



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE RIJNLANDEN

stowa

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Optimalisatie van de stikstofverwijdering in de waterlijn van de rwzi Utrecht

Regeling van de interne recirculatie

1997-W05_optimalisatie-stikstofverwijdering-Utrecht



97 w 05

**Optimalisatie van de stikstofverwijdering
in de waterlijn van de rwzi Utrecht**

Regeling van de interne recirculatie

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 90.5773.001.4

97 w 05



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE RIJNLANDEN

**Optimalisatie van de stikstofverwijdering in de waterlijn
van de rwzi Utrecht**

Regeling van de interne recirculatie

**Sector Waterzuivering
september 1997
Cora Uijterlinde**

INHOUDSOPGAVE

	pag.
SAMENVATTING	0
1 INLEIDING	1
2 ACHTERGROND	2
3 DOELSTELLINGEN	3
4 BESCHRIJVING VAN RWZI UTRECHT	4
4.1 Algemeen	4
4.2 Substraatdosering	5
4.3 Beluchterregeling	5
4.4 Voordenitrificatie	5
4.5 Defosfatering	6
5 PROEFOPZET	7
5.1 Regelingen	7
5.2 Fasering van het onderzoek	8
5.3 Referentie	8
5.4 Bemonstering en analyse	9
5.5 On-line analysers	9
5.6 Dynamische simulatie	10
6 EVALUATIE VAN DE RESULTATEN	11
6.1 Procescondities en resultaten	11
6.2 Interne recirculatie	11
6.3 Fosfaatverwijdering	13
6.4 Stikstofverwijdering	14
6.4.1 Nitrificatie	14
6.4.2 Denitrificatie	14
6.5 CZV/N-verhouding	16
6.6 Slibvolume-index	18
6.7 Statistische interpretatie	18
6.7 Regelingen	20
6.8 Kostenindicatie	21
7 CONCLUSIES	22

Bijlagen:

I:	Leden van de begeleidingscommissie en werkgroep	23
II:	Samenvatting "Optimalisatie rwzi Utrecht"	24
III:	Ontwerpgegevens van de rwzi Utrecht	26
IV:	Blokdiagram van de water- en sliblijn	29
V:	Uitgebreide verzameltabellen (per fase)	30
VI:	Grafische weergave van de resultaten	36
VII:	Trend recirculatie-debiet en NO _x in de vòordenitrificatieruimte	41
VIII:	Berekening overall stikstofverwijdering	42

SAMENVATTING

In het kader van het STOWA-onderzoeksprogramma "Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk" is in 1994 en 1995 een aantal maanden onderzoek gedaan naar de toepassing van voordennitrificatie in de beluchting van de tweede trap van de rwzi Utrecht. In één van de drie straten van de tweede trap is een voordennitrificatieruimte ingericht met interne recirculatie. Eén van de twee resterende straten fungeerde als referentiestraat. Op de rwzi Utrecht wordt in de eerste trap chemisch gedefosfateerd.

In het onderzoek is gekeken naar de effecten van de voordennitrificatie en de verschillende manieren van regelen van de interne recirculatie.

De hoogte van de defosfatering heeft invloed op de beschikbare hoeveelheid CZV voor denitrificatie in de tweede trap. Vergaande fosfaatverwijdering gaat ten koste van de stikstofverwijdering.

Het stikstofverwijderingsrendement in de tweede trap bedraagt maximaal 80%.

Het is zinvol om de interne recirculatie te regelen in verband met energiebesparing en het negatieve effect van de recirculatie op de slibvolume-index. Het negatieve effect op de index kan teniet worden gedaan door de dosering van een beperkte hoeveelheid spuislib van de eerste trap als substraat voor de tweede trap. Bij deze maatregel wordt dan wel meer energie voor beluchting verbruikt.

Tijdens het onderzoek is gebruik gemaakt van een redoxregeling en een nitraatregeling. Het is niet mogelijk om significante verschillen tussen de regelingen vast te stellen omdat de omstandigheden van de verschillende fasen van het onderzoek niet overeen kwamen (temperatuur, CZV/N-verhouding, belasting).

Op grond van de resultaten (effluentkwaliteit en bedrijfsvoering) gaat de voorkeur uit naar de nitraatregeling. De meting is eenvoudig en de meetgegevens zijn eenduidig te interpreteren. De regeling kon op basis van het meetsignaal geoptimaliseerd worden zodat een gelijkmatige pompcurve over de dag kan worden bereikt.

1 INLEIDING

Voor u ligt het rapport van het onderzoek naar de optimalisatiemogelijkheden van de stikstofverwijdering in de waterlijn van de rwzi Utrecht. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het STOWA-programma "Regelen van P-en N-verwijderingsprocessen in de praktijk" (PN012[†]).

Het onderzoek is in 1994 gestart en is afgerond in 1996. Het is uitgevoerd door de sector Waterzuivering van het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, voorheen Provincie Utrecht¹. Het onderzoek werd begeleid door een STOWA-begeleidingscommissie. De namen van de leden van de begeleidingscommissie en de werkgroep van het STOWA-onderzoek zijn in bijlage I vermeld.

De indeling van het rapport is als volgt: in hoofdstuk 2 en 3 staan respectievelijk de achtergronden en de doelstelling van het onderzoek vermeld. In hoofdstuk 4 wordt de onderzoekslocatie beschreven. In hoofdstuk 5 wordt de proefopzet toegelicht en in hoofdstuk 6 vindt de evaluatie van de resultaten plaats. Het rapport wordt afgesloten met de conclusies (hoofdstuk 7) en de bijlagen.

Bij het opstellen van deze notitie is zoveel mogelijk rekening gehouden met het voorstel voor de deelrapportages in het rapport "Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk".

¹ Vanaf 1 januari 1997 valt het beheer van de rwzi Utrecht onder het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.

2 ACHTERGROND

Tijdens de verbouwing van de rwzi Utrecht bleek dat de rwzi niet voldeed aan de eisen die in de toekomst zouden gaan gelden. De rwzi Utrecht werd in het najaar van 1991 heropend en was uitgelegd op N_{kj} -verwijdering, zonder voorzieningen voor fosfaatverwijdering.

Op grond van het Lozingsbesluit stedelijk afvalwater² zijn maatregelen op bestaande rwzi's noodzakelijk om in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden te kunnen voldoen aan een gebiedsverwijderingsrendement van 75% voor stikstof vanaf 31 december 2002.

Omdat de rwzi Utrecht een zeer groot gedeelte van het afvalwater in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden zuivert, zijn maatregelen op deze rwzi noodzakelijk om de nutriëntenverwijderingsdoelstellingen te halen. Om te kunnen voldoen aan de verwijderingsdoelstellingen wordt op de rwzi Utrecht gestreefd naar een gemiddelde effluentkwaliteit van circa 12 mg N_{totaal}/l en 1 mg P_{totaal}/l .

In 1993 is gestart met onderzoek naar de fosfaat- en stikstofverwijdering op de rwzi Utrecht. Door DHV-Water is een simulatie met het computersimulatieprogramma STREAM uitgevoerd (zie ook paragraaf 5.6). De samenvatting van het rapport is in bijlage II opgenomen. Op basis van de simulatieresultaten is geconcludeerd dat door toepassing van voordennitrificatie in de beluchting van de tweede trap, de stikstofverwijdering verbetert. Aanvullende maatregelen blijven echter nog steeds nodig. Momenteel wordt de bouw van een rejectiewaterbehandeling voorbereid en wordt er rekening gehouden met het eventueel doseren van een CZV-bron aan de beluchting van de tweede trap ten behoeve van de denitrificatie. Vanaf 1995 wordt er chemisch gedefosfateerd in de beluchting van de eerste trap.

In januari 1994 zijn in één straat (B1) voorzieningen getroffen om voordennitrificatie toe te passen. Door het doorbreken van de wand tussen het vierde en eerste compartiment van de beluchtingstank is een interne recirculatie mogelijk. Hierdoor zal nitraatrijk actief slib worden gerecirculeerd, waarna het nitraat (gedeeltelijk) kan worden gedenitrificeerd.

Gedurende vier maanden in 1994 en één maand in 1995, is de rwzi intensief bemonsterd. De resultaten van deze onderzoeksperioden zijn in dit rapport weergegeven. Tijdens het onderzoek is met behulp van een proefinstallatie gedefosfateerd om de onderzoeksomstandigheden zoveel mogelijk op de toekomstige situatie af te stemmen.

² Besluit van 24 februari 1996, houdende regels voor het lozen van stedelijk afvalwater (Lozingsbesluit Wvo stedelijk afvalwater). Staatsblad 140, 1996.

3 DOELSTELLINGEN

Het onderzoek op de rwzi Utrecht had tot doel inzicht krijgen in de mogelijkheden en beperkingen van:

- * het toepassen van voordennitrificatie in de beluchting van de tweede trap, in combinatie met precipitatie in de beluchting van de eerste trap;
- * de toepassing van de nitraatanalyser en redoxpotentiaalmeting voor de regeling van het interne recirculatiedebiet bij voordennitrificatie in de beluchting van de tweede trap.

4 BESCHRIJVING VAN DE RWZI UTRECHT

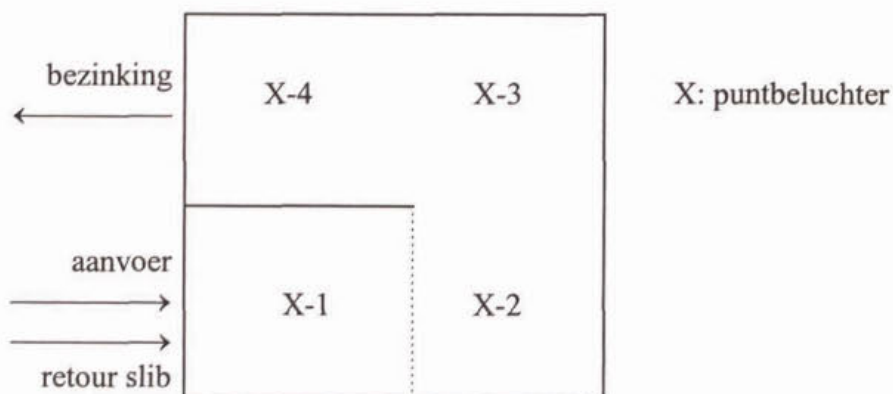
4.1 Algemeen

De rwzi Utrecht is van het type tweetraps actiefslib; een hoogbelaste eerste trap (adsorptie) en een laagbelaste tweede trap (afbraak). De ontwerpcapaciteit bedraagt 400.000 ve. In 1995 bedroeg de TZV-belasting 75% van de ontwerpbelasting. De rwzi wordt belast met voornamelijk huishoudelijk afvalwater.

De ontwerpgegevens van de zuiveringsinrichting zijn samengevat in bijlage III.³ In bijlage IV is de opbouw van de water- en sliblijn door middel van blokdiagrammen weergegeven.

De eerste trap van de rwzi Utrecht is opgebouwd uit twee parallelle beluchtingstanks en negen tussenbezinktanks. Het effluent van de eerste trap wordt verzameld en verdeeld over de drie straten van de tweede trap. Iedere straat van de tweede trap bestaat uit een beluchtingstank met bijbehorende nabezinktanks. In totaal zijn er veertien nabezinktanks aanwezig.

In elke beluchtingstank wordt de zuurstof ingebracht met behulp van vier puntbeluchters. De puntbeluchters zijn voorzien van een tweetoerenregeling. In de praktijk staat de eerste beluchter bijna altijd uit. Alleen voor menging draait de beluchter gedurende \pm vijf minuten per uur. Het bovenaanzicht van één beluchtingstank is in figuur 1 schematisch weergegeven.



Figuur 1: Boven-aanzicht van een beluchtingstank

Ter bevordering van de stikstofverwijdering wordt effluentrecirculatie toegepast: nitraatrijk effluent wordt teruggevoerd naar de beluchting van de eerste trap. De recirculatiefactor bedroeg in 1995 gemiddeld 0,6.

³ Rioolwaterzuiveringsinrichting Utrecht, Provincie Utrecht, Voorlichtingsbrochure, 1990.

Het spuislib van de eerste en de tweede trap wordt gescheiden ingedikt. Hierna wordt het in twee parallelle straten vergist. Vanuit de nagisting wordt de ontwateringsinstallatie gevoed. De afgelopen jaren zijn de zeebandpersen vervangen voor drie centrifuges.

4.2 Substraatdosering

In 1993 is er geëxperimenteerd met de dosering van substraat/ denitrificerende biomassa (deel van het spuislib van de eerste trap) in de tweede trap. Proefondervindelijk is vastgesteld dat door substraatdosering, de beluchtingsregeling moet worden aangepast (zie ook paragraaf 4.3).

4.3 Beluchterregeling

De zuurstofvoorziening in de tweede trap werd per straat verzorgd door vier puntbeluchters (elk tweetoeren). De beluchters werden gestuurd op basis van een zuurstofmeting of werden handmatig ingesteld. Eind 1993 is de beluchterregeling in B1 uitgebreid met een ammoniumanalyser. Na positieve ervaringen is de regeling begin 1994 uitgebreid naar B2. De regeling van de beluchting van B3 is (nog) niet geoptimaliseerd.

In tabel 1 is een overzicht van de regeling van de beluchting van B1 en B2 gegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt in de situatie met en zonder substraatdosering in B1. In de overstortgoten van de beluchtingstanks naar de nabezinktanks bevinden zich pompelpompen ten behoeve van monsternamen voor de analysers.

Tabel 1: Regeling van de beluchting in de straten B1 en B2.

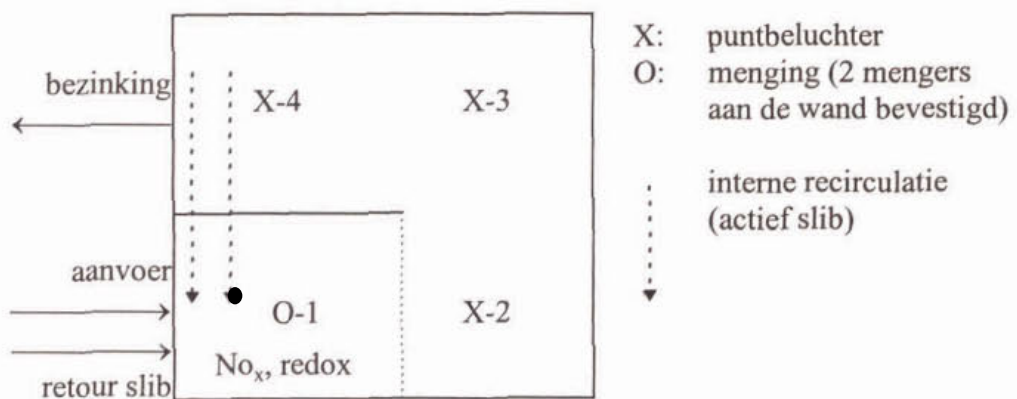
	zonder substraat	met substraat (B1)
- menger/beluchter 1	uit	uit
- beluchter 2	LT	HT
- beluchter 3	uit/LT/HT (NH ₄)	uit/LT/HT (NH ₄)
- beluchter 4	uit/LT (NH ₄ /O ₂)	uit/LT (NH ₄ /O ₂)

4.4 Voordenitrificatie

In het kader van het onderzoek naar de optimalisatie van de stikstofverwijdering is eind 1993 één straat van de tweede trap (B1) aangepast, ten behoeve van voordenitrificatie. Hiertoe is de puntbeluchter in het eerste compartiment van B1 vervangen door twee mengers. Tevens is er een mogelijkheid voor interne recirculatie van actief slib vanuit het laatste (vierde) compartiment naar het eerste compartiment gerealiseerd (zie figuur 2).

De, op deze wijze verkregen anoxische ruimte in straat B1, bedraagt 25% van het totale volume. Dit compartiment is door middel van een duikwand gescheiden van de rest van de beluchtingsruimte.

Ten behoeve van de interne recirculatie zijn twee pompen geïnstalleerd, te zamen met een maximaal debiet van 11.000 m³/h. De pompen zijn regelbaar van 0 tot 100%. De opbrengst van de pompen bij een lager vermogen dan 55% van het maximale vermogen, is laag. In het eerste compartiment van B1 is een redoxpotentiaalmeting en een nitraatmeting (inclusief ultra-filtratie) geïnstalleerd. De redoxmeter en de dompelpomp ten behoeve van de nitraatmeting bevinden zich in het midden van het eerste compartiment.



Figuur 2: Bovenaanzicht van de beluchtingstank (B1) na aanpassing.

4.5 Defosfatering

Het onderzoek naar de optimalisatie van de stikstofverwijdering in de tweede trap is gecombineerd met het onderzoek naar simultane fosfaatverwijdering met FeCl₃ in de beluchting van de eerste trap. Tijdelijk is ook de combinatie met polymeedosering op de tussenbezinktanks beproefd.

5 PROEFOPZET

5.1 Regelingen

Een interne recirculatie kan worden geregeld op onder andere de volgende meetsignalen:

- . de nitraatconcentratie in de voordennitrificatieruimte;
- . de redoxpotentiaal in de voordennitrificatieruimte;
- . het aanvoerdebiet (deze mogelijkheid is niet getest!).

In eerste instantie is de voorkeur uitgegaan naar een regeling van het recirculatiedebiet op basis van de nitraatconcentratie in de voordennitrificatieruimte. Een eenvoudig alternatief voor de nitraatmeting is de redoxmeting. Tijdens het onderzoek is rekening gehouden met de toepassing van verschillende regelingen/meetsignalen voor de sturing van het recirculatiedebiet.

In eerste instantie is het recirculatiedebiet gestuurd op basis van de nitraatconcentratie in het eerste compartiment. Als hier geen nitraat of een lage nitraatconcentratie wordt gemeten, duidt dit op een vergaande denitrificatie in het eerste compartiment: het recirculatiedebiet wordt vervolgens verhoogd. Indien de nitraatconcentratie in het eerste compartiment boven een in te stellen waarde (het setpoint) stijgt, wordt het recirculatiedebiet verlaagd.

De nitraatregeling is met behulp van het computersimulatieprogramma STREAM gesimuleerd. De eerste instellingen van de nitraatregelaar zijn afgeleid van de simulatieresultaten. In de praktijk bleek in eerste instantie een aanpassing van het nitraatsetpoint noodzakelijk om de nitraatregeling daadwerkelijk goed te laten regelen. Bij de oorspronkelijke instelling draaiden de recirculatiepompen maximaal (het ingestelde nitraatsetpoint was dus te hoog). De nitraateffluentconcentratie bedroeg tijdens het inregelen van de nitraatregelaar circa 9 mg/l (zonder interne recirculatie). Tijdens de vaststelling van de STREAM-parameters bedroeg de nitraatconcentratie circa 13 mg/l. De bepaling van de juiste instellingen van de regelaar blijkt in de praktijk moeizaam.

In de fase waarin het recirculatiedebiet wordt gestuurd op basis van de nitraatconcentratie, is de redoxpotentiaal in het eerste compartiment geregistreerd. In een volgende fase is een regelaar ontwikkeld en toegepast op basis van het redoxpotentiaalsignaal in het eerste compartiment van de beluchting van de tweede trap. In deze fase is de nitraatconcentratie in hetzelfde compartiment geregistreerd.

Er zijn verschillende stapresponsies uitgevoerd voor de vaststelling van de PID-constanten van de nitraat en redoxregelingen. Hierbij wordt het interne recirculatiedebiet momentaan verhoogd en wordt in de tijd gekeken naar de invloed op de nitraatconcentratie en de redoxpotentiaal. Op basis van deze uitkomsten kunnen de (globale) instellingen van de regelaars worden bepaald. In de praktijk bleek dat de op deze wijze bepaalde constanten proefondervindelijk veelal moesten worden aangepast.

5.2 Fasering van het onderzoek

In de periode medio maart tot en met medio juli 1994 en van eind september tot eind oktober 1995 is de tweede trap intensief bemonsterd. De toegepaste fasering van het onderzoek is in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2: Fasering van het onderzoek

fase	meting/regeling (B1)	periode (fase) van tot	opmerkingen
1	constant debiet	15-03-94 - 22-04-94	
2a	nitraat	23-04-94 - 02-06-94	inregelen
2b	nitraat	25-09-95 - 16-10-95	met substraat
3a	redox	03-06-94 - 20-06-94	inregelen
3b	redox	21-06-94 - 17-07-94	met substraat

Op 21 juni 1994 is gestart met de dosering van substraat in de vorm van spuislib van de eerste trap aan de straat B1. Gemiddeld werd 120 m³/d spuislib gedoseerd.

5.3 Referentie

Voor het onderzoek dient de effluentkwaliteit van de beluchting B2 als referentie, om de effecten van de voordennitrificatie te kunnen vaststellen. De beluchting B2 is qua uitvoering identiek aan B1. Er wordt uitgegaan van eenzelfde hydraulische belasting van de beide straten. De sturing van de beluchters wordt in beide tanks op gelijke wijze geregeld, op basis van de ammonium- en zuurstofconcentratie (zie tabel 1). Een uitzondering hierbij is de beluchterregeling tijdens fase 2b en 3b, waarbij substraat gedoseerd werd in B1: beluchter 2 in B1 wordt nu op hoog toeren geschakeld. Het drogestofgehalte van B1 en B2 werd zo veel mogelijk gelijk gehouden.

Voor de vergelijking van de verschillende regelingen worden de resultaten van B1 van de verschillende fasen met elkaar vergeleken. Het is dus een vergelijking in de tijd. Een nadeel hiervan is dat de omstandigheden (temperatuur, CZV/N-verhouding, belasting etc.) tijdens de verschillende proefperiodes nooit gelijk zijn.

5.4 Bemonstering en analyse

In tabel 3 is een samenvatting van de belangrijkste analyses genoteerd. De monsternamelokaties zijn niet alle met dezelfde frequentie bemonsterd. De bemonsteringsfrequentie bedroeg éénmaal per twee dagen voor de belangrijkste analyses in de waterlijn. De monsters zijn debietproportioneel genomen. In de sliblijn zijn naast de dagelijkse drogestofanalyses, de overige parameters wekelijks bepaald.

Tabel 3: Bemonsterings- en analyseschema

	stroom	analyse
waterlijn	aanvoer tweede trap	CZV, N_{ki} , NH_4-N , P_{totaal} , zwevende stof, pH, temperatuur
	gezamenlijk effluent	CZV, N_{ki} , NH_4-N , NO_x-N , P_{totaal} , PO_4-P , zwev. stof
	effluent B1 effluent B2	NH_4-N (analyser), NO_x NH_4-N (analyser), NO_x
sliblijn	surplusslib tweede trap	drogestofgehalte, gloeirest, P, N_{kj} , CZV

5.5 On-line analysers

Op de rwzi Utrecht zijn verschillende on-line analysers in werking. In tabel 4 zijn de belangrijkste kenmerken van deze apparatuur vermeld. Alle genoemde metingen, met uitzondering van de redoxpotentiaalmeting, zijn voorzien van een Koch ultrafiltratie-unit. De standtijd van de membraanbuizen bedraagt (met het actiefslib van de tweede trap) circa 3 weken.

Tabel 4: Kenmerken van de toegepaste on-line analysers

meting	merk/type	filtratie	soort meting	analysetijd
nitraat	Dr. Lange	ja	fotometrisch	± 2 minuten
fosfaat	Dr. Lange	ja	fotometrisch	± 10 minuten
ammonium	WTW	ja	ionselectief	± 2 minuten
redox	WTW	nee	ionselectief	direct

5.6 Dynamische simulatie

Door middel van dynamische simulatie met het model STREAM is een aantal varianten voor de optimalisatie van de stikstofverwijdering bekeken. De volgende varianten zijn beschouwd:

- het toepassen van interne recirculatie in combinatie met één of meer van de volgende opties:
 - . precipitatie in de eerste trap;
 - . behandeling van het retourwater;
 - . dosering van een CZV-bron in de tweede trap.

Uit de simulatieresultaten bleek dat het realiseren van een interne recirculatie een positief effect heeft op de verwijdering van stikstof. Het aanpassen van de beluchterregeling (laag/hoog toeren) heeft een gering effect op de stikstofverwijdering.

De behandeling van retourwater en het doseren van een CZV-bron heeft een positief effect op de stikstofverwijdering, in tegenstelling tot het doseren van ijzerzouten in de eerste trap. De samenvatting van het rapport is in bijlage II opgenomen.

6 EVALUATIE VAN DE RESULTATEN

6.1 Procescondities en resultaten

De gemiddelde meetresultaten van het onderzoek zijn in bijlage V in verzameltabellen per fase weergegeven. De belangrijkste procesparameters en gemiddelde resultaten zijn in tabel 5 weergegeven. In bijlage VI is een aantal resultaten in grafiekvorm opgenomen.

Opmerkingen bij bemonstering, analyses en berekeningen:

- de resultaten van de ammonium-analyser in B2 zijn in het begin van het onderzoek niet geregistreerd. Voor de berekeningen is ervan uitgegaan dat tijdens deze fase de ammoniumwaarden van B2 gelijk waren aan de waarden die gemeten zijn in B1;
- de storingsgevoeligheid van de ammoniumanalyser met bijbehorende voorbehandeling heeft met name in het begin van het onderzoek ervoor gezorgd dat enkele uitschieters in de ammoniumeffluent-concentraties zijn opgetreden;
- de N_{kj} -concentratie is niet gemeten in het effluent van B1 en B2. Voor de berekeningen is aangenomen dat het organisch gebonden stikstof het gemiddelde verschil tussen ammonium en N_{kj} in het gezamenlijke effluent bedraagt;
- voor het stikstofgehalte van het spuislib is een gemiddelde waarde over de gehele onderzoeksperiode aangehouden. De spuislibproductie is wel afzonderlijk per fase bepaald;
- tijdens het onderzoek werd simultane defosfatering in de eerste trap toegepast met een $FeCl_3$ -dosering van gemiddeld 0,4 mol/mol.

6.2 Interne recirculatie

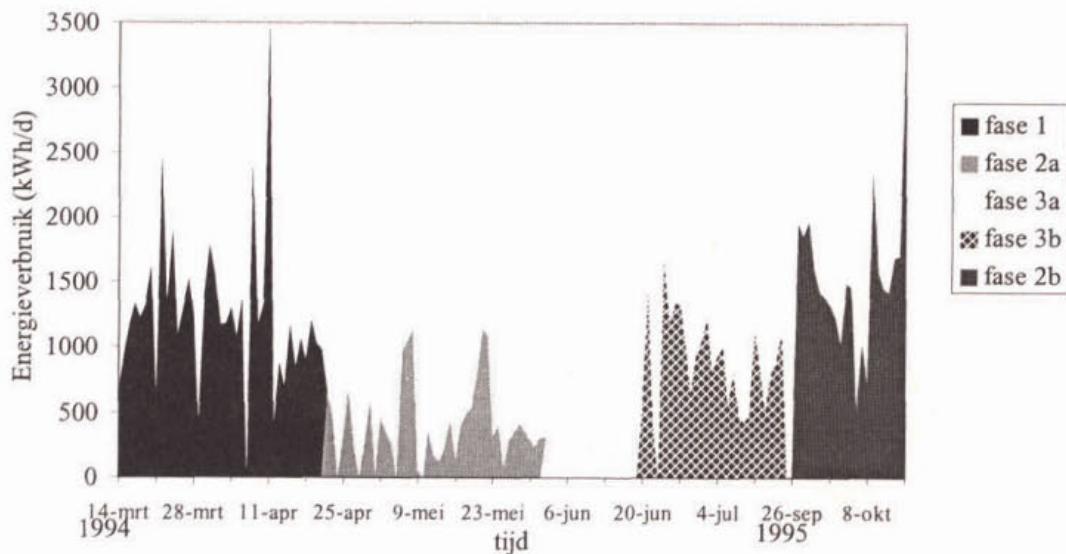
Een indicatie voor de hoogte van de interne recirculatie is afgeleid uit het verschil in energieverbruik tussen B1 (beluchting en recirculatie) en B2 (alleen beluchting). Aangenomen wordt dat het energieverbruik voor de beluchting van B1 gelijk is aan dat van B2 (in fase 2b en 3b is de beluchterregeling van B1 gewijzigd). Op deze wijze wordt een indicatie van het interne recirculatie-debiet verkregen, aangezien geen debietmeter aanwezig was.

In fase 1 draaiden de recirculatiepompen gedurende 24 uur per dag, vrijwel maximaal. Aangenomen wordt dat het recirculatie-debiet in fase 1, $11.000 \text{ m}^3/\text{h}$ bedroeg. De recirculatie-debieten in de navolgende fasen kunnen niet op basis van het energieverbruik en dit maximale debiet worden afgeleid: bij afname van het recirculatie-debiet neemt de leidingweerstand (kwadratisch) af. Er wordt dan minder water verplaatst dan op grond van een lineair verband tussen het recirculatie-debiet en het energieverbruik van de recirculatie mag worden verwacht. Het berekende energieverbruik geeft derhalve een globale indicatie van de hoogte van de interne recirculatiestroom. In figuur 3 is het energieverbruik van de recirculatie uitgezet tegen de tijd.

Tabel 5: Belangrijkste gemiddelde (analyse)resultaten (per fase) in de proefstraat B1 en de referentiestraat B2.

Parameter	fase 1		fase 2a		fase 2b		fase 3a		fase 3b	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
ALGEMEEN										
aanvoer (m ³ /d)	44.369	44.369	37.860	37.860	49.731	49.731	42.391	42.391	34.356	34.356
temperatuur (°C)	13,5	13,5	16,2	16,2	18,3	18,3	17,0	17,0	21,5	21,5
G _s (kg/m ³)	4,1	4,0	3,8	3,9	4,1	4,3	3,6	3,6	4,5	3,9
CZV/N _{Kj} (-)	5,0	5,0	4,5	4,5	2,8	2,8	4,5	4,5	4,2	4,2
SVI (ml/g)	139	113	246	151	93	136	255	178	195	168
k (kg CVZ/kg ds.d)	0,25	0,25	0,24	0,24	0,15	0,15	0,23	0,23	0,17	0,19
substraat (m ³ /d)	0	0	0	0	124	0	0	0	118	0
STIKSTOFBALANS										
aanvoer N _{Kj} (kg/d)	1.358	1.358	1.299	1.299	1.492	1.492	1.153	1.153	1.117	1.117
effluent N _{Kj} (kg/d)	222	222	239	265	224	224	242	250	220	196
effluent NO _x (kg/d)	222	351	303	379	691	726	345	389	196	340
N in slib (kg/d)	85	85	119	119	57	57	54	54	56	56
gedenitr. (kg/d)	829	700	638	536	520	485	512	460	645	525
ENERGIE										
(bel. + recirculatie)										
tot. Energieverbruik (kWh/d)	5.278	4.039	4.728	4.329	6.163	4.610	4.558	3.920	5.214	4.372
kWh/kg N _{Kj} verwijderd	4,7	3,6	4,5	4,2	4,9	3,6	5,0	4,3	5,8	4,7
kWh/kg N _{tot} verw.	5,8	5,2	6,2	6,6	10,7	8,5	8,0	7,6	7,4	7,6

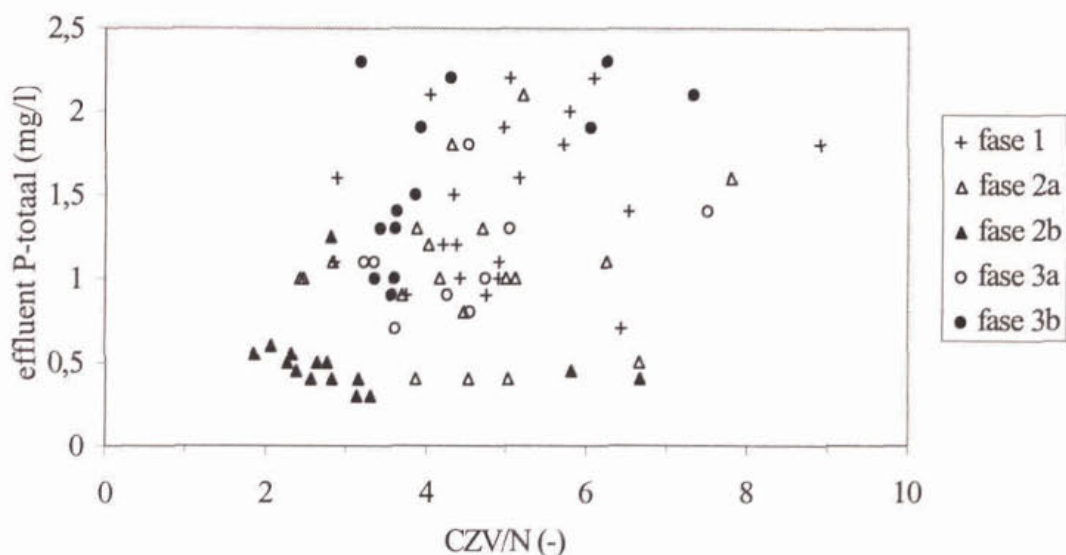
In fase 2b en 3b is de beluchterregeling van B1 gewijzigd in verband met substraatdosering. Beluchter 2 is in deze fasen handmatig op hoogtoeren gesteld. In B2 staat de beluchter op laagtoeren. Het berekende energieverbruik van de recirculatie is in deze fasen inclusief het extra energieverbruik van beluchter 2.



Figuur 3: Energieverbruik ten behoeve van de interne recirculatie voor de verschillende fasen.

6.3 Fosfaatverwijdering

Tijdens het onderzoek naar de regeling van de interne recirculatie is er chemisch gedefosfateerd in de beluchting van de eerste trap. De hoogte van deze dosering is niet constant geweest tijdens alle fasen van het onderzoek. De hoogte van de dosering is niet alleen van invloed op de fosfaateffluentconcentratie, maar ook op de CZV/N-verhouding van het effluent van de eerste trap. In figuur 4 is de relatie tussen beide weergegeven. Te zien is dat bij een lage CZV/N-verhouding (dus hogere ijzerchloridedosering) de fosfaateffluentconcentratie afneemt.



Figuur 4: Relatie tussen fosfaateffluentconcentratie en de CZV/N-verhouding in de afloop van de beluchting van de eerste trap.

6.4 Stikstofverwijdering

6.4.1 Nitrificatie

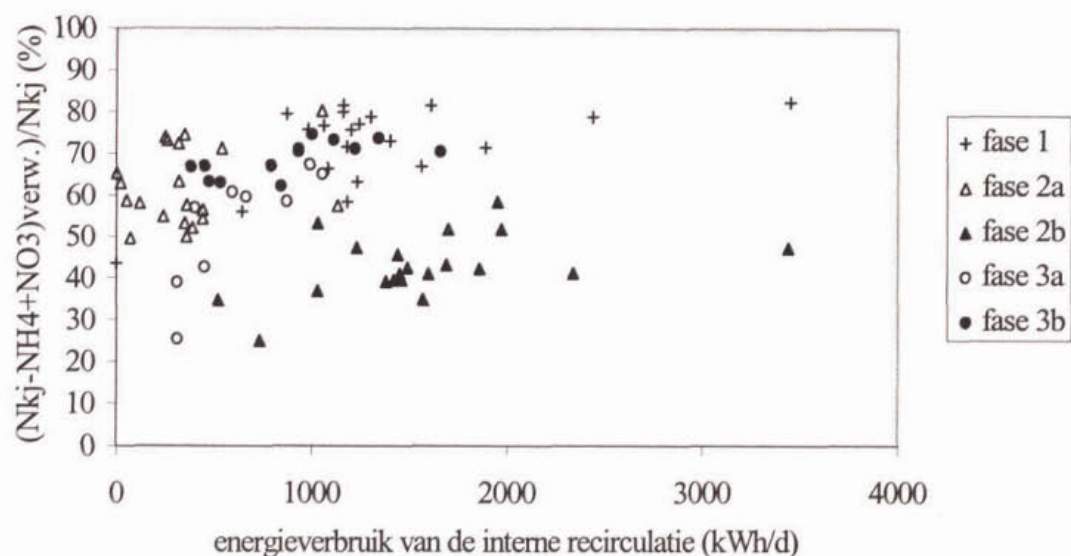
In de bijlagen VI-1, VI-2 en VI-3 zijn de gegevens van de ammoniumconcentratie in de afloop van B1 en B2 uitgezet tegen respectievelijk de tijd, de CZV-belasting en de temperatuur. De slibleef tijd is niet nauwkeurig bepaald.

Uit de gegevens blijkt dat, met uitzondering van een enkele waarde, vergaand wordt genitrificeerd. De slibbelasting (slibleef tijd > 20 dagen) was tijdens het onderzoek niet beperkend voor de vergaande nitrificatie.

6.4.2 Denitrificatie

In figuur 5 is het rendement van de stikstofwijdering in B1 uitgezet tegen het energieverbruik van de recirculatie. De grafiek heeft betrekking op gegevens van alle onderzoeksfasen.

In bijlage VI-4 is het verschil in stikstofverwijdering tussen B1 en B2 grafisch uitgezet tegen het energieverbruik ten behoeve van recirculatie (gegevens 1994).



Figuur 5: Rendement van de stikstofverwijdering in B1 uitgezet tegen het energieverbruik van de recirculatie.

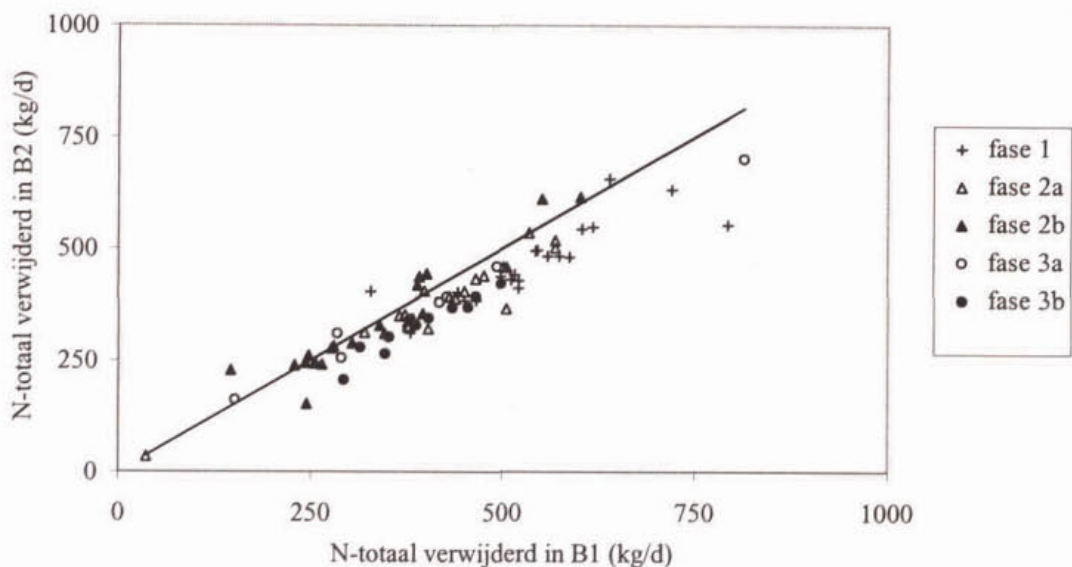
In figuur 5 lijkt de stikstofverwijdering toe te nemen naarmate (het energieverbruik van) de recirculatie toeneemt. Er wordt een maximum bereikt van circa 80% stikstofverwijdering in B1. Een verdere verhoging heeft, i.v.m. de maximale denitrificatiecapaciteit, geen positieve invloed meer.

In figuur 6 staat de verwijderde stikstofvracht in straat B1 uitgezet tegen de verwijderde stikstofvracht in straat B2. Uit deze grafiek blijkt dat de stikstofverwijdering in straat B1 gemiddeld hoger is dan in straat B2.

Uit tabel 6 blijkt dat de stikstofverwijdering in fase 1, 2a en 3b groter is dan in fase 2b en 3a. Over de gehele onderzoeksperiode werd in straat B1 circa 7% meer stikstof verwijderd dan in straat B2.

Tabel 6: Stikstofverwijderingsrendement in de proefstraat B1 en de referentiestraat B2 (in % N_{Kj} aanvoer).

Fase	B1	B2	
1	67	58	(+9%)
2a	58	50	(+8%)
2b	39	36	(+3%)
3a	49	44	(+5%)
3b	63	52	(+11%)
overall	55	48	



Figuur 6: Stikstofverwijdering in B1 (kg/d) uitgezet tegen de stikstofverwijdering in B2 (kg/d).

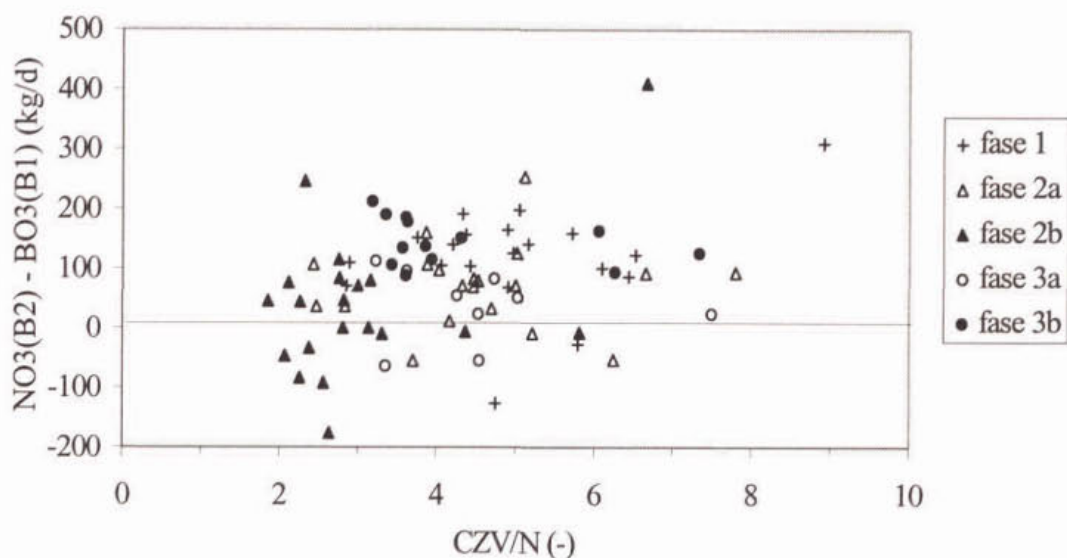
6.5 CZV/N-verhouding

Uit figuur 7 is de relatie uitgezet tussen het verschil in de nitraateffluentvracht tussen B1 en B2 en de CZV/N-verhouding in de afloop van de beluchting van de eerste trap. Uit figuur 7 is af te leiden dat de minimale CZV/N-verhouding circa 4 moet zijn om de extra stikstofverwijderingscapaciteit in de voordennitrificatieruimte te kunnen benutten. In fase 1 en 3b blijkt dat gedurende deze perioden vrijwel in alle gevallen in B1 meer nitraat is verwijderd. Fase 2b geeft de ongunstigste resultaten, veroorzaakt door de lage CZV/N-verhouding.

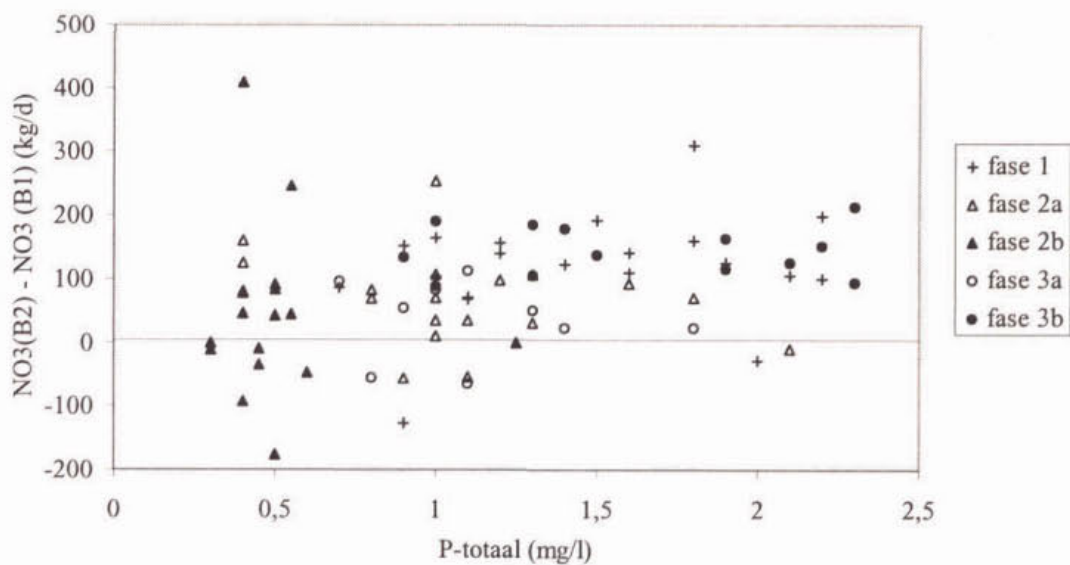
In bijlage VII is het vermogen van de pomp en de nitraatconcentratie in het eerste compartiment weergegeven voor een karakteristieke dag in deze periode.

Indien de resultaten van figuur 4 en 7 worden geïntegreerd, kan worden geconcludeerd dat bij defosfatering tot fosfaateffluentconcentraties lager dan 1 mg/l de extra voordennitrificatiecapaciteit in de tweede trap teniet wordt gedaan.

In figuur 8 zijn de fosfaateffluentconcentraties en het verschil tussen de nitraatvrachten in B2 en B1 tegen elkaar uitgezet.



Figuur 7: Relatie tussen de CZV/N-verhouding in de afloop van de beluchting van de eerste trap en het verschil in nitraateffluentvracht tussen B2 en B1 (kg/d)

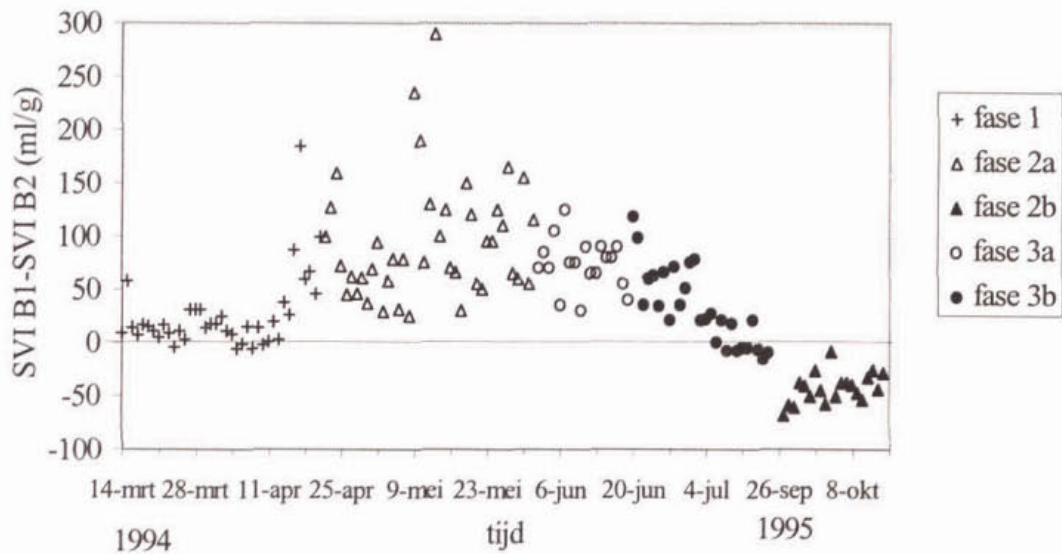


Figuur 8: Relatie tussen de fosfaateffluentconcentratie en het verschil in nitraateffluentvracht tussen B2 en B1 (kg/d).

Uit de resultaten blijkt dat een vergaande fosfaatverwijdering ten koste gaat van een vergaande denitrificatie.

6.6 Slibvolume-index

In figuur 9 is het verschil tussen de slibvolume-indices van het slib in straat B1 en B2 uitgezet tegen de tijd. Enige tijd nadat de recirculatie is gestart (fase 1), neemt de slibvolume-index in beide straten toe. In B1 neemt deze echter sneller toe dan in B2 (zie figuur 9). Gemiddeld over de hele onderzoeksperiode (behalve fase 2b) is de slibvolume-index in straat B1 ruim 50 ml/g hoger dan in straat B2. Aan het einde van fase 3b zijn de indices bijna weer op gelijk niveau. In de fasen 3b en 2b is spuislib van de eerste trap gedoseerd in de tweede trap. Deze dosering blijkt (na enige tijd) een positief effect te hebben op de slibvolume-index.



Figuur 9: Verschil in slibvolume-index tussen B1 en B2.

Omdat de interne recirculatie een negatief effect op de SVI blijkt te hebben, is het belangrijk om niet onnodig te recirculeren. Een goede regeling is in het kader van de beheersing van de SVI belangrijk.

6.7 Statistische interpretatie

Om het effect van de verschillende regelingen te beoordelen, zijn met behulp van het computerprogramma Statgraphics statistische berekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn de meetwaarden paarsgewijs met elkaar vergeleken en getoetst met de Student-t-toets. Eveneens zijn van relevante parameters de betrouwbaarheidsintervallen berekend. In tabel 7 zijn de resultaten van de berekeningen gegeven.

Te zien valt dat in alle fasen de gemiddelde nitraatconcentratie in de afloop van B1 lager is, dan in de afloop van B2. Er wordt dus meer nitraat gedenitrificeerd (het debiet is in beide straten hetzelfde). Voor de slibvolume-index is dit precies andersom: de gemiddelde SVI in de proefstraat is bij alle fasen (behalve fase 2b) beduidend hoger dan in B2.

Tabel 7: Resultaten van de statistische berekeningen ('One-variable analysis')

fase	parameter	effluent-NO _x (mg/l)		SVI (ml/g)		energie interne rec. (kWh/d)
		B1	B2	B1	B2	B1
1	n	20	20	39	39	39
	\bar{x}	5,0	7,9	139	113	1.243
	s	1,7	2,3	46	20	592
	[..]	2,9-9,8	2,3-12	97-303	86-157	0-3.450
2a	n	20	20	41	41	41
	\bar{x}	8,0	10,0	246	151	399
	s	3,0	3,1	60	19	319
	[..]	3,1-12	4,4-11	159-435	109-205	0-1.140
2b	n	20	20	20	20	21
	\bar{x}	14,0	14,6	93	136	1.553
	s	4,7	4,7	6	13	599
	[..]	5,4-20	5,3-21	77-103	104-158	520-3.440
3a	n	9	9	20	20	20
	\bar{x}	8,1	9,2	255	178	638
	s	2,3	3,0	29	26	325
	[..]	5,6-13	5,3-14	215-320	135-245	230-1.420
3b	n	13	13	25	25	25
	\bar{x}	5,7	10,1	195	168	855
	s	1,6	2,1	30	18	372
	[..]	3,1-8,3	7-15	148-241	142-226	0-1.660

n = aantal meetwaarden
 \bar{x} = rekenkundig gemiddelde
s = standaardafwijking (indicatie voor de spreiding in meetwaarden)
[..] = minimum en maximum waarde

In tabel 8 zijn de betrouwbaarheidsintervallen van diverse parameters gegeven voor het verschil tussen B1 en B2 bij een betrouwbaarheid van 95% (Student-t-toets).

Tabel 8: Resultaten van de statistische berekeningen (Student-t-toets) bij 95% betrouwbaarheid

	effluent-NO _x (mg/l)	SVI (ml/g)	interne rec. (kWh/d)
fase	B1-B2	B1-B2	B1
1	-2,8 ± 0,9	26 ± 12	1.243 ± 192
2a	-2,1 ± 0,9	95 ± 18	399 ± 101
2b	-0,6 ± 1,0	-43 ± 7	1.553 ± 273
3a	-1,0 ± 1,2	77 ± 12	638 ± 152
3b	-4,4 ± 0,8	26 ± 12	855 ± 153

Met 95% betrouwbaarheid kan het volgende worden gesteld:

- de nitraateffluentconcentratie is in de proefstraat (B1) tijdens de fasen 1, 2a en 3b significant lager dan in straat B2, aangezien het betrouwbaarheidsinterval van het verschil tussen B1 en B2 de waarde nul niet bevat;
- de SVI in B1 is gedurende alle fasen (behalve fase 2b) significant hoger. Spuislibdosering blijkt een gunstig effect te hebben op de SVI;
- de energie voor recirculatie is in de fasen 1 en 2b significant hoger dan in de overige fasen.

6.8 Regelingen

In dit onderzoek zijn de redox- en nitraatregeling toegepast voor de sturing van de interne recirculatie. In het algemeen kost het enige tijd voordat een regelaar goed is ingesteld. Het maken van stapresponsies kan hierbij helpen. Op de rwzi Utrecht zijn de uit de stapresponsies bepaalde PID-constanten proefondervindelijk bijgesteld. De resultaten van de verschillende uitgevoerde stapresponsies blijken ook niet altijd een eenduidig beeld te geven.

Het regeltechnisch "goed" werken van een regelaar werd voornamelijk afgeleid van het pompregime en de curve van de nitraatconcentratie en redoxpotentiaal in de voordennitricatieruimte. Fase 2a en 2b zijn de enige fasen waarbij de regeling "goed" functioneerde. Fase 2a en 2b onderscheiden zich van de andere fasen doordat op basis van de nitraatconcentratie de interne recirculatie gestuurd werd.

De stikstofverwijdering in fase 1 en 3b is significant hoger dan in de fase 2 en 3a. Fase 1 kenmerkt zich, in vergelijking met de andere fasen, door een hoge interne recirculatie, een relatief hoge slibbelasting en CZV/N-verhouding, een lage temperatuur (13,5 °C) en een hoog stikstofverwijderingsrendement (67%). Het stikstofverwijderingsrendement is in deze fase 9% hoger dan in B2 tijdens dezelfde tijdsperiode (zie tabel 6 voor een overzicht van

de verwijderingsrendementen).

Interne recirculatie leidt tot een verhoging van de slibvolume-index, hetgeen tijdens alle fasen (behalve 2b) is waargenomen. Ondanks de hoge recirculatie is de hoeveelheid energie (beluchting en recirculatie) die benodigd is voor de stikstofverwijdering in deze fase (samen met fase 2a) het laagst (kWh per kg N verwijderd). Dit duidt dus op een kosteneffectieve manier van stikstofverwijderen.

De stikstofverwijdering in fase 2a (nitraatregeling, lage recirculatie) en fase 3a (redox-regeling, lage recirculatie) is respectievelijk 8% en 5% hoger dan in de referentiestraat zonder recirculatie.

In fase 2b is er een minimaal verschil in stikstofverwijdering tussen de beide straten! Dit ligt niet aan de toegepaste regeling maar aan de beschikbare hoeveelheid CZV in de afloop van de beluchting van de eerste trap. Substraatdosering blijkt een onvoldoende positief effect te hebben op de stikstofverwijdering, waarschijnlijk omdat de hoeveelheid CZV die wordt gedoseerd te weinig is om de CZV/N-verhouding in voldoende mate te verhogen. De substraatdosering heeft wel duidelijk een positief effect op de slibbezinkbaarheid (SVI).

Fase 3b kenmerkt zich door substraatdosering, een gemiddeld hoge recirculatie, een relatief lage slibbelasting, een hoge temperatuur van het actief slib (zomerperiode) en een redelijk gunstige CZV/N-verhouding. De stikstofverwijdering is gedurende deze periode zeer goed. Het verschil in slibbezinkbaarheid in beide straten is in deze periode gering.

6.9 Kostenindicatie

De toepassing van voordennitrificatie in de tweede trap (in drie straten) heeft circa $f 2.10^6$ gekost. Voor de berekening van de jaarlijkse kapitaalslasten wordt uitgegaan van een annuïteit van 11,7%. De electriciteitskosten zijn afgeleid van het gemiddelde electriciteitsverbruik 3000 kWh/d. Er is gerekend met een energieprijis van $f 0,15/kWh$.

Jaarlijkse kosten:

- kapitaalslasten	<i>f</i> 235.000,-
- energieverbruik	<u><i>f</i> 165.000,-</u>
	<i>f</i> 400.000,-

Ervan uitgaand dat er door de voordennitrificatie in de tweede trap bijna 10% extra stikstof wordt verwijderd, komt dit neer op circa 333 kg/d. Rekening houdend met een verminderde effectiviteit van de externe effluentrecirculatie zal er in de rwzi circa 208 kg/d extra worden verwijderd (in bijlage VIII staat deze berekening verder uitgewerkt). De kosten per extra kg N_{kj} -verwijderd bedragen dan $f 5,25$.

7 CONCLUSIES

Door toepassing van voordennitrificatie in de beluchting van de tweede trap kan de stikstofverwijdering worden verbeterd. Tijdens het onderzoek werd in straat B1 in alle fasen meer stikstof verwijderd ten opzichte van straat B2. Het maximum verschil in stikstofverwijdering bedroeg 11%.

De regelingen hebben geen nadelig effect op de ammoniumverwijdering.

Naarmate de CZV/N-verhouding lager wordt, wordt de toegevoegde waarde van de voordennitrificatieruimte en de regelingen minder. Een vergaande fosfaatverwijdering (effluentconcentratie $< 1 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$) leidt, door extra ijzerchloridedosering en daardoor extra CZV-verwijdering, tot een slechtere stikstofverwijdering.

Om de genoemde 11% extra N-verwijdering te kunnen realiseren, is voor het effluent van de eerste trap minimaal een CZV/N-verhouding van 4 noodzakelijk.

In de fase met een hoog recirculatie-debiet (fase 1; geen regeling) en in de fase met de redoxregeling in combinatie met substraatdosering (fase 3b) worden de hoogste stikstofverwijderingsrendementen bereikt (11% meer in straat B1 ten opzichte van straat B2). Het blijkt dat een relatief hoge interne recirculatie noodzakelijk is voor een vergaande stikstofverwijdering, mits de CZV/N-verhouding minimaal 4 is.

Interne recirculatie heeft een negatief effect op de slibvolume-index. Dit negatieve effect wordt (ten dele) teniet gedaan door dosering van substraat in de vorm van spuislib van de eerste trap.

Bij aanhoudende substraatdosering blijkt de slibbezinkbaarheid van de proefstraat zelfs beter dan in de referentiestraat.

Een goede regeling van de interne recirculatie is nodig om onnodig rondpompen te voorkomen.

Het significant vaststellen van de verschillen in effecten van de verschillende regelingen in de tijd was niet mogelijk aangezien een referentie bij vergelijkbare omstandigheden ontbrak. Met name grote veranderingen in temperatuur, CZV/N-verhouding en slibbelasting leiden ertoe dat een statistische toetsing van de effecten van verschillende regelingen niet verantwoord is.

De redoxmeting voldeed niet als signaal om de interne recirculatie van de rwzi Utrecht te regelen. Het signaal vertoonde te weinig verandering om hierop goed te kunnen sturen. Tijdens het onderzoek was de inregeling problematisch. Voor andere rwzi's en/of toepassingen kan de redoxmeter wellicht wel goed functioneren.

Voor de rwzi Utrecht is er een duidelijke voorkeur voor de toepassing van een nitraatregeling. De gegevens zijn eenduidig te interpreteren en de benodigde meetapparatuur is relatief eenvoudig in vergelijking met andere op de rwzi toegepaste metingen (ammonium- en fosfaatanalysers).



Bijlage I: Leden van de begeleidingscommissie en de werkgroep

Leden van de Begeleidingscommissie "Regelen van P-en N-verwijderingsprocessen in de praktijk" (STOWA/432.404):

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

Leden van de werkgroep "Regelen van P-en N-verwijderingsprocessen in de praktijk" (STOWA/432.404):

ir. F.T. van Breukelen/ir. T.M.G. Peeters	(HH van Schieland)
ing. J. van Dijk	(HH van Uitwaterende Sluizen)
ir. S.B. Gaastra	(HH van Uitwaterende Sluizen)
ing. J.J. Jonk	(HH West-Brabant)
ing. E.A.J.J. Vermulst	(RWA Amsterdam)
ir. A.W.A. de Man	(ZS Limburg)
ir. H. Draaijer	(Grontmij)

Bijlage II: Samenvatting "Optimalisatie rwzi Utrecht (project 2) - fase 2: Simulatie met STREAM[®] -, Eindrapport 12 mei 1993, dossier F1308-01-002

Begin 1991 is door middel van strategiestudies onderzocht welke maatregelen door de Provincie Utrecht (PU) zouden moeten worden genomen, teneinde te kunnen voldoen aan de Algemene Maatregelen van Bestuur voor fosfaat en stikstofverwijdering. Deze studies staan samengevat weergegeven in het basisbeleidsplan van 4 april 1992 (1).

Uit de strategiestudies is naar voren gekomen, dat maatregelen op de rwzi Utrecht onvermijdelijk zijn. Zonder deze maatregelen kan niet worden voldaan aan de in de AMvB's geëiste 75 % verwijdering van fosfaat en stikstof in het beheersgebied. Bovendien is gebleken, dat vergaande verwijdering op de rwzi Utrecht leidt tot minder maatregelen op andere rwzi's in het beheersgebied.

Het onderzoek op de rwzi Utrecht is gesplitst in een viertal fasen. In de eerste fase is de werking van de bestaande inrichting vastgelegd. De tweede fase behelst de optimalisatie van de bestaande zuivering. In de derde fase zal de uitvoering van (praktijk)onderzoek plaatsvinden. In de vierde fase tenslotte zal het eindrapport worden opgesteld.

Een onderdeel van de tweede fase (fase 2B) is de modelsimulatie van de zuivering met behulp van het dynamisch rekenprogramma STREAM[®]. Deze simulatie had tot doel:

- optimalisatie van de (beluchter)regeling;
- beoordeling van (een combinatie van) aanvullende maatregelen:
 - precipitatie in de eerste trap;
 - behandeling van retourwater;
 - dosering van een CZV-bron aan de tweede tap.

Het effect van de maatregelen is beoordeeld ten opzichte van de huidige praktijksituatie, welke door calibratie van het model in STREAM[®] is benaderd.

De resultaten van de simulatieberekeningen staan samengevat weergegeven in tabel 1.

Optimalisatie (beluchter)regeling

Door het toepassen van een interne recirculatie tussen het vierde compartiment en het eerste compartiment van de beluchtingstanks van de tweede trap is naar verwachting een verbetering van de effluentkwaliteit wat betreft stikstof mogelijk. Hiermee wordt een (voor)denitrificatieruimte gecreëerd. Deze interne recirculatie is afhankelijk van het nitraatgehalte in het eerste compartiment. De schakelpunten van de beluchters worden gestuurd op basis van het debiet.

Aanvullende maatregelen

Tenslotte zijn bij de optimale regeling de effecten van verschillende maatregelen en combinaties van maatregelen met het model getest. Deze maatregelen hebben betrekking op de stikstof- en fosfaatverwijdering.

Tabel 1: Resultaten van de simulatieberekeningen

	NH ₄ -N	NO ₃ -N
	daggemiddelde concentratie (mg/l)	
april t/m juni 1992 (17^o C)		
gemeten in praktijk	2,8	13,6
berekend met STREAM [®]	1,5	12,7
januari 1993 (12^o C)		
gemeten in praktijk	6,3	16,0
berekend met STREAM [®]	6,5	16,3
optimale regeling	4,2	10,2
maatregelen		
optimale regeling + precipitatie	4,3	12,2
optimale regeling + behandeling van retourwater	4,2	5,2
optimale regeling + CZV-dosering	3,7	8,0
combinaties		
optimale regeling + precipitatie + CZV-dosering	4,6	10,3
optimale regeling + precipitatie + behandeling van retourwater	4,6	9,2
optimale regeling + precipitatie + CZV-dosering + behandeling van retourwater	4,2	7,2

Conclusies

Op basis van de resultaten van de simulatieberekeningen kan worden geconcludeerd, dat:

- het realiseren van een interne recirculatiestroom tussen het vierde en eerste compartiment van de tweede trap een relatief gunstig effect heeft op de verwijdering van stikstof;
- het aanpassen van de beluchterregeling niet veel effect heeft op de N-verwijdering, tenzij de schakelpunten worden gestuurd op basis van het debiet;
- behandeling van het retourwater en het doseren van een CZV-bron aan de tweede trap een relatief gunstig effect hebben op de stikstofverwijdering;
- precipitatie in de eerste trap een negatief effect heeft op de stikstofverwijdering;
- een combinatie van préprecipitatie in de eerste trap een CZV-dosering aan de tweede trap noch een positief, noch een negatief effect heeft op de effluentkwaliteit ten aanzien van stikstof;
- een combinatie van préprecipitatie en behandeling van retourwater volgens berekening een betere effluentkwaliteit ten aanzien van stikstof geeft dan de situatie zonder aanvullende maatregelen;
- en combinatie van préprecipitatie, CZV-dosering en behandeling van retourwater naar verwachting een verbetering van de effluentkwaliteit ten aanzien van stikstof te zien geeft.

Bijlage III: Ontwerpgegevens van de rwzi Utrecht

	ontwerp waarde	waarde 1995	eenheid
WATERLIJN			
influent			
belasting (excl. recirculatie)			
debiet			
. gemiddeld (jaar)	75.000	68.500	m ³ /d
. DWA (16 uur)	4.200		m ³ /h
. DWA (24 uur)	2.800		m ³ /h
. maximale aanvoer	15.000		m ³ /h
BZV	15.000		kg/d
CZV	60.000	43.222	kg/d
N _{kj}	5.000	4.006	kg/d
P _{totaal}		659	kg/d
zwevende stof	14.000		kg/d
geëiste effluentkwaliteit			
CZV			
. gemiddeld	< 70		mg/l
. 80-percentiel	< 90		mg/l
N _{kj}			
. effluent 20°C en Vecht 20°C	3		mg/l
. effluent 15°C en Vecht 10°C	9		mg/l
SS			
. gemiddeld	< 20		mg/l
. 80-percentiel	< 50		mg/l
beluchtingstank eerste trap			
verblijftijd (minimaal)	0,25		h
volume	3.750		m ³
aantal tanks	2		stuks
volume elk	1.875		m ³
slibgehalte	3,2	2,7	kg/m ³
slibbelasting	5	4,3	kg CZV/kg ds.d
aantal puntbeluchters	2 * 4		stuks
capaciteit	655		kg O ₂ /h
tussenbezinktanks			
slibvolume index	50 - 80	61	ml/g
oppervlaktebelasting	2,5		m ³ /m ³ .h
aantal tanks	9		stuks
capaciteit retourslib	7.500		m ³ /h

aanvoer tweede trap

CZV	28.800	13.721	kg/d
BZV		4.436	kg/d
N _{kj}	4.406	3.328	kg/d

beluchtingstanks tweede trap

volume	19.900		m ³
aantal tanks	3		stuks
volume elk	6.630		m ³
slibgehalte	3,7	4,6	kg/m ³
slibbelasting			
. N _{kj}	0,06	0,04	kg N/kg ds.d
. CZV	0,39	0,15	kg CZV/kg ds.d
aantal puntbeluchters	3 * 4		stuks
capaciteit	12 * 200		kg O ₂ /h

nabezinktanks

slibvolume index	150	148	ml/g
oppervlaktebelasting	0,83		m ³ /m ² .h
aantal tanks	14		stuks
capaciteit retourlib	7.500		m/h

effluent

CZV		2.123	kg/d
		33	mg/l
N _{kj}		546	kg/d
		8,5	mg/l
NO ₃		622	kg/d
		9,6	mg/l
P _{totaal}		98	kg/d
		1,5	mg/l

SLIBLIJN**slibproducties**

. eerste trap	19.712	15.000	kg ds/d
. tweede trap	5.056	3.500	kg ds/d

slibindikker eerste trap

ds-belasting	50		kg ds/m ² .d
totaal oppervlak	395		m ²
indikkingsgraad	5		ds%

slibindikker tweede trap

ds-belasting	26	kg ds/m ² .d
totaal oppervlak	195	m ²
indikkingsgraad	2,5	ds%

slibgistingstanks

volume	20.000	m ³
verblijftijd	34	d
aantal	4	stuks

nagistingstanks

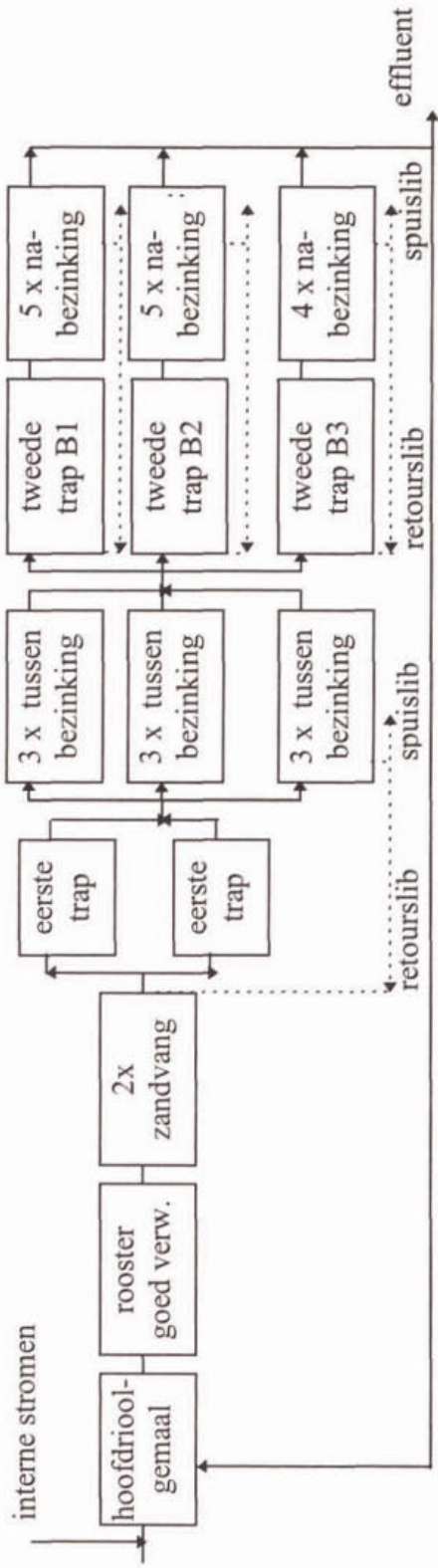
volume	9.000	m ³
verblijftijd	7,5	d
aantal	2	stuks

slibontwatering

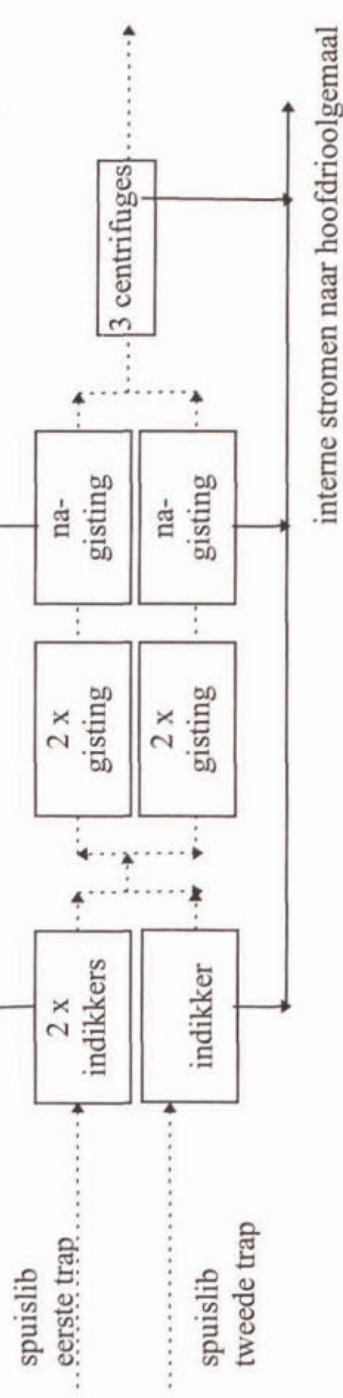
aantal centrifuges	3	stuks
--------------------	---	-------

Bijlage IV: Blokdiagram van de water- en slijblijn

WATERLIJN



SLIJLIJN



Bijlage V: Uitgebreide verzameltabellen (per fase)

Overzichtstabellen:

- V-1: Fase 1
- V-2: Fase 2a
- V-3: Fase 2b
- V-4: Fase 3a
- V-5: Fase 3b

B1= proefstraat
B2= referentiestraat

aanvoerdebiet naar één straat = (influent+effluent recirculatie)/3

**Bijlage V-1: Fase 1 Constant recirculatie-debiet
(periode 15 maart tot en met 22 april 1994)**

	B1	B2	
aanvoer			
. debiet	44.369	44.369	m ³ /d
. CZV	153,5	153,5	mg/l
. N _{ki}	30,6	30,6	mg/l
. CZV/N _{ki}	5,0	5,0	-
slibgehalte	4,1	4,0	kg/m ³
slibvolume-index	139	113	ml/g
temperatuur	13,5	13,5	°C
dosering substraat	0	0	m ³ /d
slibbelasting			
- CZV	0,25	0,25	kg/kg.d
- N _{ki}	0,05	0,05	kg/kg.d
effluent			
- N _{ki}	5,0 (222)	5,0 (222)	mg/l (kg/d)
- NH ₄	3,2 (142)	3,2 (142)	mg/l (kg/d)
- NO _x	5,0 (222)	7,9 (351)	mg/l (kg/d)
- N _{totaal}	10,0 (444)	12,9 (572)	mg/l (kg/d)
stikstofverwijdering			
- N _{ki} (% N _{ki} -aanvoer)	1.136 (84)	1.136 (84)	kg/d (%)
- N _{totaal} (% N _{ki} -aanvoer)	914 (67)	785 (58)	kg/d (%)
spuislib			
- productie	1.152	1.152	kg ds/d
- N-gehalte	74	74	g/kg ds
energie			
. interne recirc.	1.243	0	kWh/d
. int.rec+lucht	5.278	4.035	kWh/d
energie (bel+recirc.)			
- kWh/N _{ki} -verw	4,7	3,6	kWh/kg
- kWh/N _{totaal} -verw.	5,8	5,2	kWh/kg
STIKSTOFBALANS			
aanvoer N _{ki}	1.358 (100)	1.358 (100)	kg/d (%)
effluent N _{ki}	222 (16)	222 (16)	kg/d (%)
effluent NO _x	222 (16)	351 (26)	kg/d (%)
slib	85 (6)	85 (6)	kg/d (%)
gedenitrificeerd	829 (61)	700 (51,5)	kg/d (%)

Bijlage V-2: Fase 2a Nitraatregeling
(periode 23 april tot en met 2 juni 1994)

	B1	B2	
aanvoer			
. debiet	37.860	37.860	m ³ /d
. CZV	154,9	154,9	mg/l
. N _{ki}	34,3	34,3	mg/l
. CZV/N _{ki}	4,5	4,5	-
slibgehalte	3,8	3,9	kg/m ³
slibvolume-index	246	151	ml/g
temperatuur	16,2	16,2	°C
dosering substraat	0	0	m ³ /d
slibbelasting			
- CZV	0,24	0,24	kg/kg.d
- N _{ki}	0,05	0,05	kg/kg.d
effluent			
- N _{ki}	6,3 (239)	7,0 (265)	mg/l (kg/d)
- NH ₄	4,5 (169)	5,2 (195)	mg/l (kg/d)
- NO _x	8,0 (303)	10,0 (379)	mg/l (kg/d)
- N _{totaal}	14,3 (541)	17,0 (644)	mg/l (kg/d)
stikstofverwijdering			
- N _{ki} (% N _{ki} -aanvoer)	1.060 (82)	1.034 (80)	kg/d (%)
- N _{totaal} (% N _{ki} -aanvoer)	757 (58)	655 (50)	kg/d (%)
spuislib			
- productie	1.608	1.608	kg ds/d
- N-gehalte	74	74	g/kg ds
energie			
. interne recirc.	399	0	kWh/d
. int.rec+lucht	4.728	4.329	kWh/d
energie (bel+recirc.)			
- kWh/N _{ki} -verw	4,5	4,2	kWh/kg
- kWh/N _{totaal} -verw.	6,2	6,6	kWh/kg
STIKSTOFBALANS			
aanvoer N _{Ki}	1.299 (100)	1.299 (100)	kg/d (%)
effluent N _{ki}	239 (18)	265 (20)	kg/d (%)
effluent NO _x	303 (23)	379 (29)	kg/d (%)
slib	119 (9)	119 (9)	kg/d (%)
gedenitrificeerd	638 (49)	536 (41)	kg/d (%)

**Bijlage V-3: Fase 2b Nitraatregeling
(periode 25 september tot en met 16 oktober 1995)**

	B1	B2	
aanvoer			
. debiet	49.731	49.731	m ³ /d
. CZV	85,3	85,3	mg/l
. N _{ki}	30,0	30,0	mg/l
. CZV/N _{ki}	2,8	2,8	-
slibgehalte	4,1	4,3	kg/m ³
slibvolume-index	93	136	ml/g
temperatuur	18,3	18,3	°C
dosering substraat ¹	124	0	m ³ /d
slibbelasting			
- CZV	0,15	0,15	kg/kg.d
- N _{kj}	0,05	0,05	kg/kg.d
effluent			
- N _{ki}	4,5 (224)	4,5 (224)	mg/l (kg/d)
- NH ₄	2,7 (134)	2,7 (134)	mg/l (kg/d)
- NO _x	13,9 (691)	14,6 (726)	mg/l (kg/d)
- N _{totaal}	18,4 (915)	19,1 (950)	mg/l (kg/d)
stikstofverwijdering			
- N _{ki} (% N _{ki} aanvoer)	1.268 (85)	1.268 (85)	kg/d (%)
- N _{totaal} (% N _{ki} aanvoer)	577 (39)	542 (36)	kg/d (%)
spuislib			
- productie	765	765	kg ds/d
- N-gehalte	74	74	g/kg ds
energie			
. interne recirc.	1.553	0	kWh/d
. int.rec+lucht	6.163	4.610	kWh/d
energie (bel+recirc.)			
- kWh/N _{ki} -verw	4,9	3,6	kWh/kg
- kWh/N _{totaal} -verw.	10,7	8,5	kWh/kg
STIKSTOFBALANS			
aanvoer N _{Ki}	1.492 (100)	1.492 (100)	kg/d (%)
effluent N _{ki}	224 (15)	224 (15)	kg/d (%)
effluent NO _x	691 (46)	726 (49)	kg/d (%)
slib	57 (4)	57 (4)	kg/d (%)
gedenitrificeerd	520 (35)	485 (33)	kg/d (%)

¹Uitgaande van een gemiddelde spuislibdosering van 124 m³/d, een drogestofpercentage van het spuislib van 0,8% en een CZV van 1,2 kg/kg drogestof (analyse Tauw) wordt dagelijks 1.190 kg CZV in B1 gedoseerd. Met het effluent van de eerste trap wordt gemiddeld al 4.242 kg CZV/d naar B1 getransporteerd. De gedoseerde CZV-vracht bedraagt dus 28% van de aangevoerde CZV-vracht (ervan uitgaand dat de gedoseerde CZV-vracht ten behoeve van denitrificatie qua 'effectiviteit' gelijk is aan de aangevoerde CZV-vracht).

**Bijlage V-4: Fase 3a Redoxregeling
(periode 3 juni tot en met 22 juni 1994)**

	B1	B2	
aanvoer			
. debiet	42.391	42.391	m ³ /d
. CZV	121,4	121,4	mg/l
. N _{ki}	27,2	27,2	mg/l
. CZV/N _{ki}	4,5	4,5	-
slibgehalte	3,6	3,6	kg/m ³
slibvolume-index	255	178	ml/g
temperatuur	17,0	17,0	°C
dosering substraat	0	0	m ³ /d
slibbelasting			
- CZV	0,23	0,23	kg/kg.d
- N _{ki}	0,05	0,05	kg/kg.d
effluent			
- N _{ki}	5,7 (242)	5,9 (250)	mg/l (kg/d)
- NH ₄	3,9 (165)	4,1 (174)	mg/l (kg/d)
- NO _x	8,1 (345)	9,2 (389)	mg/l (kg/d)
- N _{totaal}	13,8 (587)	15,1 (639)	mg/l (kg/d)
stikstofverwijdering			
- N _{ki} (% N _{ki} aanvoer)	911 (79)	903 (78)	kg/d (%)
- N _{totaal} (% N _{ki} aanvoer)	568 (49)	513 (44)	kg/d (%)
spuislib			
- productie	728	728	kg ds/d
- N-gehalte	74	74	g/kg ds
energie			
. interne recirc.	638	0	kWh/d
. int.rec+lucht	4.558	3.920	kWh/d
energie (bel+recirc.)			
- kWh/N _{ki} -verw	5,0	4,3	kWh/kg
- kWh/N _{totaal} -verw.	8,0	7,6	kWh/kg
STIKSTOFBALANS			
aanvoer N _{ki}	1.153 (100)	1.153 (100)	kg/d (%)
effluent N _{ki}	242 (21)	250 (22)	kg/d (%)
effluent NO _x	345 (30)	389 (34)	kg/d (%)
slib	54 (5)	54 (5)	kg/d (%)
gedenitrificeerd	512 (44)	460 (40)	kg/d (%)

**Bijlage V-5: Fase 3b Redoxregeling
(periode 23 juni tot en met 17 juli 1994)**

	B1	B2	
aanvoer			
. debiet	34.356	34.356	m ³ /d
. CZV	136,8	136,8	mg/l
. N _{ki}	32,5	32,5	mg/l
. CZV/N	4,2	4,2	-
slibgehalte	4,5	3,9	kg/m ³
slibvolume-index	195	168	ml/g
temperatuur	21,5	21,5	°C
dosering substraat ¹	118	0	m ³ /d
slibbelasting			
- CZV	0,165	0,19	kg/kg.d
- N _{ki}	0,04	0,045	kg/kg.d
effluent			
- N _{ki}	6,4 (220)	5,7 (196)	mg/l (kg/d)
- NH ₄	4,6 (158)	3,9 (134)	mg/l (kg/d)
- NO _x	5,7 (196)	10,0 (344)	mg/l (kg/d)
- N _{totaal}	12,1 (416)	15,7 (539)	mg/l (kg/d)
stikstofverwijdering			
- N _{ki} (% N _{ki} aanvoer)	897 (80)	921 (82)	kg/d (%)
- N _{totaal} (% N _{ki} aanvoer)	701 (63)	577 (52)	kg/d (%)
spuislib			
- productie	759	759	kg ds/d
- N-gehalte	74	74	g/kg ds
energie			
. interne recirc.	855	0	kWh/d
. int.rec+lucht	5.214	4.372	kWh/d
energie (bel+recirc.)			
- kWh/N _{ki} -verw	5,8	4,7	kWh/kg
- kWh/N _{totaal} -verw.	7,4	7,6	kWh/kg
STIKSTOFBALANS			
aanvoer	1.117 (100)	1.117 (100)	kg/d (%)
effluent N _{ki}	220 (20)	196 (18)	kg/d (%)
effluent NO _x	196 (18)	340 (30)	kg/d (%)
slib	56 (5)	56 (5)	kg/d (%)
gedenitrificeerd	645 (58)	525 (47)	kg/d (%)

¹Uitgaande van een gemiddelde spuislibdosering van 118 m³/d, een drogestofpercentage van het spuislib van 0,8% en een CZV van 1,2 kg/kg drogestof (analyse Tauw) wordt dagelijks 1.133 kg CZV in B1 gedoseerd. Met het effluent van de eerste trap wordt gemiddeld al 4.700 kg CZV/d naar B1 getransporteerd. De gedoseerde CZV-vracht bedraagt dus 24% van de aangevoerde CZV-vracht (ervan uitgaand dat de gedoseerde CZV-vracht ten behoeve van denitrificatie qua 'effectiviteit' gelijk is aan de aangevoerde CZV-vracht).

Bijlage VI: Grafische weergaven van de resultaten van alle onderzoeksperioden

Overzicht grafieken:

VI-1a Relatie ammoniumconcentratie B1 versus tijd

VI-1b Relatie ammoniumconcentratie B2 versus tijd

VI-2a Relatie ammoniumconcentratie B1 versus CZV-belasting

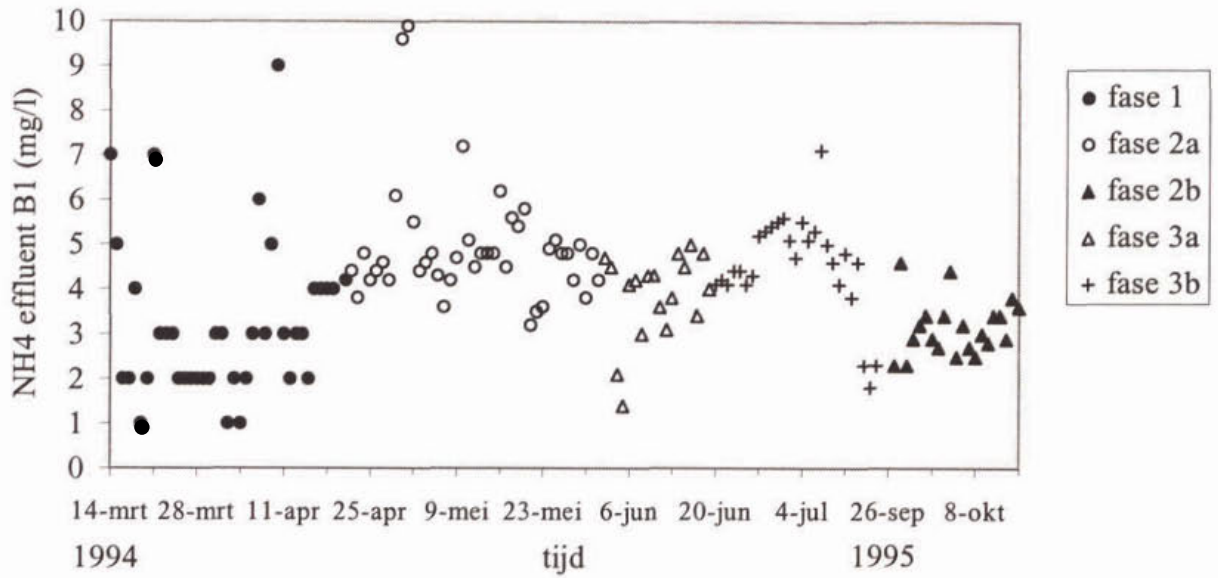
VI-2b Relatie ammoniumconcentratie B2 versus CZV-belasting

VI-3a Relatie ammoniumconcentratie B1 versus temperatuur

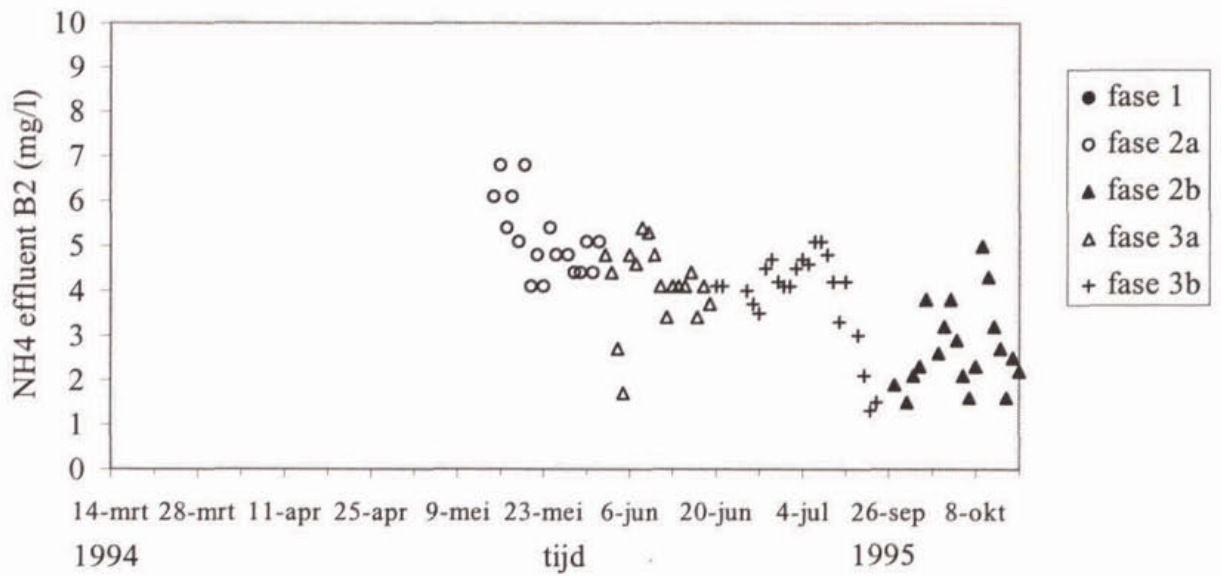
VI-3b Relatie ammoniumconcentratie B2 versus temperatuur

VI-4 Verschil stikstofverwijdering B1 en B2 versus energieverbruik t.b.v. recirculatie (gegevens 1994)

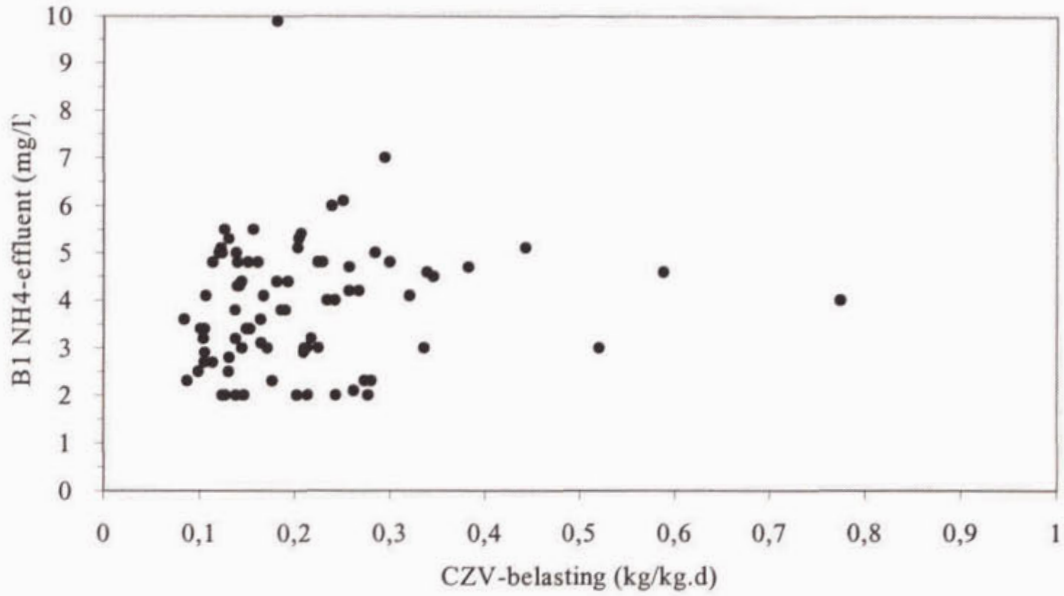
Bijlage VI-1a: Relatie ammoniumconcentratie B1 versus tijd



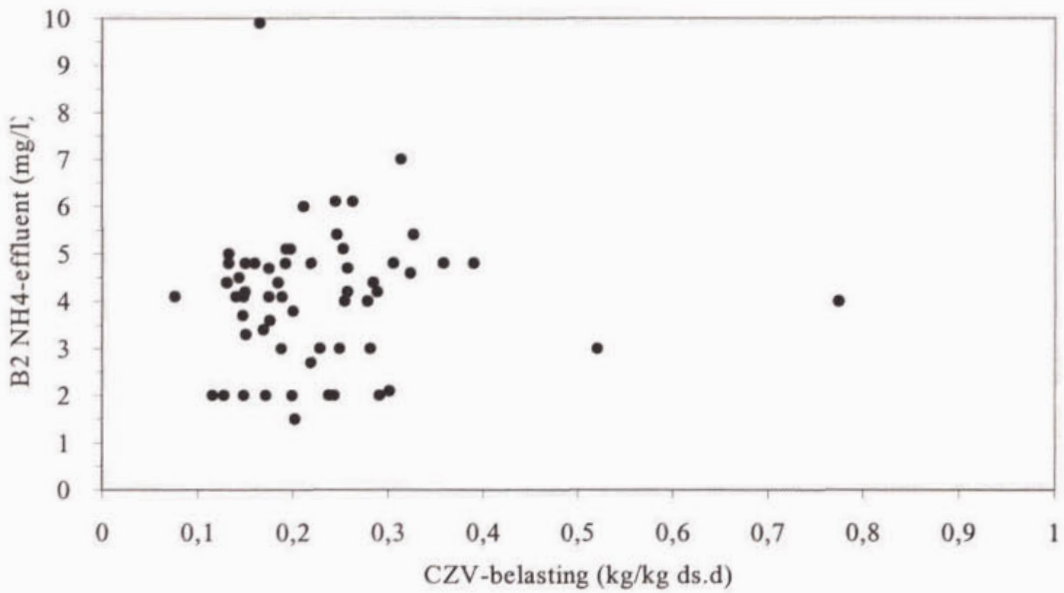
Bijlage VI-1b: Relatie ammoniumconcentratie B2 versus tijd



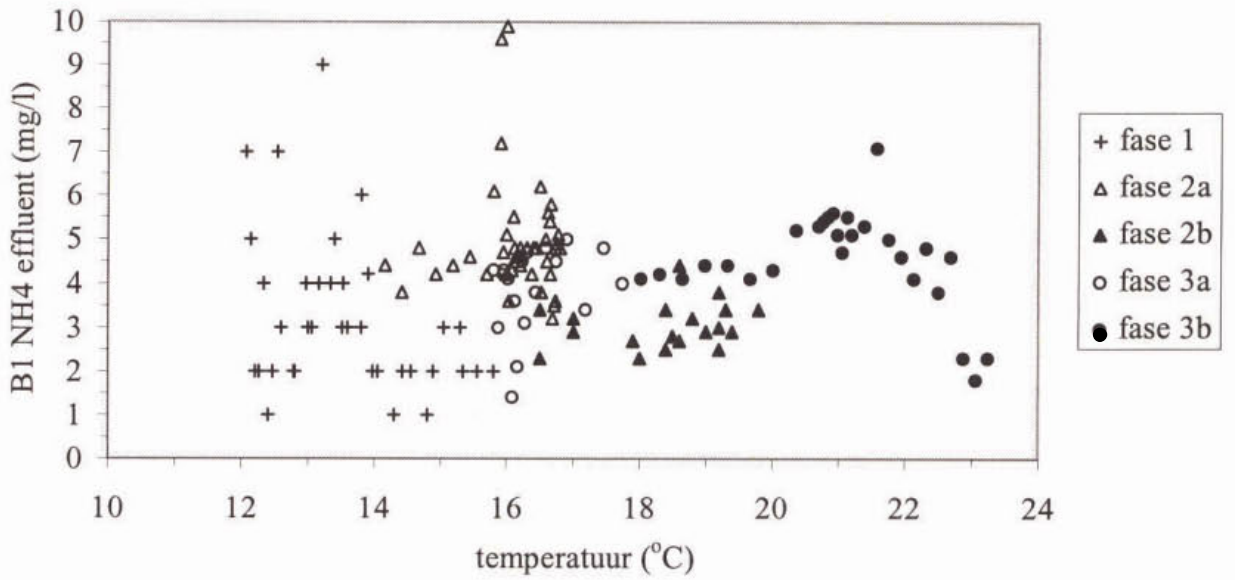
Bijlage VI-2a: Relatie ammoniumconcentratie B1 versus CZV-belasting



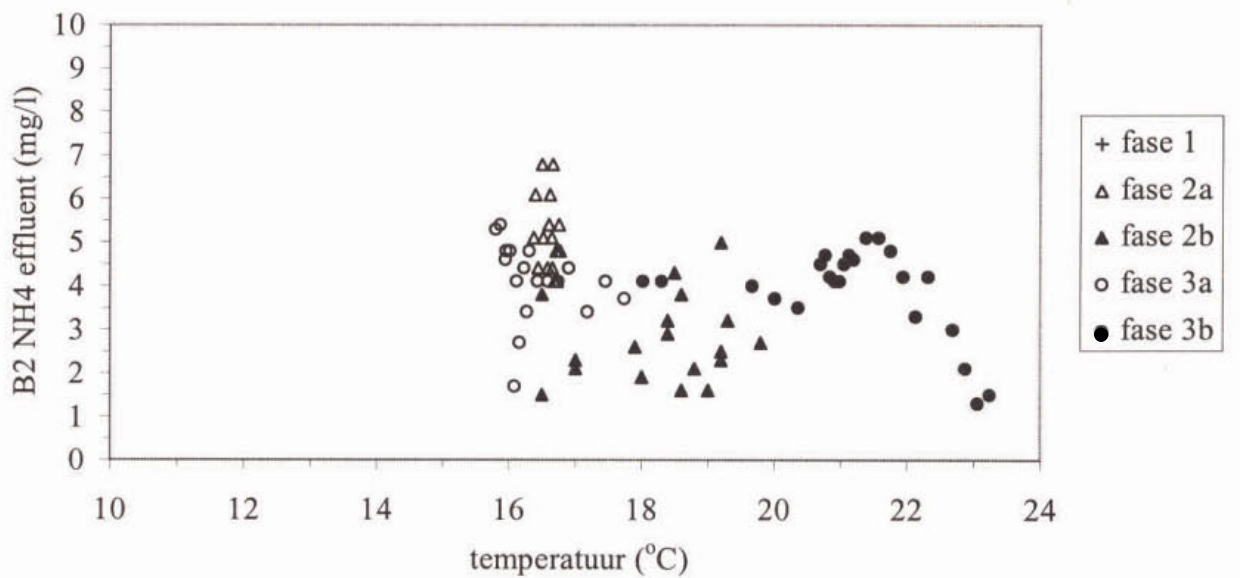
Bijlage VI-2b: Relatie ammoniumconcentratie B2 versus CZV-belasting



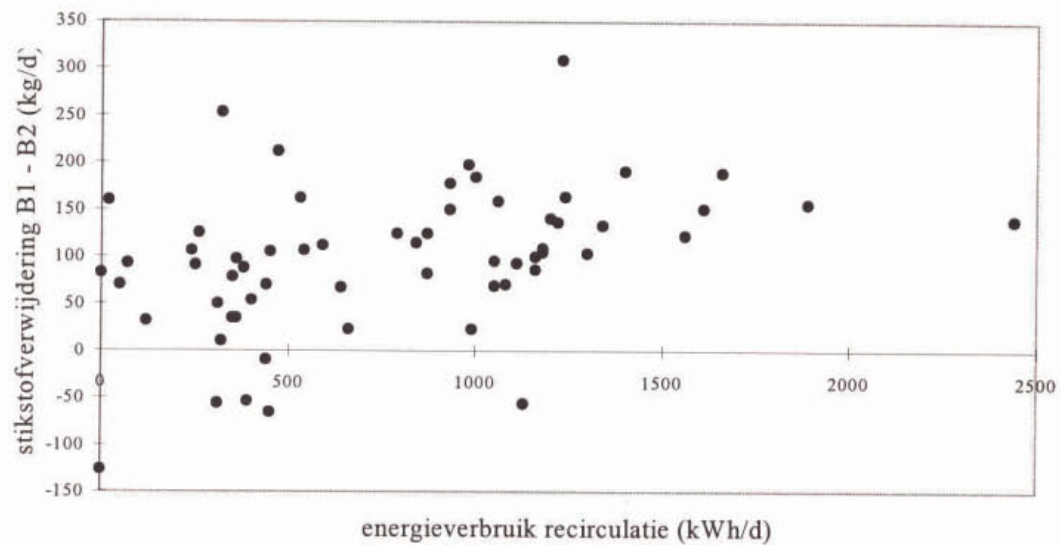
Bijlage VI-3a: Relatie ammoniumconcentratie B1 versus temperatuur



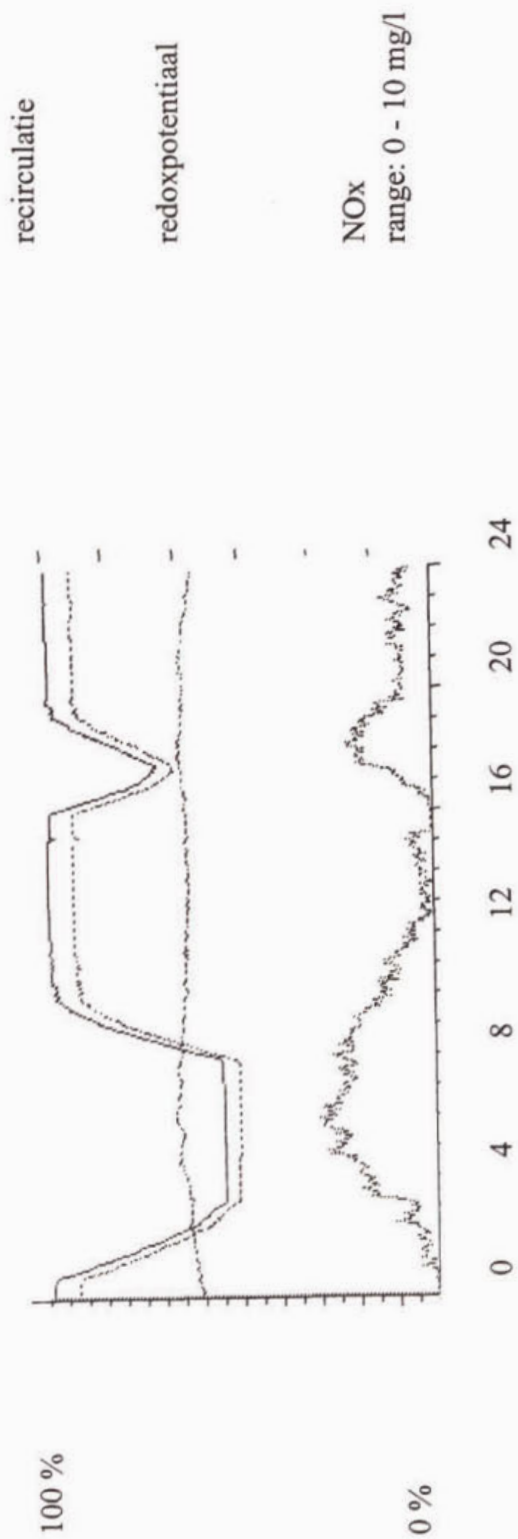
Bijlage VI-3b: Relatie ammoniumconcentratie B2 versus temperatuur



Bijlage VI-4: Verschil in stikstofverwijdering B1 en B2 versus energieverbruik van de recirculatie (gegevens 1994)



Bijlage VII: Trend recirculatie en NO_x in de voordennitrificatieruimte



Bijlage VIII: Berekening overall stikstofverwijdering

voordenitrificatie	stikstofvrachten		
	nee	ja	
influent *	4006	4006	kg/d
effluentrecirculatie (RF*=0,6)	701	576	kg/d
aanvoer eerste trap	4707	4582	kg/d
verwijderd in eerste trap	1379	1254	kg/d
aanvoer tweede trap*	3328	3328	kg/d
verwijderd in tweede trap	1459	1792	kg/d
rendement tweede trap	43,8	53,8	%
afvoer tweede trap	1869	1536	kg/d
- effluentrecirculatie	701	576	kg/d
- effluent*	1168	960	kg/d
totaal verwijderd	2838	3046	kg/d

Bij toepassing van voordenitrificatie wordt $3046 - 2838 = 208$ kg/d meer stikstof verwijderd.

* gegevens jaarverslag 1995

