Zuurstofregeling uit de tijd?

Samenvatting
Nadat in het eerste artikel van het drieluik het gebruik van dynamische modelsimulatie voor het ontwerp van een rwzi is belicht, zijn in dit artikel verschillende, in de praktijk toegepaste beluchterregelingen nader in beschouwing genomen. De onderhavige regelingen betreffen een zuurstof-, een ammonium- en een cascaderegeling. Op basis van berekeningen bij verschillende procestemperaturen en hydraulische aanvoercondities blijkt dat meer complexe regelingen niet per definitie een betere effluentkwaliteit opleveren. De zinvolheid van een meer complexe beluchtingsregeling hangt nauw samen met de technische opzet van de rwzi en met name het beluchtingssysteem.

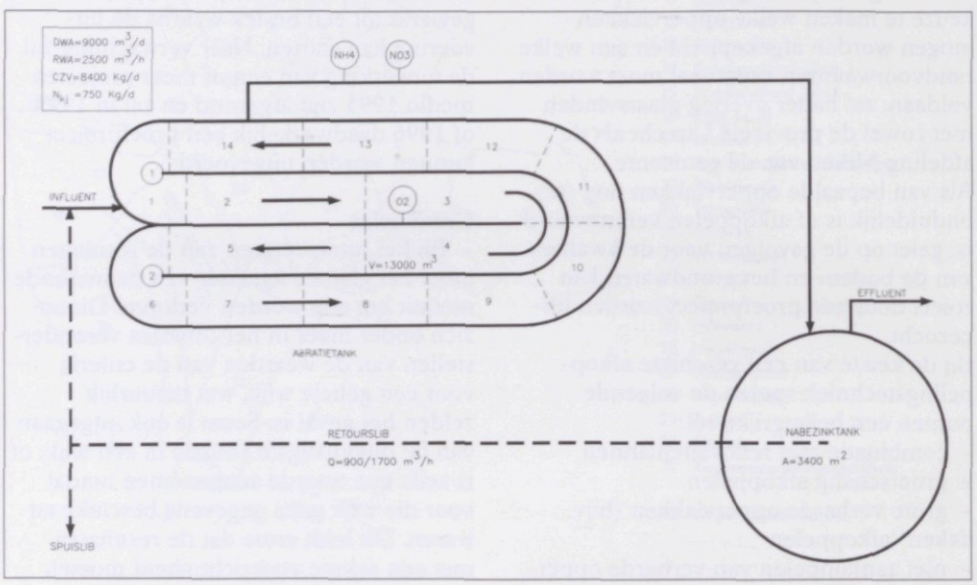
Inleiding
Dynamische simulatie van afvalwaterzuiveringsprocessen wordt steeds vaker toegepast. Met de recente introductie van het computerprogramma SIMBA is in Nederland een eerste stap gezet naar het algemeen gebruik ervan. Als hulpmiddel bij het ontwerp van beluchterregelingen worden dynamische modellen al langer gebruikt. De toepassingsmogelijkheden voor het ontwikkelen van regelaars en het afschatten van de invloed van procestechnische maatregelen op het ontwerp van rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) zijn tot op heden minder onderzocht.


IR. K. MEINEMA
DHV Water BV


IR. H. F. VAN DER ROEST
DHV Water BV

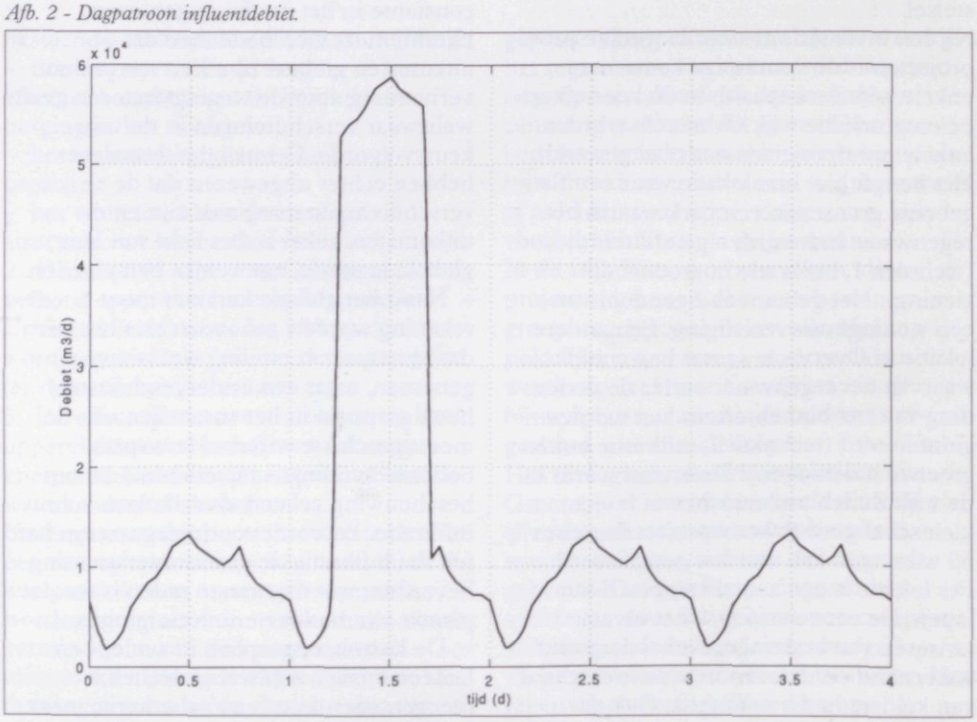

IR. K. M. VAN SCHAGEN
DHV Water BV

In een drietal artikelen wordt op de genoemde mogelijkheden van dynamische modellen ingegaan. In H_2O nr. 14 is het eerste artikel 'Stationaire berekeningen met dynamische modellen?' verschenen [1]. Daarin zijn enkele voorbeelden getoond waarbij dynamische processimulatie wordt toegepast voor het procestechnisch ontwerp van een rwzi. In dat verband zijn onder meer de nadelen van een 'conventionele' zuurstofregeling belicht.
Het voorliggend artikel gaat in op het gebruik van dynamische modellen voor het ontwerp van beluchterregelingen. Hiertoe wordt een drietal veelvuldig in de praktijk toegepaste regelingen nader bestudeerd. Op grond hiervan zal worden aangetoond dat het op voorhand wegschrijven van een eenvoudige regeling ten gunste van meer complexe regelingen niet altijd verstandig is. Het laatste artikel uit de reeks zal ingaan op het ontwerp van multivariabele regelaars.

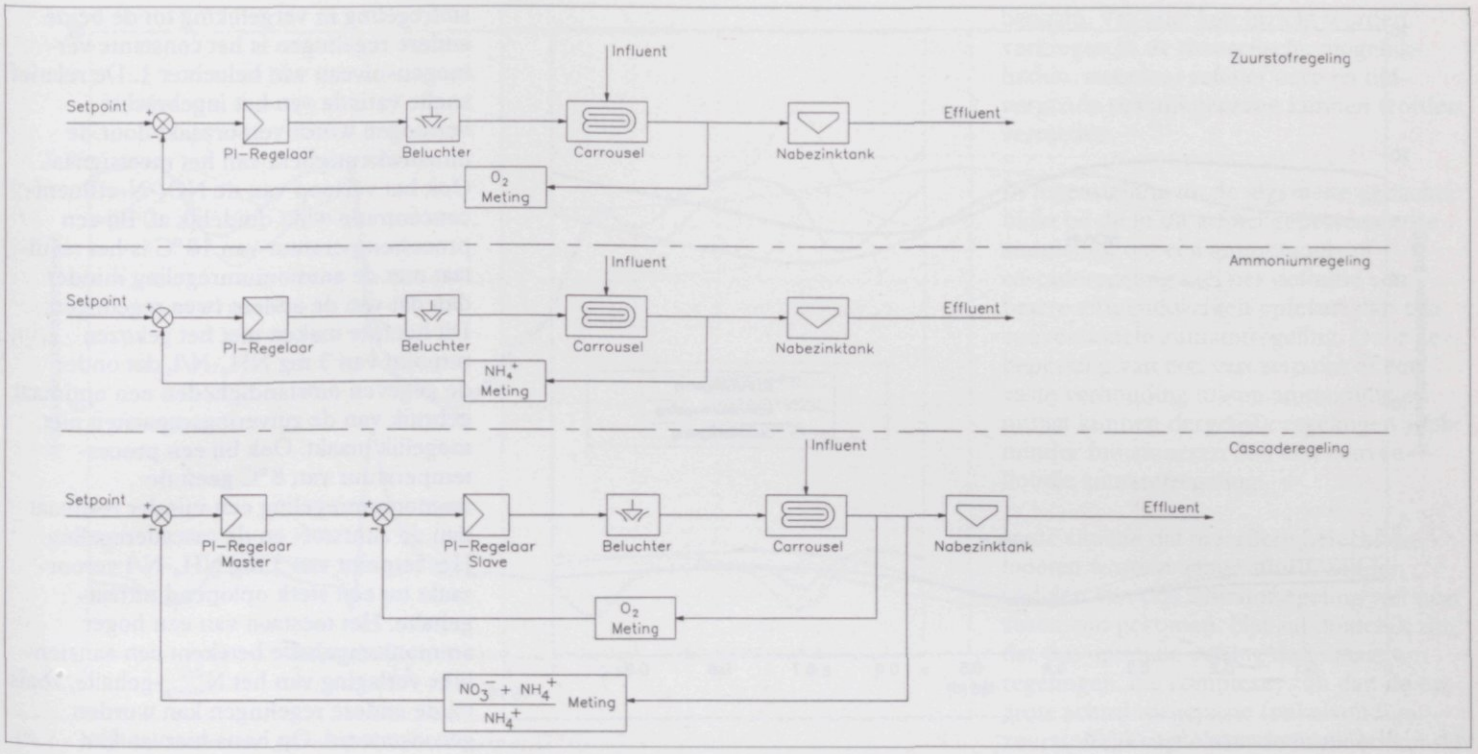


Afb. 1 – Schematische weergave rwzi.

Afb. 2 - Dagpatroon influentdebiet.



De rwzi
Om de resultaten van de verschillende berekeningen onderling goed met elkaar te kunnen vergelijken wordt voor alle artikelen uitgegaan van eenzelfde (theoretische) rwzi. Deze rwzi is opgebouwd uit een vierbaans omloopsysteem met twee oppervlaktebeluchters en een nabezinktank. De belangrijkste dimensies en influentgegevens zijn samengevat weergegeven in afbeelding 1. Voor het influentdebiet is een dwa- en



Afb. 3 - Regelschema's voor de drie regelingen.

rwa-patroon aangehouden dat is weergegeven in afbeelding 2.

Beluchterregelingen

In dit artikel wordt op de volgende drie beluchterregelingen nader ingegaan:
- een regeling op basis van zuurstof (referentie);
- een regeling op basis van ammonium;
- een cascaderegeling op basis van zuurstof, ammonium en nitraat.

De regelingen zijn schematisch weergegeven in afbeelding 3. Als uitgangspunt voor deze regelingen geldt dat beluchter 1 in het omloopsysteem is voorzien van een FO en beluchter 2 altijd op maximaal vermogen in bedrijf staat (zie afb. 1). De setpoints van de verschillende regelingen zijn zodanig ingesteld, dat bij een procestemperatuur van 12 °C en het aangenomen dwa-aanvoerpatroon alle regelingen tot eenzelfde ammoniumgehalte leiden. Deze setpoints zijn niet gewijzigd bij simulatieberekeningen voor andere procestemperaturen en rwa-omstandigheden.

Zuurstofregeling

Puntbeluchter 1 wordt geregeld op basis van het zuurstofgehalte benedenstrooms van de beluchtingszone. Deze vaak toegepaste conventionele regeling is gebaseerd op een PI-regelaar, die beluchter 1 aanstuurt. Hierdoor komt het zuurstofgehalte bij de zuurstofopnemer overeen met het ingestelde setpoint van ongeveer 1 mg O_2/l.

Ammoniumregeling

Deze regeling komt overeen met de zuurstofregeling, echter met dit verschil dat beluchter 1 nu wordt gestuurd op basis van de ammoniumconcentratie in de afloop van de aëratietank. Het setpoint van deze regeling bedraagt 3 mg NH_4-N/l.

Cascaderegeling

De cascaderegeling is gebaseerd op twee PI-regelaars die als master en slave zijn gekoppeld. De puntbeluchter wordt op basis van het zuurstofgehalte gestuurd door de slave regelaar. Het setpoint van deze zuurstofregeling is echter niet constant, maar wordt bepaald door de masterregelaar. Deze masterregelaar stuurt op basis van de verhouding tussen het totaal anorganisch stikstofgehalte en het ammoniumgehalte in de afloop van de aëratietank. Deze verhouding is op 6 gesteld.

Zoals in het vorige artikel uit deze reeks naar voren is gekomen, speelt bij regelingen ook de onnauwkeurigheid van het meetsignaal een belangrijke rol. Om de realiteit zo dicht mogelijk te benaderen is in het dynamisch simulatiemodel een zogenaamde ruisterm opgenomen.

Resultaten

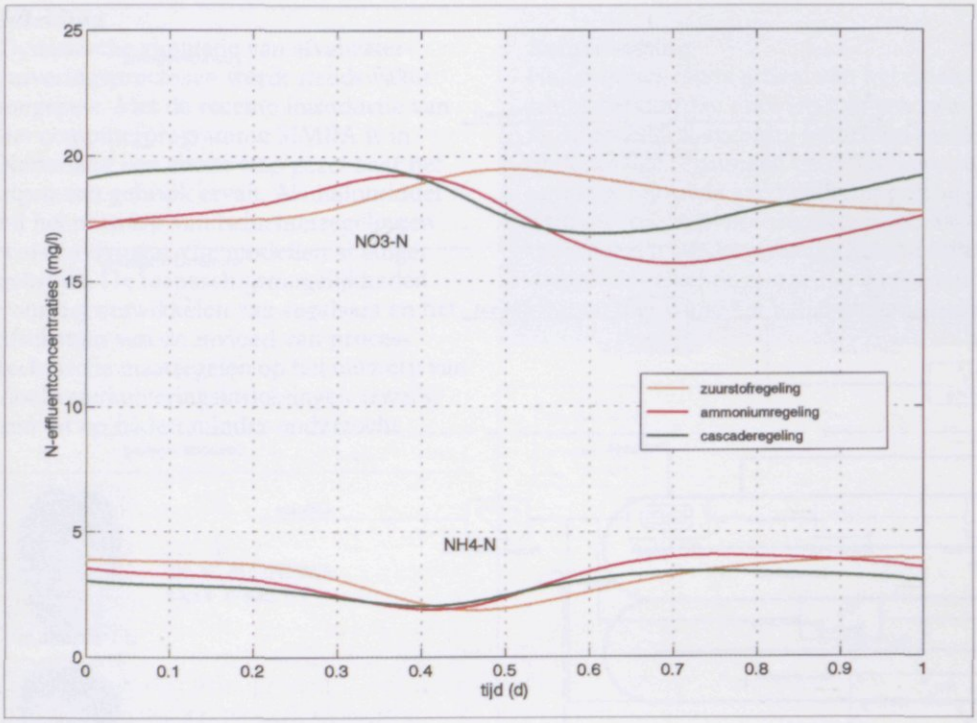
Voor elke regeling zijn onder dwa-condities simulaties uitgevoerd voor drie verschillende procestemperaturen (8, 12 en 18 °C). Ook is gekeken naar de invloed van een regenbui met een duur van 10 uur, zoals deze in afbeelding 2 is aangegeven. Hierbij is ervan uitgegaan dat de influentconcentraties gedurende de eerste anderhalf uur van de regenbui gelijk zijn aan de concentraties tijdens dwa. In tabel I zijn de resultaten van deze simulaties weergegeven in de vorm van debietproportionele daggemiddelde waarden.

TABEL I - *Resultaten simulatieberekeningen (beluchter 1 FO/ beluchter 2 vast).*

Regeling		$N_{anorg.}$ (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)
zuurstofregeling				
• DWA	12 °C	22	3	19
•	8 °C	35	7	28
•	18 °C	3	2	1
• RWA[1]	19 °C	19	4	15
ammoniumregeling				
• DWA	12 °C	20	3	17
•	8 °C	48	5	43
•	18 °C	4	4	< 1
• RWA[1]	12 °C	20	3	17
cascaderegeling				
• DWA	12 °C	21	3	18
•	8 °C	40	6	35
•	18 °C	4	1	3
• RWA[1]	12 °C	20	3	17

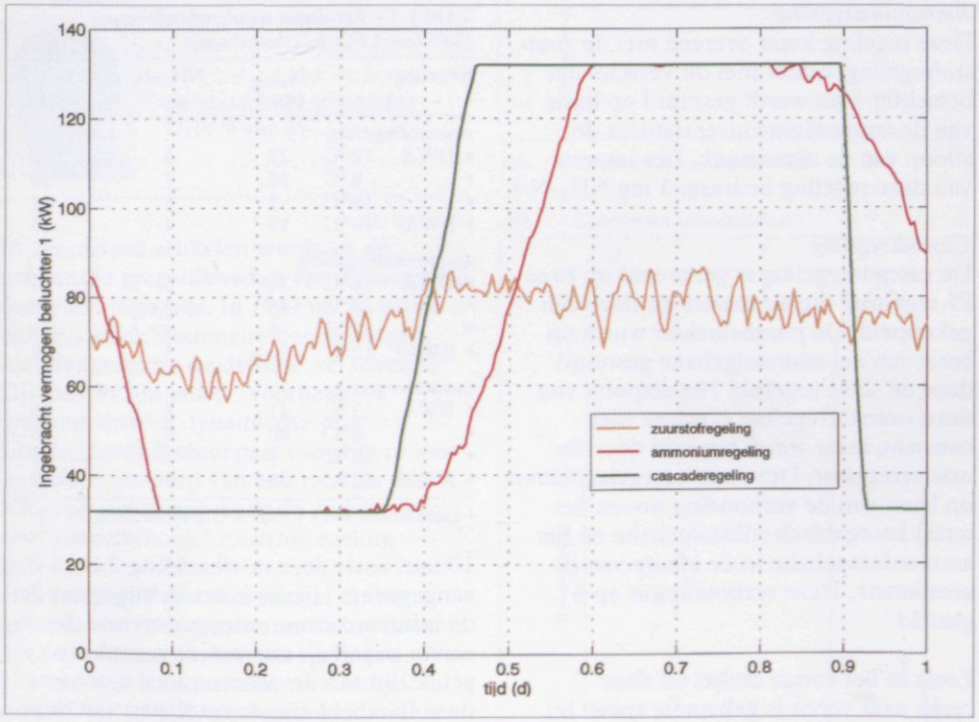
[1] Gemiddeld over 4 dagen (zie afbeelding 2).

In afbeelding 4 zijn voor dwa-condities en een procestemperatuur van 12 °C de N-effluentconcentraties van de verschillende regelingen weergegeven. Afbeelding 5 presenteert het daaraan gerelateerde ingebrachte vermogen van beluchter 1, terwijl afbeelding 6 de N-effluentconcentraties gedurende de in afbeelding 2



Afb. 4 - N-effluentconcentraties (dwa, 12 °C).

Afb. 5 - Beluchtingscapaciteit (dwa, 12°C)



gepresenteerde aanvoersituatie toont. Bij het evalueren van de resultaten moet een onderscheid worden gemaakt tussen de in tabel I gepresenteerde daggemiddelden en de variaties van de N-concentratie in de tijd, zoals aangegeven in de verschillende afbeeldingen. Het laagste gemiddelde wordt bepaald door de procesconfiguratie in relatie tot de influentbelasting. De afwijkingen van het daggemiddelde worden mede veroorzaakt door de acties van de regeling op variaties in het influentdebiet. Op welke wijze een regeling reageert is afhankelijk van het type regeling en de instellingen van de regelaar.

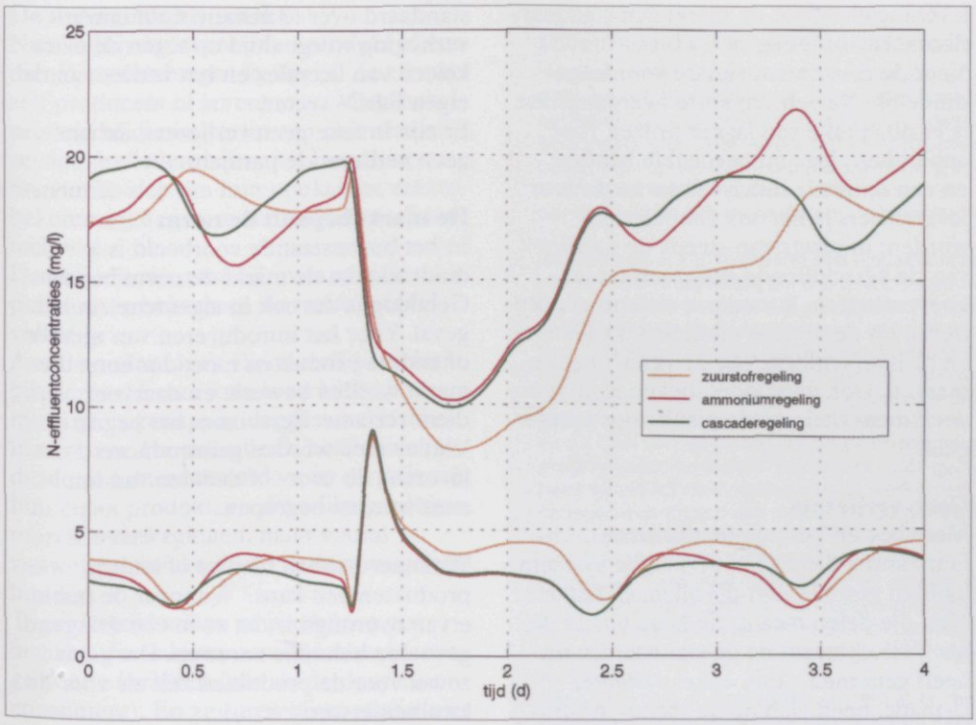
Bij een procestemperatuur van 12 °C en dwa-condities wordt voor de verschillende regelingen geen significant verschil gevonden in de te bereiken effluentconcentraties. Kenmerkend voor de zuurstofregeling in vergelijking tot de beide andere regelingen is het constante vermogensniveau van beluchter 1. De relatief snelle variatie van het ingebrachte vermogen wordt veroorzaakt door de onnauwkeurigheid van het meetsignaal. Ook het verloop van de NO_3-N-effluentconcentratie wijkt duidelijk af. Bij een procestemperatuur van 18 °C is het resultaat met de ammoniumregeling minder dan dat van de andere twee regelingen. Dit heeft te maken met het gekozen setpoint van 3 mg NH_4-N/l, dat onder de gegeven omstandigheden een optimaal gebruik van de zuiveringscapaciteit niet mogelijk maakt. Ook bij een procestemperatuur van 8 °C geeft de ammoniumregeling een minder resultaat dan de zuurstof- en de cascaderegeling. Het setpoint van 3 mg NH_4-N/l veroorzaakt nu een sterk oplopend nitraatgehalte. Het toestaan van een hoger ammoniumgehalte betekent een aanzienlijke verlaging van het N_{anorg}-gehalte, zoals bij de andere regelingen kan worden geconstateerd. Op basis hiervan kan worden vastgesteld dat onder de gegeven condities een ammoniumregeling met een vast setpoint niet flexibel genoeg kan inspelen op seizoensinvloeden. Onder sterk veranderende hydraulische omstandigheden (zie afb. 2) blijken de verschillen tussen de drie regelingen relatief gering.
Op basis van het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat in de onderhavige situatie een conventionele zuurstofregeling ten opzichte van een ammonium- of meer complexe cascaderegeling geen minder goed resultaat behoeft te geven.

Als de grafieken van het ingebrachte vermogen van beluchter 1 voor de ammonium- en cascaderegeling worden bestudeerd (zie bijvoorbeeld afb. 5), blijkt dat de FO-beluchter vrijwel continu op minimale, danwel maximale capaciteit staat. Onder deze omstandigheden wordt dus nauwelijks gebruik gemaakt van de geïnstalleerde flexibiliteit. Om te bezien

TABEL II – *Resultaten simulatieberekeningen (beluchter 1 FO/beluchter 2 LT/HT).*

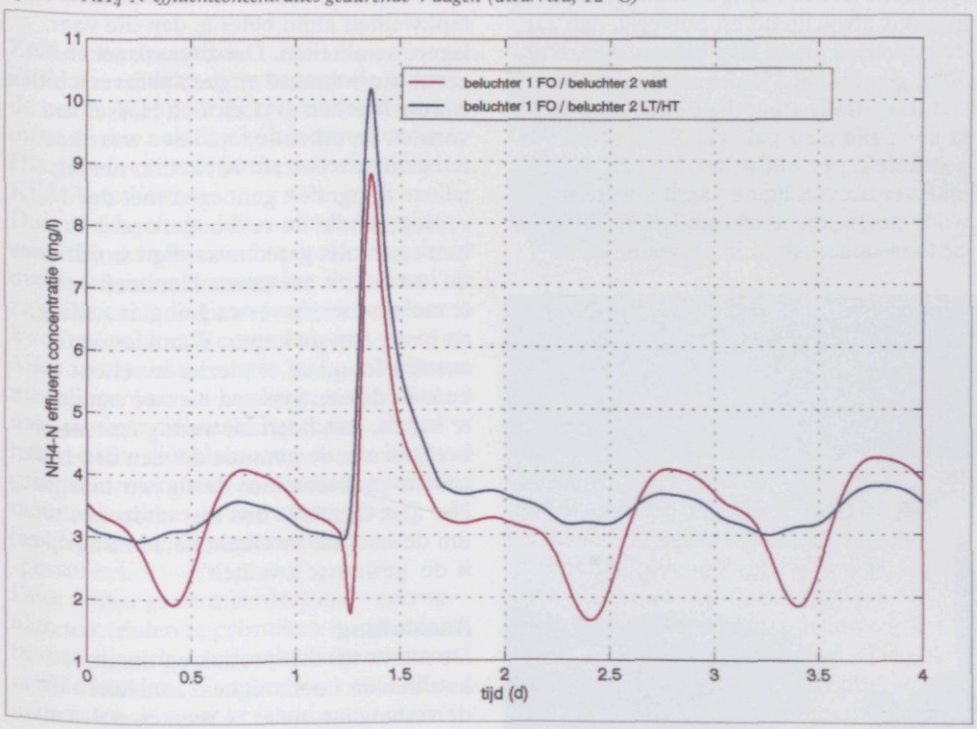
Regeling		N_{anorg} (mg/l)	NH_4-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)
ammoniumregeling				
• DWA	12 °C	17	3	14
•	8 °C	44	5	40
•	18 °C	4	3	< 1
• RWA[1]	12 °C	16	5	11
cascaderegeling				
• DWA	12 °C	19	3	16
•	8 °C	36	7	29
•	18 °C	4	1	3
• RWA[1]	12 °C	17	5	12

[1] Gemiddeld over 4 dagen (zie afbeelding 2).



Afb. 6 - N-effluentconcentraties gedurende 4 dagen (dwa/rwa, 12°C)

Afb. 7 - NH_4-N-effluentconcentraties gedurende 4 dagen (dwa/rwa, 12°C)



of dit door een technische ingreep kan worden ondervangen en mogelijk zou kunnen leiden tot een betere effluentkwaliteit, is een aantal extra simulaties uitgevoerd, waarbij voor de ammonium- en cascaderegeling beluchter 2 is voorzien van een tweetoerenmotor. De resultaten van deze simulaties zijn weergegeven in tabel II.
Uit de vergelijking van tabel I en II blijkt dat uitgaande van dezelfde regelingen, de effluentkwaliteit met twee regelbare puntbeluchters significant kan worden verbeterd. Uit afbeelding 7 blijkt bovendien dat de ammoniumregeling dan ook beter in staat is om het gewenste setpoint te handhaven.

Conclusies

Met behulp van dynamische simulatie kan de invloed van verschillende beluchterregelingen op de effluentkwaliteit worden bepaald. Vrij snel kan inzicht worden verkregen in de theoretische mogelijkheden, waardoor relatief dure en tijdvergende praktijkproeven kunnen worden vermeden.

In tegenstelling tot de algemene gedachte blijkt bij de in dit artikel gepresenteerde simulaties, dat een ammonium- of cascaderegeling niet per definitie een betere effluentkwaliteit oplevert dan een conventionele zuurstofregeling. Door de beperking van een vast setpoint of een vaste verhouding tussen ammonium en nitraat kunnen dergelijke regelingen zelfs minder functioneren dan een conventionele zuurstofregeling.

In de situatie dat meerdere beluchters moeten worden aangestuurd, zouden nadelen van een zuurstofregeling wel naar voren zijn gekomen. Het zal duidelijk zijn dat een optimale sturing dan vraagt om regelingen, die complexer zijn dan de op grote schaal toegepaste (enkelvoudige) zuurstofregeling. Naast de in dit artikel aangegeven meetsignalen, kan voor de beluchterregeling ook gebruik worden gemaakt van meetsignalen afkomstig van een redoxmeter en respirometer. Ook kan worden gedacht aan het integreren van bijvoorbeeld het influentdebiet (voor een feed forward regeling) en/of het interne recirculatiedebiet (voor sturing voordenitrificatieproces). Hoewel de investeringskosten in verband met de nodige instrumentatie toenemen, kan een optimale sturing grote voordelen bieden met het oog op de benutting van de aanwezige zuiveringscapaciteit. In dat licht bezien zijn de extra investeringskosten van een complexere regeling te verwaarlozen.
Naast het uitbreiden van de regeling met diverse meetsignalen kan ook voor een ander type regelaar worden gekozen in plaats van de standaard PID-regelaars. Hiervoor komen dan de zogenaamde multivariabele regelaars in aanmerking, zoals een LQG (Lineair Quadratic Gaussian), een MPC (Model Predictive Control) of een Fuzzy regelaar. In het laatste artikel uit dit drieluik zal de LQG-regelaar nader worden belicht.

Literatuur

1. Veersma, A. M. J., Roest, H. F. van der, Meinema, K (1995). *'Stationaire berekeningen met dynamische modellen?'.* H_2O nr. 14, 1995.

● ● ●