

Ervaringen met regeling op stikstof en zuurstof op de rwzi Gennepe



97

w 06

**Ervaringen met regeling op stikstof
en zuurstof op de rwzi Gennep**

97 w 06

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 90.74476.99.6

Samenvatting

1	Inleiding	1
2	Achtergrond	2
3	Doelstelling	3
4	Beschrijving van de rwzi Gennep en regeling van de luchtinbreng	4
5	Proefopzet	5
5.1	Beschrijving van de regelingen	5
5.2	Fasering van het onderzoek	6
5.3	Bemonstering en analyse	7
5.3.1	Bemonstering	7
5.3.2	Procescondities	8
5.3.3	Bijzondere metingen	9
6	Simulatieberekeningen	10
7	Evaluatie van de resultaten	13
7.1	Effluentkwaliteit	14
7.2	N-verwijderingsrendement	15
7.3	Beluchttingsregime	15
7.4	Processtabiliteit	16
7.5	SVI	16
7.6	Biologische P-verwijdering	16
7.7	Energieverbruik	16
7.8	Bedrijfsvoeringsaspecten	16
7.9	Statistische gegevensverwerking	17
8	Conclusies	18

1	Rwzi Gennep: waterlijn, sliblijn en dimensioneringsgrondslagen	20
2	Principeschema van de O ₂ -regeling rwzi Gennep	24
3	Principeschema van de regeling op stikstof rwzi Gennep	25
4	Instellingen van de regelaars	26
5	Gegevens en resultaten van de simulatieberekeningen	29
6	Overzicht van de analyseresultaten in de verschillende proefperioden	32
7	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode G	33
8	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode C	34
9	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode D	35
10	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode H	36
11	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode J	37
12	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode K	38
13	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode L	39
14	Verloop van de Slibvolume-index in de proefperioden	40
15	Statistische vergelijking van de diverse regelingen (on-line metingen)	
	Toetsing van de effluent NH ₄ -N- en NO ₃ -N-gehalten	41
16	Statistische vergelijking van de diverse regelingen (24-uurs bemonsteringen)	
	Toetsing van de effluent NH ₄ - en NO ₃ -N-gehalten	42
17	Statistische vergelijking van de diverse regelingen (24-uurs bemonsteringen)	
	Toetsing van het specifieke energieverbruik	43

Samenvatting

Op de rwzi Gennep is door het Zuiveringschap Limburg onderzoek uitgevoerd naar de verbetering van de stikstofverwijdering. Het onderzoek maakt deel uit van het Stowa-project "Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk". De mogelijkheden van regeling van de luchttoevoer naar de beluchtingstanks op basis van zuurstof- en stikstofsignalen (ammonium en nitraat) zijn onderzocht. Vanuit praktisch oogpunt is gekozen voor opeenvolgende perioden met regeling op zuurstof en stikstof. Tevens zijn er computersimulatieberekeningen uitgevoerd om de optimale instellingen van de regelingen vast te stellen.

De rwzi Gennep heeft de volgende kenmerken. De installatie beschikt over een goed regelbaar beluchtingssysteem van voldoende capaciteit, de beluchtingstank is een omloopsysteem en de belasting van de installatie bestaat voor een groot deel uit een industriële lozing die de CZV/N-verhouding in belangrijke mate beïnvloedt. Het onderzoek heeft de volgende resultaten opgeleverd.

O₂-regeling

Op basis van de extra informatie die verkregen werd met de on-line metingen voor stikstof werd handmatig het zuurstofsetpoint bijgesteld. Hierdoor werd al een aanzienlijke verbetering van de effluentkwaliteit bereikt. Regeling op zuurstof maakt een snelle regeling op de totale zuurstofvraag mogelijk. De plaats van de zuurstofopnemer verdient extra aandacht. Keuze voor een plaats met een hoog zuurstofgehalte levert lagere nitraatgehalten op. Vanwege het goed regelbare beluchtingssysteem is het mogelijk gebleken om het zuurstofgehalte op een constant niveau te houden en zijn de optredende variaties in het beluchtingsregime beperkt. Langdurige variaties in influentsamenstelling vereisen echter handmatige aanpassing van het setpoint.

N-regeling

Regeling op stikstof reageert op een verandering van het ammonium- dan wel het nitraatgehalte in de aëratietank. In die tijd is er echter een aanzienlijke belasting aan stikstof in het systeem opgebouwd. Bij overschrijding van het setpoint van ammonium reageert de regeling dusdanig snel dat de luchtinbreng in korte tijd naar maximaal wordt opgevoerd totdat het ammoniumgehalte daalt tot onder het schakelpunt. Regelmatig neemt de regeling op nitraat de regeling op ammonium over. De directe regeling op stikstof gaf een regelmatig terugkerend intermitterend beluchtingspatroon. Verlaging van het setpoint voor ammonium en nitraat resulteert in lagere stikstof-effluentgehalten. De met het programma Simba berekende parameterinstelling leverde een rustiger beluchtingspatroon op.

De bereikte N-verwijderingsrendementen waren voor beide regelingen gelijk: gemiddeld 80 tot 84 %. De effluentwaarden waren in de perioden met regeling op stikstof 1,4 tot 4,9 mg NH₄-N/l en 1,4 tot 3,7 mg NO₃-N/l en in de perioden met regeling op zuurstof 1,5 - 2,4 mg ammonium-N en 2,1-6,8 mg NO₃-N/l.

Er zijn statistische berekeningen uitgevoerd om het effect van de verschillende regelingen te beoordelen. De meetwaarden van de effluent N-gehalten en het energieverbruik zijn paarsgewijs met elkaar vergeleken en getoetst. Het effluent-N-gehalte is voor de diverse proefperioden onder DWA-omstandigheden (< 15.000 m³/d) vergeleken bij ongeveer gelijke temperatuur. Wordt de toets uitgevoerd aan de hand van de on-line metingen dan blijkt dat:

- bij regeling op basis van een zuurstofmeting op plaats 2 (na de twee beluchtingspakketten) lagere N-totaalgehalten worden bereikt dan bij een zuurstofmeting op plaats 1 (afloop van de AT) met name als gevolg van lagere nitraatgehalten;
- de regeling op stikstof met setpoints van 3 mg NH₄-N en NO₃-N/l 'iets' hogere N-waarden geeft dan de regeling met setpoints van 2 mg NH₄-N/l en 2 mg NO₃-N/l;
- de regeling op stikstof (setpoints 2 mg N/l) bij 20 °C geen lagere effluent N-waarden levert dan de regeling op zuurstof (meting op plaats 2); bij 15-17,5 °C zijn de N-gehalten bij de effluent N-regeling het laagst.

Worden de 24-uurs effluentbemonsteringen als basis genomen dan kan alleen de eerste conclusie bevestigd worden.

Het specifieke energieverbruik in de diverse proefperioden verschilde niet bij 95 % betrouwbaarheid. De regelingen op zuurstof of stikstof zijn niet van invloed geweest op de slibvolume-index. Het onderzoek was gericht op verbetering van de stikstofverwijdering. De biologische defosfatering is nog niet geoptimaliseerd.

1 Inleiding

In dit rapport wordt verslag gedaan van het praktijkonderzoek dat is uitgevoerd op de rwzi Gennep in de periode april 1994 t/m juni 1996. Het onderzoek maakt deel uit van het Stowa-project "Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk". De mogelijkheden van regeling van de luchttoevoer naar de beluchtingstanks op basis van zuurstof- en stikstofsignalen (ammonium en nitraat) zijn onderzocht. Als onderdeel van het project zijn tevens computersimulatieberekeningen uitgevoerd, teneinde de optimale instellingen van de door het Zuiveringschap Limburg ontwikkelde regelingen vast te stellen. Deze instellingen zijn in de praktijk getest.

Het rapport is als volgt samengesteld. Na de inleiding (hoofdstuk 1) en de achtergrond (hoofdstuk 2) zijn de doelstellingen van het onderzoek beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de werking van rwzi Gennep. De proefopzet, metingen en regelingen zijn vermeld in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de simulatieberekeningen. De resultaten van het onderzoek komen aan de orde in hoofdstuk 7. De conclusies zijn weergegeven in hoofdstuk 8.

2 Achtergrond

In het beheersgebied van het Zuiveringschap Limburg wordt vanaf 1995 75 % van de aangevoerde vracht fosfaat naar de rwzi's verwijderd. Vanaf 2003 zal 75 % van de stikstofvracht verwijderd moeten worden. Om aan deze laatste doelstelling te kunnen voldoen, zullen naast bouwkundige aanpassingen aan enkele rwzi's eveneens de regeling van de bestaande rwzi's geoptimaliseerd dienen te worden. In dit kader is door het ZL onderzoek uitgevoerd op rwzi Gennep naar de verdere verbetering van de stikstof- en fosfaatverwijdering.

Dit onderzoek maakt deel uit van het Stowa-project "Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk". Het voorliggende rapport geeft de resultaten van het onderzoek dat in de periode april 1994 t/m juni 1996 heeft plaatsgevonden.

3 Doelstelling

Met de bestaande regeling op basis van het zuurstofsignaal kon in 1993 de denitrificatie niet worden geoptimaliseerd. In 1994 is er online-meetapparatuur voor ammonium, nitraat en ortho-fosfaat in gebruik genomen. In eerste instantie diende de apparatuur als bewaking, waarmee de instellingen van de zuurstofsetpoints handmatig werden bijgesteld. Naderhand is het stikstofsignaal in de regeling opgenomen. Door het ZL is een directe regeling op stikstof ontwikkeld. De regeling is beschreven in hoofdstuk 5. Hierbij speelde een aantal uitgangspunten en randvoorwaarden een belangrijke rol n.l. de nitrificatie was volledig, de denitrificatie onvolledig; de beluchting van de rwzi is traploos regelbaar en in principe geschikt voor intermitterende beluchting en de zuivering is een omloopsysteem.

Daarnaast waren er N- en P-analysers beschikbaar. Er zijn door het adviesbureau DHV simulatieberekeningen met het dynamische computerprogramma Simba uitgevoerd om de regeling te optimaliseren.

De redenen voor het onderzoek waren:

- *ervaring opdoen met directe regeling op zuurstof en stikstof;*
- *verbeteren van de denitrificatie;*
- *vergelijken van het effect van de regeling op basis van stikstof en zuurstof op de effluentkwaliteit, processtabiliteit en slibvolume-index;*
- *verbeteren van de biologische fosfaatverwijdering;*
- *besparen van energie.*

4 Beschrijving van de rwzi Gennep en regeling van de luchtinbreng

De rwzi Gennep bestaat in hoofdzaak uit een onbeluchte contacttank, twee parallelle ellipsvormige omloopsystemen en twee nabezinktanks. De installatie en de dimensioneringsgrondslagen zijn afgebeeld en vermeld in bijlage 1. De ontwerpcapaciteit van de rwzi bedraagt 38.000 i.e. (54 gram BZV). De beluchtingscapaciteit is berekend op 58.000 i.e. De beluchtingstanks zijn uitgevoerd met een meestroombellenbeluchting en gescheiden voortstuwing volgens het Ladox-systeem. Daarmee wordt een hoge interne recirculatie-factor (binnen het omloopsysteem) verkregen zodat het systeem voor wat betreft stikstof en fosfaat als compleet gemengd kan worden beschouwd. Het zuurstofgehalte varieert wel met de plaats in de beluchtingstanks. Per tank wordt het afvalwater op één punt ingebracht. Elke tank is voorzien van drie pakketten membraanbeluchters. In het gedeelte dat als eerste met afvalwater wordt doorstroomd, is één pakket geplaatst en in het tweede gedeelte aan de overzijde van de tank twee pakketten. De zuurstofvoorziening vindt plaats met drie compressoren en is traploos regelbaar. Theoretisch bedraagt het luchtdebiet 0 - 10.650 m³/h voor twee straten. In de praktijk blijkt het noodzakelijk te zijn om minimaal één compressor op laagtoeren te laten draaien. Het minimaal luchtdebiet bedraagt circa 1.400 m³/h voor twee straten. Gedurende de gehele periode is de lucht gelijk verdeeld over alle pakketten. De voortstuwing is continu in gebruik. Aangezien het retourslib van beide straten weer samen komt in één contacttank, is het niet mogelijk om beide regelingen gelijktijdig te kunnen uittesten en te vergelijken. Er is daarom gekozen voor opeenvolgende perioden met regeling op stikstof en zuurstof. Het actief slib van straat 1 wordt uit de AT gepompt, gefiltreerd en vervolgens geanalyseerd op ammonium, nitraat en orthofosfaat. Het surplusslib wordt naar een gravitatie-indikker en daarna naar flotatiebakken en een slibbuffer geleid. De ontwatering geschiedt met een zeebandpers. De regeling van de luchtinbreng zoals deze in de periode voorafgaand aan het onderzoek is toegepast, is beschreven in hoofdstuk 5.1.

5 Proefopzet

5.1 Beschrijving van de regelingen

In het onderzoek zijn twee regelingen uitgetest: regeling op basis van zuurstof en regeling op basis van ammonium en nitraat. Zoals reeds vermeld is er gekozen voor opeenvolgende perioden met regeling op zuurstof en stikstof. Beide straten worden op dezelfde wijze geregeld.

On-line metingen

Vanaf 25-01-1994 is het ammonium-, nitraat- en orthofosfaat-gehalte in het actief slib van straat 1 continu gemeten. Deze metingen zijn beschreven in hoofdstuk 5.3.2.

O₂-regeling

De zuurstofvoorziening is geregeld met een regelklep per beluchtingstank en constante drukregeling van de compressoren. Bij overschrijding van het zuurstofsetpoint in de beluchtingstank wordt minder belucht en bij onderschrijding meer. De verstelsnelheid van de regelklep is gestuurd door PID-regelaars. De integraal van de klepverstelsnelheid levert de klepstand oftewel de luchttoevoer. In de praktijk is gebleken dat de klep in 5 minuten van geheel open naar geheel gesloten wordt gestuurd. De regeling is schematisch weergegeven in bijlage 2. De I-actie is uitgeschakeld. De plaats van de zuurstofmeter is tijdens de proefperiode gewijzigd. Vanaf periode G is de opnemer verplaatst van de afloop van de beluchting (plaats 1) naar een plaats achter de twee beluchtingspakketten (plaats 2).

NH₄-N-/NO₃-N-regeling

Als ingangssignalen voor de regeling worden gebruikt de on-line metingen van ammonium en nitraat in het actief slib van straat 1. Bijlage 3 geeft het principeschema weer van de regeling en van de PID-regelaars. Het integrerend gedeelte van beide regelaars is uitgeschakeld. Wanneer het NH₄-N-gehalte hoger wordt dan het ingestelde setpoint (bijvoorbeeld > 2, 3 of 5 mg/l) is contact SA2 van de schakelversterker (SA) in en SA1 uit. Regelaar 2 (master) regelt dan de klepverstelsnelheid van beluchting op het ammoniumgehalte. Afhankelijk van de afwijking van het ingestelde setpoint vindt in eerste instantie meer luchtinbreng plaats. De luchtinbreng wordt minder naarmate het setpoint dichterbij wordt benaderd. Wanneer het NH₄-N-gehalte lager is dan een ingesteld schakelpunt (dat lager is dan het NH₄-N-setpoint) neemt regelaar 1 over en regelt de beluchtingskleppen op het nitraatgehalte.

De instelling van de regelaars moet zodanig zijn dat een compromis moet worden gevonden tussen gewenste effluentkwaliteit en daarmee de setpoints-instellingen, processtabiliteit en de levensduur van de beluchtingskleppen. De instellingen van de regelaars zijn weergegeven in bijlage 4.

5.2 Fasering van het onderzoek

In dit onderzoek is gekozen voor opeenvolgende perioden met regeling op zuurstof en stikstof. In de periode april 1994 tot en met juni 1996 zijn 12 perioden te onderscheiden. In de perioden A en B zijn de gehalten aan ammonium en nitraat in de AT geregistreerd en gebruikt om de setpoints van de zuurstofregeling handmatig bij te stellen. De zuurstofmeting vond in beide perioden plaats bij de afloop van de beluchtingstank (plaats 1). In de perioden C, D, F en H is de beluchting geregeld op basis van ammonium en nitraat. De setpoints voor ammonium en nitraat zijn stapsgewijs verlaagd van 5 naar 3 en naar 2 mg N/l. In de tussenliggende perioden E, G, en I is gestuurd op zuurstof, waarbij de zuurstofmeting plaatsvond na de twee beluchtingspakketten (plaats 2). In de periode J wordt de zuurstofinbreng geregeld met de instellingen die uit het simulatieprogramma Simba zijn verkregen. In de periode K wordt op stikstof geregeld met de instellingen die met Simba zijn verkregen. Tenslotte is in de periode L weer geregeld op stikstof met de setpointinstelling van 2 mg N/l. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de perioden en de bijbehorende bijzonderheden.

Tabel 1. Overzicht van de onderzoeksperioden

periode	termijn	regeling	setpoints
A	07-04-94 t/m 05-08-94	zuurstof, plaats 1	0,5 mg O ₂ /l
B	06-08-94 t/m 05-09-94	zuurstof, plaats 1	0,5 mg O ₂ /l
C	06-09-94 t/m 27-09-94	NH ₄ -N en NO ₃ -N	5 mg N/l
D	28-09-94 t/m 15-11-94	NH ₄ -N en NO ₃ -N	3 mg N/l
E	16-11-94 t/m 06-12-94	zuurstof, plaats 1	0,5 mg O ₂ /l
F	07-12-94 t/m 31-05-95	NH ₄ -N en NO ₃ -N	2 mg N/l
G	01-06-95 t/m 29-08-95	zuurstof, plaats 2	1,2 mg O ₂ /l
H	30-08-95 t/m 11-10-95	NH ₄ -N en NO ₃ -N	2 mg N/l
I	12-10-95 t/m 25-03-96	zuurstof, plaats 2	0,8 - 1,2 mg O ₂ /l
J	26-03-96 t/m 16-04-96	zuurstof, plaats 2	1,5 mg O ₂ /l (Simba)
K	17-04-96 t/m 06-05-96	NH ₄ -N	4,4 mg/l (Simba)
L	07-05-96 t/m 12-06-96	NH ₄ -N en NO ₃ -N	2 mg N/l

5.3 Bemonstering en Analyse

5.3.1 Bemonstering

Tijdens het onderzoek zijn de volgende stromen bemonsterd:

- influent (volumeproportionele dagmonsters);
- actief slib (steekmonsters);
- effluent (volumeproportionele dagmonsters);
- surplusslib (steekmonsters).

De frequentie van de volumeproportionele bemonstering: 1994: 46 x, 1995: 71 x en 1996: 26 x.

De door het laboratorium van het ZL uitgevoerde analyseprogramma is in tabel 2 samengevat.

Tabel 2. Overzicht van het analyseprogramma.

analyse	influent	effluent	actief slib	ingedikt slib
CZV	x	x	x	
BZV	x	x		
Nkj-N	x	x		x
NH ₄ -N	x	x	online	
NO ₃ -N		x	online	
PO ₄ -P	x	x	online	
P-totaal	x	x	x	
affiltreerbare stof	x	x		
vluchtige vetzuren	x			
SVI			x	
pH		x		
droge stof			x	
asrest			x	
overige registraties (datalogger)				
	debiet			
			luchttoevoer	
			zuurstofgehalte	

5.3.2 Procescondities

De gemiddelde samenstelling van het influent en de procescondities tijdens het onderzoek zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Overzicht van de samenstelling van het influent en de procescondities.

Parameter	1993	1994	1995	1996 **
Debiet (m ³ /d)	12180	13080	13100	10328
CZV (mg/l)	559	737	629	784
BZV (mg/l)	198	236	234	306
Kjeldahl-N (mg/l)	39,6	40,7	40,3	56,1
totaal-fosfaat (mg/l)	6,7	6,6	6,6	9,6
CZV (kg/d)	6808	9640	8240	8100
BZV (kg/d)	2411	3090	3065	3160
Kjeldahl-N (kg/d)	482	532	528	579
BZV/N-verhouding	5,0	5,8	5,8	5,5
BZV/P-verhouding	29	36	36	32
CZV/N-verhouding	14	18	16	14
CZV/P-verhouding	83	112	95	82
temperatuur (°C)		17,5	17,5	16,1
ds in AT (g/l)	3,2	3,6	3,9	3,8
belasting:				
kg BZV/kg ds.d	0,073	0,084	0,077	0,081
kg CZV/kg ds.d	0,207	0,262	0,206	0,207
kg N/kg ds.d	0,015	0,015	0,013	0,015
Slib:				
SVI (ml/g)	104	105	100	95
Slibverblijftijd (d)	11	13	15	13

** van 01-01-1996 t/m 12-06-1996

Voor vergaande biologische P- en N-verwijdering is een BZV/P en BZV/N-verhouding gewenst van minimaal 15 à 20 respectievelijk 5¹. Uitgaande van de samenstelling van het afvalwater is vergaande

denitrificatie en biologische fosfaatverwijdering goed mogelijk. Door de relatief grote industriële belasting is de temperatuur van het afvalwater hoog.

5.3.3 Bijzondere metingen

Invoer van gegevens voor de modellering

Door DHV Water BV zijn computersimulatieberekeningen uitgevoerd om voor de twee door het ZL ontwikkelde regelingen de optimale instellingen vast te stellen. Hierbij werd door aanpassing van de PID constanten gestreefd naar een rustig schakelpatroon van de compressoren binnen de randvoorwaarden die de meet- en regeltechnici stellen aan de beluchtingsinstallatie van de rwzi Gennep. Het influent is gedurende twee dagen (22 t/m 24 september 1995) bemonsterd. Het influentpatroon, de luchtinbreng en de online metingen van ammonium en nitraat in de beluchtingstank zijn geregistreerd en gebruikt voor de simulatie. De karakteristieken zijn weergegeven in bijlage 5.

Online-metingen

Vanaf 25-01-1994 is het ammonium-, nitraat- en ortho-fosfaatgehalte in het actief slib van straat 1 continu gemeten. Het actiefslib is met behulp van een pomp van de AT naar het Abcor/Koch-filterstation gevoerd. In de gefiltreerde stroom wordt het nitraat-, het ammonium- en het ortho-fosfaatgehalte gemeten. Deze metingen zijn uitgevoerd met de Amtax, de Nitrox en de Fosfax van de firma Dr. Lange. Alle apparatuur is in het bedrijfsgebouw geplaatst. De Amtax en Fosfax hebben een responstijd van ca. 15 minuten, de Nitrox meet vrijwel zonder tijdvertraging. De verblijftijd in de toevoerslangen en het filterstation bedraagt circa 1 minuut. De uitgangssignalen zijn naar een datalogger, type Grant gevoerd en hierin opgeslagen. Tevens zijn het zuurstofgehalte in de beluchtingstank, het influentdebiet en de luchttoevoer naar de beluchtingstanks geregistreerd.

¹ Stora-rapport. Handleiding biologische fosfaatverwijdering (91-7)

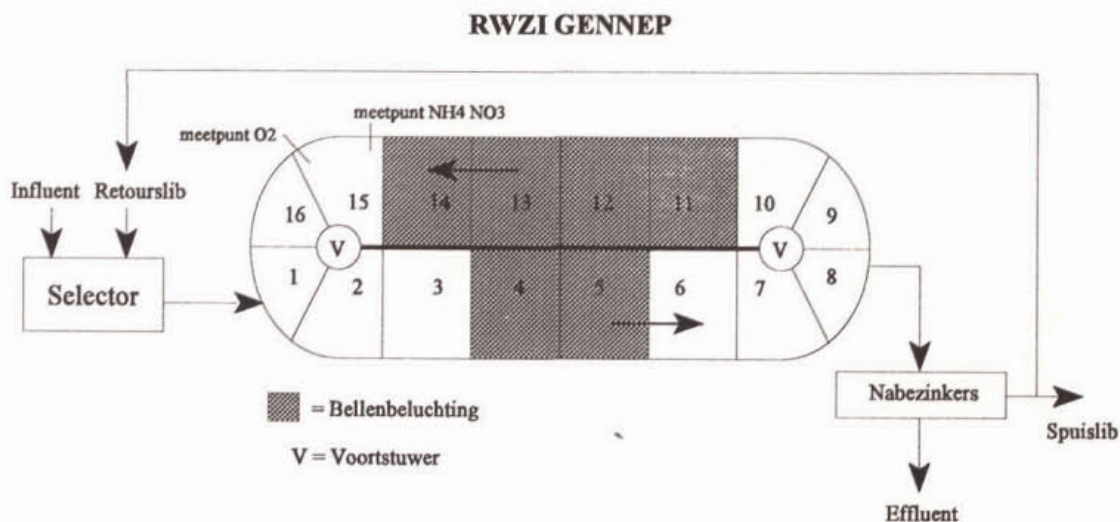
6 Simulatieberekeningen

Rwzi Gennep is door DHV gemodelleerd met het dynamisch simulatieprogramma Simba. De belangrijkste conclusies van dit onderzoek worden kort samengevat.

Model

De rwzi is daartoe opgedeeld in 18 compartimenten (met verschillende volumina) (zie ook figuur 1), te weten:

- selector: 1 compartiment;
- beluchtingscircuit: 16 compartimenten (6 belucht en 10 onbelucht);
- nabezinktank: 1 compartiment (10 lagen model).



Figuur 1: Schematische weergave rwzi Gennep.

Kalibratie

Het simulatiemodel van de rwzi Gennep is gekalibreerd op basis van het influentpatroon in de periode 22-24 september 1995. De temperatuur van het afvalwater bedroeg 21°C. In de volgende tabel is het resultaat van de berekeningen weergegeven. De praktijkwaarde en de gekalibreerde waarden komen goed met elkaar overeen.

Parameter	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	Slibproductie (kg ds/d)
Praktijkwaarde	2,5 (1)	3,0 (1)	2.745
Kalibratiewaarde	2,9 (2)	3,4 (2)	3.090

- 1: gewogen gemiddelde waarde van de meetdagen 22 t/m 24 september 1995;
- 2: de gewogen gemiddelde waarde die in het model in de afloop van het 15^e compartiment wordt gemeten.

Berekening van de optimale instellingen van de regelingen

Met het Simba programma zijn berekeningen uitgevoerd om de optimale instellingen voor de in hoofdstuk 5.1 beschreven regelingen vast te stellen. Hierbij dient een compromis te worden gevonden tussen de gewenste effluentkwaliteit en een rustig schakelpatroon van de compressoren. Er zijn verscheidene simulatieberekeningen uitgevoerd voor een temperatuur van 12,7°C teneinde de optimale instellingen voor de twee regelingen te bepalen. De resultaten van deze berekeningen zijn samengevat in bijlage 6. De hierin vermelde waarden zijn berekend bij een drogestofgehalte van 2,6 g/l in de AT, een CZV van 813 mg/l en Kj-N-gehalte van 55 mg/l die ook voor de kalibratieperiode zijn gebruikt.

Regeling op zuurstof

In bijlage 7 is een voorbeeld van een beluchtingspatroon in periode G weergegeven. De regeling op basis van zuurstof is zodanig geoptimaliseerd dat een rustig schakelpatroon wordt verkregen het ingestelde setpoint (1,5 mg O₂/l) goed kan worden gehandhaafd.

Regeling op stikstof

Bij nadere bestudering van de door het ZL gehanteerde stikstofregeling en de daarbij gebruikte parametersinstellingen en setpoints voor ammonium en nitraat blijkt er een regelmatig terugkerend beluchtingspatroon op te treden. In de bijlagen 8, 9 en 10 (perioden C, D en H) zijn karakteristieke beluchtingspatronen weergegeven: 4 - 6 maal per dag wordt een minimum en een maximum bereikt. De regeling is niet optimaal. Het ammoniumgehalte in het effluent kan niet zodanig worden geregeld dat deze dicht bij het setpoint kan blijven. Bij overschrijding van het setpoint voor ammonium reageert de regeling dusdanig snel dat de luchtinbreng in korte tijd naar maximaal wordt opgevoerd totdat het ammoniumgehalte daalt tot onder het schakelpunt. Regelmatig neemt de regeling op nitraat de regeling op ammonium over. Bij de 'optimale' instellingen berekend met Simba is de ammonium-regelaar zodanig ingesteld dat deze zijn setpoint (4,4 mg N/l) wel goed kan handhaven. In feite is alleen een ammonium-regelaar gesimuleerd. De nitraat-regelaar is uitgeschakeld.

De berekende waarden van de instellingen en de setpoints zijn in de praktijk uitgetest in proefperiodes: J (regeling op zuurstof) en K (regeling op stikstof). Voor de patronen van het ammonium- en nitraatgehalte in de AT en de luchtinbreng wordt verwezen naar bijlagen 11 en 12.

Hieruit blijkt het volgende:

- In periode J was gedurende de eerste twee dagen de N-verwijdering zeer goed. In de daaropvolgende dagen liep het nitraatgehalte sterk op en nam pas op eind van de periode weer af. Deze nitraatpiek kan worden toegeschreven aan de verandering in influentsamenstelling vanaf de derde dag. Een grote industriële lozing werd juist in die periode tijdelijk gestopt waardoor het CZV in het influent aanzienlijk daalde (20 - 50 %). Daarnaast was het slibgehalte in de beluchting aanzienlijk hoger (4,7 g/l) dan het gehalte waarmee de simulatie is uitgevoerd (2,6 g/l). Een afdoende maatregel zou in dat geval verlaging van het zuurstofsetpoint kunnen zijn. Vanwege het onderzoek is deze aanpassing niet uitgevoerd.
- In periode K is geregeld met een $\text{NH}_4\text{-N}$ -setpoint van 4,4 mg N/l. Opgemerkt wordt dat het slibgehalte hoog was : 4,9 g/l. Het gemiddelde ammoniumgehalte in deze periode was 5,4 (één 24-uurs bemonstering) en 6,6 mg $\text{NH}_4\text{-N}$ gemiddeld in de periode K, gemeten in de AT). De regeling zorgt er voor dat het ammoniumgehalte dichtbij het setpoint blijft. Het beluchtingspatroon is ten opzichte van de vorige perioden veranderd. Nu wordt tweemaal op een dag een minimum bereikt.

7 Evaluatie van de resultaten

De vele metingen die tijdens het onderzoek zijn uitgevoerd zijn onder te verdelen in:

- de 24-uurs bemonsteringen van influent, effluent en slib (weergegeven in tabel 4 en bijlage 6);
- de online-metingen in de AT (weergegeven in tabel 4).

Tabel 4. Resultaten 24-uursbemonstering en on-line metingen in de proefperioden

periode	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Influent												
Kj-N (mg/l)	42	43	40	49	46	37	51	49	59	56	58	55
aanvoer (m ³ /d)	13407	11761	12680	12136	12128	16219	12022	10886	9855	10975	10350	11778
aantal waarnemingen	5	22	7	13	5	43	15	8	20	8	1	9
Effluent (24-uursbemonsteringen)												
Kj-N (mg/l)	-	3,3	3,7	4,3	3,6	7,4	4,0	4,4	5,0	3,7	8,0	4,0
NH ₄ -N (mg/l)	1,0	1,1	1,7	1,6	1,7	4,9	1,8	1,8	2,4	1,5	5,4	1,4
standaardafwijking	-	0,7	1,2	0,7	1,9	4,7	1,2	0,7	1,7	1,0	-	0,5
NO ₂ +NO ₃ -N (mg/l)	2,9	6,2	3,7	1,9	6,8	1,6	2,1	1,5	6,8	13,3	0,8	1,8
standaardafwijking	-	2,6	0,6	0,4	3,0	1,6	2,8	1,0	4,7	7,3	-	0,8
temperatuur (°C)	-	23,7	21,0	18,8	17,2	13,7	20,0	20,3	16,3	12,7	17,5	17,9
Effluent (on-line metingen)												
NH ₄ -N (mg/l)	1,5	1,3	2,1	2,1	2,1	3,6	2,5	2,1	2,8	1,5	6,6	2,5
NO ₃ -N (mg/l)	6,2	6,7	5,1	2,9	9,5	2,9	5,6	2,4	7,5	13,0	0,3	1,7

Hierbij zijn in eerste instantie alle meetwaarden, zowel bij DWA als RWA beschouwd en in tweede instantie alleen de meetwaarden bij DWA. Hierbij is een debiet van 15.000 m³/d als grens gehanteerd. Om de twee regelingen te kunnen vergelijken is een statistische toets uitgevoerd zoals beschreven door DHV². Hiervoor is de Student-t-toets gebruikt met een betrouwbaarheid van 95%.

² Stowa, Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk. Statistische interpretatie van meetgegevens. DHV, Amersfoort, juni 1995.

De verkregen resultaten zijn beoordeeld op de volgende aspecten:

- effluentkwaliteit;
- N-verwijderingsrendement;
- beluchtingsregime;
- processtabiliteit;
- SVI;
- biologische P-verwijdering;
- energieverbruik;
- bedrijfsvoeringsaspecten;
- statistische gegevensverwerking.

7.1 Effluentkwaliteit

De effluent-N-gehalten voor de diverse proefperioden zijn grafisch weergegeven in figuur 2. Alle waarden zijn gewogen gemiddelden. In 1993 bedroeg het nitraatgehalte nog gemiddeld 11 mg N/l. In de perioden A en B, waarin het zuurstofsetpoint handmatig is bijgesteld, is reeds een aanzienlijke verbetering bereikt. Het NO_3 -N-gehalte daalde tot gemiddeld 2,9 en 6,2 mg/l. De directe regeling op stikstof vanaf periode C maakte handmatige bijstelling overbodig. Bij een setpointinstelling van 5 mg ammonium-N/l en 5 mg nitraat-N/l (periode C), respectievelijk 3 mg ammonium-N/l en 3 mg nitraat-N/l (periode D) en 2 mg ammonium-N/l en 2 mg nitraat-N/l (perioden F, H en L) bedroeg het nitraatgehalte 3,7 ; 1,9; 1,6; 1,5 en 1,4 mg N/l. Het ammoniumgehalte bij deze instellingen was 1,7; 1,6; 4,9; 1,8 en 1,4 mg N/l.

De regeling op zuurstof is verder geoptimaliseerd door een keuze voor een andere plaats van de zuurstofmeting (perioden G en I). Bij de afloop van de beluchtingstank werd geregeld op een setpoint van circa 0,5 en na de beluchtingspakketten op 1,0-1,2 mg O_2 /l. Gelet op de nauwkeurigheid van de zuurstofmeting heeft de plaats met de hoogste setpointinstelling de voorkeur. Tijdens de diverse proefperioden met zuurstof veranderde de influentsamenstelling als gevolg van verminderde industriële lozing. In bijlage 13 is zo'n situatie (periode G) weergegeven. Op deze afbeelding ziet men het gevolg van een bedrijfsvakantie van de papierfabriek. Bij ongewijzigde setpointsinstelling neemt het nitraatgehalte in het effluent fors toe. Handmatige bijstelling van het setpoint is dan noodzakelijk. In figuur 2 ziet men ook het hoge NO_3 -N- en NH_4 -N-gehalte in de periode J en K die met de berekende instellingen van het simulatieprogramma Simba zijn ontstaan. De volgende oorzaken zijn hiervoor te noemen. In periode J trad er een sterke wijziging op in influentsamenstelling waardoor de samenstelling aanzienlijk afweek in vergelijking met de meetperiode die gebruikt is voor de simulatie en het slibgehalte was aanzienlijk hoger dan die voor de simulatie is gebruikt.

In periode K is er geregeld op een hoog setpoint voor ammonium: 4,4 mg N/l. Deze instelling resulteerde in effluent-N waarden van 5,4 mg ammonium-N/l en 0,8 mg nitraat-N/l. Hierbij moet worden opgemerkt dat in de periode K het effluent slechts één keer bemonsterd is. De on-line metingen in de beluchting kwamen gemiddeld uit op 6,6 NH₄-N/l en 0,3 mg NO₃-N/l.

7.2 N-verwijderingsrendement

Om het verschil in bereikte N-verwijderingspercentages nader te beschouwen zijn deze voor de diverse proefperioden in de figuren 3 en 4 weergegeven. Als eerste figuur is de verwijderde stikstofvracht als functie van de influentvracht weergegeven. Vervolgens is het stikstofverwijderingsrendement als functie van de influentconcentratie weergegeven. De waarden zijn gemiddelden. Uit de figuren blijkt dat met beide regelingen hoge stikstofverwijderingsrendementen haalbaar zijn. Voor de zuurstofregeling is het stikstofverwijderingsrendement gemiddeld 80 % en voor de stikstofregeling is dit rendement circa 84 %. Er is geen duidelijk verschil aan te geven tussen beide regelingen.

7.3 Beluchtingsregime

De regeling op zuurstof heeft als belangrijk voordeel dat er direct gereageerd wordt op voorkomende variaties in de totale momentane zuurstofvraag voor de processen CZV-afbraak, slibmineralisatie en nitrificatie. De installatie Gennep beschikt over een goed regelbaar beluchtingssysteem en kan daardoor het zuurstofgehalte op een constant niveau houden. De optredende variaties in het beluchttingsregime zijn beperkt. In bijlage 7 is een typisch verloop voor deze regeling weergegeven.

Bij overschrijding van het setpoint voor ammonium reageert de regeling dusdanig snel dat de luchtinbreng in korte tijd naar maximaal wordt opgevoerd totdat het ammoniumgehalte daalt tot onder het schakelpunt. Regelmatig neemt de regeling op nitraat de regeling op ammonium over. De regeling op stikstof reageert pas bij een significante verhoging van de ammonium- dan wel het nitraatgehalte in de aëratietank. In die tijd is er echter een aanzienlijke belasting in het systeem opgebouwd. Een concentratieverhoging van 1 mg N/l in het beluchtingscircuit komt overeen met een opbouw van circa 10 kg N, of wel circa 2 % van de dagelijkse N-aanvoer (circa 500 kg N/d). Bij de N-regeling die in de perioden C, D, F, H, K en L is gebruikt, is er sprake van een regelmatig terugkerend intermitterend beluchttingspatroon: 4 - 6 maal per dag wordt een minimum en een maximum bereikt. In bijlagen 8, 9 en 10 zijn enkele representatieve perioden weergegeven. Hieruit valt op te maken dat de beluchting in geval van overschrijding van het setpoint voor ammonium zeer snel wordt bijgesteld. In periode L is met een gewijzigde instelling van de regelaar gewerkt.

De wijziging kwam er in hoofdzaak op neer dat het setpoint voor ammonium werd verhoogd en de regeling plaatsvond op ammonium wat een gelijkmatiger beluchtingspatroon opleverde.

7.4 Processtabiliteit

Zoals reeds hiervoor is aangegeven, reageert de zuurstofregeling sneller dan de stikstofregeling. Bij een langdurige verandering in influentsamenstelling zal bij de zuurstofregeling het setpoint aangepast moeten worden. De regeling op stikstof is minder gevoelig voor veranderingen van de influentsamenstelling. Bij regeling op stikstof is minder toezicht nodig voor wat betreft de effluentkwaliteit.

7.5 SVI

Het verloop van de slibvolume-index in de verschillende proefperioden is weergegeven in bijlage 14. Op de slibvolume-index is door de toepassingen van de regelingen geen nadelige invloed geconstateerd. De SVI varieerde van ca. 50 tot 120 ml/g. Mogelijk is de temperatuur de bepalende factor voor de SVI en niet zozeer de regeling.

7.6 Biologische P-verwijdering

De biologische fosfaatverwijdering bedroeg gemiddeld 72 %. Deze is in dit onderzoek niet geoptimaliseerd. Daartoe zou de regeling uitgebreid moeten worden. In de situatie dat de gehalten aan ammonium en nitraat laag zijn, zal de beluchting gedurende een bepaalde tijd uitgeschakeld moeten worden voor het creëren van anaërobe condities. Als alternatief zou de zuivering ook geregeld kunnen worden met een redoxmeting, een zuurstofminimator of een respiratiemeter.

7.7 Energieverbruik

Het energieverbruik per kg TZV-verwijderd bedroeg in de perioden gemiddeld 0,37-0,45 kWh. Het energieverbruik is in hoofdstuk 7.9 voor de twee regelingen getoetst.

7.8 Bedrijfsvoeringsaspecten

Voor de regeling op stikstof is gebruik gemaakt van een filterstation en een ammonium- en een nitraatanalyser. Deze stonden in een bedrijfsgebouw opgesteld waardoor er regelmatige controle mogelijk was. Het onderhoud aan deze apparatuur is geregeld met een onderhoudscontract. Aanschafkosten per analyser circa 35.000 gld, en het filterstation circa 10.000 gld.

7.9 Statistische gegevensverwerking

Er zijn statistische berekeningen uitgevoerd om het effect van de verschillende regelingen te beoordelen. De meetwaarden van de effluent N-gehalten en het energieverbruik zijn paarsgewijs met elkaar vergeleken en getoetst. Het effluent-N-gehalte is voor de diverse proefperioden onder DWA-omstandigheden ($< 15.000 \text{ m}^3/\text{d}$) vergeleken bij ongeveer gelijke temperatuur. Wordt de toets uitgevoerd aan de hand van de on-line metingen (zie bijlage 15) dan blijkt dat:

- bij regeling op basis van een zuurstofmeting op plaats 2 (na de twee beluchtingspakketten) lagere N-totaalgehalten worden bereikt dan bij een zuurstofmeting op plaats 1 (afloop van de AT) (vergelijking perioden G en B) met name als gevolg van lagere nitraatgehalten;
- de regeling op stikstof met setpoints van $3 \text{ mg NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N/l}$ geeft 'iets' hogere N-waarden dan de regeling met setpoints van $2 \text{ mg NH}_4\text{-N/l}$ en $2 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$ (vergelijking perioden D en L);
- de regeling op stikstof (setpoints 2 mg N/l) levert bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$ geen lagere effluent N-waarden dan de regeling op zuurstof (meting op plaats 2), (vergelijking perioden G en H); bij $15\text{-}17,5 \text{ }^\circ\text{C}$ zijn de N-gehalten bij de N-regeling het laagst (vergelijking periode F en I).

Worden de 24-uurs effluentbemonsteringen als basis (bijlage 16) genomen dan kan alleen de eerste conclusie bevestigd worden.

Het specifieke energieverbruik is vergeleken in de periode die ook beschouwd zijn voor de effluentstikstofgehalten. De resultaten van de statistische berekeningen zijn vermeld in bijlage 17. Hieruit blijkt dat er in de diverse proefperioden geen significant verschil is in energieverbruik bij 95 % betrouwbaarheid.

8 CONCLUSIES

Op basis van de ervaringen op de rwzi Gennep kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

Allereerst dient opgemerkt te worden dat de rwzi Gennep over een goed regelbaar beluchtingsstelsel van voldoende capaciteit beschikt en de beluchtingstank een omloopsysteem is en de belasting van de installatie voor een groot deel uit een industriële lozing bestaat die de CZV/N-verhouding beïnvloedt. Voor stikstof en CZV kan de aërietank beschouwd worden als volledig gemengd, voor zuurstof zijn er duidelijke gradiënten over de tank waarneembaar.

Met de zuurstofregeling zijn een snelle regeling op de totale zuurstofvraag en een goede stikstofverwijdering mogelijk. Wel verdient de plaats van de zuurstofopnemer extra aandacht en dient het zuurstof-setpoint regelmatig bijgesteld te worden. Keuze voor een plaats met een hoog zuurstofgehalte levert lagere nitraatgehalten op. Langdurige variaties in influentsamenstelling geeft bij ongewijzigde instelling van het zuurstofsetpoint zeer hoge nitraatgehalten, (handmatige) aanpassing van het setpoint is noodzakelijk.

De bereikte N-verwijderingsrendementen waren voor beide regelingen gelijk: gemiddeld 80 tot 84 %. De effluentgehalten waren in de perioden met regeling op stikstof 1,4 tot 4,9 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ en 1,4 tot 3,7 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ en in de perioden met regeling op zuurstof 1,5 - 2,4 mg ammonium-N/l en 2,1 - 6,8 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$. Statistische berekeningen geven geen verschillende effluentwaarden voor beide regelingen bij 95 % betrouwbaarheid. De regeling op stikstof komt pas na een significante verhoging van het stikstofgehalte in actie. De regeling reageert dusdanig snel dat de luchtinbreng in korte tijd naar maximaal wordt opgevoerd. In die tijd is er wel een aanzienlijke belasting in het systeem opgebouwd. Bij de gehanteerde instellingen van de regelaar wordt de beluchting in geval van overschrijding van het setpoint van ammonium zeer snel bijgesteld. De directe regeling op stikstof is ongevoelig voor langdurige variaties in influentsamenstelling. De ingestelde setpoints dienen wel haalbaar te zijn. Ook bij deze regeling wordt een goede stikstofverwijdering bereikt. Bij deze regeling is wel extra toezicht en onderhoud aan de filtratie- en meetapparatuur nodig.

Bij de door het ZL ontwikkelde regeling op stikstof wordt geregeld op ammonium en nitraat. Bij keuze van een hoger setpoint van ammonium kan voor rwzi Gennep de nitraatregeling achterwege blijven.

Simulatieberekeningen leverden waarden voor de PID-regelaar op waarmee een gelijkmatiger beluchtingsregime wordt bereikt.

Worden de positieve bevindingen van beide regelingen gecombineerd dan zou er gedacht kunnen worden aan een regeling op basis van zuurstof en nitraat. De beluchting zou geregeld kunnen worden op het signaal van de zuurstofopnemer en bij hoge nitraatgehalten op het signaal van de nitraatmonitor of op basis van de nitraatmeting zou het zuurstof-setpoint kunnen aanpassen (cascade).

Het onderzoek is alleen gericht geweest op stikstofverwijdering. De fosfaatverwijdering is niet geoptimaliseerd. De biologische fosfaatverwijdering zou door toepassing van intermitterende beluchting geoptimaliseerd kunnen worden. Eventueel zou een aanvullende precipitatie op een basis van een ortho-fosfaatmeting gekoppeld kunnen worden. Als alternatief zou de regeling ook uitgevoerd kunnen worden met een redoxmeting, een zuurstofminimator en een respiratiemeter.

De on-line meetapparatuur voor stikstof heeft naar behoren gewerkt. Op basis van de gemeten waarden is handmatig het zuurstofsetpoint regelmatig bijgesteld waardoor de effluent kwaliteit al aanzienlijk werd verbeterd.

Het specifiek energieverbruik en de slibvolume-index voor de diverse proefperioden met regeling op stikstof en zuurstof verschilden niet.

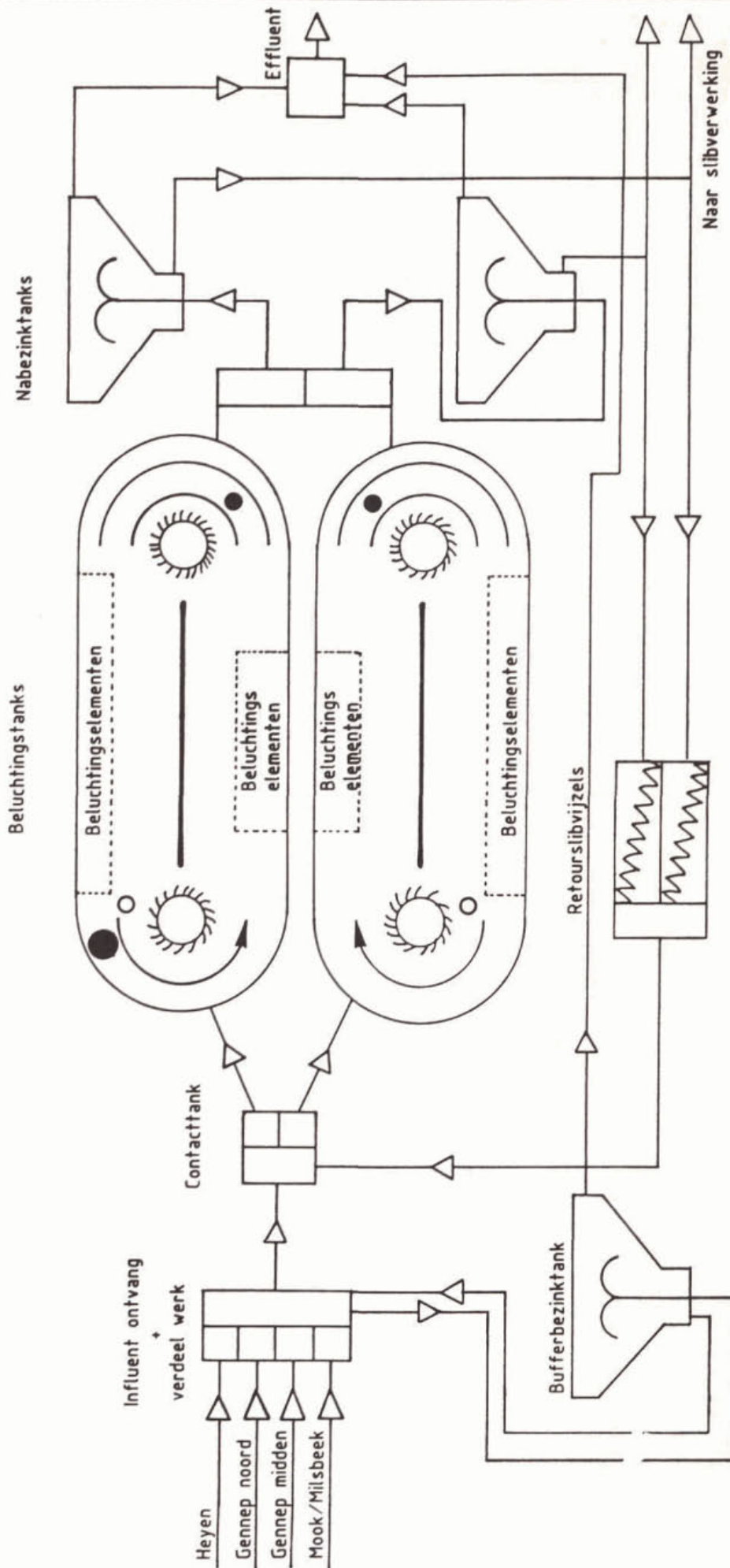


BIJLAGEN

1	Rwzi Gennepe: waterlijn, slijblijn en dimensioneringsgrondslagen	20
2	Principeschema van de O ₂ -regeling rwzi Gennepe	24
3	Principeschema van de regeling op stikstof rwzi Gennepe	25
4	Instellingen van de regelaars	26
5	Gegevens en resultaten van de simulatieberekeningen	29
6	Overzicht van de analyseresultaten in de verschillende proefperioden	32
7	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode G	33
8	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode C	34
9	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode D	35
10	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode H	36
11	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode J	37
12	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode K	38
13	Verloop NH ₄ -N-, NO ₃ -N-, O ₂ -gehalte en het luchtdebiet in de periode L	39
14	Verloop van de Slibvolume-index in de proefperioden	40
15	Statistische vergelijking van de diverse regelingen (on-line metingen)	
	Toetsing van de effluent NH ₄ -N- en NO ₃ -N-gehalten	41
16	Statistische vergelijking van de diverse regelingen (24-uurs bemonsteringen)	
	Toetsing van de effluent NH ₄ - en NO ₃ -N-gehalten	42
17	Statistische vergelijking van de diverse regelingen (24-uurs bemonsteringen)	
	Toetsing van het specifieke energieverbruik	43

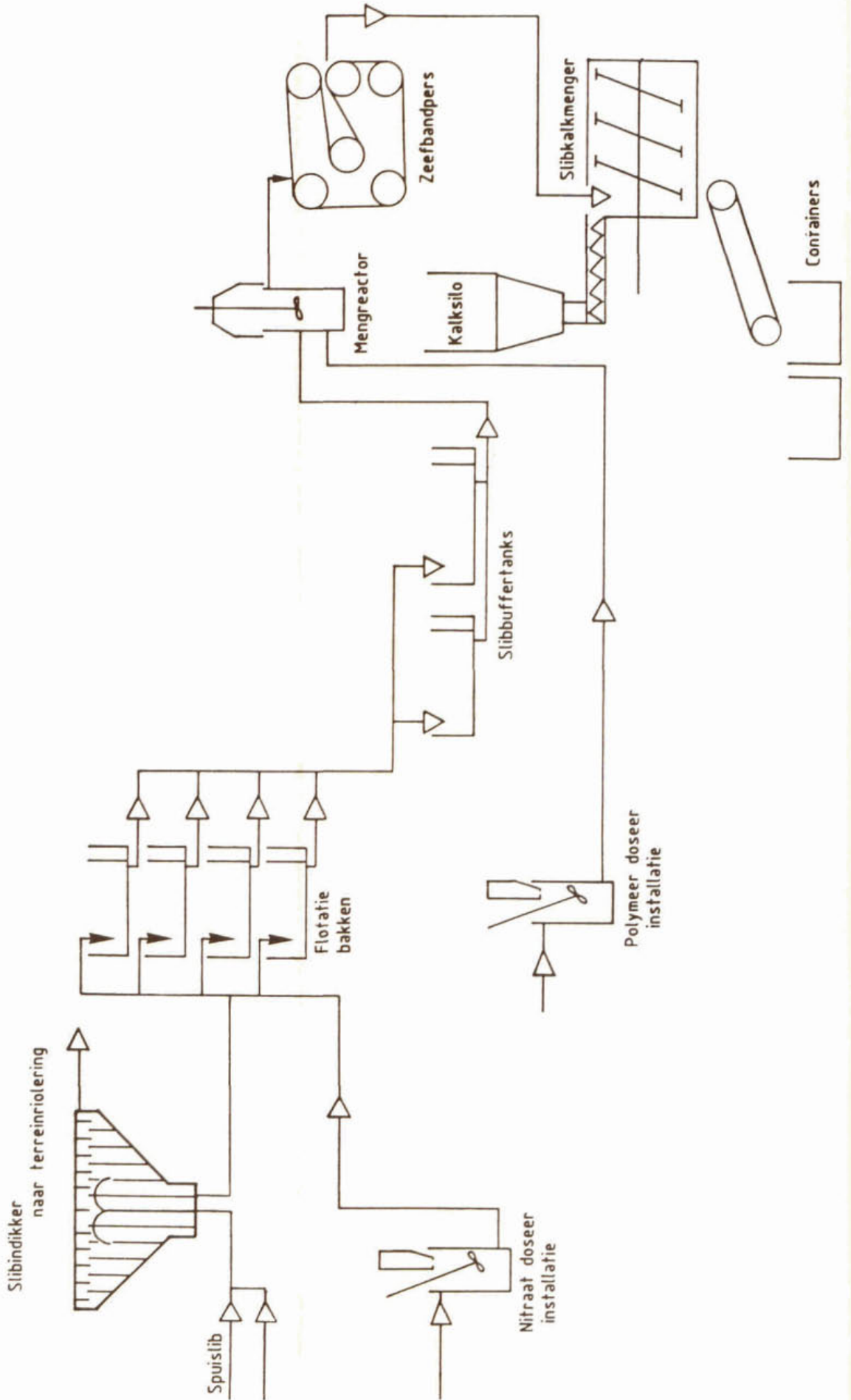
R.W.Z.I. GENNEP WATERLIJN

- : zuurstofmeting plaats 1
- : zuurstofmeting plaats 2
- : monsterpunt voor Online apparatuur



Figuur 1B

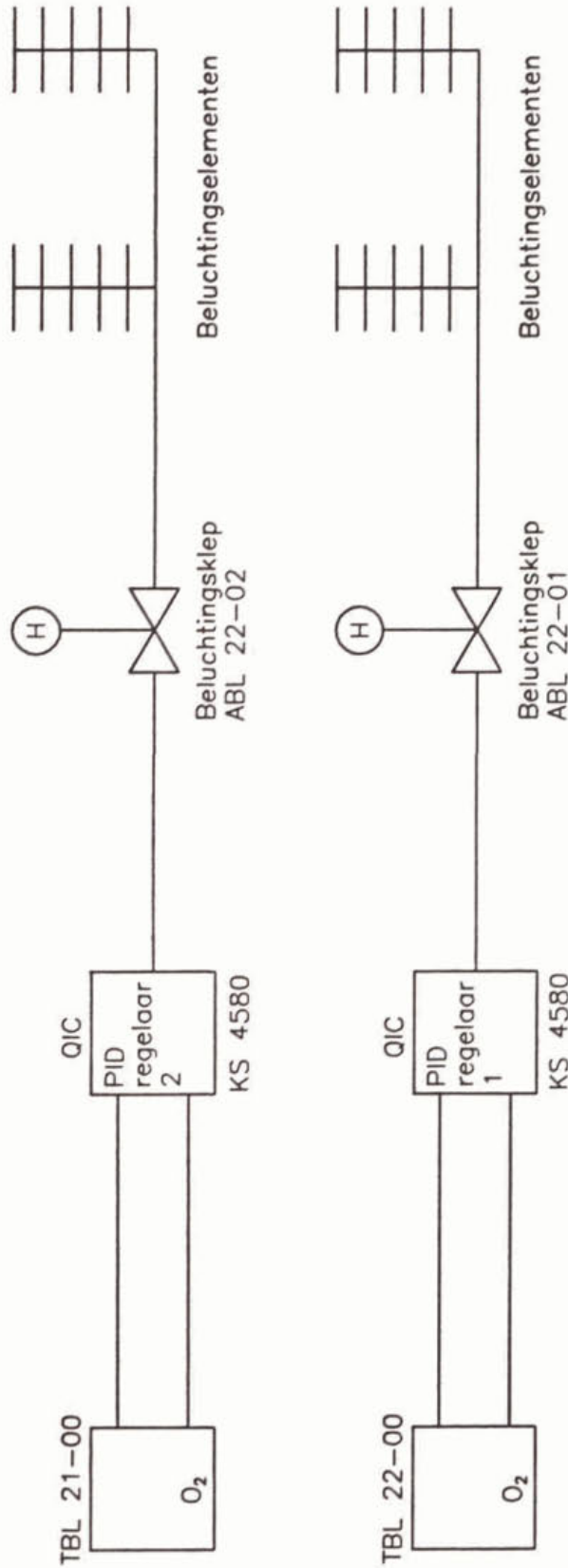
R.W.Z.I. GENNEP SLIBLIJN



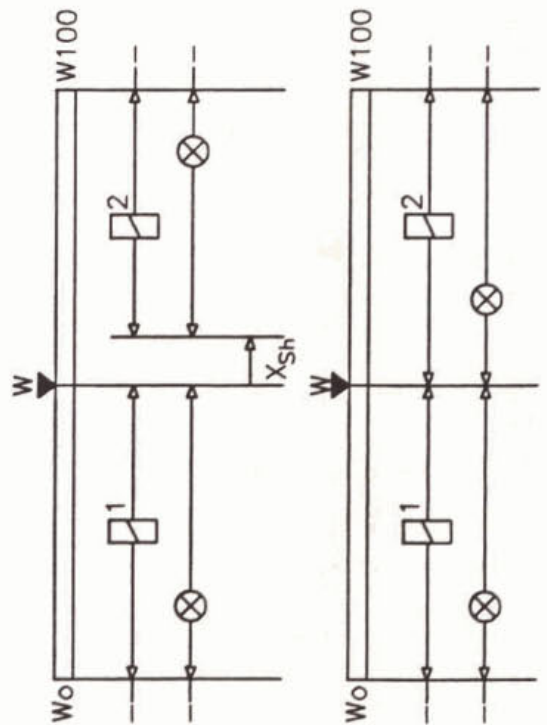
Aanvoer	
belasting	38.000 i.e.
beluchting	58.000 i.e.
DWA	500 m ³ /h
RWA	3.350 m ³ /h
4 persleidingen	
Verdeelwerk	
Maximale aanv. naar biologie	1.250 m ³ /h
Het meerdere naar buffertank tot maximaal	2.100 m ³ /h
zeeftrammel	5 mm
Buffertank	
volume	2.390 m ³
vultijd	1,1 u
Contacttank	
volume	210 m ³
verblijftijd bij DWA	10 min
Beluchtingstanks	
BZV-aanvoer (38.000 i.e.)	2.052 kg/d
slibgehalte	10 4 kg ds/d
slibbelasting	0,05 kg BZV/(kg ds/d)
inhoud beluchting	10.250 m ³
aantal tanks	2
diepte	4,5 m
opp.	2.280 m ²
beenbreedte	9 m
Zuurstofvoorziening	
basis	58.000 i.e.
BZV-aanvoer	3.132 kg BZV/d
N-aanvoer	1.855 kg N/d
OC	365 kg/h
OC/load	2,8
inblaasdiepte	4,3 m

aantal compressoren	2 + 1 reserve
luchtstroom per compressor	1.600 - 3.550 m ³ /h
vloeistofvoortstuwing volgens Ladox-systeem membraanbeluchting	
3 pakketten per tank	
Nabezinking	
aantal tanks	2
maximale oppervlaktebel.	0,71 m/h
inhoud per tank	1.750 m ³
diepte	2 m
slibvolume-index	150 ml/g
Retourslibgemaal	
aantal vijzels	2
cap. per vijzel	310/500 m ³ /h
Slibindikker	
oppervlaktebelasting	30 kg ds(m ² .d)
oppervlakte	63 m ²
diameter	9 m
kantdiepte	3 m
Flotatiebakken	
aantal	4
inhoud totaal	440 m ³
Slibbuffer	
aantal tanks	2
inhoud totaal	1.620 m ³
Slibontwatering	
zeefbandpers	15 m ³ /h

Principeschema O₂ -regeling RWZI Gennep.



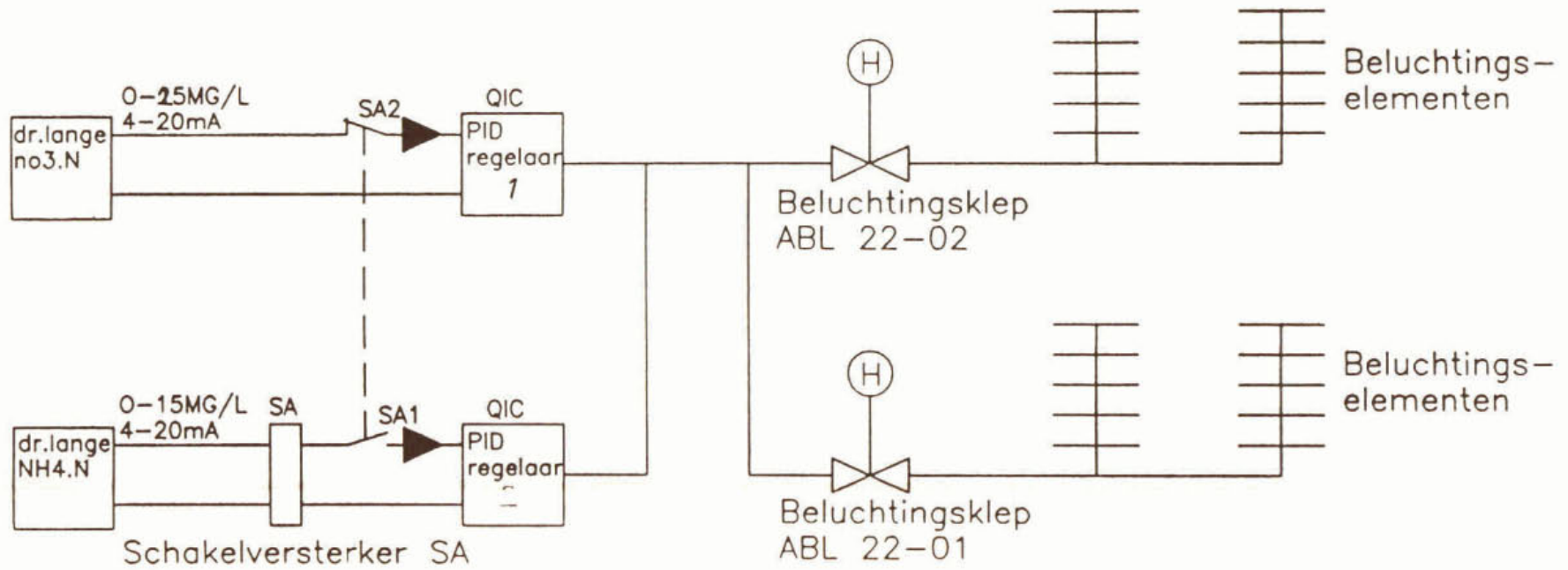
Principe werking regelaar QIC



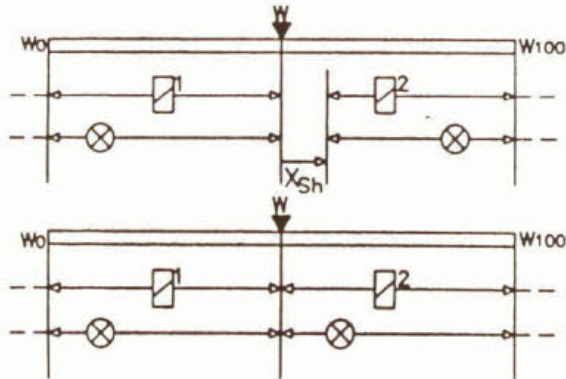
$X_{Sh} = 0,2 \dots 20\%$
 $X_{p1} = 0,1 \dots 400\%$
 $X_{p2} = 0,1 \dots 400\%$
 $T_v = 0 \dots 1200s$
 $T_n = 0 \dots 3600s$

Three-point controller
 PD/PD: $T_n \ 0000 \leq \infty$
 heating
 cooling
 DPID/dpid:
 X_{Sh} omitted
 (adjustment of cycle times
 T_1, T_2 see Table 2)

Principe schema regeling RWZI Gennep.



Principe werking regelaar QIC



$X_{Sh} = 0,2 \dots 20\%$
 $X_{p1} = 0,1 \dots 400\%$
 $X_{p2} = 0,1 \dots 400\%$
 $T_v = 0 \dots 1200s$
 $T_n = 0 \dots 3600s$

Three-point controller
 PD/PD: $T_n = 0000 \approx \infty$
 heating
 cooling
 DPID/dpid:
 X_{Sh} omitted
 (adjustment of cycle times
 T_1, T_2 see Table 2)

Instellingen van de regelaars

Periode instellingen regelaars

C Instellingen per 05-09-1994

NO₃ - NH₄ - regeling:

setpoint NO₃ = 5 mg N/l;

setpoint NH₄ = 5 mg N/l.

Overname van NH₄ - regeling naar NO₃ bij NH₄ < 3,5 mg/l.

Instellingen NO₃ - regelaar

W = 5 mg N/l;

Xp₁ = 50 %;

Xp₂ = 50 %;

Tn = ∞ s;

Tv = 60 s;

X_{SH} = 1%;

Schaalbereik 0 - 25 mg N/l.

NH₄ - regelaar

W = 5 mg N/l;

Xp₁ = 100 %;

Xp₂ = 75 %;

Tn = ∞ s;

Tv = 60 s;

X_{SH} = 1%;

Schaalbereik 0 - 8 mg N/l.

D Instellingen per 27-10-1994

Setpoints (w) NO₃ - NH₄ terug van 5 mg/l → 3 mg/l.

Schaalbereiken: 0 - 8 mg/l.

E Instellingen 15-11-1994

NO₃ vervangen door zuurstofmeting tank 2.

Nieuwe instellingen regelaar 1 (NO₃ wordt O₂);

Setpoint W = 0,5 mg O₂/l;

Xp₁ = 100 %;

Xp₂ = 75 %;

Tn = ∞ s;

Tv = 60;

X_{SH} = 1 %.

Schaalbereik 0 - 10 mg O₂/l;

F Instellingen per 6-12-1994

Terug van O₂ - regeling naar NO₃ - NH₄ - regeling.

Setpoint NO₃ = 2 mg N/l;

W = 2,0 mg N/l;

Xp₁ = 200 %;

Xp₂ = 175 %;

Tn = ∞ s;

Tv = 60 s;

X_{SH} = 1 % naar 3 %

Schaalbereik 0 - 25 mg N/l.

NH₄ - regelaar

W = 2 mg N/l;

Xp₁ = 100 %;

Xp₂ = 75 %;

Tn = ∞ s;

Tv = 60 s;

X_{SH} = 1%;

Schaalbereik 0 - 8 mg N/l.

G Instellingen per 31-5-1995

Regeling terug op zuurstof (gemeten in tank 2) regelaar 1.

W = 1,2 mg O₂/l;

Xp₁ = 200 %;

Xp₂ = 175 %;

Tn = ∞ s;

Tv = 60 s;

$X_{SH} = 3 \%$
Schaal 0 - 10 mg O₂/l.

- H Instellingen per 29-8-1995
Regeling op NO₃ - NH₄ sturing.
Setpoints idem, 6-12-1994 (periode F) evenals parameterinstellingen.
- I Instellingen per 11-10-1995
Regeling terug op O₂ (gemeten in tank 2).
Setpoint = 1,2 mg O₂/l.
Instellingen regelaars idem 31-5-1995.
- Instellingen per 22-11-1995
Setpoint van 1,2 mg O₂/l naar 1 mg O₂/l.
- Instellingen per 20-12-1995
Setpoint van 1 mg O₂/l naar 0,8 mg O₂/l.
- J Instellingen per 25-3-1996
Instellingen volgens advies DHV, berekend met conform Simba-model regeling op O₂
Instellingen regelaar 1
W = 1,5 mg O₂/l;
Xp₁ = 150 %;
Xp₂ = 150 %;
Tn = ∞ s;
Tv = 300 s;
X_{SH} = 0,2 %;
Schaalbereik 0 - 10 mg O₂/l.
- K Instellingen per 16-4-1996 Sturing op NH₄
Setpoint instellingen volgens advies DHV berekend met Simba.
Setpoint NH₄ = 4,4 mg N/l (regelaar 2).
Geadviseerd: Xp₁ = 50 % behorend bij signaal
Xp₂ = 50 % 0 - 15 mg NH₄ - N/l
- De schaalverdeling van NH₄ meetapparatuur loopt echter van 0 - 8 mg NH₄ - N/l zodat Xp₁ en Xp₂ ingesteld dient te worden als:
→ Xp₁ = 8/15 x 50 = 26,7 %;
Xp₂ = 8/15 x 50 = 26,7 %.
- Na instelling bleek dat de zuurstofkleppen te snel sloten, waardoor de druk in de hoofdleiding te hoog opliep.
Er is besloten om Xp₁ en Xp₂ op 46 % in te stellen
Instellingen regelaar 2 (NH₄) sturing
W = 4,4 mg N/l;
Xp₁ = 46 %;
Xp₂ = 46 %; O₂ sturing op regelaar 1 geblokkeerd.
Tn = ∞ s;
Tv = 1200 s;
meetbereik = 0 - 8 mg N/l;
X_{SH} = 0,2 %.
- L Instellingen per 6-5-1996 regeling terug naar NO₃ (NH₄)
Instellingen regelaar 1 (NO₃)
W = 2 mg NO₃ N/l

$X_{p1} = 100 \%$;
 $X_{p2} = 75 \%$;
 $T_n = \infty \text{ s}$;
 $T_v = 60 \text{ s}$;
 $X_{SH} = 1 \%$;
Schaalbereik = 0 - 25 mg NO_3 - N/l

Instellingen NH_4 (regelaar 2)

$W = 2 \text{ mg NH}_4$ - N/l;
 $X_{p1} = 100 \%$;
 $X_{p2} = 75 \%$;
 $T_n = 0$;
 $T_v = 60 \text{ s}$.
 $X_{GH} = 1\%$
 $T1 = 10 \text{ sec}$
Schaalbereik = 0 - 8 mg NH_4 - N/l
Overname door NH_4 - regelaar bij 2 mg NH_4 - N/l en teruggaan naar NO_3 - regelaar bij 1 mg NH_4 - N/l.
Overname NO_3 - regelaar bij 1,5 mg NH_4 - N/l.

datum		rwzi Gennep				
		23-09-95	24-09-95	25-09-95	26-09-95	3-10-95
Influent m³/d		9500	11400	9700	8700	9190
CZV totaal	mg O ₂ /l	789	837	833	903	716
CZV na 1h bezink	mg O ₂ /l	513	565	584	672	551
CZV bezinkbaar	mg O ₂ /l	276	272	249	231	165
CZV opgelost	mg O ₂ /l	346	422	459	229	414
CZV colloidaal	mg O ₂ /l	167	143	125	443	137
Nkj totaal	mg N/l	53	57	60	56	49
Nkj na 1h bezink	mg N/l	47	50	49	52	44
Nkj bezinkbaar	mg N/l	6	7	11	4	5
Nkj opgelost	mg N/l	44	47	48	50	42
Nkj colloidaal	mg N/l	3	3	1	2	2
BICA	mg HCO ₃ /l	356	409	419	464	349
alka	mmol/l	6.13	6.93	7.08	7.63	6.01
acid	mmol/l	1.06	0.76	1.01	0.91	0.91
NH ₄ N	mg N/l	38	39	39	39	29
NO ₂ 3N	mg N/l	0	0	0	0.6	0
SS	mg/l	236	292	296	264	208
Effluent		8800	10500	8800	8700	9120
CZV totaal	mg O ₂ /l	50	55	52	59	54
Kj1	mg N/l	4.7	5.6	4.2	5	5.2
NH ₄ N	mg N/l	2.3	2.4	1.4	2	2.2
NO ₂ 3N	mg N/l	4	1.7	1	0.6	1
BICA	mg HCO ₃ /l	177	202	226	256	175
alka	mmol/l	2.77	3.34	3.54	4.26	2.52
acid	mmol/l	0.68	0.53	0.68	0.33	0.79
SS	mg/l	10	12	10	7	-
actiefslib						
DS-gehalte	g/l	2.58	2.7	2.61		
gloeirest	% ds	28	29	27		
temperatuur	gr.C.	21.0	21.0	21.0	21.0	20
slibproductie	kg ds/d		4751	1783		2447

RESULTATEN DYNAMISCHE SIMULATIE

Door verscheidene simulatieberekeningen uit te voeren, zijn de "optimale" instellingen voor de bovenbeschreven regelingen bepaald. Bij deze instellingen kan het setpoint goed worden gehandhaafd bij een rustige aansturing van de regelklep.

De simulatie is uitgevoerd bij een temperatuur van 12,7 °C (het gemiddelde van maart 1995).

De volgende instellingen zijn bepaald:

NH_4/NO_3 -regelaar:

Regelaar 1:

-	setpoint NH_4	=	4,4	mg/l
-	X_{p1}	=	50	%
-	X_{p2}	=	50	%
-	T_i (integratielijd)	=	∞	min.
-	T_d (differentiatelijd)	=	20	min.
-	X_{sh} =	0	%	
-	Bereik meting (range)	=	0 - 15 (0 - 100 %)	mg NH_4 /l

Regelaar 2: (komt niet in actie: zie hoofdstuk 5)

-	setpoint NO_3	=	-	mg/l
-	X_{p1}	=	-	%
-	X_{p2}	=	-	%
-	T_i (integratielijd)	=	-	min.
-	T_d (differentiatelijd)	=	-	min.
-	X_{sh} =	-	%	
-	Bereik meting (range)	=	0 - 25 (0 - 100 %)	mg NO_3 /l

O_2 -regelaar:

-	setpoint O_2	=	1,5	mg/l
-	X_{p1}	=	- 15	%
-	X_{p2}	=	- 15	%
-	T_i (integratielijd)	=	∞	min.
-	T_d (differentiatelijd)	=	5	min.
-	X_{sh} =	0	%	

N.B.

Bij de gegeven opstellingen van het setpoint van zowel de NH₄/NO₃-regelaar als de O₂-regelaar dient te worden opgemerkt dat dit setpoint afhankelijk is van de temperatuur en de exacte locatie van de opnemer in de praktijk. Een afwijking van de temperatuur of andere locatie van de opnemer in vergelijking met het gesimuleerde model zal leiden tot een gewijzigde instelling van het setpoint. Hierbij is het setpoint van de NH₄-regelaar minder gevoelig voor de exacte locatie van de opnemer omdat een omloopsysteem voor ammonium en nitraat als een compleet gemengd systeem kan worden beschouwd. Daarentegen heeft een afwijking van de temperatuur een grote(re) invloed op de instellingen van beide setpoints en vooral op de grootte van het zuurstofsetpoint. Immers indien het zuurstofsetpoint bij een hogere temperatuur wordt gehandhaafd, wordt onnodig veel belucht waardoor de nitraatconcentratie sterk zal toenemen.

De instellingen van de P- en D-constanten zijn van invloed op het gedrag van de regelaar en daardoor (vrijwel) onafhankelijk van de temperatuur.

Met de genoemde instellingen van beide regelaars zijn de volgende debietsgewogen gemiddelde concentraties behaald (bij 12,7 °C):

NH₄/NO₃-regelaar:

NH₄: 4,6 mg/l

NO₃: 10,3 mg/l

NH₄/NO₃-regelaar:

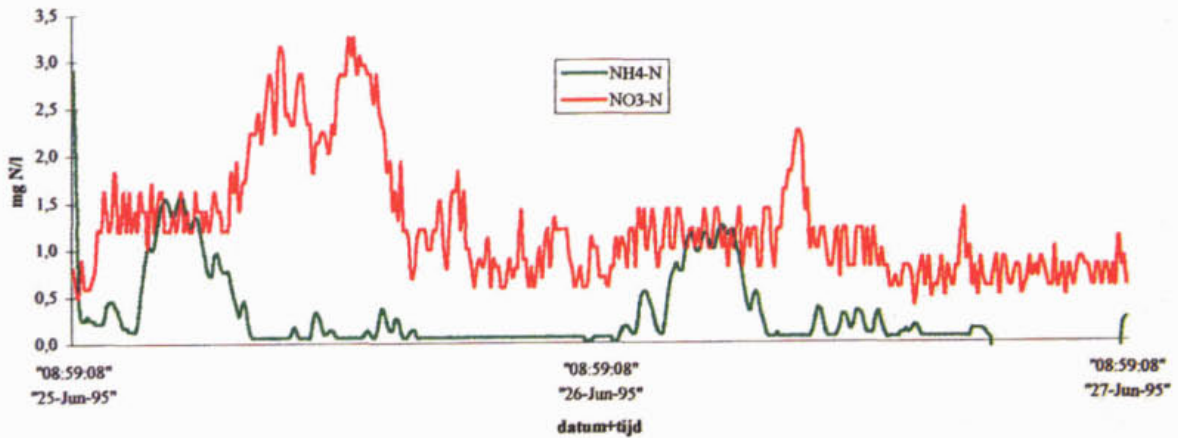
NH₄: 4,3 mg/l

NO₃: 11,4 mg/l

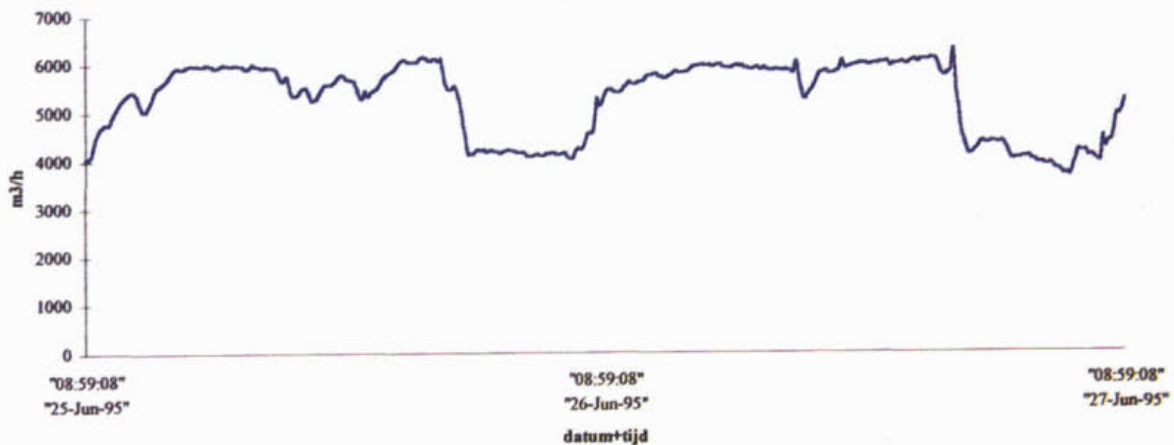
Bijlage 6
 Overzicht van de analyseresultaten in de verschillende proefperiodes

G E N E P		R U W I N F L U E N T		A C T I E F - S L I B		E F F L U E N T		R E N D E M E N T E N	
gem.	periode L	gem.	periode A	gem.	periode B	gem.	periode C	gem.	periode D
070596	170496	070494	060994	070494	060994	151194	161194	280994	161194
120696	060596	050894	270994	270994	050994	N=3 mg/l	N=5 mg/l	N=3 mg/l	N=5 mg/l
	N-regeling	ref.per setp=0,5	ref.per setp=0,5	ref.per setp=0,5	ref.per setp=0,5	ref.per setp=0,5	ref.per setp=0,5	ref.per setp=0,5	ref.per setp=0,5
	N=2 mg/l	O2 plaats 1	O2 plaats 1	O2 plaats 1	O2 plaats 1	O2 plaats 1	O2 plaats 1	O2 plaats 1	O2 plaats 1
	n=9	n=5	n=7	n=13	n=5	n=15	n=8	n=20	n=8
	10350	11761	12680	12136	16219	12022	10886	10975	9855
	11778	767	744	775	821	800	765	831,2	785
	768	255	280	249	288	223	255	361	278
	292	42	43	49	46	51	49	59	56
	55	38	23	30	26	33	36	36	38
	30	0	0	0	0	0	0	0	0
	55	43	40	49	46	51	49	58,9	56
	55	42	43	40	46	51	49	58,9	56
	4,07	4,07	2,65	2,73	3,44	4,35	4,70	4,32	4,70
	9,59	6,50	7,30	6,13	7,79	8,84	7,50	9,86	9,64
	295	286	338	424	446	323	259	236	277,6
	6,3	6,1	6,6	5,0	5,7	6,1	6,9	6,1	5,3
	34,9	39,2	38,4	32,7	33,6	30,9	39,2	39,2	31,7
	3,3	3,9	3,7	2,9	3,4	4,4	2,6	3,1	3,9
	28,0	32,3	37,8	27,6	27,6	29,5	30,3	23,0	22,7
	6,2	1,8	1,9	1,7	7,6	6,6	6,2	7,1	6,8
	2,2	108	101	111	111	111	1,7	1,8	1,8
	105	73	53	101	124	103	90	100	103
	95	53	53	103	121	78	90	95	95
	100	74	74	102	102	74	90	98	99
	4524	4844	4920	4766	5424	4336	4505	4572	4825
	720	720	720	720	720	720	720	720	720
	17,9	23,7	21,0	18,8	17,2	13,7	20,0	16,3	12,7
	0,106	0,098	0,082	0,064	0,090	0,079	0,133	0,074	0,074
	0,209	0,315	0,227	0,246	0,293	0,219	0,348	0,276	0,162
	24	18	22	21	18	24	27	26	24
	-	-	12,6	11,1	13,3	12,0	8,9	10,6	12,5
	-	-	13407	12403	12242	10629	9278	9385	10338
	10867	13407	11549	12403	12242	10629	9278	9385	10338
	4,1	3,1	3,9	3,9	4,0	3,5	2,6	3,7	3,3
	48,3	46,5	44,3	41,8	52,6	50,4	64,6	55,5	55,0
	4,0	3,3	3,7	4,3	3,6	4,0	4,4	3,7	3,7
	1,4	1,0	1,1	1,7	1,7	1,8	1,8	1,5	1,5
	1,8	2,9	6,2	3,7	6,8	2,1	1,5	13,3	13,3
	5,9	5,8	1,9	7,4	10,3	6,1	5,9	11,8	17,0
	3,4	1,9	1,7	2,4	2,3	1,4	2,6	4,2	3,2
	3,6	2,2	1,9	1,6	2,7	1,7	2,1	4,3	3,3
	7,0	-	6,9	6,7	6,0	4,3	7,1	10,6	8,0
	93,6	-	93,9	90,9	94,8	90,1	93,3	92,1	94,4
	98,6	-	98,9	97,0	98,4	96,5	98,7	98,3	97,7
	61,4	-	66,0	72,9	69,2	80,5	72,5	56,4	64,9
	89,0	86,0	77,5	81,2	87,9	74,3	88,0	88,0	84,8

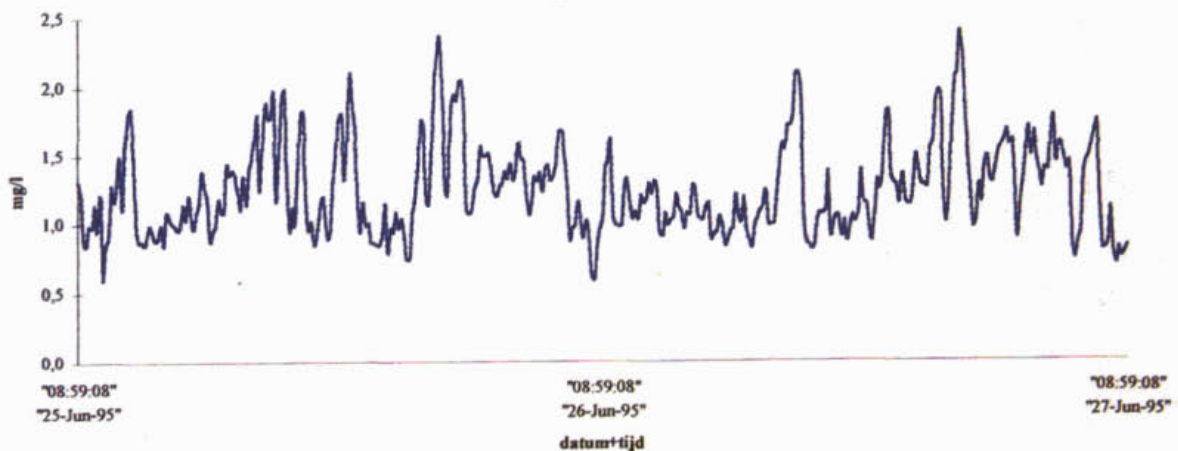
Verloop NH₄-N- en NO₃-N-gehalte in AT1 rwzi Gennep
periode G

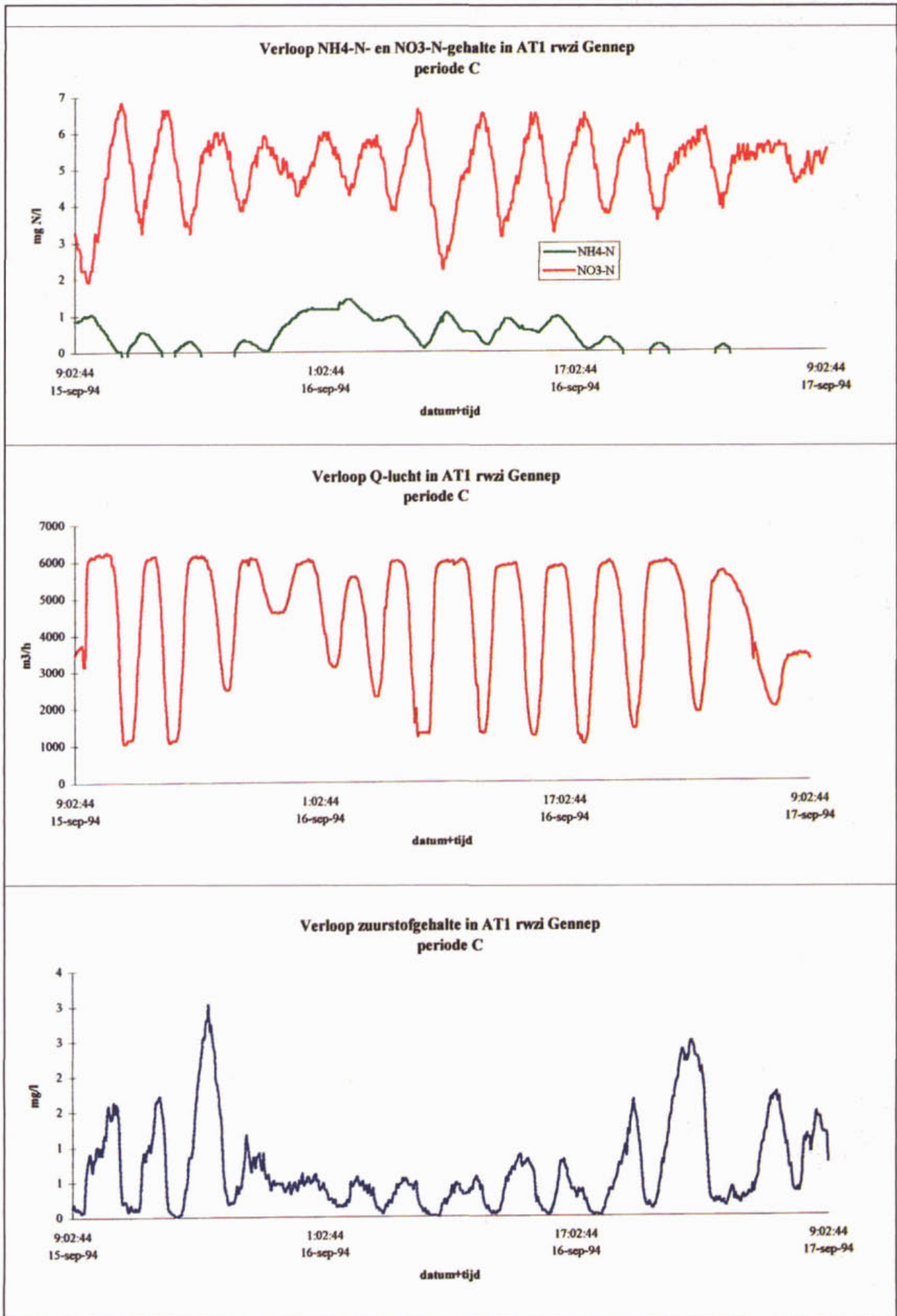


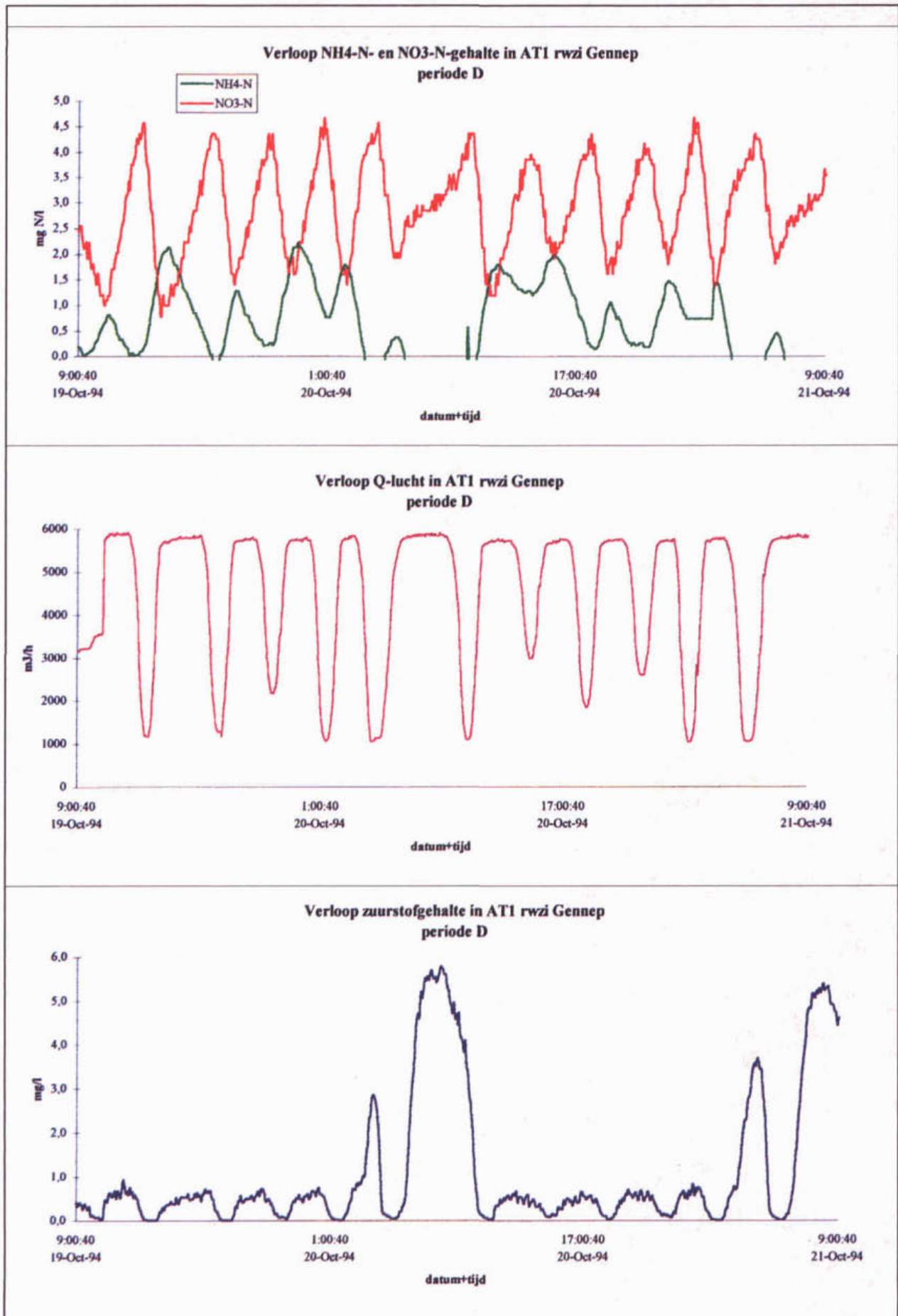
Verloop Q-lucht in AT1 rwzi Gennep
periode G

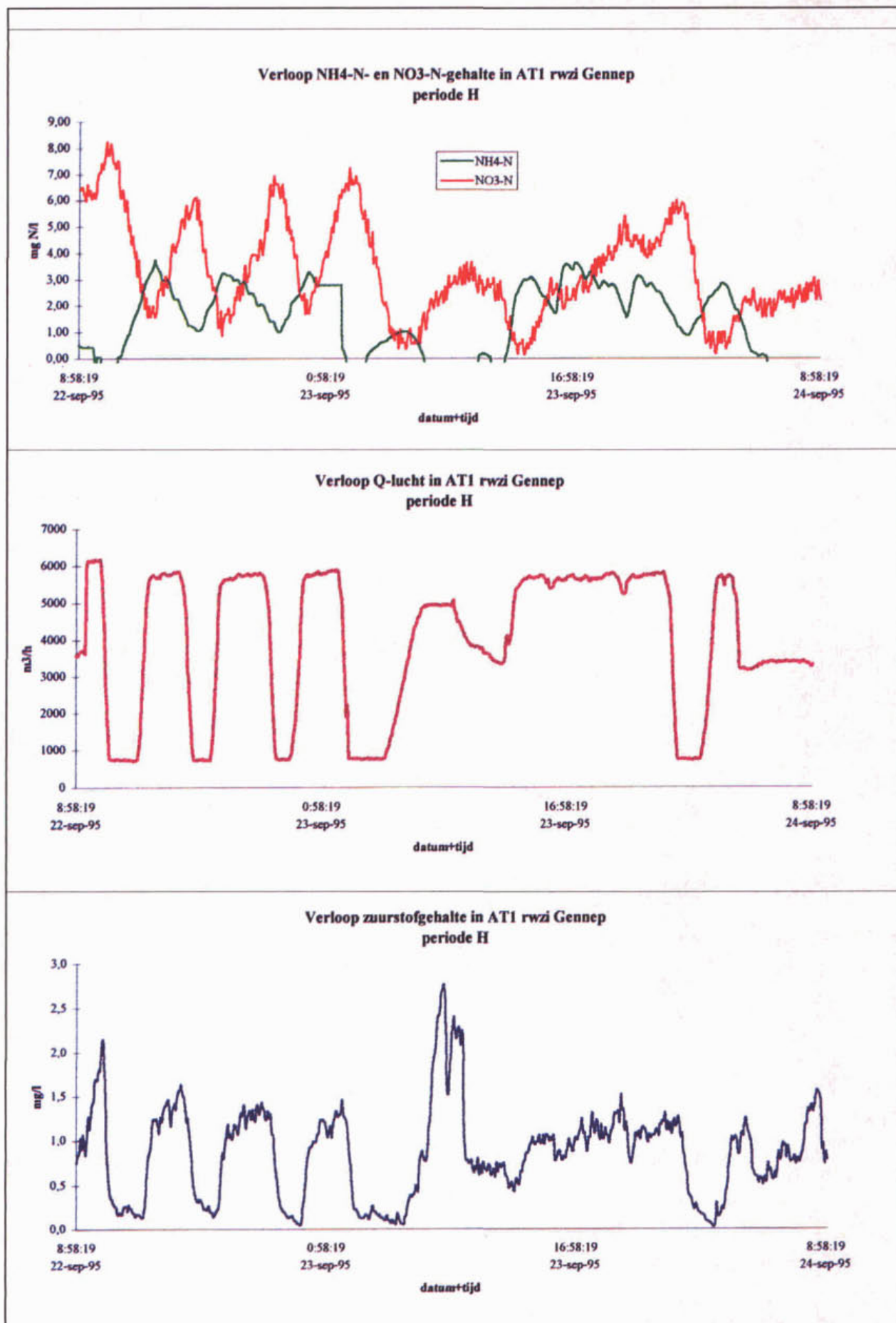


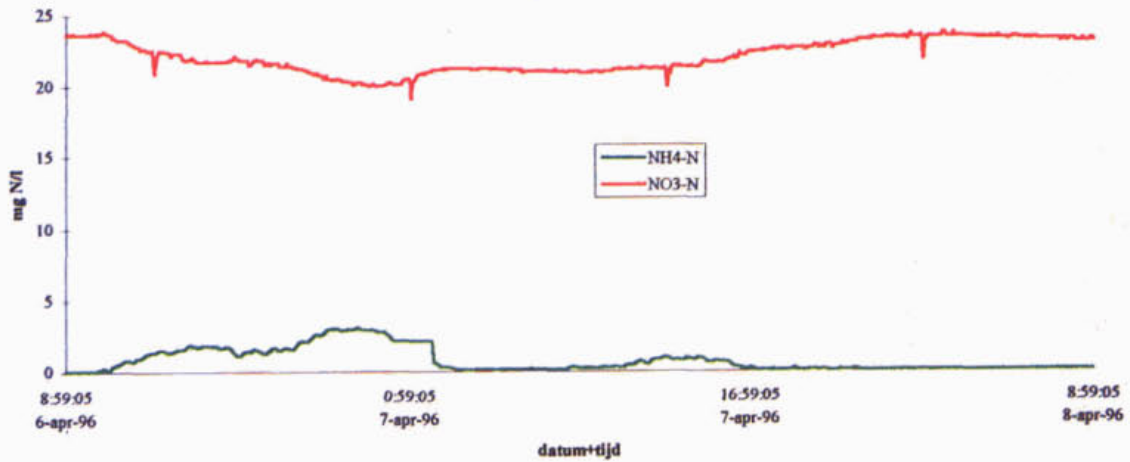
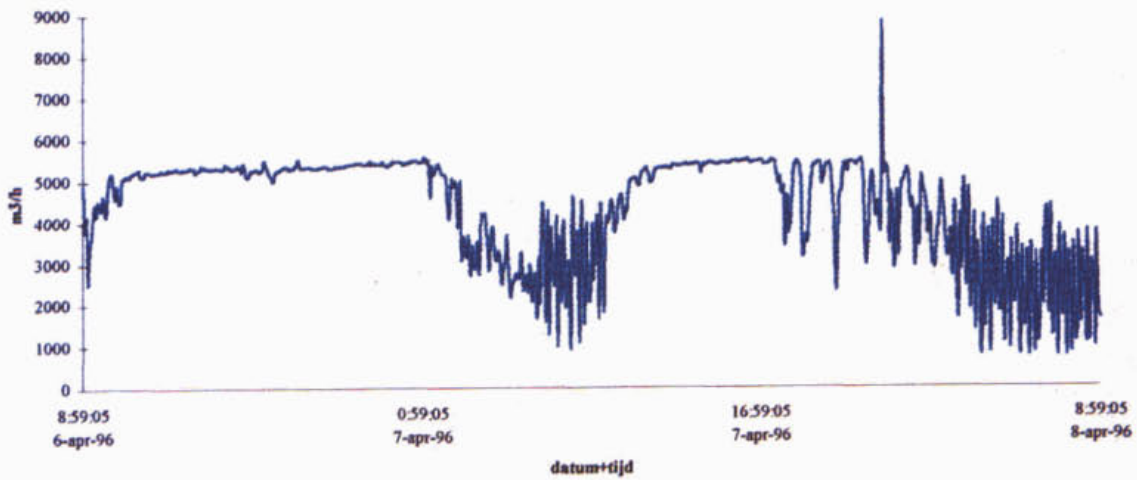
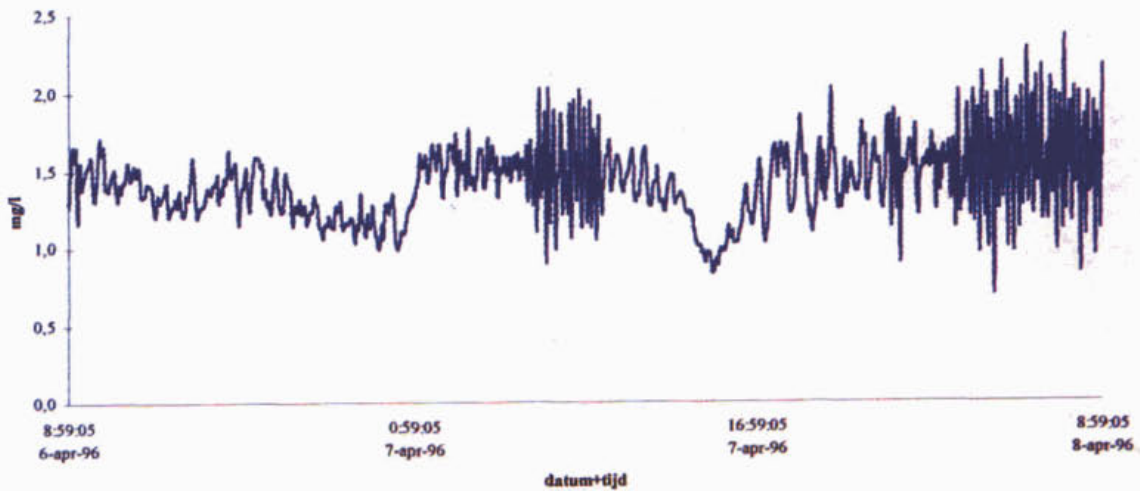
Verloop zuurstofgehalte in AT1 rwzi Gennep
periode G



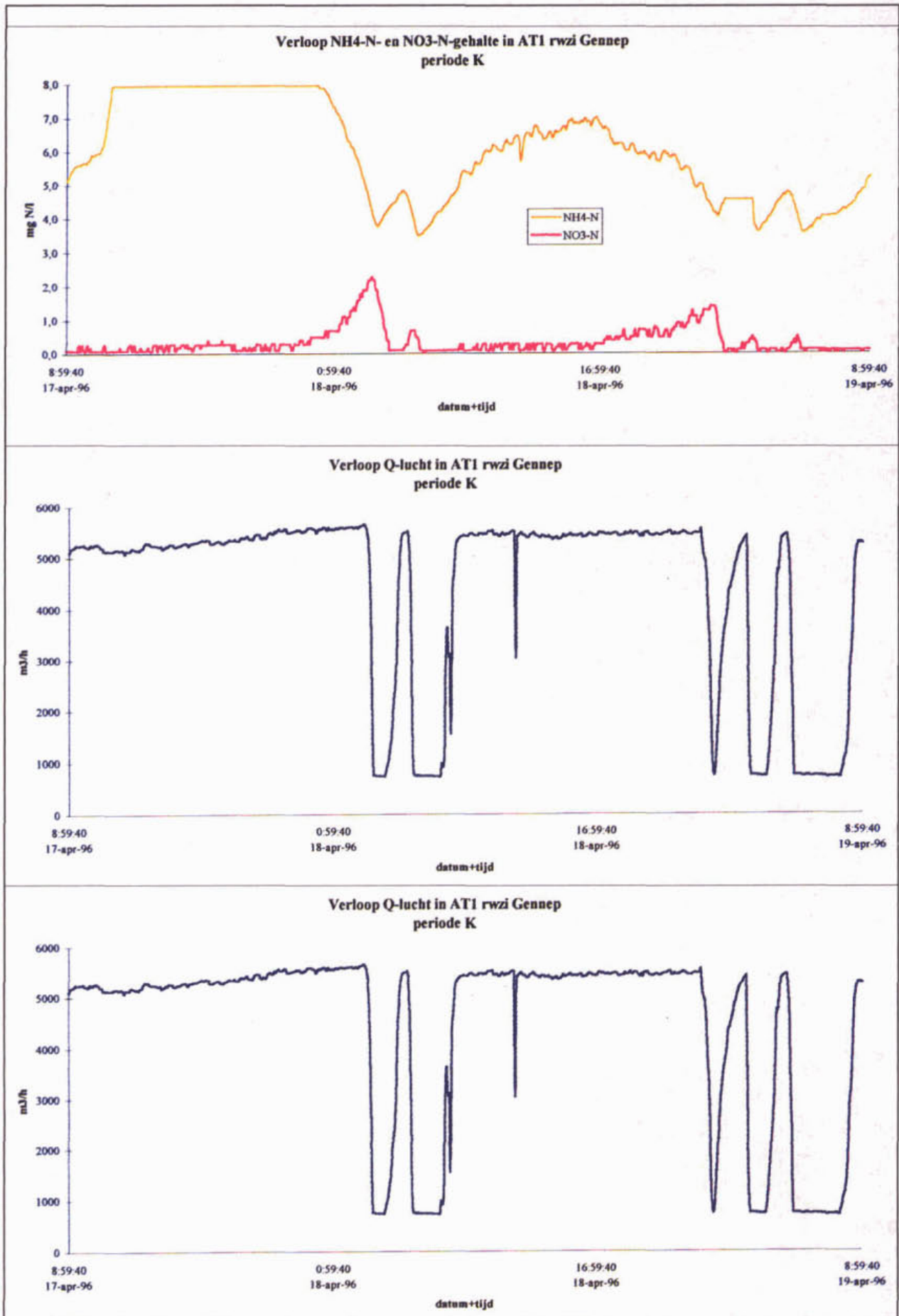
Verloop NH₄-N, NO₃-N, O₂-gehalte en het luchtdebiet in de periode C (regeling op stikstof, N=5)

Verloop NH₄-N, NO₃-N, O₂-gehalte en het luchtdebiet in de periode D (regeling op stikstof, N=3)

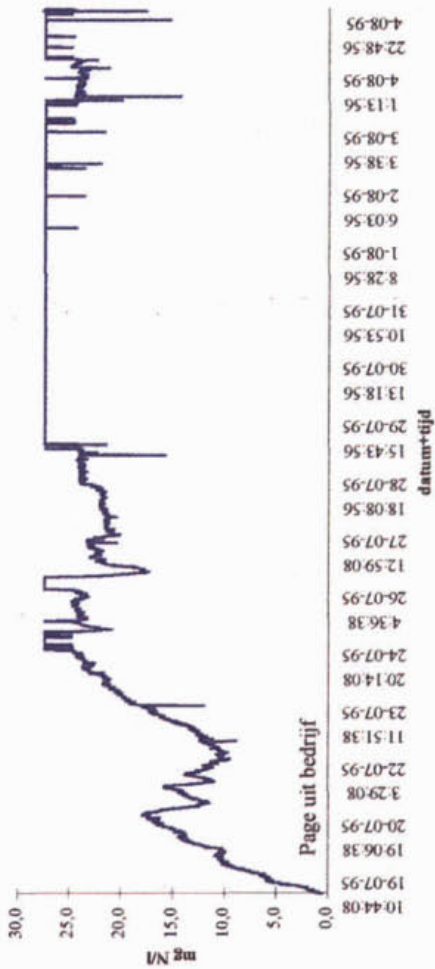


Verloop NH₄-N, NO₃-N, O₂-gehalte en het luchtdebiet in de periode J (regeling op O₂, instelling volgens Simba)Verloop NH₄-N- en NO₃-N-gehalte in ATI
periode JVerloop Q-lucht in ATI rwzi Gennep
periode JVerloop zuurstofgehalte in ATI rwzi Gennep
periode J

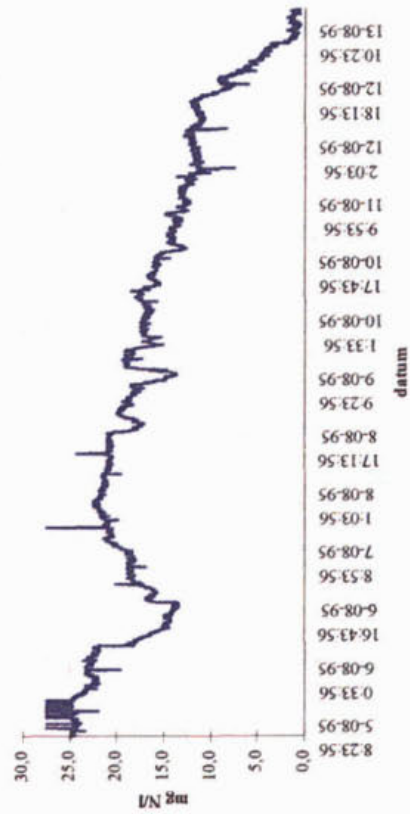
Bijlage 12
Verloop NH₄-N, NO₃-N, O₂-gehalte en het luchtdebiet in de periode K
(regeling op N, instelling volgens Simba)



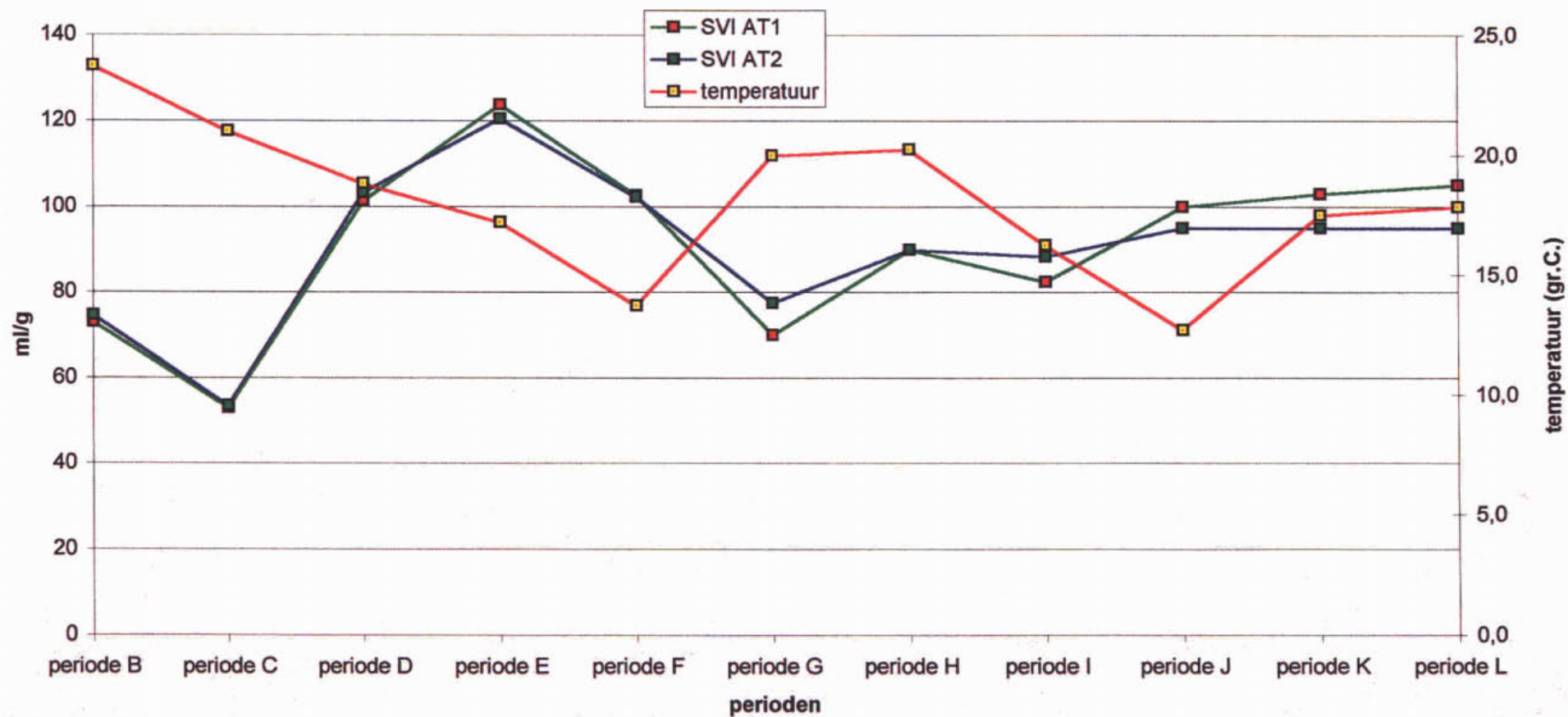
Verloop NO₃-N-gehalte ATI rwzi Gennep



Verloop NO₃-N-gehalte ATI rwzi Gennep



Verloop gemiddelde SVI in de verschillende onderzoeksperioden rwzi Gennep



Bijlage 15. Statistische vergelijking van de diverse regelingen (on-line metingen).
Toetsing van de effluent NH₄-N- en NO₃-N-gehalten.

STATISTISCHE VERGELIJKING VAN DE DIVERSE REGELINGEN							
Basis: on-line metingen in de AT-aanvoer < 15.000 m ³ /d		NH ₄ -N		NO ₃ -N		NH ₄ -N + NO ₃ -N	
B t.o.v. G	Aantal waarnemingen	B	G	B	G	B	G
	gemiddelde	23	55	23	55	23	55
	standaardafwijking	1,04	2,14	7,03	2,21	7,74	4,35
		1,09	2,06	4,79	1,82	5,01	2,47
(O ₂ , plaats 1, 23,7 °C) t.o.v. (Q ₂ , plaats 2, 20 °C)	d	- 1,10		4,82			
	95 % betrouwbaarheidsinterval	<- 2,01, - 0,19>		<3,33, 6,31>			
G t.o.v. H	Aantal waarnemingen	G	H	G	H	G	H
	gemiddelde	55	33	55	33	55	33
(O ₂ , plaats 2, 23,7 °C) t.o.v. (Q ₂ , N = 2, 20 °C)	standaardafwijking	2,14	1,80	2,21	2,35	4,35	4,16
		2,06	0,86	1,82	0,73	2,47	1,18
d		0,33		0,13		0,19	
	95 % betrouwbaarheidsinterval	<- 0,42, 1,08>		<- 0,80, 0,52>		<- 0,72, 1,11>	
F t.o.v. I	Aantal waarnemingen	F	I	F	I	F	I
	gemiddelde	48	59	48	59	48	59
(N = 2, 15 °C) t.o.v. (O ₂ , plaats 2, 17,5 °C)	standaardafwijking	5,18	1,69	2,12	9,77	7,30	11,46
		2,25	1,73	1,89	5,56	2,59	5,42
d		3,48		- 7,64		- 4,15	
	95 % betrouwbaarheidsinterval	<2,72, 4,25>		<- 9,31 - 5,97>		<- 5,85, - 2,46>	
D t.o.v. L	Aantal waarnemingen	D	L	D	L	D	L
	gemiddelde	35	28	35	28	35	28
(N = 3, 19 °C) t.o.v. (N = 2, 18 °C)	standaardafwijking	1,71	1,94	2,74	1,74	4,49	3,69
		1,22	1,25	0,36	0,99	1,09	1,45
d		- 0,24		1,00		0,80	
	95 % betrouwbaarheidsinterval	<- 0,87, 0,38>		<0,64, 1,36>		<0,16, 1,44>	

Bijlage 16. Statistische vergelijking van de diverse regelingen (24-uurs bemonsteringen).

Toetsing van de effluent $\text{NH}_4\text{-N}$ - en $\text{NO}_3\text{-N}$ -gehalten.

STATISTISCHE VERGELIJKING VAN DE DIVERSE REGULINGEN							
Basis: 24-uurs bemonstering effluent, aanvoer < 15.000 m ³ /d		$\text{NH}_4\text{-N}$		$\text{NO}_3\text{-N}$		$\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$	
B ten opzichte van G (O_2 , plaats 1; 23,7 °C) t.o.v. (O_2 , plaats 2; 20 °C)	Aantal waarnemingen	B	G	B	G	B	G
	gemiddelde standaardafwijking	11 1,10 0,837	12 1,79 2,01	11 6,08 3,18	12 2,02 3,02	11 7,11 3,20	12 3,8 2,89
d 95 % betrouwbaarheidsinterval		- 0,69 <- 1,55, 0,17>		4,04 <-1,31, 6,68>		3,31 <0,67, 5,94>	
G t.o.v. H (O_2 , plaats 2; 20,7 °C) t.o.v. (O_2 , N = 2; 20 °C)	Aantal waarnemingen	G	H	G	H	G	H
	gemiddelde standaardafwijking	12 1,79 1,13	8 1,83 0,69	12 2,02 3,02	8 1,53 1,05	12 3,8 2,89	8 3,37 1,35
d 95 % betrouwbaarheidsinterval		- 0,04 <- 0,99, 0,89>		0,47 <- 1,87, 2,83>		0,43 <- 1,88, 2,74>	
F t.o.v. I (N = 2; 15 °C) t.o.v. (O_2 , plaats 2; 17,5 °C)	Aantal waarnemingen	F	I	F	I	F	I
	gemiddelde standaardafwijking	12 5,06 2,40	10 2,05 1,45	12 1,53 2,22	10 7,75 6,25	12 6,6 2,81	10 9,8 6,56
d 95 % betrouwbaarheidsinterval		3,01 <-1,20, 4,83>		- 6,22 <- 10,2, - 2,19>		- 3,2 <- 7,5, 1,14>	
D t.o.v. L (N = 3; 19 °C) t.o.v. (N = 2; 18 °C)	Aantal waarnemingen	D	L	D	L	D	L
	gemiddelde standaardafwijking	12 1,56 0,72	9 1,37 0,49	12 2,06 0,30	9 2,17 1,11	12 3,63 0,72	9 3,55 1,15
d 95 % betrouwbaarheidsinterval		- 0,27 <- 0,92,0,38>		- 0,11 <- 0,81, 0,59>		0,08 <- 0,77, 0,93>	

Bijlage 17. Statistische vergelijking van de diverse regelingen (24-uurs bemonsteringen).
Toetsing van het specifieke energieverbruik.

STATISTISCHE VERGELIJKING VAN DE DIVERSE REGELINGEN			
Basis: 24-uurs bemonstering influent en effluent: TZV en aanvoer < 15.000 m ³ /d		kWh / TCV	
B ten opzichte van G (O ₂ , plaats 1; 23,7 °C) t.o.v. (O ₂ , plaats 2; 20 °C)	Aantal waarnemingen	B	G
	gemiddelde	11	12
	standaardafwijking	0,498	0,468
		0,109	0,094
	d	0,03	
	95 % betrouwbaarheidsinterval	<- 0,058, 0,118>	
G ten opzichte van H (O ₂ , plaats 2; 23,7 °C) t.o.v. (O ₂ , N = 2; 20 °C)	Aantal waarnemingen	G	H
	gemiddelde	12	8
	standaardafwijking	0,468	0,432
		0,094	0,059
	d	0,036	
	95 % betrouwbaarheidsinterval	<- 0,043, 0,115>	
F ten opzichte van I (N = 2; 15 °C) t.o.v. (O ₂ , plaats 2; 17,5 °C)	Aantal waarnemingen	F	I
	gemiddelde	12	10
	standaardafwijking	0,537	0,445
		0,141	0,057
	d	0,0919	
	95 % betrouwbaarheidsinterval	<-0,007, 0,191>	
D ten opzichte van L (N = 3; 19 °C) t.o.v. (N = 2; 18 °C)	Aantal waarnemingen	D	L
	gemiddelde	12	9
	standaardafwijking	0,488	0,436
		0,096	0,102
	d	0,052	
	95 % betrouwbaarheidsinterval	<- 0,038,0,143>	

