



Arjen van Nieuwenhuijzen, Witteveen+Bos  
 André van Bentem, DHV  
 Berend Reitsma, Tauw  
 Annette Buunen, Grontmij

# Mogelijkheden en grenzen van het actiefslibproces

Het actiefslibproces wordt in Nederland zeer veel toegepast bij de behandeling van stedelijk afvalwater. Het is zowel hydraulisch als biologisch een flexibel en kosteneffectief systeem, met het vermogen om zonder (veel) chemicaliën nutriënten als fosfaat en stikstof tot lage concentraties te verwijderen. Bij de implementatie van de Kaderrichtlijn Water zullen de actiefslibinstallaties verder moeten gaan bijdragen aan verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater door een schoner effluent te leveren. In dit artikel worden de resultaten van het STOWA-onderzoeksproject 'Het actiefslibproces, de mogelijkheden en grenzen'<sup>1)</sup> besproken. Hierin zijn de mogelijkheden en beperkingen van actiefslibprocessen verkend om de volgende hoogwaardige (jaargemiddelde) effluentkwaliteiten te kunnen realiseren: B-kwaliteit: 5,0 mg N<sub>totaal</sub>/l en 0,3 mg P<sub>totaal</sub>/l; A-kwaliteit: 2,2 mg N<sub>totaal</sub>/l en 0,15 mg P<sub>totaal</sub>/l.

**W**elke factoren zijn theoretisch van invloed op de effluentkwaliteit van een actiefslibstelsel? En wat is de effluentkwaliteit van de Nederlandse rioolwaterzuiveringen? En wat zijn de effecten van de belangrijkste procesfactoren op de effluentkwaliteit? Dit laatste wordt met modelberekeningen onderzocht.

In tabel 1 is de samenstelling van de stikstof- en fosfaatcomponenten in het effluent van een rwzi weergegeven.

## Invloedsfactoren

De werking van het actiefslibproces wordt met name beïnvloed door de influentsamenstelling, de procescondities, de procesconfiguratie en de wijze van slibrentie.

## Influentsamenstelling

Het (voorbezonden) influent en retourwater vormen de aanvoer van het actiefslibproces. Deelstroombehandelingsprocessen, zoals

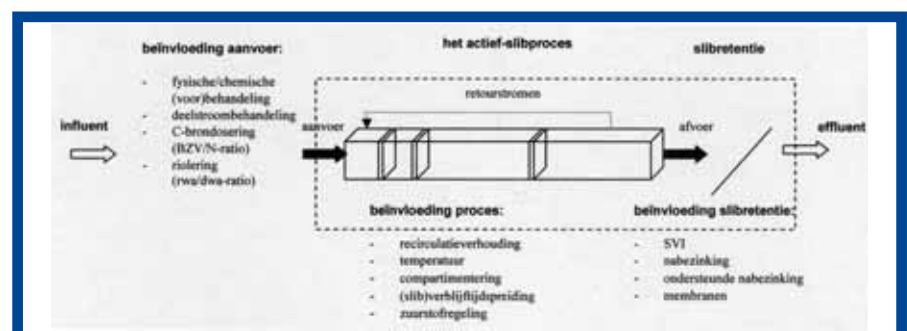
SHARON, SHARON/ANAMMOX, BABE en CANON, verlagen de retourstikstofvracht. Hierdoor daalt het gehalte aan ammonium en nitraat en stijgt de BZV/N-verhouding in de toevoer. Deze verhouding is belangrijk voor vergaande denitrificatie en daarmee lage nitraatconcentraties in het effluent. Om de grenzen van het actiefslibproces te bereiken en A-effluent te kunnen produceren, moet de BZV/N-verhouding minimaal 3,5 zijn. De benodigde BZV/P-verhouding is gerelateerd aan de hoeveelheid vetzuren, maar is minder duidelijk een absolute limitering voor fosfaatverwijdering, aangezien chemische defosfatering vaak de biologische fosfaatverwijdering ondersteunt. Fosfaatgehalten lager dan 0,5 mg/l worden overwegend gehaald door een combinatie van biologische en chemische fosfaatverwijdering. Om de grenzen van het actiefslibproces te bereiken en A-kwaliteit effluent

te produceren, moet de BZV/P-verhouding minimaal 20 zijn. De in het influent aanwezige organisch gebonden stikstof en fosfaat worden door hydrolyse gedeeltelijk omgezet in ammonium en orthofosfaat, maar een deel zal als slecht afbreekbare organisch gebonden verbindingen met het effluent afgevoerd worden. Daarnaast komen tijdens de afbraakprocessen in het actiefslib humuszuren vrij waaraan organische stikstof en fosfor gebonden zijn.

## Procescondities

Installaties met een slibbelasting < 0,06 kg BZV/(kg ds.dag) kunnen uitkomen op 4 tot 5 mg N<sub>totaal</sub>/l. Bij een slibbelasting < 0,045 kg BZV/(kg ds.dag) is in principe 2 mg N<sub>totaal</sub>/l mogelijk. Voor fosfaat wordt bij toenemende slibbelasting juist een afname van het effluentgehalte veroorzaakt (mogelijk door de hogere slibproductie). Bij een hogere temperatuur is door de hogere omzettings-

Afb. 1: Invloedsfactoren op het actiefslibproces.



Tabel 1. Indicatie van de samenstelling van stikstof en fosfaat (in mg/l) in effluent op basis van literatuur.

stikstoffracties:		fosfaatfracties:	
N <sub>totaal</sub>	= 4-10	P <sub>totaal</sub>	= 0,3-2
NH <sub>4</sub> -N	= 0,5-2	P <sub>ortho</sub>	= 0,1-1,8
NO <sub>3</sub> -N	= 2-5	P <sub>org-opgelost</sub>	= 0,05-0,3
N <sub>org-opgelost</sub>	= 0,5-1,5	P <sub>org-gebonden</sub>	= 0,05-0,5
N <sub>org-gebonden</sub>	= 0,5-1,5		

snelheden een lagere concentratie  $N_{\text{ totaal}}$  in het effluent haalbaar. Door de lagere slibproductie zal de biologische fosfaatverwijdering minder goed functioneren, wat tot hogere concentraties fosfaat in het effluent kan leiden.

### Procesconfiguratie

Voor een vergaande stikstofverwijdering is de recirculatie van nitraat vaak een beperkende factor. Voor een  $N_{\text{ totaal}} < 5 \text{ mg/l}$  (B-kwaliteit) is minimaal een recirculatiefactor nodig van 15. Om de A-kwaliteit te halen, is minimaal een recirculatiefactor van 35 nodig. Systemen met een omloopreactor met simultane nitrificatie en denitrificatie als laatste processtap, voldoen hier reeds aan. De mUCT-achtige configuraties (zoals het BCFS-proces) voldoen hier niet aan door de obligaat beluchte laatste reactor. Deze configuraties zijn ook niet in de eerste plaats ontwikkeld voor zeer lage  $N_{\text{ totaal}}$ -waarden, maar voor vergaande biologische fosfaatverwijdering en een lage SVI.

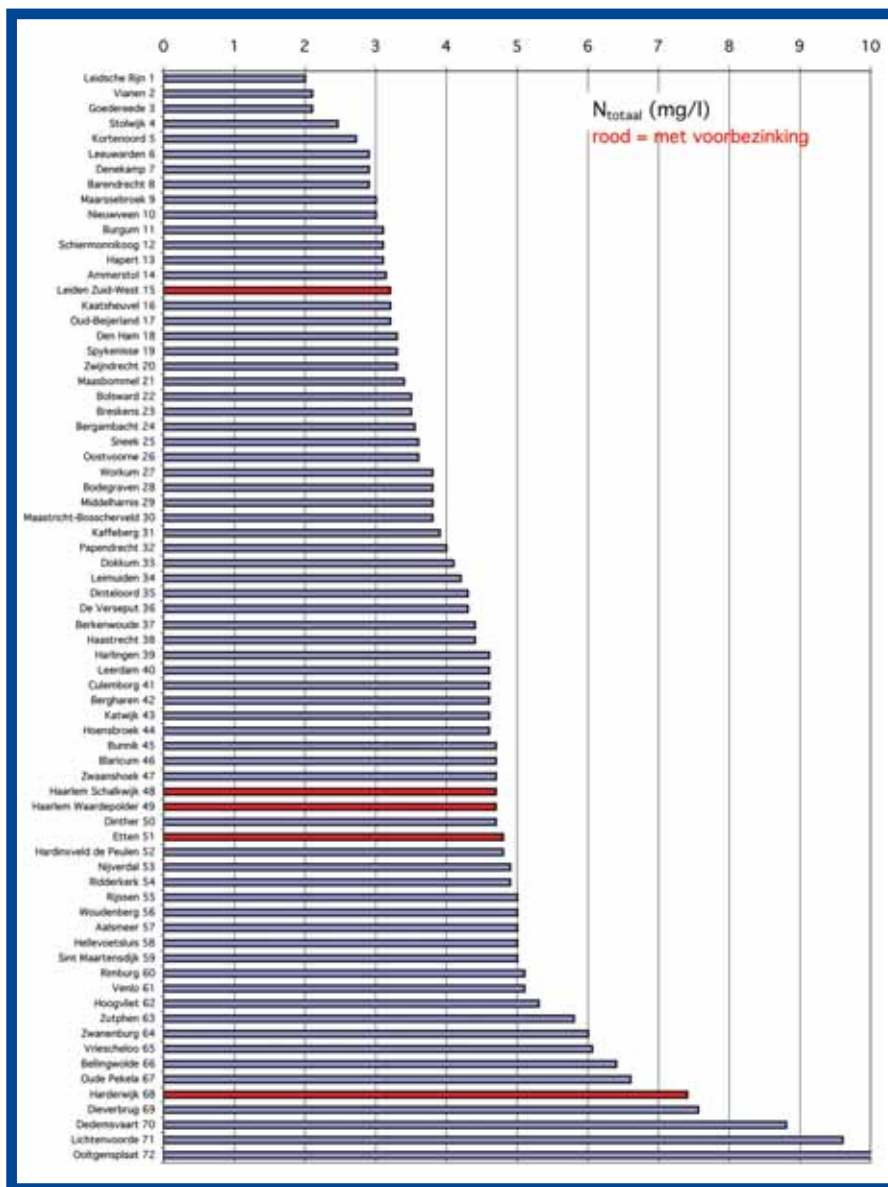
### Slibretentie

Bij gebruik van nabezinktanks is de beheersing van de SVI een aandachtspunt. Een voldoende hoge fractie belucht slib en/of het toepassen van een selector remt de groei van draadvormers. Toepassing van membranen in plaats van nabezinktanks heeft tot gevolg dat de aan (fijne) deeltjes gebonden stikstof- en fosfaatcomponenten verwijderd worden.

### Prestaties Nederlandse rwzi's

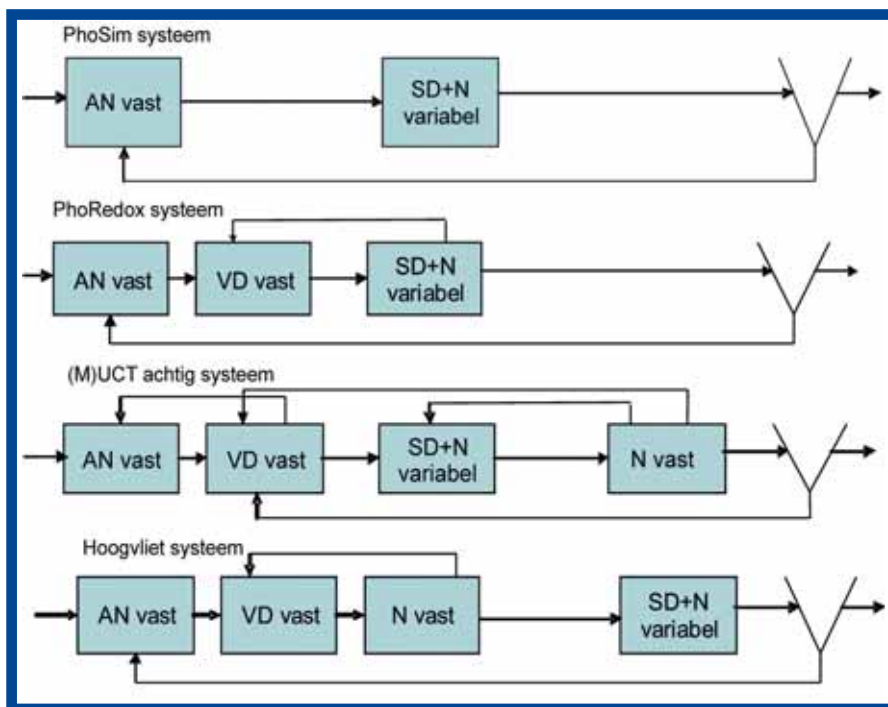
In 2005 waren in Nederland 389 rwzi's in bedrijf, waarvan 58 rwzi's met een jaargemiddelde  $N_{\text{ totaal}}$ -concentratie kleiner dan 5,0 mg/l. Hiervan zijn vijf installaties voorzien van voorbezinking. Zeven installaties produceren een jaargemiddelde  $P_{\text{ totaal}}$ -concentratie kleiner dan 0,3 mg/l, waarvan één met voorbezinking. De installaties met een  $N_{\text{ totaal}} < 5 \text{ mg/l}$  of een  $P_{\text{ totaal}} < 1 \text{ mg/l}$  zijn weergegeven in afbeelding 2a en 2b.

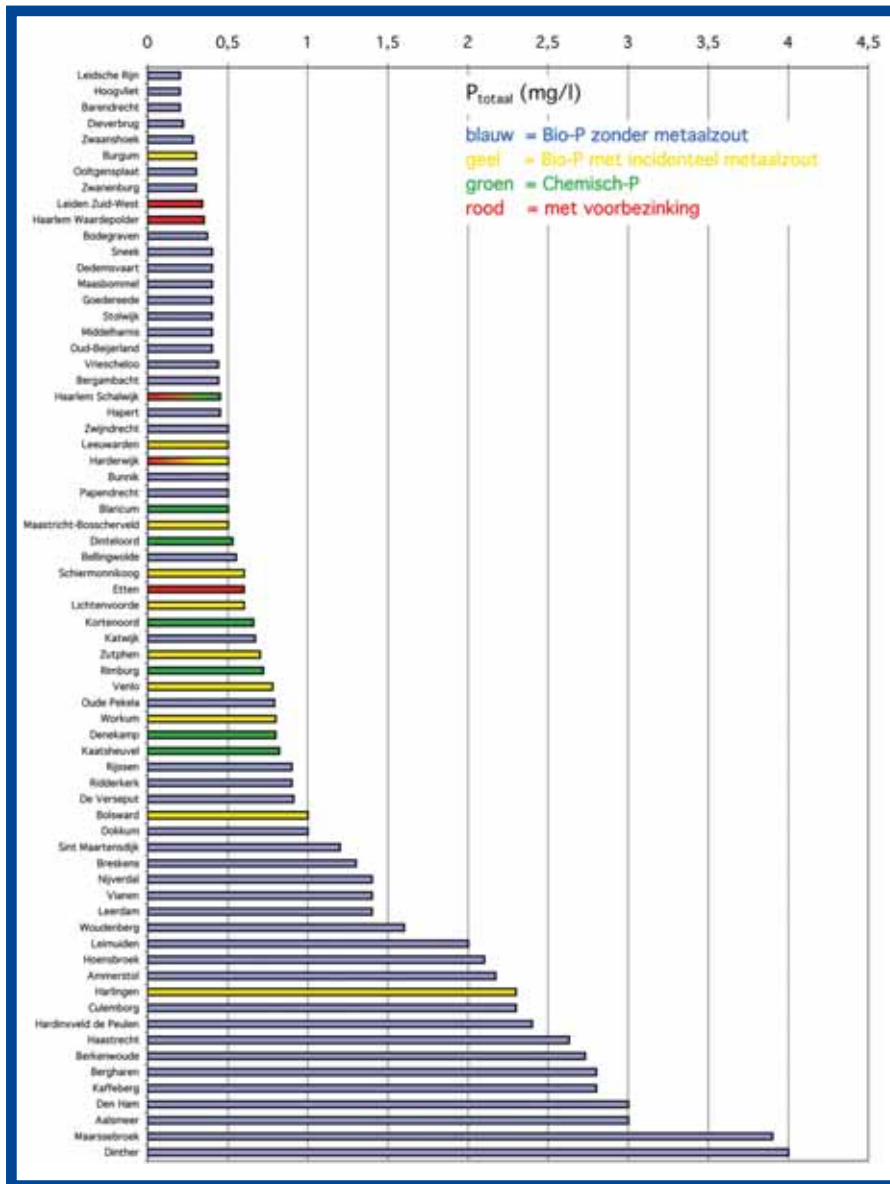
Met betrekking tot stikstof behalen verrassend veel installaties reeds de B-kwaliteit en is voor enkelen ook de A-kwaliteit binnen bereik. Er zijn meer rwzi's met zeer vergaande stikstofverwijdering dan met zeer vergaande fosfaatverwijdering. Dat wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de fosfaatverwijdering wordt beïnvloed door de precies afgestemde chemicaliëndosering door de bedrijfsvoering (niet meer doseren dan nodig), terwijl voor stikstof betere prestaties worden bereikt door onderbelasting. De drie best presterende rwzi's wat betreft stikstof zijn Leidsche Rijn (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden), Vianen (Waterschap Rivierenland) en Goedereede (Waterschap Hollandse Delta). Leidsche Rijn behoort ook bij de top-3 van installaties met de beste fosfaateffluentkwaliteit (naast Hoogvliet en Barendrecht, beide Waterschap Hollandse Delta). Opvallend aan deze installaties is de zeer lage slibbelasting. Bij de installaties met voorbezinking, die ruimschoots voldoen aan de B-kwaliteit voor stikstof, valt op dat deze installaties veel minder ruim in hun jasje zitten wat betreft capaciteit en nog bij relatief lage BZV/N- en



Afb. 2a: Rwzi's met laagste  $N_{\text{ totaal}}$  in effluent (2005).

Afb. 3: Schematische weergave van de meest voorkomende procesconfiguraties in Nederland.





Afb. 2b: Rwzi's met laagste  $P_{\text{totaal}}$  in effluent (2005).

BZV/P-verhoudingen uitstekend stikstof en fosfaat kunnen verwijderen.

Op basis van de resultaten van de Nederlandse rwzi's is gekeken in hoeverre deze kunnen worden gerelateerd aan de procesconfiguratie. De belangrijkste procesconfiguraties zijn schematisch weergegeven in afbeelding 3. De meest gangbare procesconfiguraties in Nederland zijn:

- PhoSim: vaak Carrousel of andere omloopsystemen;
- PhoRedox: PhoSim met een voordennitrificatietank;
- mUCT-achtigen, zoals het BCFS-proces;
- Hoogvlietvariant, met een voor-nitrificatietank en een omloopstelsel.

Voor de PhoSim-, de PhoRedox- en de Hoogvlietinstallaties geldt dat door de hoge recirculatiefactor in de omloopsystemen lage nitraatgehalten, tot 0,5-1,0 mg/l, kunnen worden aangetroffen. Bij de mUCT-achtige systemen worden door de obligaat beluchte laatste reactor en de relatief geringe recirculatiefactor nitraatgehalten van circa 5 mg/l aangetroffen. Zowel PhoRedox als (m)UCT-achtige systemen zijn in staat zeer lage fosfaatgehalten te halen. De andere systemen hebben daar meer moeite mee. PhoSim en PhoRedox-systemen hebben vaak aanvullende metaalzoutdosering nodig om voldoende laag in totaalfosfaat te komen.

De prestaties van rwzi's worden beïnvloed door reactorconfiguratie, recirculatieverhou-

Tabel 2: Overzicht resultaten van de verschillende configuraties en modelberekeningen.

parameter (eenheid)	Hoogvliet	PhoSim	PhoRedox	(m)UCT-achtigen
$N_{\text{totaal}}$ (mg/l)	3,3	2,8	3,1	4,1
$P_{\text{totaal}}$ (mg/l)	0,13	0,15	0,14	0,12

dingen, slibbelasting, ontwerpcapaciteit, BZV/N- en BZV/P-verhouding, temperatuur en processturing. In algemene zin zijn uit de inventarisatie nauwelijks conclusies over de individuele invloedsfactoren te trekken doordat diverse factoren gelijktijdig van invloed zijn, of doordat in het ontwerp met eventuele negatieve factoren rekening is gehouden (bijvoorbeeld een lagere temperatuur levert ook een ontwerp met lagere slibbelasting).

Voorzichtig kan worden geconstateerd dat een lagere slibbelasting een lagere  $N_{\text{totaal}}$ -concentratie geeft, ook al is de spreiding bij lagere belastingen groot. Kennelijk spelen andere factoren daarbij ook een rol. Ten aanzien van fosfaat is het beeld niet duidelijk. Een hogere slibbelasting levert over het algemeen een lagere effluentwaarde. Met betrekking tot de meest voorkomende systemen lijkt het erop dat met alle systemen een zeer lage  $P_{\text{totaal}}$ -concentratie mogelijk is, ook al is een jaargemiddelde concentratie van < 0,2 mg P/l (in het jaar 2005) nog niet aangetroffen. Installaties die aan de A-kwaliteit voor stikstof van < 2,2 mg/l voldoen komen voor, maar in zeer beperkte mate.

### Modelberekeningen

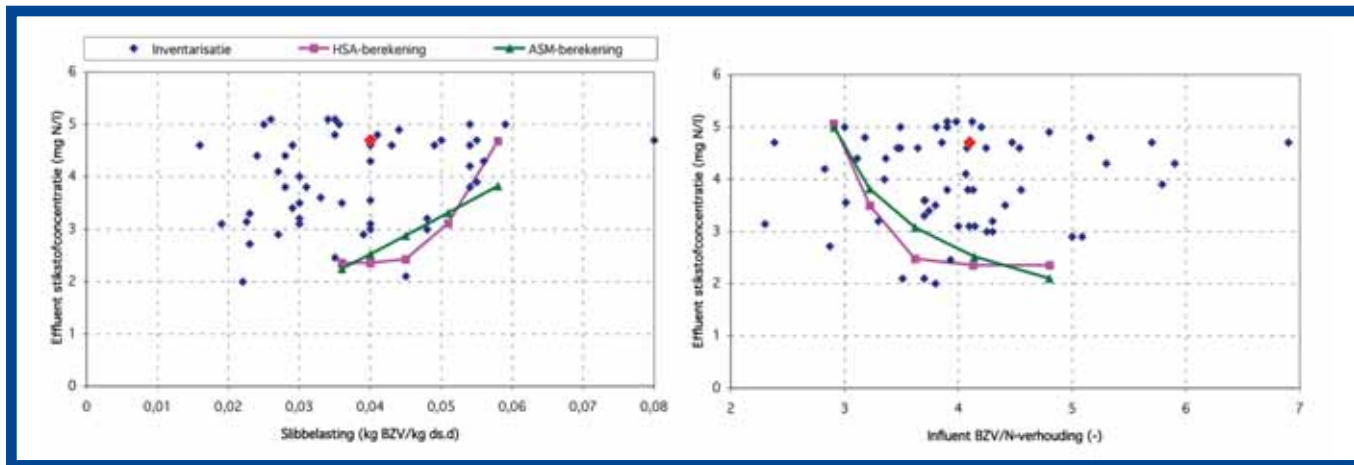
De effecten van de influentsamenstelling, de verschillende procesconfiguraties en de procescondities op de effluentkwaliteit zijn met behulp van actiefslibmodellen geanalyseerd. Hierbij is gebruik gemaakt van het statische HSA-ontwerpmodel en het dynamische ASM-model. Voor de modelberekeningen is uitgegaan van rwzi Hoogvliet. Beide modellen zijn gekalibreerd op basis van de praktijkgegevens van rwzi Hoogvliet. Met beide gekalibreerde modellen is vervolgens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de slibbelasting, de influent BZV/N-ratio, de proces temperatuur en de interne recirculatiefactor. Vervolgens zijn met beide modellen de andere procesconfiguraties (PhoSim, PhoRedox en mUCT) doorgerekend. Hierbij zijn procesinstellingen gehanteerd zoals deze in de praktijk worden toegepast.

De resultaten van de modelberekeningen voor de verschillende procesconfiguraties zijn samengevat weergegeven in tabel 2.

Met betrekking tot stikstof blijkt voornamelijk de recirculatiefactor onderscheidend. Wat dat betreft komen de resultaten van de modelberekeningen overeen met die uit de praktijkinventarisatie. De systemen met een hoge recirculatiefactor behalen de laagste effluentconcentratie.

Ook met betrekking tot de slibbelasting en de influent BZV/N-verhouding zijn de resultaten van de modelberekeningen vergeleken met de resultaten van de inventarisatie van de rwzi's (zie afbeelding 4). Hieruit blijkt dat de berekeningsresultaten min of meer de ondergrens aangeven van de praktijkresultaten. Dit is verklaarbaar uit het feit dat de berekeningsgrafieken het resultaat zijn van vergaand geoptimaliseerde modellen, waarbij de verstoring effecten van bijvoorbeeld grote influentfluctuaties,





Afb. 4: Vergelijking van de praktijkresultaten en de modelberekeningen (rode blokje is rwzi Hoogvliet).

niet-optimaal werkende procesregelingen en processtoringsen niet worden meegenomen. Daarnaast valt uit afbeelding 4 op dat de resultaten van de HSA- en ASM-modellering goed vergelijkbaar zijn.

De  $P_{\text{ totaal}}$ -concentratie wordt voor alle configuraties met name bepaald door de organisch gebonden fractie. Deze is voor alle varianten nagenoeg gelijk (0,11-0,12 mg P/l). Alle configuraties bereiken zeer lage orthofosfaatconcentraties in het effluent. De concentratie van de (m)UCT-configuratie is iets lager dan die van de andere configuraties.

Het HSA-model is een statisch ontwerpmodel. Het is niet mogelijk om elke configuratie met dit model gemakkelijk door te rekenen zonder een aantal vereenvoudigingen van de werkelijkheid toe te passen. Het HSA-model is daardoor minder geschikt om kleine verschillen tussen de systemen in beeld te brengen.

Uit de ASM-modelberekeningen blijkt dat bij de zeer lage  $N_{\text{ totaal}}$ - en  $P_{\text{ totaal}}$ -concentraties de (opgeloste en onopgeloste) organisch gebonden fracties een substantieel aandeel hebben. Het model zal in het algemeen lagere effluentconcentraties berekenen dan in de praktijk kunnen worden bereikt.

#### De rioolwaterzuiveringsinstallatie Hoogvliet.



Daarnaast blijkt het noodzakelijk te zijn om een aantal (vast veronderstelde) modelparameters aan te passen om met name de nitrificatie en de denitrificatie te kunnen fitten. Dit betreft enkele zogenaamde verzadigingscoëfficiënten, welke in de Monodkinetiek worden gebruikt. Voorzichtigheid is dus ook geboden bij de toepassing van het ASM-model.

In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat de statische (HSA) en dynamische (ASM) modellen binnen het werkgebied van de B-kwaliteit voldoende werken. Voor de A-kwaliteit zijn aanpassingen noodzakelijk.

#### Conclusies en aanbevelingen

Op basis van het uitgevoerde onderzoek zijn de volgende conclusies en aanbevelingen geformuleerd:

- Van de 389 in 2005 in Nederland in bedrijf zijnde rwzi's voldoen opvallend veel (58) rwzi's met een jaargemiddelde  $N_{\text{ totaal}}$ -concentratie kleiner dan 5,0 mg/l aan de B-kwaliteit. Zeven installaties produceren een jaargemiddelde  $P_{\text{ totaal}}$ -concentratie kleiner dan 0,3 mg/l;
- Voor zeer vergaande stikstofverwijdering functioneren systemen met een lage slibbelasting en een deels belucht omloopsysteem het beste (door de hoge recirculatiefactor). Verlaging van B- naar

A-effluent vereist een verhoging van de recirculatiefactor tot boven de 30. Tevens moet de BZV/N-verhouding minimaal 3,5 zijn;

- Voor fosfaatconcentraties op A-niveau moet de BZV/P-verhouding minimaal 20 zijn en dan nog vaak met aanvullende metaalzoutdosering;
- De HSA- en ASM-modellen geven aan dat zeer lage  $N_{\text{ totaal}}$ -waarden kunnen worden gerealiseerd. Om de A-kwaliteit te kunnen modelleren, zijn zowel bij HSA als ASM aanpassingen noodzakelijk;
- De opgeloste organische bestanddelen in het effluent zijn specifieke aandachtstoffen om de effluentkwaliteit van het A-niveau te kunnen produceren. Deze zijn lastig te modelleren. Nader onderzoek hiernaar wordt aanbevolen;
- Aanbevolen wordt om de algemene resultaten nader in detail te onderzoeken op lokaal- of rwzi-niveau, met een aantal opvallend goed presterende installaties voor onderlinge vergelijking (inclusief modellering);
- Aanbevolen wordt om na te gaan of het, voor de modellen, is toegestaan om de range van de verzadigingscoëfficiënten aan te passen aan het A-niveau. Mogelijk leidt dit tot een alternatieve beschrijving van de omzettingprocessen bij lage substraatconcentraties.

#### LITERATUUR

- 1) STOWA (2007). Het actiefslibproces - de mogelijkheden en grenzen. Rapport 2007-24.
- 2) STOWA (2006). Filtratietechnieken - een overzicht. Rapport 2006-23.
- 3) STOWA (2006). Onderzoek MBR Varsveld. Rapport 2006-05.
- 4) STOWA (2001). Handboek biologische fosfaatverwijdering. Rapport 2001-15.
- 5) STOWA (1996). Methoden van influentkarakterisering. Inventarisatie en richtlijnen. Rapport 1996-08.
- 6) STOWA (1996). Varianten op voorbezinking. Rapport 1996-20.
- 7) STOWA (1998). Fysisch/chemische voorzuivering van afvalwater - Identificatie en evaluatie van waterzuiveringsscenario's gebaseerd op fysisch/chemische voorzuivering. Rapport 1998-29.
- 8) STOWA (1999). Influentkarakterisering van ruw en voorbehandeld afvalwater. De invloed van voorbezinking en voorprecipitatie. Rapport 1999-13.