stowa

Dimensioneringsgrondslagen voor biologische P-verwijdering in de sliblijn

92-06

Bibliotheek STOWA

stowa

alleen ter inzage, niet voor uitlening
nagebruik RETOUR s.v.p.

serie: thema zuiveringstechniek
zuiveringsprocessen

stowa

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Johan van Oldenbarneveltlaan 5

Postbus 80200, 2508 GE Den Haag

Telefoon 070 - 3512710

Dimensioneringsgrondslagen voor biologische P-verwijdering in de sliblijn

92-06

STOWA
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 8090
3503 RB Utrecht
tel. 030-321199
fax 030-321766

Publikaties en het publikatieoverzicht kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079-611188
fax 079-613927
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en een duidelijk afleveradres.

inhoud I

ten geleide II

1 SAMENVATTING 1

2 INLEIDING 3

3 BIOLOGISCHE FOSFORVERWIJDERING 4

4 UITGANGSPUNTEN 6

4.1 In beschouwing genomen lokaties 6
4.2 Werkwijze 6
4.3 Overige uitgangspunten 7

5 DROGESTOF- EN FOSFORBALANS 8

5.1 Algemeen 8
5.2 Biologisch slib 9
5.3 Fosfor in de waterfase 10
5.4 Fosfor in de slibfase 10
5.5 Afgeleide balans 11

6 MODELBENADERING 12

6.1 Algemeen 12
6.2 Opname versus afgifte 13

7 MODELBESCHRIJVING 15

7.1 Algemeen 15
7.2 Acetaatdosering (Ac) 16
7.3 Nitraatgehalte 16
7.4 Temperatuur (T) 16
7.5 Verblijftijd in de P-afgiftetank (HRT_s) 17
7.6 Samenvattend 17

8 SCHATTING VAN DE MODELPARAMETERS 18

9 EVALUATIE

9.1 Parameterschatting 21
9.2 Dimensioneringsgrondslagen 22

10 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 24

10.1 Conclusies 24
10.2 Aanbevelingen 24

11 REFERENTIES 26

Bijlage:
Samenvattend overzicht van de resultaten 27

Ten geleide

In het advies van de Technische Commissie Korrelreactor (TCKR*) van 27 mei 1988 werd geconcludeerd dat de korrelreactor een aantrekkelijke methode kan zijn voor P-verwijdering uit afvalwater. Er diende echter via (fundamenteel) flankerend en semi-technisch onderzoek, en via demonstratieprojecten ervaring opgedaan te worden om de grootschalige invoering van deze techniek in de praktijk te kunnen ondersteunen.

Deze onderzoeken en kostenstudies gaven aan dat de toepassing van de korrelreactor voor de naverwijdering van fosfor uit het effluent (waterlijn) haar aantrekkelijkheid verliest bij lage influent-P-gehalten, terwijl juist bij lage influent-P-gehalten biologische P-verwijdering (sliblijn) financieel gunstiger wordt. Het omslagpunt bevindt zich bij circa 13 mg P/l.

Toepassing van een korrelreactor in combinatie met biologische fosforverwijdering is uit milieu- en kostenoogpunt een interessante techniek, waarbij het ontwerp echter nog met enkele onzekerheden omgeven is.

Als onderdeel van het door de TCKR aanbevolen onderzoekprogramma wordt in dit rapport getracht op basis van de meet- en analysegegevens van diverse experimenten de dimensioneringsgrondslagen af te leiden voor de beluchtingsruimte en de afgiftetank, waarin respectievelijk de opname en de afgifte van fosfor plaatsvinden.

De werkzaamheden werden door de STORA, mede namens de NOVEM en het ministerie van Economische Zaken, opgedragen aan DHV Water B.V. (projectteam bestaande uit dr.ir. W.C. Witvoet, ir. M. de Blois, ir. A.C. Joha en ir. R.J. van der Kuy) en namens de STORA en de NOVEM begeleid door een commissie bestaande uit ir. J. Boschloo (voorzitter), ir. W. Blanken, ir. C.J. van Haastrecht, ir. P.J.M. Knaapen, ir. K.F. de Korte, ir. P.C. Stamperius, ir. W. van Starkenburg, ir. A.J. vander Vlugt en ir. J. Zabicki.

Voor deze studie werden behalve van de Landbouwuniversiteit Wageningen (Bennekom), resultaten gebruikt, van onderzoeken aan biologische fosforverwijdering in de slibstroom door de zuiveringsschappen Hollandse Eilanden en Waarden (Bergambacht) en Oostelijk Gelderland (Nieuwgraaf), het hoogheemraadschap van Rijnland (Leiden-Noord) en de provincie Utrecht (Veenendaal).

Den Haag, mei 1992

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

*

Deze commissie werd op 21 januari 1988 door de minister van VROM geïnstalleerd om hem te adviseren over technische aangelegenheden van de fosforverwijdering uit effluenten van rwzi's met behulpt van een korrelreactor.

1 SAMENVATTING

inleiding

Uit kostenoogpunt en milieuoverwegingen is biologische fosforverwijdering in de retourslibstroom een interessante techniek. Echter, ten aanzien van het ontwerp bestaan er voor de Nederlandse situatie nog enkele onzekerheden. Daarom is op een groot aantal lokaties onderzoek gestart of geïntensiveerd.

modelvorming

In totaal zijn van een zevental lokaties de meet- en analyseresultaten verzameld. Deze gegevens zijn modelmatig benaderd, teneinde het gedrag van de fosforopname in de beluchtingsruimte c.q. de fosforafgifte in de P-afgiftetank vast te leggen. Op basis van dit model is getracht dimensioneringsgrondslagen af te leiden.

Het model gaat ervan uit dat de opname/afgifte maximaal de toegevoerde hoeveelheid fosfor via het influent en de ingediktslibstroom vanaf het fosforafgifte proces kan bedragen. Voorts is gesteld dat de opname/afgifte kan worden beperkt door een viertal procescondities:

- acetaatdosering in de P-afgiftetank (Ac);
- het nitraatgehalte in het effluent (NO_e);
- de temperatuur in de P-afgiftetank (T);
- de verblijftijd in de P-afgiftetank (HRT).

Op basis van de verzamelde resultaten is vooralsnog het volgende rechtlijnige model afgeleid:

$$\frac{(opname\ of\ afgifte)}{(Q_B * G_B)} = \frac{(\alpha * influent + indikker)}{(Q_B * G_B)} *$$

$$\frac{(Ac+a_1)}{(Ac+a_2)} * e^{(a_3 * \frac{NO_e}{G_s})} * a_4^{\Delta T_{20}} * \frac{HRT}{(a_5+HRT)} \qquad [g/kg]$$

De waarden voor α en a_1 t/m a_5 zijn constant en bepalen de mate van invloed van de betreffende procescondities.

resultaten

Met behulp van regressieanalyse zijn - afhankelijk van het uitgangspunt (opname of afgifte) - voor de constanten de volgende waarden berekend:

Tabel 1. Resultaat regressieanalyse

constante	eenheid	op basis van opname	op basis van afgifte
α	-	1,09	1,20
a_1	g Ac/kg DS	2,20	4,75
a_2	g Ac/kg DS	2,79	21,14
a_3	kg DS/mg NO_3-N	-0,13	-0,08
a_4	-	1,00	1,11
a_5	d	-0,004	-0,021

dimensioneringsgrondslagen

Op basis van het model kunnen de volgende voorlopige dimensioneringsgrondslagen worden vastgesteld.

Tabel 2. Voorlopige dimensioneringsgrondslagen van de P-afgiftetank

parameter	eenheid	waarde
fosforafgifte	g P/kg DS	≥ 20
verblijftijd P-afgiftetank	h	< 5
acetaatdosering	g Ac/kg DS	< 40

voortgezet onderzoek

Vrijwel alle experimenten zijn uitgevoerd bij niet-beperkende procescondities. Dit betekent dat op basis van de in beschouwing genomen proefresultaten het ontwerp en de bedrijfsvoering niet kunnen worden geoptimaliseerd.
Met name ten aanzien van het debiet naar de P-afgiftetank, de verblijftijd in de P-afgiftetank, de temperatuur en de vorm waarin het acetaat wordt gedoseerd, bestaan nog enkele onzekerheden.

2 INLEIDING

In maart 1990 is voor de Dienst Binnenwateren/RIZA een studie afgerond waarin zes fosforverwijderingstechnieken met elkaar zijn vergeleken [1]. Deze vergelijking was gebaseerd op zowel kosten als milieuaspecten. Aanleiding voor deze studie was het dalende fosforgehalte in het influent van de zuiveringsinrichtingen door de massale overgang op fosfaatvrije wasmiddelen.

In de betreffende studie is onderscheid gemaakt tussen chemische en biologisch/chemische technieken.
Het blijkt dat, met name bij relatief lage fosforgehalten in het influent (minder dan 13 mg P/l), de simultane biologisch/chemische verwijderingstechnieken financieel aantrekkelijker zijn dan na-verwijdering.

Uit milieu-oogpunt zijn de technieken waarbij kalk wordt gedoseerd in een slibvrije stroom in het voordeel.
Het fosforrijke slib is dan niet gemengd met primair slib of surplusslib. Hergebruik van fosfor is daardoor mogelijk. Bovendien worden met kalk geen vreemde anionen aan het afvalwater toegevoegd.
Dit betreft met name biologische fosforverwijdering in de retourslibstroom en de naverwijderingstechnieken (de korrelreactor, de magneet en vlokbezinking).

Resumerend kan worden gesteld dat biologische fosforverwijdering in de retourslibstroom zowel uit financieel als uit milieuhygiënisch oogpunt een aantrekkelijke techniek is.
Echter, omdat in Nederland nog weinig (praktijk)ervaring met dit systeem was opgedaan, is op een aantal lokaties onderzoek gestart en/of geïntensiveerd.

In deze notitie zijn de resultaten weergegeven van een studie waarin de gegevens van de verschillende lokaties achtereenvolgens zijn verzameld, verwerkt en geanalyseerd. De analyse heeft geresulteerd in (voorlopige) dimensioneringsgrondslagen en suggesties voor voortgezet onderzoek.

In hoofdstuk 2 is het systeem van biologische fosforverwijdering kort beschreven.
In hoofdstuk 3 zijn de uitgangspunten en de werkwijze aangegeven voor de gegevensanalyse.
In hoofdstuk 4 is op basis van drogestof- en fosforbalansen een totale fosforflux gedefinieerd. Deze fosforflux is in hoofdstuk 5 via een wiskundig model benaderd. De constante parameters in dit model zijn vervolgens op basis van de proefresultaten geschat met behulp van niet-lineaire regressie-analyse (hoofdstuk 6).
In hoofdstuk 7 zijn de resultaten van de regressie-analyse geëvalueerd en zijn voorlopige dimensioneringsgrondslagen aangegeven.
Hoofdstuk 8 tenslotte bevat de conclusies en de aanbevelingen voor voortgezet onderzoek.

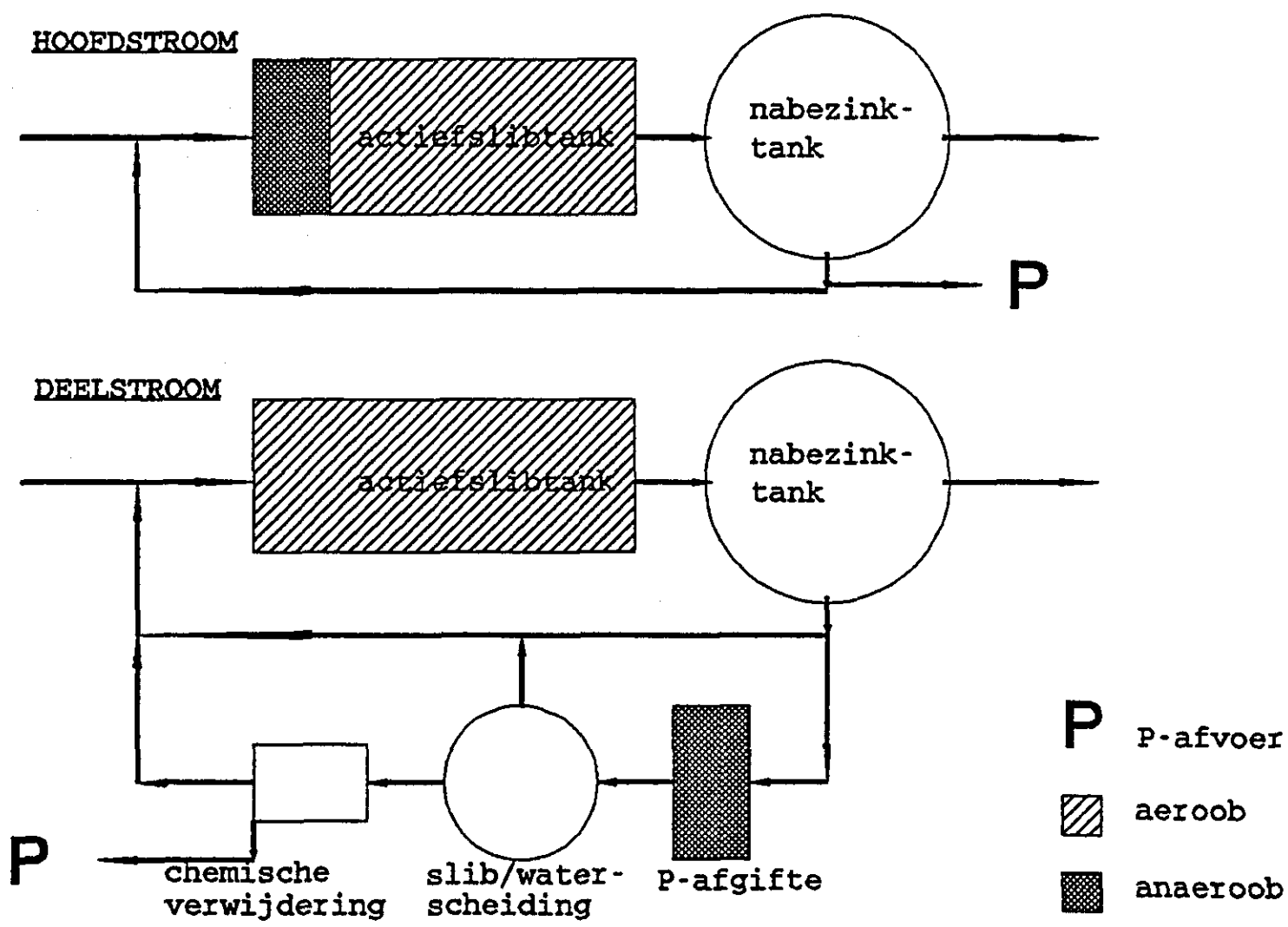
3 BIOLOGISCHE FOSFORVERWIJDERING

Bij biologische fosforverwijdering wordt het slib geconditioneerd door toepassing van anaërobe zones. Deze conditionering heeft tot doel organismen te ontwikkelen die in staat zijn gedurende aërobe condities fosfor te accumuleren en deze gedurende (strikt) anaërobe condities als energiebron te benutten.
In de anaërobe zone wordt fosfor vrijgemaakt en in de aërobe zone wordt een overmaat fosfor opgenomen ('luxury uptake').

Afhankelijk van de plaats van de anaërobe zone onderscheiden we:

- biologische fosforverwijdering in de hoofdstroom;
- biologische fosforverwijdering in de retourslibstroom;
- of een combinatie van beide.

Figuur 1 geeft deze hoofdtechnieken schematisch weer.



Figuur 1. Schematische weergave van biologische fosforverwijdering in de waterlijn en in de sliblijn

Bij biologische fosforverwijdering in de hoofdstroom wordt de extra fosforvracht afgevoerd met het surplusslib.
Omdat het actiefslib slechts een beperkte opnamecapaciteit heeft, kan met de hoofdstroommethode niet vergaand worden gedefosfateerd. Het fosforgehalte in het effluent kan 2 tot 4 mg P/l bedragen[1].

---

[1] De hier aangegeven effluentgehaltes zijn indicatief en gebaseerd op gegevens van praktijkinstallaties. Voor de afzonderlijke rwzi's zijn grote verschillen mogelijk. Er zijn aanwijzingen dat bij lagere P-gehaltes in het influent ook lagere P-gehaltes in het effluent (< 1 mg/l) bereikt kunnen worden.

Voor verdergaande fosforverwijdering is daarom aanvullend een chemische techniek noodzakelijk. Daarbij kunnen diverse technieken worden toegepast, waaronder simultane precipitatie met behulp van ijzersulfaat.

Bij biologische fosforverwijdering in de retourslibstroom is de anaërobe zone geplaatst in een deelstroom van de retourslibstroom. In deze zone wordt het opgenomen fosfor zo volledig mogelijk uit het slib vrijgemaakt door middel van een acetaatdosering (de zogenaamde P-afgiftetank).
Het slib wordt vervolgens afgescheiden en gerecirculeerd naar de beluchtingsruimte, waar het opnieuw fosfor opneemt.
Het fosforrijke water (na afscheiding van slib) wordt chemisch behandeld door middel van bijvoorbeeld precipitatie met vlokbezinking of magnetische afscheiding of door middel van kristallisatie.

Ten opzichte van biologische fosforverwijdering (met aanvullende precipitatie) in de hoofdstroom heeft het proces in de retourslibstroom de volgende voordelen:

- Fosfor wordt verdergaand verwijderd.

- Het fosforrijke slib is gescheiden van het primaire slib en het surplusslib. Indien kalk wordt toegepast, is hergebruik van fosfor mogelijk.

- Er wordt een relatief kleine geconcentreerde fosforstroom behandeld. Het chemicaliënverbruik is daardoor lager.

- Het drogestofgehalte van de te behandelen stroom is hoger, zodat de procesonderdelen kleiner kunnen worden gedimensioneerd.

- Het proces wordt minder beïnvloed door variaties in het influent en is daardoor stabieler te bedrijven.

4 UITGANGSPUNTEN

4.1 In beschouwing genomen lokaties

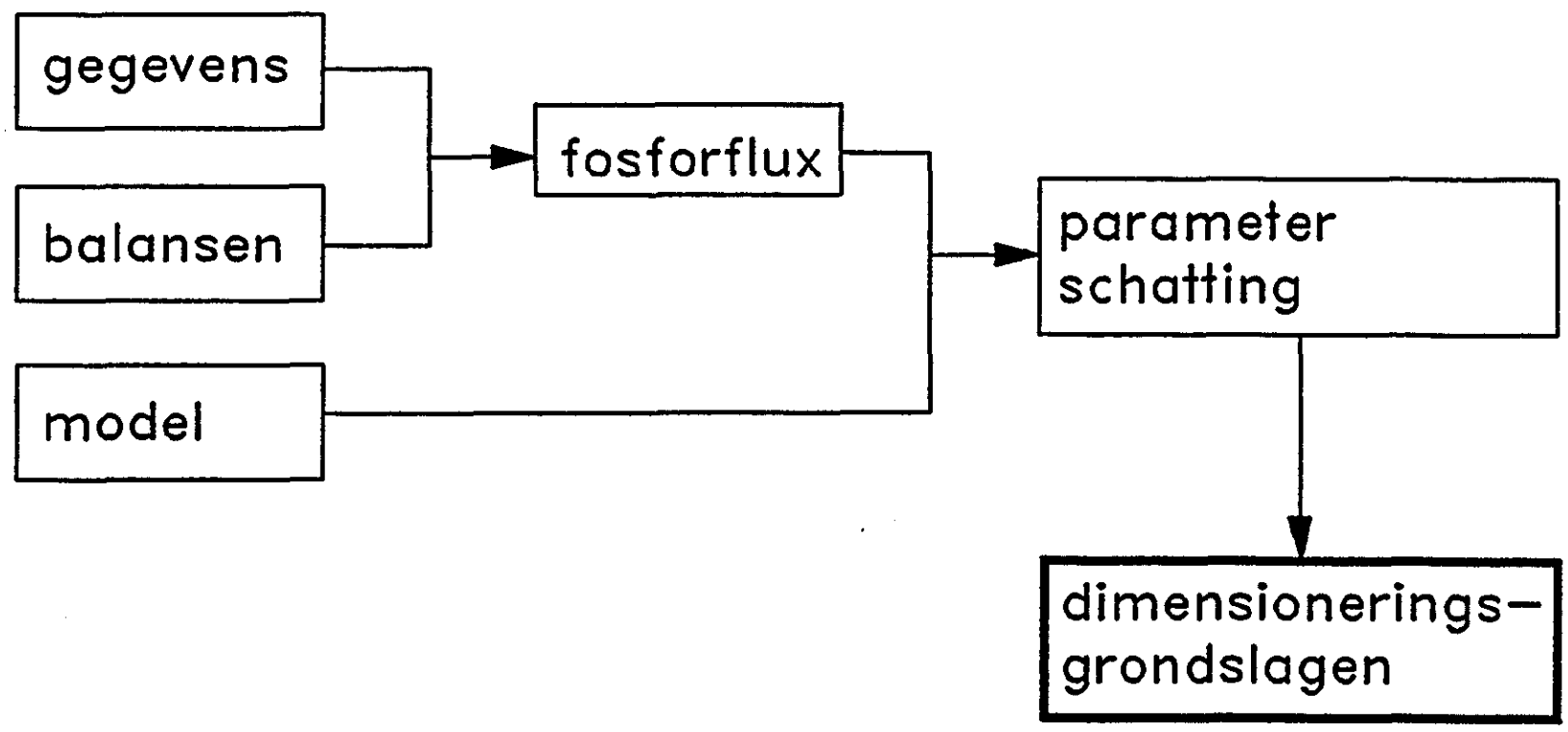
In deze studie zijn die lokaties in beschouwing genomen waarvan op het moment van aanvang voldoende betrouwbare en gedetailleerde gegevens ter beschikking stonden. Tabel 3 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 3. In beschouwing genomen lokaties

instelling	lokatie	code	referentie
Hoogheemraadschap van Rijnland	Leiden-Noord	HHR	5
Landbouwuniversiteit Wageningen	Bennekom	LUW	3
Provincie Utrecht	Veenendaal	PU	4
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden	Bergambacht	ZHEW	7
Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland	Nieuwgraaf	ZOG	8

4.2 Werkwijze

Om na te gaan welke parameters van invloed zijn op de dimensionering van een biologische fosforverwijderingsinstallatie is het proces benaderd door middel van een wiskundig model.
De werkwijze, die daarbij is gehanteerd, staat schematisch weergegeven in figuur 2.



Figuur 2. Gevolgde werkwijze

Op basis van drogestof- en fosforbalansen is een fosforflux gedefinieerd. Deze representeert de opname c.q. afgifte van fosfor in respectievelijk de aëratietank en de P-afgiftetank.
Bij het opstellen van het model is ervan uitgegaan dat de grootte van deze fosforflux direct samenhangt met de verschillende procescondities, zoals verblijftijd en acetaatdosering.

De constante parameters in het model zijn vervolgens geschat met behulp van niet-lineaire regressie-analyse van de onderzoeksresultaten. Op basis daarvan is de invloed van de diverse procesomstandigheden op het opname/afgifte-proces bepaald en zijn voorlopige dimensioneringsgrondslagen afgeleid.

4.3 Overige uitgangspunten

Bij alle experimenten zijn één of meer fasen onderscheiden. In deze notitie is uitgegaan van de gemiddelde waarden in deze fasen, zodat eventuele afwijkingen worden uitgevlakt.

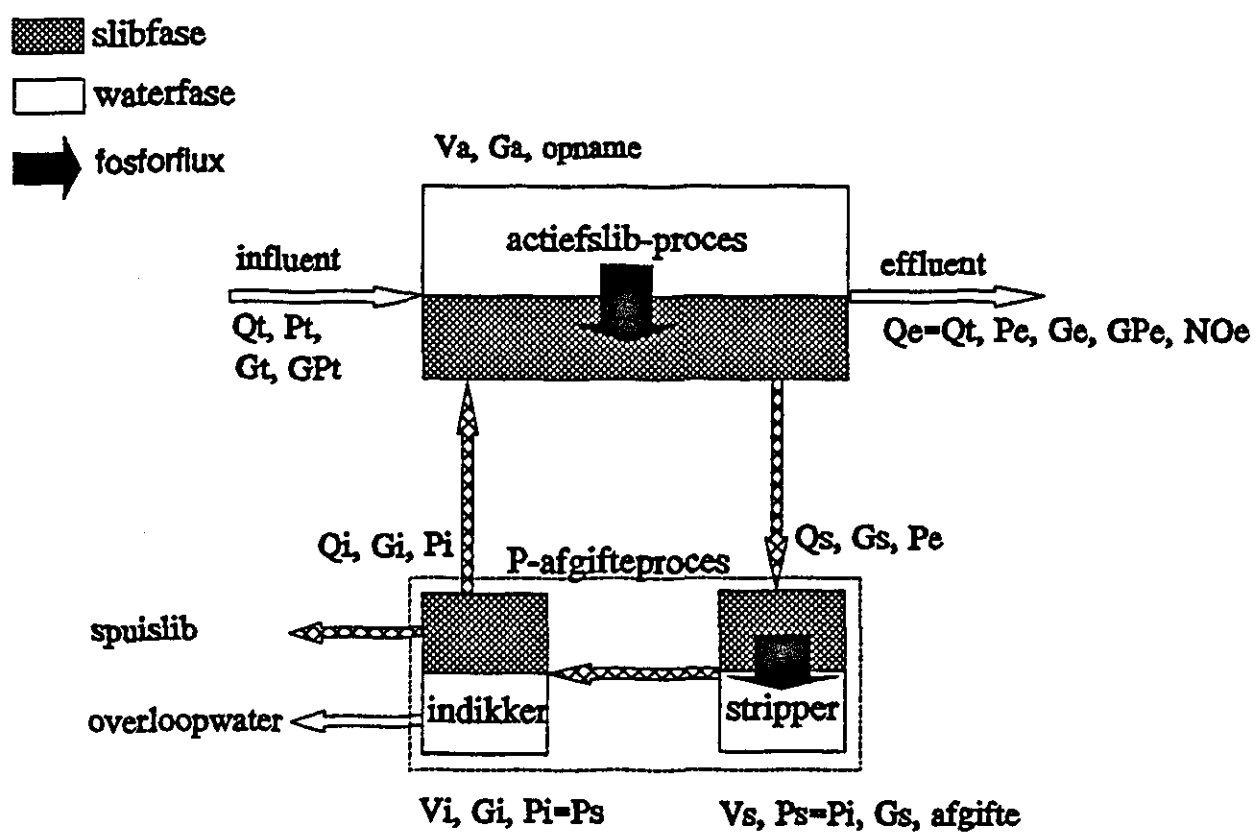
De slibgehalten in de retourslibstroom en de ingediktslibstroom zijn berekend. Daarbij is uitgegaan van de slibbalans over respectievelijk de nabezinktank en de indikker.

5 DROGESTOF- EN FOSFORBALANS

5.1 Algemeen

Voor het opstellen van de drogestof- en fosforbalans is onderscheid gemaakt tussen het actief-slibproces (inclusief nabezinktank en retoursslibstroom) en het P-afgifteproces (P-afgiftetank en indikker).

De onderstaande figuur geeft het gehanteerde stroomschema weer:



Figuur 3. Schematische weergave ten behoeve van de balansen

In dit schema is:

G	drogestofgehalte	[kg DS/m^3]
GP	fosforgehalte in slibfase	[g P/kg DS]
NO_e	nitraatgehalte	[g NO_3-N/m^3]
P	fosforgehalte in de waterfase	[g P/m^3]
Q	debiet	[m^3/d]
V	volume	[m^3]
a	actiefslibproces	
e	effluent vanaf het actief-slibproces	
i	indikker	
s	P-afgiftetank	
t	toevoerstroom naar het actief-slibproces	

Er wordt opgemerkt dat bij het opstellen van de balansen is uitgegaan van de evenwichtssituatie. Indien de duur per experiment (bij gelijke procescondities) onvoldoende lang is geweest, zal dit leiden tot afwijkende resultaten.

Voor de gehanteerde variabelen wordt verwezen naar de legenda bij figuur 3. Verder betekent:

produktie	:	produktie van actiefslib [kg DS/d];
surplus	:	afvoer van surplusslib;
$opname_T$	:	opname van fosfor in het actief-slibproces inclusief de inbouw van fosfor in celmateriaal;
$opname_L$	:	opname van fosfor in het actief-slibproces exclusief de inbouw van fosfor in celmateriaal;
$afgifte_T$	:	afgifte van fosfor in het P-afgifteproces inclusief de afvoer van fosfor met het surplusslib;
$afgifte_L$	:	afgifte van fosfor in het P-afgifteproces exclusief de afvoer van fosfor met het surplusslib;

5.2 Biologisch slib

actiefslibproces

De verandering van het slibgehalte in de beluchtingsruimte (G_a) bedraagt:

$$\frac{V_a dG_a}{dt} = (Q_t*G_t) + (Q_i*G_i) - (Q_e*G_e) - (Q_s*G_s) + produktie \qquad [kg/d] \quad (1)$$

Ervan uitgaande dat het aandeel van biologisch slib in het influent en in het effluent nihil is, kan voor de evenwichtssituatie de volgende vergelijking worden afgeleid:

$$Q_i*G_i = Q_s*G_s - produktie \qquad (2)$$

P-afgifteproces

De verandering van het slibgehalte in de P-afgiftetank (G_s) bedraagt:

$$\frac{V_s dG_s}{dt} = (Q_s*G_s) - (Q_i*G_i) - surplus \qquad [kg/d] \quad (3)$$

Voor de evenwichtssituatie kan de volgende vergelijking worden afgeleid:

$$Q_i*G_i = Q_s*G_s - surplus \qquad (4)$$

5.3 Fosfor in de waterfase

actiefslibproces

De verandering van het fosforgehalte in de waterfase in de beluchtingsruimte (P_a) bedraagt:

$$\frac{V_a\, dP_a}{dt} = (Q_t * P_t) + (Q_i * P_i) - (Q_s * P_e) - (Q_e * P_e) - opname_T \qquad [g/d] \quad (5)$$

Voor de evenwichtssituatie kan de volgende vergelijking worden afgeleid:

$$opname_T = Q_t * (P_t - P_e) + Q_i * P_i - Q_s * P_e \qquad [g/d] \quad (6)$$

P-afgifteproces

De verandering van het fosforgehalte in de waterfase in de P-afgiftetank (P_s) bedraagt:

$$\frac{V_s dP_s}{dt} = (Q_s * P_e) - (Q_s * P_s) + afgifte_L \qquad [g/d] \quad (7)$$

Voor de evenwichtssituatie kan de volgende vergelijking worden afgeleid:

$$afgifte_L = Q_s * (P_s - P_e) \qquad [g/d] \quad (8)$$

5.4 Fosfor in de slibfase

actiefslibproces

De verandering van het fosforgehalte in de slibfase in de beluchtingsruimte (GP_a) bedraagt:

$$\frac{G_a V_a dGP_a}{dt} = (Q_i * GP_i * G_i) - (Q_s * GP_e * G_s) + opname_T \qquad [g/d] \quad (9)$$

Uitgaande van $GP_i=GP_s$ en $Q_i*G_i=Q_s*G_s$-produktie, resulteert dit voor de evenwichtssituatie in de volgende vergelijking:

$$opname_T = Q_s*G_s*(GP_e-GP_s) + produktie*GP_s \qquad (10)$$

Produktie*GP_s stelt de inbouw in biologisch celmateriaal voor.

P-afgifteproces

De verandering van het fosforgehalte in de slibfase in de P-afgiftetank (GP_s) bedraagt:

$$\frac{G_s V_s dGP_s}{dt} = (Q_s*GP_e*G_s) - (Q_i*GP_i*G_i) - afgifte_T - surplus*GP_s \qquad [g/d] \ (11)$$

Uitgaande van $GP_i=GP_s$ en $Q_i*G_i=Q_s*G_s$-produktie, resulteert dit voor de evenwichtssituatie in de volgende vergelijking:

$$afgifte_T = Q_s*G_s*(GP_e-GP_s) - surplus*GP_s \qquad [g/d] \ (12)$$

5.5 Afgeleide balans

De formules 10 en 12 resulteren in de volgende vergelijking:

$$opname_T - produktie*GP_s = afgifte_T - surplus*GP_s \qquad [g/d] \ (13)$$

oftewel:

$$opname_L = afgifte_L \qquad [g/d] \ (14)$$

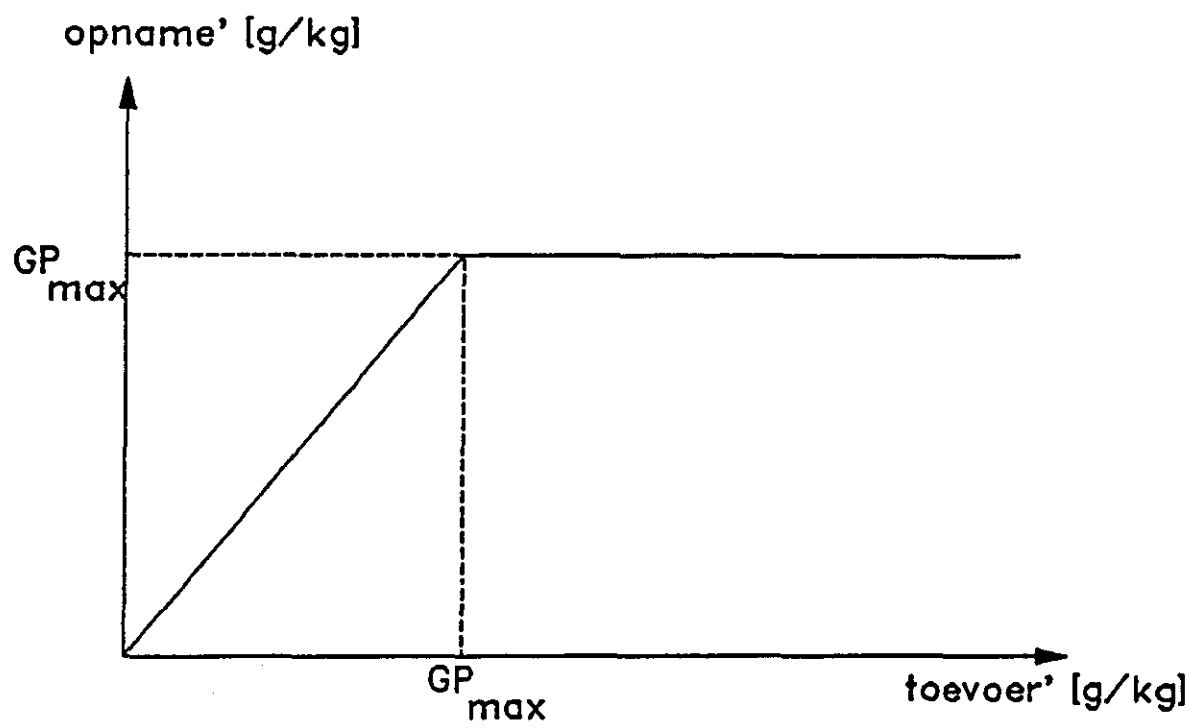
Zoals te verwachten is in de evenwichtssituatie (produktie = surplus) de opname door 'luxury-uptake' gelijk aan de afgifte van fosfor in de P-afgiftetank. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de gevolgde werkwijze correct is.

6 MODELBENADERING

6.1 Algemeen

Bij de opbouw van het model is uitgegaan van het gegegeven dat de opname van fosfor in de beluchtingsruimte nooit meer kan bedragen dan de hoeveelheid fosfor die via het influent en de ingediktslibstroom wordt aangevoerd.
Bij een relatief hoge fosfortoevoer kan de opname in het actiefslibproces worden beperkt door de hoeveelheid slib die naar het P-afgifteproces wordt gevoerd. Indien het slib met fosfor is verzadigd, is de fosforflux maximaal.

In figuur 4 is het bovenstaande schematisch weergegeven.



Figuur 4. Maximale opname cq. afgifte van fosfor (theoretisch) versus de toegevoerde hoeveelheid fosfor gerelateerd aan de slibmassa naar de strippertank

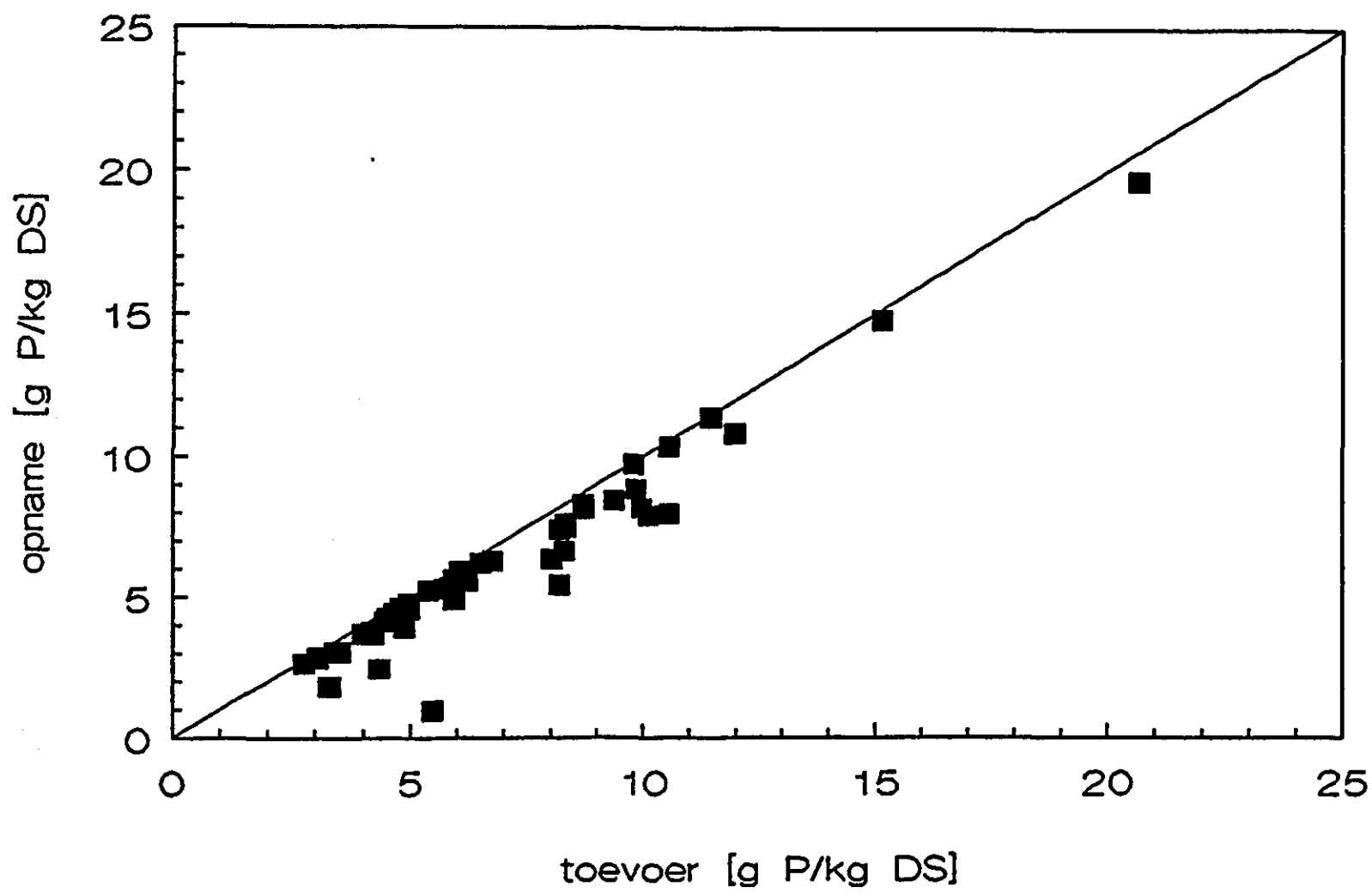
In deze figuur is:

GP	:	het fosforgehalte in het slib [g P/kg DS]
opname'	:	de opname per kg drogestof die naar het P-afgifteproces wordt gevoerd [g P/kg DS]
toevoer'	:	de hoeveelheid fosfor die via het influent en de ingediktslibstroom wordt toegevoerd; eveneens gerelateerd aan de drogestofvracht naar het P-afgifteproces [g P/kg DS]

De lijnen in deze figuur geven de maximaal mogelijke flux aan.
Indien één of meer procescondities beperkend worden, zal de fosforflux lager zijn.

Indien de maximale opnamecapaciteit (GP_{max}) wordt bereikt, zal het concentratiedeficiet beperkend worden. Derhalve zal in de praktijk de maximale flux een curve beschrijven.

In figuur 5 is de gemeten opname uitgezet tegen de gemeten toevoer (inclusief de ingediktslibstroom). Het betreft hier de resultaten van de op de verschillende lokaties uitgevoerde onderzoeken.



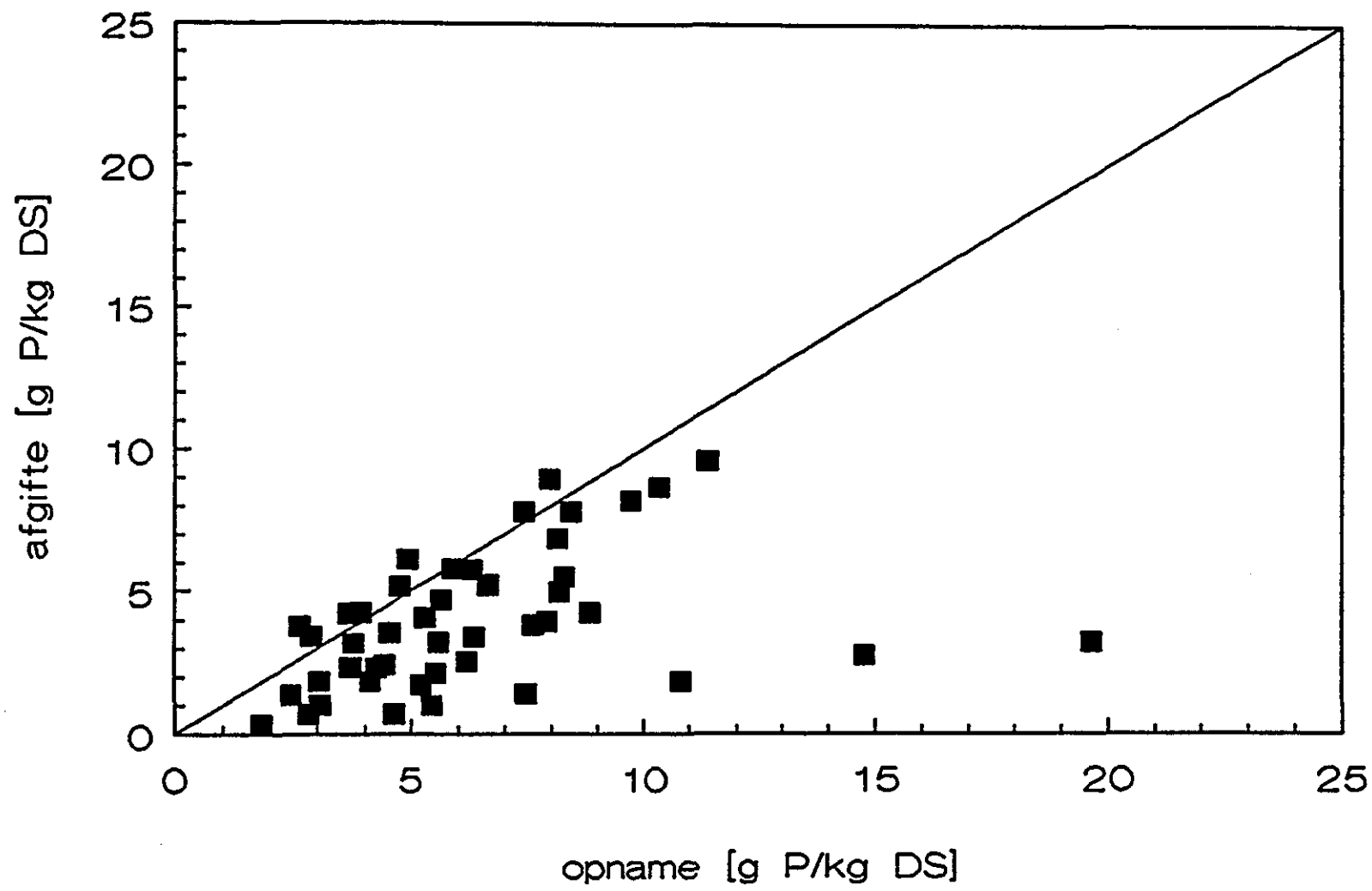
Figuur 5. Gemeten opname vs. de gemeten toevoer van fosfor (gerelateerd aan de slibmassa naar de strippertank)

Uit deze figuur blijkt dat de fosforopname niet beperkt is geweest door de maximale opnamecapaciteit (GP_{max}). Bij het uiterste punt is de opname namelijk gelijk aan de toevoer.
Het is derhalve niet zinvol om voor de opbouw van het model uit te gaan van een curve. Omdat geen gegevens in het door verzadiging gelimiteerde gebied beschikbaar zijn, zou de parameterschatting worden verstoord.
Bij de opbouw van het model is daarom vooralsnog uitgegaan van een rechtlijnig verband.
De maximale opnamecapaciteit kan daardoor echter niet worden geschat. Voor het door verzadiging gelimiteerde gebied kan het model wellicht worden benaderd door middel van een Monod-vergelijking. (Voortgezet)onderzoek onder deze omstandigheden zal dit echter moeten bevestigen.

6.2 Opname versus afgifte

In de hiernavolgende modelbeschrijving (hoofdstuk 7) is steeds onderscheid gemaakt tussen de schatting van de constante parameters op basis van de gemeten fosforopname in het actiefslibproces en die op basis van de gemeten fosforafgifte in het P-afgifteproces.

In figuur 6 is de gemeten fosforopname vergeleken met de gemeten fosforafgifte.



Figuur 6. De gemeten afgifte vs. de gemeten opname; beide in g P/kg DS

In bovenstaande figuur is de gemeten afgifte gemiddeld lager dan de gemeten opname. Dit verschil wordt veroorzaakt door de inbouw van fosfor in celmateriaal. De gemeten fosforafgifte is immers exclusief de afvoer met surplusslib.
In het hierna volgende model is dit aspect verdisconteerd in een factor α.

Naast biologische inbouw spelen mogelijk ook de nauwkeurigheid van de metingen en instabiele bedrijfsvoering een rol. Deze aspecten zijn echter moeilijk te kwantificeren.

7 MODELBESCHRIJVING

7.1 Algemeen

Het model gaat uit van de maximaal mogelijke fosforopname c.q. -afgifte, namelijk de toegevoerde hoeveelheid fosfor via het influent en via de ingediktslibstroom.
Deze waarde wordt gecorrigeerd (factor α) voor de biologische inbouw van fosfor.
Deze maximale gecorrigeerde waarde wordt vermenigvuldigd met een functie 'f'. In deze functie is een aantal procescondities opgenomen, die de grootte van de fosforflux bepalen.
De functie 'f' heeft een waarde van 0 tot 1. Bij de meest gunstige condities nadert deze functie de waarde 1.

In deze notitie zijn vooralsnog de volgende beperkende procescondities onderscheiden:

- acetaatdosering (Ac);
- nitraatgehalte in het effluent (NO_e);
- temperatuur (T);
- verblijftijd in de P-afgiftetank (HRT_s).

Bij een aantal experimenten is sprake geweest van een slibarbeidsfactor (γ). Dit is de frequentie waarmee een slibdeeltje door de P-afgiftetank wordt gevoerd:

$$\gamma = \frac{Q_s * G_s}{V_s * G_s + V_a * G_a} \qquad [d^{-1}] \quad (15)$$

Door in het model de fosforflux te relateren aan de hoeveelheid slib die naar het P-afgifteproces wordt gevoerd (Q_s*G_s), is deze factor reeds verdisconteerd.

Tot slot wordt opgemerkt dat vooralsnog geen rekening is gehouden met factoren die de selectiedruk weergeven. Dit zijn factoren die de groei van P-opnemende microorganismen bepalen.
In deze notitie is ervan uitgegaan dat, indien fosforopname c.q. -afgifte wordt gemeten, de selectiedruk niet limiterend is geweest.

In het model wordt de conversie als volgt weergegeven:

$$\frac{(opname\ of\ afgifte)}{G_s * Q_s} = \frac{(\alpha * influent + indikker)}{G_s * Q_s} * f(Ac, NO_e, T, HRT_s) \qquad [g/kg] \quad (16)$$

In bovenstaande formule staan de fosforvrachten (opname, afgifte, influent en indikker) weergegeven in g P/d.

7.2 Acetaatdosering (Ac)

Op basis van laboratoriumexperimenten [2] is gebleken dat, indien geen acetaat wordt gedoseerd, er wel fosfor wordt opgenomen c.q. afgegeven. Anderzijds bestaat er een optimale acetaatdosering (in g Ac/kg DS) waarboven geen verdere toename plaatsvindt van de fosforflux.
De factor voor de acetaatdosering kan worden weergegeven in een uitgebreide Monod-functie:

$$f'(Ac) = \left(\frac{Ac + a_1}{Ac + a_2}\right) \qquad [-] \quad (17)$$

Indien geen acetaat wordt gedoseerd, bedraagt de waarde van deze factor a_1/a_2. Bij een oneindig hoge acetaatdosering heeft deze factor de waarde 1.

7.3 Nitraatgehalte

Het nitraatgehalte zal boven een bepaalde waarde de fosforflux beperken. Daarbij spelen naar verwachting twee processen een rol:

- bij aanwezigheid van de nitraatzuurstof zijn de procescondities niet volledig anaëroob;
- door denitrificatie wordt een deel van het makkelijk biologisch afbreekbare acetaat verwijderd, dat zodoende niet meer beschikbaar voor de fosforafgifte.

Voor de nitraatfactor is in dit model uitgegaan van een e-macht. Het nitraatgehalte is daarbij gerelateerd aan het drogestofgehalte in de P-afgiftestroom.

$$f'(NO_e) = e^{\left(a_3 * \frac{NO_e}{G_s}\right)} \qquad [-] \quad (18)$$

Indien het model verder wordt uitgewerkt, zal de nitraatlimitering moeten worden betrokken op de acetaatdosering en de verblijftijd in de P-afgiftetank.

7.4 Temperatuur (T)

Binnen bepaalde grenzen mag worden verwacht dat een toename van de temperatuur leidt tot een verhoogde biologische activiteit en daarmee een verhoogde opname/afgifte van fosfor.
De temperatuurfactor is als volgt in de functie verwerkt:

$$f'(T) = a_4^{(T-20)} \qquad [-] \quad (19)$$

Er is gekozen voor een temperatuurverschil ten opzichte van 20 °C, omdat de meeste metingen bij circa 20 °C hebben plaatsgevonden.

7.5 Verblijftijd in de P-afgiftetank (HRT_s)

De afgifte van fosfor in de P-afgiftetank verloopt volgens een bepaalde biologische reactie. Indien de verblijftijd in de P-afgiftetank onvoldoende is, kan deze reactie niet volledig plaatsvinden.

De verblijftijd is vooralsnog in de functie verwerkt als een Monod-vergelijking. Deze factor is 0 bij HRT_s=0 en nadert 1 bij grote verblijftijden.

$$f'(HRT_s) = \left(\frac{HRT_s}{HRT_s + a_5}\right) \qquad [-] \quad (20)$$

Indien bij vervolgproeven wordt geëxperimenteerd met een beperkende verblijftijd, kan wellicht een uitspraak worden gedaan over de reactiekinetiek.

7.6 Samenvattend

Op basis van bovenstaande is de volgende vergelijking afgeleid:

$$\frac{(opname\ of\ afgifte)}{(Q_s * G_s)} = \frac{(\alpha * influent + indikker)}{(Q_s * G_s)} *$$

$$\frac{(Ac+a_1)}{(Ac+a_2)} * e^{(a_3 * \frac{NO_e}{G_s})} * a_4^{\Delta T_{20}} * \frac{HRT}{(a_5+HRT)} \qquad [g/kg] \quad (22)$$

In totaal moeten dus zes parameters worden geschat: α, $a_1..a_5$.

8 SCHATTING VAN DE MODELPARAMETERS

De constante parameters (α, $a_1..a_5$) zijn geschat op basis van de behaalde proefresultaten. Daarbij werd het programma STATGRAF gebruikt voor het uitvoeren van de kleinste-kwadratenmethode.

In tabel 4 staat het resultaat van de schatting weergegeven.
In tabel 5 zijn de bereiken weergegeven waarbinnen de proefresultaten zich bevinden. Dit zijn tevens de bereiken waarbinnen het uiteindelijke model kan worden toegepast.

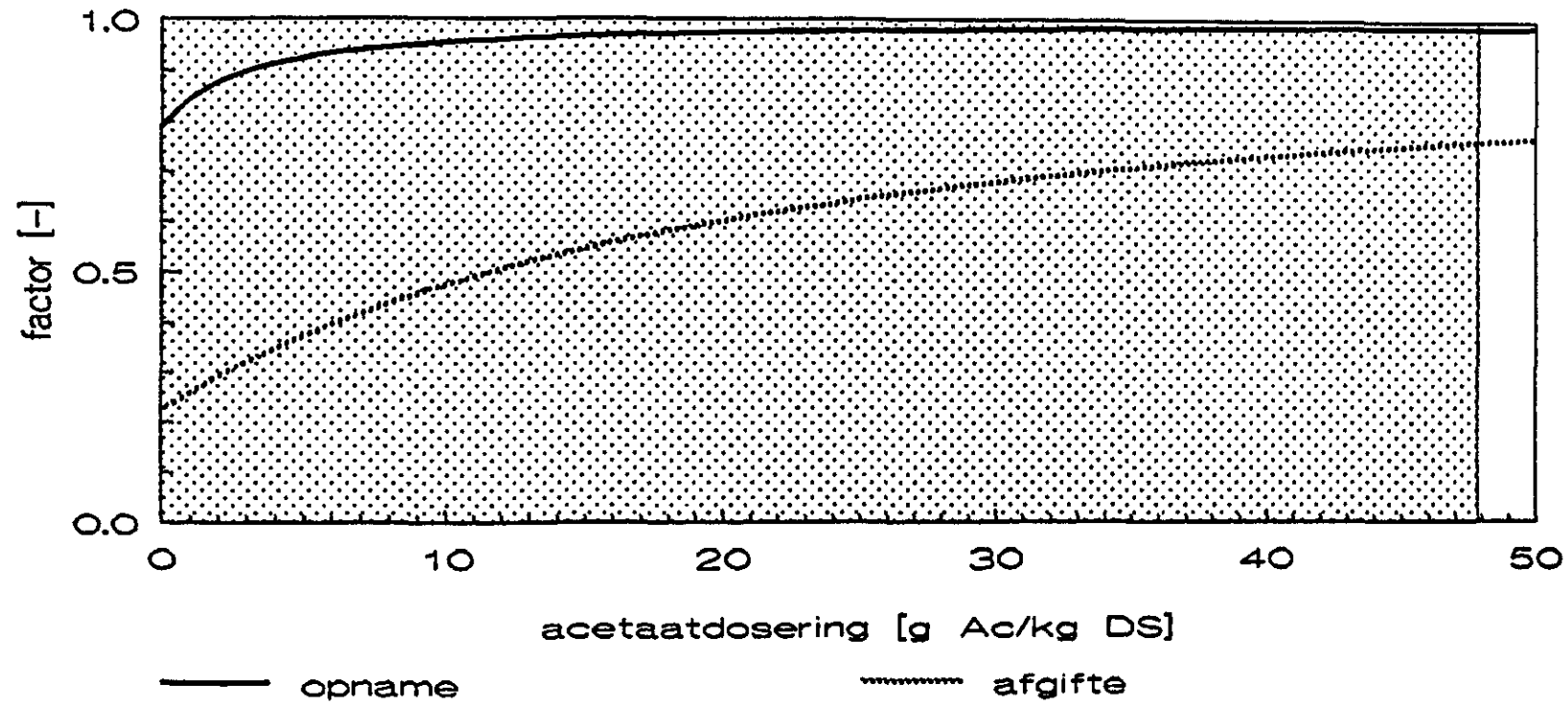
In de figuren 7 A t/m D zijn de resultaten van de schatting weergegeven. De schatting op basis van de 'opname' is weergegeven met een doorgetrokken lijn. De schatting op basis van de 'afgifte' is weergegeven met een gestippelde lijn.
De meetbereiken zijn aangegeven door middel van een gestippeld vlak.

Tabel 4. Resultaat van de parameterschatting

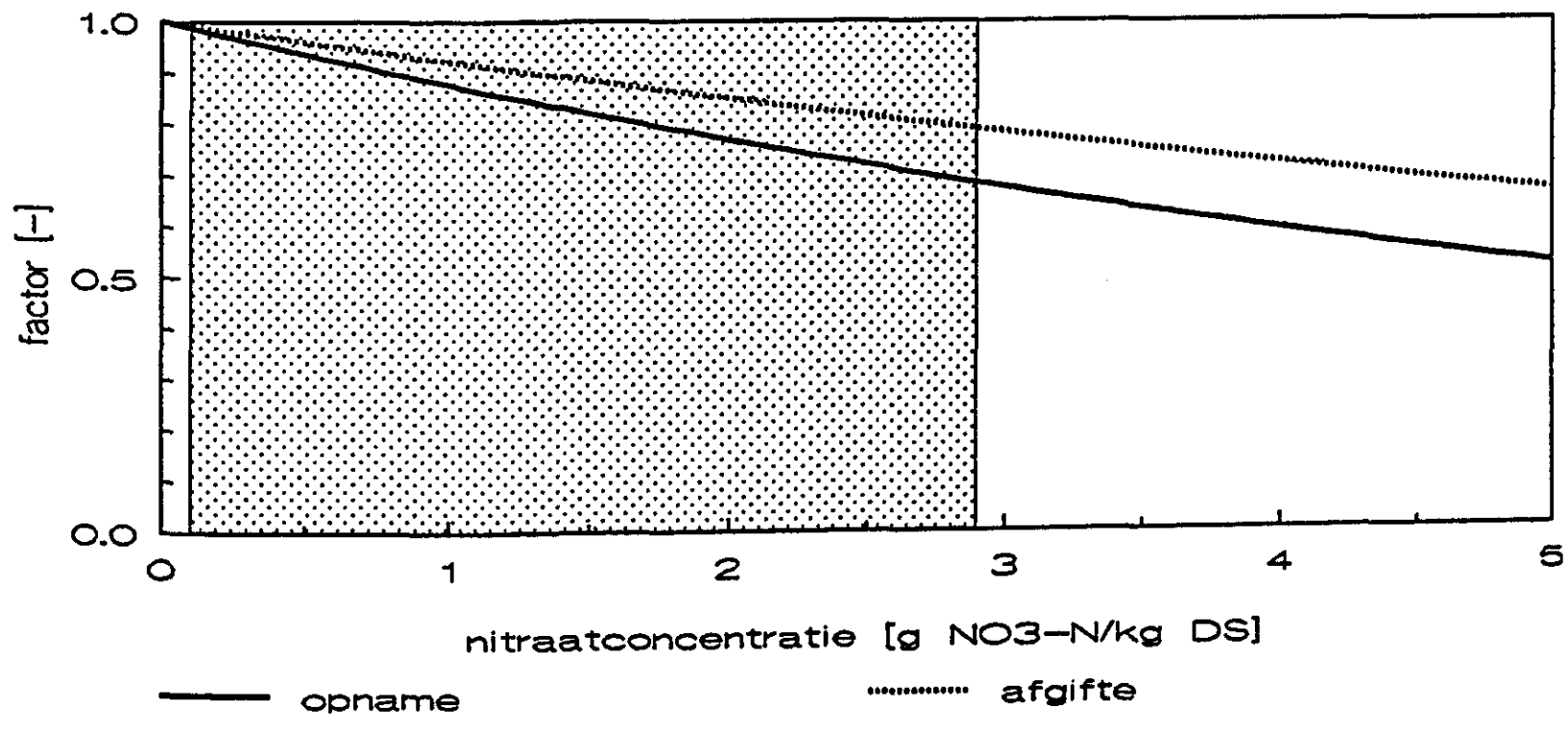
parameters	eenheid	op basis van opname	op basis van afgifte
α	-	1,09	1,20
a_1 (Ac)	g Ac/kg DS	2,20	4,75
a_2 (Ac)	g Ac/kg DS	2,79	21,14
a_3 (NO_e)	kg DS/mg NO_3-N	-0,13	-0,08
a_4 (T)	-	1,00	1,11
a_5 (HRT)	d	-0,004	-0,021

Tabel 5. Meetbereiken waarbinnen de beschouwde experimenten zijn uitgevoerd

variabele	eenheid	gemiddeld	minimum	maximum
opname	g/kg	6,3	1,0	19,7
afgifte	g/kg	3,9	0,0	9,6
toevoer	g/kg	7,1	2,8	20,7
HRT	d	0,23	0,05	0,60
T	°C	18	9	22
Ac	g/kg	14,9	0	47,8
G_i	kg/m^3	22,9	11,3	32,9
NO_3-N	g/kg	1,0	0,1	2,9
G_s	kg/m^3	8,4	4,25	13,4
V_s	m^3	12,5	0,010	219

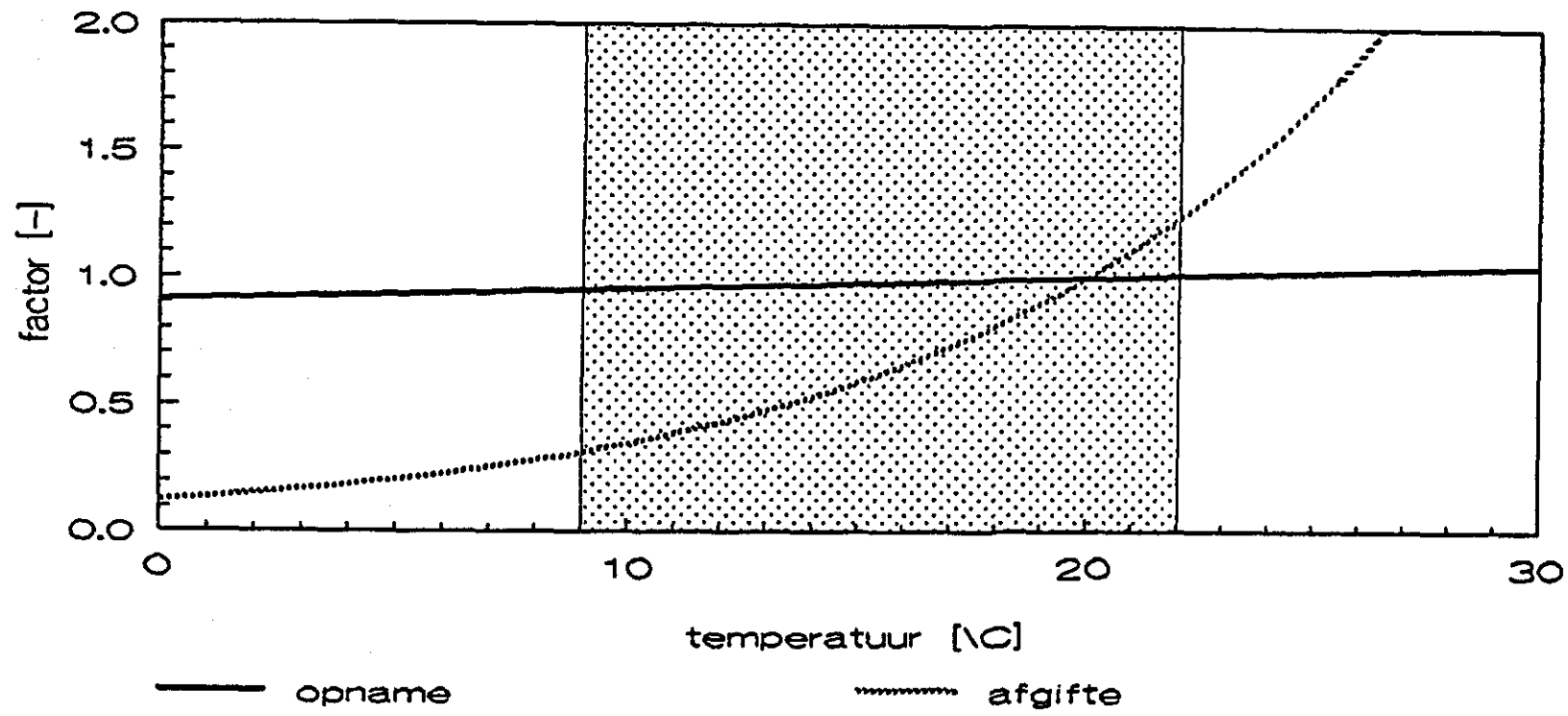


A

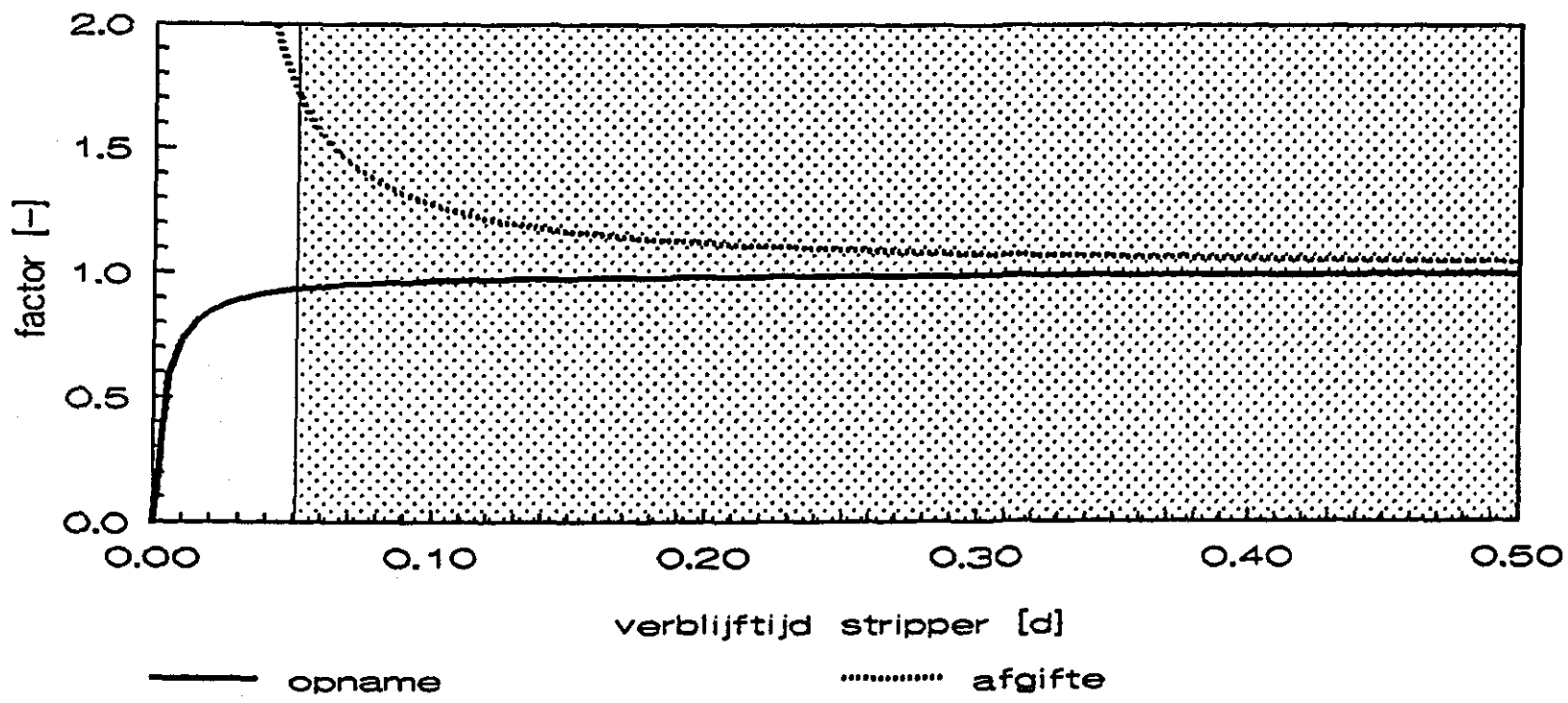


B

Figuur 7 (A-B). Deelfuncties voor de acetaatdosering (Ac) en nitraatgehalte (NO_3^-)



C



D

Figuur 7 (C-D). Deelfuncties voor de temperatuur (T) en de verblijftijd in de P-afgiftetank (HRT_s)

9 EVALUATIE

9.1 Parameterschatting

algemeen

Over het algemeen kan worden gesteld dat de fosforopname c.q. -afgifte bij het merendeel van de experimenten wordt bepaald door de toegevoerde hoeveelheid fosfor.
De mate van opname in het slib is afhankelijk van de hoeveelheid slib dat naar de P-afgiftetank is gevoerd. Een kleine slibstroom leidt tot hoge fosforconcentraties in het slib en daardoor ook tot een hoge fosforconcentratie in het overloopwater van de indikker.

Voorts blijkt dat de berekeningswijze - op basis van opname of afgifte - het resultaat beïnvloedt. Dit geldt met name bij de schatting van de factor α en de temperatuurfactor. Deze verschillen worden groter naarmate meer gegevens worden verwerkt.
De berekening op basis van afgifte gaat uit van analyses en metingen in de slibstroom. Afhankelijk van de bedrijfsvoering zal het drogestofgehalte (en daarmee het fosforgehalte) in de slibstroom variëren.
De berekening op basis van de fosforopname zal daarentegen minder aan variaties onderhevig zijn. Het is derhalve aannemelijk dat deze berekeningen nauwkeuriger zijn.

acetaatdosering (Ac)

Zie figuur 7.A.

Indien geen acetaat wordt gedoseerd, is de opname van fosfor duidelijk geremd. Afhankelijk van de gekozen referentiewaarde (opname of afgifte) bedraagt deze afname 25 - 80% van de maximaal mogelijke opname/afgifte. Vanaf een dosering van 30 à 40 g/kg wordt geen duidelijke verbetering meer geconstateerd.

NO_3-correctie

Zie figuur 7.B.

Bij deze figuur dient te worden opgemerkt dat slechts één hoge meetwaarde (3 g NO_3-N/kg DS) de vorm van de grafiek bepaalt.
Indien het hier geen meetfout betreft, kan uit figuur 7.B worden afgeleid dat bij een nitraatgehalte hoger dan 2 à 3 g NO_3-N/kg DS de opname c.q. afgifte van fosfor wordt geremd.

temperatuur (T)

Zie figuur 7.C.

Binnen de parameterinstellingen waarin de experimenten zijn uitgevoerd (14 - 22 °C) blijkt de invloed van de temperatuur op de opname van fosfor gering te zijn.
In de praktijk echter zullen gedurende de winterperiode temperaturen van 6 - 8 °C kunnen voorkomen. Over het effect van deze lage temperaturen kan vooralsnog geen uitspraak worden gedaan.

verblijftijd in de P-afgiftetank (HRT_s)

Zie figuur 7.D.

Bij deze figuur dient te worden opgemerkt dat vrijwel alle waarden van de deelfunctie nagenoeg 1 zijn. Doordat de waarde bij de laagst gemeten verblijftijd relatief hoog is, neemt de functie (gebaseerd op de afgifte) bij een kleine verblijftijd toe.
Er kan vooralsnog worden geconcludeerd dat binnen de tijden waarbij de experimenten zijn uitgevoerd (1,5 - 14 uur), de verblijftijd vrijwel geen invloed heeft op de fosforopname c.q. -afgifte.

9.2 Dimensioneringsgrondslagen

Bij de dimensionering van biologische fosforverwijdering in de deelstroom wordt in de eerste plaats uitgegaan van het rendement van de chemische fosforverwijdering in de overloopstroom en de totaal te verwijderen fosforvracht (dit is de influentvracht inclusief de fosforvracht vanaf de slibverwerking minus de gewenste effluentvracht en minus de afvoer via het surplusslib). Dit bepaalt de fosforvracht die minimaal naar de chemische verwijdering moet worden gevoerd.

Op basis van het rendement van de slibindikker en de fosforopnamecapaciteit van het slib wordt de DS-vracht naar de P-afgiftetank vastgesteld. Daarmee is tevens de grootte van de P-afgiftetank (op basis van verblijftijd, veelal 5 - 10 uur) en de grootte van de indikker (op basis van maximale DS-belasting, veelal 75-100 kg DS/(m^2.d)) bepaald.

Voor de fosforafgiftecapaciteit van het slib is tot nu toe uitgegaan van een daggemiddelde waarde van 5 à 15 g P/kg DS.
Bij de in beschouwing genomen experimenten is een opnamecapaciteit van bijna 20 g P/kg DS bereikt.
Op basis van figuur 6 blijkt dat met deze waarde nog niet de maximale opnamecapaciteit (GP_{max}) is bereikt. Deze moet nog proefondervindelijk worden vastgesteld door bijvoorbeeld de slibstroom naar het P-afgifteproces te verlagen en/of de fosforconcentratie in het influent te verhogen.

Uit de resultaten blijkt dat de hoogte van het fosforgehalte in het slib direct samenhangt met de hoeveelheid slib die naar de P-afgiftetank wordt gevoerd.
Verlagen van de deelstroom - dus een hoog fosforgehalte in het slib - heeft als voordeel dat de verblijftijd in de P-afgiftetank toeneemt, de indikker minder wordt belast en de concentratie in de toevoer naar de chemische verwijdering toeneemt.
Een nadeel is echter dat bij een niet optimaal werkende nabezinktank het fosforgehalte in het effluent door slibuitspoeling kan toenemen. Bij een zwevendstofgehalte in het effluent van 20 mg/l en een fosforgehalte van 30 g P/kg DS (dit is inclusief inbouw in celmateriaal), bedraagt het fosforgehalte in het effluent minimaal 0,6 mg/l.
Bovendien kan een hoog fosforgehalte in de waterfase (na de P-afgiftetank) enerzijds leiden tot een concentratiegradiënt in de indikker (resultaten LUW) en anderzijds de fosforafgifte in de P-afgiftetank remmen.
Het is daarom raadzaam ervoor te zorgen dat de stroom naar het P-afgifteproces kan worden gevarieerd, zodat de optimale procescondities kunnen worden ingesteld.

De verblijftijd in de P-afgiftetank kan op basis van de in beschouwing genomen resultaten, korter zijn dan algemeen is aangenomen (minder dan 5 uur). De P-afgiftetank kan daardoor kleiner worden gedimensioneerd.

Indien de slibstroom naar de P-afgiftetank wordt verlaagd (ten behoeve van een hoger fosforgehalte), zal de verblijftijd toenemen.
Er wordt verwacht dat zeer lange verblijftijden (onder anaërobe condities) kunnen leiden tot slibafbraak en daardoor een verlaging van de biologische activiteit. Met dit aspect dient bij de dimensionering van de defosfateringsinstallatie rekening te worden gehouden. Dat wil zeggen: overdimensionering van de P-afgiftetank dient te worden voorkomen.

Voor de acetaatdosering kan op basis van de beschikbare resultaten geen eenduidige waarde worden aangegeven. Er wordt aanbevolen veiligheidshalve uit te gaan van een doseercapaciteit tot circa 40 g Ac/kg DS (variabele pompen). In de praktijk kan wellicht met een lagere dosering worden volstaan.

10 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

10.1 Conclusies

Op basis van de parameterschatting kan worden geconcludeerd dat bij de in beschouwing genomen experimenten de opname c.q. de afgifte van fosfor met name is bepaald door de hoeveelheid fosfor in de toevoer van de beluchtingsruimte (influent + ingediktslibstroom).

Het fosforgehalte in het slib hangt direct samen met de hoeveelheid slib die naar de P-afgiftetank wordt gevoerd. Het blijkt dat de maximale opnamecapaciteit nog niet is bereikt.

Op basis van het model kunnen voorlopig de volgende dimensioneringsgrondslagen worden afgeleid:

Tabel 6. Voorlopige dimensioneringsgrondslagen van de P-afgiftetank

parameter	eenheid	waarde
P-afgifte	g P/kg DS	≥ 20
verblijftijd	h	≤ 5
acetaatdosering	g Ac/kg DS	≤ 40

Eenduidige (optimale) dimensioneringsgrondslagen moeten echter nog proefondervindelijk worden vastgesteld door de proefinstallaties te bedrijven bij beperkende condities.

10.2 Aanbevelingen

Voortgezet onderzoek dient te zijn gericht op het verkrijgen van beter onderbouwde ontwerpgrondslagen.
Dit betekent dat een eventuele proefinstallatie zou moeten worden bedreven bij beperkende procescondities. Daarbij kan worden gedacht aan:

1. debiet deelstroom : de hoogte van de maximale opnamecapaciteit GP_{max};

2. verblijftijd : de reactiekinetiek bij de afgifte van fosfor in de P-afgiftetank:

   - moet bij een hogere fosforafgifte een grotere verblijftijd worden gekozen;
   - moet de P-afgiftetank worden uitgevoerd als een 'complete-mixed' tank of als een propstroomreactor.

3. temperatuur : het effect van een temperatuurverlaging in de winterperiode tot bijvoorbeeld 6 °C;

4. acetaatbron : het effect van azijnzuurdosering in plaats van de dosering van bijvoorbeeld natriumacetaat (aspecten zoals pH en buffercapaciteit

spelen hierbij vermoedelijk een belangrijke rol);

Met name de eerste twee aspecten kunnen een vergaande procesoptimalisatie tot gevolg hebben.
De reactiekinetiek wordt bij voorkeur onderzocht op laboratoriumschaal, omdat de verschillende procesomstandigheden eenvoudiger kunnen worden ingesteld. Naast de verblijftijd dienen daarbij het nitraatgehalte, de acetaatdosering en het fosforgehalte in de waterfase te worden betrokken.

Indien meer resultaten voorhanden zijn, kan het model wellicht meer realistisch worden opgebouwd. Dit betekent dat:

- de nitraat-factor wordt geïmplementeerd in de acetaatfactor. Door denitrificatie wordt een deel van het makkelijk afbreekbare acetaat opgenomen en is daardoor niet meer beschikbaar voor fosforafgifte.

- de nitraatfactor wordt geïmplementeerd in de factor voor de verblijftijd in de P-afgiftetank. Door denitrificatie is effectieve ruimte voor P-afgifte kleiner.

- de factoren voor de acetaatdosering en de verblijftijd aan elkaar worden gekoppeld door middel van de reactiekinetiek (zie punt 4).

11 REFERENTIES

1. Dienst Binnenwateren RIZA, "effect van de vervanging van wasmiddelen-P op de kosten van fosfaatverwijdering", maart 1990, 16 p.

2. Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater, Programma PN-1992, "Stikstof- en fosfaatverwijdering pilotplantonderzoek R.W.Z.I. Ede", 33 p.

3. Landbouwuniversiteit Wageningen, "Biologische defosfatering in combinatie met een korrelreactor", concept-eindrapportage LUW/DHV Water BV, december 1991.

4. Provincie Utrecht, "Onderzoek naar biologische stikstof- en fosfaatverwijdering met het afvalwater van de rzi Veenendaal", concept-rapportage, oktober 1991.

5. Hoogheemraadschap van Rijnland, "Onderzoek naar biologische defosfatering, lokatie Leiden-Noord", 19 maart 1992.

6. Kruit J. et al., "Pilot-plantervaringen met vergaande biologische P- en N-verwijdering op de rwzi Eindhoven", H_2O (24) 1991, nr.8, p 198-202.

7. Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, "Vergaande stikstof- en fosfaatverwijdering op de awzi Bergambacht; voortgangsrapportage fase 3", december 1991.

8. Zuiveringsschap Oostelijk Gelderland, "Pilot onderzoek biologische defosfatering en stikstofverwijdering rzi Nieuwgraaf", december 1991.

B I J L A G E

Parametertabel

CODE	P-stromen					verblijf-tijd	temp	acetaat	NO3-N	DS-gehalte			volumina		debieten		arbeids-factor
	opname	afgifte	influent	indik	toevoer					indikker	stripper	AT	AT	stripper	toevoer	stripper	
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	d	°C	g/kg	g/kg	kg/m3	kg/m3	kg/m3	m3	m3	m3/d	m3/d	g/(kg.d)
HR-A	8,13	6,85	5,07	3,65	8,71	0,181	18,000	24,491	0,526	13,428	7,0	3,7	2,500	NA	2,160	0,552	0,39
HR1	2,87	3,42	2,43	0,63	3,06	0,099	20,000	11,485	0,853	31,970	5,7	3,7	2,500	0,185	4,210	2,136	1,17
HR2	5,30	4,09	4,24	1,48	5,72	0,087	21,000	12,380	1,292	15,565	5,5	3,4	2,500	0,083	4,130	1,222	0,74
HR3	7,91	3,94	8,41	1,71	10,12	0,099	18,000	19,496	1,261	15,181	6,3	3,5	2,500	0,040	4,740	0,504	0,35
HR4	6,35	3,41	6,47	1,55	8,02	0,167	12,700	17,346	1,153	13,514	5,8	3,4	2,500	0,086	4,255	0,6	0,38
HR5	8,17	4,95	7,66	2,32	9,98	0,167	18,100	36,203	1,484	12,924	5,8	3,4	2,500	0,084	4,225	0,6	0,38
PU2	1,81	0,34	3,07	0,23	3,30	0,250	20,000	0,000	1,208	22,153	8,9	3,19	0,970	0,070	1,600	0,3	0,71
PU3	2,45	1,36	3,67	0,66	4,33	0,250	20,000	25,000	1,098	17,083	6,8	2,46	0,970	0,070	1,600	0,3	0,71
PU4	3,06	1,01	3,00	0,43	3,43	0,250	20,000	0,000	0,381	27,569	11,0	3,97	0,970	0,073	1,600	0,3	0,71
PU5	4,26	2,32	3,56	0,94	4,51	0,250	20,000	10,000	0,844	21,319	8,5	3,07	0,970	0,071	1,600	0,3	0,71
PU6	4,13	1,83	3,71	0,75	4,46	0,250	20,000	10,000	0,733	19,792	7,9	2,85	0,970	0,072	1,600	0,3	0,71
PU7	2,82	0,69	2,76	0,29	3,05	0,250	20,000	0,000	0,443	26,528	10,6	3,82	0,970	0,073	1,600	0,3	0,71
LU1A	0,97	-0,18	5,24	0,23	5,47	0,208	15,000	0,000	2,917	21,700	7,2	3,1	1,125	0,060	1,500	0,36	0,65
LU1B	5,44	1,00	7,76	0,43	8,19	0,417	16,400	0,000	1,457	24,500	8,2	3,5	1,125	0,071	1,500	0,18	0,32
LU2A	8,28	5,48	6,86	1,84	8,70	0,417	16,400	10,000	1,500	26,600	8,9	3,8	1,125	0,071	1,500	0,18	0,32
LU2B	5,60	3,21	4,83	1,09	5,92	0,208	19,300	10,000	1,273	23,800	7,9	3,4	1,125	0,069	1,500	0,36	0,65
LU2C	2,64	3,77	1,50	1,27	2,77	0,104	19,800	10,000	0,719	21,700	7,2	3,1	1,125	0,068	1,500	0,72	1,29
LU3A	6,19	2,54	5,65	0,87	6,51	0,146	20,400	10,000	1,300	21,700	7,2	3,1	1,125	0,033	1,250	0,257	0,49
LU3B	5,90	5,79	4,11	1,94	6,05	0,146	22,000	20,000	0,539	24,500	8,2	3,5	1,125	0,036	1,250	0,257	0,49
LU3C	4,76	5,18	3,22	1,74	4,95	0,067	16,900	20,000	1,124	25,900	8,6	3,7	1,125	0,014	1,250	0,27	0,54
LU4	8,42	7,78	6,76	2,62	9,38	0,154	14,400	40,000	1,276	29,400	9,8	4,2	1,125	0,016	1,250	0,117	0,23
LU5	3,76	3,18	3,08	1,09	4,17	0,051	16,800	13,000	1,771	26,600	8,9	3,8	1,125	0,009	1,250	0,352	0,70
LU6	4,54	3,56	3,75	1,21	4,96	0,067	16,600	20,000	1,742	32,200	10,7	4,6	1,125	0,011	1,250	0,27	0,54
LU7A	5,65	4,70	4,53	1,59	6,12	0,067	16,400	20,000	1,733	32,200	10,7	4,6	1,125	0,012	1,250	0,27	0,54
LU7B	6,30	5,76	4,81	1,95	6,76	0,067	17,200	20,000	1,067	32,900	11,0	4,7	1,125	0,014	1,250	0,27	0,54
LU7C	7,41	7,79	5,56	2,64	8,20	0,067	18,900	20,000	0,964	28,000	9,3	4	1,125	0,014	1,250	0,27	0,54
LU7D	7,96	8,93	7,43	3,13	10,56	0,067	18,500	20,000	0,978	27,300	9,1	3,9	1,125	0,014	1,250	0,27	0,54
LU8	4,93	6,11	3,84	2,10	5,94	0,067	21,800	20,000	1,576	21,700	7,2	3,1	1,125	0,012	1,250	0,27	0,54
LU9A	3,92	4,25	3,39	1,47	4,86	0,067	21,900	20,000	2,122	28,700	9,6	4,1	1,125	0,010	1,250	0,27	0,54

Parametertabel

CODE	P-stromen					verblijf-tijd	temp	acetaat	NO3-N	DS-gehalte			volumina		debieten		arbeids-factor
	opname	afgifte	influent	indik	toevoer					indikker	stripper	AT	AT	stripper	toevoer	stripper	
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	d	°C	g/kg	g/kg	kg/m3	kg/m3	kg/m3	m3	m3	m3/d	m3/d	g/(kg.d)
LU9B	3,67	4,21	2,78	1,44	4,21	0,067	18,800	20,000	1,457	28,000	9,3	4	1,125	0,013	1,250	0,27	0,54
LU-I	6,64	5,21	6,48	1,82	8,30	0,521	15,500	11,000	0,707	29,700	9,9	3,3	1,125	0,147	1,680	0,288	0,55
LU-II	11,38	9,59	8,25	3,20	11,45	0,521	17,900	38,000	1,010	29,700	9,9	3,3	1,125	0,146	1,680	0,288	0,55
LU-III	10,35	8,66	7,66	2,90	10,56	0,347	18,700	38,000	0,657	29,700	9,9	3,3	1,125	0,097	1,680	0,288	0,61
LU-IV	9,73	8,17	7,07	2,73	9,80	0,347	14,200	25,000	0,556	29,700	9,9	3,3	1,125	0,098	1,680	0,288	0,61
HEW1	4,63	0,70	4,47	0,32	4,79	0,596	17,000	0,000	0,239	22,459	10,0	4,2	1.447	219	2.671	369	0,45
HEW2	4,43	2,43	3,66	1,00	4,66	0,348	20,000	11,000	0,238	15,590	6,3	3,5	1.447	138	1.531	399	0,42
HEW3	5,22	1,73	4,73	0,66	5,38	0,184	19,000	11,000	0,381	19,611	7,3	3,9	1.447	62	1.697	347	0,42
HEW4	14,79	2,75	13,79	1,36	15,15	0,261	13,000	11,000	0,547	14,539	7,1	3,6	1.447	40	1.883	157	0,20
HEW5	19,65	3,22	19,43	1,24	20,67	0,150	9,000	47,800	0,377	11,248	4,2	2,6	1.447	13	1.218	90	0,10
GTD22	3,05	1,84	2,55	0,97	3,52	0,333	20,000	0,000	0,324	15,446	7,7	4	1,700	0,789	8,600	2,400	1,43
GTD31	3,72	2,36	2,80	1,21	4,00	0,271	17,000	7,600	0,121	16,545	8,3	4	1,700	0,646	9,100	2,400	1,63
GTD32	7,61	3,81	6,37	1,95	8,32	0,208	13,000	4,800	0,118	16,955	8,5	4	1,700	0,248	9,000	1,200	1,14
GTD5	8,84	4,26	8,10	1,75	9,85	0,292	18,000	4,200	1,000	20,000	8,0	4	1,700	0,167	4,800	0,600	0,59
GTD	5,54	2,13	5,19	1,04	6,22	0,250	17,000	0,000	1,000	19,286	9,0	4,5	690	85	2.400	360	0,83
ZOG3	7,46	1,40	7,60	0,73	8,33	0,583	11,600	6,100	0,351	26,800	13,4	4	9,200	2	56	4	0,74
ZOG4	10,82	1,84	11,00	0,96	11,97	0,583	16,700	8,500	0,396	19,195	9,6	3,3	9,200	2	46	4	0,68