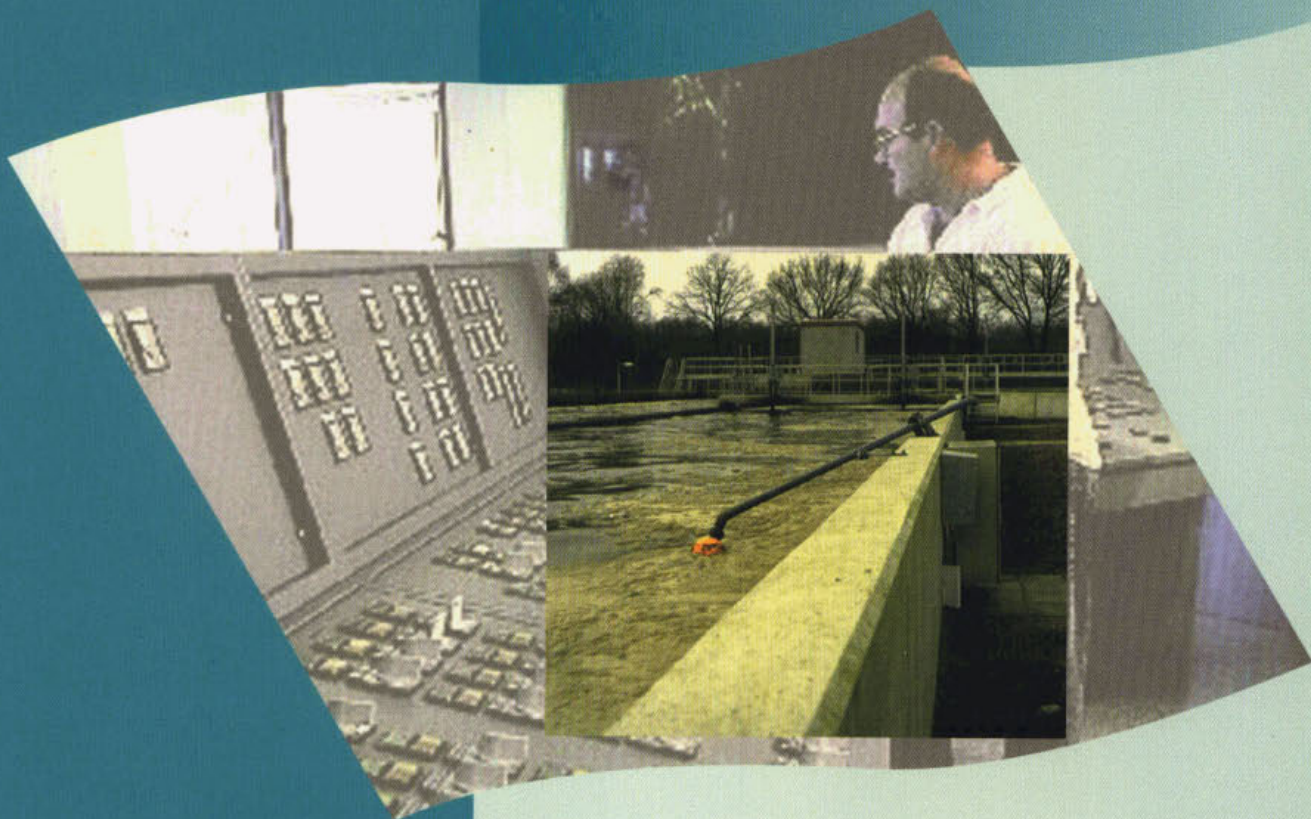


Regelen van stikstofverwijderings- processen in de praktijk



97

33

Regelen van stikstofverwijderings- processen in de praktijk

97

33

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

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079 - 361 11 88
fax 079 - 361 39 27
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.
ISBN 90.5773.002.2

INHOUD**BLAD**

1	TEN GELEIDE	2
2	SAMENVATTING	4
3	INLEIDING	5
4	PROCESAUTOMATISERING	6
	4.1 Algemeen	6
	4.2 Meetinstrumenten	7
	4.3 Regelaars	8
	4.4 Te regelen grootheden	11
	4.5 Regelingen	12
	4.6 Voorwaarden voor een goede regeling	14
	4.7 Dynamische simulatie	15
5	PRAKTIJKONDERZOEKEN	16
	5.1 Algemeen	16
	5.2 Kralingseveer	17
	5.3 Bath	20
	5.4 Beemster	26
	5.5 Gennep	31
	5.6 Utrecht	36
6	EVALUATIE	42
	6.1 Effluentkwaliteit	42
	6.2 Slibbezinkbaarheid	43
	6.3 Energieverbruik	43
	6.4 Processtabiliteit	44
	6.5 Meetapparatuur	44
	6.6 Dynamische simulatie	44
7	TOEPASSING IN DE PRAKTIJK	45
	7.1 Inleiding	45
	7.2 Regeling van de zuurstofinbreng	45
	7.3 Regeling van het intern recirculatiedebiet	50
8	SLOTBESCHOUWING	52
9	REFERENTIES	53

In voorgaand STOWA-onderzoek zijn monitoren voor P en N beproefd, waarbij bleek dat met deze meetapparaten een voldoende nauwkeurig en betrouwbaar meetsignaal te genereren was en dat deze signalen goed toegepast kunnen worden in regelsystemen. Als voordelen van een optimale regeling van zuiveringsprocessen werden genoemd: beperking in uitbreiding van rwzi's, een stabielere effluentkwaliteit en een geringere behoefte aan energie en chemicaliën.

Door het ontbreken van een goede referentiesituatie was het echter niet mogelijk het effect van regelingen op de effluentkwaliteit en op de spreiding in de zuiveringsresultaten te kwantificeren. Met het oog op de voordelen werd het door een aantal waterkwaliteitsbeheerders zinvol geacht om nader onderzoek in de praktijk te verrichten naar de mogelijkheden van regelingen voor nutriëntenverwijderingsprocessen.

Op vijf voor Nederland representatieve rwzi's zijn verschillende regelingen voor de zuurstofinbreng en het interne recirculatie-debiet beproefd en met elkaar vergeleken. De aandacht is daarbij met name uitgegaan naar het optimaliseren van de stikstofverwijdering. Naast het effect van de onderzochte regelingen op de effluentkwaliteit zijn ook neveneffecten als energieverbruik, processtabiliteit en gedrag van de SVI beschouwd. Voor optimaliseren van de regeling kon nuttig gebruik gemaakt worden van dynamische simulatie.

Het onderhavige rapport vat de verschillende praktijkonderzoeken samen en veralgemeniseert de resultaten voor de Nederlandse situatie. De praktijkexperimenten, waarop het rapport is gebaseerd, zijn apart gerapporteerd en eveneens door de STOWA uitgebracht. De bijbehorende titels en rapportnummers luiden als volgt:

- "Praktijkonderzoek aan de stikstofverwijdering op de rwzi Kralingseveer" door het hoogheemraadschap van Schieland, STOWA-werkrapport 97 W 01;
- "Procesbesturing van oxydatiesloten op basis van respirometrie. Meet- en regelstrategieën voor de rwzi Beemster" door het hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, STOWA-werkrapport 97 W 02;
- "Ontwikkeling van een procesbesturing voor oxydatiesloten. Vergelijking van een zuurstof-, een ammonium/zuurstof- en een nitraat/ammonium/zuurstofregeling" door het hoogheemraadschap van USHN, STOWA-werkrapport 97 W 03;
- "Optimalisatie van de stikstofverwijdering op de rwzi Bath" door het hoogheemraadschap van West-Brabant, STOWA-werkrapport 97 W 04;
- "Optimalisatie van de stikstofverwijdering in de waterlijn van de rwzi Utrecht. Regeling van de interne recirculatie" door het hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, STOWA-werkrapport 97 W 05;
- "Ervaringen met regelingen op stikstof en zuurstof op de rwzi Gennepe" door het zuiveringschap Limburg, STOWA-werkrapport 97 W -6.

De werkzaamheden werden door het bestuur van de STOWA opgedragen aan DHV Water B.V. te Amersfoort (projectteam bestaande uit ir. R.W. de Boer, ir. R.J. van der Kuij en ir. H.F. van der Roest). Het project werd namens de STOWA begeleid door een werkgroep bestaande uit mw. dipl.-ing. G. Both (voorzitter), ir. F.T. van Breukelen, ing. J. van Dijk, ir. S.B. Gaastra, ing. J.J. Jonk, ir. A.W.A. de Man, ir. T.G.M. Peeters, ir. P.C. Stamperius, mv. ir. C.A. Uijterlinde, mw. ing. E. Vermulst en ir. W.G. Werumeus Buning.

De praktijkexperimenten, waarin de STOWA financieel participeerde, werden uitgevoerd door de hoogheemraadschappen van de Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, Schieland, West-Brabant en De Stichtse Rijnlanden, en het zuiveringschap Limburg. De STOWA is bijzonder erkentelijk voor de omvangrijke inbreng in het project door deze deelnemers en hun medewerkers.

Utrecht, november 1997

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

Als vervolg op het STOWA-praktijkonderzoek 'Monitoren voor P en N' [6] is op een vijftal lokaties vanaf begin 1994 tot begin 1997 aanvullend onderzoek uitgevoerd. Hierbij is beoordeeld of meetinstrumenten als onderdeel van een regeling kunnen worden ingezet om met name de stikstofverwijdering te verbeteren. Hierbij zijn diverse meetinstrumenten onderzocht voor het regelen van de zuurstofinbreng en de interne recirculatie naar een voordennitrificatieruimte.

Uit de resultaten van de verschillende onderzoeken is gebleken dat na implementatie van de regeling(en) de stikstofverwijdering in de meeste gevallen significant is verbeterd. Ook een verscherpte aandacht voor de bedrijfsvoering en een wijziging in de systeemconfiguratie heeft hier aan bijgedragen.

Voor de beluchtingsregeling kan niet (significant) worden aangegeven welke (combinaties van) meetinstrumenten de beste stikstofverwijdering opleveren. Dit wordt veroorzaakt door relatief korte meetperioden en het verschil in procesomstandigheden. Ook het functioneren van de zuiveringsinstallatie speelt hierbij een rol: er is minder winst te behalen als de effluentkwaliteit al goed is.

De toepasbaarheid van een bepaald type beluchtingsregeling hangt ondermeer af van de systeemconfiguratie, de aanwezige zuiveringscapaciteit en de vereiste effluentkwaliteit.

Geén van de beschouwde beluchtingsregelingen heeft geleid tot een verslechterde slibbezinkbaarheid. Het effect van de regelingen op het energieverbruik is gering.

Het gebruik van een voordennitrificatieruimte gecombineerd met het toepassen van interne recirculatie leidt tot een aanzienlijke verbetering van de denitrificatie. De nitrificatie wordt hierbij niet of nauwelijks beïnvloed. Een regeling van het recirculatiedebiet op basis van de redoxpotentiaal is op de rwzi Utrecht niet goed mogelijk gebleken.

Alleen op de rwzi Utrecht is na implementatie van de regeling een verslechtering van de slibbezinkbaarheid vastgesteld. Dosering van CZV-substraat in de vorm van spuislib leidt op deze rwzi niet tot een verbeterde denitrificatie maar wel tot een duidelijke en structurele verbetering van de slibbezinkbaarheid.

Dynamische simulatie is bij alle onderzoeken toegepast om de regeling vooraf of tijdens het onderzoek te optimaliseren. Hierdoor kon (veelvuldig) experimenteren met verschillende regelingen en/of instellingen voor de regelaar(s) in de praktijk worden voorkomen.

In het algemeen bleek de meetapparatuur weinig storingsgevoelig en wordt een reproduceerbaar meetsignaal verkregen. Preventieve maatregelen (zoals voorafgaande filtratie van het monster) en periodiek onderhoud (reiniging van de membranen, slangetjes etc.) bleek bij de uitgevoerde onderzoeken noodzakelijk voor een goede werking van de meetapparatuur. De benodigde tijd en kosten voor aanschaf en onderhoud zijn veelal terugverdiend door besparing van tijd en kosten voor bemonstering en laboratoriumanalyses.

In het kader van het STOWA-praktijkonderzoek 'Monitoren voor P en N' zijn in 1992 en 1993 op een aantal rwzi's de toepassingsmogelijkheden van online-monitoren onderzocht. Hierbij zijn diverse meetinstrumenten¹⁾ voor de continue bepaling van fosfaat (P) en stikstof (N) beschouwd [6].

Uit de resultaten van het praktijkonderzoek is geconcludeerd dat de meetinstrumenten een voldoende nauwkeurig en betrouwbaar meetsignaal genereren, mits er regelmatig preventief onderhoud wordt gepleegd. Toepassing van deze apparatuur voor meet- en regeldoelinden werd zinvol geacht [6].

Door het ontbreken van een goede (geoptimaliseerde) referentiesituatie was het destijds niet mogelijk het effect van de regeling op de effluentkwaliteit en/of op de spreiding van de zuiveringsresultaten te kwantificeren.

Op grond van de bovengenoemde conclusies en ervaringen in het buitenland is besloten het onderzoek naar de toepassing van meetinstrumenten in regelingen bij de P- en N-verwijderingsprocessen voort te zetten. Op vijf voor Nederland representatieve rwzi's zijn verschillende regelingen voor de zuurstofinbreng en het interne recirculatie-debiet beproefd, geoptimaliseerd en met elkaar vergeleken. Hierbij ging de aandacht met name uit naar het optimaliseren van de stikstofverwijdering. Het effect van de regeling op de fosfaatverwijdering is hierbij slechts zijdelings beschouwd.

Naast het effect van de beschouwde regeling(en) op de effluentkwaliteit zijn ook neveneffecten als energieverbruik, stabiliteit van het zuiveringsproces en de invloed op de slibvolume-index in beschouwing genomen.

Afhankelijk van de specifieke lokatie dan wel de complexiteit van de beschouwde regeling is dynamische simulatie ingezet als hulpmiddel voor het optimaliseren van de regeling.

De participanten hebben separaat hun resultaten gerapporteerd [1,2,3,4,5].

In het onderhavige rapport zijn de resultaten van de verschillende deelonderzoeken samengevat en zijn de resultaten veralgemeniseerd voor de Nederlandse situatie.

Teneinde de resultaten van de deelonderzoeken te kunnen plaatsen tegen de achtergrond van de meet- en regeltechniek, zijn in hoofdstuk 4 de belangrijkste basisbegrippen behandeld. Daartoe is ondermeer ingegaan op meetinstrumenten, regelaars, te regelen grootheden en regelingen die op het gebied van de afvalwaterzuivering voor de verwijdering van stikstof en fosfaat relevant zijn. Tevens is kort aandacht besteed aan het nut van dynamische simulatie. In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van de verschillende deelonderzoeken samengevat. De gedetailleerde resultaten van de deelonderzoeken zijn separaat gerapporteerd.

In hoofdstuk 6 zijn de belangrijkste resultaten van de deelonderzoeken geëvalueerd. Een veralgemenisering van de conclusies voor de Nederlandse situatie is gegeven in hoofdstuk 7. Tenslotte bevat hoofdstuk 8 de slotbeschouwing.

De participanten hebben bij de interpretatie van de meetgegevens zoveel mogelijk gebruik gemaakt van een statistische toets, de zogenaamde Student-t-toets [8,9,10].

¹⁾waar in de tekst wordt gesproken over meetinstrumenten worden ook online-monitoren bedoeld

4 PROCESAUTOMATISERING

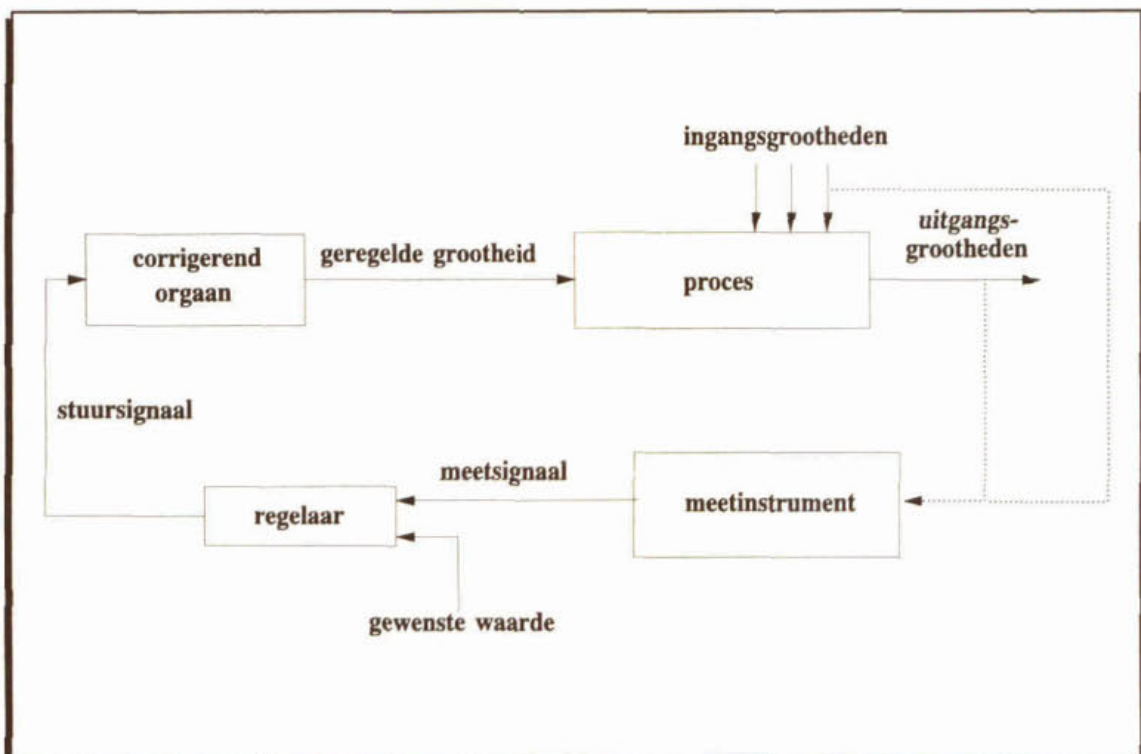
4.1 Algemeen

Naast de zuurstofmeter en de redoxmeter worden op rwzi's steeds frequenter geavanceerde meetinstrumenten voor meet- en regeldoeleinden ingezet. Voorbeelden hiervan zijn de ammonium-, de nitraat-, de fosfaatmonitor en de respiratiemeter. Deze meetinstrumenten zijn de laatste jaren sterk verbeterd en genereren nauwkeurige en reproduceerbare meetsignalen. Monsternamen, voorbehandeling, analyse en kalibratie worden volledig automatisch uitgevoerd.

Deze ontwikkeling heeft ertoe geleid dat deze meetapparatuur, samen met 'conventionele' meetinstrumenten, voor diverse doeleinden wordt ingezet. Hierbij kan worden gedacht aan:

- procesbewaking (continue controle van de influent- en effluentkwaliteit);
- procesregeling (automatische regeling van de verschillende processen in een rwzi);
- procesoptimalisatie (bijvoorbeeld het streven naar een verbeterde effluentkwaliteit of naar een lager grondstoffengebruik);
- data-acquisitie (het verkrijgen en verwerken van meetgegevens).

In het kader van dit project zijn diverse meetinstrumenten ingezet om het (zuiverings)proces te regelen. Een schematische weergave van een geregeld proces is weergegeven in afbeelding 1.



Afbeelding 1 Schematische weergave van een geregeld proces

Bij een geregeld proces kunnen de volgende grootheden worden onderscheiden:

- *ingangsgrootheden*: grootheden die het (zuiverings)proces beïnvloeden. Ingangsgrootheden worden onderverdeeld in:
 - . grootheden die het proces beïnvloeden, maar waarop niet kan worden ingegrepen (bijvoorbeeld de omgevingstemperatuur). Deze grootheden worden ook wel als niet-manipuleerbare grootheden of storingen aangeduid;
 - . grootheden die het proces beïnvloeden, maar waarop wel kan worden ingegrepen (bijvoorbeeld het influentdebiet of de N- en P-vracht). Deze grootheden worden ook als manipuleerbare grootheden aangeduid.
- *geregelde grootheden*: manipuleerbare ingangsgrootheden die het proces kunnen sturen c.q. corrigeren. Een voorbeeld is de zuurstofinbreng of het interne recirculatie-debiet.
- *uitgangsgrootheden*: grootheden die ná het proces worden gemeten en waarop de geregelde grootheid een invloed kan hebben (bijvoorbeeld de effluentconcentratie van een bepaalde component of het effluentdebiet).

De meeste processen worden geregeld omdat het proces niet zelf-regelend is, danwel bepaalde grootheden op een gewenste waarde dienen te worden gehandhaafd, danwel storende invloeden aanwezig zijn die moeten worden gecompenseerd. Alleen dan kan een optimaal economisch en/of technologisch resultaat worden bereikt.

Er zijn ook processen waarbij een evenwichtswaarde wordt bereikt, zonder te zijn geregeld. Een voorbeeld hiervan is de verzadigingswaarde van zuurstof in water, die door beluchten nooit hoger zal worden dan een bepaalde waarde.

De verschillende onderdelen van een geregeld proces, zoals weergegeven in afbeelding 1, worden in de volgende paragrafen separaat besproken.

4.2 Meetinstrumenten

In het onderhavige project zijn één of meer regelingen beproefd, waarbij verschillende meetinstrumenten zijn ingezet. Deze meetinstrumenten en hun meetprincipes zijn vermeld in tabel 1. Indicatief zijn de responsietijd en de 'kale' investeringen (excl. BTW, montage en bedieningsinstructie) van het meetinstrument gegeven.

Het is bij de selectie van een meetinstrument van belang dat de specificaties van het apparaat nauw aansluiten bij het doel en de lokatie van de meting. Van belang zijn ondermeer:

- *de analysetijd*

Dit is de tijd die noodzakelijk is voor monsteranalyse en het genereren van een meetsignaal. Deze tijd is vooral afhankelijk van het meetprincipe. Naast de analysetijd dient ook rekening te worden gehouden met:

 - . een eventuele voorbehandeling(stijd) van het monster;
 - . de afstand tussen het monsternamepunt en het meetinstrument;
 - . de bemonsteringstijd (afhankelijk van het meetinstrument).

Daarnaast speelt binnen het ontwerp van een regeling de *systeemtraagheid* (van het proces) een rol, waarop verderop wordt ingegaan.
- *de nauwkeurigheid*

Een meetinstrument dat alleen voor data-acquisitie wordt toegepast, heeft minder nauwkeurige meetsignalen te genereren dan een meetinstrument dat wordt ingezet binnen een regeling.

- *de betrouwbaarheid*
Vanzelfsprekend is ook de betrouwbaarheid c.q. bedrijfszekerheid van een meetinstrument belangrijk. Veelal zijn gegevens bij de leverancier beschikbaar omtrent het percentage van de tijd dat een meetinstrument in de praktijk niet goed functioneert.
- *het meetbereik*
Het meetbereik van het meetinstrument dient vanzelfsprekend aan te sluiten bij de verwachte concentraties van de te meten component op de meetlocatie.
Daarnaast zijn onderhoudsaspecten (frequentie en tijdsduur van schoonmaken, benodigde chemicaliën etc.) van belang.

Voorbehandeling

Voor de meeste geavanceerde meetinstrumenten is, afhankelijk van het meetprincipe en de meetlocatie, een voorafgaande filtratie voor de verwijdering van zwevende stof noodzakelijk. Hiervoor wordt tot nu toe meestal een ultrafiltratie-eenheid toegepast, bestaande uit één membraan of twee parallel geschakelde membranen. De investeringen van de voorbehandelingseenheid (+ pomp) bedragen circa f 7.000,- (één membraan) tot f 10.000,- (twee membranen). Recentelijk zijn echter steeds meer meetinstrumenten verkrijgbaar waarbij een separate filtratie-stap niet meer noodzakelijk is.

Tabel 1 Kenmerken van de beschouwde meetinstrumenten

Component	Meetprincipe	Analysetijd [min.]	Investeringen [NLG]
ammonium	potentiometrisch (ionselectief) colorimetrisch/spectrofotometrisch	< 5 5-15	30.000 - 40.000,-
nitraat + nitriet ¹⁾	potentiometrisch (ionselectief) colorimetrisch/spectrofotometrisch UV-spectrofotometrisch	< 5 5-15 < 1	30.000 - 45.000,-
fosfaat ²⁾	colorimetrisch/spectrofotometrisch	5-15	30.000 - 50.000,-
redoxpotentiaal	potentiometrisch	<< 1	5.000,-
zuurstof	potentiometrisch	<< 1	5.000,-
zuurstofverbruiksnelheid (respirometer)	electrochemisch	10-30	30.000 - 40.000,-
¹⁾ bepaald wordt de NO ₂ -concentratie. Gelet op de normalerwijs geringe nitrietconcentratie in een zuiveringsproces is de meting te beschouwen als een nitraatmeting. ²⁾ met de meeste monitoren wordt ortho-fosfaat geanalyseerd. Voor de bepaling van totaal-fosfaat is een voorafgaande destructie noodzakelijk.			

4.3 Regelaars

Een regelaar ('controller') vergelijkt (het door het meetinstrument gegenereerde) meetsignaal met de gewenste waarde (het 'setpoint'). Aan de hand van logische of rekenkundige bewerkingen wordt een bepaalde grootte zodanig geregeld dat het verschil tussen de gemeten en gewenste waarde binnen een bepaalde tolerantie wordt gecorrigeerd. De regelaar geeft een stuursignaal af aan een zogenaamd corrigerend orgaan (bijvoorbeeld een pneumatische regelklep, een pomp, een beluchter of een in hoogte verstelbare overstort). De grootte van het stuursignaal en dus de grootte van de corrigerende actie is afhankelijk van het verschil tussen de gemeten en de gewenste waarde, het type regelaar en de instellingen van de regelaar.

Een voorbeeld is een zuurstofregelaar die op basis van de gemeten en de gewenste zuurstofconcentratie in de aëratietank de zuurstofinbreng varieert. Dit kan bijvoorbeeld door het vergroten van het toerental of door het verlagen van de indompeldiepte van een puntbeluchter. Om het verschil tussen de gemeten en gewenste waarde te corrigeren kan een groot aantal typen regelaars worden ingezet. Op het gebied van de afvalwaterzuivering wordt slechts een beperkt aantal toegepast.

In volgorde van complexiteit kunnen worden genoemd:

- tijdgebaseerde regelaar;
- PID-regelaar;
- multivariabele regelaars (o.a. fuzzy-logic, MPC, LQG).

Tijdgebaseerde regelaar

Deze regelaar geeft op een vastgesteld tijdstip een stuursignaal af aan het corrigerend orgaan, waarna een corrigerende actie plaatsvindt. Voorbeelden van grootheden die op deze wijze worden geregeld, zijn het primair-slibdebiet en een tijdgebaseerde zuurstofinbreng ('s nachts minder beluchten, overdag meer).

PID-regelaar

Een PID-regelaar is een regelaar waarbij het verschil tussen de gemeten en de gewenste waarde (de afwijking) wordt gecorrigeerd door een proportionele en/of een integrerende en/of een differentiërende actie. De regelaar genereert een stuursignaal dat afhangt van de grootte van het verschil tussen de gemeten en de gewenste waarde (P-actie), de grootte van het verschil in het verleden (I-actie) en de verandering van het verschil in de tijd (D-actie).

De verschillende acties kunnen worden gecombineerd, zodat in de praktijk zowel P-, PI-, PD- en PID-regelaars worden toegepast.

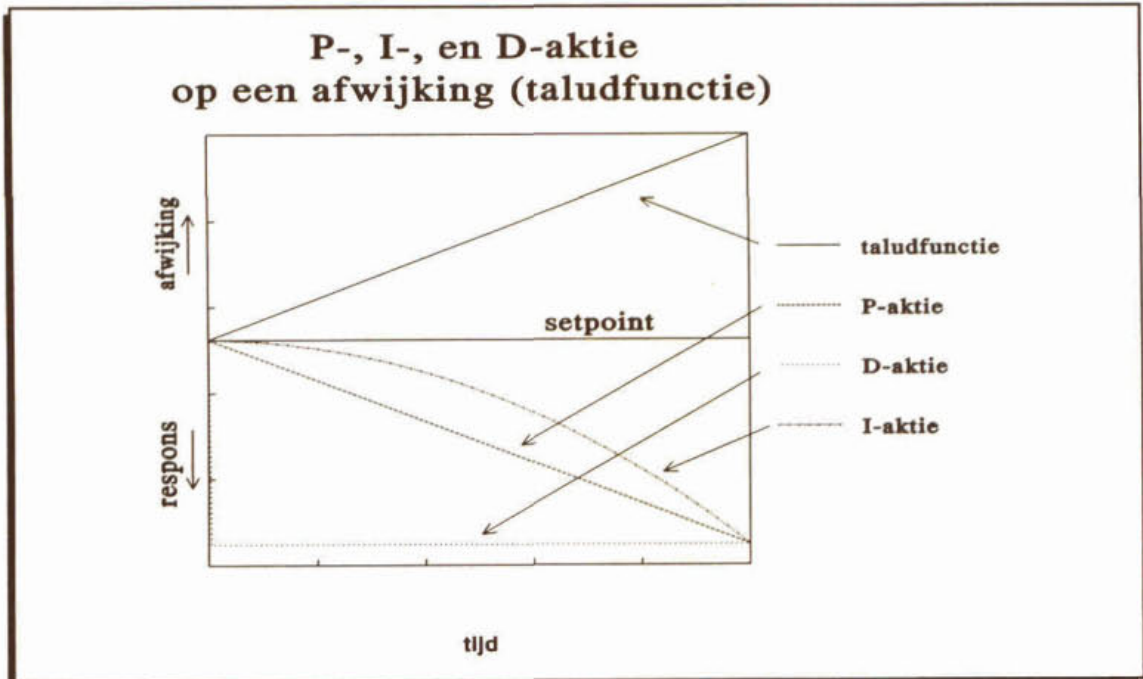
In tabel 2 is het effect van de afzonderlijke corrigerende acties gegeven.

Tabel 2 Effect van de afzonderlijke corrigerende acties

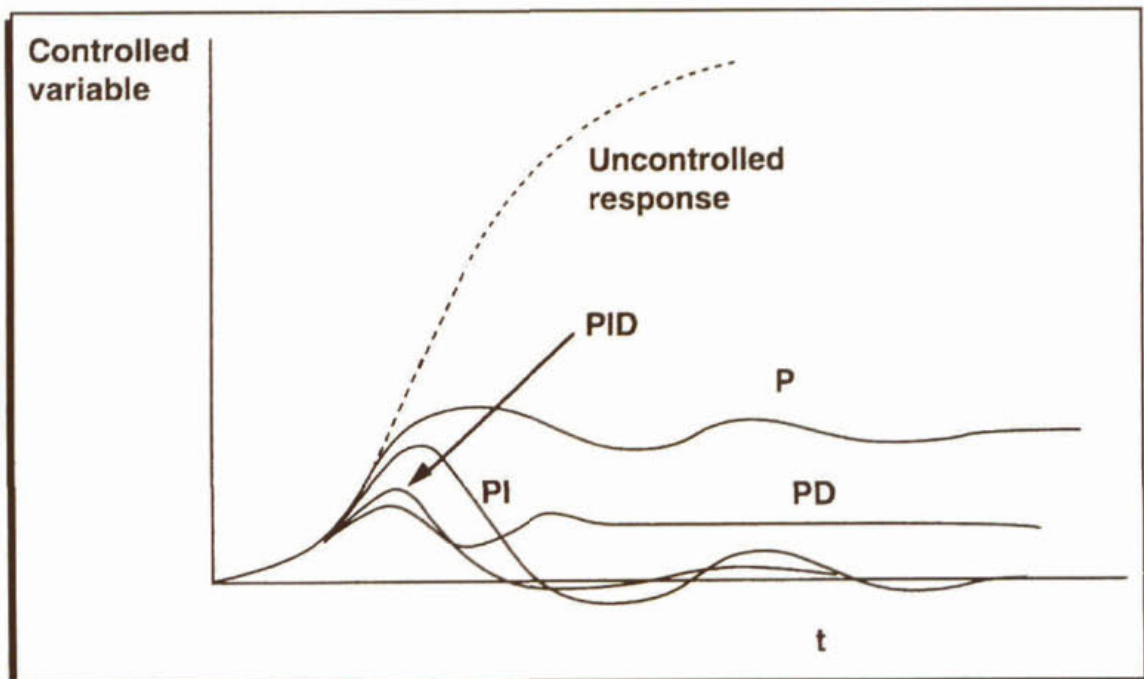
Actie	Effect	Aandachtspunten	Opmerkingen
P	de grootte van het stuursignaal is evenredig met de afwijking	te kleine P-actie: te kleine respons te grote P-actie: te grote respons	. een aanhoudende constante afwijking kan leiden tot een nieuwe 'instelwaarde' . een te grote P-actie kan leiden tot een instabiele regeling (oscillatie)
I	de grootte van het stuursignaal is evenredig met de integraal van de afwijking in de tijd (het stuursignaal wordt continu aangepast, zolang er een afwijking bestaat)	te kleine I-actie: te trage respons te grote I-actie: te snelle respons	. een grote integratietijdsconstante leidt tot een kleine I-actie (en andersom) . indien de afwijking niet snel (genoeg) kan worden gecorrigeerd, zal dit leiden tot een steeds grotere I-actie
D	de grootte van het stuursignaal is evenredig met de verandering van de afwijking in de tijd	te kleine D-actie: te trage respons te grote D-actie: te snelle respons	. een constante afwijking geeft geen respons . een kleine maar snelle afwijking geeft een te snelle respons (bv. meetruis)

In afbeelding 2 is het effect van van de verschillende afzonderlijke acties op een taludvormige afwijking weergegeven. In afbeelding 3 is de respons op een stapvormige afwijking voor de verschillende (combinaties van) acties weergegeven.

Welke combinatie van corrigerende acties benodigd is, is afhankelijk van de proceskarakteristieken (procesconfiguratie, dynamiek van het proces etc.). Eveneens zijn de instellingen van de P-, I- en D-constanten hiervan afhankelijk.



Afbeelding 2 Effect van de verschillende acties op een taludfunctie



Afbeelding 3 Effect van de verschillende (combinaties van) acties op een stapvormige afwijking [11]

Multivariabele regelaars

Een multivariabele regelaar is een regelaar die gebruik maakt van meerdere meet- en stuursignalen. In tegenstelling tot de PID-regelaar wordt met een multivariabele regelaar niet meer gestuurd op één gewenste waarde, maar wordt op basis van verschillende meetsignalen getracht een vooraf geformuleerd doel te bereiken (bijvoorbeeld een vergaande N-verwijdering).

De ontwikkelingen op het gebied van multivariabele regeltechniek hebben inmiddels geleid tot geavanceerde regelaars. De bekendste daarvan zijn de Fuzzy Logic-regelaar, de MPC-regelaar (Model Predictive Control) en de LQG-regelaar (Linear Quadratic Gaussian Control).

Bij de opzet van deze regelaars wordt gebruik gemaakt van kennis van het te regelen proces, hetzij in de vorm van een model, hetzij in de vorm van kennisregels. Dit betekent dat de (goede) werking van de regeling wordt bepaald door de informatie die in de regelaar is geïmplementeerd.

4.4 Te regelen grootheden

Op basis van het door de regelaar gegenereerde stuursignaal kan in het proces worden ingegrepen door één of meer grootheden te regelen via een corrigerend orgaan. Hiermee wordt beoogd afwijkingen van de gewenste waarde te corrigeren.

Van de grootheden die in het zuiveringsproces kunnen worden geregeld, is in tabel 3 een aantal voorbeelden gegeven.

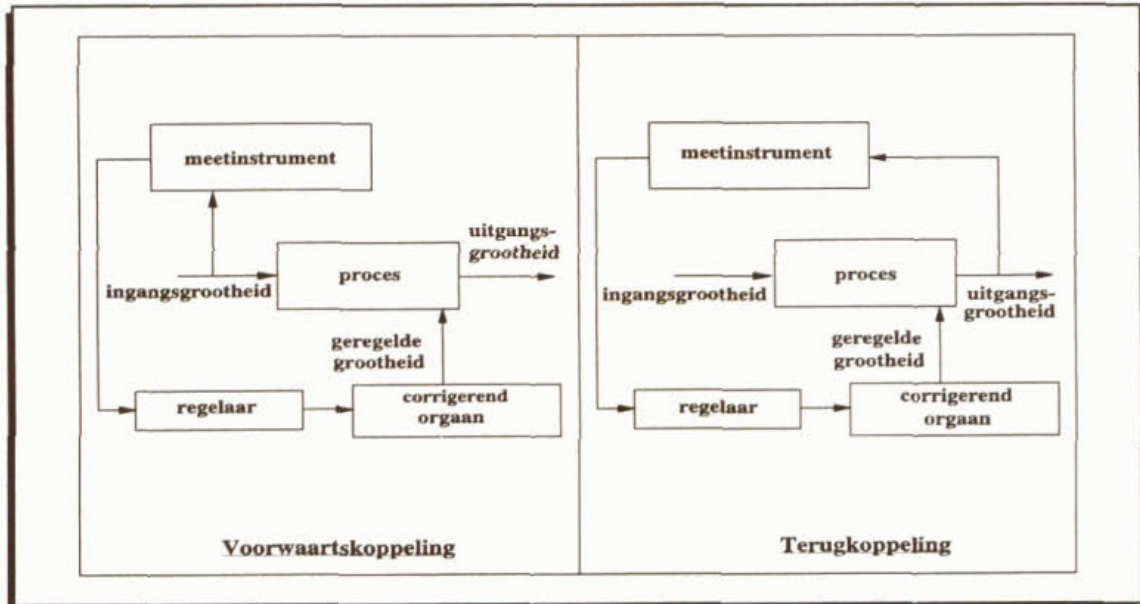
Veelal wordt een combinatie van meetinstrumenten gebruikt om één of meer grootheden te regelen.

Tabel 3 Te regelen grootheden afhankelijk van de gemeten component

Gemeten component	Te regelen grootheid
ammonium	zuurstofinbreng retourslibdebiet buffering van het influent (i.v.m. afvlakken belasting)
nitraat	zuurstofinbreng intern recirculatiedebiet (voor zowel N- als P-verwijdering) C-brondosering
fosfaat	chemicaliëndosering bij precipitatie acetaatdosering bij het deelstroomproces ingangsdebiet van het deelstroomproces
zuurstof	zuurstofinbreng intern recirculatiedebiet
redoxpotentiaal	(intermitterende) zuurstofinbreng intern recirculatiedebiet (voor zowel N- als P-verwijdering) C-brondosering
zuurstofverbruiksnelheid	zuurstofinbreng influentdebiet (buffering i.v.m. toxiciteit)

4.5 Regelingen

Een regeling (ook wel regelkring genoemd) bestaat uit een combinatie van meetinstrumenten, regelaars, corrigerende organen en het te regelen proces. Het doel van een regeling is de afwijking van de gewenste waarde door beïnvloeding van een bepaalde *regelgrootte* te corrigeren. Het meetsignaal kan daarbij op twee verschillende manieren in de regeling ingrijpen, te weten voorwaarts- of teruggekoppeld (zie afbeelding 4).



Afbeelding 4 Principe van voorwaartskoppeling en terugkoppeling

Voorwaartskoppeling en terugkoppeling

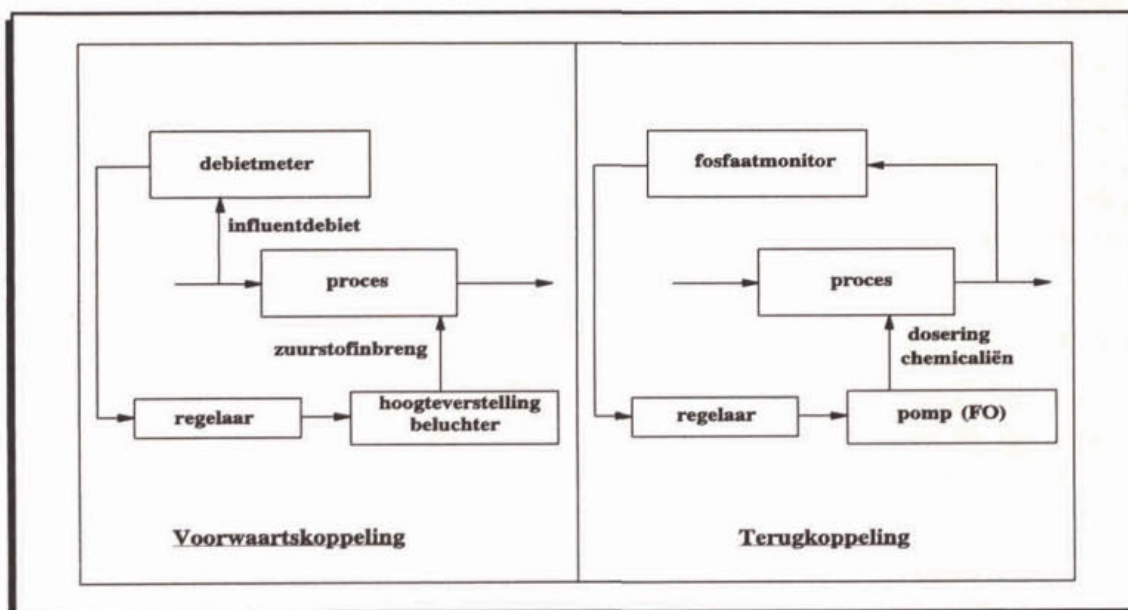
Bij een voorwaartskoppeling of -regeling ('feed forward control') wordt de ingangsgrootte (storing) gemeten en gecompenseerd, voordat deze het proces kan beïnvloeden: er wordt ingegrepen op de oorzaak van de verstoring van het proces. Deze koppeling wordt om deze reden ook wel aangeduid als 'storingscompensatie'.

Een voorbeeld van deze regeling is het meten van het aanvoerdebiet of de ammoniumconcentratie en het daaropvolgend verhogen of verlagen van de zuurstofinbreng in het actief-slibproces. Hierdoor wordt een zuurstoftekort of -overschot vroegtijdig voorkomen.

De meeste voorwaartse regelingen zijn gecombineerd met een terugkoppelende regeling omdat de anticiperende maatregel van een voorwaartskoppeling alleen door een terugkoppeling kan worden gecontroleerd.

Bij een terugkoppeling ('feed back control') wordt de van belang zijnde grootte aan de uitgang van het proces gemeten en vergeleken met de gewenste waarde. Door vervolgens in het proces in te grijpen, wordt de verstoring teniet gedaan: er wordt ingegrepen op het gevolg van de verstoring van het proces. Er is dus altijd een tijdvertraging op het effect van de corrigerende actie, die afhankelijk is van het type (zuiverings)proces: een verhoging van de ammoniumconcentratie door een verhoogde N_{K^-} -aanvoer wordt in een omloopsysteem later gedetecteerd dan in een propstroomreactor (systeemtraagheid).

Een voorbeeld van een terugkoppelende regeling is het meten van de zuurstof- en/of ammoniumconcentratie in een beluchtingssysteem op basis waarvan de zuurstofinbreng wordt aangepast. Een ander voorbeeld is het doseren van chemicaliën op basis van de fosfaatconcentratie in het effluent. Beide voorbeelden zijn in afbeelding 5 schematisch weergegeven.



Afbeelding 5 Voorbeeld van voorwaartskoppeling en terugkoppeling

In dit voorbeeld kunnen worden onderscheiden:

- ingangsgrootheid : het influentdebiet;
- uitgangsgrootheid : de effluentfosfaatconcentratie;
- meetinstrument : de debietmeter en de fosfaatmonitor;
- corrigerend orgaan : de hoogteverstelling van een puntbeluchter en een pomp;
- geregelde grootheid : de zuurstofinbreng en de chemicaliëndosering.

Voorheen werden vooral **enkelvoudige regelingen** toegepast: op basis van één meetsignaal werd in het proces ingegrepen. Een voorbeeld hiervan is het regelen van de zuurstofinbreng op basis van de zuurstofconcentratie. Het is ook mogelijk om op basis van meerdere meetsignalen deze zuurstofinbreng te realiseren. In dit verband kunnen de volgende gangbare **meervoudige regelingen** worden genoemd:

- cascaderegeling;
- verhoudingsregeling.

Cascaderegeling

Het is mogelijk twee of meer regelaars te combineren in de vorm van een cascade- ofwel meester/slaaf-regeling. Deze regeling is gebaseerd op twee of meer terugkoppelende regelaars, waarbij de slaafregelaar ('slave') relatief snel een groot deel van de verstoring compenseert en de meesterregelaar langzaam bijregelt door de gewenste waarde (het setpoint) van de slaafregelaar aan te passen. Dit type regeling combineert een relatief snelle correctie voor een snelle verstoring en een langzame correctie voor trage verstoringen.

Een voorbeeld is de NH_4/O_2 -regeling, waarbij de gewenste waarde ('setpoint') van de zuurstofregelaar (slaaf) wordt aangepast aan de hand van het verschil tussen de gemeten en de gewenste ammoniumconcentratie. Op welke wijze (snelheid, amplitude) de gewenste waarde wordt aangepast, hangt af van de instellingen van de ammoniumregelaar (meester).

Het verschil tussen de gemeten en gewenste zuurstofconcentratie bepaalt vervolgens de grootte van het stuursignaal voor de beluchters en dus de snelheid en grootte van de zuurstofinbreng.

Verhoudingsregeling

Bij een verhoudingsregeling wordt niet geregeld op de gewenste waarde van de afzonderlijke grootheden, maar op een gewenste waarde van de verhouding van deze grootheden.

Een voorbeeld hiervan is een regeling op basis van $\text{NH}_4/(\text{NO}_3 + \text{NH}_4)$, waarmee de N-totaalconcentratie beter in de hand kan worden gehouden dan indien alleen op de ammonium- of de nitraatconcentratie wordt geregeld. Het nadeel van alleen een ammoniumregelaar (de denitrificatie is ondergeschikt) of alleen een nitraatregelaar (de nitrificatie is ondergeschikt) wordt met deze regeling voorkomen.

4.6 Voorwaarden voor een goede regeling

Het opnemen van één of meer meetinstrumenten en regelaars in een regeling betekent niet zondermeer dat een goede regeling is verkregen. Hiervoor worden andere eisen gesteld, die zich laten vertalen in de volgende trefwoorden:

- adequaat;
- betrouwbaar;
- eenvoudig;
- robuust;
- stabiel.

Adequaaf

Met de regeling dienen vooraf omschreven doelen bereikbaar te zijn. Dit betekent dat technologisch, technisch en economisch inzicht nodig is in de gevolgen van de implementatie van de regeling in het proces. Een regeling die forse financiële implicaties met zich mee brengt, maar slechts een geringe verbetering van het zuiveringsrendement oplevert, zal niet als een optimale regeling worden aangemerkt. Evenmin zal een regeling kunnen worden ontworpen voor een vergaande stikstofverwijdering op een hoogbelaste aktiefslibinstallatie.

Voor een adequate regeling zijn de instellingen van een regelaar van groot belang. Deze instellingen zijn sterk afhankelijk van het influentpatroon (zowel debieten als concentraties) en het type zuivering. De instellingen van een regelaar ten behoeve van bijvoorbeeld de zuurstofinbreng dienen specifiek te worden afgestemd op een propstroom- of een omloopconfiguratie: de dynamiek van het proces is bepalend voor de instellingen.

Betrouwbaar

Een regeling dient ongevoelig te zijn voor signaalverstoringen, maar daarentegen gevoelig te zijn voor "verwachte" c.q. gemeten procesverstoringen.

Eenvoudig

Een regeling dient niet complexer te zijn dan strikt noodzakelijk. De kosten en de risico's op fouten en problemen nemen toe met de complexiteit, terwijl de inzichtelijkheid in het doel van de regeling afneemt.

Een meervoudige, complexe regeling voor het doseren van chemicaliën bijvoorbeeld is overbodig indien met een relatief eenvoudige PID-regelaar kan worden volstaan.

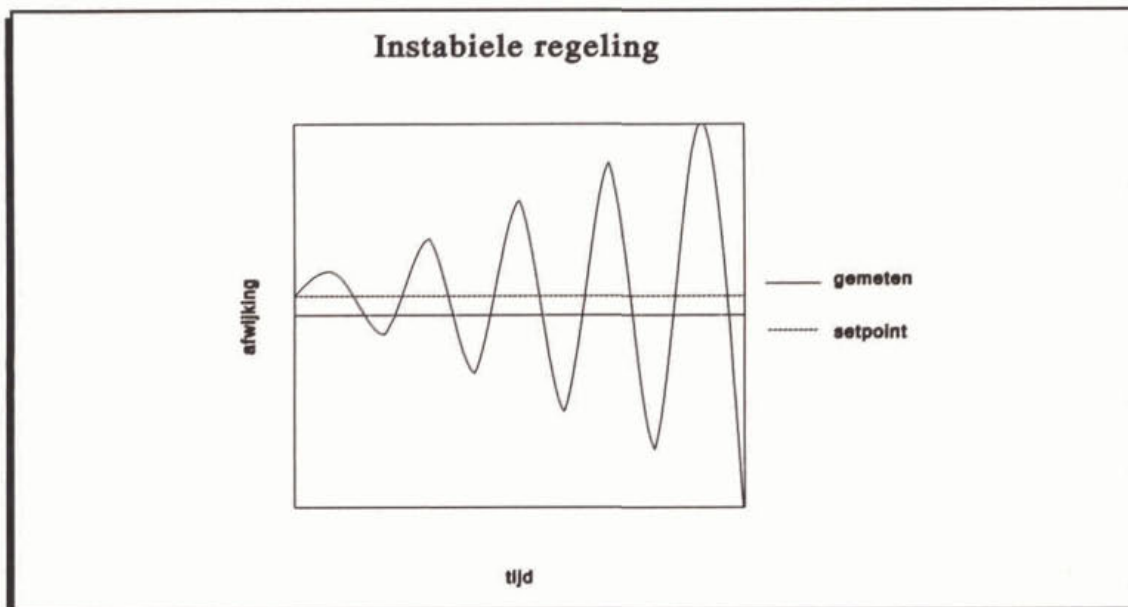
Robuust

Wenselijk is een regeling die onder verschillende omstandigheden (bijvoorbeeld een wisselende influentbelasting of variërende procestemperatuur) niet handmatig behoeft te worden aangepast.

Stabiel

Een regeling dient bij een technische (fout in het meetsignaal) of technologische (een abrupt hogere influentbelasting) verstoring zodanig te reageren, dat de gewenste situatie snel wordt bereikt, zonder dat de stabiliteit van het proces wordt verstoord.

Door onjuiste instellingen van de regelaar(s) kan een instabiel proces worden verkregen (zie afbeelding 6). Dit geldt met name bij een terugkoppelende regeling, waarbij het proces met enige traagheid op de corrigerende actie reageert (systeemtraagheid).



Afbeelding 6 Schematische weergave van een instabiel proces

Wordt de uitwerking van de corrigerende actie niet (lang genoeg) afgewacht, dan kan dit leiden tot overcompensatie. Indien vervolgens wordt getracht deze overcompensatie (te) snel te corrigeren, kan dit leiden tot 'opslingering' van de corrigerende actie: de afwijking van de gewenste waarde wordt afwisselend positief en negatief en bereikt steeds grotere waarden. Het proces is dan instabiel.

4.7 Dynamische simulatie

Een nuttig hulpmiddel bij de optimalisatie van bestaande rwzi's is het gebruik van dynamische simulatie. Hiermee kan relatief eenvoudig worden aangegeven op welke wijze een bestaande rwzi kan worden geoptimaliseerd en aangepast, zonder dat een uitgebreid en kostbaar praktijkonderzoek noodzakelijk is.

Dynamische simulatie kan bijvoorbeeld worden toegepast voor:

- optimalisatie van de zuurstofinbreng (schakelvolgorde van de beluchters, lokatie van de zuurstofmeter, inzet van frequentie-geregelde beluchters etc.);
- bepaling van het effect van procestechnische maatregelen zoals:
 - . chemische fosfaatverwijdering;
 - . een voordennitrificatieproces;
 - . de behandeling van rejectiewater;
 - . een verhoging van het slibgehalte.

Ten behoeve van enkele deelonderzoeken in dit project is dynamische simulatie o.a. toegepast voor de bepaling de instellingen (P-, I- en D-constanten en setpoints) van de diverse regelaars. Hiervoor is het dynamisch simulatieprogramma SIMBA gebruikt.

5 PRAKTIJKONDERZOEKEN

5.1 Algemeen

In het kader van dit STOWA-project zijn vijf lopende of geplande projecten in Nederland geselecteerd. De onderzoeksprogramma's van deze projecten zijn zodanig aangepast dat met de resultaten een algemeen beeld voor de Nederlandse situatie kan worden gevormd.

Een overzicht van deze projecten is weergegeven in tabel 4. In de tabel is eveneens het doel van de beschouwde regeling(en) aangegeven.

Tabel 4 Overzicht van de projecten en het doel van de beschouwde regeling(en)

Waterbeheerder	Type zuivering (ontwerpcapaciteit à 54 g BZV)	Doel van het onderzoek	Ref.
HHS Schieland (rwzi Kralingseveer)	LBAS omloopsysteem type Carrousel (301.500 ie)	Optimalisatie van de N-verwijdering door regeling van de zuurstofinbreng op basis van de ammonium- en de zuurstofconcentratie.	[1]
HHS West-Brabant (rwzi Bath)	LBAS propstroomreactor (405.000 ie)	Optimalisatie van de N-verwijdering (met name de denitrificatie) door het regelen van het intern recirculatiedebiet naar een semi-voordenitrificatieruimte.	[2]
HHS Uitwaterende Sluizen (rwzi Beemster)	ULBAS omloopsysteem type Carrousel (96.300 ie)	Optimalisatie van de N-verwijdering door het regelen van de zuurstofinbreng. Hierbij is een viertal regelingen op basis van (een combinatie van) de zuurstof-, ammonium-, en de nitraatconcentratie en de zuurstofverbruiknelheid beproefd.	[3a/3b]
ZS Limburg (rwzi Gennep)	ULBAS omloopsysteem type Landox (38.000 ie)	Optimalisatie van de N-verwijdering door het regelen van de zuurstofinbreng op basis van de ammonium-, nitraat-, en de zuurstofconcentratie.	[4]
HHS De Stichtse Rijnlanden (rwzi Utrecht)	twee-traps- actiefslibstelsysteem (400.000 ie)	Optimalisatie van de N-verwijdering in de tweede trap: regeling van de interne recirculatie op basis van de nitraatconcentratie of redoxpotentiaal in combinatie met regeling van de zuurstofinbreng op basis van de ammoniumconcentratie.	[5]

In de navolgende paragrafen zijn de kenmerken van de bovengenoemde onderzoekslokaties beknopt beschreven. Tevens is ingegaan op het doel en de beschrijving van de regeling(en) en de resultaten die hiermee zijn behaald.

De participanten hebben bij de interpretatie van de meetgegevens zoveel mogelijk gebruik gemaakt van een statistische toets, de zogenaamde Student-t-toets [8,9,10].

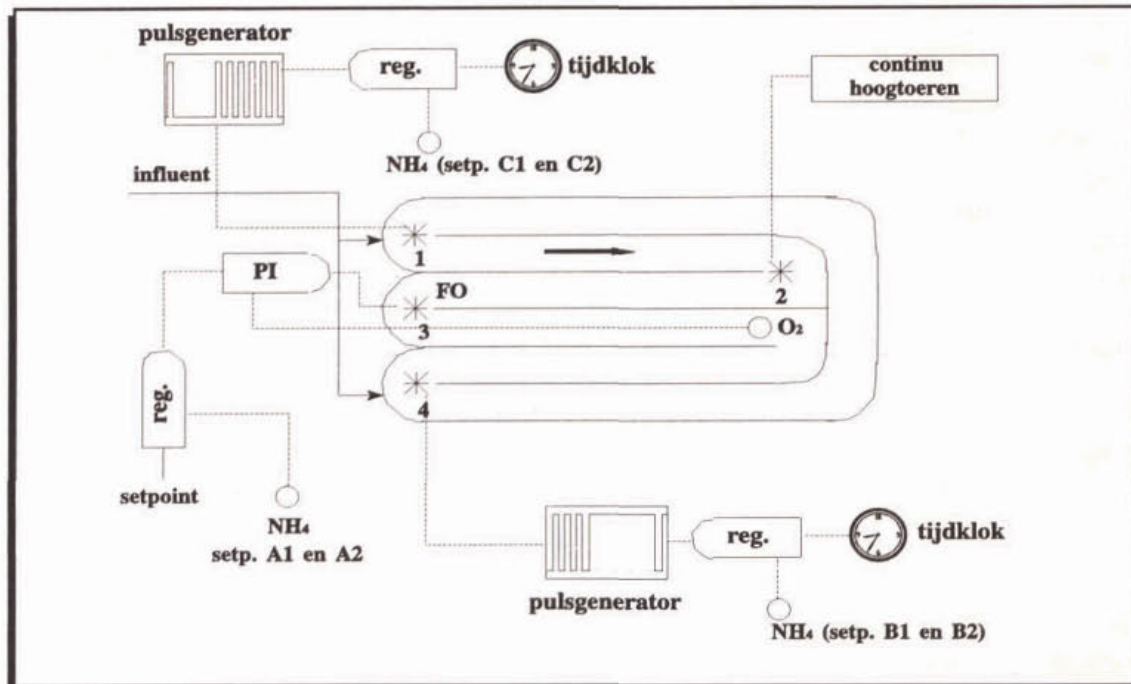
Voor een uitgebreide verhandeling kunnen de deelrapportages worden geraadpleegd [1 t/m 5].

5.2 Kralingseveer

Beschrijving van de rwzi

De rwzi Kralingseveer is een laagbelast actief-slibstelsysteem (type Carrousel) met een ontwerp-capaciteit van 301.500 i.e. à 54 g BZV (zie afbeelding 7). De rwzi werd begin 1996 voor 95% van zijn ontwerp-capaciteit belast.

De waterlijn omvat vier voorbezinktanks, twee contacttanks, twee parallel geschakelde Carrousel's en zes nabezinktanks. In één voorbezinktank worden chemicaliën gedoseerd ter verwijdering van fosfaat. De sliblijn omvat gescheiden slibindikking, slibgisting, na-indikking en slibontwatering door middel van zeefbandpersen.



Afbeelding 7 Schematische weergave van de regeling en het omloopsysteem van de rwzi Kralingseveer

Doel en beschrijving van de regeling

Het doel van het onderzoek was de stikstofverwijdering (met name de denitrificatie) te verbeteren door het regelen van de zuurstofinbreng. Hierbij is gebruikt gemaakt van on-line meetapparatuur voor ammonium en nitraat. Een randvoorwaarde hierbij was dat de regeling geen nadelige invloed heeft op de slibbezinkbaarheid.

De zuurstofinbreng geschiedde met vier puntbeluchters per Carrousel. De beluchters werden afzonderlijk geregeld op basis van:

- een tijdsgebaseerde regeling (tijd klokregeling), overgenomen door een ammoniummeting/regeling (beluchter 1 en 4);
- een handmatige instelling (continu hoogtoeren: beluchter 2);
- een zuurstofregeling, overgenomen door een ammoniummeting/regeling (frequentie-geregelde beluchter 3);
- een voorwaartse regeling op basis van het influentdebiet: bij RWA worden alle beluchters gedurende een bepaalde tijd op hoogtoeren geregeld.

De nitraatmeting is als controle gebruikt ten behoeve van eventueel te wijzigen setpoints.

Meetapparatuur

In tabel 5 zijn de belangrijkste kenmerken van de meetapparatuur vermeld.

Tabel 5 Kenmerken van de toegepaste meetapparatuur op de rwzi Kralingseveer

meting	merk	filtratie	meetprincipe	analysetijd
nitraat ¹⁾	Dr. Lange (Nitrax)	ja	UV-spectrofotometrisch	direct
ammonium	Dr. Lange (Amtax)	ja	spectrofotometrisch	± 12 minuten
zuurstof	Endress & Hauser Mycon O	nee	electrochemisch	direct
¹⁾ de som van N-NO ₂ + N-NO ₃				

De monsters ten behoeve van de ammonium/nitraatbepaling worden voorafgaand aan de analyse behandeld in een ultrafiltratie-eenheid (Abcor/Koch).

De investeringen voor beide analysers + de ultrafiltratie-eenheid bedragen circa f 95.000,- (prijspeil 1993). De bedrijfsvoeringskosten voor deze apparatuur bedragen volgens het Hoogheemraadschap circa f 3.000,- per jaar.

Fasering van het onderzoek

Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd (11 perioden). Hierbij zijn verschillende instellingen gehanteerd voor de volgende setpoints (zie afbeelding 7):

- het ammoniumsetpoint (A1, A2, B1, B2, C1, C2);
- het zuurstofsetpoint;
- de tijdsduur voor de tijdsklokgeregeling.

Door een slechte bezinkbaarheid in de eerste vier perioden zijn de ammoniumsetpoints voor de volgende perioden verlaagd, zodat meer zuurstof is toegevoerd.

Dynamische simulatie

Dynamische simulaties zijn uitgevoerd om de regeling voor de zuurstofinbreng te optimaliseren, zodanig dat de stikstofverwijdering verbetert. Hierbij is uitgegaan van de volgende randvoorwaarden:

- goede afstemming tussen nitrificatie en denitrificatie;
- efficiënt gebruik van het beschikbare CZV door het creëren van (voor)denitrificatiezones en het hanteren van een tijdvertraging voor de beluchters (1 en 4);
- korte responsietijd op de zuurstofvraag door middel van een voorwaartse regeling op basis van het influentdebiet.

Op basis van resultaten van simulatieberekeningen is de eerder aangegeven regeling voor de zuurstofinbreng ontworpen en toegepast.

Resultaten

De onderzoeksresultaten zijn vergeleken met het referentiejaar 1991/1992. In dit jaar is een beluchttingsregeling op basis van zuurstof en tijd toegepast. De perioden met (ongeveer) gelijke procescondities (temperatuur, slibbelasting en debiet) zijn hierbij met elkaar vergeleken. In tabel 6 zijn de resultaten van de twee vergelijkbare perioden weergegeven.

Tabel 6 Gemiddelde effluentwaarden van de perioden juni 1991 t/m mei 1992 en juni 1994 t/m mei 1995

parameter	juni 1991 t/m mei 1992	juni 1994 t/m mei 1995
VOORBEZONKEN INFLUENT		
. N _{Kj} (kg/d)	3.020	2.868
. CZV (kg/d)	20.913	19.737
ACTIEF SLIB		
. temperatuur (°C)	15,6	16,0
. drogestofgehalte (g/l)	3,5	3,5
. k (kg CZV/kg ds.d)	0,215	0,203
EFFLUENT		
. debiet (m ³ /d)	83.827	87.504
. N _{Kj} (mg/l)	7,8	4,6
. NO ₃ (mg/l)	6,8	7,2
. N-totaal (mg/l)	14,6	12,2
. N _{Kj} (kg/d)	656	406
. NO ₃ (kg/d)	568	629
. N-totaal (kg/d)	1.224	1.063

Statistische toetsing

Het stikstofgehalte in het effluent (NH₄, NO_x, en N-totaal) en het influentdebiet voor vergelijkbare perioden zijn getoetst bij een betrouwbaarheid van 95%.

Conclusies

Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de volgende conclusies geformuleerd.

Effluentkwaliteit

- de regeling van de zuurstofinbreng op basis van ammonium, zuurstof, tijd (en nitraat) leidt bij DWA tot een verbetering van de stikstofeffluentkwaliteit ten opzichte van de conventionele regeling (zuurstof, tijd) in 1992. Voor een vergelijkbare periode van een jaar is met de geoptimaliseerde regeling een verbetering van de effluentkwaliteit behaald van 3,2 mg N_{Kj}/l en 2,4 mg N-totaal/l (vergelijking 1994/1995 met 1991/1992);
- de standaardafwijking van de gemiddelde concentratie aan stikstof (N_{Kj}, NO_x en N-totaal) in het effluent is in de onderzoeksperioden beduidend lager. De regeling van de zuurstofinbreng met behulp van on-line apparatuur leidt tot een stabielere (constantere) stikstofeffluentkwaliteit, bij zowel DWA als RWA.

Slibbezinkbaarheid

- de verfijning van de regeling van de zuurstofinbreng heeft geleid tot een geringe verbetering van de slibbezinkbaarheid;
- de toepassing van préprecipitatie op één voorbezinktank lijkt een gering negatief effect te hebben op de stikstofverwijdering en een gering positief effect op de slibbezinkbaarheid. Vanwege de gelijktijdige optimalisatie van de beluchttingsregeling kan niet

significant worden vastgesteld of dit effect geheel wordt veroorzaakt door de toepassing van préprecipitatie;

- om de slibbezinkbaarheid te beheersen dient voldoende te worden belucht. Op de rwzi Kralingseveer is vastgesteld dat hiertoe een weekgemiddelde ammoniumconcentratie van 2,5 mg/l of lager in het effluent dient te worden nagestreefd.

Regeling

- de regeling blijkt goed te functioneren; bij overschrijding van het NH_4 -setpoint worden de tijdgestuurde regeling en de zuurstofregeling overgenomen door de ammoniumregeling. Vanwege de beheersing van een goede slibbezinkbaarheid zijn de ammoniumsetpoints in het verloop van het onderzoek verlaagd. Hierdoor wordt met name puntbeluchter 4 en in mindere mate puntbeluchter 1 voor een groot deel van de dag ingeschakeld.

Meetapparatuur

- de on-line meetapparatuur heeft tijdens het onderzoek vrijwel storingsvrij gewerkt. De ammoniumanalyser geeft een betrouwbaar signaal: het verschil in ammoniumconcentraties tussen continue metingen en labanalyses bedraagt gemiddeld 5%. Preventief onderhoud is noodzakelijk om verstoppingen te voorkomen. De ultrafiltratie-eenheid is één maal per week gereinigd met een oplossing van 10% waterstofperoxide.

Dynamische simulatie

- door toepassing van dynamische simulatie is de beluchtingsregeling geoptimaliseerd. Na implementatie van deze regeling is de stikstofverwijdering conform de verwachting significant toegenomen.

Kosten

- door implementatie van de geoptimaliseerde beluchtingsregeling bedragen de meerkosten door een hoger energieverbruik bij vergelijkbare procescondities f 92.000,- per jaar. Door vermindering van de restvervuiling van zuurstofbindende stoffen is de jaarlijkse besparing op de Rijksheffing circa f 174.000,-. Hierdoor wordt jaarlijks netto ruim f 80.000,- bespaard.

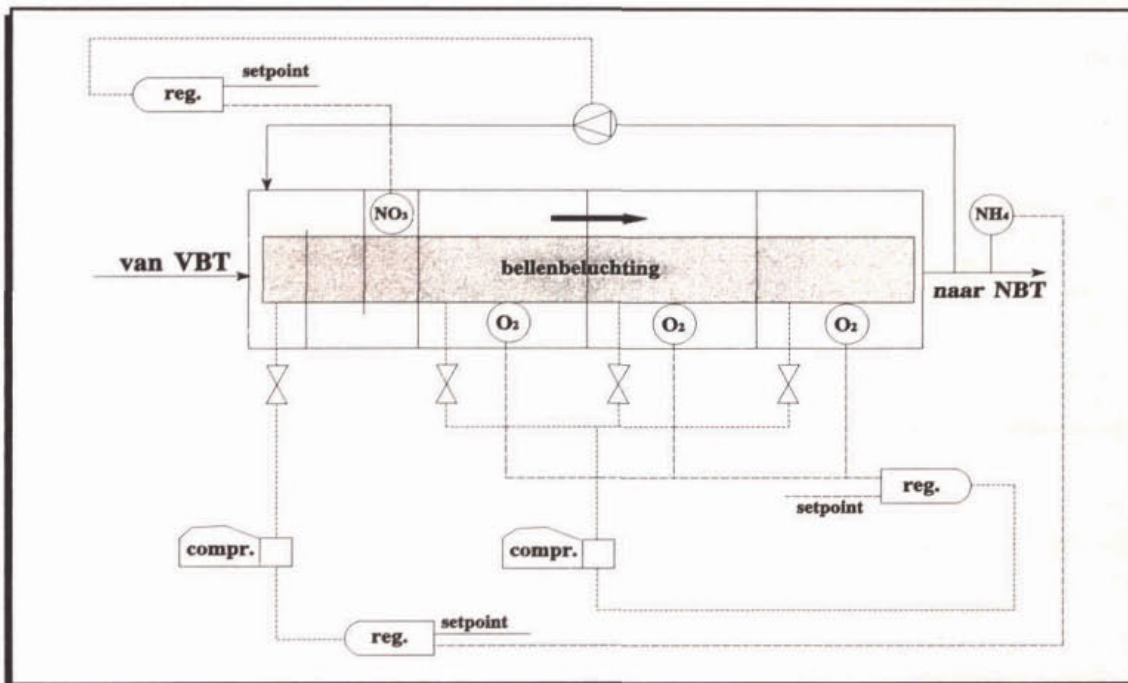
5.3 Bath

Beschrijving van de rwzi

De rwzi Bath is in hoofdzaak opgebouwd uit acht parallel geschakelde actief-slibsystemen (type propstroomer), vooraf gegaan door voorbezinking (zie afbeelding 8). De ontwerpcapaciteit van de rwzi bedraagt 405.000 i.e. à 54 g BZV.

Elke propstroomreactor is gecompartmenteerd uitgevoerd (in vier gelijke compartimenten). De zuurstofinbreng wordt gerealiseerd door een fijn-blazig Brandol-bellenbeluchtingssysteem. Voor de fosfaatverwijdering wordt in de afloop van het eerste compartiment FeSO_4 gedoseerd. De sliblijn omvat gescheiden gravitatie-indikking, slibgisting en slibontwatering door middel van zeefbandpersen.

Ten behoeve van het onderzoek is één propstroomreactor omgebouwd (de proefstraat).



Afbeelding 8 Schematische weergave van de regeling en de proefstraat van de rwzi Bath

Doel en beschrijving van de regeling

Het doel van het onderzoek was de stikstofverwijdering te verbeteren, zonder hierbij de slibbezinkings-eigenschappen nadelig te beïnvloeden. Aangezien op de rwzi Bath onvoldoende werd gedenitrificeerd, was het doel van de ombouw en de regeling om de denitrificatie te bevorderen met in acht neming van de volgende technologische uitgangspunten:

- de denitrificatiesnelheid is onafhankelijk van de nitraatconcentratie (indien de nitraatconcentratie kleiner is dan 0,5 mg/l);
- de denitrificatiesnelheid is hoger bij een hogere substraat (BZV/CZV)-concentratie;
- de denitrificatiesnelheid wordt verlaagd door een onnodige verhoging van de interne recirculatie.

Op basis van de genoemde uitgangspunten is het eerste compartiment van de propstroomreactor omgebouwd tot een semi-voordenitrificatieruimte met drie subcompartimenten (zie afbeelding 8).

Op basis van de nitraatconcentratie in de afloop van deze ruimte wordt het interne recirculatie-debiet door een vijzel geregeld. Nitraatrijk afvalwater vanuit het laatste compartiment wordt gerecirculeerd naar het eerste compartiment. Indien de gemeten nitraatconcentratie hoger is dan het nitraatsetpoint wordt minder gerecirculeerd en andersom.

Indien de ammoniumconcentratie in de afloop van de propstroomreactor een bepaalde waarde overschrijdt, wordt na een bepaalde tijd de interne recirculatie en de voortstuwing in het eerste compartiment gestaakt. De semi-voordenitrificatieruimte wordt vervolgens aëroob bedreven, totdat de ammoniumconcentratie een bepaalde (lagere) waarde onderschrijft. Op deze manier blijft bij hoge aanvoervrachten een vergaande nitrificatie behouden.

De luchttoevoer in de drie overige compartimenten geschiedt door een zuurstofregeling. Op basis van het verschil tussen de gemeten zuurstofconcentraties en de zuurstofsetpoints wordt de luchttoevoer per compartiment gelijktijdig voor vier parallelle straten geregeld.

Meetapparatuur

In tabel 7 zijn de belangrijkste kenmerken van de meetapparatuur vermeld.

Tabel 7 Kenmerken van de toegepaste meetapparatuur op de rwzi Bath

meting	merk	filtratie	meetprincipe	analysetijd
nitraat ¹⁾	Dr. Lange (Nitrax)	ja	UV-spectrofotometrisch	< 1 minuut
ammonium	Dr. Lange (Amtax-Inter)	ja	spectrofotometrisch	5/10 minuten
zuurstof	Danfoss	nee	electrochemisch	direct

¹⁾de som van N-NO₂ + N-NO₃

De monsters ten behoeve van de ammonium/nitraatbepaling worden voorafgaand aan de analyse behandeld in een ultrafiltratie-eenheid (Abcor/Koch).

De totale investeringen van de meetapparatuur (inclusief behuizing, filtratie-eenheid en monitoren) en de regelingen (hardware en software) bedragen circa f 150.000,- (inclusief BTW, exclusief engineering). De totale jaarlijkse lasten van de onderzochte regelingen bedragen ongeveer f 32.500,- (kapitaalslasten, bediening en onderhoud).

Fasering van het onderzoek

Door omstandigheden (storingen van de analyser en de retourvijzel, wel/geen effluentrecirculatie) is het onderzoek gefaseerd uitgevoerd. In tabel 8 is de fasering weergegeven.

Tabel 8 Fasering van het onderzoek op de rwzi Bath

fase	periode	kenmerken
A	20-06-95 t/m 04-09-95	N-regeling niet in bedrijf capaciteit interne recirculatievijzel onbekend effluentrecirculatie in bedrijf
B1	05-09-95 t/m 20-12-95	N-regeling in bedrijf capaciteit interne recirculatievijzel onbekend storing nitraatmonitor effluentrecirculatie in bedrijf
B2	18-03-95 t/m 22-04-96	N-regeling in bedrijf effluentrecirculatie in bedrijf door lage temperatuur geen ruimte voor denitrificatie recirculatiefactor (R _r) begrensd op 5
C1	23-04-96 t/m 02-07-96	N-regeling in bedrijf geén effluentrecirculatie
C2	03-07-96 t/m 23-12-96	N-regeling in bedrijf vanaf 9-11-96 effluentrecirculatie recirculatiefactor (R _r) begrensd op 10

R_r = (retourslibdebiet + intern recirculatie-debiet) / influentdebiet

Dynamische simulatie

Dynamische simulatie is toegepast om het effect van de uitvoering van de voordennitrificatieruimte (compleet gemengd of propstromer) te beoordelen. Tevens is de geteste regeling vergeleken met een eenvoudige regeling (constante recirculatiefactor) voor de sturing van de interne recirculatie.

Uit de simulatieresultaten bij DWA blijkt dat de uitvoering van de voordennitrificatieruimte als propstromer leidt tot een lichte verbetering van de denitrificatie. Er is geen significant verschil in stikstofeffluentkwaliteit tussen beide typen regelingen bij DWA-omstandigheden vastgesteld.

Resultaten

In tabel 9 zijn de procescondities per fase weergegeven.

Statistische toetsing

De effluentconcentraties (N_{Kj} , BZV) van de proefstraat en van de overige straten zijn statistisch getoetst.

Conclusies

Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de volgende conclusies geformuleerd.

Effluentkwaliteit

- door toepassing van een voordennitrificatieruimte in combinatie met interne recirculatie is duidelijk een hogere stikstofverwijdering verkregen. Over alle fasen bedroeg de stikstofverwijdering in de proefstraat gemiddeld 72%, ten opzichte van 53% voor de rest van de rwzi. De gemiddelde totaalstikstofconcentratie in het effluent van de proefstraat is significant lager (14 mg/l ten opzichte van 23 mg/l);
- door toepassing van de semi-voordennitrificatieruimte is de nitrificatie niet sterk verslechterd, ondanks een verlaging van de aërobe slibleeftijd. Dit is veroorzaakt doordat de aërobe slibleeftijd niet beperkend is. In de toekomst zal het totale reactorvolume naar verwachting worden uitgebreid met 25% en de semi-voordennitrificatieruimte naar 50% van het totale reactorvolume;
- het i.e.-verwijderingsrendement was in de proefstraat significant iets lager dan in de overige straten: de iets hoge BZV- en N_{Kj} -concentraties in het effluent van de proefstraat werden vrijwel zeker veroorzaakt door de anoxische condities in het eerste deel van de proefstraat.

Slibbezinkbaarheid

- door toepassing van interne recirculatie is geen (nadelig) effect op de slibbezinkbaarheid vastgesteld. De slibvolume-index bedroeg gemiddeld 100 ml/g.

Regeling

- het gewenste nitraatsetpoint kan redelijk worden gehandhaafd door meer of minder te recirculeren. Door verandering van de instellingen van de regelaars zal naar verwachting nog sneller kunnen worden gereageerd op een afwijking van het setpoint;
- in een aantal gevallen bleek dat het gewenste nitraatsetpoint niet kon worden behaald; de gemeten nitraatconcentratie is lager dan het setpoint. Dit werd veroorzaakt door het feit dat de recirculatiefactor begrensd is op een maximale waarde waardoor onvoldoende werd gerecirculeerd. Een verhoging van de recirculatiefactor bleek dit probleem ten dele te verhelpen; de maximale capaciteit van de retourvrijzel was ontoereikend. In de toekomst wordt hiermee voor de andere zuiveringsstraten rekening gehouden.

Meetapparatuur

- de nitraatmonitor is storingsgevoelig voor bepaalde organische verbindingen. De toepassing van actiefkoolfiltratie, voorafgaand aan de analyse, elimineert de verbindingen die deze storingen veroorzaken;
- de storingsgevoeligheid van de ammoniummonitor is zeer gering (6x/jaar). Er is geen significant verschil in de ammoniumconcentraties tussen de continue metingen en de labanalyses vastgesteld;
- de ultrafiltratie-eenheid dient eens in de 3-4 weken te worden schoongemaakt (afwisselend met chloorbleekloog en verdund salpeterzuur);
- voor een betrouwbare meting dient de stroomsnelheid door de nitraatmonitor binnen bepaalde grenzen (1-1,5 l/h) te liggen;
- aan onderhoud, controle en bediening van de monitoren wordt circa 2 uur per week besteed. Doordat de handmatige bemonstering en analyse is komen te vervallen, wordt netto tijd bespaard.

Dynamische simulatie

- door het uitvoeren van dynamische simulaties is het effect van twee regelingen voor de interne recirculatie en van de technische uitvoering van de voordennitrificatieruimte beoordeeld.
Uit de simulatieresultaten bij DWA blijkt dat de uitvoering van de voordennitrificatieruimte als propstromer leidt tot een lichte verbetering van de denitrificatie. Er is bij DWA-omstandigheden geen significant verschil in stikstofeffluentkwaliteit tussen beide typen regelingen vastgesteld.

Kosten

- de jaarlijkse kosten van de toegepaste monitoren en regelingen bedragen f 32.500,-.

Tabel 9 Belangrijkste gemiddelde procescondities voor de rwzi Bath (per fase)

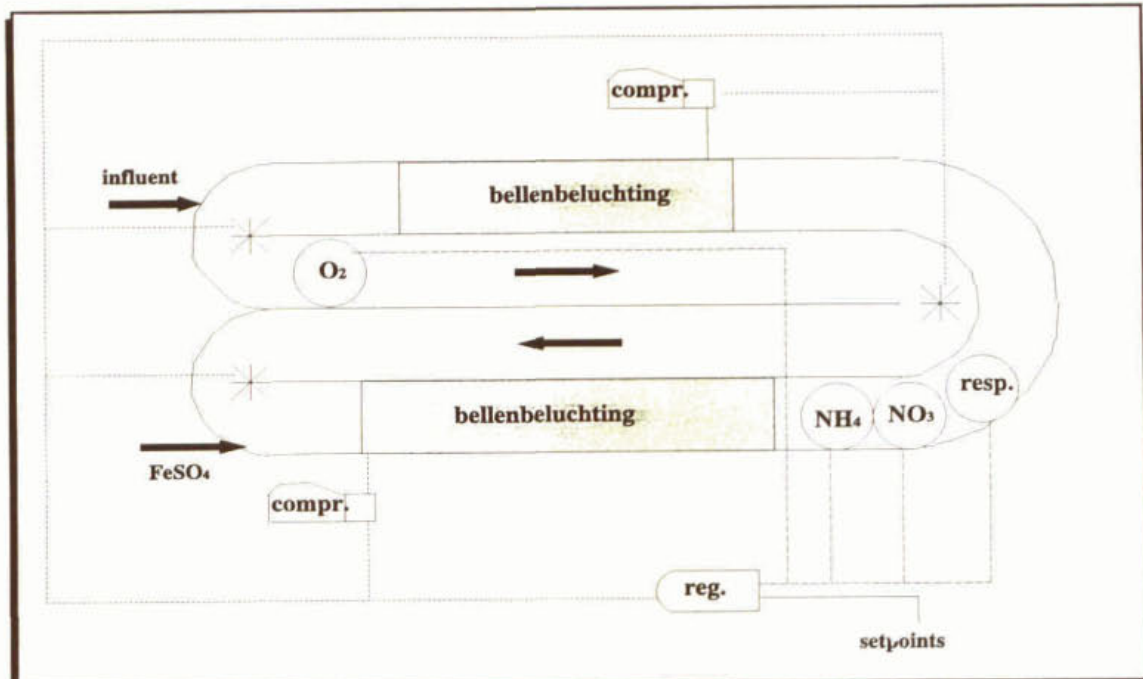
parameter	fase A	fase B1	fase B2	fase C1	fase C2
VOORBEZONKEN INFLUENT					
. debiet (m ³ /d) - inclusief effluent rec.	139.565	130.237	130.513	92.250	115.143
. CZV (mg/l)	239	303	254	319	242
. BZV (mg/l)	81	105	71	121	76
. N _{Kj} (mg/l)	30	32	40	45	30
. P-totaal (mg/l)	6,6	6,2	8,7	8,4	7,4
ACTIEF SLIB					
. G _s (mg/kg)	3,7	4,2	2,5	3,2	4,6
. SVI (ml/g)	98	91	163	140	76
. k (kg BZV/kg d.s.dag)	0,069	0,074	0,084	0,079	0,043
. slibleeftijd (dag)	23,8	13,9	14,9	12,0	19,1
. temperatuur (°C)	21,7	18,5	14,3	17,6	18,3
EFFLUENT					
. N _{Kj} (mg/l)	4,3	4,4	5,9	5,3	3,5
. NH ₄ (mg/l)	1,3	2,0	2,7	2,1	1,2
. NO _x (mg/l)	5,8	7,1	19	13	10
. N-totaal (mg/l)	10	11	25	18	14
. P-totaal (mg/l)	1,8	0,4	6,0	1,5	2,4
VERWIJDERINGSRENDEMENT					
. i.e. (%)	96	95	95	97	97
. N-totaal	80	77	63	70	66
. P-totaal	84	96	54	89	76

NB. de resultaten van de proefstraat zijn vertaald naar de totale rwzi

5.4 Beemster

Beschrijving van de rwzi

De rwzi Beemster is in hoofdzaak opgebouwd uit een omloopsysteem (type Carrousel) met een voorgeschakelde selector (zie afbeelding 9). De ontwerpcapaciteit van de rwzi bedraagt 96.300 i.e. à 54 g BZV. De rwzi werd in 1995 belast met circa 80% van zijn ontwerpcapaciteit.



Afbeelding 9 Schematische weergave van de regeling en het omloopsysteem van de rwzi Beemster

De zuurstofinbreng wordt gerealiseerd door een combinatie van bellenbeluchting (twee blowers) en puntbeluchting (drie puntbeluchters). Voor de fosfaatverwijdering wordt in het omloopsysteem FeSO_4 gedoseerd.

De sliblijn omvat drie gravitatie-indikers en twee ontwateringscentrifuges.

Doel en beschrijving van de regeling

Het doel van het onderzoek was het ontwikkelen en beoordelen van beluchttingsregelingen voor omloopsystemen met behulp van een continue meting van zuurstof, ammonium en nitraat. Eveneens is beoordeeld of de respiratiesnelheid als meetsignaal voor dit doel kan worden toegepast.

Het uitgangs- of stuursignaal van de zuurstofregelaar is gebruikt voor de eigenlijke zuurstofinbreng (dit geldt niet voor de respirometer). Afhankelijk van de grootte van het stuursignaal zijn de puntbeluchters en/of de blowers volgens een vooraf bepaalde volgorde in- of uitgeschakeld. De volgende regelingen zijn in de praktijk getest.

O_2 -regeling

Dit is een enkelvoudige regeling, waarbij de zuurstofconcentratie in het omloopsysteem wordt gemeten. Deze wordt vergeleken met het ingestelde zuurstofsetpoint. Afhankelijk van het verschil tussen de gemeten concentratie en het setpoint genereert een PI-regelaar een stuursignaal, waarmee de zuurstofinbreng wordt geregeld.

NH₄/O₂-regeling

Dit is een cascaderегeling waarbij het zuurstofsetpoint wordt aangepast, afhankelijk van het verschil tussen de gemeten en de gewenste ammoniumconcentratie in het omloopsysteem. Afhankelijk van het verschil tussen de gemeten zuurstofconcentratie en het (aangepaste) zuurstofsetpoint genereert een PI-regelaar een stuursignaal, waarmee de zuurstofinbreng wordt geregeld.

NO₃/NH₄/O₂-regeling

Dit is een cascaderегeling waarbij het ammoniumsetpoint wordt aangepast, indien de nitraatconcentratie in het omloopsysteem boven of onder een bepaald instelbaar schakelpunt komt. Op basis van het verschil tussen de gemeten ammoniumconcentratie en het (aangepaste) ammoniumsetpoint wordt het zuurstofsetpoint aangepast. Afhankelijk van het verschil tussen de gemeten zuurstofconcentratie en het (aangepaste) zuurstofsetpoint genereert een PI-regelaar een stuursignaal, waarmee de zuurstofinbreng wordt geregeld.

Respiratie-regeling

Door een actiefslibmonster uit het omloopsysteem in een respirometer te (her)beluchten en de zuurstofverbruiksnelheid (respiratiesnelheid) in de tijd te volgen, kan de totale zuurstofbehoefte (Total Area Under the Curve) na een bepaalde tijd worden berekend. Afhankelijk van de grootte van de zuurstofbehoefte is de zuurstofinbreng geregeld door één of meerdere puntbeluchters en/of blowers in of uit te schakelen.

Meetapparatuur

In tabel 10 zijn de belangrijkste kenmerken van de meetapparatuur vermeld.

Tabel 10 Kenmerken van de toegepaste meetapparatuur op de rwzi Beemster

meting	merk	filtratie	meetprincipe	analysetijd
nitraat ¹⁾	Skalar	ja	colorimetrisch/spectrofotometrisch	< 15 minuten
ammonium	Skalar	ja	colorimetrisch/spectrofotometrisch	< 15 minuten
zuurstof	Philips	nee	electrochemisch	direct
respiratiesnelheid	MSL	nvt	electrochemisch	10-30 minuten

¹⁾de som van N-NO₂ + N-NO₃

De aanschafkosten van de twee analysers (NH₄/NO₃) bedragen in totaal f 80.000,- (incl. de ultrafiltratie-eenheid). De operationele kosten (arbeid + chemicaliën) worden geraamd op f 2.500,- per jaar.

De aanschaf van een MSL-respirometer bedraagt circa f 35.000,-. De operationele kosten worden geraamd op f 1.000,- per jaar.

Fasering van het onderzoek

Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd. Hierbij zijn de regelingen in de praktijk geoptimaliseerd en met elkaar vergeleken (fase 1). Met behulp van dynamische simulaties zijn de optimale instellingen van de verschillende regelaars bepaald. De geoptimaliseerde regelingen zijn vervolgens met elkaar vergeleken in de fasen 2 en 3.

Het onderzoek met de respirometer is afzonderlijk gefaseerd: tijdens de fasen A t/m D zijn verschillende TAUC-setpoints toegepast. Op basis van de gemeten TAUC-waarden en de setpoints worden de beluchters en/of blowers in- of uitgeschakeld. In tabel 11 is de fasering van beide deelonderzoeken weergegeven.

Tabel 11 Fasering van het onderzoek op de rwzi Beemster

fase	periode	regeling	kenmerken
1	nov. 1994 t/m april 1995	combinatie van O ₂ /NH ₄ /NO ₃	optimalisatie regeling in de praktijk
2	mei 1995 t/m aug. 1995	combinatie van O ₂ /NH ₄ /NO ₃	optimalisatie regeling met SIMBA en verificatie in de praktijk
3	mei 1996 t/m nov. 1996	combinatie van O ₂ /NH ₄ /NO ₃	optimalisatie regeling met SIMBA en verificatie in de praktijk
A en B	okt. 1995 t/m dec. 1995	respiratie	optimalisatie regeling in de praktijk
C en D	maart 1996 t/m april 1996	respiratie	optimalisatie regeling met SIMBA en verificatie in de praktijk

Dynamische simulatie

Dynamische simulatie is toegepast voor het optimaliseren van de verschillende regelingen. Hierbij zijn de instellingen (*P*-, *I*-constanten) voor de verschillende regelaars bepaald.

In fase 2 is uitgegaan van de schakelvolgorde voor de beluchters/blowers, zoals die ook in fase 1 is gehanteerd. In fase 3 is de schakelvolgorde en de lokatie van de zuurstofmeter gewijzigd op basis van de resultaten van simulatieberekeningen.

Voor de respiratieregeling is dynamische simulatie toegepast om het schakelmoment van de beluchters en/of blowers (= TAUC-setpoint) te bepalen.

Resultaten

In tabel 12 zijn de procescondities per fase weergegeven.

Statistische toetsing

In fase 3 is bewust gekozen voor een korte meetperiode om temperatuurseffecten zoveel mogelijk te voorkomen. Gezien het geringe aantal meetdata was een statistische beoordeling van de verschillende regelingen derhalve niet zinvol.

Wel zijn de resultaten met de respiratieregeling statistisch vergeleken met de zuurstofregeling. Hierbij zijn het effluentstikstofgehalte en het energieverbruik getoetst bij een betrouwbaarheid van 95% en zijn alleen perioden met ongeveer gelijke procestemperatuur en hydraulische belasting (debiet < 18.000 m³/d) met elkaar vergeleken.

Tabel 12 Belangrijkste gemiddelde procescondities van de regeling op basis van O₂, NH₄ en NO₃ voor de twzi Beemster (per fase)

parameter	fase 1			fase 2			fase 3		
	regeling:	INFLUENT	debiet (m ³ /d)	. CZV (kg/d)	. N _{Kj} (kg/d)	EFFLUENT	. NH ₄ (mg/l)	. NO ₃ (mg/l)	. NH ₄ +NO ₃ (mg/l)
O ₂	NH ₄ /O ₂	12,0	15,1	22	22	22	0,8	1,3	2,1
	NO ₃ /NH ₄ /O ₂	11,4		22	22	22	3,1	1,5	4,6
	NH ₄ /O ₂			23	23	23	2,7	1,6	4,3
	O ₂	20	20	20	20	20	0,6	4,2	4,8
	NH ₄ /O ₂	21	23,880	23,880	23,880	23,880	2,3	3,1	5,4
	NO ₃ /NH ₄ /O ₂	21	14,450	14,450	14,450	14,450	0,7	6,2	6,9
		21	8,516	8,516	8,516	8,516			
		21	1,123	1,123	1,123	1,123			
		20	15,040	15,040	15,040	15,040			
	O ₂	95,5	97,7	97,7	97,7	97,7			
	N _{Kj} (%)	92,6	93,6	93,6	93,6	93,6			
	CZV (%)	95,4	97,9	97,9	97,9	97,9			
	N-totaal (%)	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6			

Tabel 12 - vervolg (respirometer, per fase)

parameter	fase A	fase B	fase C	fase D
INFLUENT	13,108	12,761	14,693	14,523
. debiet (m ³ /d)	17,5	14,2	9,6	13,6
. temperatuur (°C)	3,6	1,1	2,6	1,1
. NH ₄ (mg/l)	1,7	3,6	4,9	5,3
. NO ₃ (mg/l)	6,0	5,7	8,1	7,2
. N-totaal (mg/l)	1,56	0,66	0,62	0,86
ENERGIE				
. kWh/kg TZV	91,2	91,9	88,9	90,7
VERWDERINGSRENDEMENT				
. N-totaal (%)				

Conclusies

Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de volgende conclusies geformuleerd.

Effluentkwaliteit

- met alle beproefde regelingen is een N-totaalgehalte haalbaar van < 10 mg/l als jaargemiddelde;
- de regelingen op basis van ammonium, nitraat en zuurstof zijn onderling niet statistisch getoetst, vanwege de korte meetperiode en dientengevolge te weinig meetdata. Hierdoor kan het significante effect van de regeling op de effluentkwaliteit niet worden vastgesteld;
- de meetresultaten met de respiratieregeling over een periode van 3 weken zijn getoetst aan de resultaten die behaald zijn met de zuurstofregeling. Bij een betrouwbaarheidsinterval van 95% is met de zuurstofregeling een lagere N-totaalconcentratie in het effluent behaald. Daarentegen is het energieverbruik ten behoeve van beluchting met de respiratieregeling enkele procenten lager in vergelijking met de zuurstofregeling.

Slibbezinkbaarheid

- voor géén van de regelingen op basis van zuurstof, ammonium en/of nitraat is een significant (nadelig) effect op de slibbezinkbaarheid, het energieverbruik en de slibproductie vastgesteld.

Regeling

- de regelingen op basis van de respiratiesnelheid en op basis van (een combinatie van) zuurstof, ammonium en nitraat zijn geschikt voor het regelen van de beluchting op de rwzi Beemster. Er wordt voldoende snel op een afwijking van het setpoint gereageerd.

Meetapparatuur

- zowel de analysers als de respirometer zijn betrouwbaar; er hebben zich vrijwel geen storingen voorgedaan;
- de ultrafiltratie-membranen dienen één maal per drie weken te worden gereinigd;
- de bediening van de respirometer wordt moeilijker ervaren in vergelijking met de stikstofanalysers. Dit komt ten dele door de vele mogelijkheden die de respirometer heeft. Een korte opleiding voor bediening en onderhoud is noodzakelijk.

Dynamische simulatie

Dynamische simulatie is toegepast voor het optimaliseren van de verschillende regelingen. Eveneens zijn de zuurstofregeling en de respiratieregeling met elkaar vergeleken.

Op basis van de resultaten van simulatieberekeningen is/zijn:

- de instellingen (P-, I-constanten) voor de verschillende regelaars bepaald;
- de schakelvolgorde van de beluchters en/of blowers en de lokatie van de zuurstofmeter voor de regeling op basis van O₂, NH₄ en NO₃ gewijzigd;
- het schakelmoment van de beluchters en/of blowers voor de respiratieregeling (= TAUC-setpoint) gewijzigd.

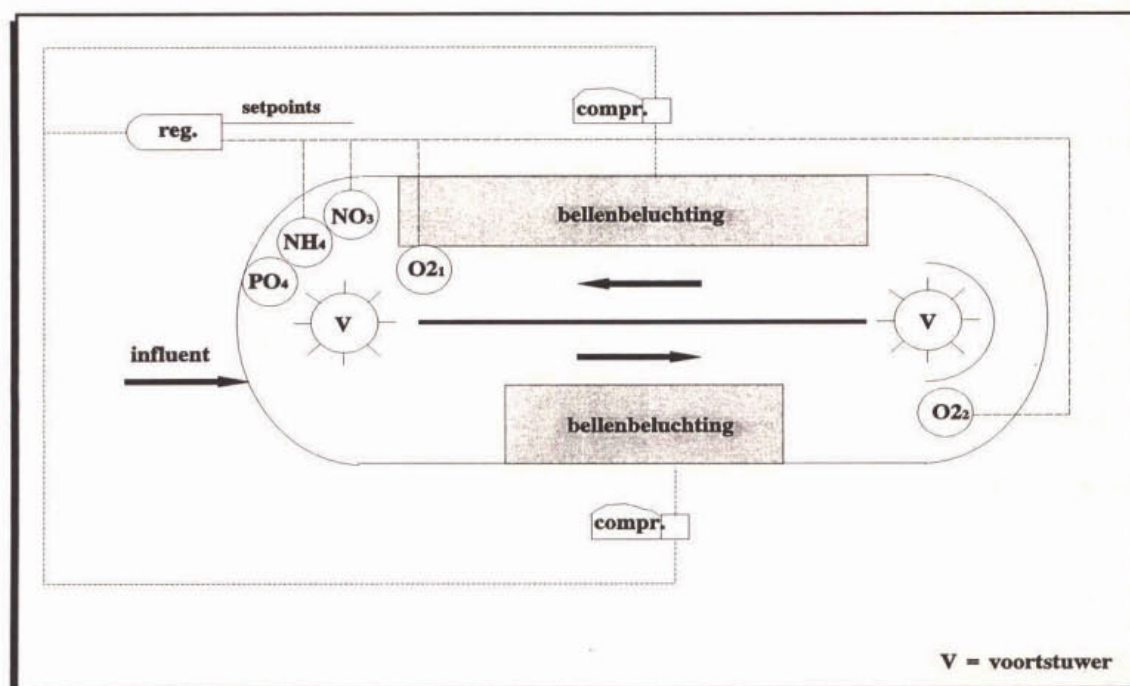
Kosten

- de toepassing van een respiratieregeling heeft geleid tot een energiebesparing van circa 3% op de zuurstofinbreng in vergelijking met de zuurstofregeling. Dit levert voor de rwzi Beemster een jaarlijkse kostenbesparing op van f 8.000,- en impliceert dat de investeringen in de respirometer in circa 5 jaar zijn terugverdiend.

5.5 Gennepe

Beschrijving van de rwzi

De rwzi Gennepe is in hoofdzaak opgebouwd uit een onbeluchte contacttank, gevolgd door twee parallel geschakelde omloopsystemen en twee nabezinktanks (zie afbeelding 10). De ontwerpcapaciteit van de rwzi bedraagt 38.000 i.e., de beluchtingscapaciteit is gedimensioneerd op 58.000 i.e. à 54 g BZV.



Afbeelding 10 Schematische weergave van de regeling en het omloopsysteem van de rwzi Gennepe

Het beluchtingssysteem is van het type Ladox: meestroombellenbeluchting en gescheiden voortstuwing. Elke beluchtingstank is voorzien van drie pakketten membraanbeluchters, in het gedeelte dat als eerste wordt doorstroomd één pakket en aan de overkant twee pakketten. De luchttoevoer geschiedt door drie compressoren, die traploos regelbaar zijn.

Het surplusslib wordt gravitair ingedikt en vervolgens naar flotatiebakken en een slibbuffer geleid. De slibontwatering geschiedt met een zeeffbandpers.

Ten behoeve van het onderzoek heeft geen ingrijpende ombouw van procesonderdelen plaatsgevonden. Wel zijn analysers voor ammonium, nitraat en fosfaat geïnstalleerd en is tijdens het onderzoek de zuurstofmeter verplaatst.

Doel en beschrijving van de regeling

Op de rwzi Gennepe zijn twee regelingen beproefd om de zuurstofinbreng te regelen, te weten een O₂-regeling en een NH₄/NO₃-regeling.

Het doel van de regeling(en) is verbetering van de stikstofverwijdering (met name de denitrificatie). Op langere termijn is de wens de regeling verder te optimaliseren ten behoeve van een vergaande biologische fosfaatverwijdering.

De zuurstofvoorziening vindt plaats met drie compressoren van gelijke capaciteit. De luchttoevoer wordt geregeld met behulp van één regelklep per beluchtingscircuit. De luchtdruk in het voorgeschakelde drukvat wordt constant gehouden door het in- of uitschakelen van de compressoren.

De verstelsnelheid van de regelklep wordt aangestuurd door de verschillende regelaars. De integraal van de klepverstelsnelheid naar de tijd levert de klepstand, ofwel de luchttoevoer.

NH₄/NO₃-regeling

De klepverstelsnelheid wordt geregeld door twee PD-regelaars. Als de gemeten ammoniumconcentratie hoger is dan het ingestelde NH₄-setpoint, wordt de klepverstelsnelheid geregeld op basis van de afwijking van dit setpoint.

Indien het gemeten ammoniumgehalte lager is dan een ingesteld schakelpunt (dat onder het NH₄-setpoint ligt), neemt de tweede PD-regelaar de regeling over. De klepverstelsnelheid wordt nu op basis van de nitraatconcentratie geregeld, totdat de NH₄-concentratie weer boven haar setpoint komt.

O₂-regeling

Voor de regeling op basis van zuurstof is gebruikt gemaakt van een PD-regelaar, die de klepverstelsnelheid regelt. De zuurstofconcentratie wordt gemeten op één plaats in het omloopsysteem. Bij overschrijding van het zuurstofsetpoint wordt minder belucht, bij onderschrijding meer.

Meetapparatuur

Vanaf begin 1994 werd het actief slib in de proefstraat met behulp van een dompelpomp bemonsterd. Door ultrafiltratie (Abcor/Koch) is het monster van zwevend stof ontdaan en vervolgens geanalyseerd.

In tabel 14 zijn de belangrijkste kenmerken van de meetapparatuur vermeld.

Tabel 14 Kenmerken van de toegepaste meetapparatuur op de rwzi Genneep

meting	merk	filtratie	meetprincipe	analysetijd
nitraat ¹⁾	Dr. Lange (Nitrax)	ja	UV-spectrofotometrisch	< 1 minuut
fosfaat	Dr. Lange (Phosphax)	ja	spectrofotometrisch	< 15 minuten
ammonium	Dr. Lange (Amtax)	ja	spectrofotometrisch	< 15 minuten
zuurstof	Züllig DO34	nee	electrochemisch	direct

¹⁾de som van N-NO₂ + N-NO₃

De aanschafkosten voor de analysers bedragen circa f 35.000,- per stuk en voor de ultrafiltratie-eenheid circa f 10.000,-.

De verblijftijd in de toevoerslangen en in het filterstation bedroeg in totaal globaal 1 minuut.

Fasering van het onderzoek

Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd. Hierbij is voor beide regelingen het effect bekeken van verschillende instellingen voor de setpoints en een veranderde lokatie van de zuurstofmeter. In tabel 15 is de fasering weergegeven.

In de perioden J en K zijn setpoints toegepast, die met behulp van dynamische simulaties als optimaal zijn vastgesteld.

Tabel 15 Fasering van het onderzoek op de rwzi Genneep

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

Dynamische simulatie

Om de optimale instellingen (P-, D-constanten en setpoints) van de verschillende regelaars te bepalen, zijn dynamische simulaties uitgevoerd. Hierbij is getracht een compromis te vinden tussen een stabiele effluentkwaliteit en een rustig schakelpatroon van de beluchters.

Resultaten

In tabel 16 zijn de procescondities per fase weergegeven.

Statistische toetsing

Het stikstofgehalte in het effluent en het energieverbruik zijn voor verschillende perioden getoetst bij een betrouwbaarheid van 95%. Hierbij zijn perioden met ongeveer gelijke proces-temperatuur en hydraulische belasting (debiet < 15.000 m³/d) met elkaar vergeleken.

Tabel 16 Belangrijkste gemiddelde procescondities voor de rwzi Genneep (per fase)

parameter/fase	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
INFLUENT												
. aanvoer (m ³ /d)	13.407	11.761	12.680	12.136	12.128	16.219	12.022	10.886	9.855	10.975	10.350	11.778
. CZV (mg/l)	-	767	744	775	821	607	800	763	831	785	979	768
. N _{Kj} (mg/l)	42	43	40	49	46	37	51	49	59	56	58	55
. NH ₄ (mg/l)	-	23	21	30	26	23	33	33	39	36	38	30
. P-totaal (mg/l)	6,5	7,3	6,1	7,8	7,9	6,1	8,8	7,5	9,9	9,6	-	-
. zwevende stof (mg/l)	-	286	338	424	446	323	259	236	278	318	324	295
. CZV/N-totaal (mg/l)	-	18	19	16	18	16	16	16	14	14	17	14
ACTIEF SLIB												
. drogestof (mg/l)	-	3,9	3,7	2,9	3,4	4,4	3,3	2,6	3,1	3,9	-	3,3
. SVI gem. (ml/g)	-	74	53	102	122	102	74	90	85	98	99	100
. temperatuur (°C)	-	23,7	21,0	18,8	17,2	13,7	20,0	20,3	16,3	12,7	17,5	17,9
. k (kg BZV/kg d.s.d)	0,098	0,082	0,064	0,095	0,090	0,079	0,106	0,133	0,116	0,074	-	0,106
. slijleeftijd (dag)	-	12,6	11,1	11,3	13,3	16,6	12,0	8,9	10,6	12,5	-	-
EFFLUENT												
. CZV (mg/l)	-	46,5	44,3	51,8	41,8	52,6	50,4	50,9	64,6	55,5	55,0	48,3
. N _{Kj} (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 (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
. NO _x (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
. P-totaal (mg/l)	2,2	1,9	1,6	2,7	2,6	1,7	1,7	2,1	4,3	3,3	-	3,6
ENERGIE-INBRENG												
. O ₂ -inbreng (kWh/d)	-	4.844	4.920	4.766	5.424	4.336	4.505	4.572	4.842	4.825	4.825	4.524
. specifiek verbruik (kWh/kg TZV _{verw.})	-	0,456	0,449	0,425	0,459	0,389	0,385	0,453	0,452	0,452	0,404	0,403
VERW. RENDEMENT												
. CZV (%)	-	-	93,9	90,9	94,8	90,1	93,6	93,3	92,1	92,8	94,4	93,6
. N-totaal (%)	86,0	77,5	81,2	87,9	78,3	74,3	88,0	88,0	80,0	69,0	84,8	89,0
. P-totaal (%)	66,0	73,9	72,9	67,2	69,2	70,7	80,5	72,5	56,4	64,9	-	61,4

Conclusies

Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de volgende conclusies geformuleerd.

Effluentkwaliteit

- met zowel de regeling op stikstof als op zuurstof is een effluentconcentratie van < 10 mg N-totaal/l haalbaar;
- er is geen significant verschil in effluentkwaliteit tussen beide regelingen voor vergelijkbare perioden vastgesteld. Gemiddeld bedroeg het stikstofverwijderingsrendement voor de zuurstofregeling 80% en voor de stikstofregeling 84%.

Slibbezinkbaarheid

- door toepassing van de regelingen is geen (nadelig) effect op de slibbezinkbaarheid vastgesteld. Over de gehele onderzoeksperiode varieerde de SVI tussen 50 en 120 ml/g.

Regeling

- de lokatie van de zuurstofmeter heeft een significante invloed op de effluentkwaliteit;
- als gevolg van een forse verandering in influentsamenstelling is met een ongewijzigd zuurstofsetpoint een hoge gemiddelde nitraatconcentratie waargenomen: bij een significante verandering van de influentsamenstelling dient het zuurstofsetpoint te worden aangepast;
- de zuurstofregeling reageert snel op een toe- of afnemende zuurstofbehoefte;
- ook de stikstofregeling reageert snel op een toe- of afnemende zuurstofbehoefte: bij onder- of overschrijding van het setpoint wordt direct meer of minder belucht. Gezien de kenmerken van de actief-slibinstallatie (omloopsysteem) duurt het enige tijd voordat het effect van beluchten op de ammoniumconcentratie merkbaar is (systeemtraagheid);
- de biologische fosfaatverwijdering is tijdens het onderzoek niet geoptimaliseerd.

Meetapparatuur

- de meetsignalen van de monitoren zijn betrouwbaar. Het onderhoud voor de meetapparatuur is geregeld met een onderhoudscontract;
- alleen al het handmatig aanpassen van het zuurstofsetpoint op basis van de continu gemeten ammonium- en nitraatconcentratie heeft geleid tot een verbeterde effluentkwaliteit.

Dynamische simulatie

- dynamische simulatie is toegepast voor het bepalen van de instellingen van de verschillende regelaars. De implementatie van deze instellingen leidt tot een rustiger zuurstofinbreng.

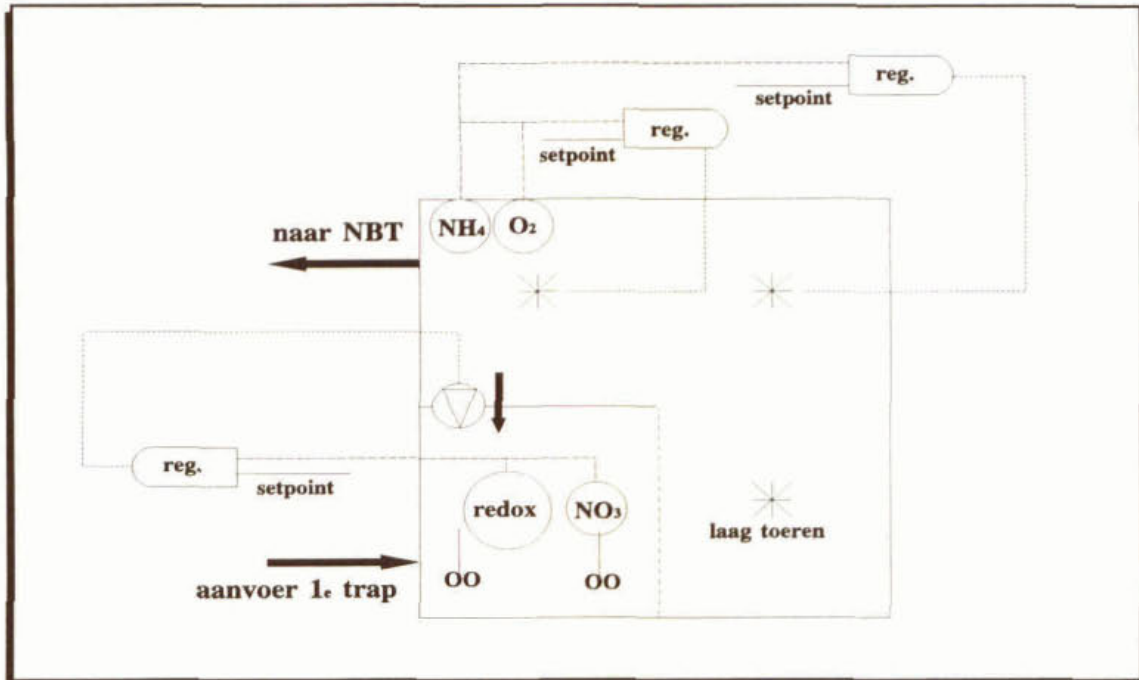
Kosten

- er is geen significant verschil vastgesteld in energieverbruik tussen beide regelingen voor vergelijkbare perioden. Het specifiek energieverbruik varieert tussen 0,38 en 0,45 kWh/kg TZV verwijderd.

5.6 Utrecht

Beschrijving van de rwzi

De rwzi Utrecht is een twee-traps actiefslibstelsysteem: een hoogbelaste eerste trap en een laagbelaste tweede trap (zie afbeelding 11). De ontwerpcapaciteit bedraagt 400.000 i.e. à 54 g BZV. In 1995 bedroeg de TZV-belasting 75% van de ontwerpbelasting.



Afbeelding 11 Schematische weergave van de regeling en de 2^e trap van de rwzi Utrecht

De eerste trap is opgebouwd uit twee parallel geschakelde beluchtingstanks, gevolgd door negen tussenbezinktanks. In beide beluchtingstanks wordt FeCl_3 gedoseerd ten behoeve van fosfaatverwijdering.

Het effluent van de eerste trap wordt verzameld en verdeeld over de drie straten van de tweede trap. Iedere straat bestaat uit een beluchtingstank (in vier compartimenten verdeeld), gevolgd door nabezinktanks. In totaal zijn veertien nabezinktanks aanwezig.

In elke beluchtingstank wordt de zuurstof ingebracht met behulp van vier puntbeluchters, die uitgerust zijn met een twee-toerenregeling.

Het spuislib van de eerste en tweede trap wordt gescheiden ingedikt en vervolgens gezamenlijk vergist en tenslotte ontwaterd met behulp van centrifuges.

Voor de optimalisatie van de stikstofverwijdering is één straat van de tweede trap (B1) aangepast. Hiertoe is de puntbeluchter in het eerste compartiment vervangen door twee mengers. Het compartiment is gescheiden van de rest van de beluchtingsruimte door een duikwand. Op deze wijze is het eerste compartiment als voordennitrificatieruimte ingericht. Tevens zijn er twee frequentiegeregelde pompompen in het laatste (vierde) compartiment aangebracht, zodat een interne recirculatie naar de (nieuwe) voordennitrificatieruimte mogelijk was.

In het midden van eerste het compartiment van straat B1 is een redoxpotentiaalmeting geïnstalleerd en een monsternapunt voor de nitraatmeting (inclusief ultrafiltratie-eenheid).

Doel en beschrijving van de regeling

Het doel van de regeling was een verbetering van de stikstofverwijdering (met name de denitrificatie) te realiseren. Hiertoe vindt een interne recirculatie plaats van nitraatrijk water van het laatste compartiment naar het eerste compartiment van de beluchtingstank (2^e trap).

Het interne recirculatie-debiet kan worden geregeld op basis van verschillende meetsignalen. De volgende mogelijkheden zijn beoordeeld:

- sturing op basis van de nitraatconcentratie in het midden van de voordennitrificatieruimte;
- sturing op basis van de redoxpotentiaal in het midden van de voordennitrificatieruimte.

In eerste instantie is het interne recirculatie-debiet geregeld op basis van de nitraatconcentratie. Indien de gemeten nitraatconcentratie lager is dan het ingestelde nitraatsetpoint zal het recirculatie-debiet worden verhoogd: er kan immers nog meer nitraat worden gedennitrificeerd. Indien de gemeten nitraatconcentratie hoger is dan het nitraatsetpoint, wordt minder gerecirculeerd. De denitrificatiecapaciteit is al volledig benut.

In de fase waarin het recirculatie-debiet wordt gestuurd op basis van de nitraatconcentratie is de redoxpotentiaal in het eerste compartiment geregistreerd. Voor een navolgende fase is een regeling ontwikkeld en toegepast op basis van het redoxmeetsignaal. In deze fase is de nitraatconcentratie in hetzelfde compartiment geregistreerd.

Er zijn verschillende stapresponsies uitgevoerd voor de vaststelling van de PID-constanten van de nitraat- en redoxregelaars. Hierbij is het interne recirculatie-debiet momentaan verhoogd en is gekeken naar de invloed hiervan op de nitraatconcentratie en de redoxpotentiaal in de tijd. Op basis van de uitkomsten zijn de PID-instellingen van de regelaars indicatief vastgesteld.

In de praktijk bleek dat de op deze wijze bepaalde constanten proefondervindelijk veelal moesten worden aangepast.

Meetapparatuur

Ten behoeve van het onderzoek zijn verschillende meetinstrumenten ingezet. Alle genoemde meetinstrumenten, met uitzondering van de redoxpotentiaal- en zuurstofmeting, zijn voorzien van een Koch ultrafiltratie-eenheid. De membraanbuizen dienen eens in de drie weken te worden gereinigd.

In tabel 17 zijn de belangrijkste kenmerken van de meetapparatuur vermeld.

Tabel 17 Kenmerken van de toegepaste meetapparatuur op de rwzi Utrecht

meting	merk	filtratie	meetprincipe	analysetijd
nitraat ¹⁾	Dr. Lange	ja	UV-spectrofotometrisch	± 2 minuten
fosfaat	Dr. Lange	ja	spectrofotometrisch	± 10 minuten
ammonium	WTW	ja	potentiometrisch (ionselectief)	± 2 minuten
redoxpotentiaal	WTW	nee	potentiometrisch	direct
zuurstof	Danfoss	nee	potentiometrisch	direct

¹⁾de som van N-NO₂ + N-NO₃

Fasering van het onderzoek

In de periode medio maart tot en met medio juli 1994 en van eind september tot eind oktober 1995 is de tweede trap intensief bemonsterd. De fasering van het onderzoek is in tabel 18 weergegeven.

Tabel 18 Fasering van het onderzoek op de rwzi Utrecht

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

¹⁾in fase 2b en 3b is CZV-substraat in B1 gedoseerd in de vorm van spuislib van de eerste trap. Gemiddeld werd 120 m³ spuislib per dag gedoseerd.

Voor het onderzoek dient de effluentkwaliteit van de beluchtingsstraat B2 als referentie om het effect van de voordennitrificatie(-regeling) te kunnen vaststellen. Straat B2 is qua inhoud identiek aan straat B1. Er is uitgegaan van eenzelfde hydraulische belasting van de beide straten.

Dynamische simulatie

Voorafgaand aan het onderzoek is door simulatieberekeningen een aantal varianten beoordeeld voor de optimalisatie van de stikstofverwijdering. De volgende varianten zijn beschouwd:

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

Eveneens is dynamische simulatie toegepast voor het bepalen van de instellingen (setpoint) van de nitraatregelaar. In de praktijk bleek een aanpassing van het nitraatsetpoint noodzakelijk om de nitraatregeling daadwerkelijk goed te laten functioneren.

Resultaten

De belangrijkste procesparameters en meetresultaten van het onderzoek zijn per fase genoteerd in de tabellen 19 en 20.

Statistische toetsing

Om het effect van de verschillende regelingen te beoordelen, zijn statistische berekeningen (Student-t-toets) uitgevoerd. Hierbij zijn de nitraatconcentratie in het effluent, de slibvolume-index en het energieverbruik voor de interne recirculatie getoetst bij een betrouwbaarheid van 95%.

Tabel 19 Belangrijkste gemiddelde procescondities in de proefstraat B1 en de referentiestraat B2 voor de rwzi Utrecht (per fase)

parameter	fase 1		fase 2a		fase2b		fase3a		fase3b	
	straat--> B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
ALGEMEEN										
. aanvoer (m ³ /d)	44.369	44.369	37.860	37.860	49.731	49.731	42.391	42.391	34.356	34.356
. temperatuur (°C)	13,5	13,5	16,2	16,2	18,3	18,3	17,0	17,0	21,5	21,5
. G _a (kg/m ³)	4,1	4,0	3,8	3,9	4,1	4,3	3,6	3,6	4,5	3,9
. CZV/NKj	5,0	5,0	4,5	4,5	2,8	2,8	4,5	4,5	4,2	4,2
. SVI (ml/g)	139	113	246	151	93	136	255	178	195	168
. k (kg CZV/kg d.s.d)	0,25	0,25	0,24	0,24	0,15	0,15	0,23	0,23	0,17	0,19
. substraat (m ³ /d)	0	0	0	0	124	0	0	0	118	0
STIKSTOFBALANS										
. aanvoer N _{Kj} (kg/d)	1.358	1.358	1.299	1.299	1.492	1.492	1.153	1.153	1.117	1.117
. effluent N _{Kj} (kg/d)	222	222	239	265	224	224	242	250	220	196
. effluent NO ₃ (kg/d)	222	351	303	379	691	726	345	389	196	340
. N in slib (kg/d)	85	85	119	119	57	57	54	54	56	56
. gedenitrificeerd (kg/d)	829	700	638	536	520	485	512	460	645	525
ENERGIE (beluchting + interne rec.)										
. tot. energieverbruik (kWh/d)	5.278	4.039	4.728	4.329	6.163	4.610	4.558	3.920	5.214	4.372
. kWh/kg N _{Kj} verwijderd	4,7	3,6	4,5	4,2	4,9	3,6	5,0	4,3	5,8	4,7
. kWh/kg N-totaal verwijderd	5,8	5,2	6,2	6,6	10,7	8,5	8,0	7,6	7,4	7,6

Tabel 20 Stikstofverwijderingsrendement in de proefstraat B1 en de referentiestraat B2 voor de rwzi Utrecht (in % van de N_{Kj}-aanvoer)

straat	fase 1	fase 2a	fase 2b	fase 3a	fase 3b	gemiddeld
B1	67	58	39	49	63	55
B2	58	50	36	44	52	48
B1-B2	+9%	+8%	+3%	+5%	+11%	+7%

Conclusies

Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de volgende conclusies geformuleerd.

Effluentkwaliteit

- het toepassen van interne recirculatie heeft in alle fasen geleid tot een verbeterde stikstofverwijdering (voor drie fasen was het verschil statistisch significant). Het maximum verschil in stikstofverwijdering tussen B1 en B2 bedroeg absoluut 11%;
- naarmate de CZV/N-verhouding lager is, is de toegevoegde waarde van de voordentificatieruimte en de regelingen minder. Een vergaande P-verwijdering leidt tot een slechtere N-verwijdering. Dit wordt veroorzaakt doordat door ijzerdosering de CZV/N-verhouding wordt verlaagd.
Om de genoemde 11% extra N-verwijdering te kunnen realiseren, is minimaal een CZV/N-verhouding in het effluent van de eerste trap van 4 noodzakelijk;
- de regelingen hebben geen nadelig effect op de NH₄-verwijdering;
- substraatdosering blijkt een onvoldoende (positief) effect te hebben op de N-verwijdering, waarschijnlijk omdat de hoeveelheid CZV die is gedoseerd te weinig is om de CZV/N-verhouding in voldoende mate te verhogen;
- het significant vaststellen van het verschil in effluentkwaliteit voor de regelingen in de tijd is onmogelijk, aangezien een referentie bij vergelijkbare (proces)omstandigheden ontbrak.

Slibbezinkbaarheid

- het toepassen van interne recirculatie heeft in de meeste perioden geleid tot een significant slechtere slibbezinkbaarheid. Het is zinvol om de interne recirculatie te regelen in verband met energiebesparing en het negatieve effect op de slibvolume-index;
- de substraatdosering heeft een positief effect op de slibbezinkbaarheid.
Bij een langdurige substraatdosering (1-1,5 maand) blijkt de slibbezinkbaarheid van de proefstraat beter te zijn in vergelijking met de referentiestraat.

Regeling

- het bepalen van de PID-constanten voor de regelaars door het interpreteren van stapresponsies geeft geen eenduidig beeld, een handmatige bijstelling van de bepaalde instellingen is veelal noodzakelijk;
- op de rwzi Utrecht voldeed de redoxmeting niet als signaal om de interne recirculatie goed te kunnen regelen. Het signaal vertoont te weinig veranderingen om hierop te kunnen sturen;
- voor de rwzi Utrecht is er een duidelijke voorkeur voor de toepassing van een nitraatregeling. De gegevens zijn eenduidig te interpreteren.

Dynamische simulatie

- dynamische simulatie is toegepast om vooraf een aantal maatregelen ter verbetering van de stikstofverwijdering te kunnen beoordelen. Eveneens is simulatie gebruikt om de nitraatregelaar te optimaliseren. In de praktijk bleek dat een handmatige aanpassing van de instellingen van de regelaar noodzakelijk was.

Meetapparatuur

- het signaal van de monitoren is betrouwbaar en de bediening hiervan is relatief eenvoudig.

Kosten

- de implementatie van een voordennitrificatieruimte in de tweede trap (voor 3 straten) heeft circa f 2.000.000,- gekost. Ervan uitgaand dat er door voordennitrificatie 10% extra stikstof wordt verwijderd, komt dit neer op circa 350 kg/d. De specifieke kosten bedragen f 5,10 per kg N_{Kj} verwijderd.

6 EVALUATIE

Op basis van de resultaten van de verschillende praktijkonderzoeken kan samenvattend het volgende worden geconcludeerd.

6.1 Effluentkwaliteit

Regeling van de zuurstofinbreng

Algemeen

Door de combinatie van een verscherpte aandacht voor de procesvoering en het handmatig aanpassen van setpoints is een aanzienlijke verbetering van de stikstofverwijdering te realiseren. Het (automatisch) regelen van de beluchtingsinbreng leidt meestal tot een geringe extra verbetering van de stikstofverwijdering, met name in situaties waarbij al sprake is van een goede stikstofeffluentkwaliteit.

Voor het regelen van de zuurstofinbreng zijn zowel enkelvoudige regelingen (met de zuurstofconcentratie als meetsignaal) als meervoudige regelingen onderzocht.

Gezien de korte meetperioden en het ontbreken van een goede referentie-situatie kon op basis van de effluentkwaliteit geen duidelijke voorkeur voor een bepaalde geteste beluchtingsregeling worden vastgesteld. Een uitzondering hierbij is de rwzi Kralingseveer. Door het uitvoeren van dynamische simulatieberekeningen is de oude zuurstofregeling geoptimaliseerd. Hiermee is in de praktijk een significant betere effluentkwaliteit bereikt.

Omloopsysteem

De hydraulische verblijftijd is met name in een ultralaag-belast omloopsysteem relatief lang. Voor wat betreft stikstof (NH_4 , NO_3) en CZV kan een omloopsysteem als compleet gemengd worden verondersteld, waarbij de concentraties van de genoemde componenten relatief langzaam in de tijd variëren. De snelheid van de beluchtingsregeling (regelactie en meetapparatuur) is daarom minder van belang, evenals de lokatie van de analysers. De precieze lokatie van de zuurstofmeter is wel relevant. Deze dient te worden geplaatst op een lokatie waarbij de zuurstofconcentratie binnen het bereik van de zuurstofmeter varieert en waar het effect van het in- of uitschakelen van een beluchter duidelijk is waar te nemen.

Bij grote veranderingen in de influentsamenstelling kan bij een enkelvoudige regeling een handmatige aanpassing van het setpoint noodzakelijk zijn. Op de rwzi Gennep is vastgesteld dat bij een ongewijzigd zuurstofsetpoint en een sterk variërende influentsamenstelling met de zuurstofregeling een zeer hoge nitraatconcentratie in het effluent is verkregen. Daarentegen is met de meervoudige ammonium/nitraatregeling een lage(re) N-totaalconcentratie in het effluent behaald.

Propstroomreactor (met voordennitrificatieruimte)

De hydraulische verblijftijd in een propstroomreactor is relatief kort. De concentraties van de componenten veranderen over de lengte van de reactor. Er dient snel te worden ingegrepen op variërende influentvrachten om pieken in de effluentconcentraties te voorkomen. De snelheid van de beluchtingsregeling en de lokatie van de meetapparatuur spelen hierbij een grote rol. Met name een voorwaartse regeling, gecombineerd met een terugkoppelende regeling komt hierbij tot zijn recht: er kan snel worden ingespeeld op veranderingen in de samenstelling van het influent, met handhaving van een goede en stabiele effluentkwaliteit.

Regeling van de interne recirculatie

Het toepassen van een voordennitrificatieruimte gecombineerd met het regelen van de interne recirculatie leidt tot een aanzienlijke verlaging van het totaal-stikstofgehalte in het effluent. De nitrificatie wordt hierbij (vrijwel) niet nadelig beïnvloed.

Door het regelen van het recirculatiedebiet op basis van een nitraatmeting in de afloop van de voordennitrificatieruimte wordt de beschikbare denitrificatiecapaciteit goed benut. In vergelijking met een handmatige aanpassing van het interne debiet op basis van laboratoriumanalyses komt de kracht van de regeling met name tot uiting bij sterk wisselende debieten of vrachten. De redoxregeling blijkt op de rwzi Utrecht niet geschikt om de interne recirculatie goed te kunnen regelen, aangezien het meetsignaal te weinig variatie vertoont. Het effect van de regeling van de interne recirculatie is op deze rwzi groter naarmate de CZV/N-verhouding hoger is.

6.2 Slibbezinkbaarheid

Voor géén van de onderzochte beluchtingsregelingen is een (nadelig) effect op de slibbezinkbaarheid vastgesteld.

Na toepassing van de voordennitrificatieruimte in combinatie met de regeling van de interne recirculatie is op de rwzi Utrecht in de proefstraat een significant hogere slibvolume-index waargenomen; dit in tegenstelling tot de rwzi Bath, waar met een soortgelijke regeling géén nadelig effect op de slibbezinkbaarheid is waargenomen.

Dosering van CZV-substraat in de vorm van spuislib van de eerste trap leidde op de rwzi Utrecht tot een significante verbetering van de slibbezinkbaarheid.

6.3 Energieverbruik

Regeling van de zuurstofinbreng

De toepassing van de geoptimaliseerde beluchtingsregeling heeft op de rwzi Kralingseveer geleid tot een hoger energieverbruik. Dit verdient zich echter terug door een besparing op de Rijksheffing.

Door het geringe aantal meetwaarden kan op de rwzi Beemster het effect van de regelingen op het energieverbruik niet worden vastgesteld. Uit simulatieberekeningen blijkt dat met een respirometer een energiebesparing van enkele procenten kan worden bereikt in vergelijking met een regeling op basis van de zuurstofconcentratie.

Daarentegen is voor de twee beschouwde regelingen op de rwzi Gennep in de praktijk geen significant verschil in het specifieke energieverbruik vastgesteld.

Regeling van de interne recirculatie

Op de rwzi Utrecht is het gemiddelde energieverbruik voor interne recirculatie ongeveer 20% van het energieverbruik benodigd voor beluchting. Door toepassing van de voordennitrificatieruimte, in combinatie met de regeling van de interne recirculatie, wordt wel extra stikstof verwijderd.

Desondanks is het specifieke energieverbruik (in kWh/kg N-totaal_{verw.}) voor de proefstraat over alle perioden gemiddeld iets hoger ten opzichte van de referentiestraat (zonder interne recirculatie). Door een optimalisatie van de regeling kan onnodig recirculeren worden voorkomen en wordt een energiereductie mogelijk geacht.

6.4 Processtabiliteit

De toepassing van de beluchtingsregeling op de rwzi Kralingseveer heeft geleid tot een meer constante en lage stikstofconcentratie in het effluent.

Uit onderzoek op de rwzi's Bath en Utrecht is gebleken dat de toepassing van een regeling van de interne recirculatie bij een voldoende hoge CZV/N-verhouding leidt tot een aanzienlijke verbetering van de denitrificatie. Dosering van CZV-substraat heeft een positieve invloed op de slibbezinkbaarheid.

Door de gehanteerde regeling op de rwzi Bath wordt de CZV/NO₃-verhouding in de toevoer naar de voordenitrificatieruimte min of meer constant gehouden. Dit heeft een positieve invloed op de nitraatconcentratie in het effluent.

6.5 Meetapparatuur

In het algemeen toonde de gebruikte meetapparatuur zich weinig storingsgevoelig en wordt een reproduceerbaar meetsignaal verkregen. Preventieve maatregelen (zoals voorafgaande filtratie van het monster) en periodiek onderhoud (reiniging van de membranen, slangetjes etc.) zijn noodzakelijk voor een goede werking van de bij de onderzoeken toegepaste meetapparatuur. De benodigde tijd en kosten voor aanschaf en onderhoud worden veelal terugverdiend door besparing van tijd en kosten voor bemonstering en laboratoriumanalyses.

Op de rwzi Bath is actiefkoolfiltratie van het monster noodzakelijk om een storing van de nitraatanalyser te voorkomen.

6.6 Dynamische simulatie

Het bleek dat dynamische simulatie als ondersteunend hulpmiddel bij de praktijkonderzoeken goed kon worden toegepast. Langdurig experimenteren met verschillende regelingen en instellingen van regelaars kan hiermee worden voorkomen.

In het kader van dit onderzoek zijn regelingen theoretisch beoordeeld op de mate van stikstofverwijdering, energieverbruik en processtabiliteit. Ook zijn in de praktijk toegepaste regelingen geoptimaliseerd en met elkaar vergeleken door het bepalen van PID-constanten, de schakelvolgorde van de beluchters en de lokatie van de meetapparatuur in het beluchtingssysteem. Eveneens zijn regelingen voor het sturen van het interne recirculatie-debiet naar een voordenitrificatieruimte met elkaar vergeleken.

In de praktijk blijkt dat soms een handmatige aanpassing nodig is van de door simulatie bepaalde regelaarsinstellingen.

Implementatie van de regeling of regelaarsinstellingen in de praktijk vergt nauw overleg met een meet- en regeltechnicus om een foutieve implementatie van regelingen en instellingen te voorkomen.

7 TOEPASSING IN DE PRAKTIJK

7.1 Inleiding

In de verschillende praktijkonderzoeken zijn in hoofdzaak twee regelingen beschouwd:

- de regeling van de zuurstofinbreng op basis van één of meer meetsignalen (rwzi's Kralingseveer, Beemster en Genneep);
- de regeling van de interne recirculatie naar een voordennitrificatieruimte op basis van een (maar verschillend) meetsignaal (rwzi's Bath en Utrecht).

Bij de praktijkonderzoeken is gebruik gemaakt van verschillende meetsignalen, typen regelaars en typen regelingen. In tabel 21 is hiervan een overzicht gegeven.

Tabel 21 Overzicht van de toegepaste meetsignalen, regelaars en regelingen

meetsignaal	O ₂ , NH ₄ , NO ₃ , influent- en retourlibdebiet, redoxpotentiaal, respiratiesnelheid
regelaars	aan/uit, PI, PD, PID
regeling	enkelvoudig (direct), cascade, tijd
Een uitgebreide verhandeling van type meetsignalen, regelaars en regelingen is beschreven hoofdstuk 4.	

Voor de regelaar is in de meeste situaties de voorkeur gegeven aan een (conventionele) PID-regelaar. De instellingen van de P-, I-, en D-constanten zijn afhankelijk van de te meten component (bijvoorbeeld O₂ of NH₄), het type aëratietank en in mindere mate de temperatuur.

Door de grote verscheidenheid aan meetsignalen en type regeling is (theoretisch) een groot aantal combinaties mogelijk voor het regelen van de zuurstofinbreng en het intern recirculatie-debiet. Echter, niet alle meetsignalen en regelingen kunnen voor elke situatie worden toegepast.

Om de selectie van regelingen voor bepaalde situaties te vergemakkelijken, zijn in de volgende paragrafen de kenmerken van de meeste, in de praktijk toegepaste, regelingen vermeld. Vanzelfsprekend zijn hierbij ook de regelingen in beschouwing genomen die zijn toegepast bij de deelonderzoeken.

7.2 Regeling van de zuurstofinbreng

Voor de regeling van de zuurstofinbreng bestaat een groot aantal mogelijkheden. Echter, uiteindelijk wordt de zuurstofinbreng geregeld op basis van het verschil tussen de gemeten waarde en het setpoint van één component (uitgezonderd de verhoudingsregeling en de multi-variabele regelaars). Wel kan dit setpoint worden aangepast door meting van andere componenten of kan een andere component de regeling 'overnemen'.

Navolgend is een overzicht gegeven van de meest gebruikelijke beluchttingsregelingen, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen de parameter en de component die uiteindelijk de zuurstofinbreng bepaalt.

1. **O₂**
 - a. *O₂ (enkelvoudig)*
Een veelvuldig toegepaste (enkelvoudige) regeling, waarbij de beluchting op basis van de meting van de zuurstofconcentratie wordt geregeld (bijvoorbeeld rwzi Beemster en Gennep).
 - b. *NH₄/O₂-regeling*
Bij deze cascade-regeling wordt gestreefd naar een bepaalde ammoniumconcentratie door het zuurstofsetpoint aan te passen. De nitraatconcentratie is van ondergeschikt belang (bijvoorbeeld de rwzi Beemster).
 - c. *NO₃/O₂-regeling*
Een cascaderегeling waarbij wordt gestreefd naar een bepaalde nitraatconcentratie door het zuurstofsetpoint aan te passen. De ammoniumconcentratie is van ondergeschikt belang.
 - d. *NO₃/NH₄/O₂-regeling*
Een cascade-regeling waarbij wordt gestreefd naar zowel een lage ammonium- als nitraatconcentratie, door beïnvloeding van het ammonium- en zuurstofsetpoint (bijvoorbeeld rwzi Beemster).
2. **Respiratiesnelheid**
Een (enkelvoudige) regeling waarbij het meetsignaal een maat is voor de zuurstofbehoefte van het actief slib (bijvoorbeeld de rwzi Beemster).
3. **Redoxpotentiaal**
Dit meetsignaal kan worden toegepast voor de regeling van intermitterende beluchtingssystemen, indien op de absolute waarde van de redoxpotentiaal wordt gestuurd.
4. **NH₄-regeling**
Bij deze (enkelvoudige) regeling wordt gestreefd naar een bepaalde ammoniumconcentratie; de nitraatconcentratie is van ondergeschikt belang.
5. **NO₃-regeling**
Bij deze (enkelvoudige) regeling wordt gestreefd naar een bepaalde nitraatconcentratie; de ammoniumconcentratie is van ondergeschikt belang.
6. **Combinaties van meetsignalen**
 - a. *Redoxpotentiaal/tijd*
Het redoxmeetsignaal wordt gebruikt voor de sturing van de denitrificatie: indien de nitraatconcentratie vrijwel nul is, wordt een knik in de afname van de redoxpotentiaal waargenomen. Vervolgens wordt de sturing van de nitrificatie gerealiseerd met een tijdsklokregeling door gedurende een bepaalde ingestelde tijd te beluchten.
 - b. *Redoxpotentiaal/O₂/tijd*
Het redoxmeetsignaal wordt gebruikt voor de sturing van de denitrificatie: indien de nitraatconcentratie vrijwel nul is, wordt een knik in de afname van de redoxpotentiaal waargenomen. Vervolgens wordt de sturing van de nitrificatie gerealiseerd met een zuurstofregeling: er wordt zuurstof ingebracht totdat het ingestelde zuurstofsetpoint is bereikt. Dit setpoint wordt gedurende een bepaalde tijd gehandhaafd.
 - c. *Redoxpotentiaal/NH₄*
Het redoxmeetsignaal wordt gebruikt voor de sturing van de denitrificatie, de ammoniumregeling (beluchting aan/uit) voor de sturing van de nitrificatie. Bij deze regeling wordt direct op de voor de nitrificatie van belang zijnde parameter (nl. NH₄) geregeld.

- d. NH_4/NO_3
Een (enkelvoudige) regeling waarbij met twee regelaars afwisselend op ammonium of nitraat wordt geregeld, afhankelijk van de grootte van de concentraties van beide componenten (bijvoorbeeld rwzi Gennepe).
- e. $O_2/tijd/NO_3$
Een (enkelvoudige) regeling waarbij met drie regelaars afwisselend op zuurstof of nitraat wordt geregeld, afhankelijk van de grootte van de concentraties van beide componenten. Het zuurstofsetpoint wordt een bepaalde tijd gehandhaafd.
- f. *Verhoudingsregeling (bijvoorbeeld $NH_4/NO_3 + NH_4$)*
Bij deze regeling wordt gestreefd naar een bepaalde (instelbare) verhouding van ammonium en nitraat en niet naar een bepaald enkelvoudig setpoint.

Naar de toepassing van multivariabele regelingen (bijvoorbeeld MPC, LQG, fuzzy logic) voor het regelen van de zuurstofinbreng wordt momenteel veel onderzoek verricht. Bij deze regelingen wordt gebruik gemaakt van meerdere meet- en stuursignalen. De grootte van de stuursignalen is afhankelijk van de uitkomsten van een wiskundig model (MPC of LQG) of een set van kennisregels (fuzzy logic). In het kader van dit onderzoek zijn deze regelaars niet in beschouwing genomen.

In tabel 22 zijn de kenmerken van de genoemde beluchttingsregelingen in relatie tot een aantal eigenschappen genoemd.

Vervolgens is in afbeelding 12 in de vorm van een stappenplan aangegeven welke regelingen in welke situaties geschikt zijn. Hierbij zijn de volgende stapcriteria onderscheiden:

- *uitvoering actief-slibstelsysteem* (omloopsysteem (volledig gemengd) of propstroomreactor met voordennitrificatieruimte)
Vanwege de relatief grote systeemtraagheid en hydraulische verblijftijd in een omloopsysteem is de snelheid van regelen in een omloopsysteem minder kritisch in vergelijking met een propstroomreactor. Hierdoor zal het aantal geschikte beluchttingsregelingen voor de toepassing in een propstroomreactor beperkter zijn.
- *de slibleeftijd benodigd voor nitrificatie*. Deze is:
 - onvoldoende als de slibleeftijd lager is dan de benodigde slibleeftijd voor nitrificatie bij een bepaalde temperatuur ($SRT < SRT_{kritisch,T}$);
 - juist voldoende als de slibleeftijd ongeveer gelijk is aan de benodigde slibleeftijd voor nitrificatie bij een bepaalde temperatuur ($SRT \approx SRT_{kritisch,T}$);
 - ruim voldoende als de slibleeftijd hoger is dan de benodigde slibleeftijd voor nitrificatie bij een bepaalde temperatuur ($SRT > SRT_{kritisch,T}$). Hierbij zijn er tevens mogelijkheden voor (een vergaande) denitrificatie.
 Afhankelijk van de mogelijkheden voor (een vergaande) nitrificatie en denitrificatie komen bepaalde beluchttingsregelingen bij voorkeur in aanmerking.

Het stappenplan is niet bindend maar geeft richtlijnen en/of voorkeuren voor de te hanteren regeling(en) van de zuurstofinbreng, rekening houdend met de kenmerken en de zuiveringsmogelijkheden van het actief-slibstelsysteem.

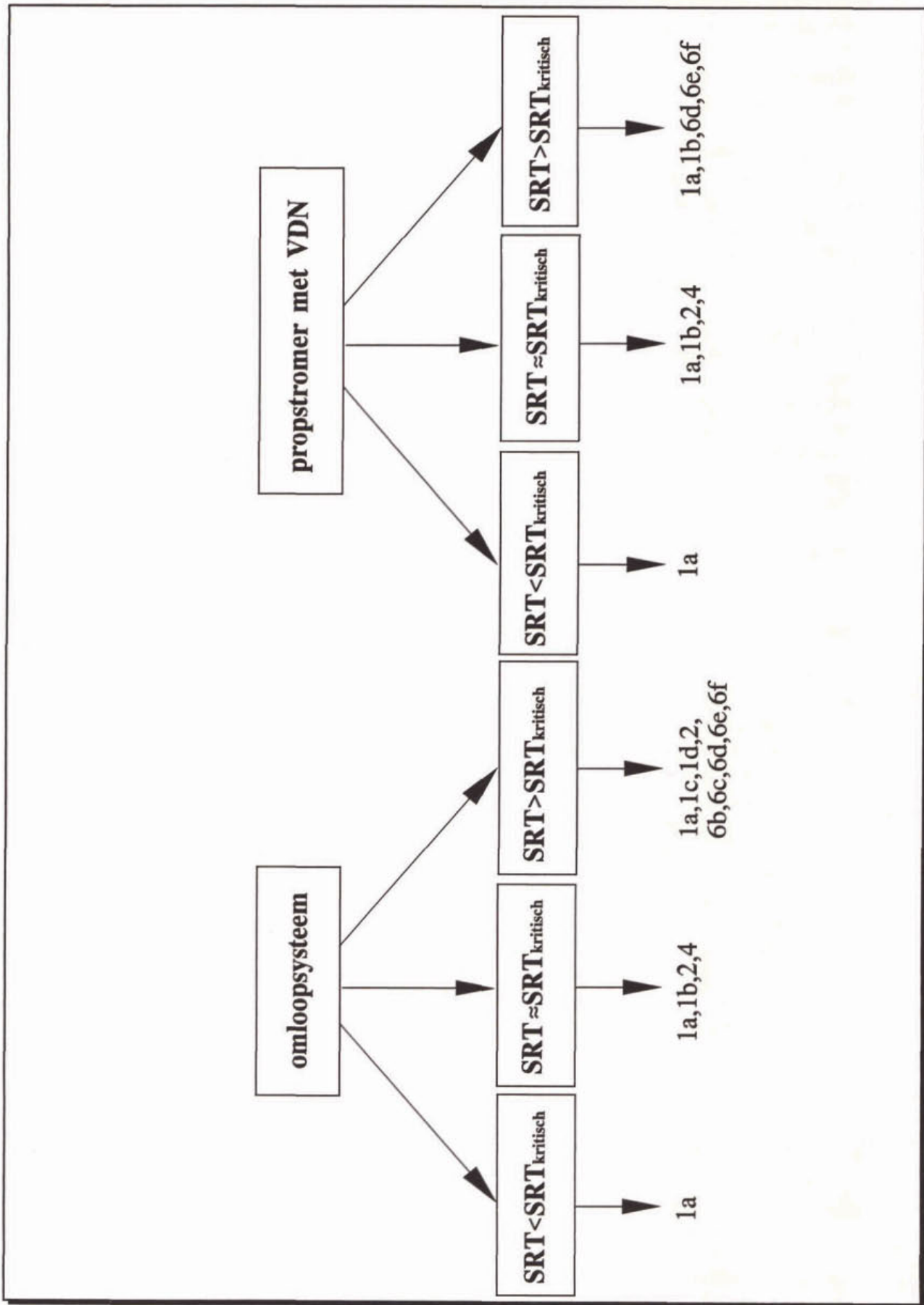
Afhankelijk van het lokatiespecifieke doel van de regeling kan hier dus van worden afgeweken, bijvoorbeeld als men:

- streeft naar een laag ammoniumgehalte in het effluent;
- altijd voldoende moet beluchten in verband met beheersing van de slibbezinkbaarheid.

Tabel 22 Kenmerken van de genoemde regelingen

nr.	type regeling	inzichtelijkheid regeling	nitrificatie gewaarborgd ²⁾	denitrificatie gewaarborgd ²⁾	investeringen ³⁾ (f)
1a	O ₂	groot	ja ¹⁾	nee	5.000,-
1b	NH ₄ /O ₂ (cascade)	middelmatig	ja	nee	40.000,-
1c	NO ₃ /O ₂ (cascade)	middelmatig	nee	ja	40.000,-
1d	NO ₃ /NH ₄ /O ₂ (cascade)	laag	ja	ja	75.000,-
2	respiratiesnelheid	groot	ja ¹⁾	nee	35.000,-
4	NH ₄	groot	ja	nee	35.000,-
6b	redoxpotentiaal/O ₂ /tijd	groot	ja ¹⁾	ja	10.000,-
6c	redoxpotentiaal/NH ₄	groot	ja	ja	40.000,-
6d	NH ₄ /NO ₃ (enkelvoudig)	middelmatig	ja	ja	70.000,-
6e	O ₂ /tijd/NO ₃ (enkelvoudig)	middelmatig	ja ¹⁾	ja	40.000,-
6f	verhouding ammonium/nitraat	middelmatig	ja	ja	70.000,-

¹⁾handmatige aanpassing setpoints vaak noodzakelijk
²⁾aangenomen is dat de mogelijkheid voor een vergaande nitrificatie en denitrificatie aanwezig is
³⁾globale 'kale' investeringen voor de benodigde meetapparatuur (de precieze kosten zijn afhankelijk van het meetprincipe)



Afbeelding 12 Stappenplan voor de keuze van het type regeling voor de zuurstofinbreng

Effect van de zuurstofregeling voor de fosfaatverwijdering

In het kader van dit onderzoek is geen aandacht besteed aan het optimaliseren van de fosfaatverwijdering. In een eerder STOWA-onderzoek is dit aspect wel onderzocht [6].

Afhankelijk van de manier van fosfaatverwijdering kunnen, in relatie tot het regelen van de zuurstofinbreng, de volgende opmerkingen worden geplaatst.

Chemische fosfaatverwijdering

Bij de chemische fosfaatverwijdering worden de metaalzouten in de meeste gevallen in of nabij de voorbezinktank of in de aëratietank gedoseerd. Het type beluchtingsregeling heeft hierbij vrijwel geen invloed op de mate van fosfaatverwijdering. Wel kan de effectiviteit van de ijzerdosering verminderen bij het doseren van Fe(II)-zouten, gecombineerd met het vóórkomen van (lange) zuurstofloze perioden.

Biologische fosfaatverwijdering

Een verhoogde biologische fosfaatverwijdering wordt verkregen door de introductie van een zuurstofloze periode, gevolgd door een aërobe periode. Indien deze afwisseling gedurende voldoende lange perioden plaatsvindt, is de mogelijkheid voor biologische fosfaatverwijdering aanwezig. Met name intermitterende beluchting is hiervoor geschikt. Wel dient ervoor te worden gezorgd dat het extra afgegeven fosfaat tijdens de aërobe periode in verhoogde mate weer wordt opgenomen en niet met het effluent de rwzi verlaat. Te weinig of te lang niet beluchten kan ertoe leiden dat in verhoogde mate fosfaat wordt afgegeven en aanvullend ijzertzouten moeten worden gedoseerd om een laag fosfaatgehalte in het effluent te behalen. Een financiële besparing op energieverbruik wordt daardoor teniet gedaan.

7.3 Regeling van het intern recirculatiedebiet

Voor het regelen van het interne recirculatiedebiet naar een voordennitrificatieruimte kunnen de navolgende meetsignalen worden toegepast.

1. Influentdebiet

De verandering van het interne recirculatiedebiet is dan evenredig met de verandering van het influentdebiet. Het debiet kan op een minimale en maximale waarde worden begrensd, zodat te veel of te weinig recirculeren wordt voorkomen. Met deze regeling wordt geen rekening gehouden met de beschikbare denitrificatiecapaciteit.

2. Redoxpotentiaal

Het interne recirculatiedebiet wordt geregeld op basis van de verandering van de redoxpotentiaal in de tijd. Op het moment dat het nitraat (bijna) volledig is omgezet, kan een sterke afname in de redoxpotentiaal worden waargenomen. Op basis van de waarneming van deze 'knik' wordt het debiet geregeld. Deze regeling is o.a. beproefd op de rwzi Holten, waarbij het debiet naar een anoxische en anaërobe zone is geregeld [6].

Het regelen op basis van een absolute redoxpotentiaal is veelal niet mogelijk, aangezien de potentiaal een maat is voor de 'overall' oxydatietoestand van het water. De potentiaal wordt door een groot aantal componenten bepaald. De concentraties van die componenten kunnen (sterk) variëren, waardoor de redoxpotentiaal in de tijd verandert.

3. Nitraatconcentratie

Het interne recirculatiedebiet wordt geregeld op basis van de nitraatconcentratie. De nitraatconcentratie kan worden gemeten in de afloop van de voordennitrificatieruimte en in het effluent of in de afloop van de aëratietank. In de eerste situatie is het nitraatsetpoint op een lage waarde ingesteld (1-3 mg/l). Indien de gemeten nitraatconcentratie bijvoorbeeld lager is dan het setpoint wordt meer gerecirculeerd, totdat de gemeten nitraatconcentratie gelijk is aan het setpoint.

Voor de regeling van het intern recirculatie-debiet wordt de voorkeur gegeven aan een regeling op basis van de nitraatconcentratie. De nitraatconcentratie wordt hierbij gemeten in de afloop van de voordennitrificatieruimte.

Deze regeling heeft de volgende voordelen:

- er wordt direct geregeld op de van belang zijnde component (nitraat) en niet op een afgeleide daarvan (bijvoorbeeld de redoxpotentiaal);
- indien het debiet wordt geregeld op basis van een meting in de afloop van de voordennitrificatieruimte, zal de beschikbare denitrificatiecapaciteit goed worden benut. Er wordt direct ingespeeld op een verandering van de temperatuur of de stikstofaanvoerkracht door meer of minder te recirculeren.

De nadelen van deze regeling zijn:

- een relatief dure nitraatanalyser is benodigd;
- het is een 'feed-back' regeling waardoor een bepaalde tijdvertraging optreedt, alvorens de afwijking van het setpoint wordt gecorrigeerd. Deze tijdvertraging is vanzelfsprekend kleiner, indien wordt gemeten in de afloop van de voordennitrificatieruimte in plaats van in het effluent. De vertraging kan nog verder worden geminimaliseerd door bijvoorbeeld het influentdebiet en het retourlibdebit in de regeling op te nemen. Op deze wijze wordt een 'feed forward'-meting gecombineerd met een 'feed back'-meting, waardoor snel kan worden ingespeeld op (toekomstige) veranderingen in het proces.

In het kader van dit onderzoek is verschillende meetapparatuur ingezet voor de regeling van de zuurstofinbreng en de interne recirculatie.

In vrijwel alle gevallen heeft dit geleid tot een (aanzienlijke) verbetering van de stikstofverwijdering. Dit is enerzijds een gevolg van de verscherpte aandacht voor de procesvoering en anderzijds van een wijziging in het zuiveringssysteem (de toepassing van een voordennitrificatieruimte in combinatie met een regeling van de recirculatie). Daarnaast speelt het toepassen van een geoptimaliseerde regeling een rol.

De verbetering die door het toepassen van een bepaalde beluchtingsregeling kan worden behaald, hangt af van het functioneren van de rwzi: op een rwzi waarbij stikstof al vergaand wordt verwijderd, valt in de regel minder winst te behalen.

De typen beluchtingsregelingen die in aanmerking komen, zijn ondermeer afhankelijk van de uitvoering van het actief-slibstelsysteem en de beschikbare zuiveringscapaciteit. Bij de uitgevoerde onderzoeken kon op basis van de effluentkwaliteit voor het type beluchtingsregeling geen voorkeur worden vastgesteld. Dit werd veroorzaakt doordat te weinig meetgegevens voorhanden waren of een goede referentiesituatie ontbrak.

Ook met de respirometer bleek het goed mogelijk om de zuurstofinbreng bij een laag-belast omloopsysteem te kunnen regelen.

Negatieve effecten van de regelingen op het energieverbruik zijn over het algemeen gering of nihil. Door besparing op de heffing voor restvervuiling bij lozing op oppervlaktewater dat niet in eigen beheer is, is netto een kostenbesparing mogelijk.

Ook de negatieve effecten op de slibbezinkbaarheid zijn in het algemeen verwaarloosbaar, alleen op één rwzi is een significante negatieve invloed van de regeling plus aanpassing van het systeem op de slibbezinkbaarheid vastgesteld.

De processtabiliteit kan significant toenemen na implementatie van de regeling. Een handmatige aanpassing van het setpoint is hiervoor soms noodzakelijk, vooral bij een sterk wisselende aanvoersamenstelling.

De toepassing van de redoxmeter voor de regeling van de interne recirculatie naar een voordennitrificatieruimte is beoordeeld. Het signaal, dat (theoretisch) een indicatie geeft voor het verloop van de denitrificatie, blijkt in dit geval onvoldoende te variëren om het debiet goed te kunnen regelen.

Voor het regelen van de zuurstofinbreng is de redoxmeter in dit onderzoek niet bekeken. In een eerder uitgevoerd STOWA-onderzoek is deze toepassing wel beoordeeld [6].

Het meetsignaal van alle toegepaste meetapparatuur is voldoende nauwkeurig en betrouwbaar om in een regeling op te nemen. Voorafgaande filtratie en regelmatig onderhoud bleek bij de onderzoeken noodzakelijk voor een goede werking van de meetapparatuur c.q. regeling.

Het uitvoeren van dynamische simulatieberekeningen is een handig en tijdbesparend hulpmiddel voor het ontwerpen en vergelijken van regelingen en het bepalen van de instellingen van de regelaar(s). Een handmatige aanpassing van de door simulatie bepaalde regelaarsinstellingen bleek in de praktijk soms noodzakelijk.

De toepassing van meer geavanceerde regelaars (o.a. MPC, LQG, fuzzy logic) is in opkomst. Op een aantal rwzi's zijn deze regelaars toegepast voor het regelen van de zuurstofinbreng. Een besparing op de zuurstofinbreng wordt mogelijk geacht. In het kader van dit onderzoek zijn deze regelaars niet op praktijkschaal onderzocht. De toepassingen en mogelijkheden van een fuzzy logic-regeling op rwzi's worden wel in STOWA-verband nader bezien [12].

- [1] Praktijkonderzoek aan de stikstofverwijdering op de awzi Kralingseveer
Hoogheemraadschap van Schieland
Utrecht, Werkrapport STOWA 97W01
- [2] Optimalisatie van de stikstofverwijdering op de rwzi Bath
Hoogheemraadschap West-Brabant
Utrecht, Werkrapport STOWA 97W04
- [3a] Ontwikkeling van een procesbesturing voor oxydatiesloten - vergelijking van een
zuurstof-, ammonium/zuurstof-, en een nitraat/ammonium/zuurstofregeling -
Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier
Utrecht, Werkrapport STOWA 97W03
- [3b] Procesbesturing van oxydatiesloten op basis van respirometrie - Ontwikkelen en
toepassen meet- en regelstrategieën met de MSL-respirometer op rwzi Beemster -
Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier
Utrecht, Werkrapport STOWA 97W02
- [4] Optimalisatie van de stikstofverwijdering in de waterlijn van de rwzi Utrecht
- Regeling van de interne recirculatie -
Provincie Utrecht
Utrecht, Werkrapport STOWA 97W05
- [5] Ervaringen met regeling op stikstof en zuurstof op de rwzi Gennepe
Zuiveringschap Limburg
Utrecht, Werkrapport STOWA 97W06
- [6] Monitoren voor P en N
STOWA-rapport 93-04
Utrecht, april 1993
- [7] Stikstofverwijdering met behulp van een redoxregeling
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden
Workshop 'Met meten stikstof- en fosfaatverwijderingsprocessen regelen'
Amersfoort, 14 december 1995
- [8] van Soest, J.
Elementaire statistiek
Delftse Uitgeversmaatschappij
Delft, 1985
- [9] Rypkema, J.J.M.
Statistiek met Statgraphics
Academic Service
Schoonhoven, 1993
- [10] Wijvekate, M.L.
Verklarende statistiek
Het Spectrum BV
Utrecht, 1987 (20^e druk)

- [11] Dunn, I.J., Heinzle, E. e.a.
Biological Reaction Engineering
Principles, Applications and Modelling with PC Simulation
VCH, New York, ISBN 1-56081-269-9
- [12] Toepasbaarheid van fuzzy-logic voor de behandeling van stedelijk afvalwater
STOWA-rapport 97-32

