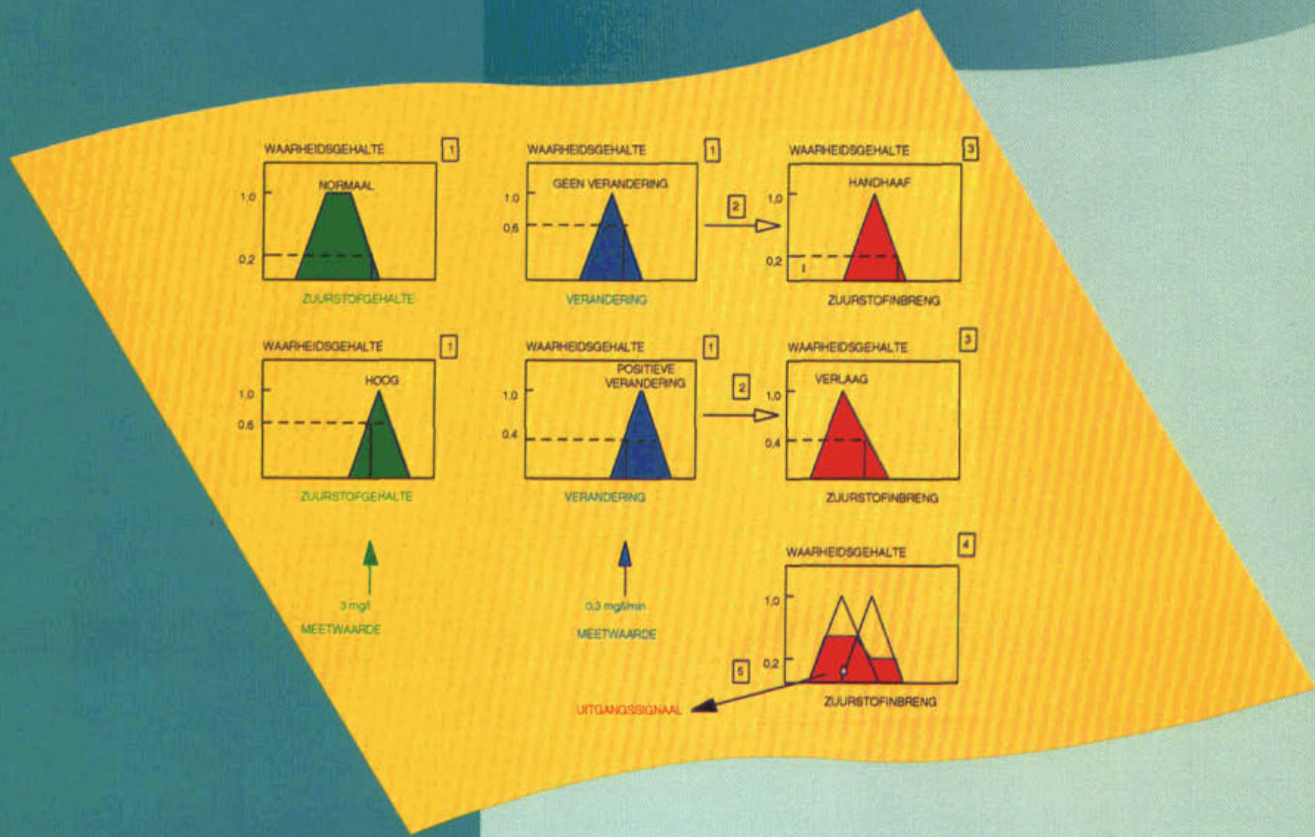


Perspectieven van de toepassing van Fuzzy Control op de rwzi Nieuwveer



**Perspectieven van de toepassing van
Fuzzy Control op de rwzi Nieuwveer**

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66
E-mail stowa@stowa.nl

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 90.5773.058.8

99

w 02

INHOUDSOPGAVE

		blz.
SAMENVATTING		
1	INLEIDING	2
	1.1 Doelstelling	2
	1.2 Leeswijzer	3
2	UITGANGSSITUATIE	4
	2.1 Beschrijving van de rwzi	4
	2.2 Beschrijving van de huidige regeling	6
	2.3 Gebruikte meetgegevens van de bestaande situatie	7
	2.4 Beschikbaar model	10
	2.4.1 Calibratie en validatie van het simulatiemodel	12
3	ANALYSE VAN DE HUIDIGE BELUCHTINGSREGELING	13
	3.1 Analyse	13
	3.2 Strategie tot verbetering	13
4	VERBETERING VAN DE BELUCHTINGSREGELING	14
	4.1 Ontwerp van de fuzzy regelingen	14
	4.2 Directe fuzzy regeling op basis van O ₂	14
	4.2.1 Ontwerp	14
	4.2.2 Toepassing	16
	4.2.3 Resultaten van de simulaties met de fuzzy regeling op basis van O ₂	16
	4.3 Fuzzy regeling op basis van NH ₄ en O ₂	17
	4.3.1 N _{totaal} of NH ₄ als regelcriterium?	18
	4.3.2 Ontwerp van de fuzzy regeling op basis van NH ₄ en O ₂	19
	4.3.3 Resultaten van de simulatie fuzzy met de regeling op basis van NH ₄ en O ₂	22
5	EVALUATIE, CONCLUSIES EN PERSPECTIEF	23
6	LITERATUUR	25
BIJLAGE 1 LIJNENPLAN VAN DE RWZI NIEUWVEER		
BIJLAGE 2 DETAILLERING VAN DE HUIDIGE REGELING		
BIJLAGE 3 DETAILS VAN HET SIMBA MODEL		
BIJLAGE 4 VERLOOP VAN DE INFLUENTCONCENTRATIES		

SAMENVATTING

De ontwikkelingen op het gebied van regeltechniek hebben geleid tot een aantal geavanceerde methoden om regelingen te ontwerpen. Fuzzy control is een methode die in principe tot zeer nauwkeurige regelingen kan leiden.

In het STOWA-rapport "De toepasbaarheid van fuzzy control bij het zuiveren van stedelijk afvalwater" is o.a. met behulp van een simulatiestudie een aantal toepassingsmogelijkheden van fuzzy control geselecteerd. Er is gebleken dat de bestaande zuurstofregelingen door middel van een directe fuzzy regelaar of een fuzzy-supervisieregeling te optimaliseren zijn. Ook bleek bij een multivariabele regeling voor de beluchting, bijvoorbeeld O_2/NH_4 -regeling, introductie van fuzzy control een aantrekkelijk alternatief te zijn dat kan bijdragen tot een verbetering van de effluentkwaliteit en het energieverbruik.

Als vervolg op bovengenoemd project is een onderzoek uitgevoerd met als doel de effecten van fuzzy control meer in detail te kwantificeren voor een praktijksituatie. De rwzi Nieuwveer (twee-traps actiefslibstelsysteem) is hiertoe geselecteerd voor nader onderzoek. Het onderzoek heeft zich gericht op het verbeteren van de huidige beluchtingsregeling van de 'nieuwe' tweede trap.

In het kader van dit onderzoek zijn hiervoor enkele fuzzy regelingen ontworpen die in potentie een verbetering van de beluchtingsregeling kunnen bewerkstelligen. Op basis van simulaties die werden uitgevoerd met een aangepast SIMBA-model is geconstateerd dat door de implementatie van een fuzzy regeling op basis van zuurstof een significante reductie van de schakelfrequentie van de beluchters gerealiseerd kan worden. Een fuzzy regeling gebaseerd op ammonium en zuurstof leverde een vrijwel identieke verbetering.

De effecten op de energieconsumptie en de verbetering van de continue effluentkwaliteit, met name NH_4 , lijken minder significant en moeilijker kwantificeerbaar. Dit is mede veroorzaakt door de opgelegde beperkingen van de mogelijkheden van de processtrategieën van de onderzochte RWZI.

Implementatie van fuzzy regelingen kan worden overwogen indien 'hardware'-matige aanpassingen, zoals het installeren van frequentieomvormers (FO's) ten behoeve van een beter regelbereik, hogere investeringen vergen dan het aanpassen van de software in de PLC-programmatuur. Daar een frequentieomvormer van één puntbeluchter of compressor een investering vergt in de orde van minimaal f 20.000,- lijkt bovenstaande overweging uitsluitend voor bestaande grote rwzi's opportuun.

1 INLEIDING

1.1 Doelstelling

De ontwikkelingen op het gebied van regeltechniek hebben geleid tot een aantal geavanceerde methoden om regelingen te ontwerpen. Fuzzy control is een methode die in principe tot zeer nauwkeurige regelingen kan leiden.

Fuzzy control regelt processen op basis van regels zonder scherpe grenzen. Deze aanpak is bij uitstek geschikt voor processen die niet met exacte formules te beschrijven zijn, die onvoorspelbare tijdvertragingen vertonen en sterke koppelingen tussen deelprocessen hebben.

Waterzuiveringinrichtingen hebben genoemde kenmerken: vloeiende overgangen, onvoorspelbare situaties bij piekafvoer en conflicterende processen bij de nutriëntenverwijdering. Bij conventionele regelaars kan dit problemen opleveren, fuzzy control kan daar bij uitstek goed mee omgaan.

In het STOWA-rapport "De toepasbaarheid van fuzzy control bij het zuiveren van stedelijk afvalwater" (nr. 97-32, 1997) is op basis van interviews, een literatuuronderzoek en een simulatiestudie met een fictieve rwzi een aantal toepassingsmogelijkheden van fuzzy control geselecteerd. De meeste aandacht gaat momenteel uit naar de verbetering van beluchtingregelingen. Er is gebleken dat de bestaande zuurstofregelingen door middel van een directe fuzzy regelaar of een fuzzy-supervisierегeling te optimaliseren zijn. Ook blijkt bij een multivariabele regeling voor de beluchting, bijvoorbeeld O_2/NH_4 -regeling, introductie van fuzzy control een aantrekkelijk alternatief te zijn dat kan bijdragen tot een verbetering van de effluentkwaliteit en het energieverbruik.

Als vervolg op bovengenoemd project is onderhavig onderzoek uitgevoerd met als doel de effecten van fuzzy control meer in detail te kwantificeren voor een praktijksituatie. Dit dient te gebeuren voor een rwzi waar verbetermogelijkheden van knelpunten via fuzzy control mogelijk lijken, waar een PLC- en SCADA-systeem beschikbaar zijn en de rwzi reeds in SIMBA is gekalibreerd en gevalideerd. De rwzi Nieuwveer (twee-traps actiefslibstelsysteem) is hiertoe geselecteerd voor nader onderzoek. Het onderzoek heeft zich gericht op het verbeteren van de beluchtingsregeling van de 'nieuwe' tweede trap (zie hoofdstuk 2).

De rwzi Nieuwveer is representatief voor rwzi's waarvan verwacht wordt dat geavanceerde procesregelingen een belangrijke rol kunnen spelen. De mogelijke verbeteringen in regelingen in de tweede trap, zoals bij de rwzi Nieuwveer wordt toegepast, komen overeen met mogelijke verbeteringen in andere propstroomsystemen. In deze systemen is de kwantificering van de vertraging tussen proces en meting vaak een regeltechnisch probleem.

In de tweede trap van de RWZI Nieuwveer doen zich bij de huidige beluchtingsregeling de volgende problemen voor:

- overmatig aan- en uitschakelen van de beluchters en het daarbij behorende energieverbruik;
- "hoge" pieken ammonium in het effluent.

Hiermee leek de RWZI Nieuwveer ten behoeve van dit project een geschikte locatie te zijn.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de uitgangssituatie beschreven van de rwzi Nieuwveer met betrekking tot de beschrijving van de actuele beluchtingsregeling en het bestaande SIMBA-model. In hoofdstuk 3 wordt de huidige regelstrategie geanalyseerd en de strategie bepaald voor mogelijke verbeteringen van de beluchtingsregelingen. In hoofdstuk 4 worden enkele fuzzy regelaars ontworpen waarmee simulaties zijn uitgevoerd. De resultaten zijn vergeleken met de huidige beluchtingsregeling. In hoofdstuk 5 worden de resultaten geëvalueerd en conclusies en het perspectief geformuleerd.

Voor de duidelijkheid wordt op deze plaats in de rapportage de indeling en naamgeving van de compartiment van de onderzochte beluchtingsruimte vermeld, zodat geen onduidelijkheden ontstaan bij de interpretatie van de resultaten. De beluchtingsruimte bestaat uit tien compartimenten, waarvan de laatste acht zijn voorzien van puntbeluchters. De eerste twee compartimenten zijn de voordennitrificatieruimtes (denitrificatiecompartiment 1 en 2). Vervolgens stroomt het afvalwater-slib-mengsel door acht compartimenten die zijn voorzien van puntbeluchters (nitrificatiecompartiment 1 – 8).

2 UITGANGSSITUATIE

2.1 Beschrijving van de rwzi

De rwzi Nieuwveer heeft een capaciteit van 485.000 i.e. (i.e. = 136 g TZV) en is in beheer bij het Hoogheemraadschap van West-Brabant. In 1997 was de daadwerkelijke belasting 335.000 i.e. De hydraulische capaciteit bedraagt 16.500 m³/uur. Op de rwzi wordt het afvalwater van Breda en omliggende kernen en een aantal apart aangesloten bedrijven gezuiverd. Het effluent wordt via een leiding afgevoerd naar het Hollandsch Diep.

De waterlijn van de rwzi Nieuwveer is gebaseerd op een twee-trapsactiefslibinstallatie. De dimensioneringsgrondslagen van de voornaamste onderdelen van de installatie zijn samengevat in tabel 1. In bijlage 1 is het processchema van de rwzi weergegeven. In de 'nieuwe' tweede trap wordt 44% van de totale afvalwaterstroom behandeld.

In 1997 bedroeg het stikstofverwijderingsrendement gemiddeld 73% bij een N _{totaal}-gehalte in het effluent van 11 mg/l. Om fosfaat te verwijderen wordt in de eerste beluchtingtrap ijzersulfaat toegevoegd. De fosfaatverwijdering bedroeg in 1997 gemiddeld 77%, het P _{totaal}-gehalte in het effluent 1,6 mg/l (streefwaarde 1,5 mg/l).

Het spuislib van de eerste en tweede trap wordt gemengd en ingedikt in de gravitatie-indikkers. Het ingedikte slib wordt geoxideerd via het Zimproproces. Het slib wordt vervolgens ontwaterd in filterpersen. Het filtraat van de filterpersen wordt anaëroob behandeld in een UASB-reactor en vervolgens teruggeleid naar de beluchtingruimten. Het slib wordt verbrand in de slibverbrandingsinstallatie te Moerdijk.

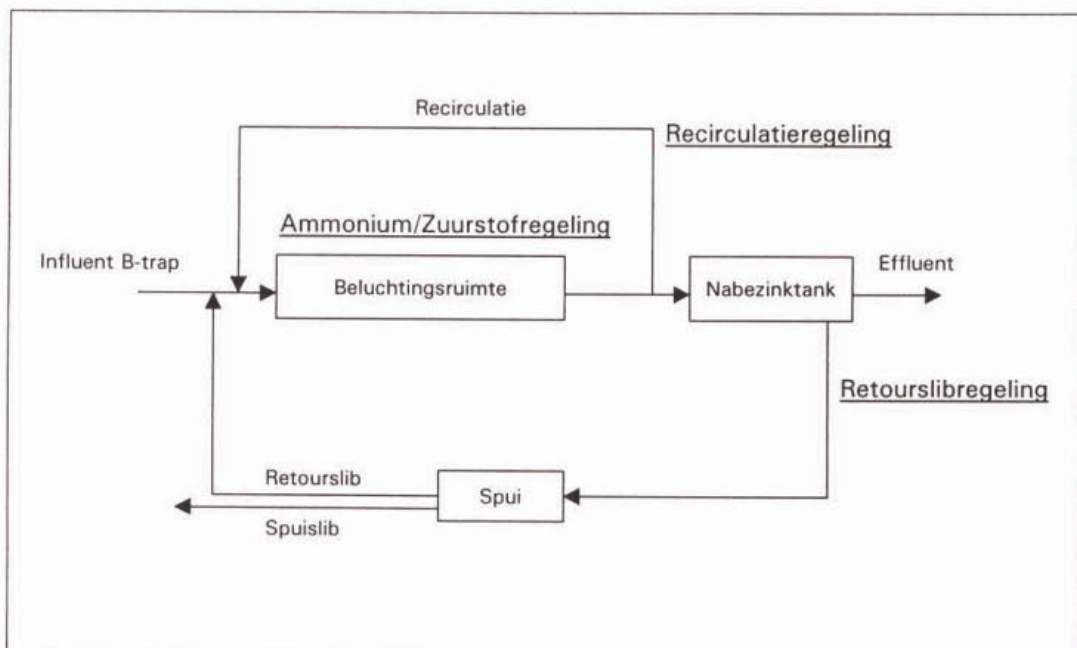
Tabel 1: Dimensionering van de belangrijkste procesonderdelen van de waterlijn

Procesonderdeel	Parameter	Eenheid	Waarde/Beschrijving
eerste trap	- aantal reactoren	-	1
	- volume	m ³	3.500
	- slibgehalte	kg/m ³	2,5
	- BZV-slibbelasting	kg BZV/kg ds.d	1,8
	- type beluchting	-	bellenbeluchting
	- luchtinbreng	Nm ³ /h	30.900
tussen-bezinking	- aantal rechthoekige tanks	-	6
	- oppervlak	m ²	5.580
	- aantal ronde tanks	-	1
	- oppervlak	m ²	1.018
	- oppervlaktebelasting	m/h	2,5

Procesonderdeel	Parameter	Eenheid	Waarde/Beschrijving
tweede trap	- aantal reactoren	-	4
	- volume	m ³	3 x 5.400 ('oude' 2 ^e trap) 1 x 12.000 ('nieuwe' 2 ^e trap)
	- slibgehalte	kg/m ³	3,2
	- BZV-slibbelasting	kg BZV/kg ds.d	0,09
	- type beluchting	-	bellenbeluchting ('oud') + puntbeluchters ('nieuw')
	- luchtinbreng	kg O ₂ /h	1.534
Na-bezinking	- aantal rechthoekige tanks	-	6
	- oppervlak	m ²	7.920
	- aantal ronde tanks	-	3
	- oppervlak	m ²	6.490
	- oppervlakte belasting	m/h	1,15

In figuur 1 is een schematisch overzicht gegeven van de 'nieuwe' tweede trap van de rwzi Nieuwveen. De tweede trap is een voordennitrificatiesysteem waarbij de volgende regelingen zijn geïnstalleerd:

- NH₄/O₂-regeling;
- recirculatieregeling;
- retourslibregeling.



Figuur 1. Schematisch overzicht van de tweede trap van de rwzi Nieuwveen en de daarin opgenomen regelingen.

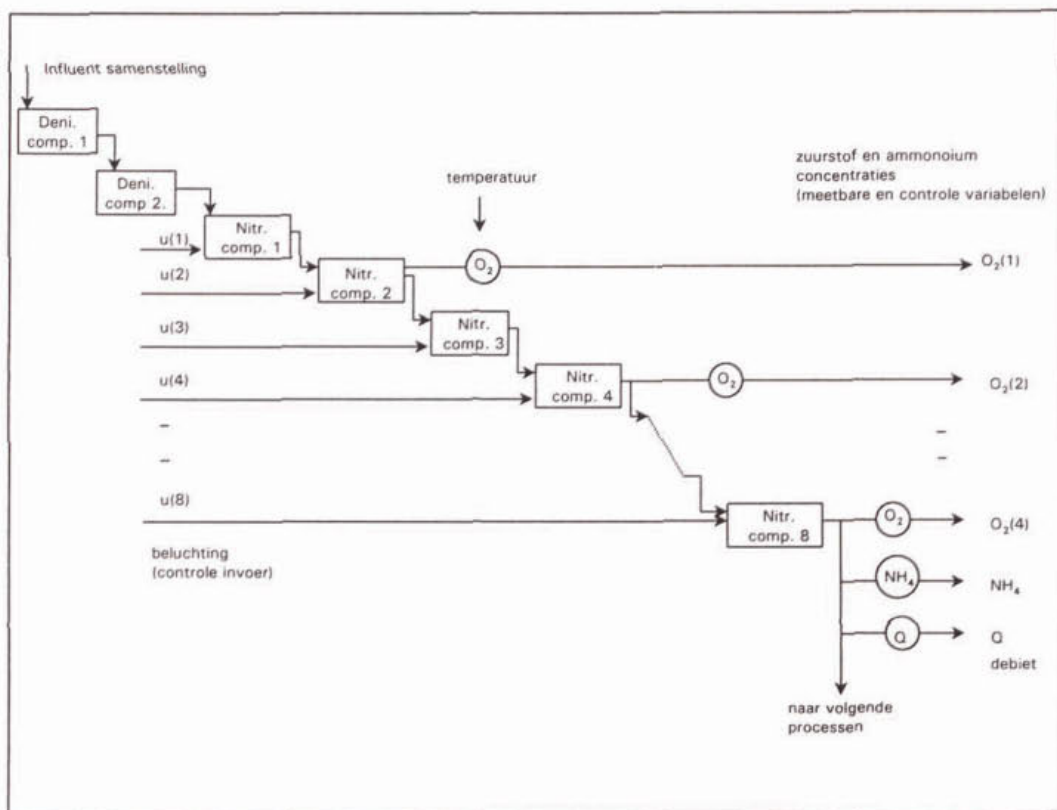
2.2 Beschrijving van de huidige regeling

De beluchtingsruimte van de "nieuwe" tweede trap bestaat uit tien compartimenten waarvan de laatste acht zijn uitgerust met elk één puntbeluchter. De eerste twee compartimenten zijn voordennitrificatieruimtes.

Er zijn vier O_2 -meters geïnstalleerd in de nitrificatiecompartimenten 2, 4, 6 en 8. Op basis van een O_2 -meter worden de puntbeluchters in de nitrificatiecompartimenten per paar geregeld (nitrificatiecompartimenten 1/2, 3/4, 5/6 en 7/8). De O_2 -setpoints zijn ingesteld op 2,5 – 3,5 mg/l.

De huidige regelstrategie is gebaseerd op een 'harde' aan-uit controle van de aanwezige puntbeluchters op basis van het zuurstofgehalte. Tevens worden metingen van de ammoniumconcentratie (nitrificatiecompartiment 8) en het debiet gebruikt voor het aan- en uitschakelen van een aantal van de beluchters (nitrificatiecompartiment 1 tot en met 4). Met de huidige regelstrategie wordt het nitrificatievolume naar behoren geregeld.

De fysieke structuur van het proces en de plaats van de verschillende sensoren zijn weergegeven in figuur 2. Voor een nadere detaillering van de regeling wordt verwezen naar bijlage 2.



Figuur 2. Schematische weergave van het proces, met de regelinvoer (u), de stuurvariabelen (O_2 en NH_4) en de storingen (influent-samenstelling, F en T).

De beluchters kennen slechts drie standen: {uit, laag, hoog}. In het huidige regelsysteem zijn beluchter (5) tot en met (8) nooit *uit*. Dit wil zeggen dat deze beluchters voortdurend tussen laag en hoog toerental wisselen.

2.3 Gebruikte meetgegevens van de bestaande situatie

In dit onderzoek zijn meetgegevens van 28 meetdagen van december 1997 gebruikt voor het onderzoek. De bemonsteringstijd voor alle parameters was 5 minuten en 20 seconden.

De parameters zijn de volgende:

- $[O_2]$ in mg/l in de nitrificatiecompartimenten 2, 4, 6 en 8;
- energieverbruik van de beluchting (kW) in nitrificatiecompartiment 1 tot en met 8;
- $[NH_4-N]$ in mg/l in nitrificatiecompartiment 8;
- effluentdebiet (m^3/h);
- temperatuur ($^{\circ}C$).

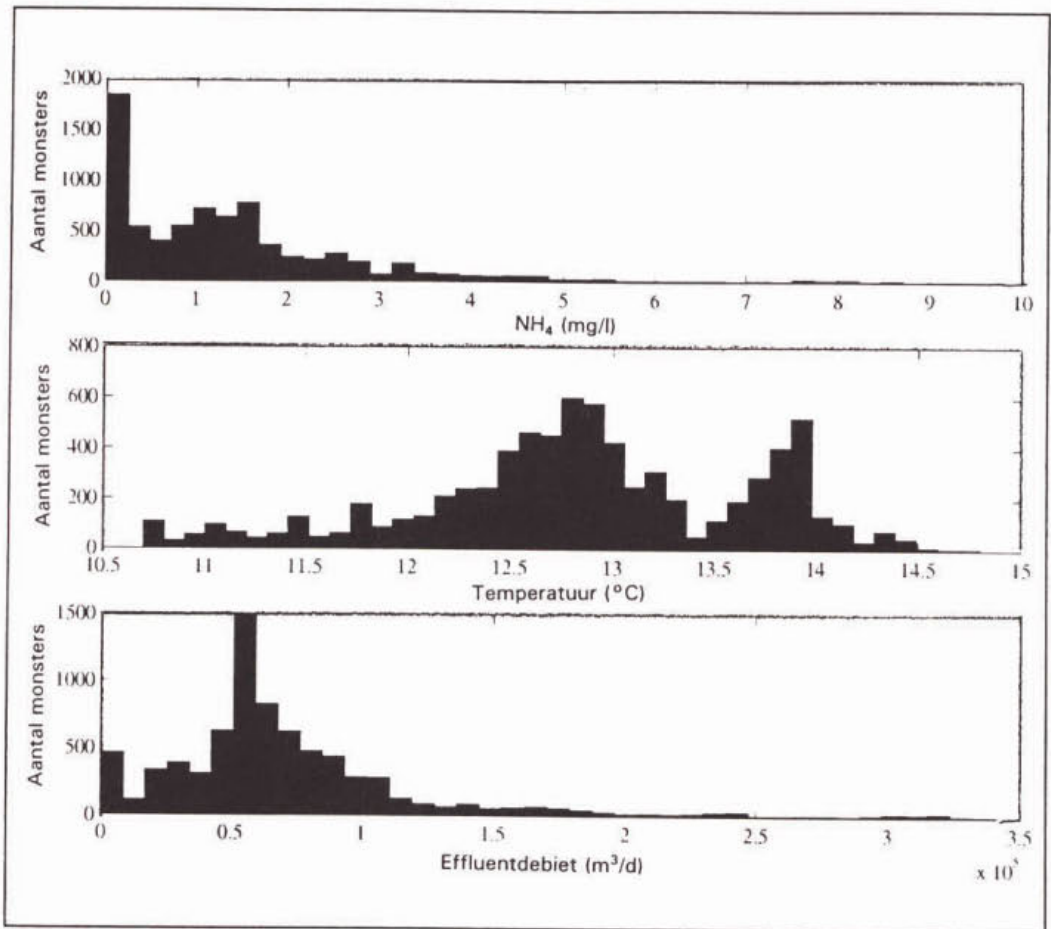
In tabel 2 worden enige statistische gegevens van de gemeten parameters samengevat.

Tabel 2: Gegevens met betrekking tot de NH_4 -concentratie, temperatuur en effluentdebiet (december 1997).

Variabele	gemiddelde	mediaan	standaard-afwijking	minimum	maximum
$T [^{\circ}C]$	12,9	12,8	0,8	10,7	14,8
$Q_{eff} [10^4 m^3/d]$	7,1	6,0	5,1	0	34,1
$NH_4 [mg/l]$	1,4	1,1	1,5	0	9,7

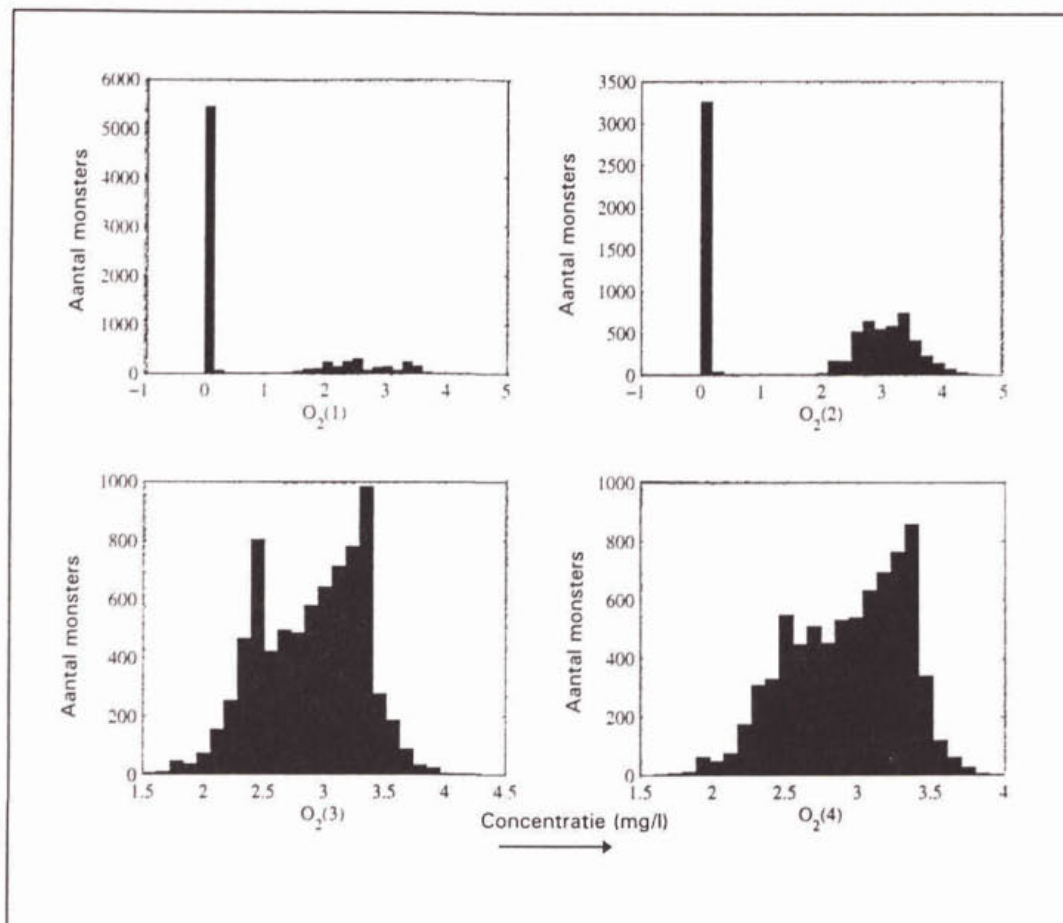
De ammoniumconcentratie varieerde aanzienlijk; pieken van meer dan 8 mg/l werden gemeten. Hierop zal in het vervolg, bij het vergelijken van simulaties en meetgegevens, nog worden teruggekomen. De temperatuur was gemiddeld $12,9^{\circ}C$ en varieerde tussen $10,7$ en $14,8^{\circ}C$. Het effluentdebiet was gemiddeld $71.300 m^3/d$ en fluctueerde tussen 0 en $341.000 m^3/d$. Volgens het Hoogheemraadschap is een waarde 0 niet mogelijk en dit moet te wijten zijn aan signaalstoringen.

In figuur 3 zijn histogrammen van NH_4 , T en Q_{eff} gegeven. De verdelingen van NH_4 en Q_{eff} lijken op elkaar: beide histogrammen hebben twee pieken en zijn scheef met een gering aantal relatief hoge waarden. Dit suggereert dat de twee variabelen zijn gecorreleerd. De hoogste correlatie-index (0,6) wordt gevonden bij een tijdverschil van circa 30 minuten. Dit betekent dat, 30 minuten nadat een piek is gemeten in het influentdebiet, een piek in NH_4 kan optreden.



Figuur 3. Histogrammen van NH₄, temperatuur en effluentdebiet.

De histogrammen van de O₂-metingen in de diverse compartimenten zijn weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: Histogrammen van de O_2 -metingen

Uit de O_2 -metingen komt duidelijk de huidige regelstrategie naar voren: O_2 (1) en O_2 (2) zijn doorgaans vrijwel nul, omdat de bijbehorende beluchters (1) tot en met (4) alleen schakelen als een zeker NH_4 -gehalte wordt overschreden. De concentraties O_2 (3) en O_2 (4) zijn veel hoger, omdat de bijbehorende beluchters niet ondergeschikt zijn aan de NH_4 -meting.

In tabel 3 wordt de gemiddelde frequentie van aan- en uitschakelen van alle beluchters en de gemiddelde energieconsumptie gegeven. In de tabel is te zien dat beluchters $u(5)$ tot en met $u(8)$ meer dan 100 maal per dag (4 x per uur) tussen laag en hoog schakelen.

Tabel 3: Gemiddelde frequentie van schakelen van de beluchters per dag en de gemiddelde energieconsumptie per dag.

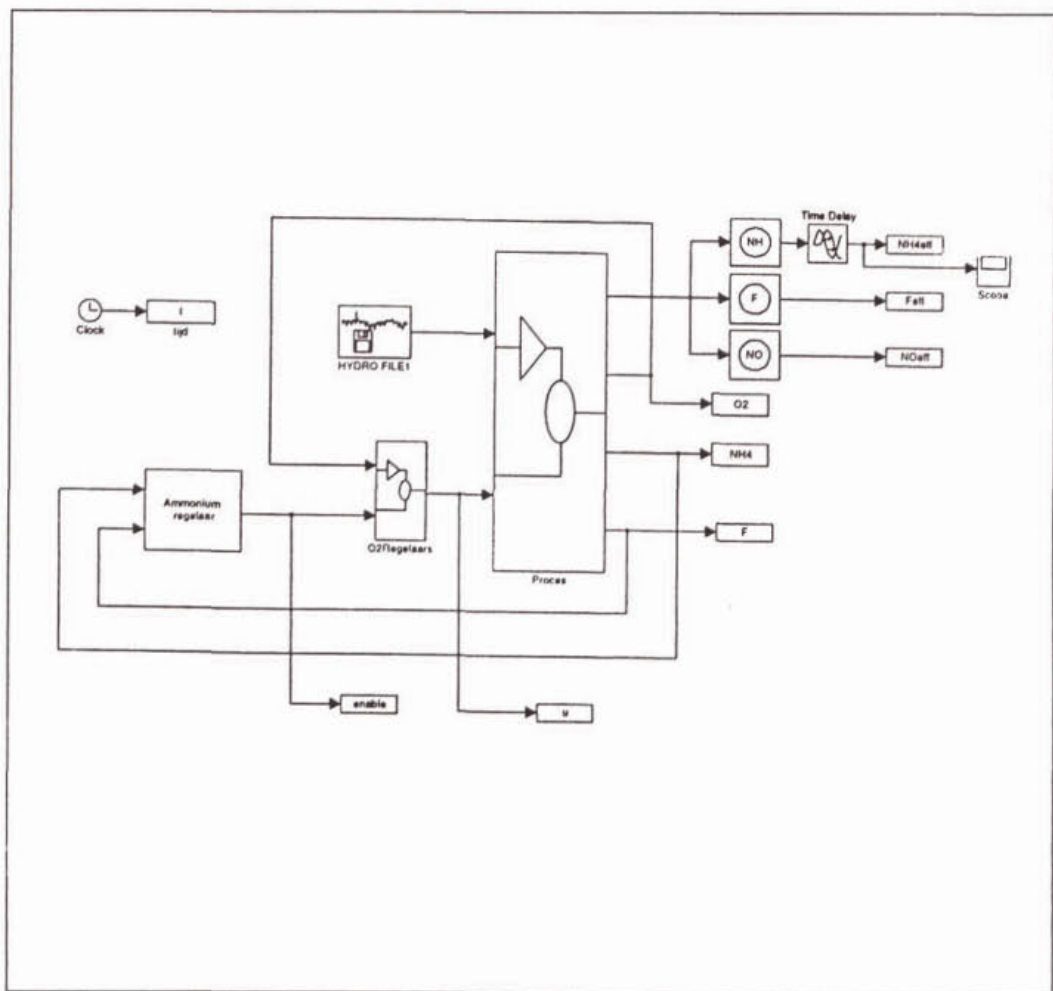
$u(1)$	$u(2)$	$u(3)$	$u(4)$	$u(5)$	$u(6)$	$u(7)$	$u(8)$	gemiddeld	J_e [kWh/d]
23,1	23,8	72	86,3	102,4	101,8	100,6	99,3	76,2	5.830

2.4 Beschikbaar model

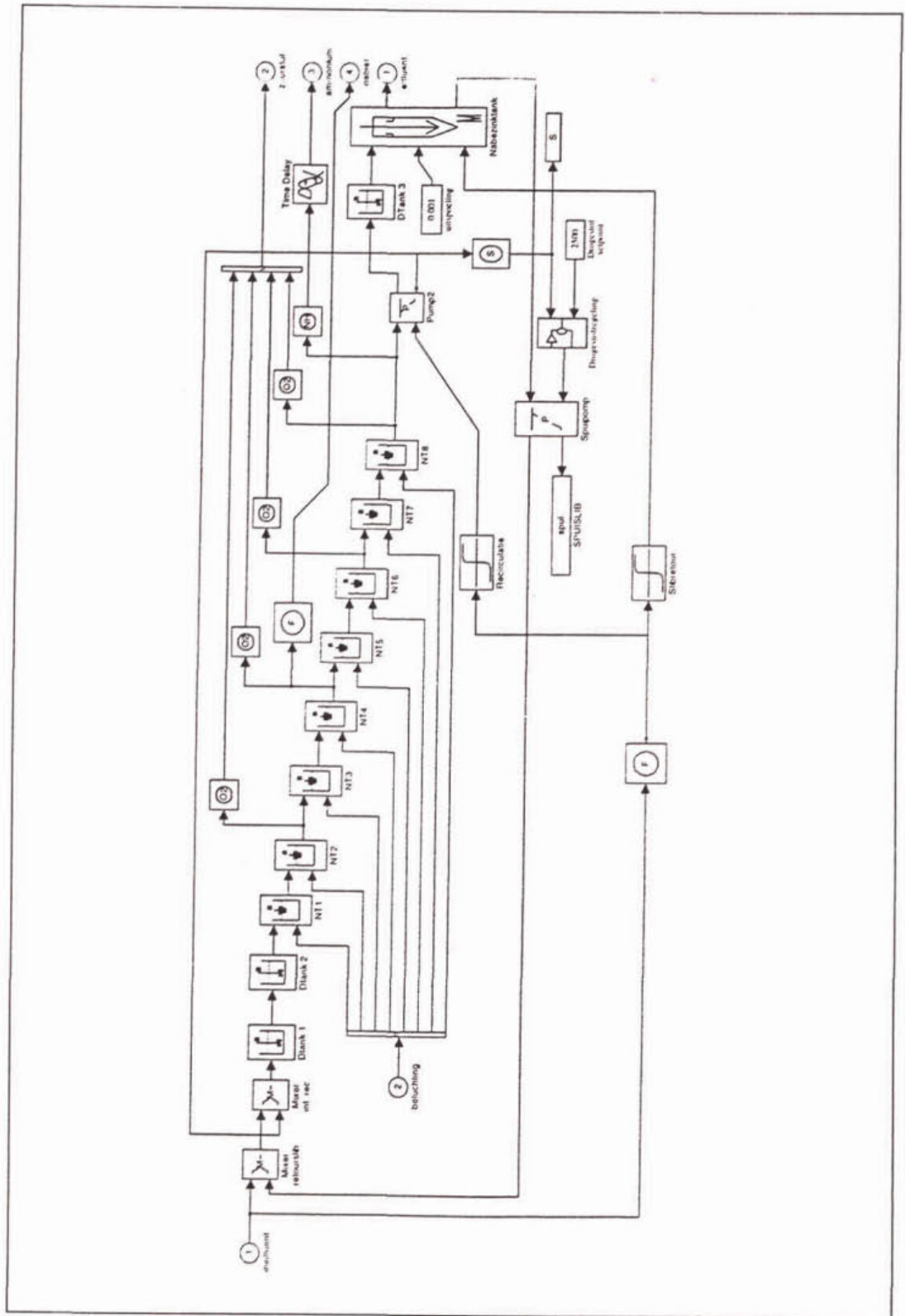
Het totale zuiveringsproces, zowel waterlijn als sliblijn, is door derden gemodelleerd in SIMBA. Het model is op basis van een meetprogramma en een bemonsteringsperiode in augustus 1997 gekalibreerd en gevalideerd. Het model bleek echter, bij nadere bestudering, niet volledig geschikt te zijn voor het gebruik in het fuzzy control onderzoek. Ten gevolge van de complexiteit van het model, de wijze van implementatie van de diverse regelingen en stapgrootte van de simulatie was de rekestijd erg lang. Er is besloten het model te beperken tot de 'nieuwe' tweede trap met alle ingaande en uitgaande stromen en regelingen.

Figuur 5 geeft het SIMBA blokdiagram van de tweede trap weer, samen met de beluchtings- en de ammoniumregelaars. Het blokdiagram van de tweede trap is weergegeven in figuur 6.

In bijlage 3 zijn de regelingsblokken weergegeven.



Figuur 5. SIMBA blokdiagram van het proces met de beluchtings- en de ammonium-regelaars.



Figuur 6. Het blokdiagram van de tweede trap

2.4.1 Calibratie en validatie van het simulatiemodel

De resultaten van de simulaties werden, ter verificatie van het SIMBA model, vergeleken met meetgegevens van het proces in de praktijk. Zowel het verloop in de tijd als de statistische gegevens werden vergeleken.

Uit de simulaties kwam naar voren dat het model redelijk in overeenstemming was met de praktijk, waarbij echter de volgende kanttekeningen moeten worden geplaatst:

1. De NH_4 -concentratie in het effluent fluctueert tijdens simulaties aanzienlijk minder sterk dan in werkelijkheid; de maxima zijn een factor 2,5 lager;

In tabel 4 zijn de statistische gegevens van het NH_4 -gehalte in het effluent van de simulaties en uit de praktijk weergegeven.

Tabel 4: Statistische gegevens van het NH_4 -gehalte in het effluent

Variabele	gemiddelde	mediaan	standaard afwijking	minimum	maximum
proces NH_4 (mg/l)	1,4	1,1	1,5	0	9,7
simulatie NH_4 (mg/l)	1,2	1,3	0,6	0,2	3,9

2. Doordat de NH_4 -concentratie in het effluent minder sterk fluctueert, verandert ook het schakelpatroon van de beluchters: de verdeling van het vermogen van $u(3)$ en $u(4)$ verschilde sterk met de verdelingen van de meetgegevens. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de geïmplementeerde ammoniumregelaar in simulaties anders werkt dan in de realiteit.

Voordat een vergelijking van het effect van de inzet van verschillende regelstrategieën kan worden onderzocht moet het simulatiemodel gecalibreerd en gevalideerd worden. De gebruikelijke methode hiervoor is de simulatie-uitkomsten meer in overeenstemming te brengen met de meetgegevens door het aanpassen van simulatieparameters. Hiervoor kunnen zowel meetgegevens (influentkarakteristiek, hydraulische gegevens) dan wel kinetische- of stochiometrische parameters in het model gevarieerd worden. Verschillende parameters zijn gevarieerd, waaronder de zuurstofoverdracht van de beluchters, de verhouding tussen slib en CZV, en de temperatuur.

Het meeste effect kon worden verkregen door de temperatuur te verlagen. Door deze veranderingen werd bereikt dat met name het aantal schakelmomenten in de laatste nitrificatiecompartimenten vergelijkbaar waren met het aantal werkelijke schakelmomenten. In de eerste nitrificatiecompartimenten bleef een onderscheid tussen het aantal gesimuleerde en werkelijke schakelmomenten bestaan. Desondanks kon het model worden gebruikt voor simulaties ten behoeve van uittesten en vergelijken van andere beluchtingsstrategieën.

3 ANALYSE VAN DE HUIDIGE BELUCHTINGSREGELING

3.1 Analyse

Bij de huidige beluchttingsregeling doen zich in de tweede trap van de rwzi Nieuwveer de volgende problemen voor:

1. *Overmatig aan- en uitschakelen van de beluchters en het daarbij behorende energieverbruik.* De huidige beluchters worden in paren van twee: uit, laag toeren of hoog toeren geregeld. Dit fenomeen draagt bij aan de oscillaties van de O_2 - en NH_4 -concentraties en aan een onnodige slijtage van de apparatuur. Als gevolg van het overmatig aan- en uitschakelen zal de energieconsumptie hoger zijn dan nodig.
2. *"Hoge" pieken in de NH_4 -concentratie.* De huidige regeling voor ammonium is niet geschikt voor het onderdrukken van pieken in de aanvoer. De huidige NH_4 -regelaar werkt als een poort die de regelaars voor de beluchters in de nitrificatiecompartimenten 1 tot en met 4 aan- of uitzet. Dit gebeurt op de manier van een cascade, beginnend bij nitrificatiecompartiment 4 en dan terug naar nitrificatiecompartiment 1. Een (variabele) vertraging is ingebracht die overeenkomt met de tijd die het water nodig heeft om van het betreffende compartiment naar de NH_4 -sensor (nitrificatiecompartiment 8) te stromen. Deze vertraging wordt berekend uit het gemeten debiet. Tussen de meting van het ammoniumgehalte in de tweede trap en de stuuracties die daar het gevolg van zijn, bevindt zich steeds een vertragingstijd van minimaal een half uur. In het algemeen is het echter niet aan te raden om een vertraging op te nemen in een kring waarin al een transportvertraging aanwezig is. Als gevolg hiervan worden pieken in NH_4 niet onderdrukt in de tijd, en is de beluchting nog steeds actief als NH_4 al aan het afnemen is. Hierdoor treden in het effluent relatief hoge ammoniumpieken (4 tot 9 mg/l) op door tijdelijke onderbeluchting en wordt op andere momenten tijdelijk overbelucht. Dit heeft dus nadelige effecten op de continue effluentkwaliteit. Op basis van de gemiddelde effluentkwaliteit zal dit effect minder zijn.

3.2 Strategie tot verbetering

Op basis van bovenstaande analyse zal het verbeteren van de beluchttingsregeling gebaseerd zijn op het reduceren van de schakelfrequentie van de beluchters en de daarbij behorende energiereductie, en op het verbeteren van de regelstrategie voor NH_4 ter verbetering van de continue effluentkwaliteit. In het kader van dit onderzoek zal in de voorgestelde verbeterde regelingen alleen de toepassing van fuzzy control aan de orde komen.

4 VERBETERING VAN DE BELUCHTINGSREGELING

4.1 Ontwerp van de fuzzy regelingen

Op basis van de STOWA-studie (1) en de aanwezige ervaring zijn enkele fuzzy regelingen ontworpen. De ontworpen regelingen zijn een selectie uit meerdere mogelijkheden en hoeven niet per definitie regelingen te zijn die de meest gunstige effecten hebben.

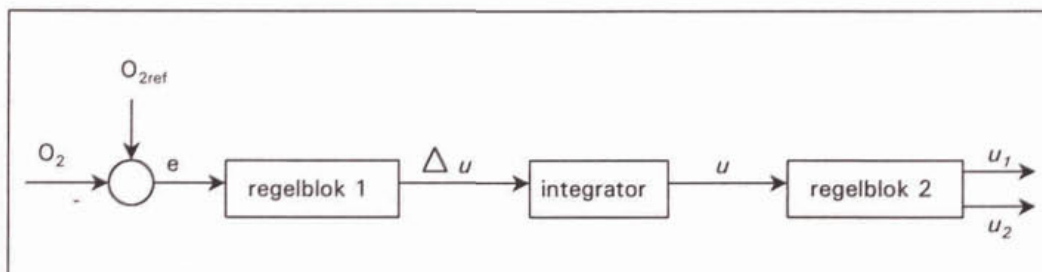
De volgende twee regelingen zijn geselecteerd:

- directe fuzzy regeling op basis van O_2 ;
- fuzzy regeling op basis van NH_4 en O_2 .

4.2 Directe fuzzy regeling op basis van O_2

4.2.1 Ontwerp

Het verminderen van de oscillaties in de O_2 -regelkring kan op twee manieren worden bereikt. Allereerst wordt iedere beluchter apart gestuurd in plaats van in paren zoals in de bestaande situatie. Een aparte sturing van iedere beluchter verhoogt het aantal mogelijke stuuracties en geeft dus meer vrijheidsgraden in de regeling. Daarnaast wordt een meer dynamisch gedrag in de regeling gebracht, waardoor de aan/uit-fluctuaties kunnen worden verminderd.



Figuur 7. Voorgestelde fuzzy beluchttingsregeling op basis van O_2 .

De voorgestelde mono-variabele fuzzy regeling is weergegeven in figuur 7. Het is een geïntegreerde regeling met de regelfout $e = O_{2ref} - O_2$ als invoer en een verandering in de stuuractie als uitvoer. De regeling bestaat uit drie delen: regelblok 1, een integrator en regelblok 2. In het navolgende worden de verschillende regelblokken nader toegelicht.

Regelblok 1

Het doel van dit regelblok is om de regelfout e te koppelen aan de wijziging in de regelactie. Samen met de integrator wordt door regelblok 1 een non-lineaire integrator beschreven. De voornaamste reden om een integrerende regeling te gebruiken is het introduceren van een meer dynamisch gedrag, zodat de schakelfrequentie van de puntbeluchters kan worden verlaagd.

Het regelblok is als volgt:

Als e is SN* dan Δu is ++

Als e is MN* dan Δu is +

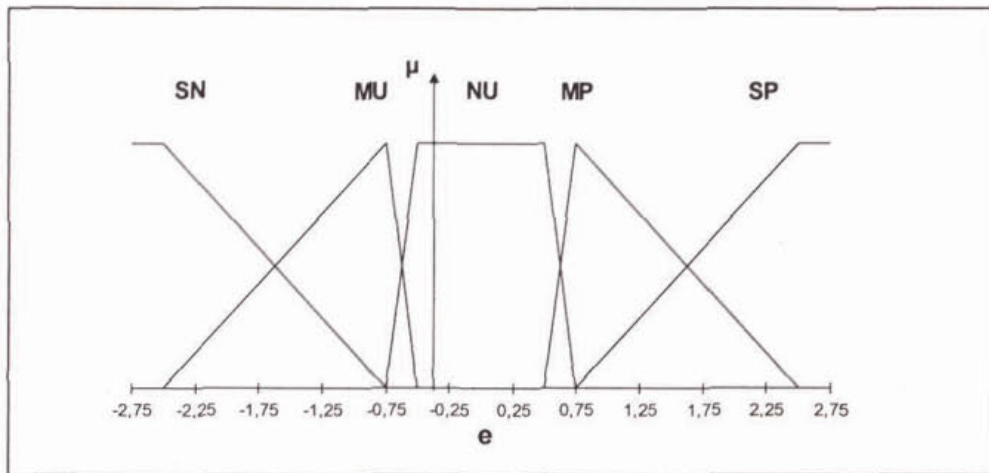
Als e is NU* dan Δu is 0

Als e is MP* dan Δu is -

Als e is SP* dan Δu is --

*) SN is 'sterk negatief'; MN is 'matig negatief'; NU is 'nul'; MP is 'matig positief' en SP is 'sterk positief'.

De lidmaatschapsfuncties voor de fout e zijn geïllustreerd in figuur 8.



Figuur 8. Lidmaatschapsfuncties voor de fout $e = O_{2, \text{ref.}} - O_2$.

De breedte van de lidmaatschapsfunctie NU bepaalt de breedte van een ongevoeligheidsgebied (dode zone) van de regeling: het bijbehorende gevolg is 0, niets doen. De overblijvende gevolgen zijn reële getallen die de snelheid van de verandering van de regelactie voor positieve of negatieve fouten van verschillende grootte bepalen. Door hun waarden te wijzigen, kan de regeling worden aangepast om, bijvoorbeeld, sneller op positieve fouten te reageren (O_2 te laag) en langzamer op negatieve, enzovoorts.

Regelblok 2

Het doel van dit regelblok is het geïntegreerde regelsignaal u om te zetten in een stuursignaal voor de puntbeluchters. Met het huidige bedrijf {uit, laag, hoog} is dit regelblok niet-fuzzy. Als continu regelbare beluchters worden gebruikt, wordt het regelblok wel fuzzy.

De regels beschrijven de verdeling van het gewenste vermogen over de twee beluchters die door de bijbehorende O_2 -meting worden gestuurd. Net als met de huidige regeling worden beluchters in de nitrificatiecompartimenten 5 tot en met 8 nooit uitgezet. Deze wisselen alleen tussen laag en hoog.

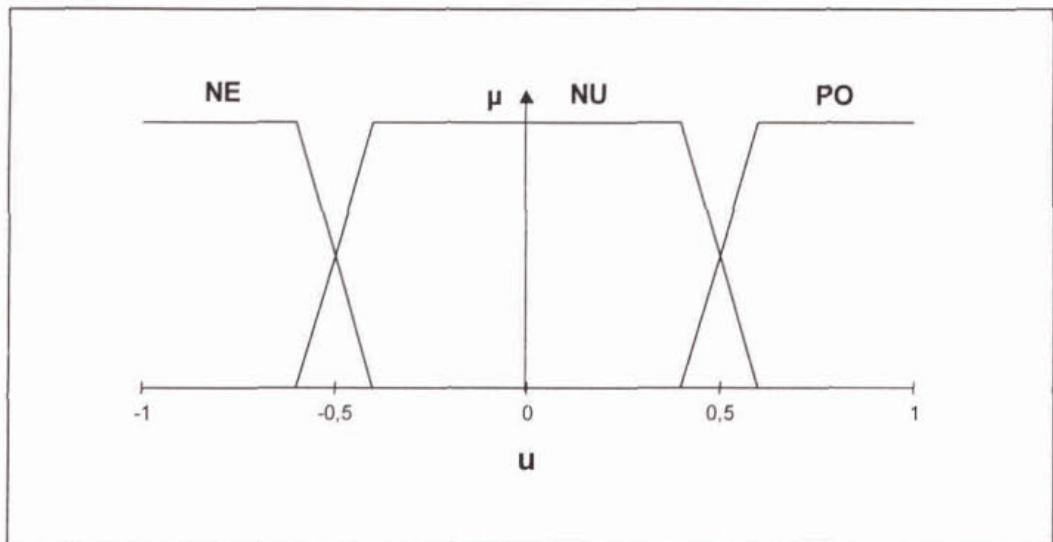
Het regelblok is:

1. Als u is NE^{*)} dan u_1 is HO en u_2 is HO
2. Als u is NU^{*)} dan u_1 is LA en u_2 is HO
3. Als u is PO^{*)} dan u_1 is HO en u_2 is LA

^{*)} Waarin NE is 'negatief', NU is 'nul' en PO is 'positief'; HO is 'hoog' en LA is 'laag'.

Hierin slaat u_1 op de beluchter die meer aan de influentkant staat dan u_2 . (bijvoorbeeld, als O_2 (2) de input van de regelaar is, dan is u_1 is $u(3)$ en u_2 is $u(4)$).

De lidmaatschapsfuncties voor de regelactie u voor de nitrificatiecompartimenten 5 tot en met 8 zijn weergegeven in figuur 9.



Figuur 9. Lidmaatschapsfuncties voor de geïntegreerde regelactie u (nitrificatiecompartimenten 5 tot en met 8).

4.2.2 Toepassing

Zowel uit de meetgegevens als uit de resultaten van de simulatie was duidelijk dat de meeste schakelingen optreden in nitrificatiecompartiment 5 tot en met 8 (zie bijvoorbeeld tabel 3). Daarom zijn de simulaties met de bovenstaande mono-variabele fuzzy regeling alleen uitgevoerd voor deze nitrificatiecompartimenten. De overige nitrificatiecompartimenten (zijnde 1 t/m 4) worden op de bestaande wijze geregeld (regeling per paar beluchters; niet fuzzy).

4.2.3 Resultaten van de simulaties met de fuzzy regeling op basis van O_2

De resultaten van de simulaties bij twee temperaturen zijn weergegeven in de tabellen 5 en 6. Hierbij zijn de simulaties vergeleken met de huidige praktijk regeling (schakelend). Tijdens het vergelijken tussen het simulatiemodel en de praktijk was al geconstateerd dat de schakelfrequentie toeneemt bij lagere temperaturen. Daarom zou meer voordeel verwacht kunnen worden bij lagere temperaturen.

Tabel 5: Gemiddelde energieconsumptie per dag, gegevens voor NH_4 , N_{totaal} en de gemiddelde schakelfrequentie per beluchter per dag.

Regeling	energie	$\text{NH}_4\text{-N}$	gem(N_{totaal})	std (N_{totaal})	max (N_{totaal})	gem(schakel)
eenheid	kWh	mg N/l	mg N/l	mg N/l	mg N/l	-
schakelend (12°C)	5.774	1,2	9,0	2,6	15,1	54,6
fuzzy (12°C)	5.478	1,1	8,9	2,6	15,1	6,4
schakelend (11°C)	5.727	1,2	9,3	2,7	15,5	89,4
fuzzy (11°C)	5.696	1,3	9,2	2,7	15,5	11

Uit tabel 5 komt naar voren dat een significante reductie (meer dan factor 8) van de gemiddelde schakelfrequentie wordt verkregen door introductie van de fuzzy regeling in plaats van een schakelende regeling. Het effect is dat de energieconsumptie met circa 5% is gedaald (12°C) waarbij de gehalten aan N_{totaal} gelijk zijn gebleven. De schakelfrequenties per beluchter zijn gegeven in tabel 6. Hieruit blijkt dat de reductie in schakelfrequentie voor de beluchters in de nitrificatiecompartimenten 5 tot en met 8 zeer groot is. De overige beluchters werken bij benadering hetzelfde als bij de oude regeling. Hierbij wordt opgemerkt dat bij een lagere temperatuur een duidelijke verhoging van de schakelfrequentie optreedt in de nitrificatieruimten 3 en 4.

Tabel 6: Gemiddelde frequentie van schakelen van de beluchters ($u(1)$ tot en met $u(8)$) per dag in de nitrificatiecompartimenten 1 tot en met 8

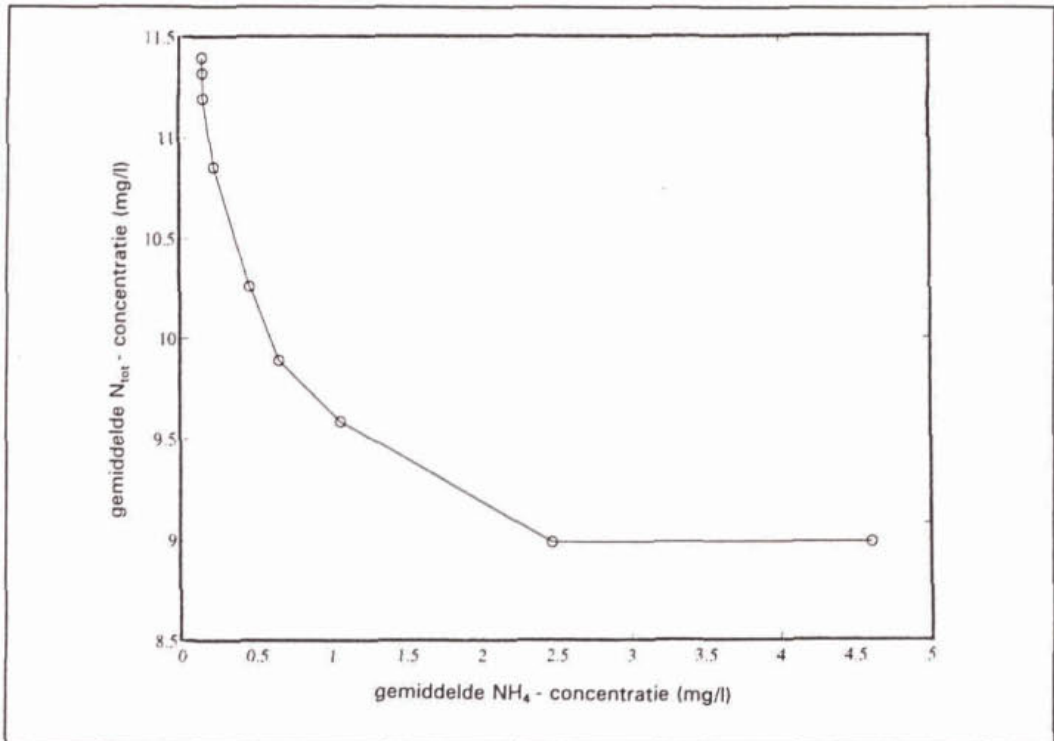
Nitrificatie-compartiment	1	2	3	4	5	6	7	8
Regeling	$u(1)$	$u(2)$	$u(3)$	$u(4)$	$u(5)$	$u(6)$	$u(7)$	$u(8)$
schakelend (12°C)	0,1	0,9	7,1	7,6	105,0	105,0	105,6	105,6
fuzzy (12°C)	0,3	1,1	9,0	9,3	11,1	11,1	4,6	4,6
schakelend (11°C)	0,7	1,3	44,4	44,5	160,7	160,7	151,5	151,5
fuzzy (11°C)	0,7	1,3	41,0	41,0	1,6	1,6	0,4	0,4

4.3 Fuzzy regeling op basis van NH_4 en O_2

Het hoofddoel van het ontwerp van deze regeling is de reductie van de concentratie van N_{totaal} . Omdat NO_3 op de rwzi Nieuwveer niet on-line gemeten wordt, wordt het probleem van de minimalisatie van N_{totaal} hier getransformeerd tot een geschikt criterium voor NH_4 (de twee concentraties zijn aan elkaar gerelateerd). Voordat het ontwerp van de regeling nader wordt toegelicht, wordt eerst in de volgende paragraaf een aantal overwegingen voor een geschikt ontwerpcriterium besproken.

4.3.1 N_{totaal} of NH₄ als regelcriterium?

Er kan worden aangetoond dat in het simulatiemodel NH₄ en N_{totaal} omgekeerd aan elkaar gerelateerd zijn. Deze relatie is weergegeven in figuur 10.



Figuur 10: Relatie N_{totaal} en NH₄

Dit betekent dat als de gemiddelde waarde van NH₄ stijgt, het gemiddelde van N_{totaal} juist daalt.

Elke simulatie correspondeert met verschillende O₂-setpoints in de eerste vier nitrificatiecompartimenten. De overige nitrificatiecompartimenten blijven op een O₂-gehalte van 1,7 mg/l.

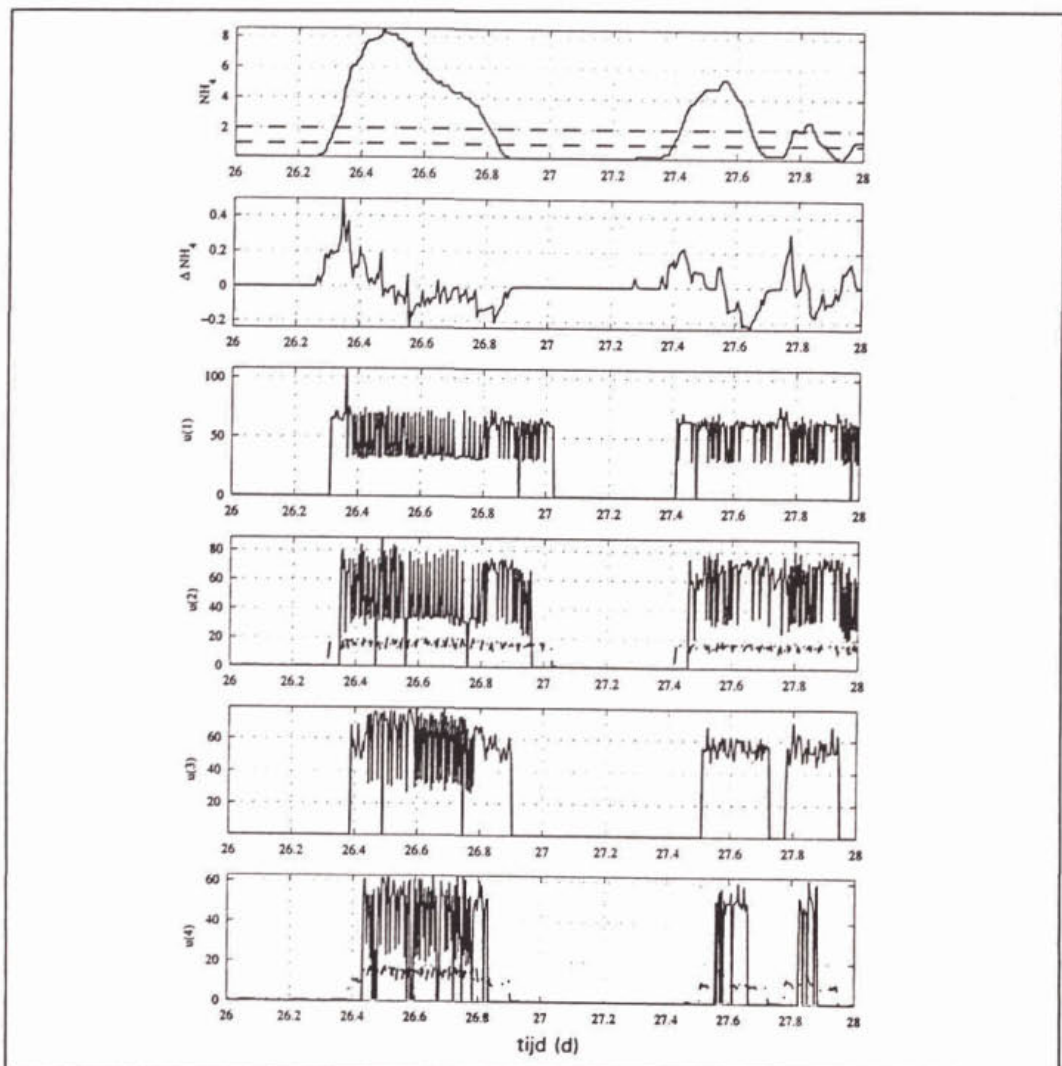
De consequentie hiervan is dat vanuit het oogpunt van de minimalisatie van N_{totaal}, geen beluchting in de nitrificatiecompartimenten 1 tot en met 4 zou moeten worden toegepast. Dit is echter niet realistisch vanwege de vereiste NH₄-effluentconcentratie en de financiële lasten door de heffing. Daarom wordt NH₄ in plaats van N_{totaal} verder als regelcriterium gebruikt.

Voor de toekomst is de definitie van geschikte regelcriteria zeer van belang. Als louter de som van NH₄ en NO₃ wordt gebruikt, heeft NO₃ veel meer invloed omdat de waarden daarvan doorgaans veel hoger zijn. Een eenvoudige oplossing zou het toepassen van een "gewogen" som zijn. Ook het toepassen van een NO₃-sensor verdient dan serieuze overweging.

4.3.2 Ontwerp van de fuzzy regeling op basis van NH_4 en O_2

In hoofdstuk 3 is reeds de huidige NH_4/O_2 -regeling geanalyseerd. Hierbij is geconcludeerd dat de invoer van een extra vertraging in de regeling in de vorm van een debietafhankelijke vergelijking niet optimaal is.

Er kan beter worden getracht het optreden van een piek in NH_4 beter te voorspellen in plaats van de genoemde vertraging op te nemen. Dit kan gebeuren door of de NH_4 -sensor te verplaatsen naar het begin van het proces of door extra signalen te gebruiken. Daar bij het naar voren halen van de NH_4 -sensor in een propstromreactor een extra onzekerheid wordt geïntroduceerd aangaande de garantie van de vereiste NH_4 -concentratie in het effluent, wordt de voorkeur gegeven aan het gebruik van extra signalen. Een mogelijkheid daarvoor is de afgeleide van het NH_4 -signaal. Een ander signaal is het effluentdebiet Q_{eff} .



Figuur 11. Een lineaire combinatie van de eerste afgeleide van de (gecorrigeerde) ammoniumconcentratie en het debiet (gestippelde lijn in het bovenste deel) kan al pieken in NH_4 voorspellen.

Ter illustratie van het idee van de voorspelling van een NH_4 -piek, geeft het bovenste deel van figuur 11 zowel de gemeten NH_4 als de voorspelling ervan door gebruikmaking van een lineaire combinatie van NH_4 , de afgeleide ervan en Q_{eff} . Dit signaal kan gebruikt worden om de beluchters op tijd aan te schakelen en zo de pieken te verkleinen.

De vier onderste afbeeldingen in figuur 11 geven de schakelfrequentie in de nitrificatiecompartimenten 1 tot en met 4 gedurende de meetperiode weer.

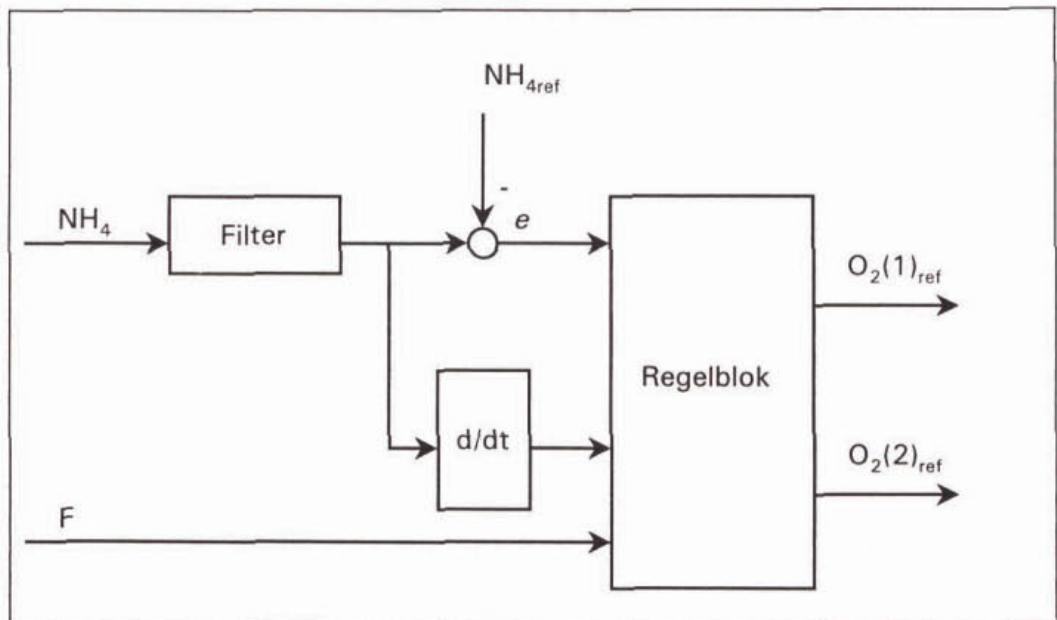
Om uitsluitend pieken te voorspellen, en lage waarden van NH_4 niet te beïnvloeden, dient een niet-lineaire, op regels gebaseerde, combinatie van deze signalen toegepast te worden. Een mogelijke structuur van een dergelijke fuzzy NH_4 -regelaar wordt hierna gegeven.

De voorgestelde fuzzy regeling is weergegeven in figuur 12. Het is een PD-regelaar met een extra voorwaarts signaal. Het regelblok in deze regeling is vrijwel identiek aan de ratioregeling zoals beschreven door de STOWA (1) en ziet er als volgt uit:

1. Als e^{**} is $\text{NE}^*)$ dan $O_2(1)_{\text{ref}}$ is $\text{LA}^*)$ en $O_2(2)_{\text{ref}}$ is LA
2. Als e is $\text{NU}^*)$ dan $O_2(1)_{\text{ref}}$ is LA en $O_2(2)_{\text{ref}}$ is LA
3. Als e is $\text{MP}^*)$ dan $O_2(1)_{\text{ref}}$ is $\text{HO}^*)$ en $O_2(2)_{\text{ref}}$ is LA
4. Als e is $\text{SP}^*)$ dan $O_2(1)_{\text{ref}}$ is HO en $O_2(2)_{\text{ref}}$ is HO

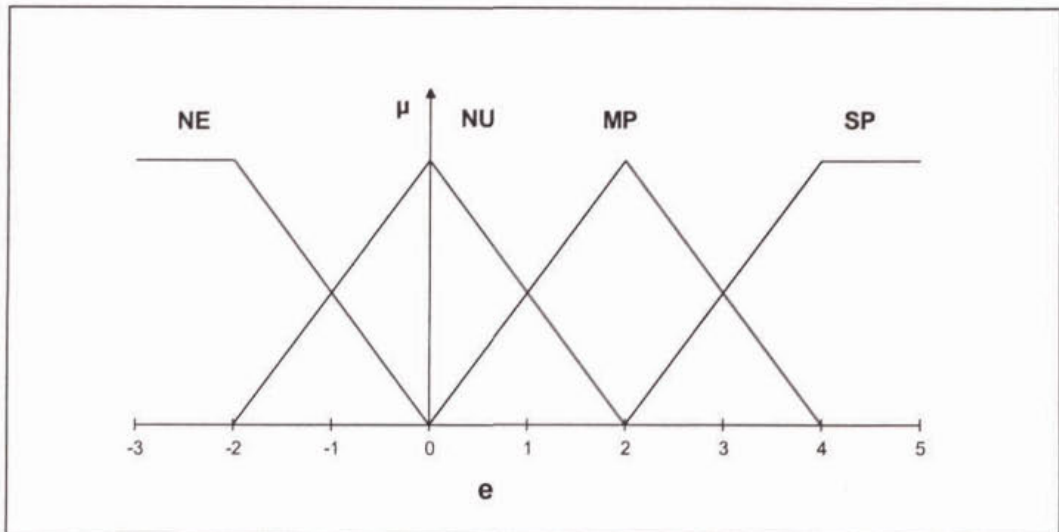
*) Waarin NE is 'negatief', NU is 'nul' en MP is 'matig positief' en SP is 'sterk positief', LA is 'laag', HO is 'hoog'

***) $e = \text{NH}_4 - \text{NH}_4, \text{ref}$

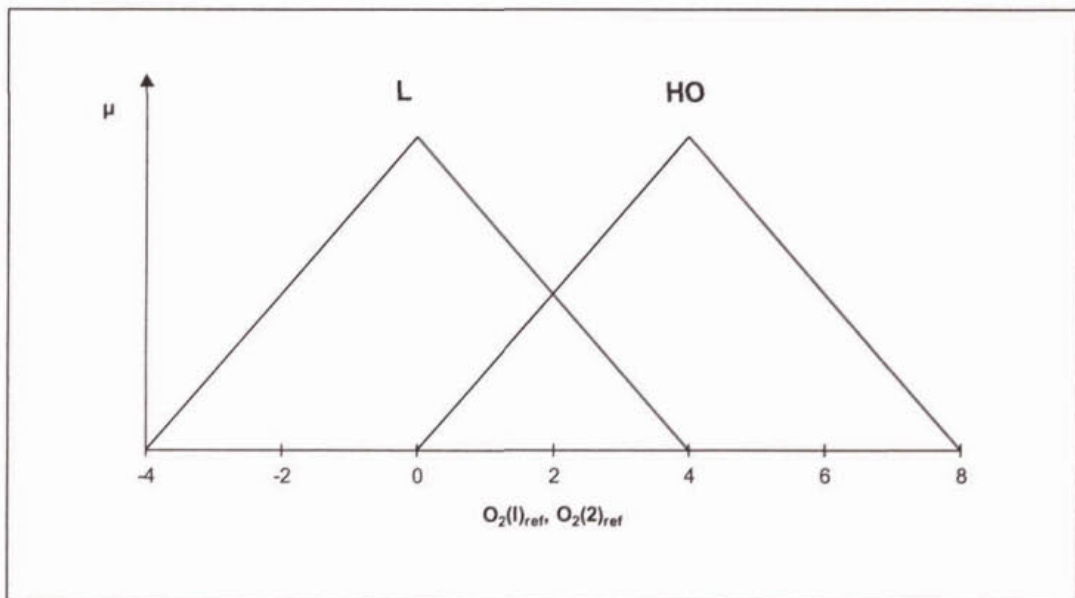


Figuur 12. Blokdiagram van de fuzzy regeling op basis van NH_4 en O_2

De lidmaatschapsfuncties voor de fout e en de O_2 -setpoints zijn weergegeven in de figuren 13 en 14.



Figuur 13. Lidmaatschapsfuncties voor de fout $e = NH_4 - NH_{4, ref}$



Figuur 14. Lidmaatschapsfuncties voor de O_2 setpoints

Daar het aanwezige SIMBA-model van de rwzi, vanwege de complexe opbouw, niet volledig geschikt bleek te zijn om goede en snelle simulaties uit te voeren met de ontworpen multivariabele regelaar, is alleen de foutfunctie e gebruikt voor het verkrijgen van vergelijkingen met de oorspronkelijke NH_4 -regeling.

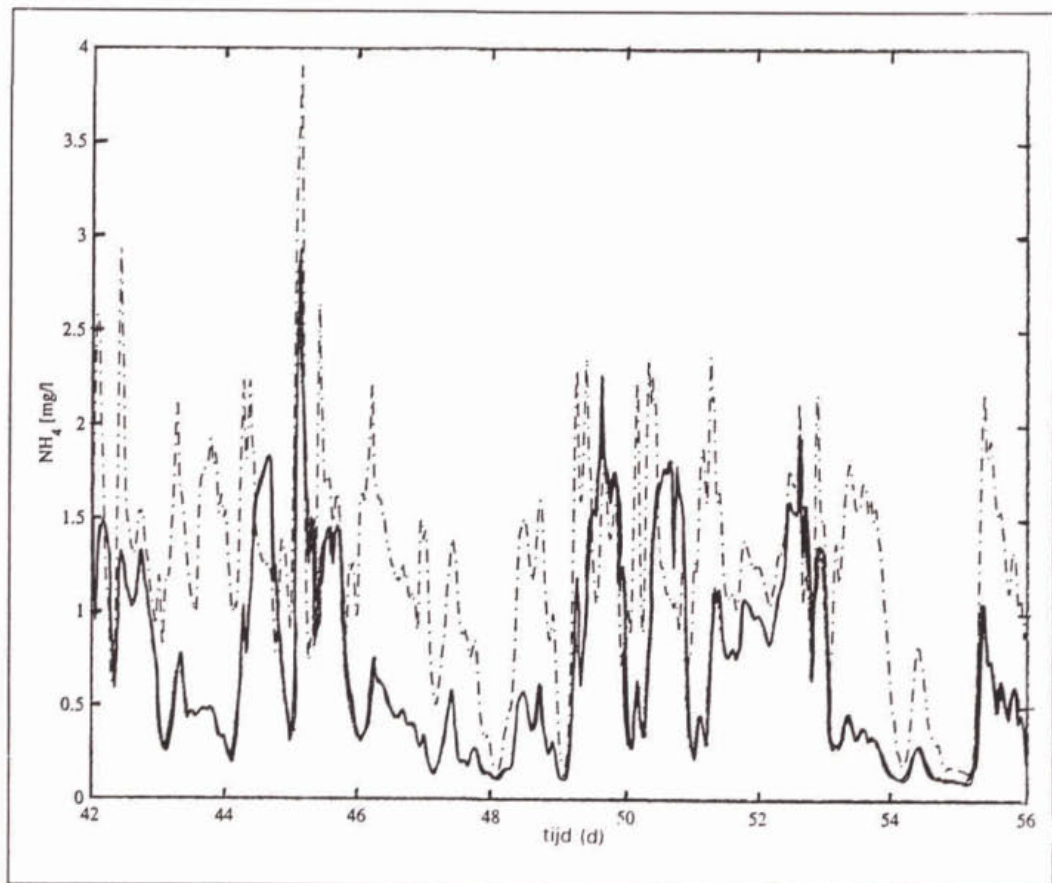
4.3.3 Resultaten van de simulatie fuzzy met de regeling op basis van NH_4 en O_2

Ondanks het feit dat de regeling niet alle mogelijkheden ten volle gebruikt, leidt de voorgestelde structuur tot een verbetering van de NH_4 concentratie in het effluent, zie tabel 7.

Tabel 7. Gemiddelde energieconsumptie per dag, gegevens over NH_4 en de gemiddelde schakelfrequentie per dag.

Regeling	energie	gem (NH_4)	std (NH_4)	max (NH_4)	gem(schakel)
eenheid	kWh	mg N/l	mg N/l	mg N/l	-
oorspronkelijke NH_4 (12°C)	5.784	1,2	0,6	3,9	54,6
fuzzy NH_4 (12°C)	6.144	0,7	0,5	2,9	9

Uit de tabel valt op te maken dat zowel de gemiddelde als de maximale waarden van NH_4 zijn gedaald in de nieuwe regelstructuur ten koste van een licht verhoogde energieconsumptie met circa 5%. Deze verhoogde energieconsumptie is volledig gerelateerd aan de extra NH_4 -verwijdering. De schakelfrequentie blijft zeer laag. In figuur 15 is een vergelijking van het NH_4 -gehalte in het effluent tussen de oorspronkelijke en de voorgestelde regeling gegeven.



Figuur 15. NH_4 -concentratie van het effluent bij gebruik van de oorspronkelijke regeling (gestippeld) en met de fuzzy NH_4 -regeling (ononderbroken lijn).

Bij de huidige beluchttingsregeling in de 'nieuwe' tweede trap van de rwzi Nieuwveer is sprake van overmatig aan- en uitschakelen van de puntbeluchter met het daarbij behorende energieverbruik en "hoge" pieken in het verloop van de NH_4 -gehalten in het effluent (6-9 mg/l). De regelstrategie is gebaseerd op een 'harde' aan-uit controle van de 8 puntbeluchters op basis van de signalen van vier O_2 -meters, die zijn geïnstalleerd in de nitrificatiecompartimenten 2, 4, 6 en 8. De puntbeluchters worden per paar geregeld (1/2, 3/4, 5/6, 7/8). Bovendien wordt het signaal van een NH_4 -meter (locatie nitrificatiecompartiment 8) en het signaal van het influentdebiet gebruikt voor het aan- en uitschakelen van de puntbeluchters in de nitrificatiecompartimenten 1 tot en met 4. De huidige NH_4 -regelaar werkt als een poort die de regelaars voor de laatstgenoemde beluchters aan of uitschakelt, op een manier die gelijk is aan een cascade (4-3-2-1).

Het totale zuiveringsproces, zowel waterlijn als sliblijn, is door derden gemodelleerd in SIMBA. Ten gevolge van de complexiteit van het model, de wijze van implementatie van de diverse regelingen en stapsgrootte van de simulatie is besloten het model te beperken tot de 'nieuwe' tweede trap. Hoewel het simulatiemodel voor de gebruikte meetgegevens van december 1997 niet volledig kon worden gecalibreerd, was het model goed bruikbaar voor simulaties ten behoeve van het uittesten en vergelijken van andere beluchtingstrategieën.

Op basis van de analyse van de huidige beluchttingsregeling en de geconstateerde negatieve effecten zijn in het kader van dit onderzoek enkele fuzzy regelingen ontworpen die in potentie een verbetering kunnen bewerkstelligen. De volgende twee regelingen zijn geselecteerd:

- directe fuzzy regeling op basis van O_2 ;
- fuzzy regeling op basis van NH_4 en O_2 .

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Een directe fuzzy regeling op basis van O_2 levert een aanzienlijke verbetering op in de schakelfrequentie. Een reductie met een factor 8 of hoger kon worden bereikt. De gemiddelde schakelfrequentie per beluchter kon worden teruggebracht van 1 x per kwartier naar 1 x per twee uur. De energieconsumptie van de beluchters kon met circa 5% worden gereduceerd waarbij de gehalten aan N_{totaal} en NH_4 gelijk bleven.
2. Een fuzzy regeling op basis van NH_4 en O_2 levert een vrijwel identieke verbetering op in de schakelfrequentie in vergelijking met de directe fuzzy regeling. Zowel de gemiddelde als de maximale waarden van NH_4 zijn licht gedaald ten koste van een verhoging van de energieconsumptie met 5% ten opzichte van de oorspronkelijke regeling.

Er kan worden gesteld dat de implementatie van twee fuzzy regelingen in het SIMBA-model van de tweede trap van de rwzi Nieuwveer een eenduidig effect heeft opgeleverd voor de schakelfrequentie van de puntbeluchters. De effecten op de energieconsumptie en de verbetering van de continue effluentkwaliteit, met name NH_4 , lijken minder significant en moeilijker kwantificeerbaar. Dit is mede veroorzaakt door de opgelegde beperkingen van de mogelijkheden van de processtrategieën van de onderzochte RWZI.

Gezien de praktijkresultaten met implementatie van fuzzy regelingen op rwzi's in Duitsland (2, 3, 4) kunnen de effecten toch als redelijk positief worden beoordeeld.

In het algemeen kan worden gesteld dat de toepassing van fuzzy regelingen perspectief biedt bij zuiveringssystemen waarbij sprake is van een hoge complexiteit in sturingsacties voor de desbetreffende beluchtingeenheden en overige apparatuur.

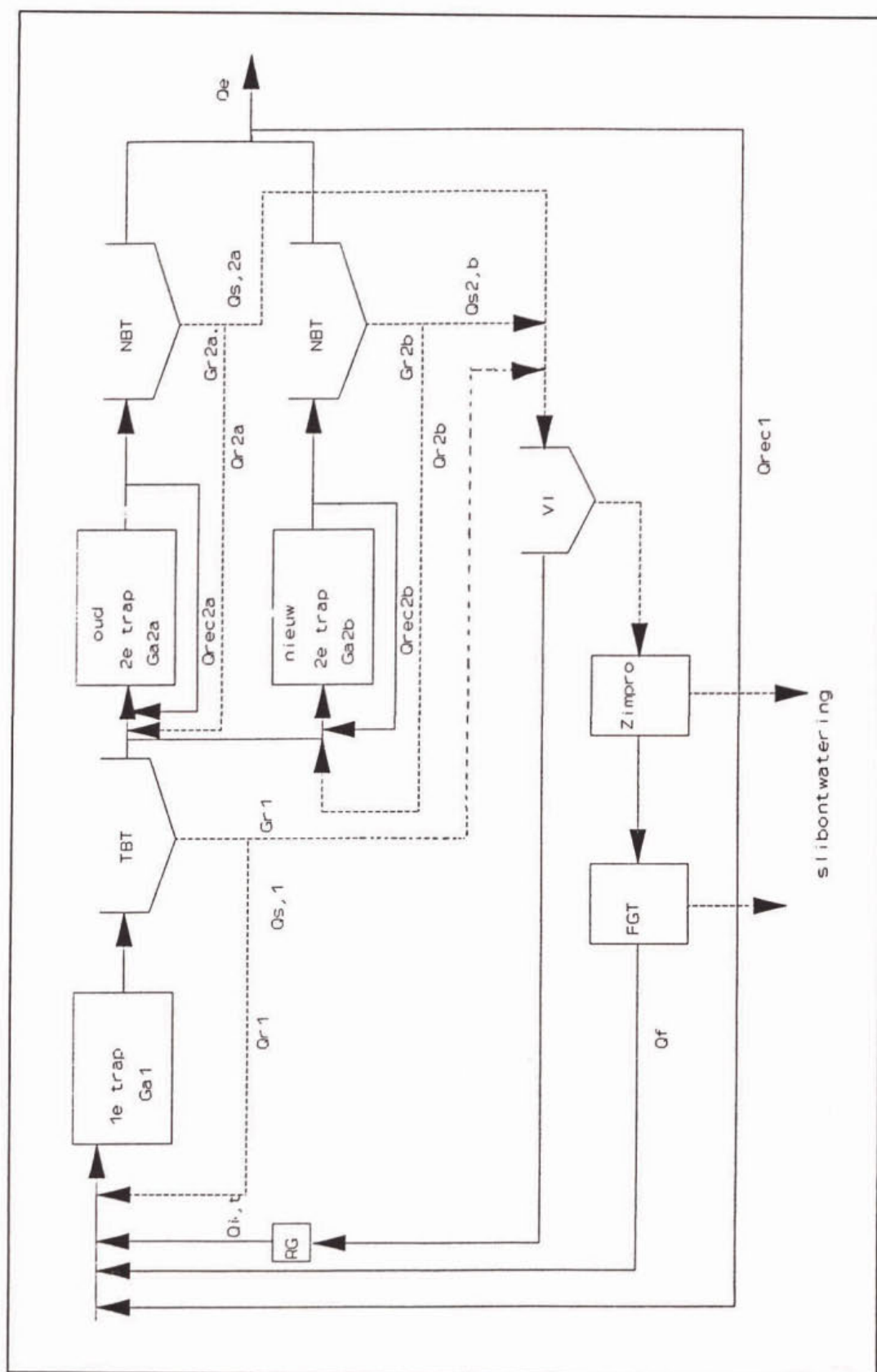
Implementatie van fuzzy regelingen kan worden overwogen indien 'hardware'-matige aanpassingen, zoals het installeren van frequentieomvormers (FO's) ten behoeve van een beter regelbereik, hogere investeringen vergen dan het aanpassen van de software in de PLC-programmatuur. Daar een frequentieomvormer van één puntbeluchter of compressor een investering vergt in de orde van minimaal f 20.000,-- lijkt bovenstaande overweging uitsluitend voor bestaande grote rwzi's opportuun.

1. STOWA. De toepasbaarheid van fuzzy control bij het zuiveren van stedelijk afvalwater 1997 (97-32).
2. Hansen, J. Der Einsatz von Fuzzy Control für Regelungsaufgaben in Bereich der Nährstoffelimination in kommunalen Kläranlagen. Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft. Universität Kaiserslautern, 1997, nr. 10.
3. Fuzzy Control und Neuronale Netze zur Optimierung der Stickstoff- und Phosphor elimination. Fachtagung zum Einsatz innovativer Methoden der Steuerungs- und Regelungstechnik in der Abwasserbehandlung. Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft, Universität Kaiserslautern, 1997, nr. 11.
4. Köllner, S et al. Fuzzy Control zur Optimierung der Stickstoffelimination bei Kaskadendenitrifikation. Korrespondenz Abwasser, 1998, nr. 12.



BIJLAGE 1

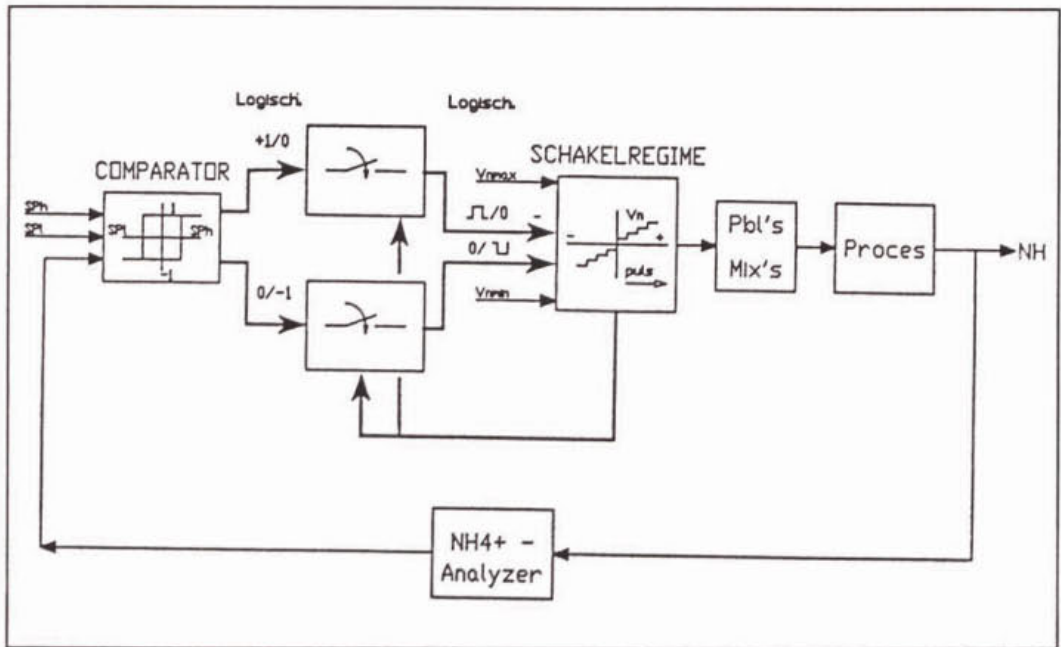
PROCESSHEMA VAN DE RWZI NIEUWVEER



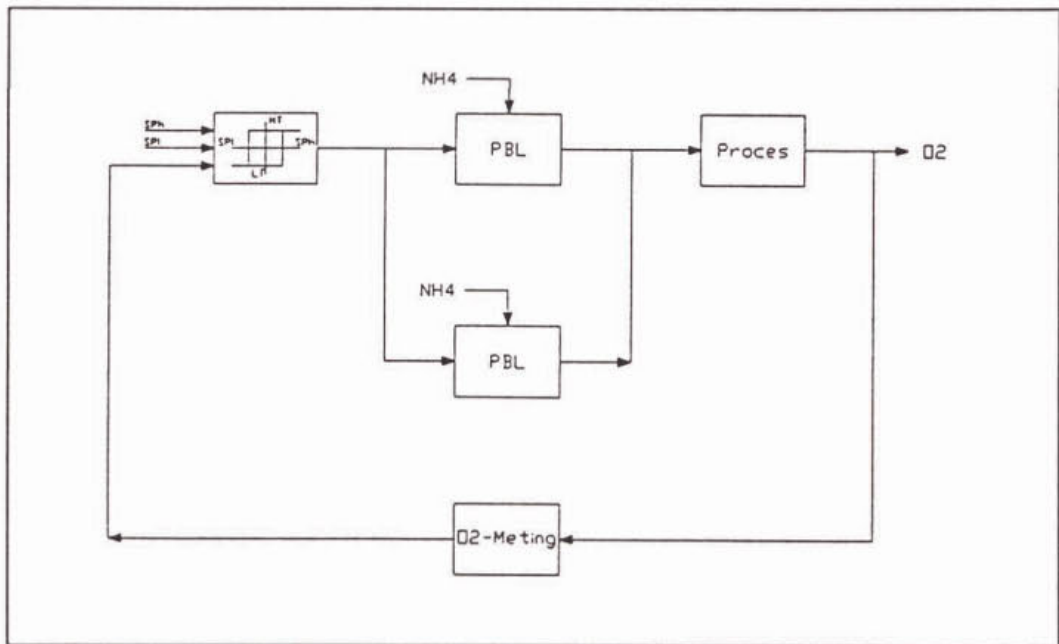
Figuur 16. Processchema van de RWZI Nieuwveer

BIJLAGE 2

DETAILLERING VAN DE HUIDIGE REGELING



Figuur 17. Regeling voor het nitrificatie-volume



Figuur 18. Zuurstofregeling

Principe

In de nitrificatiecompartimenten 1, 2, 3 en 4 van de beluchtingstank 4 zijn zowel puntbeluchters als mixers opgesteld. Deze compartimenten kunnen door het blokkeren van ofwel de mixer, danwel de puntbeluchters als nitrificatie-, respectievelijk denitrificatievolume ingezet worden.

De volgorde bij het opschakelen van nitrificatievolumes is nitrificatiecompartiment 4-3-2-1 en bij het afschakelen 1-2-3-4.

Een vergelijkingsorgaan (compartiment) bepaalt of de gemeten waarden binnen de ingestelde setpoints valt. Is dit niet het geval, dan wordt een logisch signaal afgegeven als vraagsignaal voor het op- of afschakelen van nitrificatievolume.

Door middel van een bemonsteringstijd T_s (instelbaar) wordt er voor gezorgd dat slechts één compartiment per periode T_s op- of afgeschakeld wordt. Deze sampletijd kan afzonderlijk ingesteld worden voor het op- of afschakelen en start nadat het vergelijkingsorgaan een logisch signaal voor het op- of afschakelen van het nitrificatievolume afgegeven heeft.

Het schakelregime bepaalt hoeveel compartimenten (dus puntbeluchters) er vrijgegeven worden voor nitrificatie. Er kan een onder- en een bovengrens ingesteld worden voor het aantal nitrificatiecompartimenten. De sampling wordt weer vrijgegeven nadat het verplaatste volume water de ammonium-analyser, in nitrificatiecompartiment 6, 7 of 8, bereikt heeft en de monsternameperiode verstreken is. Tot dit punt bereikt is wordt, derhalve door het schakelregime geen actie ondernomen.

De positie van het voortschrijdend front wordt als volgt bepaald.

Uitgangspunten:

- beluchtingstank werkt volgens het propstroomprincipe, dat wil zeggen het in- en uitgangsdebiet van een compartiment is gelijk;
- begin en eind van de beluchtingstank zijn respectievelijk 0 en 100%;
- totale volume van de doorstroming tot het punt van analyse in de beluchtingstank is V [m];
- ingangsdebiet van compartiment 1 is afhankelijk van het vijzelbedrijf van de influent-, retourslib- en interne recirculatie vijzels;
- het berekende verplaatste volume geldt onder normale bedrijfsvoering.

Het bepalen van de positie van het voortschrijdend front start op het moment dat het nemen van een monster vrijgegeven is. Het nemen van monsters wordt hierna weer geblokkeerd.

Het verplaatste volume in de beluchtingstank kan met onderstaand formule berekend worden:

$$dV[n] = \sum_{t=0}^{n \approx \infty} \left\{ \frac{1}{3600} Q(t)_n \cdot T \right\}$$

Met:

$dV[n]$	=	het verplaatste volume op het moment n	[m ³]
n	=	teller die na elke tijd t met 1 verhoogd wordt	[1]
T	=	tijd waarover de verplaatsing van het front wordt berekend	[s]
$Q(t)_n$	=	het aanvoerdebiet aan de beluchtingstank op het tijdstip t	[m ³ /h]

Het nemen van een monster wordt vrijgegeven, indien de volgende vergelijking geldt en de bemonsteringstijd t_{analyser} van de analyser verstreken is.

$$dV[n] \geq V - V[0]$$

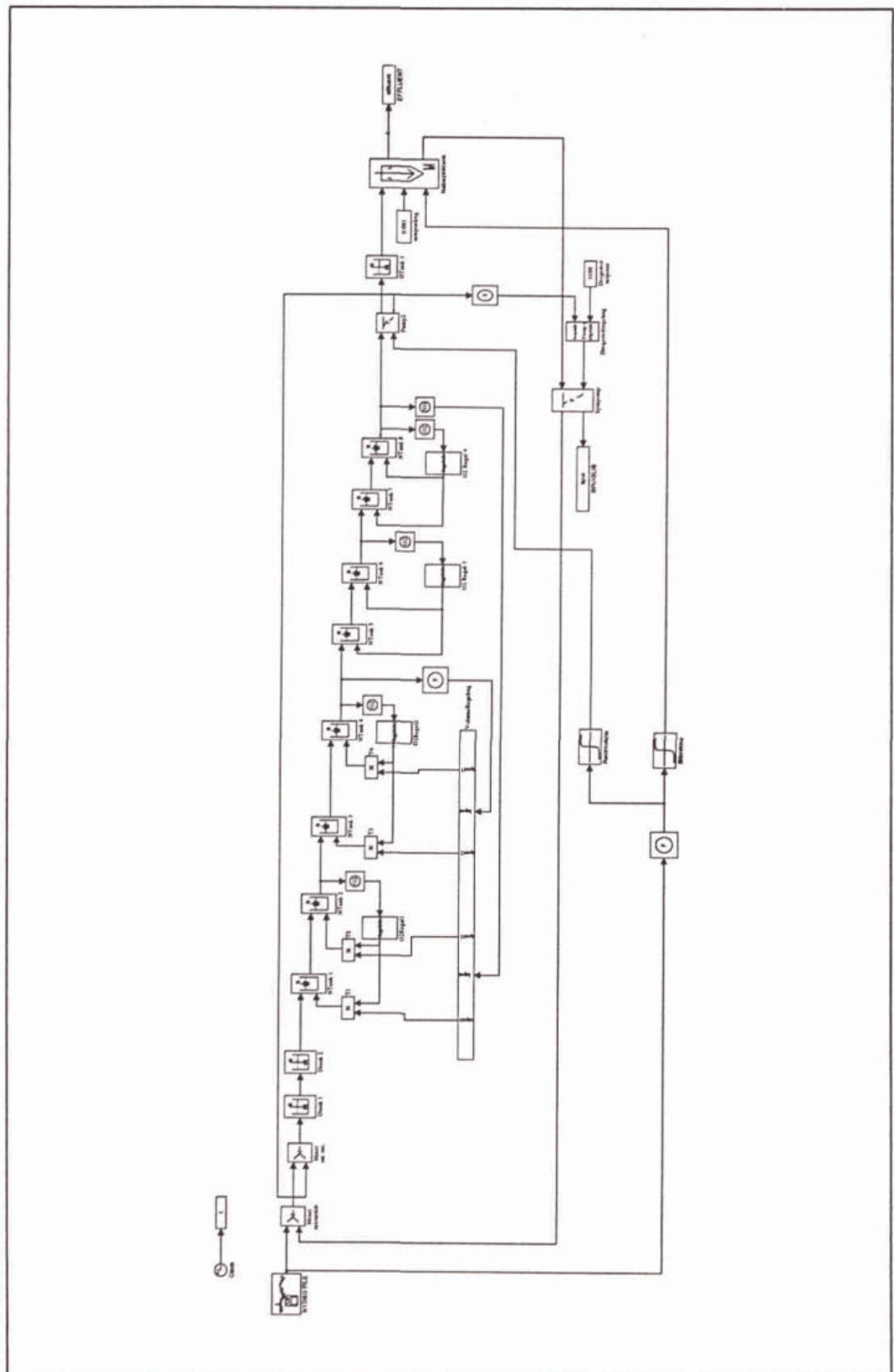
De bemonsteringstijd start nadat de bovenstaande vergelijking geldt.

Met:		
$dV[n]$	=	het verplaatste volume op het moment n [m³]
V	=	totale volume van de doorstroming tot het punt van beluchtingstank (influent + effluentrecirculatie + interne recirculatie + retourslib) [m³]
$V[0]$	=	begin volume van de laatste actie [m³] (= volume tot de overgang van denitrificatie naar denitrificatie)
t_{analyser}	=	bemonsteringstijd van de ammonium-analyser [s]

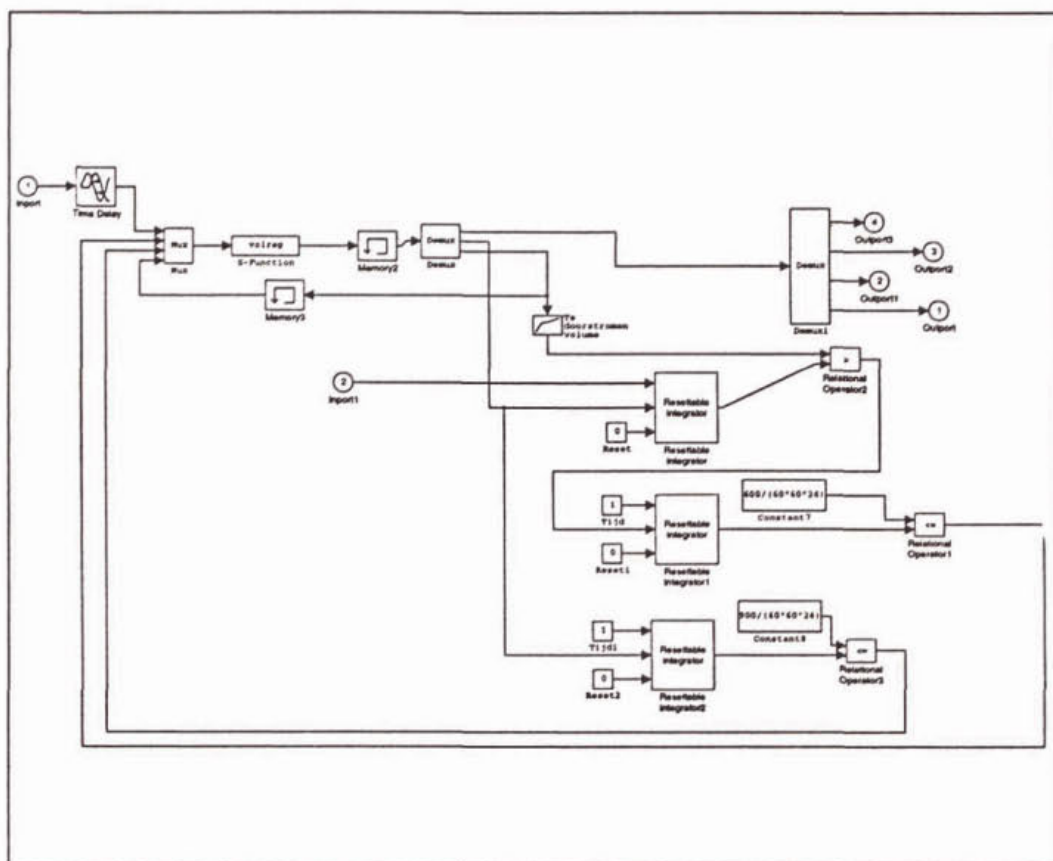
Indien men het verplaatste volume $dV[n]$ optelt bij het beginvolume $V[0]$ en deelt door de totale (V) van de doorstroming en vermenigvuldigd met 100% verkrijgt men een procentuele aanduiding van de positie van het voorschrijdend front.

BIJLAGE 3

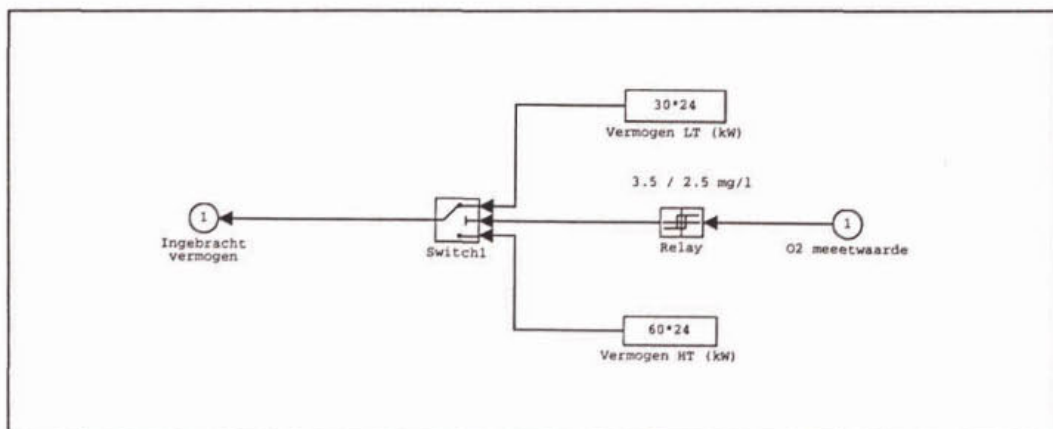
DETAILS VAN HET SIMBA MODEL



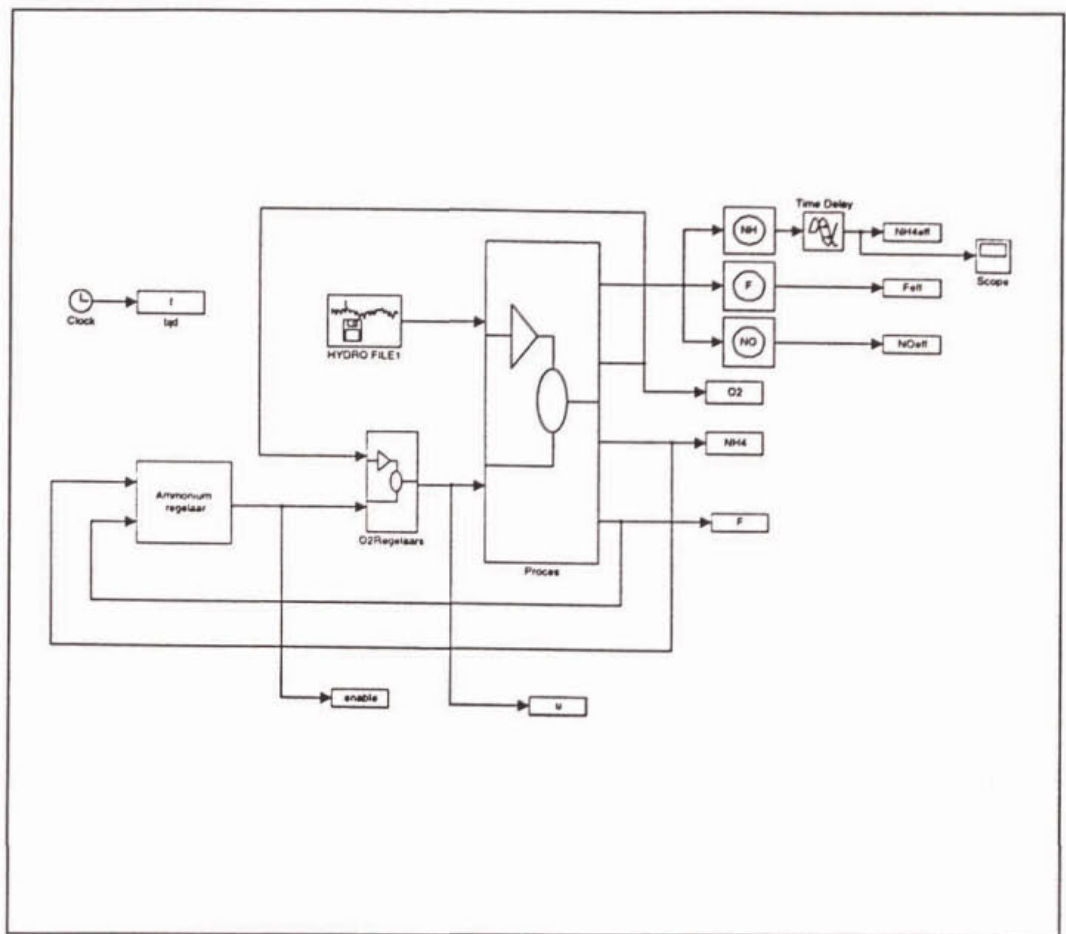
Figuur 19. Oorspronkelijk SIMBA blokdiagram van het proces, met daarin de regelaars.



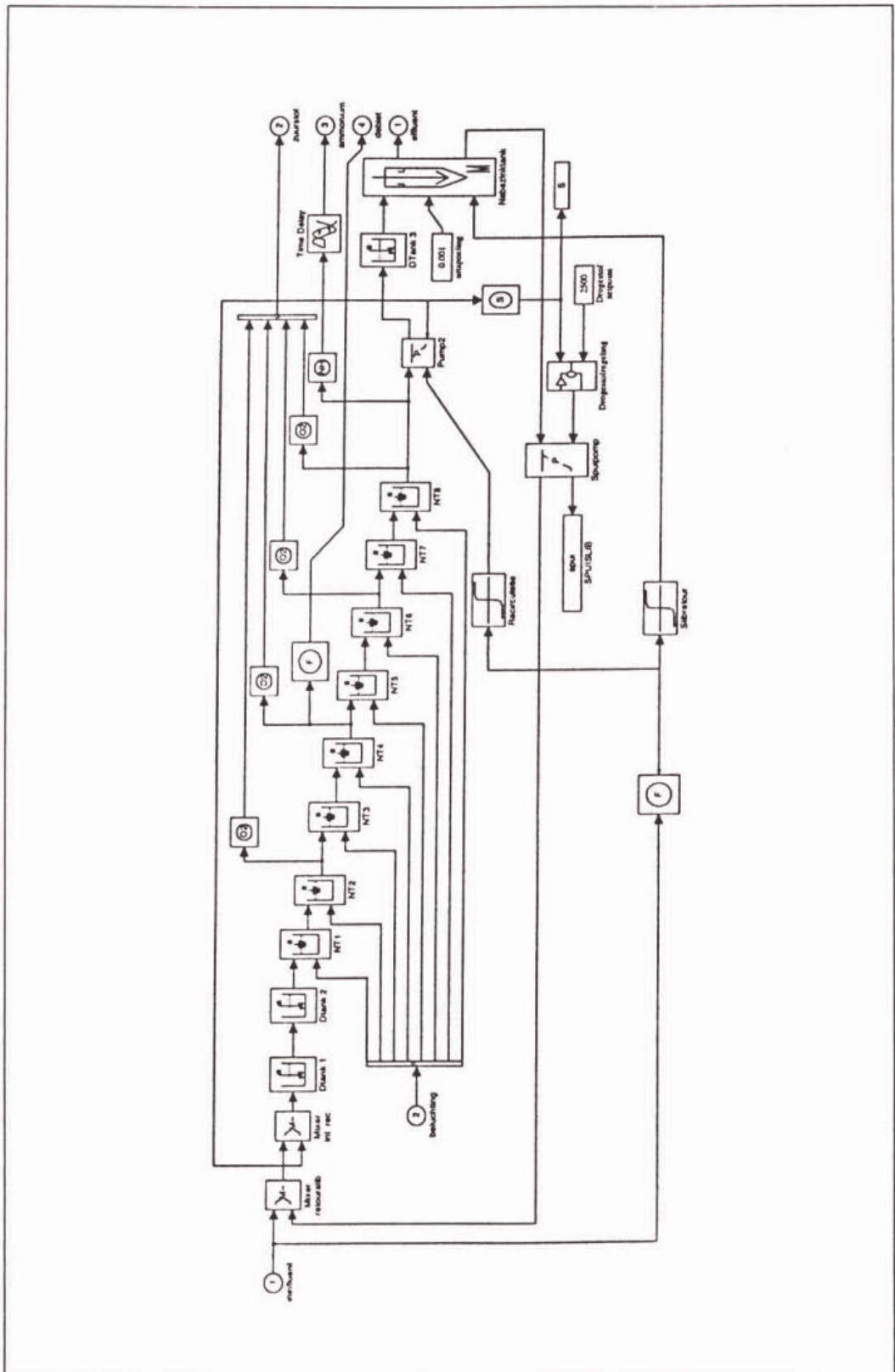
Figuur 20. Oorspronkelijke ammoniumregeling.



Figuur 21. Een van de vier oorspronkelijke regelaars van de beluchting. De overige zijn identiek.

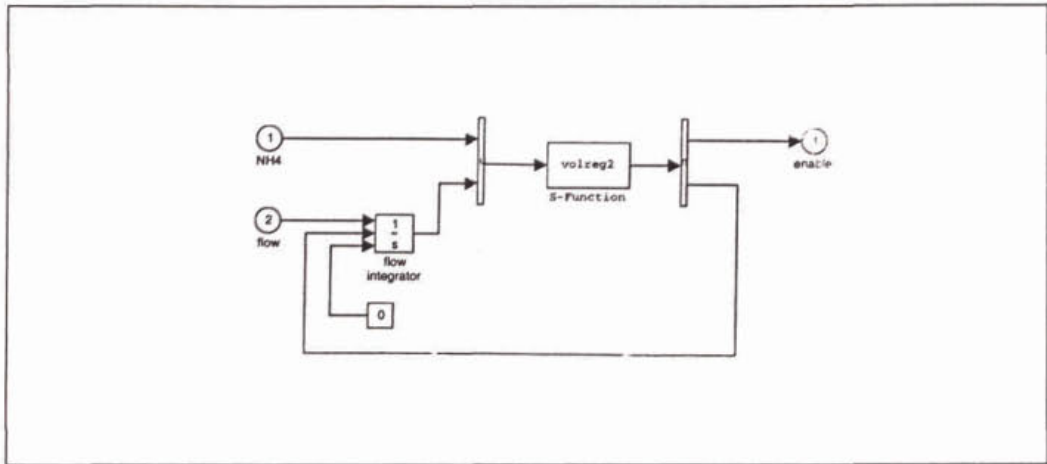


Figuur 22. Aangepast SIMBA blokdiagram van het proces, met daarin de regelaars.

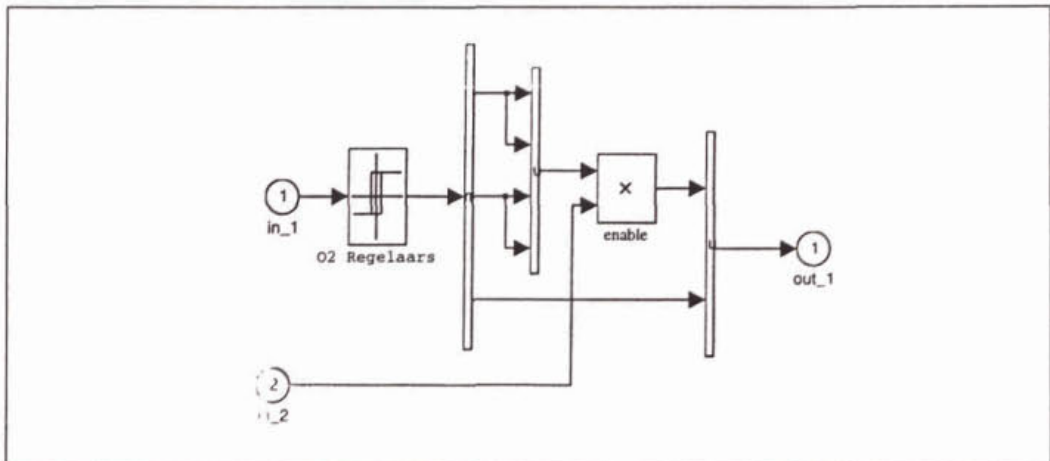


Figuur 23.

Aangepast procesdiagram



Figuur 24. Aangepaste ammoniumregelaar.



Figuur 25. Aangepaste (gevectoriseerde) beluchttingsregelaars.

```

The volreg.m s-function is listed below:
function [sys, x0] = sfunc(t,x,u,flag,NH4td,mintd,NH4up,NH4down)
%VOLREG2 ammonium regeling.
%
% User parameters:
% NH4td = time delay van ammonium analyse
% mintd = minimum time delay
% NH4up = NH4 drempel voor ++aantal
% NH4down = NH4 drempel voor --aantal
%
% Inputs:
% u(1) = ammonium
% u(2) = integrated flow
%
% Discrete states:
% x(1) = aantal beluchters aan
% x(2) = tijdstip van laatste actie
% x(3) = tijdstip van volgende actie
% x(4) = timer activated
% x(5) = reset flow integrator
%
% Outputs:
% sys(1) = beluchting 4 (aan/uit)
% sys(2) = beluchting 3 (aan/uit)
% sys(3) = beluchting 2 (aan/uit)
% sys(4) = beluchting 1 (aan/uit)
% sys(5) = reset flow integrator

% Copyright (c) 1998 by TU Delft and Haskoning
% Robert Babuska 14-4-98.

if abs(flag) == 2,
    % discrete states
    sys = [x(1:4); 0]; % geef aantal door, no reset
    if t >= x(2) + mintd % mintd elapsed
        if u(2) > (x(1)>0)*(1200*x(1) + 4800), % volume condition
            if ~x(4), % timer not activated
                sys(3:4) = [t+NH4td;1]; % set time of next action
            % activate timer
            % timer activated
            else
                if t >= x(3) % NH4td elapsed
                    if u(1) > NH4up & x(1) < 4, % ++aantal
                        sys(1) = x(1)+1;
                        sys([2 4 5]) = [t;0;1]; % store t, deactivate timer
                        % reset flow integrator
                    elseif u(1) < NH4down & x(1) > 0,
                        sys(1) = x(1)-1; % --aantal
                        sys([2 4 5]) = [t;0;1]; % store t, deactivate timer
                        % reset flow integrator
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end
elseif flag == 3, % outputs
    sys = [(4:-1:1)'<=x(1); x(5)];
elseif abs(flag) == 0, % init
    sys=[0,5,5,2,0,1]; x0 = [0;-mintd;0;0;0];
else
    sys = []; % Real time update (ignored).
end

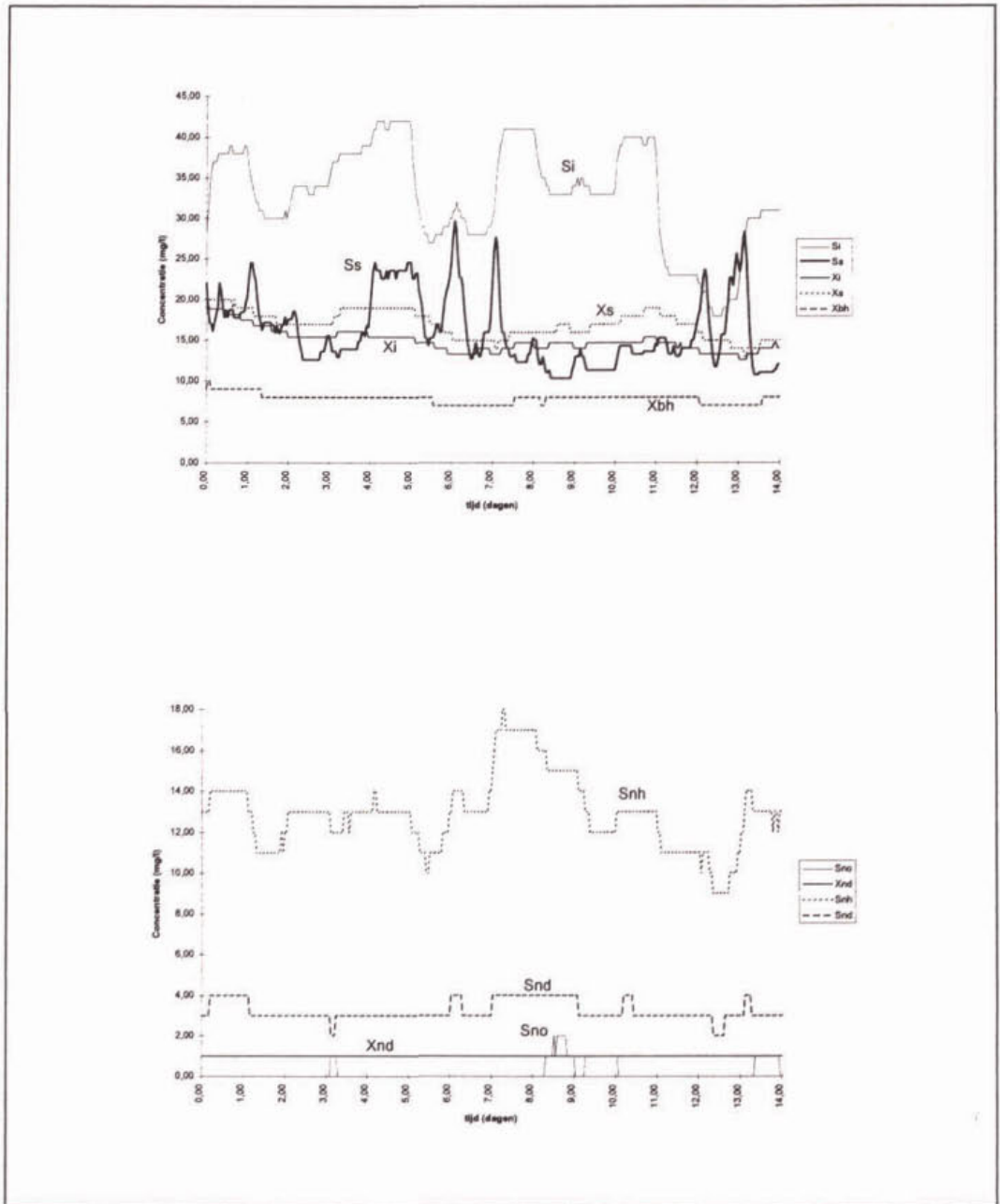
```

Figuur 26.

De beschrijving van de ammoniumregelaar

BIJLAGE 4

VERLOOP VAN DE INFLUENTCONCENTRATIES



Figuur 27. Verloop van de influentconcentraties

