

INVENTARISATIE EN EVALUATIE
ENERGIEZUINIGE BELUCHTERREGELINGEN

RAPPORT

2012

28

ISBN 978.90.5773.560.8



Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING

Ir. A.G.N. van Bentem, DHV B.V.
Drs. E. Rekwinkel MSc, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Ir. M. Augustijn, Waterschap Scheldestromen
Ir. P.G. Piekema, Waternet
Ing. F.L.G. Besten, Waterschap Hollandse Delta
Ir. H. van der Spoel, Waterschap Rivierenland
Ing. R. van Dalen, Waterschap Vallei en Veluwe i.o.
Ing. O.B. Kluiving, Waterschap Hunze en Aa's
Ir. C.A. Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2012-28

ISBN 978.90.5773.560.8

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

ENERGIEZUINIGE BELUCHTERREGELINGEN



INHOUD

	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
2	ENQUETE	2
2.1	Inleiding	2
2.2	Opzet en verwerking	2
2.3	Resultaten	3
2.3.1	Inleiding	3
2.3.2	Regeling op ammonium (en nitraat)	3
2.3.3	Energiezuinige regeling	3
2.3.4	Instelling van de regeling	4
2.3.5	Standaardisatie	5
2.3.6	Opvallende aspecten	5
3	NADERE BESCHOUWING	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Masterregeling	7
3.2.1	Inleiding	7
3.2.2	Uitvoeringsvormen	7
3.2.3	Regeltechnische analyse	9
3.3	Energiezuinige beluchterregeling	10
3.3.1	Inleiding	10
3.3.2	Stabiele regeling	10
3.3.3	Betere regeling niet altijd energiezuinig	11
4	CONCLUSIES	13
5	REFERENTIES	14
	BIJLAGEN	
1	ENQUÊTE	15
2	RESPONS OP DE ENQUÊTE	16
3	SAMENVATTING ENQUÊTE RESULTATEN	17

1

INLEIDING

Vanuit “De Energiefabriek”, een samenwerkingsverband tussen de Nederlandse Waterschappen, is de vraag gesteld “wat is een energiezuinige beluchterregeling?” Op basis van deze vraag is een enquête onder de waterschappen uitgevoerd om te proberen vast te stellen wat de eigenschappen zijn van een energiezuinige beluchterregeling. Voor het uitvoeren van een enquête is gekozen omdat hiermee op een snelle manier de kennis en ervaring uit de praktijk kan worden verzameld.

In 2009 is door de STOWA een quick-scan uitgevoerd naar de meest energiezuinige rwzi's van Nederland [ref. 1]. In het eindrapport wordt gesteld dat de energiezuinige zuiveringen allemaal gebruik maken van relatief eenvoudige regelmethode. Algemeen wordt gesteld dat andere factoren dan een (complexe) regeling van belang zijn voor het energiezuinig zijn van de betreffende rwzi's.

Het vaststellen van de meest energiezuinige beluchterregeling is niet eenvoudig aangezien vele aspecten van invloed zijn op het energieverbruik van een beluchtingssysteem van een rwzi. Hierbij kan o.a. worden gedacht aan het type beluchtingssysteem (bellen- of puntbeluchting) en de afmetingen (diepte) van de beluchtingstank. Daarnaast is ook de bereikte effluentkwaliteit van invloed op het energieverbruik. Een laag energieverbruik kan een gevolg zijn van een goede beluchterregeling maar ook van een slechte effluentkwaliteit. In het onderzoek wordt daarom de volgende definitie van een energiezuinige beluchterregeling gehanteerd: *een beluchterregeling die er voor zorgt dat de effluenteisen worden gehaald bij een zo laag mogelijk energieverbruik.*

In dit rapport zijn de belangrijkste resultaten van de inventarisatie beschreven. De opzet en resultaten van de enquête zijn in hoofdstuk 2 gepresenteerd. In hoofdstuk 3 zijn enkele opvallende aspecten nader geëvalueerd. De conclusies zijn in hoofdstuk 4 samengevat weergegeven.

2

ENQUETE

2.1 INLEIDING

De enquête is verstuurd aan alle Waterschappen en ingevuld door een procestechnoloog van elk waterschap. Aangezien het lastig is om de energiezuinigheid van een beluchterregeling te kwantificeren, zijn de antwoorden op de enquêtevragen voor een deel subjectief. De ervaringen en denkbeelden van degene die de enquête invult bepalen voor een groot deel de antwoorden op de vragen. Door de enquête naar alle Waterschappen te sturen is de verwachting dat er toch een goed overzicht ontstaat van de kenmerken van een energiezuinige regeling.

De opzet en verwerking van de enquête is beschreven in paragraaf 2.2. De belangrijkste bevindingen zijn beschreven in paragraaf 2.3.

2.2 OPZET EN VERWERKING

In bijlage 1 is de enquête weergegeven. De vragen hebben betrekking op de volgende aspecten:

- Wat zijn de rwzi's (top 3) met de meest energiezuinige beluchterregelingen;
- Wat zijn de kenmerken van deze beluchterregelingen;
- Welke metingen worden gebruikt in deze beluchterregelingen;
- Waarom zijn deze regelingen energiezuinig;
- Is er een standaardisatie op het gebied van beluchterregelingen binnen het waterschap.

De enquête is verstuurd naar de 24 Waterschappen in Nederland. De respons op de enquête was 100%. In bijlage 2 is aangegeven wie op welke wijze heeft gereageerd. De enquête is ingevuld door 20 Waterschappen. De andere 4 hebben hun ervaringen en visie op dit onderwerp in een mail en/of telefonisch verwoord. Een aantal respondenten is telefonisch benaderd voor een nadere toelichting. Daarnaast heeft een aantal respondenten aanvullende informatie toegezonden, bijvoorbeeld een omschrijving van een standaard regeling.

De resultaten van de enquête zijn weergegeven in bijlage 3. In de tabel in deze bijlage zijn de antwoorden samengevat weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt in de volgende aspecten:

- De top 3 (of minder) van de rwzi's met de meest energiezuinige beluchterregeling, inclusief de volgende informatie:
 - het type beluchtingssysteem (punt, bellen, rotor of overig);
 - het specifieke energieverbruik van de beluchting (uitgedrukt in kWh/i.e._{verwijderd});
 - het type rwzi (b.v. omloopsysteem, propstromer etc.);
 - het type regeling (b.v. MS NH₄/O₂ is een master-slave regeling o.b.v. NH₄ en O₂);
 - de metingen die worden gebruikt in de beluchterregeling;
 - de reden dat deze regeling energiezuinig is;
- Standaardisatie. Hierbij wordt aangegeven of en op welke wijze de beluchterregeling is gestandaardiseerd;
- Veranderingen. Hierbij wordt aangegeven wat volgens de respondent de belangrijkste redenen zijn dat een beluchterregeling energiezuinig is.

In Nederland zijn 345 huishoudelijke rwzi's. Door de 24 respondenten zijn in totaal 48 rwzi's genoemd. De geselecteerde rwzi's hebben een energieverbruik dat gemiddeld circa 25% onder het landelijk gemiddelde ligt. Dit komt deels door het feit dat de systemen met bellenbeluchting relatief sterk (67%) vertegenwoordigd zijn onder de geselecteerde rwzi's. Landelijk is het aantal rwzi's met bellenbeluchting circa 45%. De invloed van de beluchterregelingen op het energieverbruik van de geselecteerde rwzi's bleek niet te kwantificeren.

De enquête is gericht op de beluchterregeling. Verschillende respondenten geven aan dat met een goede regeling van de interne recirculatie ook veel energie kan worden bespaard. Vaak wordt deze op basis van een nitraatmeting geregeld.

2.3 RESULTATEN

2.3.1 INLEIDING

In deze paragraaf worden de belangrijkste resultaten van de enquête weergegeven. Hierbij worden soms namen van Waterschappen genoemd waar een bepaalde regeling wordt toegepast. Als er namen worden genoemd wil dit niet zeggen dat dit overzicht compleet is. Er kunnen ook andere Waterschappen zijn waar hetzelfde principe wordt toegepast.

2.3.2 REGELING OP AMMONIUM (EN NITRAAT)

De belangrijkste conclusie is dat de master-slave regeling op basis van ammonium en zuurstof het meest wordt toegepast op de rwzi's met een energiezuinige regeling. Op enkele rwzi's wordt ook de nitraatmeting in de regeling geïntegreerd en soms zelfs ook de fosfaatmeting (b.v. rwzi Dinther en rwzi Soest). De masterslave-regeling wordt op verschillende manieren uitgevoerd (zie paragraaf 3.2).

Het gebruik van on-line meetgegevens (NH_4 en NO_3) wordt tevens als belangrijkste reden genoemd voor energiebesparing in de beluchterregeling (zie paragraaf 2.3.3). Naast de meer traditionele master-slave regeling, waarbij een relatief snelle slave-zuurstofregeling wordt toegepast, is ook de directe regeling op NH_4 (en/of NO_3) in opkomst. Het Waterschap Noorderzijlvest heeft sinds 2006 ervaring met dit type regeling. Ook bij andere waterschappen wordt soms overgestapt op een dergelijke regeling (o.a. bij Delfland en De Stichtse Rijnlanden). Zuurstof wordt hierbij vaak nog wel als achtervang in de regeling meegenomen om overbeluchting te voorkomen.

Als voordeel van het direct op NH_4 sturen wordt genoemd dat hierdoor ook op zeer lage zuurstofgehalten kan worden belucht, iets wat bij een zuurstofregeling tot regelproblemen kan leiden.

De aansturing van een deel van de beluchting direct op NH_4 en/of NO_3 vindt bij meer waterschappen plaats. Dit betreft bijvoorbeeld het bij- of afschakelen van de beluchting in de facultatieve ruimte (b.v. bij de BCFS configuratie).

2.3.3 ENERGIEZUINIGE REGELING

Op de vraag wat een regeling energiezuinig maakt zijn verschillende factoren genoemd. De belangrijkste factoren zijn:

- Toepassing van een NH_4 -meting in de regeling. De motivatie hiervoor is:
 - Dit is een directe maat voor de zuurstofvraag;
 - Dit leidt tot beluchting op maat;
 - Dit leidt tot minder onnodig beluchten.

- Toepassing van NO₃-meting in de regeling:
 - Dit leidt tot een optimale afstemming tussen stikstofverwijdering en energieverbruik;
 - Dit geeft meer ruimte voor denitrificatie;
- Direct regelen op NH₄ en/of NO₃;
- Feed-forward regeling op influentdebiet;
- Aandacht voor optimalisatie van de regeling;
- Aandacht voor de juiste P,I en D-instellingen;
- Aandacht voor calibratie / onderhoud van de sensoren;
- Invoeren van een standaardregeling;
- Begrijpbare en beredeneerbare regeling waardoor de operator beter in staat is en meer gemotiveerd is om de regeling te fine-tunen.

Door een aantal respondenten wordt de gerealiseerde energiebesparing na de introductie van een nieuwe beluchterregeling gekwantificeerd (zie Tabel 1). Hierbij dient te worden opgemerkt dat hier niet specifiek naar gevraagd is en dat er mogelijk nog andere vergelijkende resultaten beschikbaar zijn. Op basis van de genoemde praktijkcases kan worden gesteld dat een energiebesparing van 5 tot 10% mogelijk is. Hierbij dient te worden opgemerkt dat een betere beluchterregeling niet per definitie leidt tot energiebesparing en dat dit sterk afhankelijk is van de uitgangssituatie. In paragraaf 3.3 wordt hierop nader ingegaan.

TABEL 1 GEREALISEERDE ENERGIEBESPARING DOOR EEN GEWIJZIGDE BELUCHTERREGELING

Waterschap	Rwzi	Type regeling	Besparing
Regge en Dinkel	Nijverdal	Fuzzy	10%
Rivierenland	Haaften	Master-slave NH ₄ /NO ₃ -O ₂ met RWA regeling	10%
Aa en Maas	Ooijen	Qute (Model based control)	3 – 5%

2.3.4 INSTELLING VAN DE REGELING

In de enquête is niet gevraagd naar de rol die energiebesparing speelt bij het instellen van de regeling (b.v. de keuze van een NH₄-setpoint). Tijdens het telefonisch nabellen van een deel van de respondenten is hiernaar wel gevraagd. Opvallend is dat energiebesparing over het algemeen (nog) geen rol speelt bij de instelling van de beluchterregeling. De regelingen zijn vooral ingesteld om een zo goed mogelijke effluentkwaliteit (stikstofverwijdering) te realiseren en om een zo stabiel mogelijk proces te behouden. In de praktijk wordt over het algemeen een NH₄-setpoint van 0,5 tot 2 mg/l toegepast.

Verskillende respondenten hebben aangegeven dat energie in de toekomst mogelijk wel een rol gaat spelen bij de instelling van de regeling. Het Waterschap Velt en Vecht bijvoorbeeld, overweegt de instelling van de NH₄/NO₃ regeling te wijzigen van 1:3 naar 1:1.

De aspecten die een rol spelen bij het instellen van de setpoints zijn (in volgorde van aantal keren genoemd);

- Effluentkwaliteit / Vergunningseisen;
- Processtabiliteit;
- Energieverbruik;
- Lozingsheffing;
- Exploitatiekosten;
- Microtrix Parvicella / SVI-beheersing.

Indien de lozingsheffing een rol speelt en een kostenafweging moet worden gemaakt tussen energiebesparing (NH_4 -setpoint hoger) en de heffing (NH_4 -setpoint lager) zal over het algemeen de heffing maatgevend zijn. De kosten voor de hogere heffing zullen meestal hoger zijn dan de baten van de energiewinst.

2.3.5 STANDAARDISATIE

Standaardisatie van de beluchterregeling vindt bij circa de helft van de Waterschappen plaats of is een voornemen voor de toekomst. Standaardisatie leidt tot een herkenbaardere en begrijpelijker regeling. Dit maakt dat de bedrijfsvoerder beter in staat is de regeling goed in te stellen en te beoordelen, wat tot betere resultaten en energiebesparing leidt.

Met name de Waterschappen met veel gelijksoortige rwzi's lijken standaardisatie van de beluchterregeling na te streven. Enkele voorbeelden van standaardisatie zijn:

- Regge en Dinkel: aparte standaard voor grote (o.a. NH_4/O_2) en kleine (alleen O_2) rwzi's;
- Vallei en Eem: alle omloopsystemen hebben dezelfde regelfilosofie o.b.v. master-slave NH_4/O_2 en RWA correctie;
- Scheldestromen: de rwzi's van Zeeuws-Vlaanderen (o.b.v. NO_3) en Zeeuwse Eilanden (o.b.v. NH_4) hebben elk hun eigen standaard. Voor de toekomst denkt Scheldestromen aan een regeling op basis van NH_4 én NO_3 .

Een aantal Waterschappen (o.a. Delfland en Schieland) hebben geen standaard omdat ze de filosofie hebben dat de beluchterregeling maatwerk is, en afhankelijk is van o.a. de systeemconfiguratie. Bij Waterschap Rijn en IJssel is de beluchterregeling afhankelijk van het betrokken adviesbureau, het Waterschap heeft geen uitgesproken voorkeur.

2.3.6 OPVALLENDE ASPECTEN

Door de enquête komt een aantal opvallende regelingen en regeltechnisch interessante aspecten aan het licht. In deze paragraaf wordt hier kort op ingegaan.

Door de respondenten wordt melding gemaakt van een aantal rwzi's waar interessante, meer intelligente, procesregelingen worden toegepast (zie Tabel 2). Dit overzicht is niet volledig. Bij de intelligente regelingen wordt over het algemeen gebruik gemaakt van dezelfde meetsignalen als bij de meer conventionele procesregelingen.

TABEL 2 INTELLIGENTE BELUCHTERREGELINGEN

Type regeling	Waterschappen	Rwzi's
Neuraal Netwerk	Waternet	Westpoort (testfase)
Model Based Control	Waternet	Blaricum (testfase)
	Aa en Maas	Ooijen
Fuzzy Control	Regge en Dinkel	Nijverdal
	De Stichtse Rijnlanden	de Bilt, Utrecht
	Noorderzijlvest	Hoogkerk

Daarnaast wordt op een aantal rwzi's gebruik gemaakt van interessante regeltechnische oplossingen:

- Fosfaatmeting: Op de rwzi Dinther (Aa en Maas) en Soest (Vallei en Eem) wordt de beluchting mede gestuurd op basis van een fosfaatmeting. De zuurstofsetpoint wordt hierbij niet alleen door een NH_4 -masterregeling bepaald, maar ook beïnvloedt door een fosfaatmeting. Als het fosfaatgehalte toeneemt of te hoog wordt, wordt het zuurstofsetpoint verhoogd.

- NH_4 -influentvracht: Bij Waternet wordt een regeling op basis van de influent NH_4 -vracht (NH_4 -influentconcentratie x influentdebiet) ontwikkeld voor het bijschakelen van beluchtingspakketten. Bij De Stichtse Rijnlanden is een dergelijke constructie op rwzi Zeist geïmplementeerd.
- DWA voorspelling: Op de rwzi Soest wordt op basis van historische gegevens het verloop van het aanvoerdebiet voorspeld. De beluchterregeling maakt hiervan gebruik.
- Intermitterende beluchting: Bij de Waterschappen Hollandse Delta en Scheldestromen zijn veel installaties met intermitterende beluchting. De sturing van de intermitterende regeling verschilt:
 - Hollandse Delta: sturing op redox (Hoogvlietsystemen);
 - Scheldestromen: sturing op NH_4 (rwzi's Zeeuwse Eilanden) of NO_3 (rwzi's Zeeuws-Vlaanderen);
- Temperatuursinvloed op O_2 -setpoint: Bij twee Waterschappen wordt het zuurstofsetpoint mede bepaald door de procestemperatuur. De wijze waarop dit gebeurt is echter tegengesteld:
 - Reest en Wieden: Hoge temperatuur → Lage O_2 -setpoint;
 - Scheldestromen: Hoge temperatuur → Hoge O_2 -setpoint.

3

NADERE BESCHOUWING

3.1 INLEIDING

Naar aanleiding van de resultaten van de enquête is in dit hoofdstuk een aantal aspecten nader uitgewerkt. Dit betreft allereerst de uitvoering van de masterregeling in de master-slave regelingen. Dit type regeling wordt het meest genoemd als energiezuinige regeling. Het is echter op basis van de enquête niet duidelijk wat de meest energiezuinige uitvoeringsvorm is. In paragraaf 3.2 worden de verschillende uitvoeringsvormen beschreven en met elkaar vergeleken. Vervolgens wordt in paragraaf 3.3 ingegaan op de aspecten die een beluchterregeling energiezuinig maken, of juist niet.

3.2 MASTERREGELING

3.2.1 INLEIDING

Zoals aangegeven in paragraaf 2.3.2 wordt de master-slave regeling veelvuldig toegepast. De slave-regeling is hierbij altijd een PID-regelaar op basis van zuurstof. Deze PID-regelaar stuurt direct de beluchting aan op basis van een zuurstofmeting en een zuurstofsetpoint. Het zuurstofsetpoint wordt afgegeven door de masterregeling, welke meestal op basis van ammonium wordt gestuurd. In enkele gevallen spelen in de masterregeling ook andere parameters een rol, zoals nitraat, ΔNH_4 (de verandering in de ammoniumconcentratie), en soms zelfs fosfaat. De wijze waarop de masterregeling wordt uitgevoerd verschilt wel sterk. In paragraaf 3.2.2 is hiervan een overzicht gegeven. De regeltechnische eigenschappen en verschillen zijn in paragraaf 3.2.3 nader belicht.

3.2.2 UITVOERINGSVORMEN

Globaal kunnen hierbij de volgende vormen worden onderscheiden:

- Een tabel- of matrixregeling;
- Een grafiek-regeling;
- Een PID-regeling.

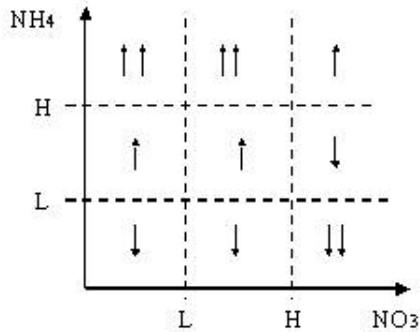
TABEL- OF MATRIXREGELING

De tabelregeling wordt ook weer in verschillende vormen uitgevoerd. In het algemeen wordt in de tabelregeling een wijziging van het zuurstofsetpoint bepaald op basis van bijvoorbeeld het ammonium- en nitraatgehalte. In Afbeelding 1 is een voorbeeld gegeven. Hierbij wordt aan de hand van de NH_4 en NO_3 meetwaarden bepaald in welk segment de beluchtingsregeling zich bevindt. Deze bepaling vindt continu plaats na een instelbare cyclustijd. De operator voert vooraf per segment in, welk regelactie gewenst is:

- ↑↑ setpoint zuurstofregeling verhogen met 2x instelbare waarde
- ↑ setpoint zuurstofregeling verhogen met instelbare waarde
- 0 setpoint niet veranderen
- ↓ setpoint zuurstofregeling verlagen met instelbare waarde
- ↓↓ setpoint zuurstofregeling verlagen met 2x instelbare waarde

Nadat bepaald is in welke segment de beluchtingsregeling zich bevindt, wordt het setpoint met de gewenste regelactie aangepast. Het setpoint bezit een instelbare minimale en instelbare maximale waarde waartussen het aangepaste setpoint zich in alle tijden dient te bevinden.

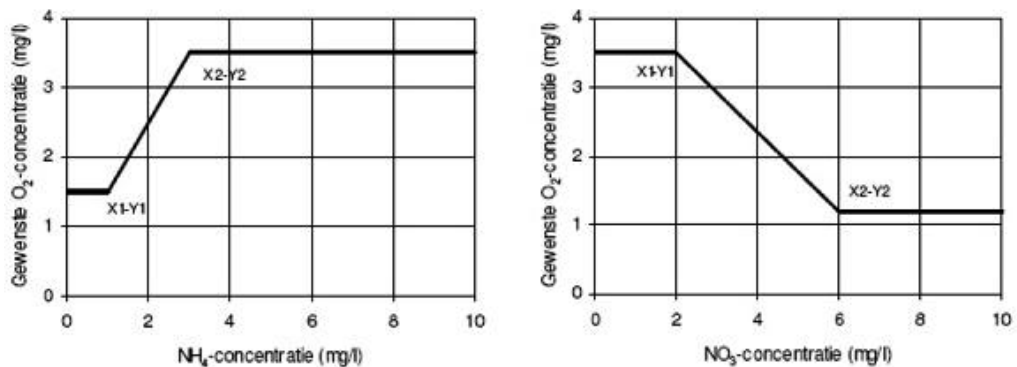
AFBEELDING 1 MATRIXREGELING (HOOGHEEMRAADSCHAP VAN HOLLANDS NOORDERKWARTIER)



GRAFIEKREGELING

Ook de grafiekregeling wordt in verschillende vormen uitgevoerd. In Afbeelding 2 is een voorbeeld van een dergelijke regeling weergegeven. Hierbij is het zuurstofsetpoint direct gekoppeld aan een ammoniumgehalte of nitraatgehalte. Het zuurstofsetpoint is hierbij begrensd tussen een maximale en minimale waarde.

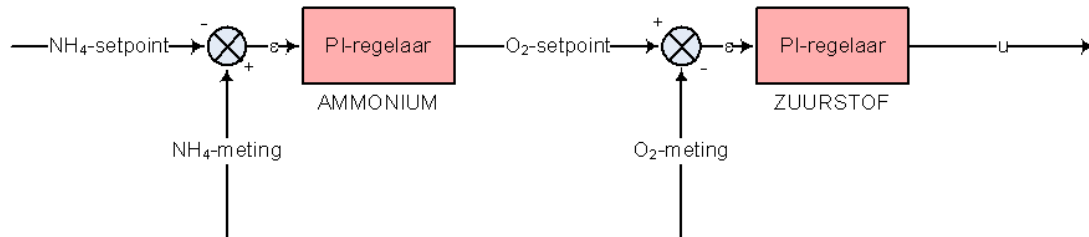
AFBEELDING 2 GRAFIEKREGELING (WATERSCHAP REEST EN WIEDEN)



PID-REGELING

De masterregeling kan, net als de slaveregeling, ook als PID-regelaar worden uitgevoerd (zie Afbeelding 3). Hierbij wordt het zuurstofsetpoint bepaald door de ammonium PID-regelaar. De operator stelt een NH_4 -setpoint in dat door de master-slave regeling wordt gehandhaafd. Net als bij de matrix- en grafiekregelaar wordt ook hierbij vaak een instelbaar minimum- en maximum zuurstofsetpoint toegepast. Het is ook mogelijk om nitraat in de regeling op te nemen door bijvoorbeeld op een NH_4/NO_3 -verhouding te sturen.

AFBEELDING 3 PI-REGELING (WATERSCHAP VALLEI EN EEM)



De PID-regelaar is de meest voorkomende regelaar in de regeltechniek. De letters PID staan voor Proportioneel, Integreerend en Differentiërend. Elke actie heeft een bepaald effect.

- P-actie: De proportionele actie zorgt voor een verandering van de uitsturing die evenredig is met het verschil tussen meetwaarde en setpoint. Een volledig proportionele regeling (P-regeling) bereikt nooit de setpoint maar zal altijd een bepaalde afwijking handhaven.
- I-actie: De integrerende term zorgt voor een constante sommatie van de fout (verschil tussen meetwaarde en setpoint) en reageert sterker naarmate de fout langer duurt. In een PI-regelaar versnelt de I-actie de beweging van het proces in de richting van het setpoint en elimineert de afwijking die de P-regelaar heeft.
- D-actie: De D-actie reageert op de snelheid van de verandering van de fout. Deze actie vertraagt de veranderingssnelheid van output als deze in de buurt van het setpoint komt. De D-actie kan de regelaar onrustiger maken indien er een zekere ruis / variatie op de meting zit.

In de praktijk wordt de masterregeling bijna altijd als PI-regelaar gebruikt. De D-actie wordt niet gebruikt.

3.2.3 REGELTECHNISCHE ANALYSE

Op basis van de inventarisatie is het niet mogelijk om aan te geven welk type master-slave regeling het best of het meest energiezuinig is. In deze paragraaf zijn daarom de kenmerken van de verschillende masterregelingen met elkaar vergeleken (zie Tabel 3). Op basis hiervan kan een indruk worden verkregen van de specifieke eigenschappen van elke regeling.

TABEL 3 KARAKTERISTIEKEN VAN DE VERSCHILLENDE TYPEN MASTERREGELINGEN

Eigenschappen	Type masterregeling		
	Tabel / Matrix	Grafiek	PID
Gedrag (uitgedrukt in PID acties)	I (D)	P	PI
Instelling op basis van?	ervaring	ervaring	regelgedrag
Wie stelt de regeling in?	operator	operator	regeltechnicus
Mogelijkheid kritische instelling?	nee	nee	ja
Bijstelling van de regelaar nodig?	nee	ja	nee
Inzichtelijk wat de regeling doet?	ja	ja	ja

De tabelregelaar wordt veel toegepast. Het is bij deze regelaar heel duidelijk wat de regelaar aan het doen is. Bij een bepaald NH_4 -gehalte wordt het O_2 -setpoint op een ingestelde wijze aangepast. De meeste tabellen bestaan uit vele invulvelden. Dit maakt de instelling flexibel maar tevens ook complex. Het is niet mogelijk om een vast NH_4 - en/of NO_3 -setpoint in te stellen. De regelaar regelt altijd in een bepaalde richting maar heeft geen vast doel, het is daarom te vergelijken met een I-regelaar. Hierdoor is het ook niet mogelijk om op een bepaalde effluenteis te sturen waardoor een kritische instelling niet mogelijk is. Hierbij dient te worden opgemerkt dat dit ook niet altijd gewenst is.

De grafiekregelaar is een proportionele regelaar. Er is een directe relatie tussen NH_4 -gehalte en O_2 -setpoint. De instelling van de regelaar is gebaseerd op ervaring. Het is een regelaar waarvan de instelling regelmatig herzien zal moeten worden. De relatie tussen NH_4 -gehalte en O_2 -setpoint zal in de zomer anders zijn dan in de winter.

De PID-regelaar is een regelaar die moeilijk is in te stellen en waarvoor bij voorkeur een regeltechnicus wordt ingeschakeld. Het voordeel van de regelaar is dat als hij eenmaal goed is ingesteld, de instelling niet meer hoeft te worden bijgesteld. De instelling is afhankelijk van het regelgedrag (stapresponsie, dode tijd) en niet van de relatie tussen het NH_4 -gehalte en de O_2 -setpoint. Doordat een NH_4 -setpoint kan worden ingesteld is het mogelijk om scherp op een gewenst NH_4 -gehalte te sturen.

Het bedieningsgemak en de inzichtelijkheid van een regeling wordt vaak als belangrijk argument genoemd om voor een bepaalde regeling te kiezen. Of een regeling inzichtelijk is, verschilt echter per persoon of zelfs per organisatie. Een regeling die bij het ene Waterschap als standaard wordt ingevoerd wordt bij een ander Waterschap vervangen door een gebruiksvriendelijkere regeling. Een regeling wordt ook als inzichtelijk ervaren wanneer via het BBS goed wordt gevisualiseerd wat de regeling doet. Soms wordt dit belangrijker gevonden dan de vraag waarom de regeling dit doet en of de regeling wel het goede doet. Of een regeling als begrijpelijk wordt ervaren is vaak ook een kwestie van gewenning (nooit iets anders gezien). Kortom, het is lastig om de verschillende typen masterregelingen te beoordelen op bedieningsgemak.

3.3 ENERGIEZUINIGE BELUCHTERREGELING

3.3.1 INLEIDING

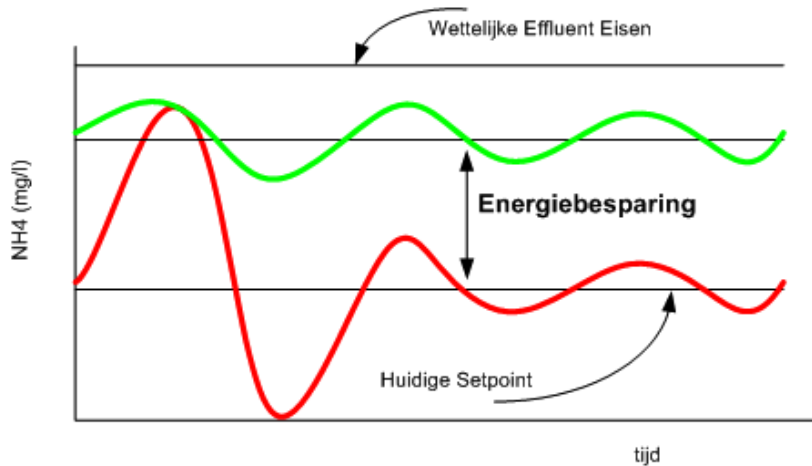
In paragraaf 2.3.3 is een aantal factoren genoemd die volgens de respondenten een rol spelen bij het energiezuinig zijn van een beluchterregeling. Het gebruik van on-line monitoren (voor NH_4 en NO_3) wordt als belangrijkste oorzaak genoemd voor het energiezuinig zijn van een regeling. Het argument hierbij is dat het gebruik hiervan overbeluchting voorkomt. In deze paragraaf wordt verder ingegaan op twee aspecten die hierbij van belang zijn. Het eerste betreft de stabiliteit van de regeling (zie paragraaf 3.3.2). Het tweede aspect betreft de constatering dat een betere beluchterregeling niet per definitie energie bespaart (zie paragraaf 3.3.3).

3.3.2 STABIELE REGELING

Het gebruik van on-line meetgegevens in de beluchterregeling heeft vooral zin als de beluchterregeling hier op de juiste wijze mee om gaat. De stabiliteit van de regeling is hierbij van belang. Indien de regeling stabiel is zal de operator het aandurven om de setpoint(s) dicht bij de gewenste of vereiste waarde in te stellen. Indien de regeling niet stabiel is zal hierbij altijd een veiligheidsmarge worden ingebouwd die vaak leidt tot een niet-optimale werking van de regeling. In Afbeelding 4 is een voorbeeld gegeven voor een NH_4 -regeling. Door de regeling stabiel(er) te maken (of een stabielere regeling in te bouwen) kan een hoger NH_4 -setpoint worden ingesteld. Dit leidt tot energiebesparing.

AFBEELDING 4

STABILITEIT VAN DE BELUCHTERREGELING



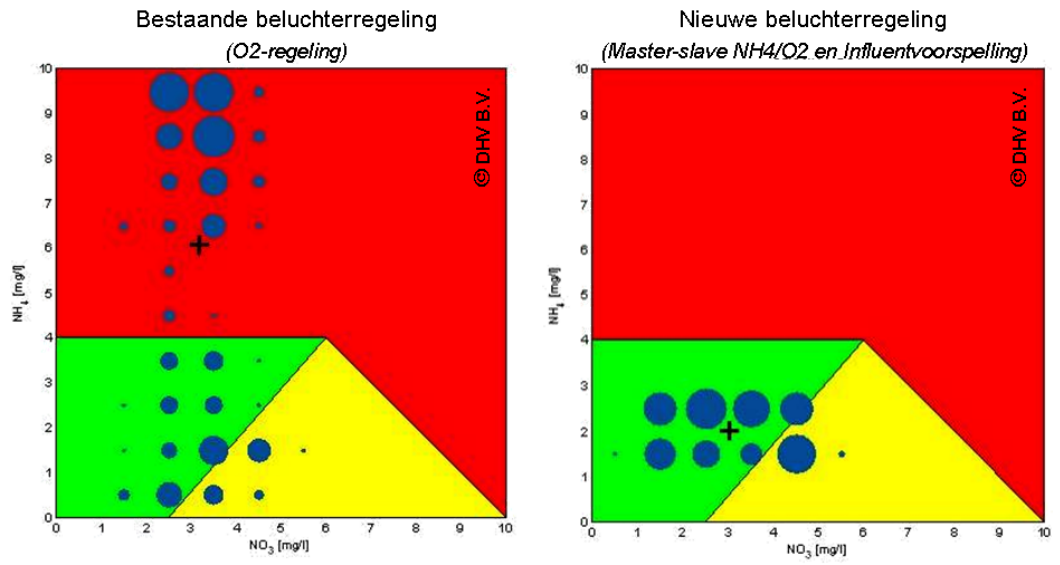
3.3.3 BETERE REGELING NIET ALTIJD ENERGIEZUINIG

In Tabel 1 in paragraaf 2.3.3 is voor een aantal rwzi's met een aangepaste beluchterregeling de gerealiseerde energiebesparing weergegeven. Over het algemeen is de besparing niet meer dan 10%. Een oorzaak voor deze misschien wat lage energiewinst is het feit dat een betere beluchterregeling niet per definitie energiezuiniger hoeft te zijn. Een betere beluchterregeling zal niet alleen het energieverbruik proberen te verlagen maar vooral ook de effluentkwaliteit proberen te verbeteren. Indien de bestaande regeling toestaat dat het NH₄-gehalte sterk toeneemt, en de verbeterde regeling weet dit te voorkomen, zal dit in de meeste gevallen juist meer energie kosten.

Een voorbeeld hiervan is getoond in Afbeelding 5, waarin de resultaten van een vergelijkend onderzoek op een Nederlandse rwzi grafisch zijn weergegeven. Het betreft een vergelijking van de bestaande zuurstofregeling (linker grafiek) met een nieuwe regeling (met o.a. een NH₄/O₂ masterslave-regeling). De grafieken uit Afbeelding 5 tonen de gemeten NH₄ (x-as) en NO₃ (y-as) concentraties in een bepaalde periode. De dikte van de blauwe cirkel geeft de frequentie aan waarmee een bepaalde combinatie van NH₄ en NO₃ waarden voorkomt. De gekleurde vakken geven aan of de meting zich in een gewenst (groen), ongewenst (rood) of kritisch (geel) gebied bevindt.

In de zuurstofregeling is een relatief laag zuurstofsetpoint toegepast. Dat het setpoint te laag was is op te maken uit het feit dat een groot deel van de meetpunten zich bevindt in het rode gebied waarbij NH₄ groter is dan 5 mg N/l. In de nieuwe regeling is een NH₄-setpoint van 2 mg N/l toegepast, zoals te zien is in de rechter afbeelding. Het gevolg is een relatief stabiele effluentkwaliteit waarbij het grootste deel van de meetwaarden zich in het groene gebied bevindt. Zowel de hoge als ook de hele lage NH₄-waarden komen niet meer voor. De gemiddelde NH₄-concentratie daalt van circa 6 naar 2 mg N/l terwijl het nitraatgehalte ongeveer gelijk blijft. Iedere bedrijfsvoerder zal tevreden zijn met het bereikte resultaat maar het zal wel tot een stijging van het energieverbruik leiden.

AFBEELDING 5 EFFECT VAN EEN BETERE BELUCHTERREGELING



4

CONCLUSIES

De belangrijkste trend die kan worden waargenomen is dat het gebruik van on-line meetgegevens in de beluchterregeling leidt tot energiebesparing. Het is niet mogelijk om op basis van een enquête dé meest energiezuinige beluchterregeling te definiëren. De beluchterregeling is maatwerken de effectiviteit is sterk afhankelijk van de systeemconfiguratie en de systeemeisen. Bovendien staat of valt de werking van een beluchterregeling met de tuning door de operator.

De meest voorkomende procesregeling is de masterslave regeling op basis van NH_4 en O_2 . De zuurstofregeling is altijd als PID-regelaar uitgevoerd. De masterregeling wordt als tabel-, grafiek- of PID-regelaar uitgevoerd.

Energiebesparing speelt (nog) geen rol in de instelling van de setpoints van een beluchterregeling. De effluentkwaliteit en de processtabiliteit zijn de belangrijkste factoren die de instelling van een beluchterregeling bepalen.

De energiebesparing die kan worden behaald door het aanpassen of optimaliseren van een beluchterregeling is over het algemeen 5 tot 10%. Een betere beluchterregeling is niet per definitie energiezuinig.

5

REFERENTIES

- [1] Quick scan inventarisatie achtergronden energiezuinige beluchting rwzi's
STOWA, Rapport 2009-W-07
- [2] Energiebesparing op rwzi's is een kwestie van goed regelen
André van Bentem en Kim van Schagen, H2O, 2010\11, p.13-15

BIJLAGE 2

RESPONS OP DE ENQUÊTE

Nr.	Waterschap		Enquête	Contact	Contactpersoon	RWZI's	Extra informatie
1	Waterschap Aa en Maas	WSAM	JA	Telefoon	Hettie de Vent	3	-
2	Watermet	WN	JA	Telefoon	Peter Piekema	3	-
3	Waterschap Brabantse Delta	WSBD	JA	Telefoon	Roger Vingerhoeds	1	JA
4	Hoogheemraadschap van Delfland	HHDL	JA	Telefoon	Klaas Appeldoorn	3	-
5	Waterschap De Dommel	WSDD	NEE	Telefoon	Peter van Dijk	-	-
6	Wetterskip Fryslan	WSF	JA	-	Sybren Gerbens	3	JA
7	Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden	HDSR	JA	Telefoon	Erik Rekswinkel	3	-
8	Hoogheemraadschap van Rijnland	WSRL	JA	Telefoon	Harm Baten	3	-
9	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	HHNK	JA	-	Dirk Koot	-	JA
10	Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard	HHSK	JA	Telefoon	Alex Sengers	3	-
11	Waterschap Noorderzijlvest	WSNZ	JA	-	Willy Poiesz	2	JA
12	Waterschap Regge en Dinkel	WSRD	JA	Telefoon	Mathijs Oosterhuis	3	-
13	Waterschap Reest en Wieden	WSRW	NEE	Mail	Frank Brandse	-	JA
14	Waterschap Groot Salland	WSGS	JA	-	Janny Aarden	3	-
15	Waterschap Vallei en Eem	WSVE	JA	-	Rob van Doorn	3	-
16	Waterschap Velt en Vecht	WSVV	JA	Telefoon	Erik Zwiggelaar	3	-
17	Waterschap Veluwe	WSV	JA	Telefoon	Frans Visser	3	-
18	Waterschapsbedrijf Limburg	WBL	JA	-	Andries Vonken	3	-
19	Waterschap Hunze & Aa's	WSHA	JA	Telefoon	Otto Kluyving	3	-
20	Waterschap Hollandse Delta	WSHD	NEE	Mail & Telefoon	Dick Marsman	-	-
21	Waterschap Rijn en IJssel	WRU	JA	Telefoon	Coert Petri	1	-
22	Waterschap Rivierenland	WSRL	JA	-	Dennis Piron	3	JA
23	Waterschap Scheldestromen	WSSS	JA	Telefoon	Marc Augustijn	2 typen	-
24	Waterschap Zuiderzeeland	WSZZ	NEE	Telefoon	Hans Kuipers	-	-

BIJLAGE 3

SAMENVATTING ENQUÊTE RESULTATEN

Nr.	Waterschap	RWZI	Type beluchting				Energie beluchting (kWh/i.e. verw.)	Type rwzi	Type regeling
			punt	bellen	rotor	overig			
1	Aa & Maas	rwzi Aarle-Rixtel	0	1	0	0	10,0	UCT	MS NH4/O2
		rwzi s'Hertogenbosch	0	1	0	0	11,2	Propstroom	MS NH4/O2
		rwzi Dinther	0	0	1	0	17,7	Omloopsysteem	MS NH4/O2 en MS P04/O2
2	Waternet	rwzi Amstelveen	0	1	0	0	8,8	Omloopsysteem met VDT	MS NH4/O2
		rwzi Ronde Venen	0	1	0	0	9,8	Omloopsysteem met VDT	MS NH4/O2
		rwzi West	0	1	0	0	10,1	Omloopsysteem met FCT en VDT	MS NH4/O2
3	Brabantse Delta	rwzi Bath	0	1	0	0	6,4	Propstroom	Combinatie NH4/O2
4	Delfland	rwzi Nieuwe Waterweg	0	1	0	0	9,9	Omloopsysteem	NH4 direct (O2 als achtervang)
		rwzi De Grootte Lucht	0	1	0	0	10,5	Propstroom	NH4 direct (O2 als achtervang)
		rwzi Houtrust	0	1	0	0	13,6	Propstroom	HNP/HRT PID MS (NH4/O2)
5	De Dommel							MS NH4/O2	
6	Fryslan	rwzi Grou	1	0	0	0	18,1	Omloopsysteem	O2 PID-regeling
		rwzi Sneek	1	0	0	0	18,3	Omloopsysteem	O2 PID-regeling
		rwzi Drachten	0	1	0	0	11,1	BCFS	MS NH/O2
7	Stichtse Rijnlanden	rwzi Driebergen	1	0	0	0	21,4	Carrousel	Beluchter1 op O2, Beluchter 2 op NH4
		rwzi Zeist	0	1	0	0	10,0	Propstroomer met DN en N	MS NH4/O2
		rwzi Wijk bij Duurstede	0	1	0	0	13,1	Volledig gemengd met VD	MS NH4/O2
8	Rijnland	rwzi Bodegraven	0	1	0	0	10,7	Omloopsysteem	MS NH4/O2
		rwzi Gouda	0	1	0	0	11,2	Gemengde tank	MS NH4/O2
		rwzi Waddinxveen	0	1	0	0	15,8	Propstroomer	MS NH4/O2
9	Hollands Noorderkwartier							MS NH4/N03/O2	
10	Schieland	awzi De Grootte Zaag	0	1	0	0	20,3	Schreiber	MS NH4/O2
		awzi Kortenoord	1	0	0	0	21,8	Carrousel met VD	MS NH4/N03 ratio /O2
		awzi Kralingseveer	0,69	0,31	0	0	21,0	Carrousel met VD en D	MS NH4/O2
11	Noorderzijvest	rwzi Leek	0	1	0	0	15,0	Phoredox propstroomer met VD	Directe NH4 PI-regeling
		rwzi Hoogkerk	0	1	0	0	20,2	Gemengde tank	Fuzzy Logic (discreet)
12	Regge & Dinkel	rwzi Nijverdal	1	0	0	0	15,5	Carrousel	Fuzzy Logic
		rwzi Enschede-West	0	1	0	0	14,2	Vierkante bakken met VD en SEL/ANT	MS NH4/O2
		rwzi Rijssen	1	0	0	0	20,0	Omloopsystemen met SEL / ANT / VDT	MS NH4/O2
13	Reest & Wieden						BCFS	MS NH4/N03/O2 met Q feedforward	
14	Groot Salland	rwzi Kampen	0	1	0	0	9,6	Omloopsystemen	MS NH4/O2
		rwzi Olst-Wijhe	0	0	1	0	26,1	Omloopsysteem	MS NH4/O2
		rwzi Heino	0	0	1	0	27,8	Omloopsysteem	MS NH4/O2
15	Vallei & Eem	rwzi Nijkerk						Carrousel	MS NH4/O2 (beide PID-regeling)
		rwzi Soest	1	0	0	0	14,2	Carrousel 2000	MS NH4/O2 (beide PID-regeling)
		rwzi Bennekom	0	0	1	0	18,1	Oxydationsloot met borstels	MS NH4/O2 (PID) en directe NH4
16	Velt & Vecht	rwzi Dedemsvaart	0	1	0	0	10,0	BCFS	Directe NH4 / N03 regeling (matrix)
		rwzi Ommen	0	1	0	0	10,3	BCFS	Directe NH4 / N03 regeling (matrix)
		rwzi Emmen	0,05	0,95	0	0	7,2	Propstroomer	MS NH4/N03/O2
17	Veluwe	rwzi Apeldoorn	0	1	0	0	13,3	mUCT	MS NH4/O2 (of NH4/N03 ratio)
		rwzi Elburg	1	0	0	0	19,1	Carrousel	MS NH4/O2 (op 2 van 5 beluchters)
		rwzi Heerde	1	0	0	0	22,0	Carrousel	MS NH4/O2
18	Limburg	rwzi Maastricht-Limmel	0	1	0	0	15,1	Propstroomer met SEL/ANOX/FAC	MS NH4/O2
		rwzi Susteren	0	1	0	0	15,4		MS NH4/O2
		rwzi Maastricht-Boscherveld	0	1	0	0	18,8	Schreiber	Tabelregeling op NH4, N03 en O2
19	Hunze & Aa's	rwzi Ter Apel	0	1	0	0	14,2	mUCT	MS NH4/O2 (eventueel ook N03)
		rwzi Foxhol	0	1	0	0	19,2	mUCT	MS NH4/O2 (eventueel ook N03)
		rwzi Gieten	0	1	0	0	16,6	BCFS	MS NH4/O2 (wisseltank op NH4 en N03)
20	Hollandse Delta						Hoogvliet systeem	N-tank: O2 regeling (o.b.v. NH4 aftaat)	
21	Rijn en IJssel	rwzi Olburgen	0	1	0	0	12,2	Phoredox met facultatieve tank	MS NH4/N03/O2
22	Rivierenland	rwzi Nijmegen	0	1	0	0	9,7	Omloopsysteem met VDT	MS NH4/O2
		rwzi Haaften	1	0	0	0	20,0	Omloopsysteem	MS NH4/N03/O2
		rwzi Bommelerwaard-Oost	1	0	0	0	19,6	Carrousel	MS NH4/O2
23	Scheldestromen	rwzi's Zeeuws Vlaanderen						Omloopsysteem of Gemengde tank	Intermitterende regeling op N03 en O2
		rwzi's Zeeuwse Eilanden						Omloopsysteem of Carrousel	Intermitterende regeling op NH4 en O2
24	Zuiderzeeland						Hoogvliet systeem of Carrousel	MS NH4/O2	
			48	11,7	32,3	4,0	0,0	15,1	gem
				24%	67%	8%	0%	27,8	max
								6,4	min
								48	nr.

	Metingen t.b.v. beluchterregeling							Energiezuinig waarom?	Standaardisatie?	Veranderingen leidend tot energiebesparing?
	O2	NH4	N03	P04	Redox	Debiet	Temp			
Master grafiekregeling	X	X							JA, MS NH4/O2	
Master grafiekregeling	X	X								
Master grafiekregeling (2x)	X	X		X						
NH4 en DNH4 in tabel	X	X						NH4 en delta NH4 maken de regeling snel	JA, toekomst mogelijk ook influentdebiet	
NH4 en DNH4 in tabel	X	X						NH4 en delta NH4 maken de regeling snel		
NH4 en DNH4 in tabel, facultatief op NH4	X	X						NH4 en delta NH4 maken de regeling snel		
NH4 bepaalt aantal beluchte compartimenten	X	X						Regeling op NH4 voorkomt overbeluchting	JA, 3 typen o.b.v. NH4, O2 en soms debiet	
O2 bepaalt beluchttingsintensiteit										
NH4 in inloop en afloop AT	X	X (2)						Optimalisatie regeling, kalibratie NH4 meters	NEE maatwerk (configuratie)	
	X	X						Optimalisatie regeling, kalibratie NH4 meters		
	X	X								
Master PID-regeling	X	X						Juiste instelling PID-regeling	JA, MS NH4/O2	
	X								NEE	
Intermitterend op redox	X				X					
Deels op redox	X				X					NH4 en N03 metingen leidt tot lager O2 setpoint
	X	X						Gericht op maximale denitrificatie (zone)	NEE, maar wel streven:	
Master PID-regeling op NH4 begin en eind	X	X (2)						Gericht op maximale denitrificatie (zone)	- PID M/S (NH4/O2)	Bij / afschakelen PB op NH4 (i.p.v. O2)
Master PID-regeling	X	X						NH4 geeft direct beeld zuurstofvraag	- Direct schakelen op NH4	
Master maxtrixregeling	X	X							NEE	NH4 en N03 metingen
Master maxtrixregeling	X	X								
Master maxtrixregeling	X	X								
Master matrixregeling op NH4 en N03	X	X	X						JA, M/S (NH4/N03/O2) matrixregeling	
O2 setpoint stapsgewijs aangepast	X	X						Aandacht voor instellingen regeling	NEE, maatwerk (wel M&R apparatuur)	Introductie NH4-regeling
O2 setpoint stapsgewijs aangepast	X	X	X					Aandacht voor instellingen regeling		
O2 setpoint stapsgewijs aangepast	X	X						Aandacht voor instellingen regeling		
NH4 setpoint afhankelijk van N03	X	X	X					Directe regeling op NH4 maakt lage O2 mogelijk	JA, human logic control	Automatische calibratie NH4-meting
o.b.v. NH4, DNH4 en N03	X	X	X					Directe regeling op NH4 maakt lage O2 mogelijk		NH4 naar 0 mg/l sturen in de ochtend
	X	X (2x)	X			X		Fuzzy is fijngevoelig, stabiel en rustig	JA, Grote rwzi NH4/O2/O, Kleine O2	
	X	X				X		NH4 / O2 leidt tot minder onnodig beluchten	Nu ook MS NH4/N03 - O2 regeling	
	X	X				X		NH4 / O2 leidt tot minder onnodig beluchten		
Master grafiekregeling	X	X	X		X	X	X		JA	
Master grafiekregeling	X	X	X		X	X	X			
	X	X						NH4 / O2 leidt tot minder beluchten	NEE (mee bezig)	Bepalen O2 setpoint o.b.v. NH4 on-line meting
	X	X								
	X	X								
met RWA debiet feed forward	X	X				X		NH4 / O2 leidt tot optimale zuurstofinbreng	JA, MS NH4/O2 met RWA debiet	RWA feed forward leidt tot verlaging N03 pieken
met RWA FF en DWA voorspelling	X	X				X				
met debiet FF voor niveauregeling	X	X				X				
Bescherming maximale O2-concentratie	X	X	X					Beluchting op maat dankzij NH4 en N03 meting	JA, directe sturing op NH4 en N03	Invoeren NH4/N03 regeling
Bescherming maximale O2-concentratie	X	X	X					Beluchting op maat dankzij NH4 en N03 meting		
NH4 en N03 meting in aflat	X	X	X					Beluchting op maat dankzij NH4 en N03 meting		
Master grafiekregeling	X	X	(X)					NH4 regeling = zuurstofvraag	MS (NH4/O2) via lineaire relatie	NH4-analyser opnemen in regeling
Master grafiekregeling	X	X						NH4 regeling = zuurstofvraag, meer PB		Meerdere PB --> aansturen op eigen O2-meter
Master grafiekregeling	X	X						NH4-regeling = zuurstofvraag		
Master PID-regeling	X	X						Regeling op NH4 leidt tot minder beluchting	JA, veel tabelregelingen	Begrijpbare en beredeneerbare regelingen
Master PID-regeling	X	X						Regeling op NH4 leidt tot minder beluchting		Inzicht verhoogd bereidheid tot optimaliseren
	X	X	X					Regeling op NH4 leidt tot minder beluchting		
Master PID-regeling	X	X	(X)					Zuurstofinbreng naar behoefte	JA	Weghalen bandbreedte rond setpoints
Master PID-regeling	X	X	(X)					Zuurstofinbreng naar behoefte		
Master PID-regeling	X	X	X					Zuurstofinbreng naar behoefte		
Omloop: alternerend o.b.v. redox	X	X			X				JA	
Master Tabelregeling	X	X	X					Geen overbeluchting door NH4 bewaking	NEE, afhankelijk van adviseur	Monitors (NH4/N03), recirculatie op N03 (2x)
Master Tabelregeling	X	X						Zuurstofinbreng naar behoefte	JA, MS NH4/N03/O2	Invoering standaardregeling
Master Tabelregeling	X	X	X			X		Zuurstofinbreng naar behoefte		
Master Tabelregeling	X	X						Zuurstofinbreng naar behoefte		
O2-setpoint afhankelijk van temperatuur	X		X			X		In de winter neemt NH4-gehalte iets toe	JA, intermitterend op NH4 en O2	Recirculaite sturen op N03
O2-setpoint afhankelijk van temperatuur	X	X				X				
Master Tabelregeling	X	X							JA, MS NH4/O2 tabelregeling	