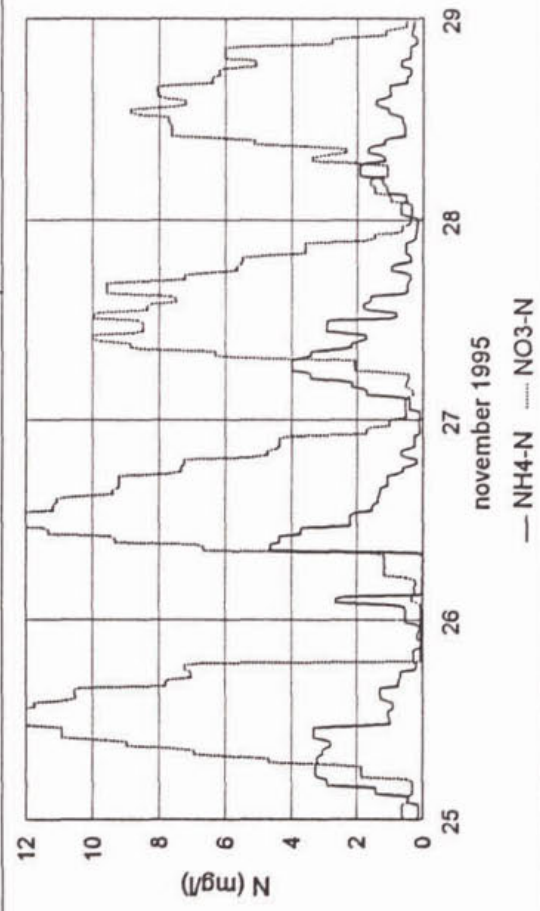


Resultaten van periode B

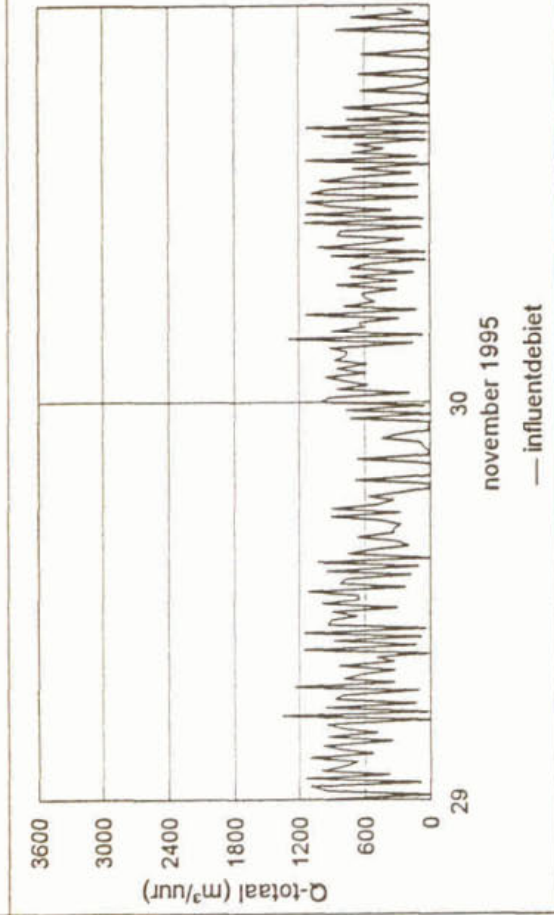
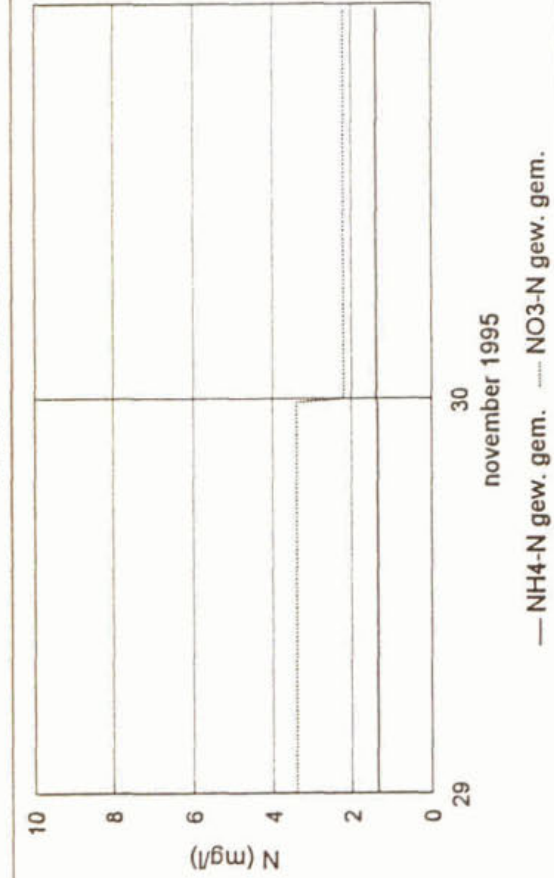
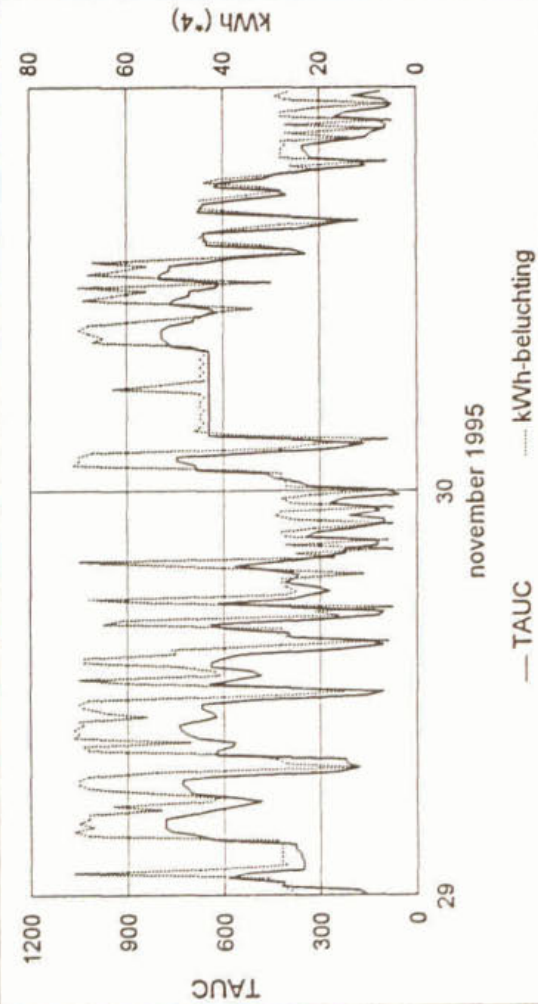
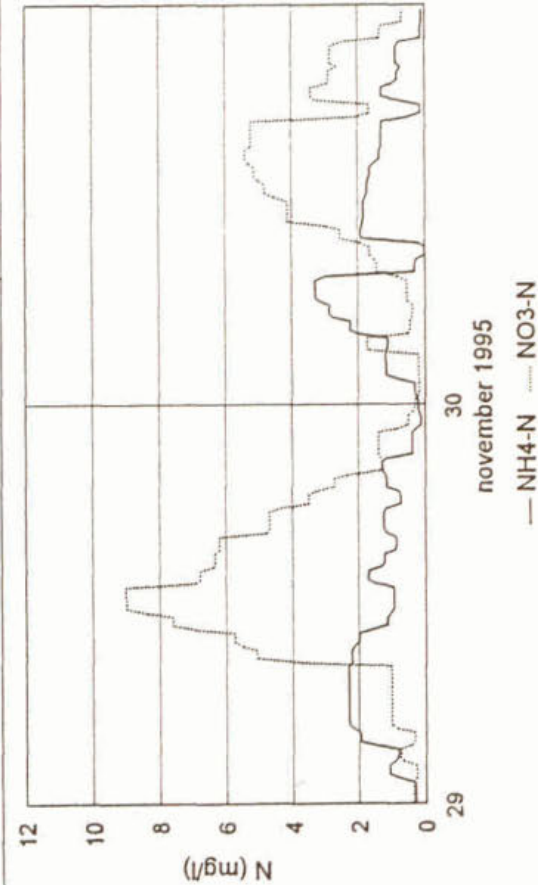
nwzi Beemster; regeling respiatiemeting



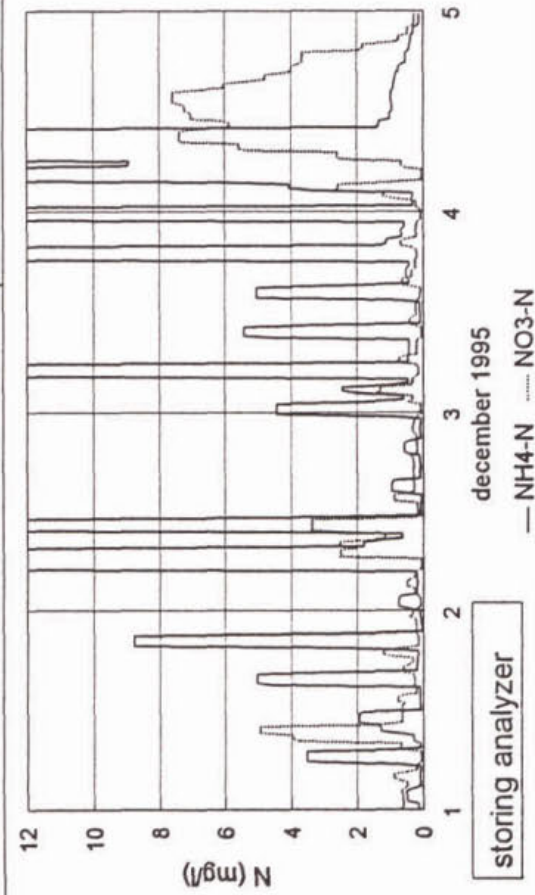
rwzi Beemster; regeling respiatiemeting



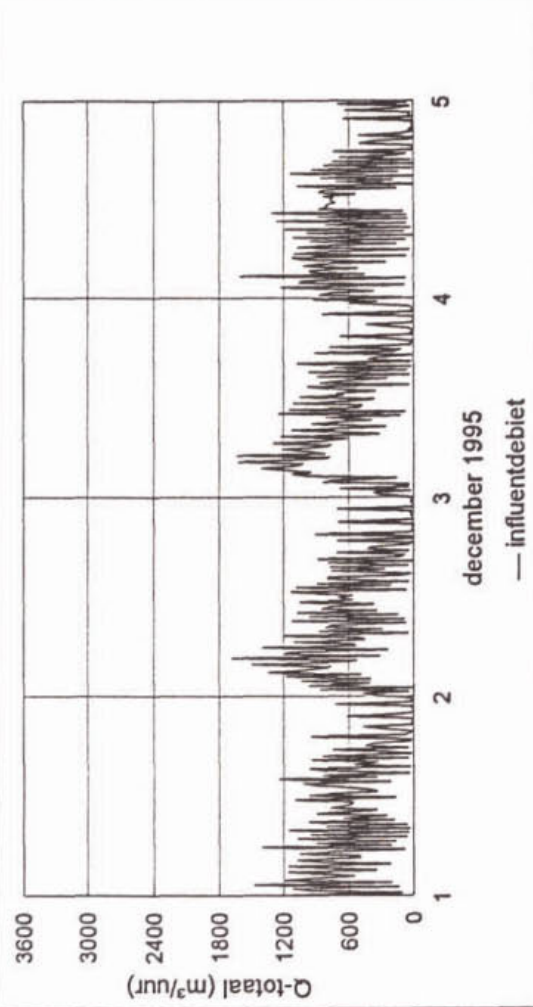
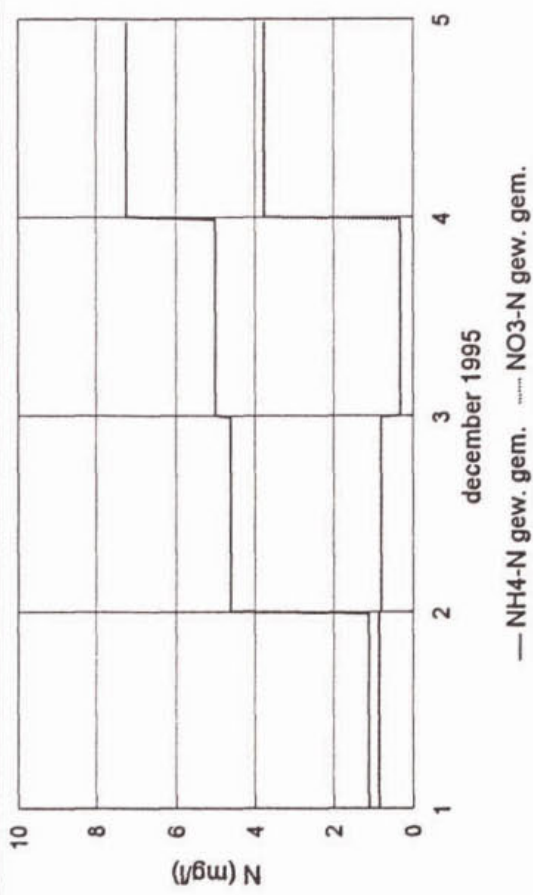
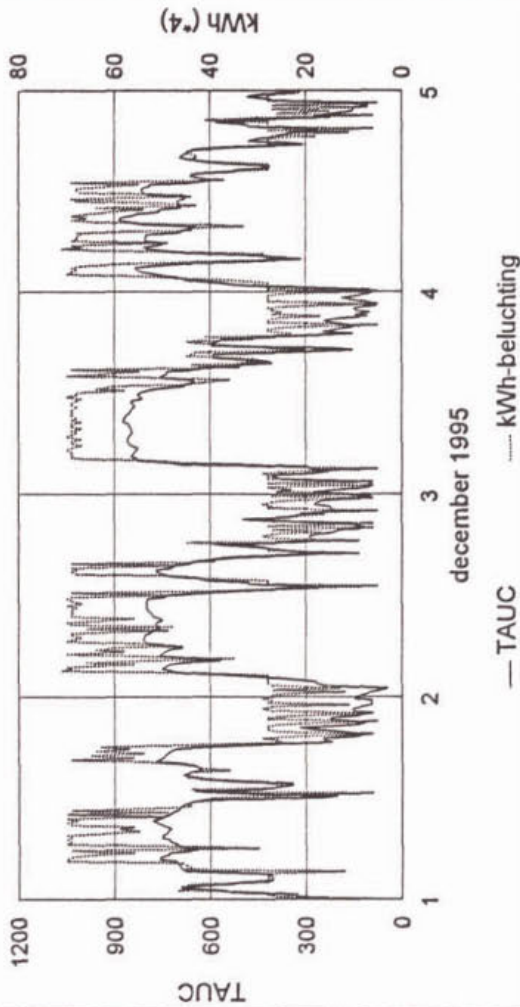
nwzi Beemster; regeling respiatiemeting



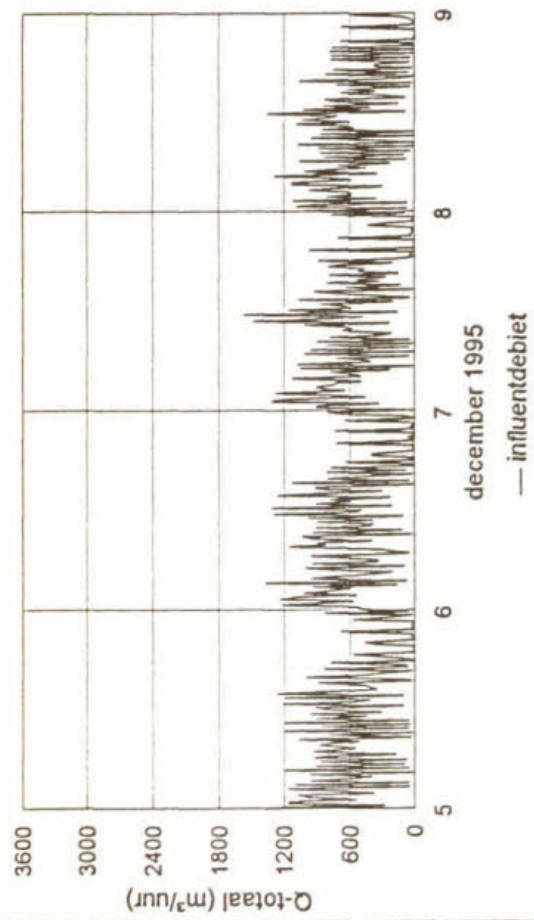
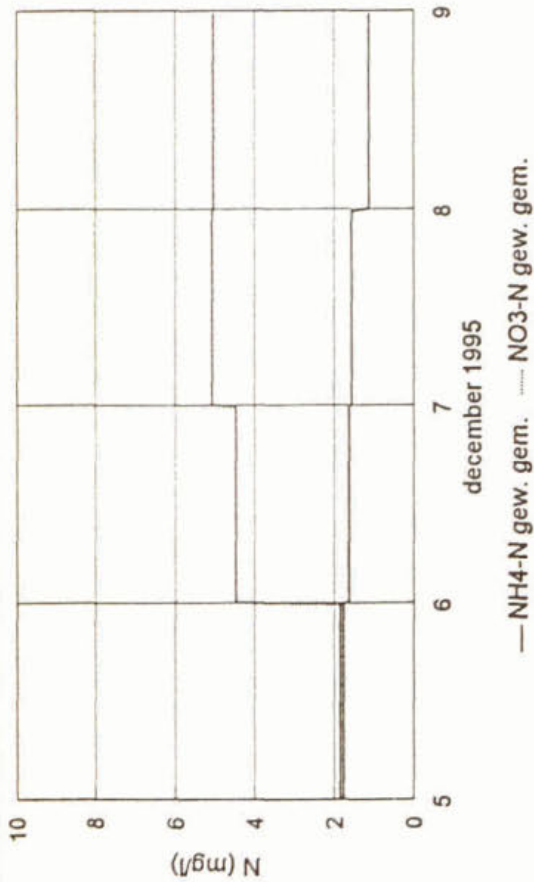
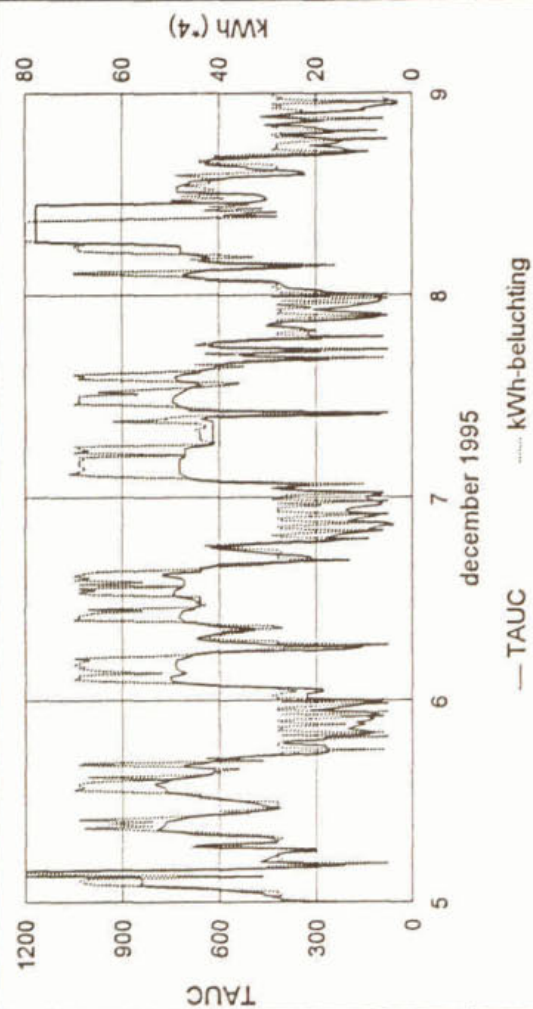
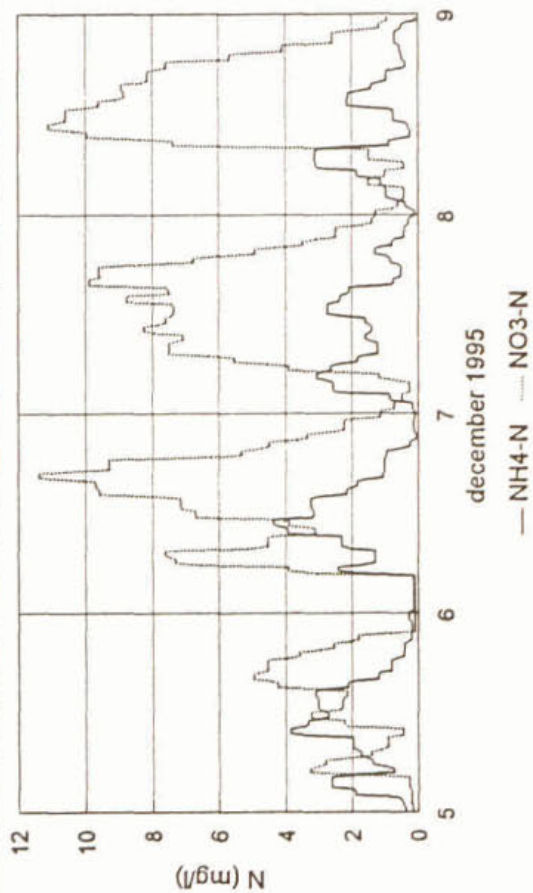
nwzi Beemster; regeling respiatiemeting



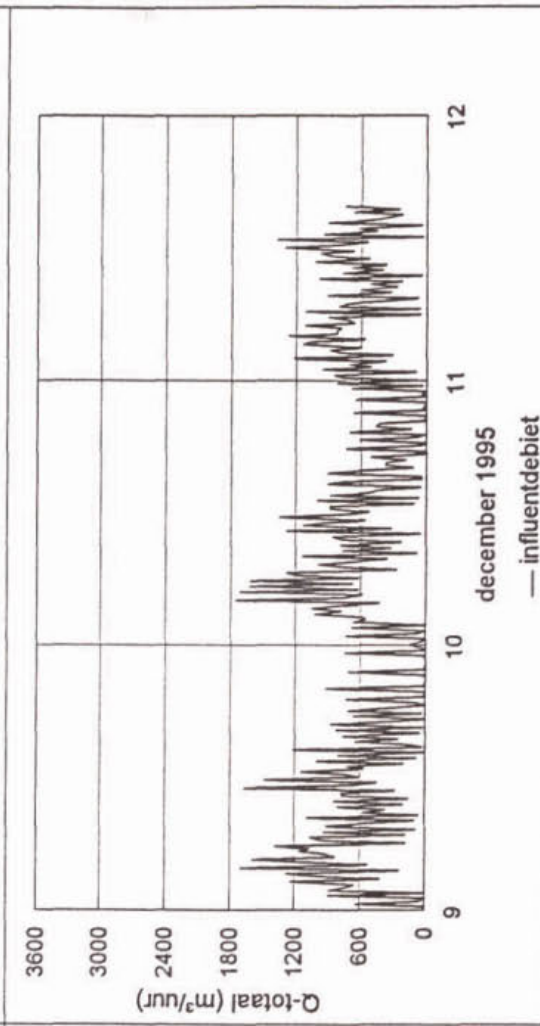
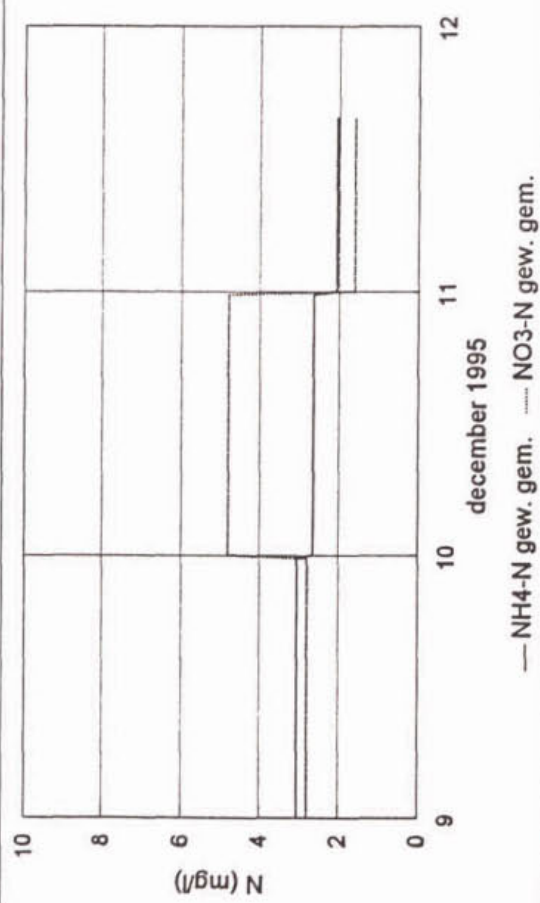
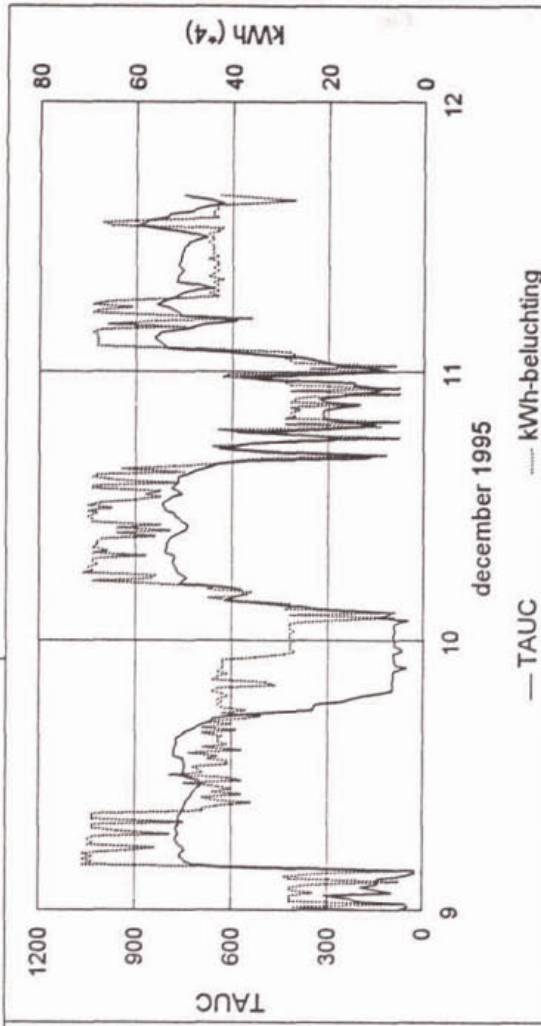
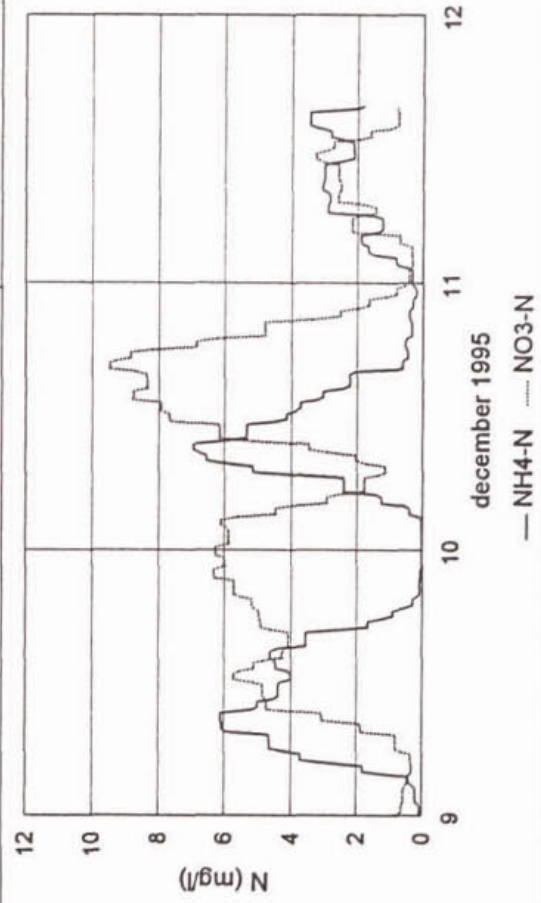
storing analyzer



rwzi Beemster; regeling respiatiemeting

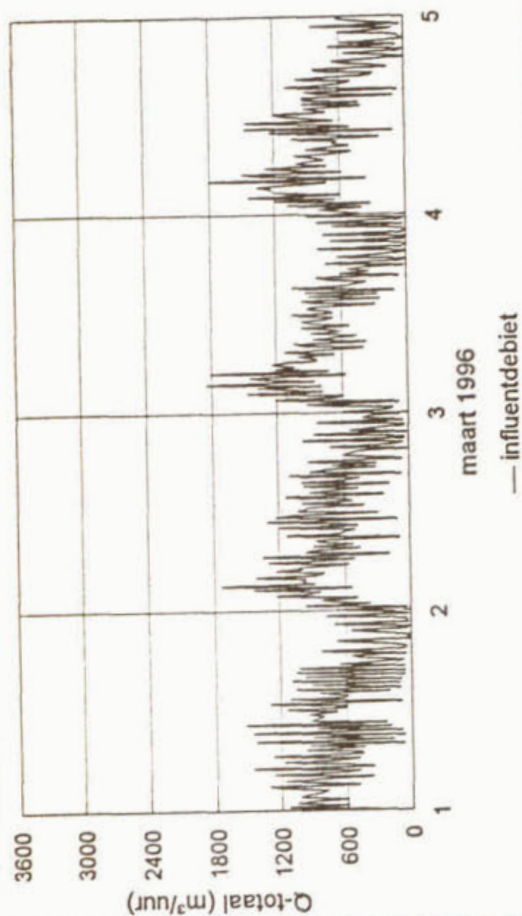
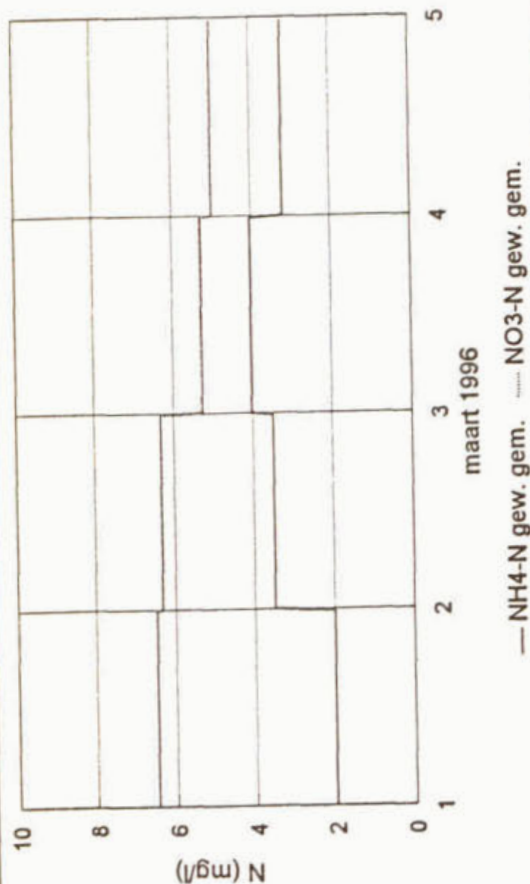
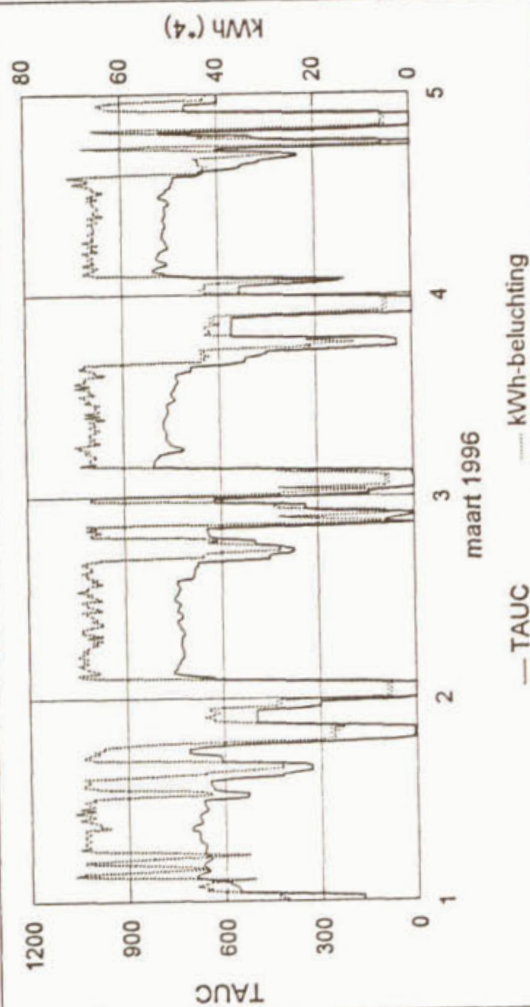
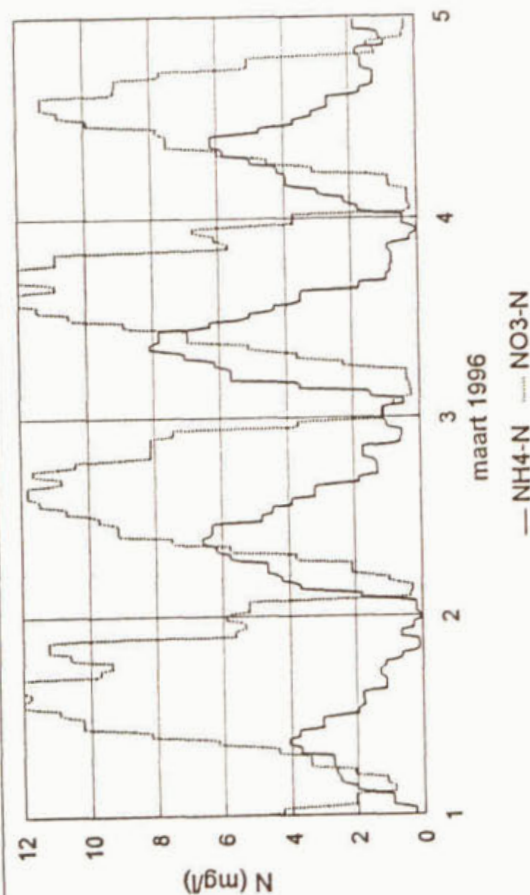


nwzi Beemster; regeling respiatiemeting

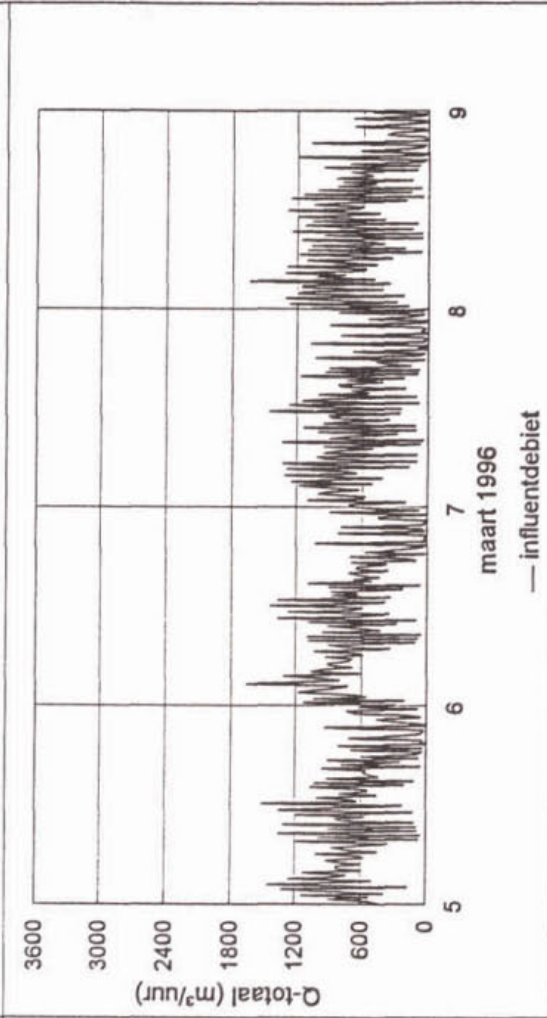
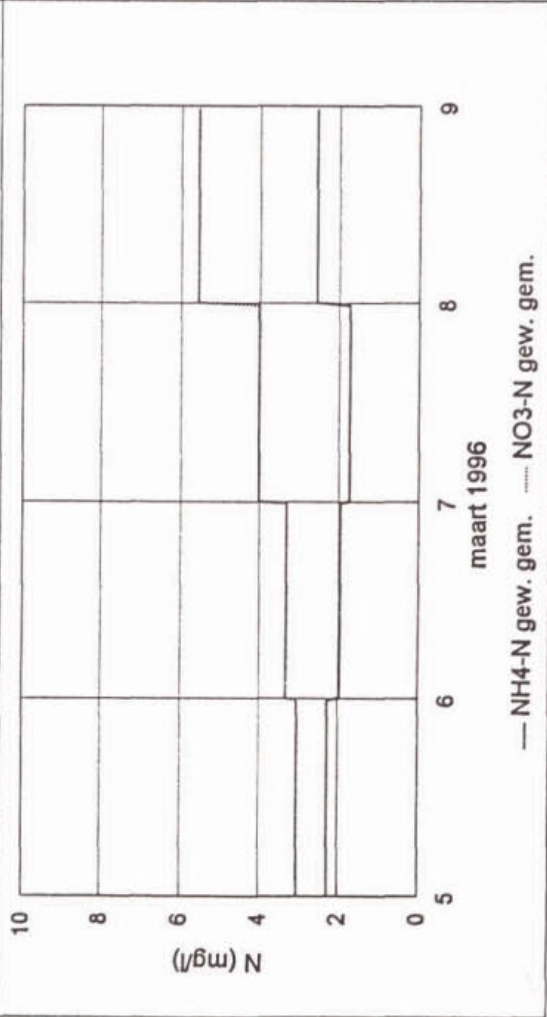
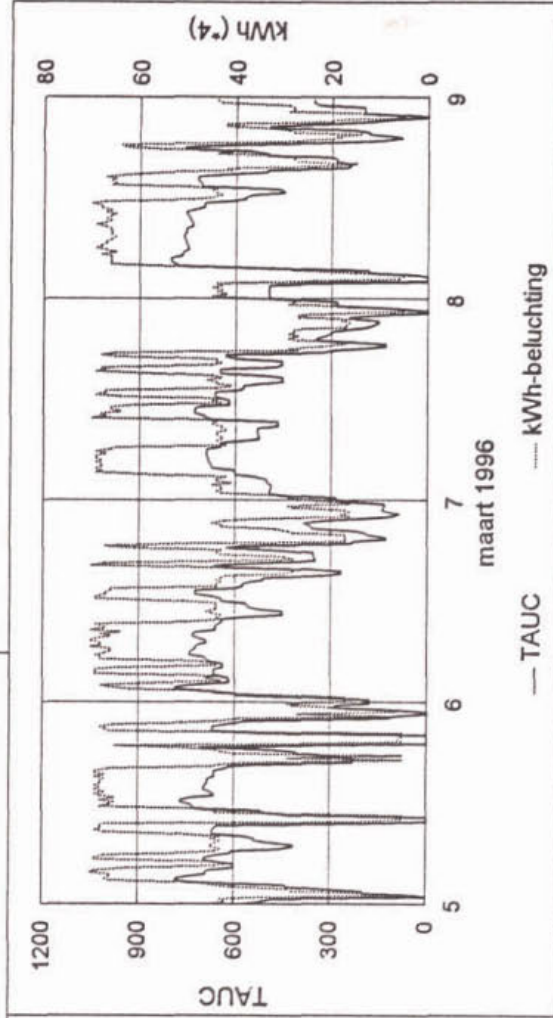
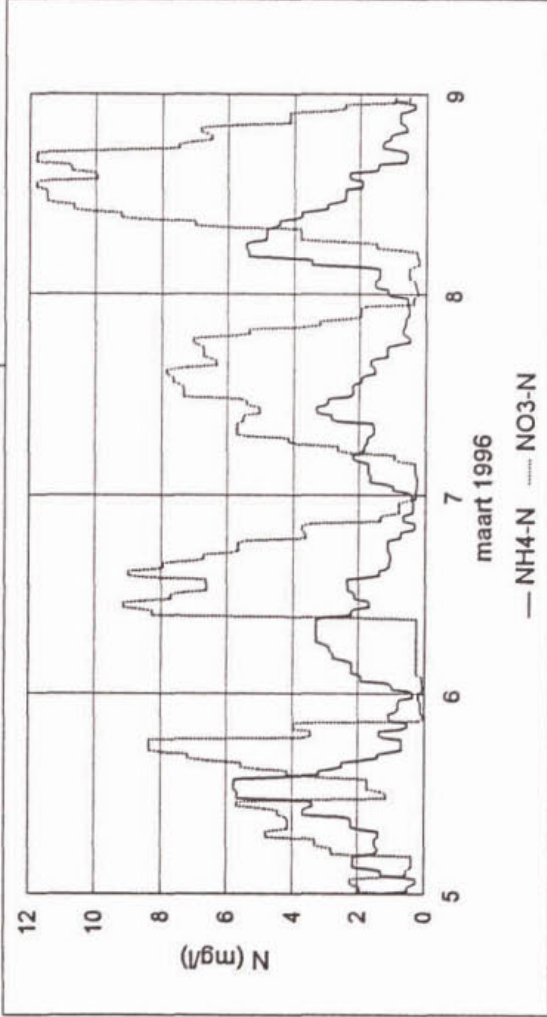


Resultaten van periode C

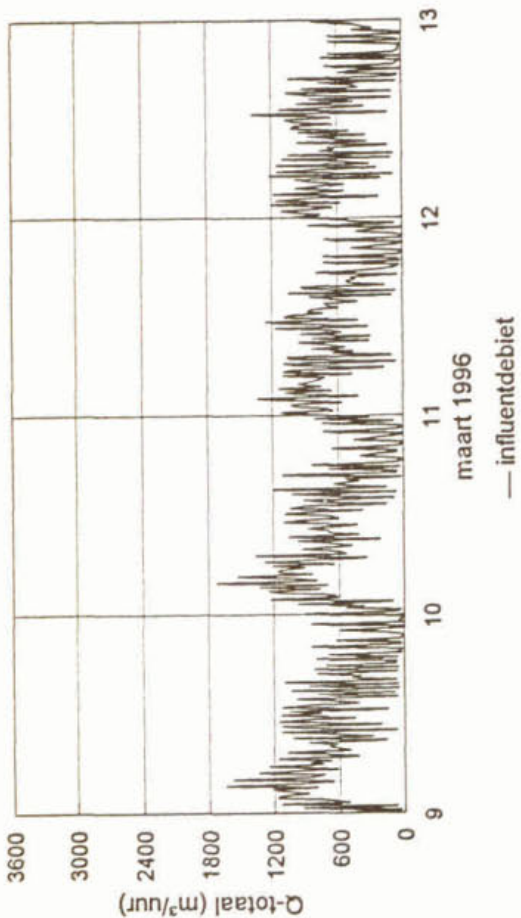
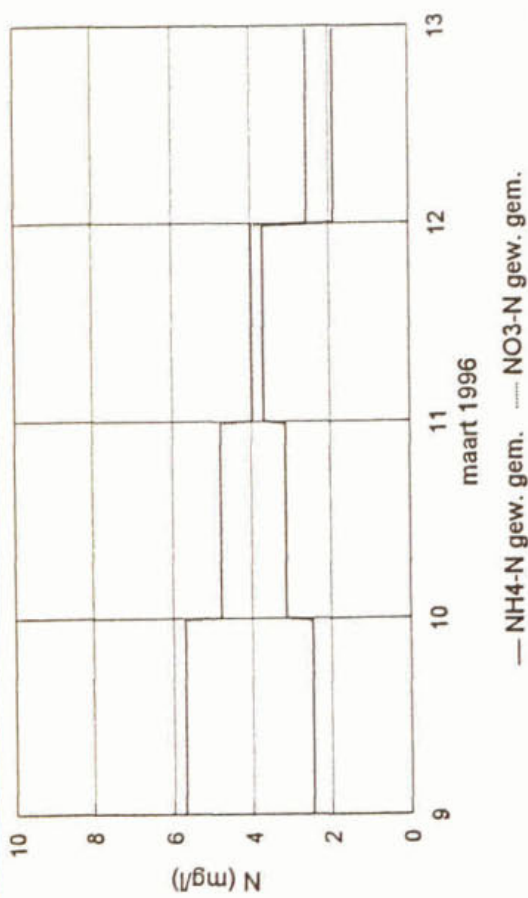
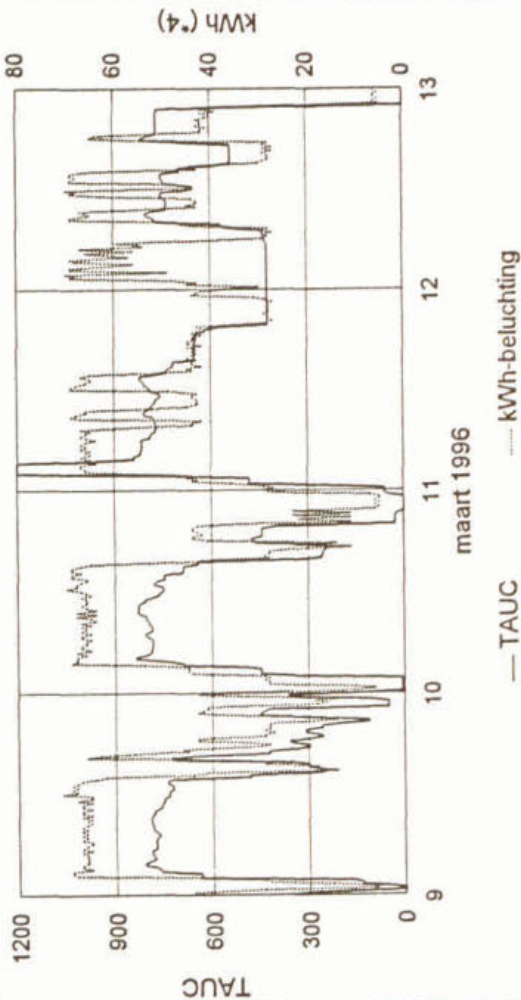
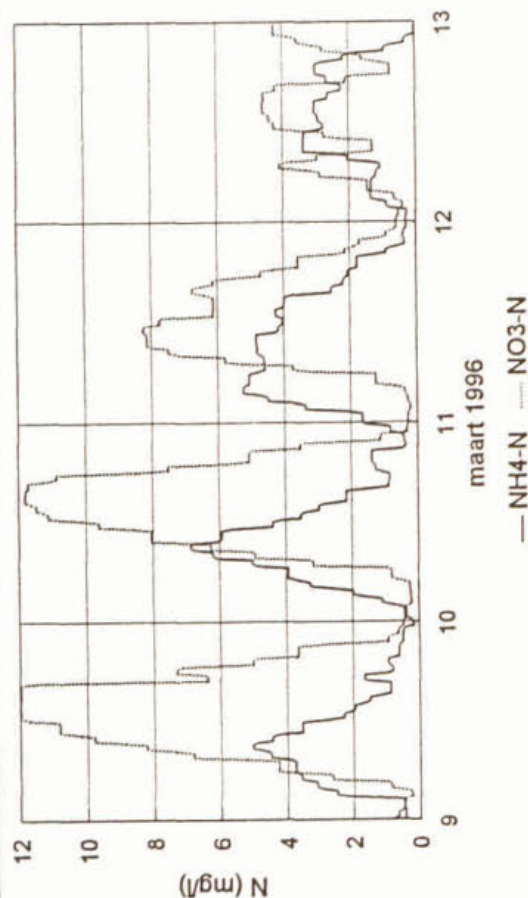
nwzi Beemster; regeling respiratiemeting



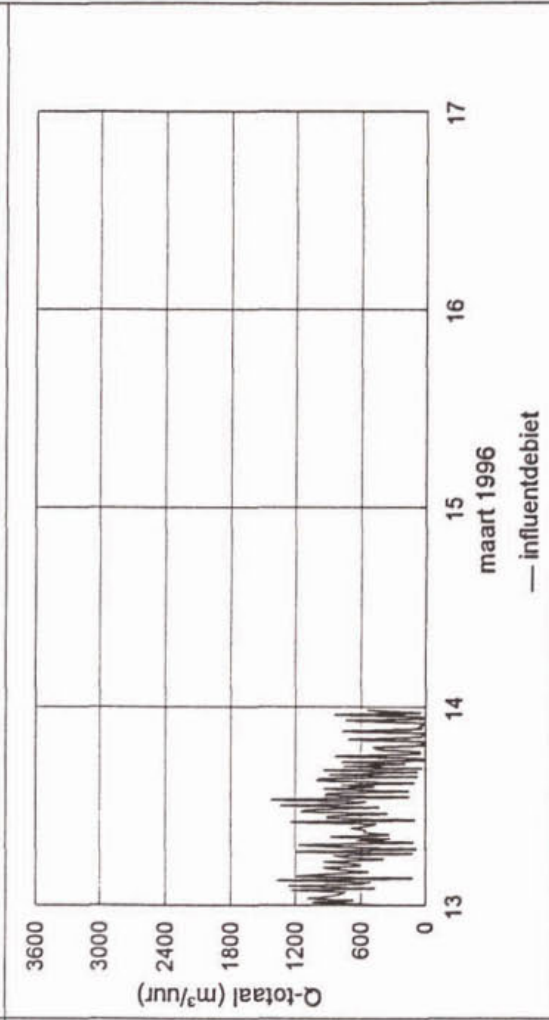
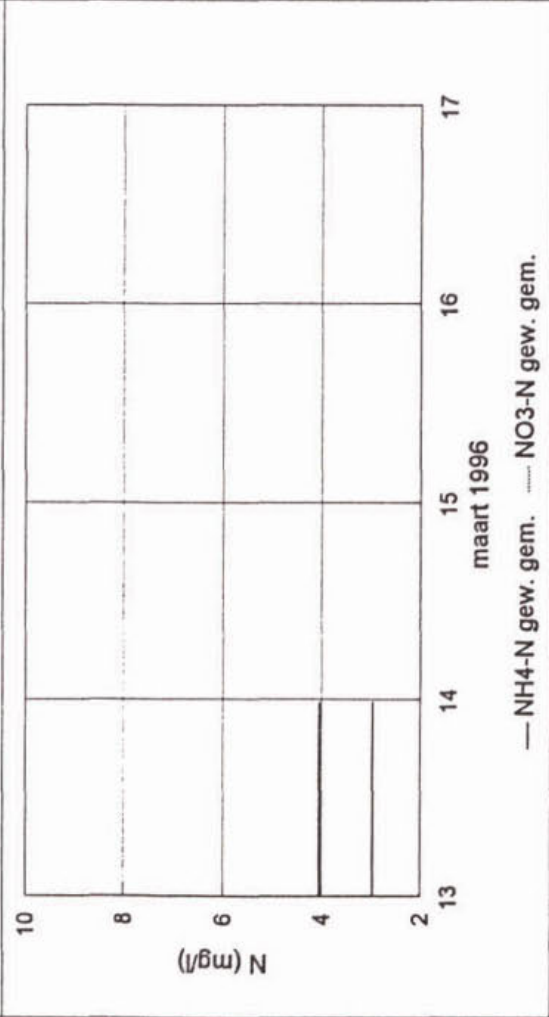
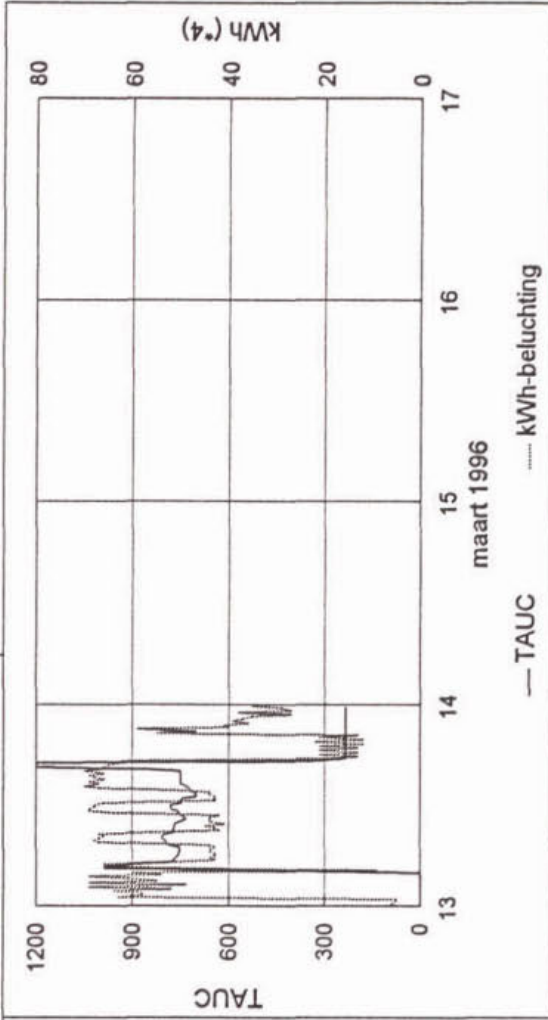
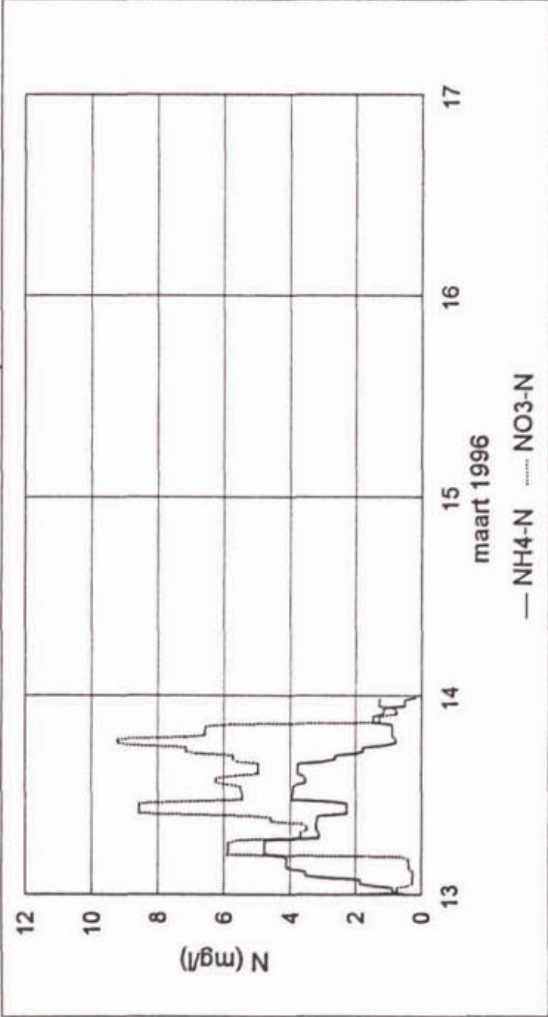
nwzi Beemster; regeling respiatiemeting



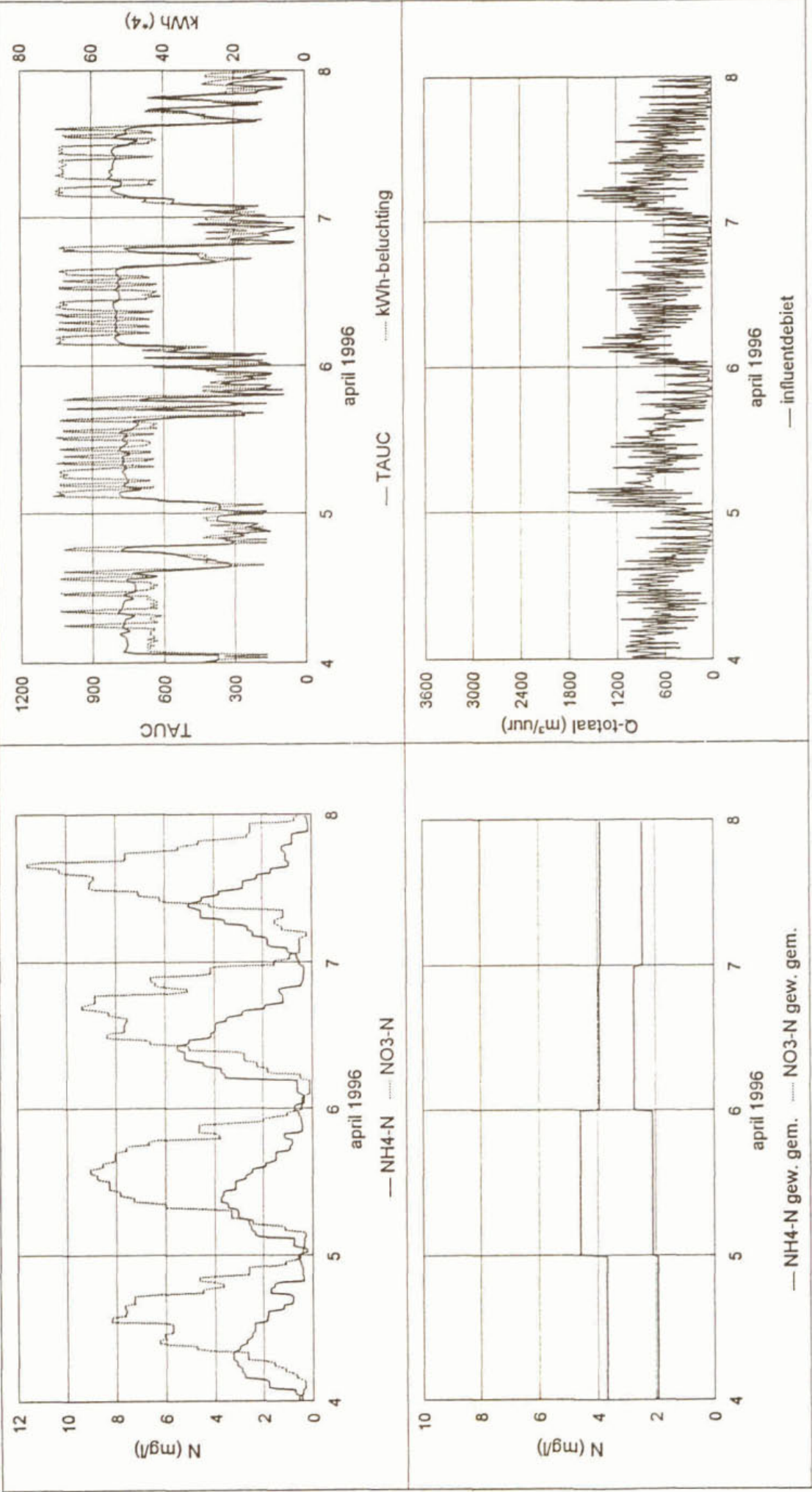
nwzi Beemster; regeling respiatiemeting



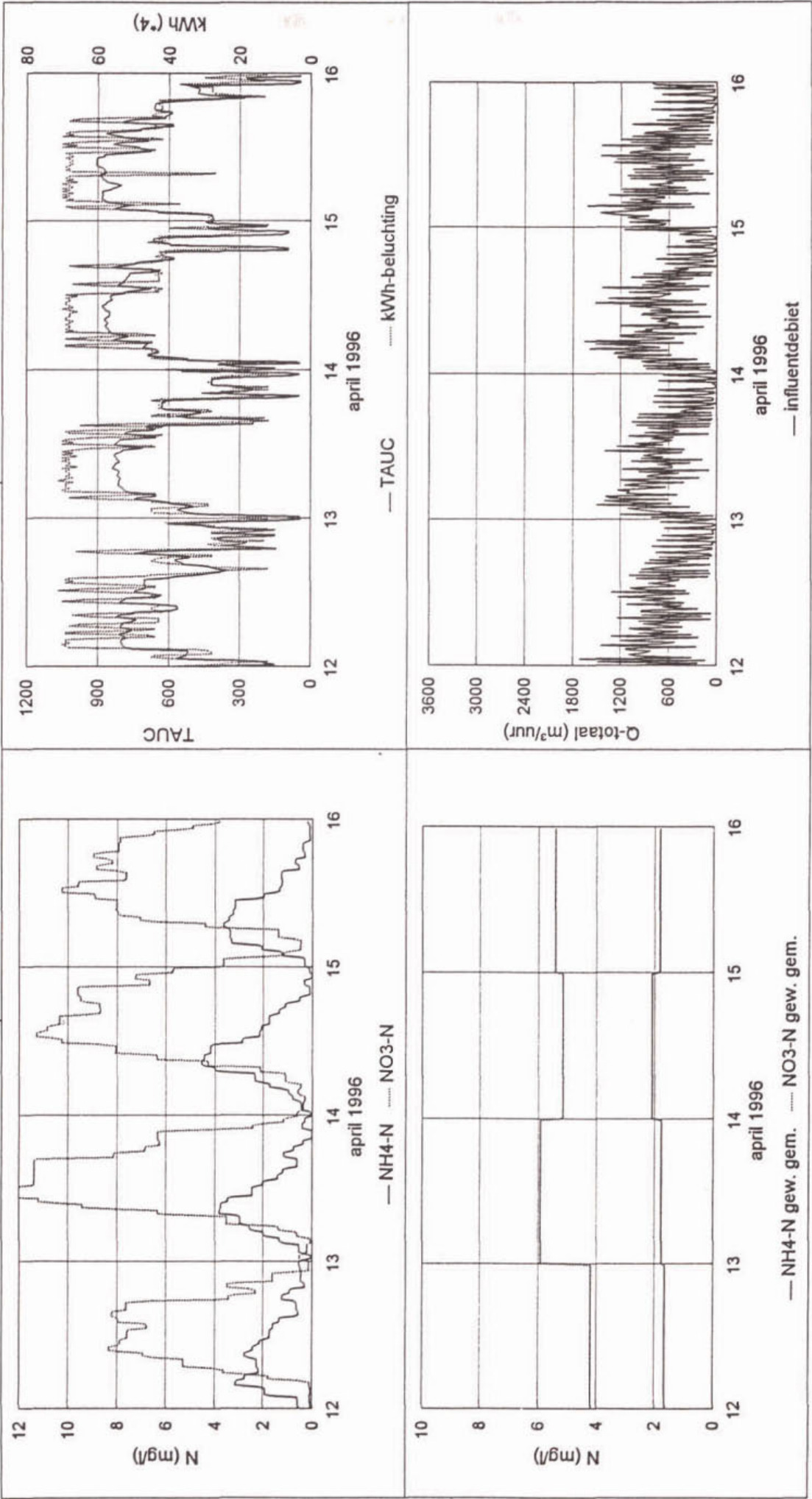
rwzi Beemster; regeling respiatiemeting



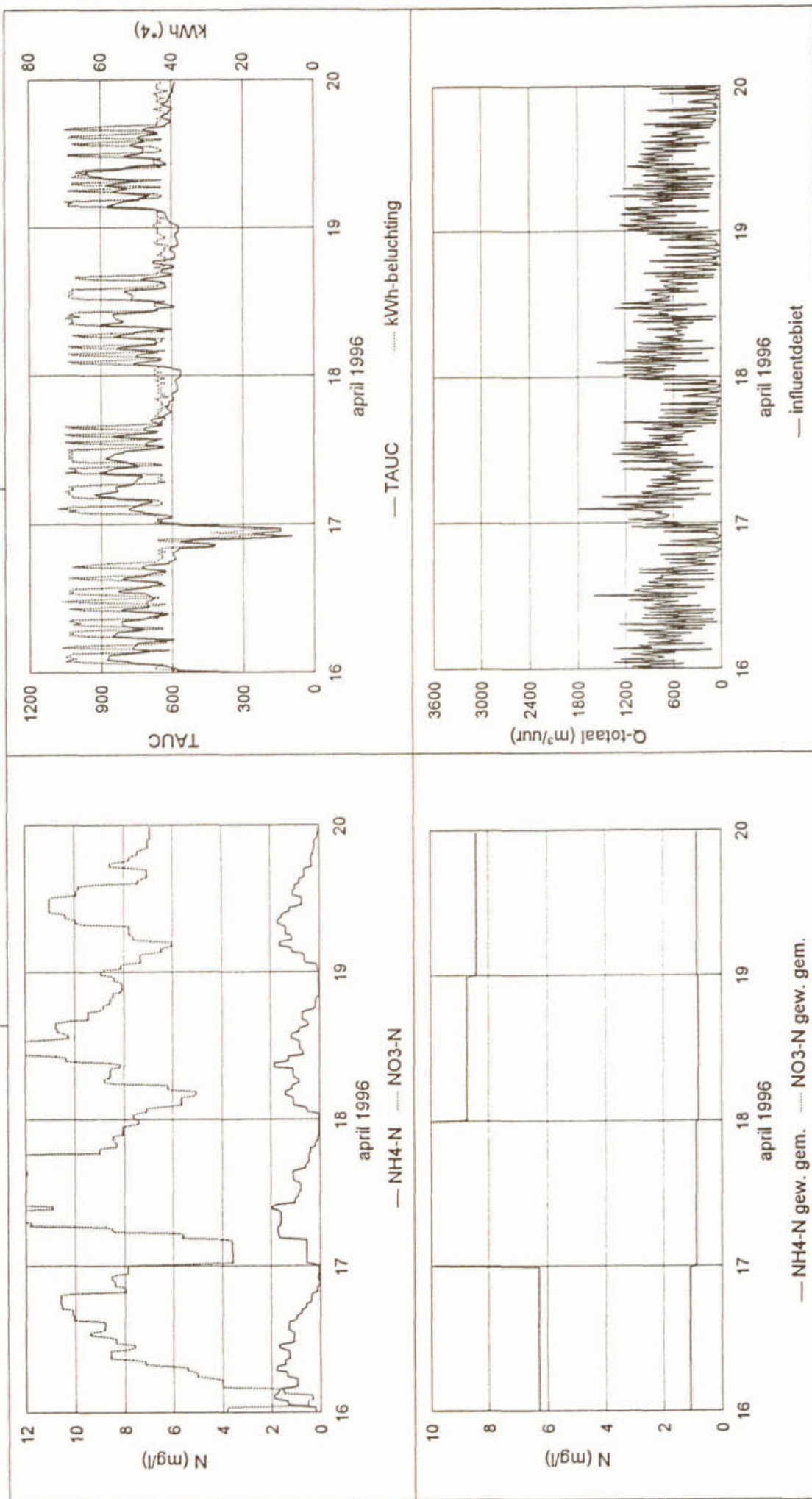
nwzi Beemster; regeling respiatiemeting



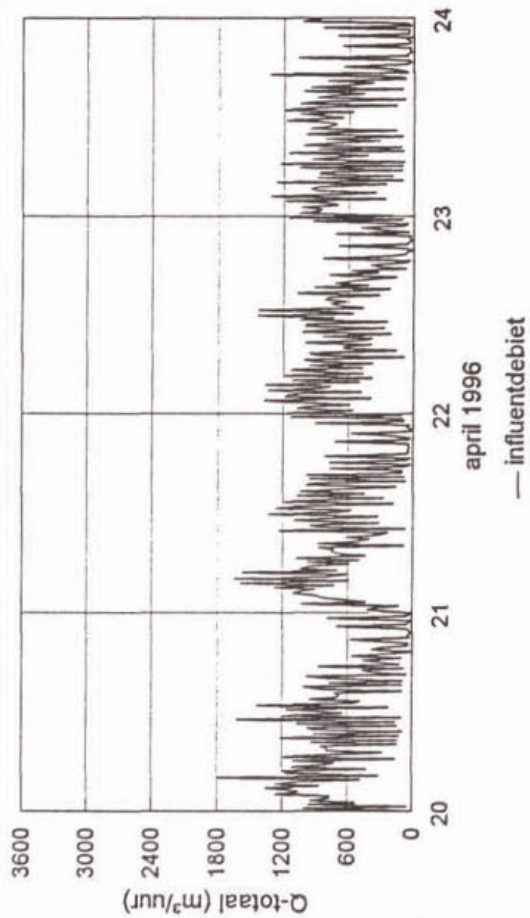
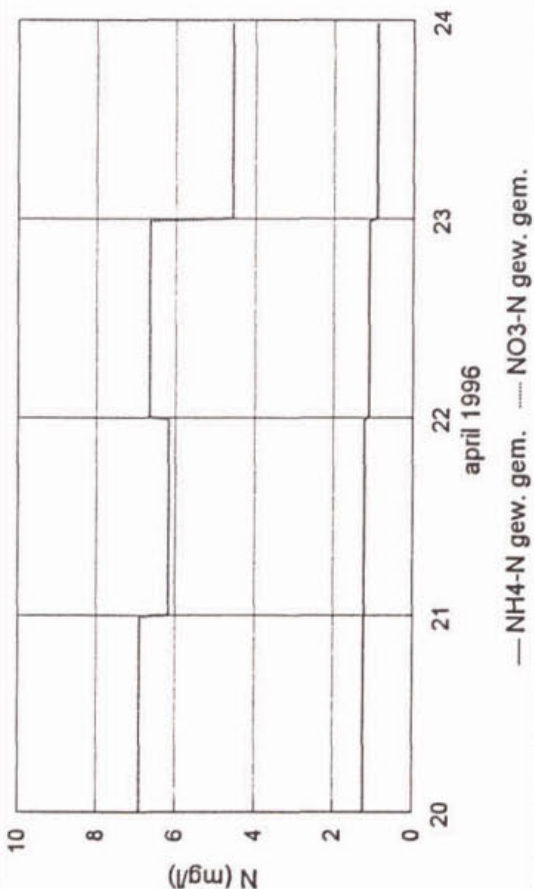
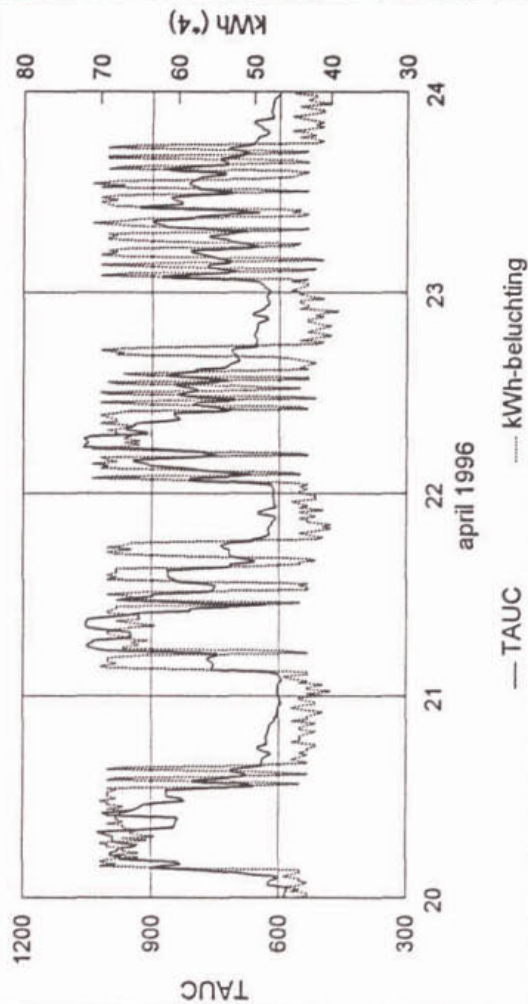
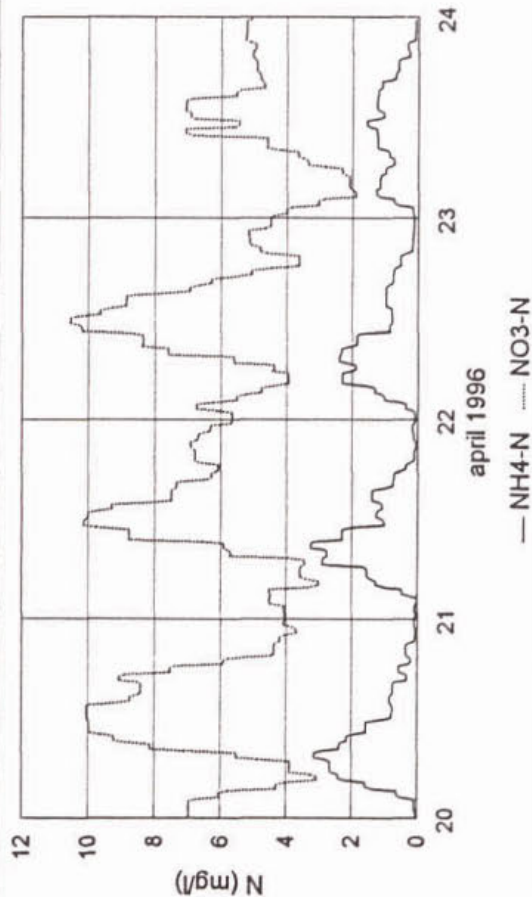
rwzi Beemster; regeling respiatiemeting



rwzi Beemster; regeling respiatiemeting



rwzi Beemster; regeling respiatiemeting

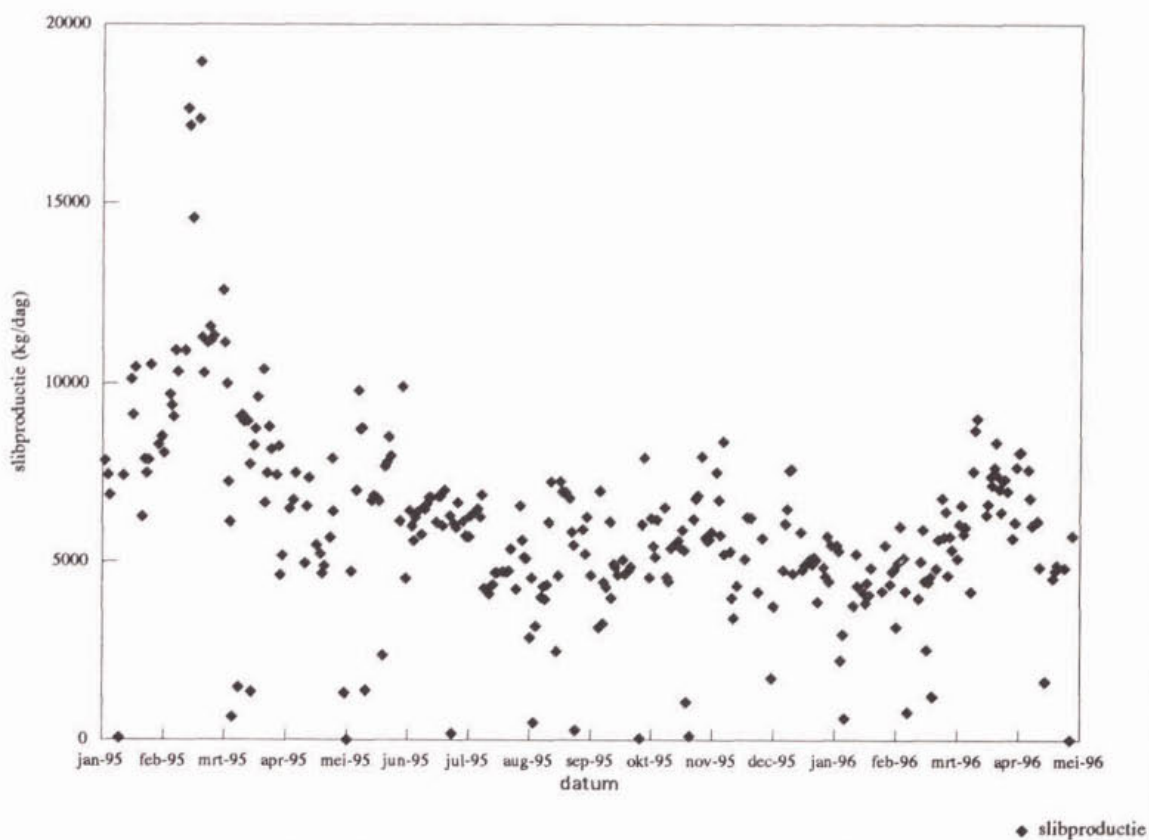
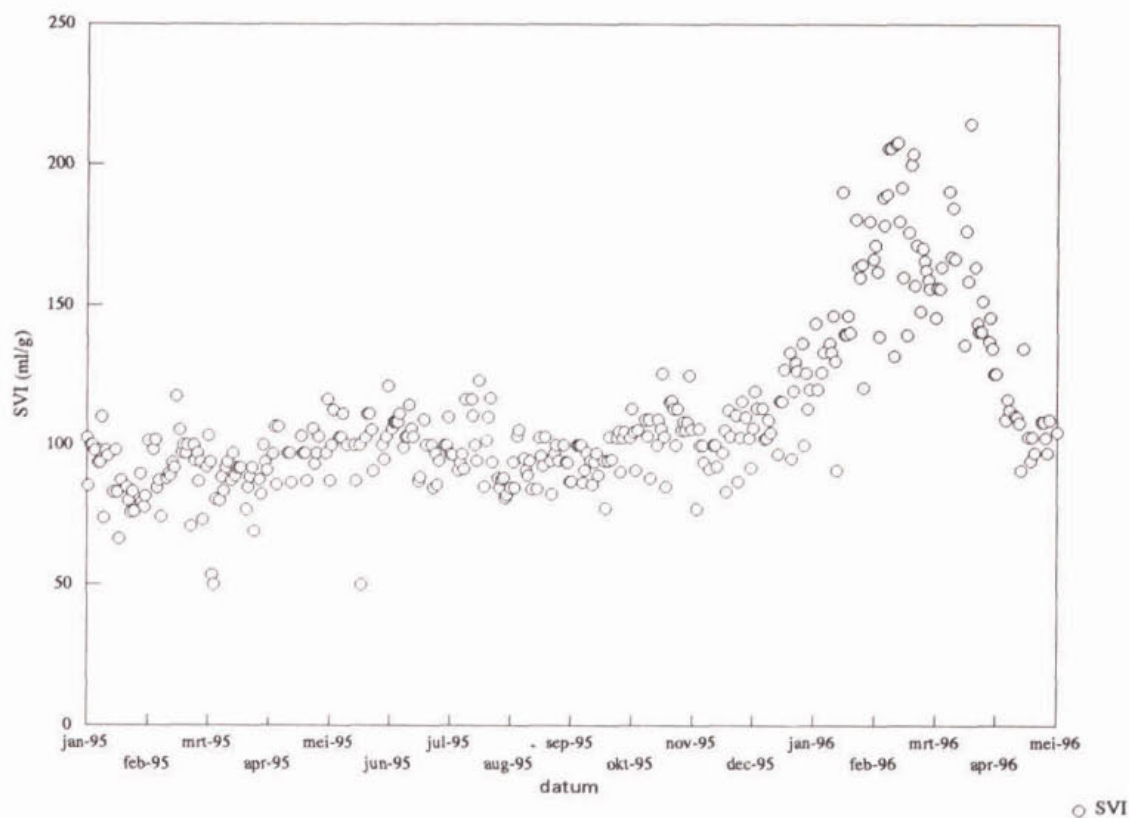


Overzicht belasting en rendementen in de verschillende perioden

	debiet (m³/h)	BZV vracht slibbelasting (kg/d) (g BZV/kg ds)		CZV vracht slibbelasting (kg/d) (g CZV/kg ds)		NKJ vracht slibbelasting (kg/d) (g NKj/kg ds)		rendement BZV CZV NKj N-totaal (%) (%) (%) (%)				effluent N-totaal (mg/l)	kWh-bel/ kg verw. TZV	
O2-regeling (15/11/94 t/m 18/12/94)														
941121	21000	2310	0,018	7182	0,085	861	0,010	97,3	89,2	95,9	91,1	3,66	3,48	
941129	11600	3248	0,038	8665	0,105	708	0,009	98,9	94,5	96,9	93,4	4,01	1,58	
941207	15680	2901	0,036	10223	0,131	1004	0,013	98,4	94,0	97,0	94,4	3,56	1,14	
941215	14340	4445	0,062	20793	0,292	860	0,012	99,0	97,0	96,3	93,0	4,19	0,30	
gemiddeld	15655	3226	0,039	11716	0,153	858	0,011	98,4	93,7	96,5	93,0	3,86	1,63	
Periode A (23/10/95 t/m 15/11/95)														
951026	13700	2535	0,036	6645	0,096	932	0,013	98,4	92,6	97,2	93,9	4,17	1,62	
951103	14400	2376	0,035	6883	0,102	893	0,013	98,2	92,7	97,6	94,0	3,74	2,12	
951111	13820	4630	0,070	9909	0,150	1050	0,016	99,0	94,6	89,7	86,6	10,21	0,93	
gemiddeld	13108	3180	0,047	7812	0,116	958	0,014	98,5	93,3	94,8	91,2	6,04	1,56	
Periode B (20/11/95 t/m 11/12/95)														
951126	14360	4272	0,070	10217	0,168	905	0,015	99,0	94,7	97,1	89,0	6,92	0,69	
951130	13740	3641	0,066	10154	0,185	1017	0,018	98,9	94,6	97,3	92,7	5,41	0,61	
951205	12920	3811	0,052	8773	0,119	866	0,012	99,0	94,7	96,9	92,9	4,78	0,78	
951211	13740	4259	0,058	11129	0,151	1058	0,014	99,0	95,1	96,2	92,5	5,78	0,56	
gemiddeld	12761	3996	0,062	10068	0,156	961	0,015	99,0	94,8	96,9	91,9	5,72	0,66	
Periode C (28/2/96 t/m 14/3/96)														
960302	17060	3924	0,050	10330	0,131	1143	0,014	98,7	91,9	96,3	87,1	8,65	0,72	
960309	15440	3860	0,039	12105	0,122	1220	0,012	98,2	93,4	96,5	90,5	7,52	0,52	
gemiddeld	14693	3892	0,044	11217	0,126	1181	0,013	98,4	92,6	96,4	88,9	8,09	0,62	
Periode D (3/4/96 t/m 25/4/96)														
960408	14360	5170	0,068	11273	0,147	1134	0,015	99,2	94,5	95,2	89,8	8,09	0,82	
960415	15560	6380	0,098	14455	0,222	1120	0,017	99,1	94,8	96,4	89,9	7,28	0,56	
960423	11080	4210	0,063	10105	0,151	886	0,013	99,2	95,7	97,5	92,4	6,12	1,20	
gemiddeld	14523	5253	0,076	11944	0,173	1047	0,015	99,2	95,0	96,4	90,7	7,16	0,86	

Opmerking: het gemiddelde debiet is het gemiddelde van alle dagen in de periode, dus niet het gemiddelde van de bemonsteringsdagen

Rwzi Beemster; verloop SVI en slibproductie (periode jan. 1995 - mei 1996)



Statistische gegevensvergelijking

Statistische gegevensverwerking van de verschillende regelingen

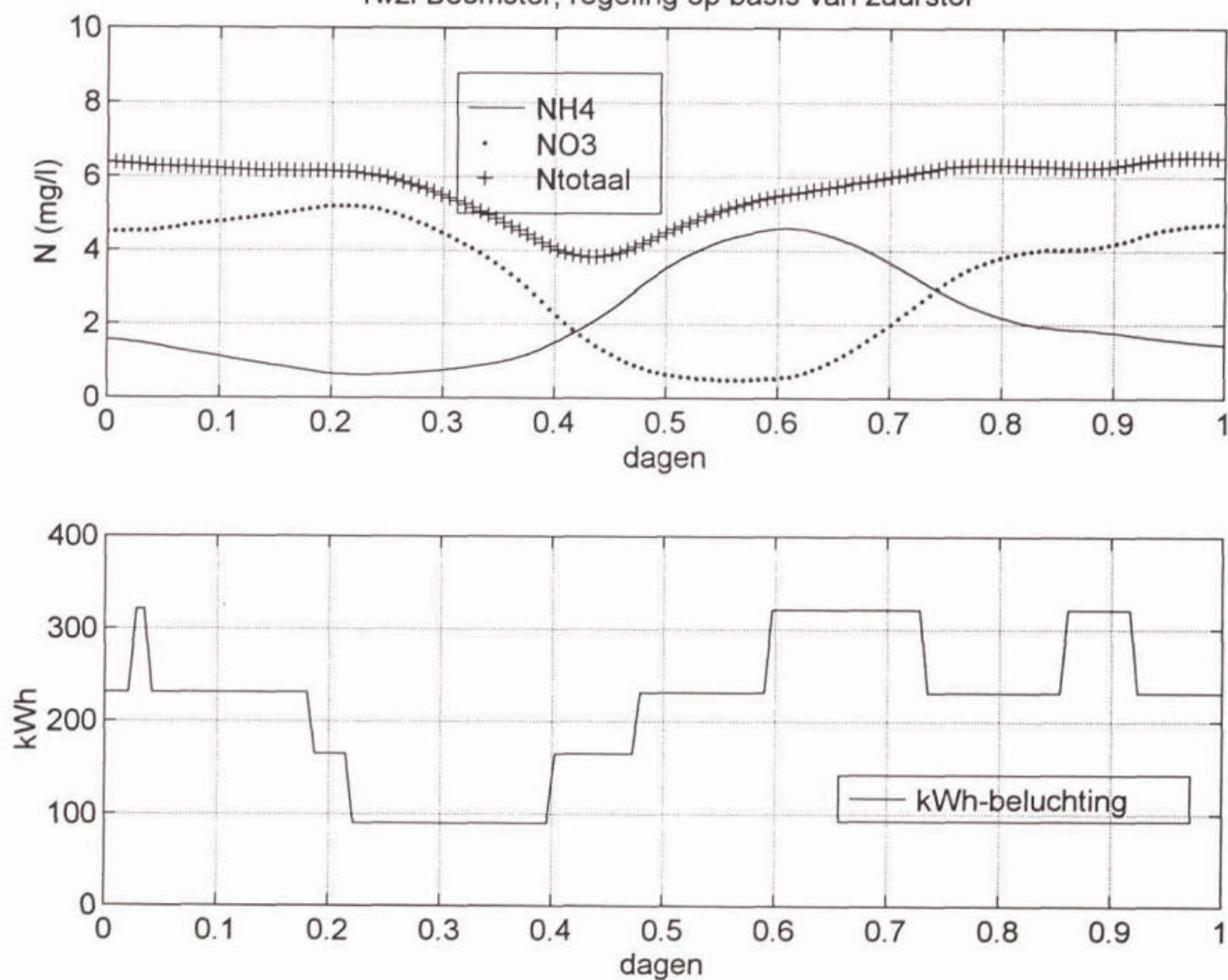
O2-regeling L.o.v. resp.-regeling (per. B)	aantal waarnemingen gemiddelde standaardafwijking d 95 % betrouwbaarheidsinterval	NH4-N O2-reg. resp.-reg. 24 1,52 0,83 22 1,08 0,66 0,44 < -0,01 0,89 >	NOx-N O2-reg. resp.-reg. 24 2,23 1,06 22 3,63 1,54 -1,40 < -2,18 -0,62 >	N tot-N O2-reg. resp.-reg. 24 3,75 1,43 22 4,71 1,77 0,96 < -1,92 -0,01 >	AWb belasting O2-reg. resp.-reg. 24 4646,98 289,23 22 4045,37 241,41 601,61 < 442,47 760,76 >
O2-regeling L.o.v. resp.-regeling (per. D)	aantal waarnemingen gemiddelde standaardafwijking d 95 % betrouwbaarheidsinterval	NH4-N O2-reg. resp.-reg. 24 1,52 0,83 22 1,08 0,55 0,44 < 0,02 0,86 >	NOx-N O2-reg. resp.-reg. 24 2,23 1,06 22 5,35 2,01 -3,12 < -4,06 -2,17 >	N tot-N O2-reg. resp.-reg. 24 3,75 1,43 22 6,42 1,86 -2,67 < -3,65 -1,69 >	AWb belasting O2-reg. resp.-reg. 24 4646,98 289,23 22 4604,76 440,09 42,22 < -177,33 261,78 >
resp.-regeling (per. B) L.o.v. resp.-regeling (per. D)	aantal waarnemingen gemiddelde standaardafwijking d 95 % betrouwbaarheidsinterval	NH4-N resp-reg(B) resp-reg(D) 22 1,08 0,66 22 1,08 0,55 0,00 < -0,37 0,37 >	NOx-N resp-reg(B) resp-reg(D) 22 3,63 1,54 22 5,35 2,01 -1,72 < -2,81 -0,63 >	N tot-N resp-reg(B) resp-reg(D) 22 4,71 1,77 22 6,42 1,86 -1,71 < -2,82 -0,61 >	AWb belasting resp-reg(B) resp-reg(D) 22 4045,37 241,41 22 4604,76 440,09 -559,39 < -775,40 -343,37 >

temperatuur:
O2-regeling: 14,6 °C
Respiratieregeling periode B: 14,2 °C
Respiratieregeling periode D: 13,6 °C

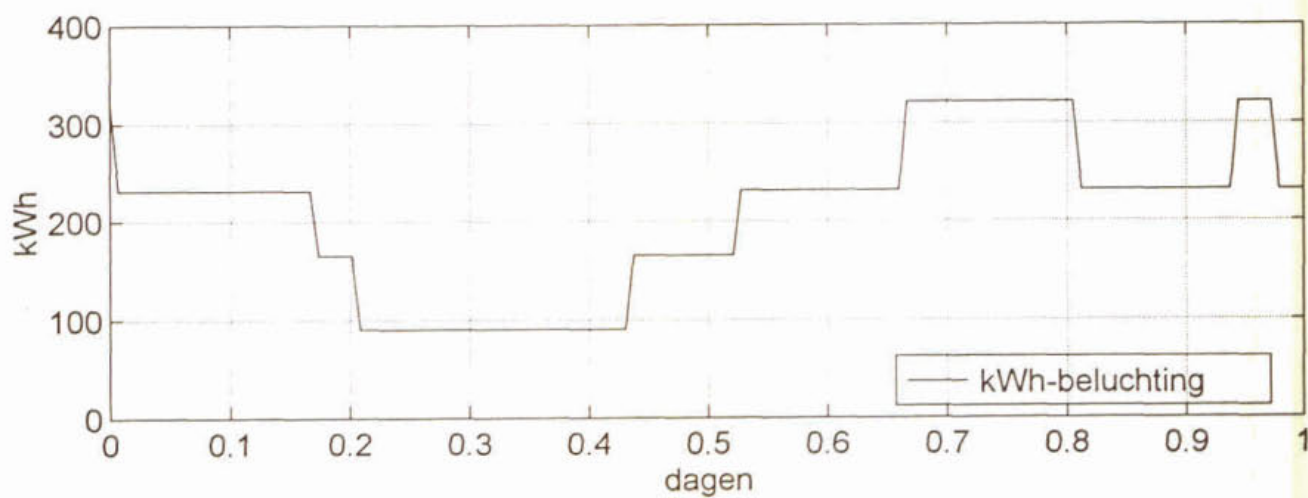
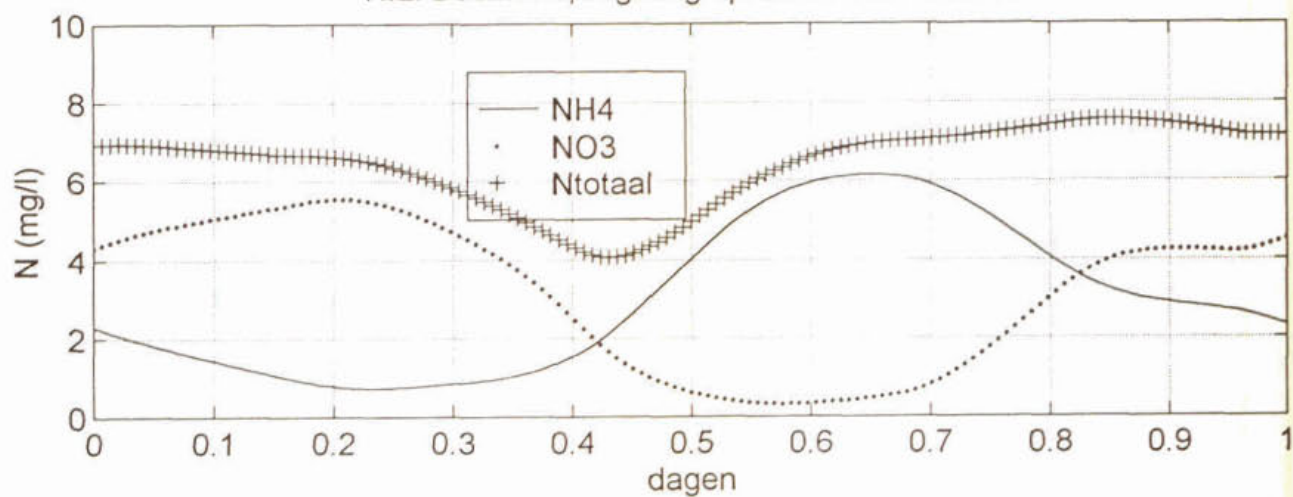
* Nutsaaf berekend als de som van NH4-N en NOx-N

Vergelijking O_2 -regeling en respiratieregeling met behulp van simulatie

rwzi Beemster, regeling op basis van zuurstof



rwzi Beemster, regeling op basis van zuurstof



**Vergelijking simulatieresultaten van de zuurstofregeling
ten opzichte van de respiratieregeling**

		O ₂ - regeling	respiratie- regeling
N _{tot}	mg/l	6.4	4.9
NH ₄	mg/l	3.0	3.0
NO ₃	mg/l	3.1	1.6
N _{tot}	kg/d	93.2	72.9
kWh-bel		5136	4958

