Stationaire berekeningen met een dynamisch model?

Samenvatting
Dynamische simulatie van biologische processen in rwzi's wordt steeds vaker toegepast. Voor het ontwerp van beluchterregelingen was het nut van dynamische modellen al aangetoond. De toepassingsmogelijkheden voor het ontwikkelen van regelaars en het bepalen van de invloed van procestechnische keuzes op het ontwerp van rwzi's zijn nog veel minder bekend. In een drietal artikelen wordt nader op deze mogelijkheden ingegaan.
In dit eerste artikel uit de reeks wordt het gebruik van dynamische modelsimulatie voor het ontwerp van een rwzi nader belicht. Met stationaire berekeningen wordt de invloed van de zuurstofinbreng(capaciteit) en -regeling op de stikstofverwijdering aangegeven. Verder wordt ingegaan op het bepalen van de optimale lokatie voor de influenttoevoer. Door de berekeningen worden de gevoeligheden van een ontwerp goed in beeld gebracht. Omdat in dit artikel de nadelen van een 'conventionele' zuurstofregeling aanschouwelijk zijn gemaakt, wordt in het volgende artikel ingegaan op andere regelingen.

Inleiding
Binnen het vakgebied afvalwaterzuivering wordt dynamische simulatie steeds vaker toegepast. Met de recente introductie van het computerprogramma SIMBA is in Nederland een eerste stap gezet naar het algemeen gebruik ervan [1]. In het verleden is voor het ontwerp van beluchterregelingen het nut van dynamische modellen al aangetoond [2-4].

IR. A. M. J. VEERSMA
DHV Water BV

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

IR. K. MEINEMA
DHV Water BV

De toepassingsmogelijkheden voor het ontwikkelen van nieuwe regelaars en het afschatten van de invloed van procestechnische maatregelen op het ontwerp van rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) zijn tot op heden minder onderzocht.

In een drietal artikelen zullen de genoemde mogelijkheden van dynamische simulatiemodellen worden besproken. In het tweede en derde artikel zal worden ingegaan op procesregelingen en regelaars. De basis hiervoor wordt gelegd in het voorliggende artikel. Het behandelt enkele mogelijkheden van het gebruik van dynamische modellen voor het ontwerp van een rwzi. Met het dynamisch model worden hierbij stationaire berekeningen (steady-state) uitgevoerd. Op grond hiervan zal de invloed van de zuurstofinbrengcapaciteit op de stikstofverwijdering worden aangegeven. Met de hieruit voortvloeiende resultaten worden de (on)mogelijkheden van een conventionele zuurstofsturing besproken. Verder wordt ingegaan op het bepalen van de optimale lokatie van de influenttoevoer in het beluchtingsbassin.

Om resultaten van de verschillende berekeningen goed met elkaar te kunnen vergelijken wordt voor alle artikelen uitgegaan van eenzelfde (theoretische) rwzi.

Stationaire berekeningen
In het IAWQ model no. 1 wordt met behulp van een stelsel differentiaalvergelijkingen de dynamica van een actief-slibsysteem beschreven. Als de tijdsafgeleide van de vergelijkingen gelijk is aan nul, is de stationaire toestand bereikt. Voor de praktijk betekent dit dat de effluentsamenstelling naar een constant niveau convergeert als alle procesparameters (influent, beluchting, slibgehalte, etc.) voor langere tijd constant zijn. Het uiteindelijk bereikte niveau representeert de stationaire toestand.
Een vergelijking van verschillende stationaire toestanden kan uitermate zinvol zijn om verschillende procestechnische mogelijkheden te evalueren. De keuzes voor bijvoorbeeld de lokatie van beluchters en influenttoevoer kunnen op deze wijze worden onderbouwd.
De uitkomsten van de stationaire berekeningen worden niet geïnterpreteerd als absolute waarden, maar gebruikt om tendensen te evalueren.

De rwzi
Om het voorgaande te illustreren wordt uitgegaan van een theoretische rwzi. Er is gekozen voor een vierbeens omloopsysteem met twee oppervlaktebeluchters en een nabezinktank, zoals weergegeven in afbeelding 1. In de tabellen I en II zijn respectievelijk enkele kentallen van deze rwzi en het influent vermeld.
Zoals ook in eerdere publikaties [5,6] is aangegeven, wordt voor de simulatie-

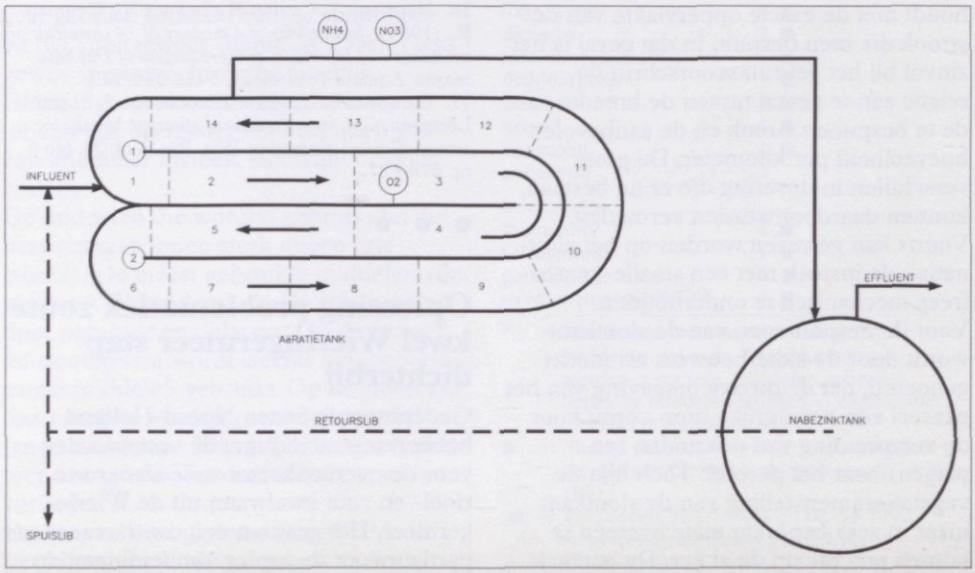
TABEL I - *Kentallen rwzi.*

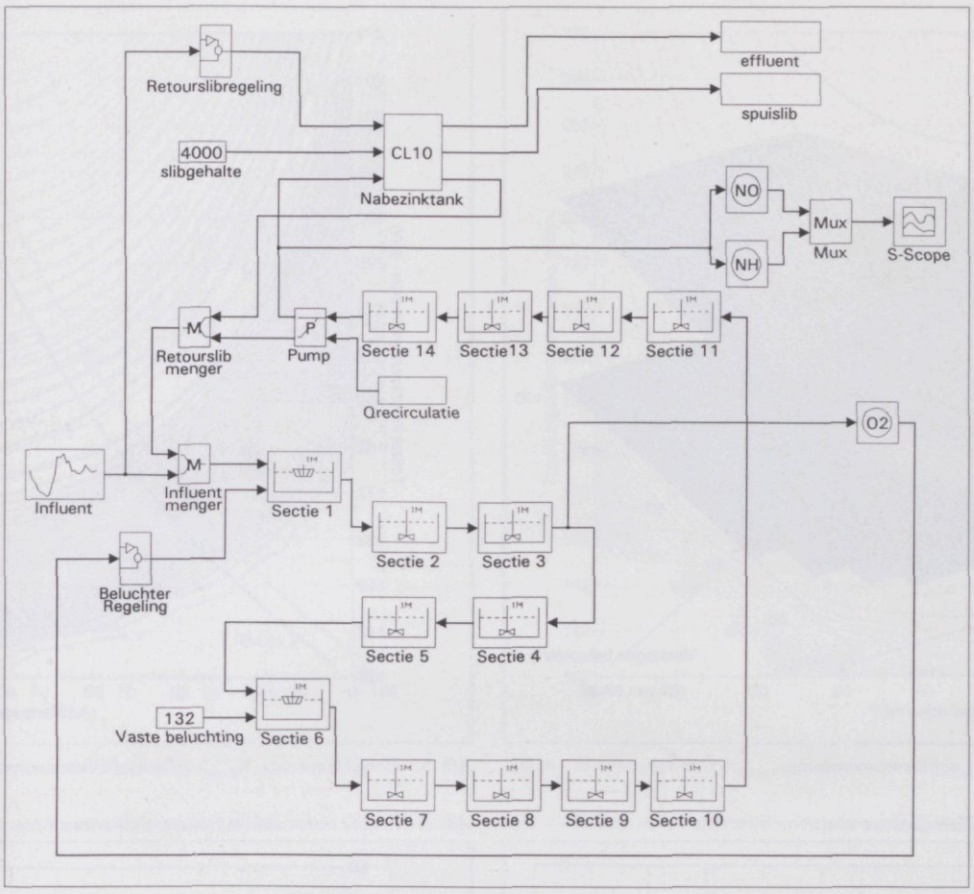
Procesonderdeel	Eenheid	Waarde
volume aëratietank	m^3	13.000
beluchtingscapaciteit	kgO_2/h	500
oppervlakte nabezinktanks	m^2	3.400
retourslibcapaciteit	m^3/h	900/1.700

TABEL II - *Kentallen influent.*

Parameter	Eenheid	Waarde
CZV	kg/d	8.400
N_{kj}	kg/d	750
DWA	m^3/d	9.000
RWA	m^3/h	2.500

Afb. 1 - Schematische weergave theoretische rwzi.





Afb. 2 - Model-opzet in het simulatieprogramma SIMBA.

berekeningen een omloopsysteem verdeeld in een aantal secties, waarbij iedere sectie als compleet gemengd wordt beschouwd.

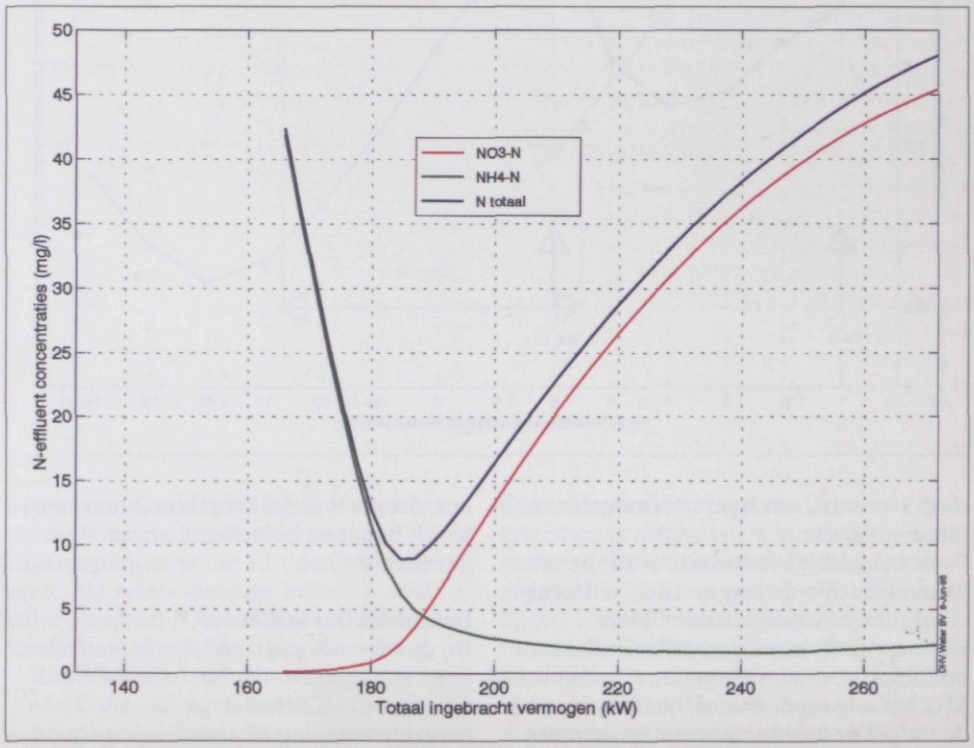
De opzet van het model in het simulatieprogramma SIMBA is weergegeven in afbeelding 2.

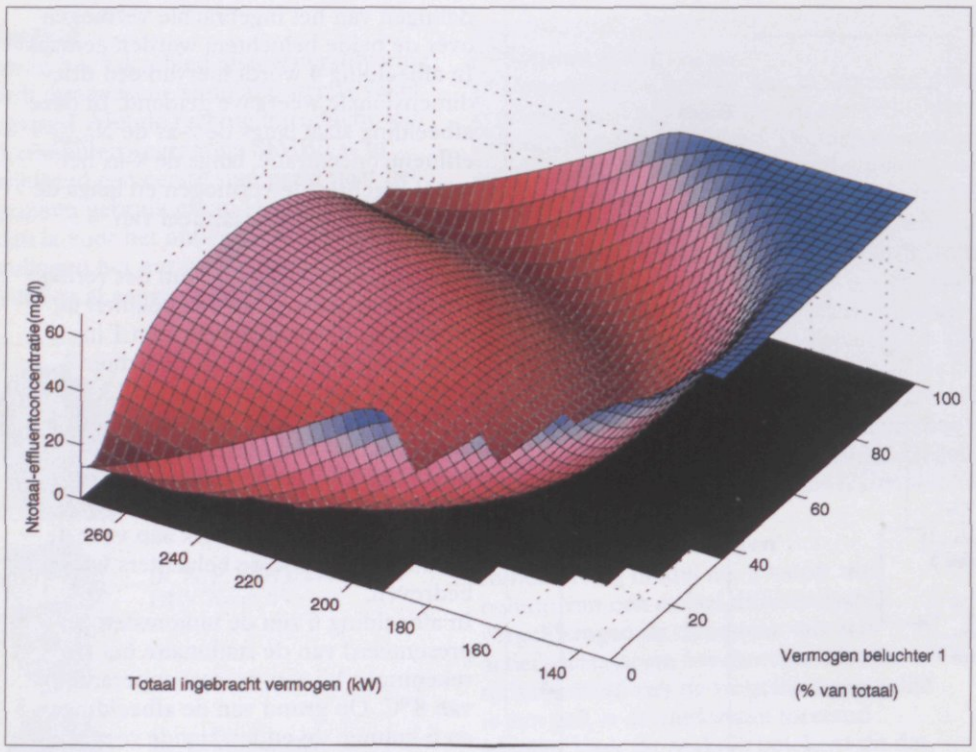
Optimum voor N_{totaal}

Uitgaande van de gepresenteerde rwzi kan met behulp van stationaire berekeningen het minimum van de N_{totaal}-effluentconcentratie in relatie tot de beluchtingsintensiteit worden bepaald.
Als de stationaire toestand voor verschillende beluchtingsintensiteiten wordt berekend, wordt bij een procestemperatuur van 12 °C een relatie verkregen zoals is weergegeven in afbeelding 3. Het ingebracht vermogen van puntbeluchter 2 is hierbij constant gehouden (maximum = 132 kW). Uit afbeelding 3 komt naar voren dat bij de gehanteerde uitgangspunten de laagste N_{totaal}-effluentconcentratie wordt bereikt bij een totaal ingebracht vermogen van circa 185 kW.

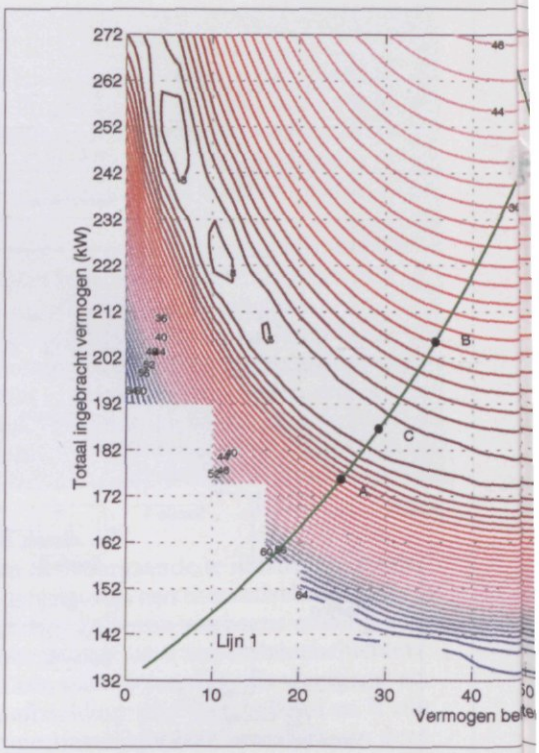
Omdat het omloopsysteem is uitgerust met twee puntbeluchters, kan de totaal in te brengen hoeveelheid zuurstof over deze twee beluchters worden verdeeld. Om inzicht te krijgen in het effect van deze verdeling op de N_{totaal}-effluentconcentratie moet afbeelding 3 voor verschillende verdelingen van het ingebrachte vermogen over de beide beluchters worden gemaakt. In afbeelding 4 wordt hiervan een driedimensionale weergave getoond. In deze afbeelding staat langs de z-as de N_{totaal}-effluentconcentratie, langs de x-as het totaal ingebrachte vermogen en langs de y-as het procentuele aandeel van beluchter 1.
Voor een beter overzicht van het verloop zijn in afbeelding 5 de hoogtelijnen uit afbeelding 4 weergegeven. Lijn 1 in afbeelding 5 geeft aan dat beluchter 2 maximaal zuurstof inbrengt (132 kW) en beluchter 1 wordt gevarieerd. Lijn 2 geeft aan dat beluchter 1 maximaal staat (132 kW) en beluchter 2 wordt gevarieerd. Het gebied tussen de twee lijnen geeft het regelbereik aan voor de situaties waarin beide beluchters worden bedreven.
In afbeelding 6 zijn de uitkomsten gepresenteerd van de stationaire berekeningen bij een procestemperatuur van 8 °C. Op grond van de afbeeldingen 5 en 6 kunnen de onderstaande conclusies worden geformuleerd.
- een 'dal' van de N_{totaal}-effluentconcentratie is duidelijk aanwezig. Het minimum in dit dal is de optimale beluchtingsintensiteit voor maximale stikstofverwijdering;
- een onderschrijding van de 'optimale' vermogensinbreng heeft een sterkere stijging van de N_{totaal}-effluentconcentratie tot gevolg dan een overschrijding;
- de optimale N_{totaal}-effluentconcentratie ligt bij 8 °C aanzienlijk hoger dan bij 12 °C,

Afb. 3 - Relatie tussen ingebracht vermogen en N-effluentconcentratie.



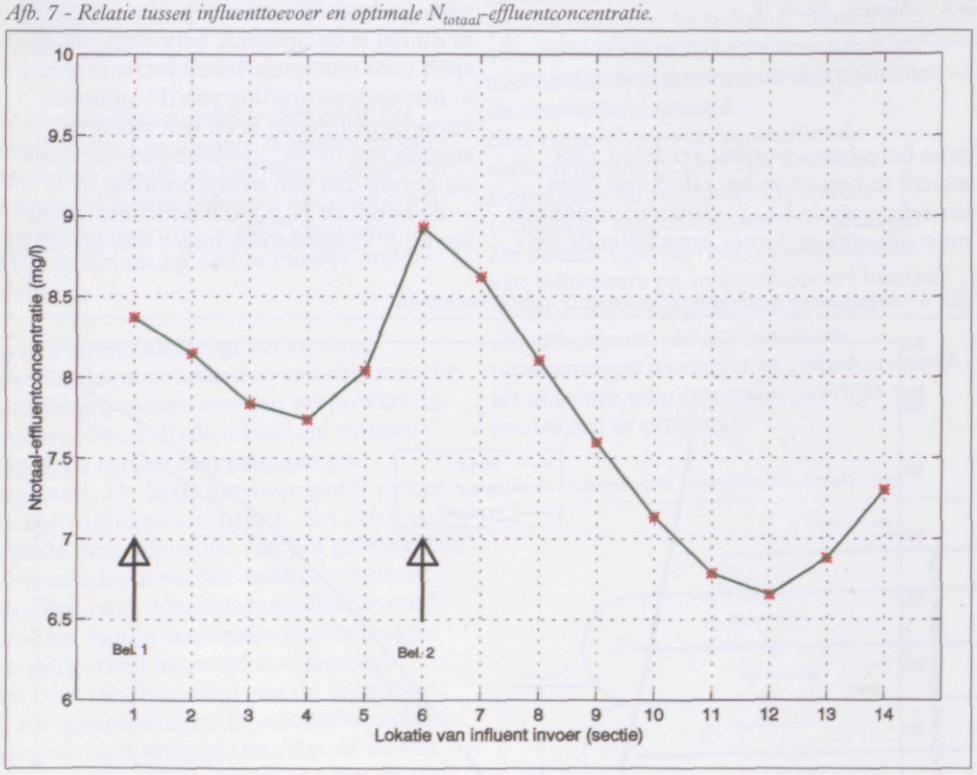


Afb. 4 - 3D-weergave van ingebracht vermogen versus N_{totaal}-effluentconcentratie.

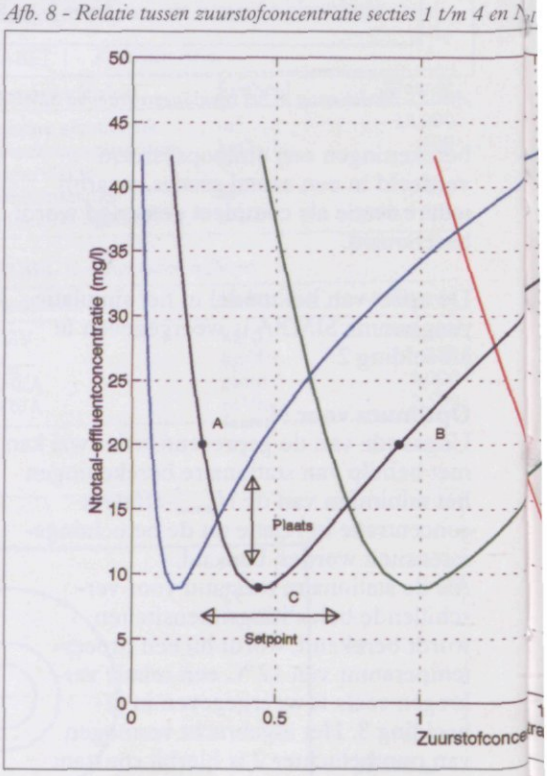


Afb. 5 - Hoogtelijnen van N_{totaal}-effluentconcentratie versus in

Afb. 7 - Relatie tussen influenttoevoer en optimale N_{totaal}-effluentconcentratie.



Afb. 8 - Relatie tussen zuurstofconcentratie secties 1 t/m 4 en N

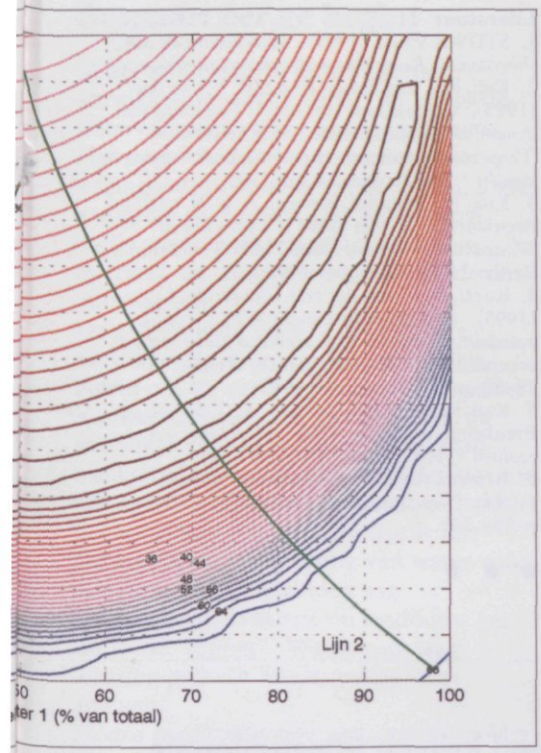


maar wordt bij een lagere vermogensinbreng bereikt;
- als beluchter 2 maximaal wordt benut kan in principe de laagste N_{totaal}-effluentconcentratie worden bereikt. Deze uitkomst geeft aan dat voordenitrificatie optimaal moet worden benut.

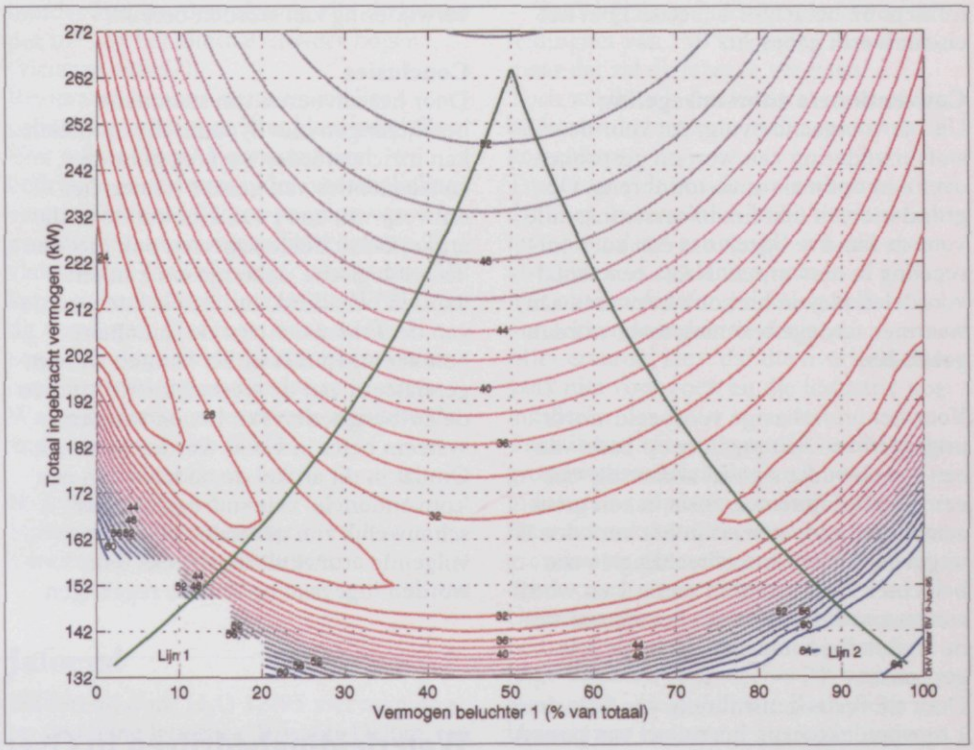
Met het oog op de overzichtelijkheid is bij de volgende berekeningen uitgegaan van een situatie waarbij beluchter 2 maximaal wordt benut en beluchter 1 wordt gevarieerd.

Lokatie influenttoevoer

Bij de hiervoor gepresenteerde resultaten is ervan uitgegaan dat het influent wordt toegevoerd bij beluchter 1 (zie afb. 1). In overeenstemming met eerdere onderzoeken verbaast het niet dat in het gegeven concept een maximale benutting van de makkelijk afbreekbare organische fractie wordt verkregen bij een minimale vermogensinbreng van beluchter 1. Vooral bij een procestemperatuur van 8 °C is dit effect (hoewel buiten de regelbare range) goed zichtbaar. Dat dit effect door een andere lokatie van influenttoevoer

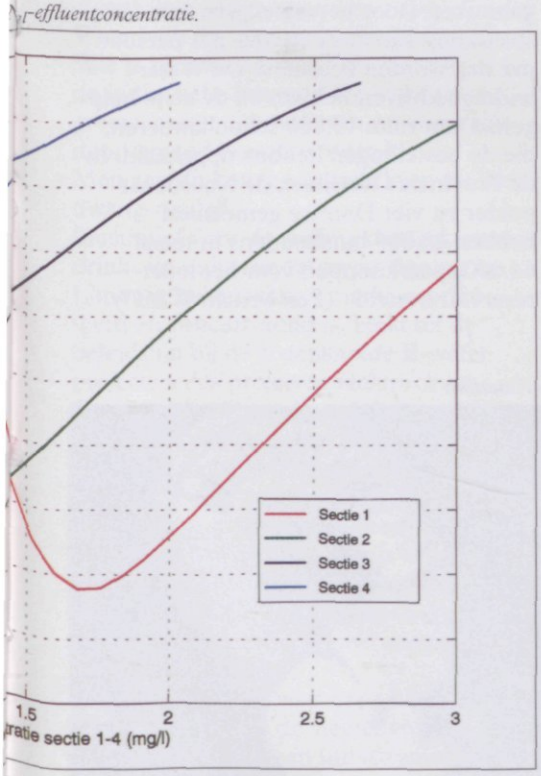


racht vermogen (12°C).

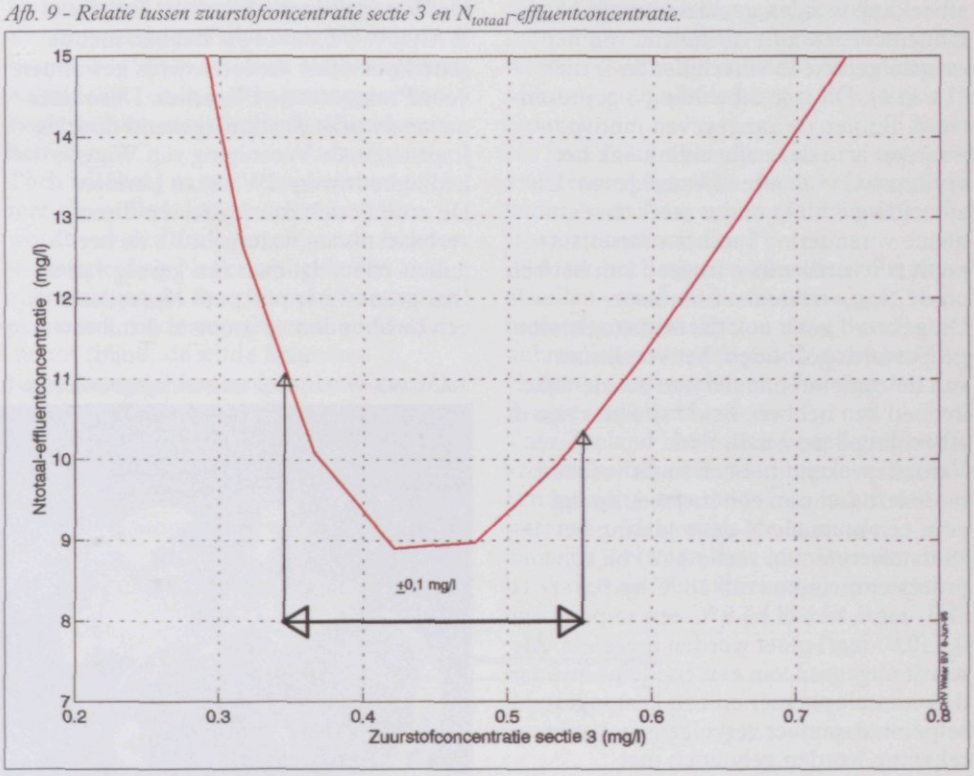


Afb. 6 - Hoogtelijnen van N_{totaal}-effluentconcentratie versus ingebracht vermogen (8°C).

$_{tal}$-effluentconcentratie.



Afb. 9 - Relatie tussen zuurstofconcentratie sectie 3 en N_{totaal}-effluentconcentratie.



mogelijkerwijs nog kan worden vergroot kan ook met behulp van de stationaire berekeningen worden bepaald.

Op de hiervoor aangegeven wijze is voor elke te onderscheiden sectie in het gemodelleerde omloopsysteem (zie afb. 2) de laagste N_{totaal}-effluentconcentratie berekend. De uitkomsten hiervan zijn weergegeven in afbeelding 7. Hieruit is te concluderen dat bij de weergegeven uitgangspunten sectie 12 ('denitrificatie-been') de meest gunstige lokatie is voor de influenttoevoer. Ook is te zien dat hiermee theoretisch een daling van 1,5 tot 2 mg N/l bij 12°C kan worden verkregen (oplopend tot 6 mg/l bij 8°C!). Ofschoon in het verleden een influenttoevoer in het denitrificatie-been bij meerdere omloopsystemen is toegepast, is in veruit de meeste gevallen het in afbeelding 1 aangegeven invoerpunt gerealiseerd. Hieraan liggen verschillende uitgangspunten c.q. randvoorwaarden (geurreductie/N-minimalisatie) ten grondslag.
Voor de verdere berekeningen is uitgegaan van een configuratie, waarbij het

influent bij beluchter 1 (sectie 1) in het circuit wordt gebracht.

Conventionele zuurstofregeling
Uit het voorgaande volgt dat voor de stikstofverwijdering kan worden gesproken over een optimale zuurstofinbreng. Op grond hiervan lijkt het in eerste instantie voor de hand te liggen om een zuurstofregeling te ontwerpen. Naast een aantal voordelen kleven hier ook bezwaren aan, waarmee terdege rekening moet worden gehouden.

Voor het onderhavige voorbeeld wordt uitgegaan van een regeling op basis van een enkelvoudig signaal afkomstig van een zuurstofopnemer, zoals in een groot aantal omloopsystemen in het verleden is uitgevoerd. Conform afbeelding 1 staat beluchter 1 opgesteld in sectie 1 en wordt aangestuurd op basis van het signaal van de zuurstofopnemer, die in sectie 3 is geplaatst.
Door de vermogensinbreng van beluchter 1 - overeenkomstig het traject van punt A naar punt B uit afbeelding 5 - te variëren (beluchter 2 staat maximaal), kan een afbeelding worden gemaakt van de N_{totaal}-effluentconcentratie als functie van het zuurstofgehalte in verschillende secties (1 t/m 4). Dit is in afbeelding 8 gepresenteerd. Binnen de aangegeven randvoorwaarden is in deze afbeelding ook het optimum C (vgl. afb. 5) aangegeven. Uit afbeelding 8 blijkt onder meer dat een kleine verandering van het zuurstofsetpoint een aanzienlijke invloed kan hebben op de N_{totaal}-effluentconcentratie.
Omgekeerd geldt ook dat als het setpoint gelijk wordt gehouden, het verplaatsen van de zuurstofopnemer een aanzienlijke invloed kan hebben. Beide situaties zijn in afbeelding 8 gevisualiseerd.
Vanzelfsprekend hebben in dit verband meerdere factoren een invloed. Zo ligt voor een optimale N-verwijdering het zuurstofsetpoint in sectie 3 (2) bij een procestemperatuur van 18 °C op 0,6 (1,3) mg/l, terwijl bij 8 °C een setpoint van 0,4 (0,9) mg/l moet worden ingesteld. Als wordt uitgegaan van een goede positie van de zuurstofopnemer en een juist ingesteld setpoint, dan moet vervolgens ook nog rekening worden gehouden met kalibratie- en meetfouten van de zuurstofopnemer. Op grond van afbeelding 9 wordt duidelijk dat de som van de hiervoor aangegeven onnauwkeurigheden in het setpoint (in relatie tot de plaats van de opnemer) en de meetwaarde kan leiden tot een aanzienlijke afwijking van het beoogde resultaat. Hieruit volgt dat met de toepassing van een 'conventionele' zuurstofregeling geen optimale stikstofverwijdering kan worden bereikt.

Conclusies
Door het uitvoeren van stationaire berekeningen met dynamische modellen kan inzicht worden verkregen in de consequenties van keuzes binnen het ontwerp van een rwzi. Hoewel de in dit artikel behandelde aspecten ook met een 'technologische' achtergrond kunnen worden benaderd, en de absolute waarde van de uitkomsten van de stationaire berekeningen niet direct kunnen worden gerelateerd aan de werkelijkheid, kunnen de gevoeligheden van het ontworpen systeem beter in beeld worden gebracht. Omdat in dit artikel de nadelen van een 'conventionele' zuurstofregeling aanschouwelijk zijn gemaakt, zal in het volgende artikel uit deze reeks ook worden ingegaan op andere regelingen.

Literatuur

1. STOWA 95-01 (1995). *'Modelleren van actiefslibsystemen; Keuze van model en programmatuur'.*
2. Kuij, R. J. van der en Roest, H. F. van der (1993). *'Optimalisatie van rwzi's; Toepassing van 'dynamische modelsimulatie', NVA Symposium 'Vergaande nutriëntenverwijdering, anders meten en regelen ?'*, Amsterdam 24 juni 1993.
3. Kuij, R. J. van der, Bentem, A. G. N. van and Breukelen, F. T. van (1993). *'Upgrading of Wastewater Treatment Plants'.* IAWQ conference, Berlijn 21-24 september 1993.
4. Roest, H. F. van der and Uijterlinde, C. A. (1995). *'Upgrading the Utrecht STP; Unexpected possibilities with two stage activated sludge systems'*, accepted for IAWQ conference, Wenen 28 augustus-1 september 1995.
5. Kuij, R. J. van der, Bentem, A. G. N. van en Breukelen, F. T. van (1993). *'Simulatie; spel of realiteit ?'.* H_2O, 26, nr. 20, p. 583-587.
6. Bentem, A. G. N. van en Sengers, A. H. M. (1994). *'Simulatie; speelse realiteit!'.* H_2O, 27, nr. 14, p. 389-393.

● ● ●

Waterleidingbedrijven in Overijssel krijgen internationale onderscheiding

De Waterleidingbedrijven in Overijssel WMO, WOT en Cogas hebben met de actie Pottekijker de eerste prijs gewonnen voor Promotionele PR-acties. Deze internationale prijs wordt toegekend door de Internationale Vereniging van Waterleidingbedrijven (IWSA) in Londen.
De actie Pottekijker legde een direct verband tussen watergebruik en het milieu-effect dat daar een gevolg van is. Ons grondwater raakt op! Het toilet is in een huishouden de grootste drinkwatergebruiker. Door het installeren van een spaarknop kan circa 20 liter per persoon per dag worden bespaard. De Waterleidingbedrijven hebben bij de actie hulp gehad van ruim 15.000 schoolkinderen, die de bestellingen hebben opgehaald. In de Provincie Overijssel, de Noordoostpolder en vier Drentse gemeenten hebben 48.000 huishoudens in totaal 64.000 spaarknoppen voor het toiletreservoir besteld. (Persbericht WMO)

Schoolkinderen hielpen de waterleidingbedrijven bij de actie Pottekijker.