

NN31085.92-06

o o l w a t e r -
z u i v e r i n g s i n r i c h t i n g e n

rwzi
2000

Rg2-06

VERGAANDE NUTRIËNTENVERWIJDERING OP EEN ZEER LAAGBELASTE AKTIEFSLIBINSTALLATIE



**Zuiveringsschap
Hollandse Eilanden en Waarden**

Postbus 469, 3300 AL Dordrecht



**Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer**

Directoraat-Generaal Milieubeheer
Postbus 450, 2260 MB Leidschendam

Grontmij

Grontmij N.V.

Postbus 203, 3730 AE De Bilt



RIZA

**Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer
en Afvalwaterbehandeling**

Postbus 17, 8200 AA Lelystad

stowa

**Stichting Toegepast Onderzoek
Waterbeheer**

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

itie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

projectleiding en secretariaat: postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200 - 70411



BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

VERGAANDE NUTRIËNTENVERWIJDERING OP EEN ZEER LAAGBELASTE AKTIEFSLIBINSTALLATIE



06 OKT. 1993

auteur(s):

Zuiveringsschap HEW:

ing. A.A.J.C. Schellen

Grontmij N.V.:

ir. H. Draaijer

RWZI 2000 92-06

INHOUDSOPGAVE

	pagina
VOORWOORD -----	3
SAMENVATTING -----	5
1 INLEIDING. -----	9
1.1 Algemeen. -----	9
1.2 Beleid en wettelijk kader. -----	9
1.2.1 Lozingseisen voor fosfor. -----	9
1.2.2 Lozingseisen voor stikstof. -----	10
2 DOELSTELLING. -----	11
2.1 Algemeen. -----	11
2.2 Fase 1. -----	11
2.3 Fase 2. -----	12
2.4 Fase 3. -----	12
3 THEORIE NUTRIENTENVERWIJDERING. -----	13
3.1 Stikstofverwijdering. -----	13
3.2 Biologische defosfatering. -----	14
3.2.1 Algemeen. -----	14
3.2.2 Biologisch defosfateren in een deelstroom. -----	16
3.2.3 Technologische aspcten. -----	17
4 RWZI BERGAMBACHT. -----	19
4.1 Bestaande situatie. -----	19
4.2 Motivering onderzoekslocatie. -----	20
4.3 Ombouw hoofdstroom. -----	21
4.4 Ombouw deelstroom. -----	22
5 UITVOERING. -----	25
5.1 Proefcondities. -----	25
5.1.1 Fase 1. -----	25
5.1.2 Fase 2. -----	25
5.1.3 Fase 3. -----	26
5.1.4 Aanvullend onderzoek. -----	27
5.2 Bemonstering en analyse. -----	27
6 RESULTATEN. -----	29
6.1 Fase 1. -----	29
6.2 Fase 2. -----	31
6.3 Fase 3. -----	31
6.3.1 Fase 3.1. -----	33
6.3.2 Fase 3.2. -----	34
6.3.3 Fase 3.3. -----	35
6.3.4 Fase 3.4. -----	37
6.3.5 Fase 3.5. -----	39
6.3.6 Fase 3.6. -----	41
6.3.7 Fase 3.7. -----	42

6.4	Fosforbalansen. -----	44
6.5	Aanvullend onderzoek. -----	45
7	KOSTENVERGELIJKING. -----	47
7.1	Algemeen. -----	47
7.2	Uitgangspunten. -----	47
7.2.1	Dimensioneringsgrondslagen. -----	47
7.2.2	Bouwkosten. -----	50
7.2.3	Exploitatiekosten. -----	50
7.3	Kosten voor defosfatering. -----	51
8	EVALUATIE. -----	53
8.1	Hoofdstroom. -----	53
8.1.1	Stikstofverwijdering. -----	53
8.1.2	Fosforverwijdering. -----	55
8.1.3	Influentsamenstelling. -----	58
8.1.4	Slibvolume-index. -----	60
8.1.5	Temperatuur. -----	61
8.1.6	Spuislib. -----	62
8.2	Deelstroom. -----	63
8.2.1	Fosfaatafgiftecapaciteit. -----	63
8.2.2	Acetaatdosering. -----	66
8.2.3	Verblijftijd. -----	66
8.2.4	Selectie van fosfaataccumulerende bacteriën. -----	67
9	CONCLUSIE. -----	69
9.1	Hoofdstroom. -----	69
9.2	Deelstroom. -----	69
9.3	Dimensioneringsgrondslagen. -----	70
9.4	Kosten. -----	70
10	BEGRIPPENLIJST. -----	71
11	LITERATUUR. -----	75
12	BIJLAGEN. -----	77
1	Situatieschetsen rwzi Bergambacht. -----	79
2	Gebruikte apparatuur ombouw rwzi Bergambacht. ----	81
3	Meting fosfaatafgiftecapaciteit. -----	83
4	Effect acetaatdosering op fosfaatafgifte. -----	85
5	Effect nitraat op fosfaatafgifte. -----	87
6	Effect neutralisatie azijnzuur op fosfaatafgifte. -	91
7	Concentratieverloop in aëratietank. -----	95
8	Redoxpotentiaalmeting. -----	99
9	Verblijftijdspreiding strippertank. -----	101
10	Gemiddelde resultaten. -----	105
11	Kostenberekening. -----	113

VOORWOORD

In het kader van het onderzoekprogramma RWZI 2000 (projektnummer 3234/1) en de Stimuleringsregeling Milieutechnologie (projektnummer 51230/0610) is door Grontmij N.V. en het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden op praktijkschaal onderzoek verricht naar vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste actief-slibinrichting. Voorts hebben in het onderzoek geparticipeerd de bedrijven: ITT Flygt B.V., Hubert-Stavoren B.V. en Chemproha Chemical Distributors B.V.

Uitvoering van het onderzoek vond plaats op de rwzi Bergambacht gedurende de periode oktober 1989 - mei 1992. In de eerste fase is gestreefd naar een vergaande stikstofverwijdering (N_{tot} -gehalte in het effluent ≤ 10 mg/l) door aanpassing van het beluchtingsregime en het bevorderen van de selectie van fosfaataccumulerende bacteriën in de hoofdstroom. Na een ombouwfase, waarin de rwzi geschikt is gemaakt voor biologische defosfatering volgens het zogenaamde deelstroomproces, was een vergaande P-verwijdering (P_{tot} -gehalte in het effluent ≤ 1 mg/l) mogelijk met behoud van de lage N_{tot} -gehalten in het effluent.

Aan optimalisatie van de fysisch/chemische nabehandeling van het fosfaatrijke supernatant en aan de bedrijfsvoering is in dit onderzoek geen aandacht besteed. Dit is reeds in andere projecten binnen het STOWA-programma PNs 1992 gebeurd.

Begeleiding van het onderzoek vond plaats samen met andere projecten op dit terrein uit het STOWA-programma PNs 1992.

Lelystad, augustus 1992.

Voor de Stuurgroep RWZI 2000

dr. J. de Jong

SAMENVATTING

Op de rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) in Bergambacht, een zeer laag belaste actief-slibinrichting van het type Carrousel, is op praktijkschaal onderzoek verricht naar vergaande nutriëntenverwijdering. Hierbij is het uitgangspunt geweest dat voldaan kan worden aan een lozingseis van $N_{\text{totaal}} \leq 10 \text{ mg/l}$ als jaargemiddelde en $P_{\text{totaal}} \leq 1 \text{ mg/l}$ als voortschrijdend gemiddelde van 10 opeenvolgende bemonsteringen.

Door een aangepaste procesvoering van het zuiveringsproces is bereikt dat aan deze stringente lozingseisen kan worden voldaan.

Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd. In fase 1 is onderzoek verricht naar vergaande stikstofverwijdering en selectie van fosfaataccumulerende bacteriën in de hoofdstroom. Hiertoe is een fasering in de tijd ingevoerd voor nitrificatie, denitrificatie en selectie van fosfaataccumulerende bacteriën door middel van intermitterende beluchting. Aldus zijn respectievelijk aërobe, anoxische en anaërobe perioden gecreëerd. De fosfaatverwijdering is niet geoptimaliseerd.

In fase 2 is de rwzi vervolgens uitgebreid met een deelstroomproces. Voor behandeling van een deel van het retourslib is een anaërobe strippertank geplaatst en een slibindiktank. Een behandeling van het fosfaatrijke supernatant maakte geen deel uit van het onderzoek.

In fase 3 is gedurende een jaar praktijkonderzoek verricht naar biologische fosfaatverwijdering in een deelstroom. De selectie van fosfaataccumulerende bacteriën vond plaats in de hoofdstroom en in de anaërobe strippertank.

Na het introduceren van anaërobe perioden in de hoofdstroom is een toename van de fosfaatafgiftecapaciteit geconstateerd. Na toepassing van het deelstroomproces is tevens een verhoogde fosfaatverwijdering gerealiseerd. Hierdoor kon worden voldaan aan de toekomstige lozingseisen.

De belangrijkste -gemiddelde- resultaten van fase 3 zijn samengevat in onderstaand overzicht.

Bij een slibbelasting van $0,05 \text{ kg BZV}/(\text{kg ds.d})$ is een jaargemiddeld N-totaalgehalte van $8,0 \text{ mg/l}$ haalbaar. Echter, met name in perioden met een watertemperatuur $< 12 \text{ }^\circ\text{C}$ blijkt de nitrificatiesnelheid onvoldoende om, met behoud van de anaërobe fasen in de hoofdstroom, een N-totaalgehalte van het effluent te bereiken $\leq 10 \text{ mg/l}$.

De P-totaalconcentratie van het effluent is gemiddeld $0,4 \text{ mg/l}$. Bij een instelling van de slibarbeidsfactor (SAF) van $0,1 \text{ d}^{-1}$ is sprake van een toenemende gevoeligheid voor piekbelastingen. Desondanks blijft er sprake van een grote processtabiliteit.

In het onderzochte temperatuurstraject van $8 - 23 \text{ }^\circ\text{C}$ is geen beïnvloeding van de fosfaatverwijdering door de temperatuur waargenomen.

Gedurende het praktijkonderzoek in fase 3 is de SAF gefaseerd teruggebracht. Hierdoor is enerzijds de selectiedruk voor fosfaataccumulerende bacteriën van de strippertank verminderd, anderzijds is sprake van een toenemend fosfaatbeladingsniveau van het slib. Na de introductie van het deelstroomproces is de fosfaatafgiftecapaciteit toegenomen van 4 naar maximaal 6 mg P/g ds . Omdat de afname van de ingestelde SAF gedurende het onderzoek groter is geweest dan de toename van de afgiftecapaciteit, is er sprake van een, in het verloop van het onderzoek verminderde P-verwijdering via het supernatant. Het gevolg hiervan was een verhoogde P-afvoer met het spuislib.

Bij een ingestelde SAF van circa $0,1 \text{ d}^{-1}$ is aanvullende selectie in de hoofdstroom noodzakelijk gebleken voor het bereiken van een voldoende lage P-concentratie van het effluent ($< 1 \text{ mg P-totaal/l}$).

Gemiddelde resultaten fase 3.

hoofdstroom	fase	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
slibbelasting (kg BZV/(kg ds.d))		0,052	0,043	0,046	0,064	0,079	0,052	0,049
slibverblijftijd anaëroob (%)		7	16	17	23	6	3	11
temperatuur (°C)		16	20	18	12	10	13	18
SVI (ml/g)		100	109	107	119	134	152	124
stikstof (mg/l)								
influent	N-kj	37	43	44	44	50	50	46
effluent	N-org.	1,6	2,0	1,4	1,9	2,1	1,9	1,5
	N-NH ₄	2,8	2,2	2,4	5,7	8,3	3,2	2,3
	N-NO ₃	2,4	1,8	2,5	2,7	3,0	3,3	0,8
	N-tot.	6,8	6,0	6,3	10,3	13,4	8,4	4,5
fosfor (mg/l)								
influent	P-tot.	6,2	6,0	7,1	7,8	7,3	6,6	6,9
effluent	P-ortho	2,7	3,2	3,1	3,3	3,7	4,4	3,8
	P-tot.	0,6	0,3	0,3	0,3	0,5	0,8	0,7
	P-ortho	0,4	0,2	0,1	0,1	0,3	0,6	0,4
deelstroom	fase	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
SAF (d^{-1})		0,51	0,52	0,44	0,26	0,14	0,09	0,08
HRT (h)		14	8,3	4,3	5,3	3,6	3,6	3,8
acetaatdosering (mg Ac/g ds)		---	11	11	12	30	21	16
P-gehalte slib (% van de droge stof)								
voor stripping		2,3	2,2	1,9	2,2	2,5	2,7	2,6
	na stripping	2,2	1,3	1,8	1,9	2,2	2,0	2,1
P-afgiftecapaciteit (mg P/g ds)		3,9	3,5	2,7	3,8	4,6	4,9	4,7

Bij een acetaatdosering van 15 mg Ac/g ds is een maximale P-afgifte bereikt binnen 3 uur (batchmeting).

Onder de praktijkomstandigheden is in de strippertank een structureel lagere P-afgifte gevonden dan bij de bepaling van de P-afgiftecapaciteit op laboratoriumschaal. Het verschil kan deels worden verklaard uit de spreiding van verblijftijd in de volledig gemengde strippertank waardoor een deel van het slib niet al het fosfaat heeft kunnen afgeven.

De optimale acetaatdosering is gelegen op een niveau van 15 mg Ac/g ds . Verhoging van de acetaatdosering heeft niet geleid tot een verhoogde of een versnelde afgifte van fosfaat. Aangetoond is dat de afwezigheid van acetaat in de strippertank onvoldoende kan worden gecompenseerd door het aanhouden van een relatief lange verblijftijd (14 h). Over de onderzoeksperiode waarin acetaat is gedoseerd, is geen eenduidige toename van de spuislibproductie geconstateerd.

Acetaat is in de vorm van azijnzuur toegevoegd. Bij een dosering van 30 mg Ac/g ds is hierdoor een pH-daling gemeten van 7,4 naar 6,4. Hierbij was sprake van een P-afgifte-remming van meer dan 30 %. Bij een stoichiometrische neutralisatie van 50 - 60 % kon remming van de fosfaatafgifte vrijwel geheel worden voorkomen.

Het scheidingsrendement voor ortho-fosfaat in de gravitatie-indikker van de deelstroom bedroeg 50 - 60 % . Het overige ortho-fosfaat is met het gestripte slib als een interne recirculatiestroom teruggevoerd naar de hoofdstroom. De werkelijke fosfaatbelasting van het systeem lag dan ook ruim 15 % hoger dan op basis van de influent P-vracht is vastgesteld.

Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de volgende dimensioneringsgrondslagen geformuleerd.

parameter	waarde	eenheid
slibverblijftijd: hoofdstroom (anaëroob) deelstroom	10-15 1	% %
slibarbeidsfactor	0,1 6	d^{-1} % Q-influent
specifieke acetaatdosering neutralisatie azijnzuur (stoichiometrisch)	15 50	mg Ac/g ds %
hydraulische verblijftijd strippertank (volledig gemengd)	4	h

Uitgaande van de vorengenoemde dimensioneringsgrondslagen zijn voor het deelstroomproces de kosten vergeleken met simultane chemische precipitatie en biologische defosfatering uitsluitend in de hoofdstroom. Het deelstroomproces is, bij een SAF van $0,1 d^{-1}$ nagenoeg even duur als de overige twee varianten. De gevoeligheid voor de gekozen ontwerpgrondslagen is groot: Bij toepassing van een SAF van $0,2 d^{-1}$ of hoger, liggen de kosten voor het deelstroomproces significant hoger dan de overige twee varianten. Dit komt vooral tot uiting in de jaarlijkse kosten.

De schaalgrootte heeft nagenoeg geen invloed op de prijsverhouding tussen het deelstroomproces en de overige twee varianten.

1 INLEIDING.

1.1 Algemeen.

De nutriënten fosfor en stikstof bevorderen bij te hoge concentraties een overmatige groei van algen en hebben daardoor indirect een negatief effect op de zuurstofhuishouding in het oppervlaktewater.

De laatste jaren wordt in toenemende mate duidelijk dat de belasting van het oppervlaktewater met de nutriënten stikstof en fosfor moet worden teruggedrongen. Zo zijn onder meer afspraken gemaakt met wasmiddelenfabrikanten om de hoeveelheid fosfaat in die produkten te reduceren of geheel te verwijderen.

Op internationaal niveau zijn afspraken gemaakt om op korte tot middellange termijn het oppervlaktewater voor een groot deel te ontlasten van fosfor en stikstof door deze nutriënten, al of niet biologisch, vergaand uit het afvalwater te verwijderen.

1.2 Beleid en wettelijk kader.

1.2.1 Lozingseisen voor fosfor.

In internationaal overleg (de Rijn- en Noordzee-ministersconferenties) zijn afspraken gemaakt die moeten leiden tot een emissiereductie voor de lozing van fosfor op oppervlaktewater met 50 %.

Deze afspraken hebben geleid tot verscherpte fosforlozingseisen voor rwzi's. Deze lozingseisen zijn, bij Algemene Maatregel van Bestuur dd 13 juni 1990, vastgesteld en staan in tabel 1 vermeld.

Tabel 1 Grenswaarden fosforlozingen van rwzi's en data van inwerkingtreding (AMvB).

rwzi	grenswaarden (mg P/l)	nieuwe rwzi's	bestaande rwzi's
> 100.000 ie	1	1-7-1990	1-1-1995
20.000 t/m 100.000 ie	2	1-7-1990	1-1-1995
< 20.000 ie	2	1-1-1995	1-1-1995

1.2.2 Lozingseisen voor stikstof.

Tijdens de tweede Rijn- en Noordzee-ministersconferentie is de afspraak gemaakt om de belasting van de Noordzee door stikstof in 1995 met circa 50% te hebben verminderd ten opzichte van 1985.

Om deze doelstellingen te realiseren zijn in juli 1992, bij Algemene Maatregel van Bestuur, de stikstof-lozingseisen voor rwzi's vastgesteld (tabel 2).

Tabel 2 Grenswaarden stikstoflozingen van rwzi's en data van inwerkingtreding (AMvB).

rwzi	grenswaarde (mg N/l)	nieuwe rwzi's	bestaande rwzi's
≥ 20.000 ie	10	1-1-1992	1-1-1998
< 20.000 ie	15	1-1-1992	1-1-1998

2 DOELSTELLING.

2.1 Algemeen.

Het onderzoek dat is uitgevoerd op de rwzi Bergambacht heeft tot doel gehad op praktijkschaal aan-te-tonen dat vergaande nutriëntenverwijdering op een rwzi van het zeer laagbelaste, volledig gemengde type (Carrousel) mogelijk is.

Hiertoe is een aangepaste procesvoering van de hoofdstroom doorgevoerd. Tevens is de rwzi uitgebreid met een deelstroombehandeling van het retourslib.

Concreet komt de doelstelling erop neer, dat door biologische nutriëntenverwijdering kan worden voldaan aan de toekomstige lozingseisen:

- N-totaal ≤ 10 mg/l (als jaargemiddelde);
- P-totaal ≤ 1 mg/l (als gemiddelde over 10 achtereenvolgende bemonsteringen).

Op basis van de onderzoeksresultaten zullen dimensioneringsgrondslagen worden geformuleerd voor het deelstroomproces met aanvullende selectie van fosfaat-accumulerende bacteriën in de hoofdstroom. Het doel is antwoord te krijgen op de volgende vragen:

- hoeveel retourslib dient in een deelstroom te worden behandeld?
- wat is de invloed van de verblijftijd in de strippertank?
- wat is de invloed van de anaërobe verblijftijd in de hoofdstroom?
- hoeveel acetaat moet worden gedoseerd?

Het onderzoek dient verder inzicht te verschaffen in de processtabiliteit en de financiële haalbaarheid.

Op basis van vorenstaande gegevens dient inzicht te worden verkregen over de toepassingsmogelijkheden van het bij de rwzi Bergambacht toegepaste proces.

2.2 Fase 1.

In de eerste fase is gestreefd naar vergaande stikstofverwijdering (N-totaalgehalte in effluent lager dan 10 mg/l) door aanpassing van het beluchtingsregime.

Naast een vergaande stikstofverwijdering is, door de aanwezigheid van strikt anaërobe perioden in de beluchtingstank, selectie van fosfaataccumulerende bacteriën bewerkstelligd. Hierbij is het uitgangspunt geweest dat er een duidelijke biologische activiteit moest plaatsvinden ten aanzien van fosfaatafgifte en fosfaatopname zonder dat gestreefd is naar een laag fosfaatgehalte in het effluent.

Om te komen tot een vergaande stikstofverwijdering en selectie van fosfaat-accumulerende bacteriën, moet worden voldaan aan de volgende randvoorwaarden:

- een voldoende zuurstofinbreng tijdens de aërobe perioden om een vergaande nitrificatie en een goede fosfaatopname door het slib te realiseren;
- de aanwezigheid van anoxische fasen ten behoeve van de denitrificatie;
- de aanwezigheid van anaërobe fasen ten behoeve van de selectie van fosfaat-accumulerende bacteriën.

De aanpassingen, welke aan de rwzi zijn gedaan om aan bovenstaande randvoorwaarden te kunnen voldoen, staan vermeld in hoofdstuk 4.3.

2.3 Fase 2.

Uitgaande van de resultaten van fase 1 is de rwzi in fase 2 omgebouwd tot een installatie waarin tevens fosfaatverwijdering in een deelstroom kon plaatsvinden. Deze ombouw staat omschreven in hoofdstuk 4.4.

2.4 Fase 3.

Deze fase is er op gericht om, met behoud van een N-totaalgehalte in het effluent van maximaal 10 mg/l, vergaande P-verwijdering te realiseren.

Hierbij speelden de procesonderdelen voor de selectie van fosfaataccumulerende bacteriën (anaërobe fasen in beluchtingstank en strippertank) een belangrijke rol.

Daarnaast is geprobeerd om een zo klein en geconcentreerd mogelijke fosfaatstroom te verkrijgen die in principe in aanmerking kan komen voor hergebruik.

De factoren die hierop van invloed konden zijn (wisselende debieten, dimensionering strippertank etc...), zijn op praktijkschaal onderzocht.

Fase 3 is opgezet voor de duur van circa één jaar zodat alle seizoensinvloeden in het praktijkonderzoek zijn betrokken.

3 THEORIE NUTRIENTENVERWIJDERING.

3.1 Stikstofverwijdering.

Biologische stikstofverwijdering komt tot stand door de processen nitrificatie en denitrificatie. Nitrificatie is de omzetting van ammonium in twee stappen tot nitraat. Denitrificatie is de reductie van nitraat, waarbij stikstof vrijkomt.

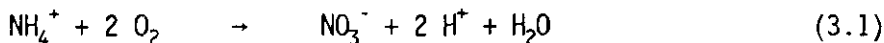
Nitrificatie.

Chemo-heterotrofe bacteriën, die zuurstof gebruiken om biochemisch afbreekbare stoffen te oxyderen, zetten organisch gebonden stikstofverbindingen om in ammonium.

De chemo-autotrofe bacteriegeslachten *Nitrosomonas sp.* en *Nitrobacter sp.* brengen vervolgens de biologische nitrificatie tot stand. Chemo-autotrofe bacteriën gebruiken CO₂ als koolstofbron voor de assimilatie en zij krijgen de hiervoor benodigde energie uit onder andere de oxydatie van anorganische verbindingen, zoals ammonium en nitriet [1].

Nitrosomonas sp. oxydeert ammonium tot nitriet. De omzetting van nitriet in nitraat wordt gerealiseerd door het geslacht *Nitrobacter sp.*

De overall reactievergelijking van ammonium tot nitraat is:



Kenmerkend voor nitrificerende bacteriën is dat bij lagere temperaturen de snelheid van het nitrificatieproces en de groeisnelheid van de bacteriën relatief laag zijn.

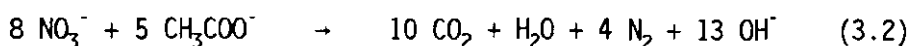
Denitrificatie.

Denitrificatie is de omzetting van nitraat in gasvormig stikstof. Een groot aantal facultatief chemo-heterotrofe bacteriën, die normaal in het actief-slibproces voorkomen, kunnen de denitrificatie bewerkstelligen. Deze bacteriën kunnen onder anoxische omstandigheden het aan het nitraat gebonden zuurstof benutten ter oxydatie van organische stoffen. Tevens gebruiken deze bacteriën nitraat als stikstofbron voor de celopbouw.

Het nitraat wordt, onder aanwezigheid van een koolstofbron, via intercellulair nitriet omgezet in gasvormig stikstof (N₂).

Denitrificatie vindt in twee stappen plaats, de eerste stap is de omzetting van nitraat tot nitriet en de tweede stap is de omzetting van nitriet tot gasvormig stikstof (N₂) [2,3].

Uitgaande van bijvoorbeeld acetaat als koolstofbron en met verwaarlozing van de synthese van nieuw celmateriaal, kan het denitrificatieproces weergegeven worden door de volgende overall reactievergelijking.



Invloed van het beluchtingsregime op de stikstofverwijdering.

In de praktijk kunnen een aantal verschillende beluchtingswijzen worden toegepast, teneinde een optimale stikstofverwijdering te bereiken:

- continue beluchting (simultane nitrificatie/denitrificatie);
- discrete beluchting (voordenitrificatie, scheiding van nitrificatie en denitrificatie in plaats);
- intermitterende beluchting (scheiding van nitrificatie en denitrificatie in tijd);
- alternerende beluchting (Biodenitro, scheiding van nitrificatie en denitrificatie in tijd en plaats).

Hieronder is nader ingegaan op de bij rwzi Bergambacht toegepaste intermitterende beluchting. Bij een intermitterende beluchtingswijze wordt met tussenpozen (uitgedrukt in uren/dag) lucht ingebracht in de aëratietank waardoor afwisselend zuurstofrijke en zuurstofloze omstandigheden gecreëerd worden. De stikstofverwijdering door middel van intermitterende beluchting wordt gekenmerkt door actiefslib dat de aërobe en de anoxische fasen in de tijd ondergaat. Toepassing is uitsluitend mogelijk op installaties met een compleet gemengde aëratietank en omloopcircuits. De deelprocessen nitrificatie en denitrificatie worden (gedeeltelijk) in de tijd gescheiden, door de milieu-omstandigheden voor elk van de processen te optimaliseren. De opeenvolgende beluchtingscycli worden gestuurd met behulp van tijd klokken of met on-line meetapparatuur.

Het is van groot belang dat tijdens de onbeluchte fase de inhoud van de aëratietank goed gemengd blijft. Bij een beluchtingscircuit moet een stroomsnelheid in de tank worden gehandhaafd van 25 à 30 cm/sec. Dit kan alleen worden gerealiseerd door gebruik te maken van extra voortstuwars in de tank.

Bij de introductie van intermitterende beluchting op een bestaande installatie wordt het aantal beschikbare uren per dag voor beluchting kleiner. Omdat de zuurstofbehoefte ongeveer hetzelfde blijft dient de inbrengcapaciteit per uur vergroot te worden. Dit geldt uiteraard niet voor (zeer) onderbelaste installaties.

Met intermitterende beluchting wordt in vergelijkbare omstandigheden in het algemeen een verdergaande stikstofverwijdering gevonden dan met continue beluchting. De reden hiervoor is dat zowel voor nitrificatie als denitrificatie de optimale proces-omstandigheden kunnen worden gecreëerd. Nitrificatie verloopt optimaal bij een opgelost zuurstofgehalte van 1,7 mg/l of hoger, terwijl voor denitrificatie zuurstofloosheid of een zeer laag zuurstofgehalte en de aanwezigheid van een koolstofbron vereist zijn. Met intermitterende beluchting kan, door het (gedeeltelijk) scheiden van deze processen in de tijd, eenvoudiger aan deze behoeften worden voldaan dan met continue beluchting waarbij beide processen gelijktijdig dienen te verlopen.

3.2 Biologische defosfatering.

3.2.1 Algemeen.

Biologische defosfatering berust op het feit dat bepaalde micro-organismen in staat zijn fosfaat in overmaat op te nemen (luxury-uptake). Dit zijn aërobe bacteriën, waarvan *Acinetobacter* de belangrijkste vertegenwoordiger is. *Acinetobacter* is in staat om onder aërobe condities 6 tot 10 % van zijn eigen drooggewicht aan fosfaat op te nemen en als energievorm op te slaan in de vorm van polyfosfaat.

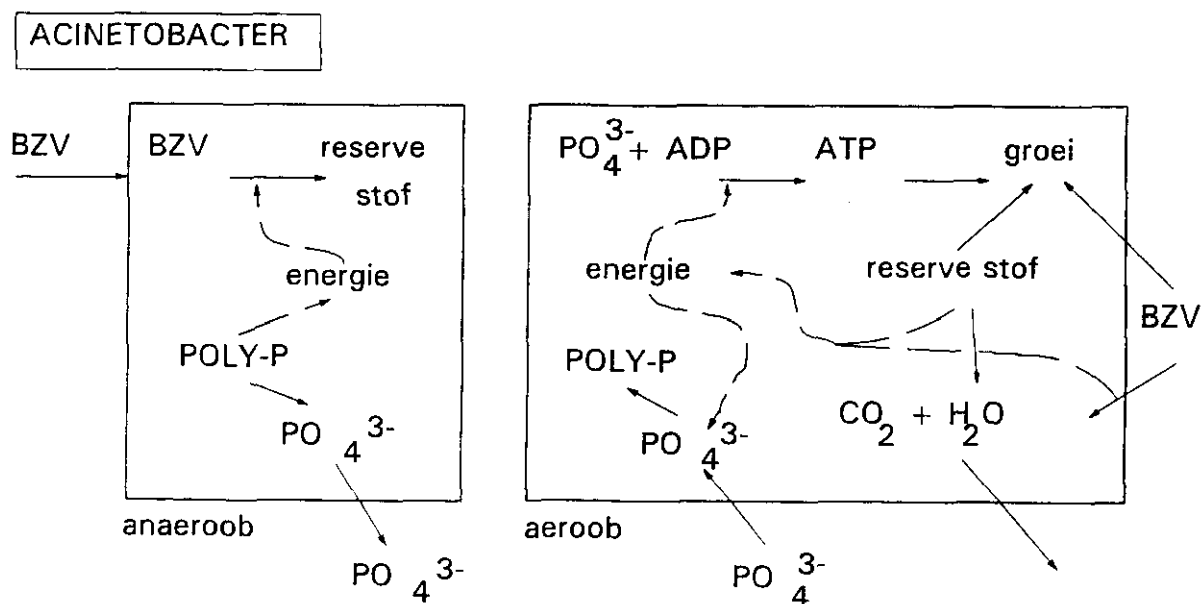
Lagere vetzuren zijn het belangrijkste substraat voor *Acinetobacter*.

De productie van lagere vetzuren vindt plaats tijdens anaërobe perioden door facultatief anaërobe bacteriën. Opname van dit substraat vindt plaats tijdens de anaërobe periode. Daar het een aërobe bacterie betreft vindt verbruik pas tijdens een aërobe periode plaats.

Het polyfosfaat wordt tijdens de anaërobe periode afgebroken waarbij energieproductie in de vorm van AdenosineTriFosfaat (ATP) plaatsvindt. Hierbij wordt ATP omgezet in ADP en komt fosfaat vrij. Met de vrijkomende energie kan *Acinetobacter* het substraat in de vorm van acetaat opnemen. Zolang voldoende polyfosfaat in de cel voorradig blijft wordt hieruit nieuw ATP gevormd.

Wanneer het milieu nu weer aëroob, dan heeft *Acinetobacter* een voorsprong op de andere aërobe bacteriën vanwege de beschikbaarheid van meer ATP en het reeds opgenomen substraat. Hierdoor vindt een snelle groei van *Acinetobacter* plaats.

In figuur 1 wordt het principe van de biologische defosfatering weergegeven.



Figuur 1 Principe biologisch defosfateren.

Bij biologische defosfatering zijn twee methoden te onderscheiden:

- het hoofdstroomproces, waarbij het fosfaat via het spuislib uit de installatie wordt verwijderd;
- het deelstroomproces, waarbij een gedeelte van het fosfaat via een geconcentreerde deelstroom uit het systeem wordt verwijderd.

Daar op de rwzi Bergambacht onderzoek is gedaan naar biologische defosfatering in de deelstroom is deze methode nader omschreven.

3.2.2 Biologisch defosfateren in een deelstroom.

In de aëratieruimte wordt het fosfaat onder aërobe omstandigheden aan het slib gebonden. Een bypass-stroom van het retourslib passeert de stripperlijn. In de strippertank vindt onder anaërobe omstandigheden fosfaatafgifte plaats. Hierbij is belangrijk de tijd waarin het slib de gelegenheid krijgt om het fosfaat af te geven (hydraulische verblijftijd in de stripper) en de hoeveelheid fosfaat ten opzichte van de hoeveelheid gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal. Toediening van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal in de vorm van vluchtige vetzuren, met name acetaat, is noodzakelijk om de afgifte te optimaliseren. Deze P-afgifte kan echter worden geremd door de aanwezigheid van nitraat.

Het fosfaatrijk water en het slib worden van elkaar gescheiden in de indikker. Het behandelde slib wordt teruggevoerd naar de aëratieruimte waar het weer in staat wordt gesteld om fosfaat op te nemen. Het afgegeven fosfaat kan vervolgens weer gebonden worden met behulp van ijzer- of aluminiumzouten of kalk. Het fosfaatvrije water wordt teruggevoerd naar de aëratietank.

Voor de verwijdering van fosfaat uit het supernatant bestaat verder de mogelijkheid de korrelreactor of magnetische defosfatering toe te passen.

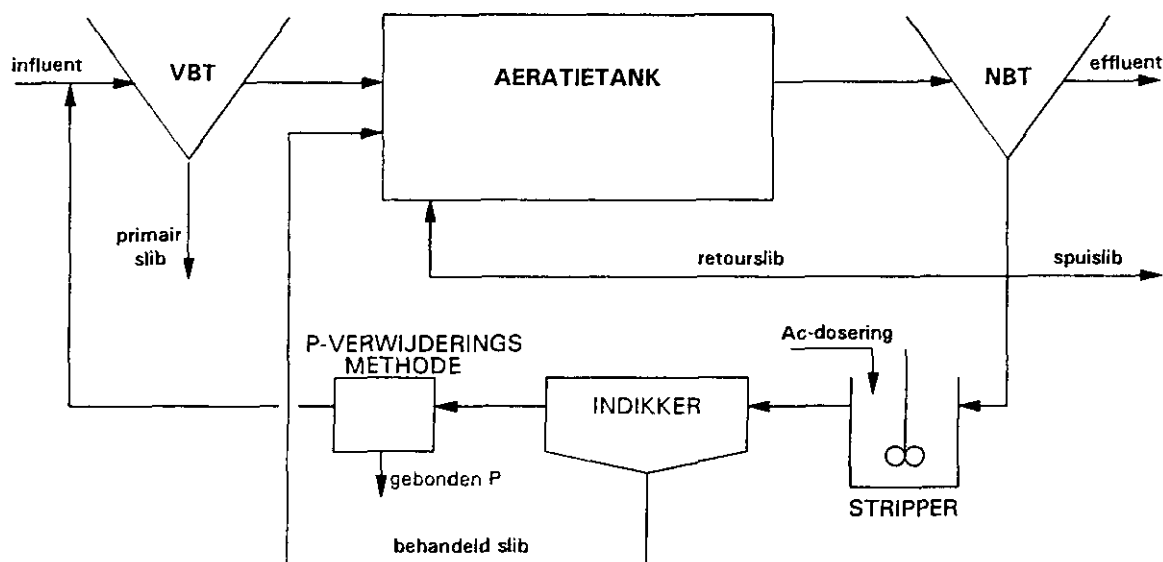
Het deelstroomproces is toepasbaar bij vrijwel elk conventioneel type actief-slib-systeem (behalve bij oxydatiebedinstallaties) en kan in principe op relatief eenvoudige wijze op een reeds bestaande installatie worden geïntroduceerd.

In Nederland wordt het proces voornamelijk uitgevoerd met een gescheiden stripper en indikker. In figuur 2 is een principeschema van het deelstroomproces weergegeven. Het fosfaat wordt dus niet alleen met het spuislib afgevoerd maar ook door vastlegging van het opgeloste fosfaat uit het supernatant.

In de principetekening vindt de spuislibafvoer plaats uit het retourslib van de hoofdstroom. Het gevolg hiervan is dat bij (gravitatie-) indikking van dit slib fosfaatafgifte plaatsvindt. Hierdoor ontstaat er een continue recirculatiestroom van fosfaat in de hoofdstroom.

Deze recirculatiestroom is op te heffen door:

- het overloopwater van de spuislibindikker op een gelijke manier te behandelen als het supernatant van de deelstroom;
- het spuislib direct mechanisch ontwateren;
- de spuislibstroom te verleggen naar de deelstroom.



Figuur 2 Principeschema deelstroomproces.

3.2.3 Technologische aspecten.

Hoofdstroom:

Omdat het deelstroomproces naast vrijwel elk bestaand actief-slibstelsel kan worden geplaatst, is de invloed op de stikstofverwijdering in de hoofdstroom minimaal. De aëratietank kan uit elke configuratie bestaan zodat deze kan worden ingericht met het oog op een optimale nitrificatie en denitrificatie. Alleen de acetaatdosering kan van invloed zijn op de nitrificatie omdat deze een verhoging van de slibbelasting, en dus een verkorting van de slibleeftijd, teweeg brengt.

Deelstroom:

De fosfaatafgifte in de stripper is in het algemeen afhankelijk van een aantal parameters:

- afvalwaterkarakteristiek;
- slibarbeidsfactor (SAF);
- anaërobe verblijftijd;
- acetaatdosering.

* Afvalwaterkarakteristiek.

In het algemeen is de invloed van de afvalwaterkarakteristiek op het deelstroomproces zeer gering. In het retourslib zijn, onafhankelijk van de hoeveelheid vetzuren in het influent, geen of nauwelijks vetzuren aanwezig. Om een goede fosfaatafgifte te bevorderen, dient er in de stripper acetaatdosering plaats te vinden.

* Slibarbeidsfactor.

Om aan te geven hoeveel slib er per dag wordt gestript, is de slibarbeidsfactor (SAF) geïntroduceerd. Dit is de frequentie waarmee een slibdeeltje door de stripper wordt gevoerd.

$$\text{SAF} = \frac{Q_{\text{str}} * d_{\text{s}_{\text{str}}}}{V_{\text{AT}} * d_{\text{s}_{\text{AT}}}} \quad [\text{d}^{-1}] \quad (3.3)$$

waarin: Q_{str} = debiet door stripperlijn $[\text{m}^3/\text{d}]$
 $d_{\text{s}_{\text{str}}}$ = droge-stofgehalte toevoer stripperlijn $[\text{kg}/\text{m}^3]$
 V_{AT} = volume aëratietank $[\text{m}^3]$
 $d_{\text{s}_{\text{AT}}}$ = droge-stofgehalte in de aëratietank $[\text{kg}/\text{m}^3]$

De hoeveelheid slib die per tijdseenheid kan worden gestript, bepaalt voor een groot deel de dimensies van de stripper, van de indikker voor het gestripte slib en van de nageschakelde fysisch/chemische fosfaatverwijderingsmethode. Dit betekent dat er naar moet worden gestreefd de hoeveelheid retourslib die in behandeling moet worden genomen zo laag mogelijk te houden.

* Anaërobe verblijftijd.

De anaërobe verblijftijd in de stripper is een belangrijke technologische parameter bij het deelstroomproces. Deze is afhankelijk van de hoeveelheid retourslib die de stripper passeert in relatie tot het volume van de strippertank. Deze wordt mede bepaald door de nitraatconcentratie in het retourslib en de aard en dosering van snel biodegradeerbaar materiaal zoals vetzuren.

Om het retourslibdebiet naar de stripper zo laag mogelijk te houden is het voordelig om een hoog drogestofgehalte in het retourslib te hebben. Het maximaal te bereiken drogestofgehalte bedraagt ongeveer 8 g/l. Deze concentratie wordt begrensd door de mate van indikking van het slib in de nabezinktank en de verhouding tussen influent-debiet en retourslibdebiet. Het is verder van belang het droge-stofgehalte zo constant mogelijk te houden. Regeling van het retourslibdebiet biedt hiervoor goede mogelijkheden.

Als het slib dat naar de stripper gaat nog nitraat bevat, zal extra verblijftijd moeten worden ingecalculeerd voor denitrificatie. Dosering van vetzuren in de stripper versnelt de fosfaatafgifte. De acetaatdosering en de anaërobe verblijftijd kunnen elkaar binnen bepaalde grenzen compenseren.

In verband met de selectie van fosfaataccumulerende bacteriën moet een gedeelte van het slib een bepaalde tijd onder anaërobe condities verkeren. Indien de hoeveelheid behandeld slib te gering, of de contacttijd te kort is om voldoende selectiedruk op het actief-slib uit te oefenen kan er eventueel een anaërobe zone in de aëratieruimte worden gecreëerd of er kan een anaërobe tank voor de aëratieruimte worden geplaatst.

* Acetaatdosering.

Het slib staat fosfaat af onder opname van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal. Indien in een stripper een bepaalde hoeveelheid fosfaat moet worden verwijderd, wordt de acetaatdosering bepaald door de fosfaatafgifte-kinetiek en de verblijftijd.

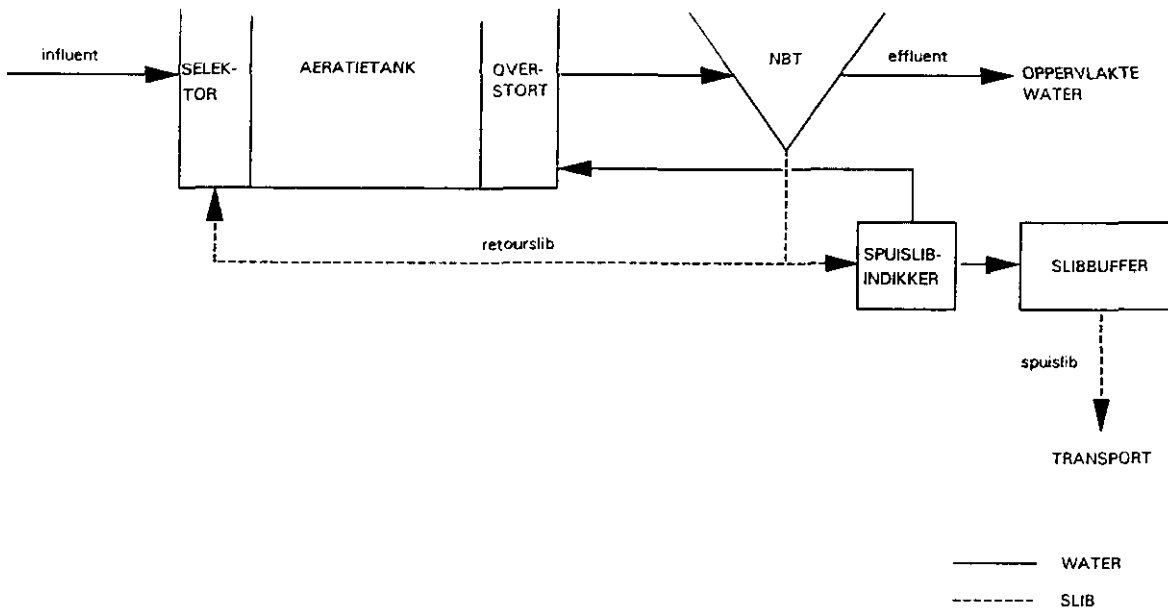
4 RWZI BERGAMBACHT.

4.1 Bestaande situatie.

Oorspronkelijk bestond de rwzi Bergambacht uit een oxydatiebedinrichting. In 1987 is de installatie omgebouwd tot een zeer laagbelaste actief-slibinstallatie van het type Carrousel welke het afvalwater zuivert van inwoners en bedrijven van de kern Bergambacht.

De zuiveringsinrichting bestaat uit een snijrooster, een selektor, een beluchtingsruimte, een nabezinktank, een slibindikker en een tweetal slibbuffertanks.

De ontwerpgegevens van de huidige rwzi zijn samengevat in tabel 3. Een situatieschets van de rwzi staat weergegeven in bijlage 1a. Een flowschema van de huidige situatie staat in figuur 3.



Figuur 3 Flowschema van de bestaande situatie.

Tabel 3 Ontwerpgegevens van de bestaande rwzi.

Type	Carrousel	
Capaciteit	7000	IE
BZV-vracht	308	kg/d
N-Kjeldahl vracht	65	kg/d
Hydraulische belasting		
DWA	160	m ³ /h
RWA	300	m ³ /h
Selektor		
type	volledig gemengd, onbelucht	
inhoud	21	m ³
verblijftijd (DWA)	10	minuten
Beluchtingscircuit		
slibbelasting	0,054	kg BZV/(kg ds.d)
slibgehalte	4	kg ds/m ³
inhoud	1426	m ³
beenbreedte	5,5	m
waterdiepte	2,25	m
kopdiepte	2,75	m
Beluchting		
type	puntbeluchter	
zuurstof-inbrengend vermogen	50	kg O ₂ /h
Nabezinktank		
oppervlaktebelasting	0,7	m ³ /(m ² .h)
oppervlakte	426	m ²
kantdiepte	1,5	m
diameter	23,3	m
Retourslibvijzel		
DWA	80	m ³ /h
RWA	160	m ³ /h
Slibindikker		
type	continu doorstroemd, ongeroerd	
slibproductie	350	kg ds/d
drogestof-oppervlaktebelasting	30	kg ds/(m ² .d)
oppervlakte	11,7	m ²
inhoud	36	m ³
Natslibopslag		
	1 * 680	m ³
	1 * 300	m ³
Nabezinktank voormalige oxydatiebedinrichting (buiten gebruik)		
diameter	12	m
kantdiepte	1,5	m

4.2 Motivering onderzoekslocatie.

Het onderzoek, zoals dat op de rwzi Bergambacht is uitgevoerd, is er op gericht één geïntegreerd zuiveringssysteem te ontwikkelen voor de verwijdering van stikstof en fosfaat. Voor de rwzi van Bergambacht is gekozen om de volgende redenen:

- in Nederland wordt circa 40% van de zuiveringscapaciteit door installaties van het zeer laagbelaste, volledig gemengde type verzorgd. Deze installatie is derhalve representatief voor een groot deel van de zuiveringscapaciteit;
- vergaande stikstofverwijdering is het meest effectief (in relatie tot de investerings- en exploitatiekosten) in installaties van het zeer laagbelaste type;

- momenteel is de installatie voor tenminste 75% belast. Door het droge-stof-gehalte aan te passen wordt de installatie naar de ontwerp-slibbelasting gebracht. Hierdoor wordt een grote mate van representativiteit gerealiseerd;
- bovengenoemde (onder)belasting van de installatie kan een ideaal uitgangspunt zijn voor een optimale nutriëntenverwijdering en geeft ruimte voor het aanbrengen van procesveranderingen tijdens het onderzoek;
- de influentsamenstelling is representatief voor rwzi's binnen het beheersgebied van het zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden.
- de installatie heeft een beperkte ontwerpcapaciteit (7000 ie). Er vindt geen verdergaande mechanische slibbehandeling plaats, waardoor nauwelijks problemen met interne stikstof- en fosfaatstromen kunnen optreden;
- uit praktische overwegingen. De diverse onderdelen van de oude rwzi zijn op betrekkelijk eenvoudige wijze om te bouwen tot onderdelen van een deelstroomproces.

4.3 Ombouw hoofdstroom.

In de eerste fase van het onderzoek is gestreefd naar vergaande stikstofverwijdering en selectie van fosfaataccumulerende bacteriën in de hoofdstroom.

Om deze doelstelling te realiseren is gekozen voor een in de tijd gefaseerde nitrificatie, denitrificatie en selectie van fosfaataccumulerende bacteriën (intermitterende beluchting).

Bij fasering kunnen voor de deelprocessen optimale omstandigheden worden gecreëerd:

- aërobe fase: nitrificatie verloopt optimaal bij een opgelost zuurstofgehalte > 1,7 mg/l;
- anoxische fase: voor denitrificatie zijn de zuurstofloosheid en de aanwezigheid van een koolstofbron procesbeïnvloedende factoren;
- anaërobe fase: voor selectie van fosfaataccumulerende bacteriën zijn een voldoende lage redox-potentiaal (afwezigheid van nitraat) en de aanwezigheid van een gemakkelijk opneembare koolstofbron twee randvoorwaarden.

Voor een fasering van de deelprocessen zijn de volgende aanpassingen in de hoofdstroom doorgevoerd:

- toepassing van een op tijd geregelde intermitterende beluchting;
- tijdens de beluchte fase regelen op een zuurstofgehalte van 2 mg O₂/l;
- uitbreiding van de beluchtingscapaciteit met 20%;
- menging van de inhoud van de beluchtingsruimte tijdens de niet beluchte perioden;
- het on-line meten van de redoxpotentiaal in de beluchtingsruimte.

De benodigde voorzieningen, ten behoeve van de bovengenoemde aanpassingen, zijn nader omschreven in bijlage 2.

4.4 Ombouw deelstroom.

Fase 2 van het onderzoek bestond uit de uitbreiding van de rwzi Bergambacht met een biologische defosfatering in de sliblijn volgens het deelstroomproces. Bij de uitvoering van de ombouw kon gebruik worden gemaakt van nog bestaande en (deels) niet gebruikte installatieonderdelen van de oude oxydatiebedinstallatie. Omdat optimalisatie van de deelstroom één van de belangrijkste doelstellingen van het onderzoek was, is bij de dimensionering van de deelstroom een zo groot mogelijke flexibiliteit nagestreefd. De dimensionering van de deelstroom staat in tabel 4 vermeld.

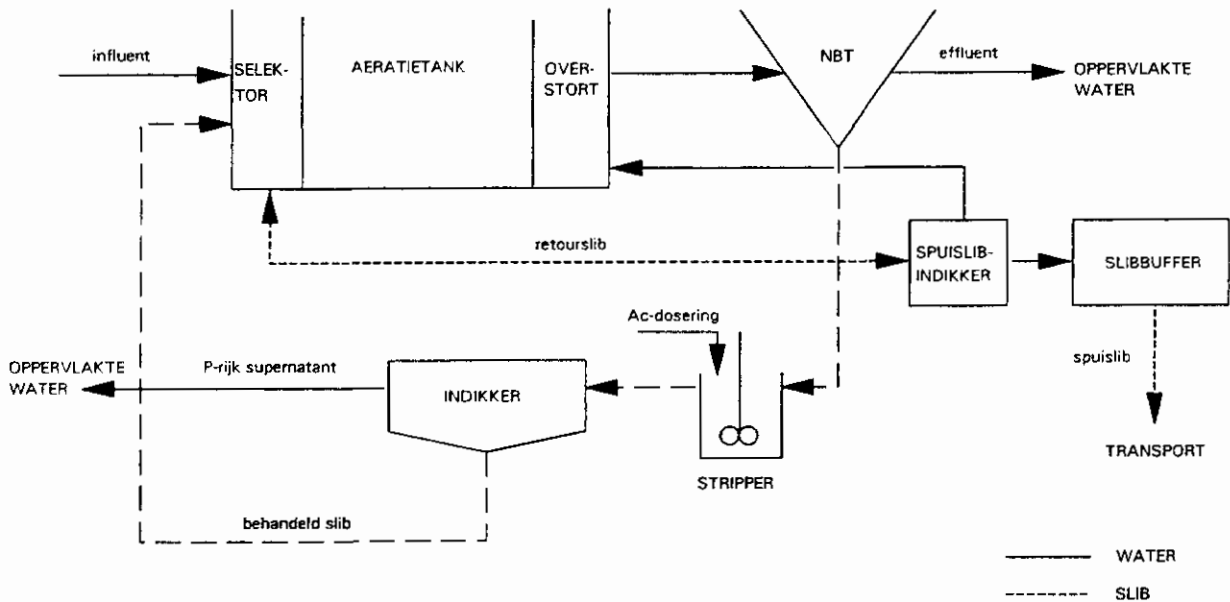
Tabel 4 Dimensionering deelstroom.

slibtoevoer	:	dampelpomp
uitvoering	:	
capaciteit	:	
- maximaal	:	20 m ³ /h
- minimaal	:	3 m ³ /h
voorziening	:	debietgestuurde frequentieregeling
debietmeting toevoer	:	
deelstroom	:	electromagnetisch
stripper (oude oxydatiebed)	:	
tankvolume:	:	
- maximaal	:	200 m ³
- minimaal	:	15 m ³
voorzieningen	:	menger
bijzonderheden	:	plaatsing van keerschotten voor volume verkleining
doseerinstallatie	:	
azijnzuur (70%), opslag	:	4 m ³
natronloog (28%), opslag	:	4 m ³
voorzieningen	:	twee doseerpompen
capaciteit pompen (elk)	:	0 - 14 l/h
voorziening	:	tijdklok
slibindikker (oude nabezinktank)	:	
diameter	:	12 m
oppervlak	:	113 m ²
kandiepte	:	1,5 m
voorziening	:	draaiende ruimerbrug
ingedikt slibafvoerpomp	:	
uitvoering	:	mohnpomp
capaciteit	:	14 m ³ /h
voorziening	:	tijdschakeling, urenteller
spuislibpomp	:	
uitvoering	:	mohnpomp
capaciteit	:	0,5 - 4,5 m ³ /h (handinstelbaar)
voorziening	:	tijdschakeling, urenteller

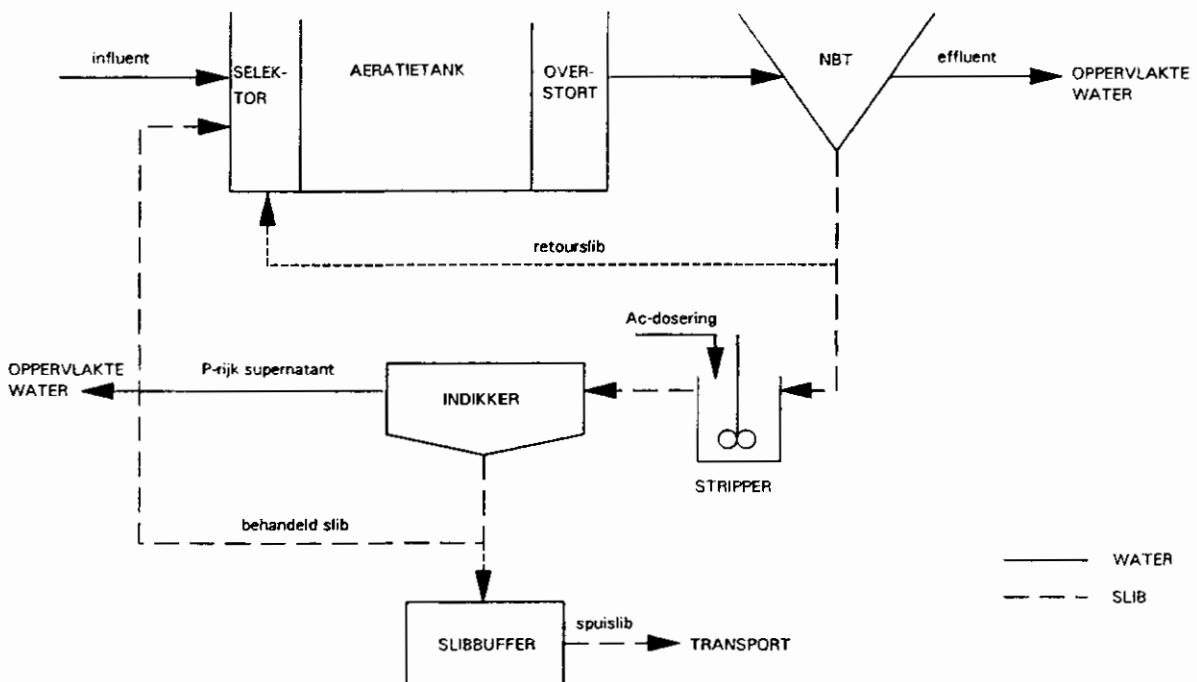
Het fosfaatrijke supernatant is separaat naar het oppervlaktewater afgevoerd. Behandeling ervan maakte geen deel uit van het onderzoek, omdat er met het fysisch/chemisch verwijderen van ortho-fosfaat reeds voldoende ervaring bestaat. Figuur 4 is een flowschema van de omgebouwde rwzi met deelstroomdefosfatering. In bijlage 1b staat een situatieschets van de omgebouwde rwzi met deelstroom defosfatering en intermitterende beluchting.

Het spuislib is tijdens fase 3.1 t/m 3.5 gehaald uit de retourslibstroom. In de spuislibindikker vindt fosfaatafgifte plaats, waardoor met het overloopwater van de spuislibindikker een continue recirculatiestroom van fosfaat ontstond. Om de invloed van deze recirculatiestroom uit te schakelen, is tijdens fase 3.6 en 3.7 van het onderzoek de spuislibafvoer verplaatst naar de indikker van de deelstroom. Hiertoe is op de zuigleiding van de ingedikt slibafvoerpomp een tweede pomp geïnstalleerd.

Deze wijziging in de procesvoering van de rwzi staat in figuur 5 schematisch weergegeven. Specificatie van de gebruikte apparatuur staat in bijlage 2.



Figuur 4 Flowschema van de rwzi Bergambacht (fase 3.1 t/m 3.5) (spuislibafvoer uit retourslib).



Figuur 5 Flowschema van de rwzi Bergambacht (fase 3.6 en 3.7) (spuislibafvoer uit deelstroom).

5 UITVOERING.

5.1 Proefcondities.

5.1.1 Fase 1.

De eerste fase van het onderzoek is onderverdeeld in zeven fasen. Deze staan in tabel 5 vermeld.

Tabel 5 Proefcondities fase 1.

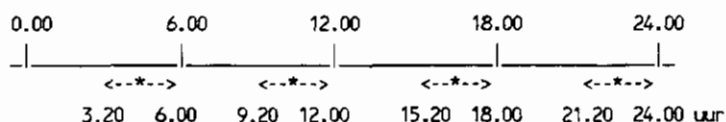
fase	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
datum begin(ddmmjj)	031089	121089	111189	090190	110290	010390	100490
einde(ddmmjj)	091089	081189	111289	080290	260290	030490	150590
duur (dagen)	6	27	30	30	17	34	35
beluchttingsregime	C	I	I	I	I	I	I
OC maximaal (kg O ₂ /h)	50	50	60	60	60	60	60
onbeluchte fasen freq/dag	-	3	3	4	4	4	4
h/dag	-	6.0	6.0	8.0	8.4	9.2	10.4

C = continu

I = intermitterend

Het actuele zuurstofgehalte wordt geregeld op 2 mg/l.

Van de laatste onderzoeksfase (1.7) is in figuur 6 schematisch het dagritme van de beluchting weergegeven.



* onbelucht

Figuur 6 Onbeluchte fasen verdeeld over 24 uur (totaal 10 uur en 40 minuten).

5.1.2 Fase 2.

Tijdens fase 2 is de rwzi omgebouwd tot een installatie waarin onderzoek naar deelstroomdefosfatering kan plaatsvinden. Tijdens deze periode zijn monsters influent, effluent en actiefslib genomen en geanalyseerd volgens het normale bemonsteringsprogramma van het zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden. Wekelijks is de fosfaatafgiftecapaciteit van het slib bepaald (bijlage 3).

5.1.3 Fase 3.

De derde fase van het onderzoek is onderverdeeld in 7 fasen.

De procesvoering in de hoofdstroom is overeenkomstig de werkwijze in fase 1 met uitzondering van fase 3.6 en 3.7, waarbij het spuislib via de indikker van de deelstroom uit het systeem is verwijderd. Anaërobe perioden in de beluchtingsruimte, ten behoeve van selectie van fosfaataccumulerende bacteriën, zijn in fase 3.6 verwijderd. In fase 3.7 zijn deze weer teruggebracht.

De vooraf gekozen instellingen in de deelstroom staan vermeld in tabel 6.

De lengte van de fasen, met uitzondering van fase 3.6, bedroeg meerdere malen de slibleeftijd om zo een steady-state situatie te verkrijgen.

Tabel 6 Principe-instellingen deelstroomproces (fase 3).

fase	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
datum begin (ddmmjj)	230591	050791	050991	171091	210192	070492	060592
einde (ddmmjj)	020791	030991	151091	140192	020492	280492	230692
duur (dagen)	40	60	40	89	72	21	48
SAF (d ⁻¹)	0,40	0,40	0,40	0,20	0,15	0,10	0,10
HRT-strippertank (h)	12	9	4	4	4	4	4
specifieke acetaat-dosering (mg Ac/g ds)	---	15	15	15	30	15	15
anaërobie in hoofdstroom	j	j	j	j	j	n	j
spuislib uit deelstroom	n	n	n	n	n	j	j

j = ja
n = neen

5.1.4 Aanvullend onderzoek.

Tijdens het praktijkonderzoek zijn op laboratoriumschaal aanvullende experimenten uitgevoerd.

De uitgevoerde batchexperimenten staan in tabel 7 vermeld.

Tabel 7 Aanvullend onderzoek praktijkproef.

batchexperiment	doel
meting fosfaatafgiftecapaciteit	bepalen maximale fosfaatafgifte van het slib onder optimale omstandigheden
effect acetaatdosering op fosfaat-afgifte	bepalen of een hogere acetaatdosering tot een verhoogde fosfaatafgiftecapaciteit of -snelheid leidt
effect nitraat op fosfaatafgifte	bepalen of een verhoogde nitraat-N concentratie invloed heeft op fosfaat-afgiftecapaciteit of -snelheid
effect neutralisatie azijnzuur op fosfaatafgifte	bepalen of het neutraliseren van azijnzuur met natronloog invloed heeft op de fosfaatafgiftecapaciteit
full-scale onderzoek	doel
concentratieverloop in beluchtingsruimte (met/zonder influent)	bepalen verloop N en P over de diverse beluchtingsperiodes invloed van extra BZV bij aanvang van anoxische periode ten behoeve van denitrificatie
continue meting en registratie van de redox-potentiaal in de beluchtingstank	vastleggen aërobe, anaërobe en anoxische periodes
theoretisch onderzoek	doel
berekening verblijftijdspreiding strippertank	verklaring lagere waarde bruto P-afgifte in praktijkonderzoek ten opzichte van laboratoriumexperiment

5.2 Bemonstering en analyse.

Ten behoeve van de procesbewaking zijn elke maandag en donderdag steekmonsters actief-slib en effluent genomen. Hiervan zijn de droge stof en de bezinking respectievelijk ammonium en nitraat bepaald.

Elke week is er op laboratoriumschaal een fosfaatafgiftecapaciteit bepaald.

De werkwijze hiervan is overeenkomstig het voorschrift van de STOWA (bijlage 3).

Twee keer per week heeft er een volledige bemonstering plaatsgevonden van alle processtromen. De bemonsteringslocaties, de wijze van bemonsteren en de door het laboratorium uitgevoerde analyses staan in tabel 8 vermeld.

Tabel 8 De locaties, wijze van bemonstering en uitgevoerde analyses
rwzi Bergambacht.

proces- stroom	soort bemonstering	BZVa	CZV	Nkj	NH4	NO3	Ptot	Port	bezink- sel	dr.st.	gloe- rest	pH	Cl	vet- zuren	Ca,Mg Fe,Al
influent	V	*	*	*			*	*	*			*	*	*	*
effluent	T	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
supernatant	T						*	*		*					
actiefslib	S									*	*				
retourslib	T S,G						*		*	*					
gestriptslib	S S,G						*		*	*					
afvoer strippertank	S S,G						*		*	*					
overloopwater indikker	S S,G						*		*	*					
spuislib indikker	S						*	*	*	*					
slibafvoer rwzi	S						*		*	*					

V = volumeproportioneel etmaalmonster
T = tijdsproportioneel etmaalmonster
S = steekmonster
S,G = gefiltreerd steekmonster
' = incidenteel

6 RESULTATEN.

De resultaten van het praktijkonderzoek worden per fase, onderverdeeld in hoofdstroom en deelstroom gepresenteerd en toegelicht.

Onder hoofdstroom wordt de contacttank, het beluchtingscircuit, de nabezinktank en -indien in gebruik- de spuislibindikker verstaan; onder deelstroom de strippertank, de chemicaliëndosering en de indikker.

De begrippen, welke in de tekst worden gebruikt, staan toegelicht in de begrippenlijst (hoofdstuk 10).

Over fase 1 is een RIZA/STOWA werkdocument gepubliceerd [6].

Alle resultaten van fase 3 zijn gebundeld in het RIZA/STOWA werkdocument Meetresultaten [7].

6.1 Fase 1.

Een samenvatting van de resultaten staat vermeld in tabel 9.

Tabel 9 Samenvatting resultaten hoofdstroom fase 1.

fase	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
duur (dagen)	6	27	30	30	17	34	35
slibbelasting	0,064	0,065	0,031	0,047	0,062	0,057	0,041
aërobie slibbelasting (kg BZV/(kg ds.d))	0,064	0,087	0,041	0,071	0,090	0,093	0,074
stikstofbelasting (kg Kj-N/(kg ds.d))	0,013	0,013	0,008	0,013	0,015	0,014	0,013
temperatuur (°C)	17	16	10	9	11	11	11
SVI (ml/g)	66	70	90	126	132	152	212
slibgehalte (g ds/l)	4,4	3,7	5,2	3,7	3,6	3,4	3,6
stikstof (mg/l)							
influent N-kj	59	38	51	43	36	43	45
effluent N-org.	3,9	2,2	4,0	1,9	2,1	1,7	1,7
N-NH ₄	4,6	2,0	1,7	2,3	2,0	1,7	3,7
N-NO ₃	20,0	8,8	17,0	4,0	3,0	3,5	1,6
N-tot.	28,5	13,0	22,7	8,2	7,1	6,9	7,0
fosfor (mg/l)							
influent P-tot.	11,6	7,6	9,7	6,8	6,9	7,6	7,3
P-ortho	4,9	4,1	5,4	3,9	3,0	3,9	3,7
effluent P-tot.	3,7	2,7	3,1	2,4	1,7	2,4	2,0
P-ortho	3,2	2,0	2,5	1,9	1,2	1,9	1,2

Stikstofverwijdering.

Vanaf fase 1.4 is het N-totaalgehalte van het effluent lager dan 10 mg/l bij een slibbelasting variërend van 0,04 tot 0,06 kg BZV/(kg ds.d). Daar deze resultaten gedurende circa 120 dagen zijn gerealiseerd mag worden geconcludeerd dat de nieuwe procesvoering, ten aanzien van stikstofverwijdering, succesvol is geweest.

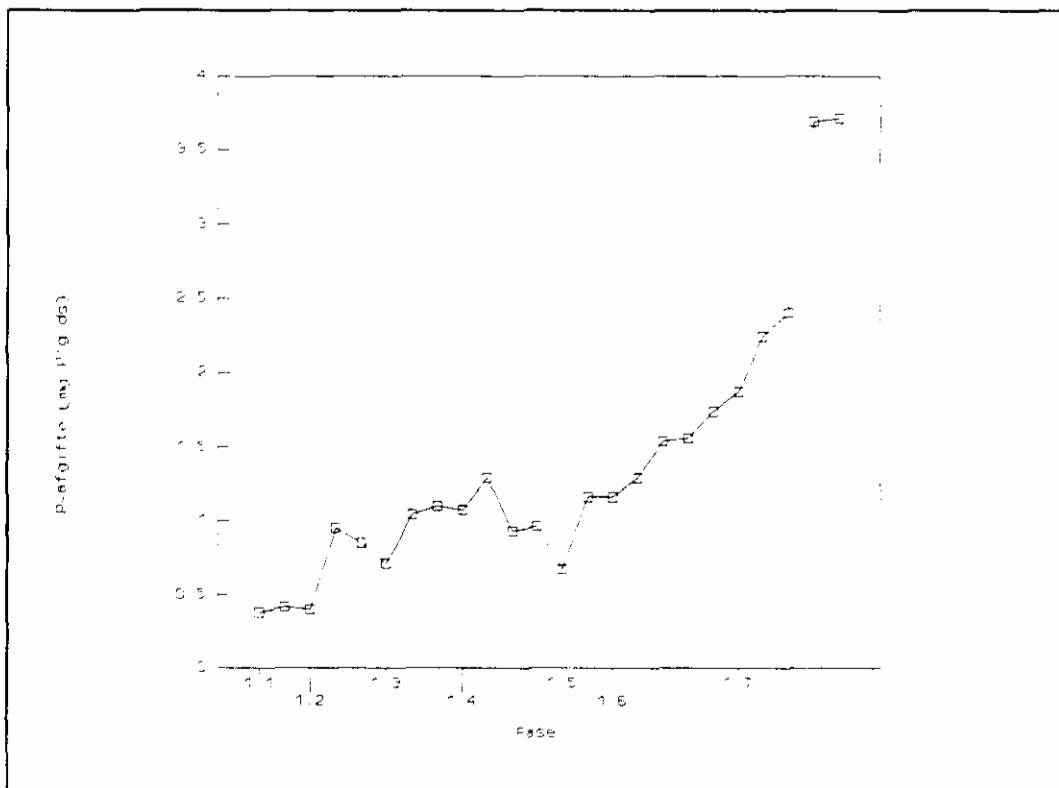
Ook een dalende temperatuur van het actiefslib heeft niet geleid tot verstoring van de biologische processen: Gebleken is dat bij een temperatuur van 10 °C en een slibbelasting van 0,05 kg BZV/(kg ds.d) aan de toekomstige lozingseis van 10 mg N-totaal/l kan worden voldaan.

Slibvolume-index.

In het jaar voorafgaand aan de proefperiode bedroeg de slibvolume-index (SVI) gemiddeld 90 ml/g. De SVI was bij aanvang van fase I relatief laag (circa 70 ml/g). Gedurende fase I is de SVI gestegen tot waarden boven 200 ml/g. Deze stijging is mogelijk deels te wijten aan de nieuwe procesvoering waarbij anaërobe perioden aan het beluchtingsregime zijn toegevoegd. Daarnaast is de werking van de selektor tijdelijk verstoord geweest door overmatige drijf laagvorming. Na het verwijderen van de drijf laag is de SVI gedaald tot 140 à 150 ml/g. Een SVI van circa 140 ml/g wordt, met het oog op een goede verwijdering van het fijne gesuspenderde materiaal, als een gunstige waarde beschouwd.

Fosforverwijdering.

Aan het einde van de proefperiode (fase 1.6 en 1.7) kon een duidelijke toename van de fosfaatafgiftecaciteit van het slib worden waargenomen (zie figuur 7). Hiermee is dus aangetoond dat ook in een systeem met een lage slibbelasting en intermitterende beluchting fosfaataccumulerende bacteriën te selecteren zijn.



Figuur 7 Specifieke fosfaatafgifte van het actiefslib (fase I).

Gedurende het onderzoek in fase I is sprake van teruglevering van fosfaat vanuit de slibbuffers en de spuislibindikker. Het in het actiefslib geaccumuleerde fosfaat wordt hiermee deels aan de hoofdstroom teruggeleverd.

Als gevolg van vorengenoemde beperkingen in het proces trad slechts een beperkte fosfaatverwijdering op.

6.2 Fase 2.

Gedurende fase 2 (ombouwfase) zijn de instellingen van fase 1.7 gehandhaafd. Bij een slibbelasting van 0,045 kg BZV/(kg ds.d) is de N-totaalconcentratie van het effluent gemiddeld 9,3 mg/l geweest.

Het P-totaalgehalte in het effluent heeft gefluctueerd tussen 0,4 en 2,9 mg/l. De fosfaatafgiftecapaciteit van het slib is gemiddeld 3,2 mg P/g ds geweest.

6.3 Fase 3.

Een samenvatting van de resultaten van de hoofdstroom staat vermeld in tabel 10. Aan de hand van on-line redoxmeting is per dag de aërobe, anoxische en anaërobe tijdsduur vastgesteld.

Het beluchtingsregime staat vermeld in tabel 11. De slibbelastingen zijn op diverse manieren berekend en staan in tabel 12 vermeld.

In tabel 13 zijn de resultaten van de deelstroom weergegeven.

Tabel 10 Gemiddelde resultaten hoofdstroom fase 3.

fase		3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
duur (dagen)		40	59	40	89	72	21	48
slibbelasting (kg BZV/kg ds.dag)		0,052	0,043	0,046	0,064	0,079	0,052	0,049
stikstofbelasting (kg N-Kj/kg ds.dag)		0,014	0,013	0,012	0,014	0,017	0,014	0,012
slibleeftijd (dagen)		25	27	23	18	28	22	24
temperatuur (°C)		16	20	18	12	10	13	18
slibgehalte (g ds/l)		4,2	3,5	3,9	3,7	3,7	3,5	4,1
SVI (ml/g)		100	109	107	119	134	152	124
stikstof (mg/l)								
influent	N-kj	37	43	44	44	50	50	46
effluent	N-org.	1,6	2,0	1,4	1,9	2,1	1,9	1,5
	N-NH ₄	2,8	2,2	2,4	5,7	8,3	3,2	2,3
	N-NO ₃	2,4	1,8	2,5	2,7	3,0	3,3	0,8
	N-tot.	6,8	6,0	6,3	10,3	13,4	8,4	4,5
fosfor (mg/l)								
influent	P-tot.	6,2	6,0	7,1	7,8	7,3	6,6	6,9
	P-ortho	2,7	3,2	3,1	3,3	3,7	4,4	3,8
effluent	P-tot.	0,6	0,3	0,3	0,3	0,5	0,8	0,7
	P-ortho	0,4	0,2	0,1	0,1	0,3	0,6	0,4

Tabel 11 Beluchtingsregime fase 3.

fase	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
aëroob (%)	49	50	53	50	67	67	69
anoxisch (%)	44	34	30	27	27	30	20
anaëroob (%)	7	16	17	23	6	3	11
totaal onbelucht (h/d)	11,3	11,3	11,3	11,5	7,2	7,2	7,4

Tabel 12 Slibbelastingen fase 3.

fase	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
slibbelasting (kg BZV/(kg ds.d))							
overall	0,052	0,043	0,046	0,064	0,079	0,052	0,047
aëroob	0,106	0,086	0,087	0,128	0,118	0,078	0,068
aëroob + anoxisch	0,054	0,051	0,055	0,083	0,084	0,053	0,052

Tabel 13 Gemiddelde resultaten deelstroom.

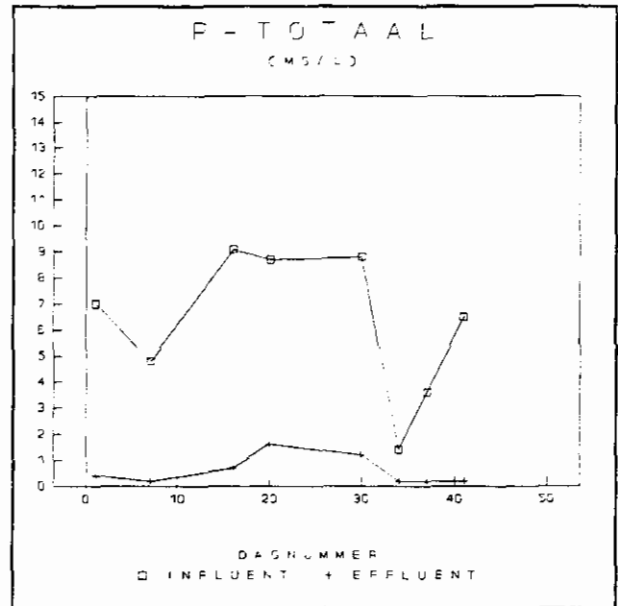
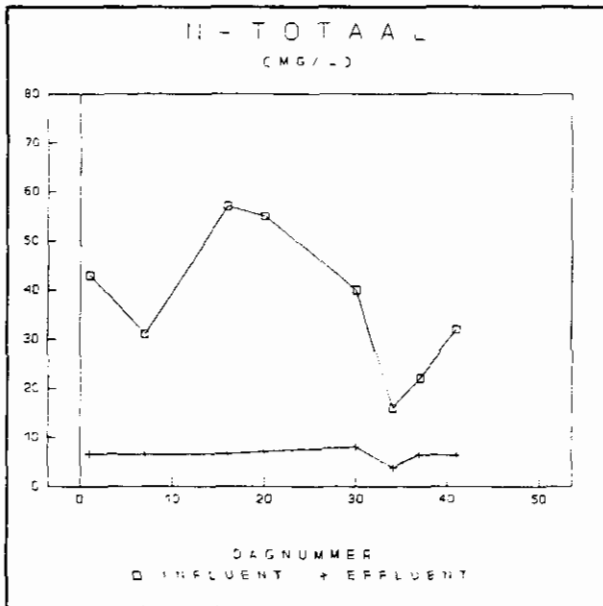
fase	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
SAF (d ⁻¹)	0,51	0,52	0,44	0,26	0,14	0,09	0,08
HRT (h)	14	8,3	4,3	5,3	3,6	3,6	3,8
acetaatdosering mg Ac/g ds	---	11	11	12	30	21	16
mg Ac/mg P released	---	4,6	5,0	5,6	9,5	6,3	5,4
P-vracht supernatant kg P-ortho/d	0,9	3,3	2,7	1,7	1,2	1,7	1,8
% P-influent	7	35	27	13	9	18	16
P-gehalte slib (% van de droge stof) voor stripping	2,3	2,2	1,9	2,2	2,5	2,7	2,6
na stripping	2,2	1,9	1,8	1,9	2,2	2,0	2,1
P-afgiftecapaciteit (mg P/g ds)	3,9	3,5	2,7	3,8	4,6	4,9	4,7
P-afgifte (mg P/g ds)"							
bruto	1,0	2,4	2,1	2,7	3,3	3,5	3,1
netto	0,4	1,3	1,2	1,4	1,7	2,5	2,1

" zie begrippenlijst pag. 71.

6.3.1 Fase 3.1.

Procescondities.

hoofdstroom	deelstroom
slibbelasting: 0,052 kg BZV/(kg ds.d) 0,014 kg N-Kj/(kg ds.d)	introductie stripperlijn
slibleeftijd : 25 dagen	SAF : 0,51 d ⁻¹
temperatuur : 16 °C	HRT : 14 h
droge stof : 4,2 g/l	acetaatdoserings: 0 mg Ac/g ds
SVI : 100 ml/g	
aëroob : 49 %	anaëroob : 24 %
anoxisch : 44 %	
anaëroob : 7 %	

Resultaten.Hoofdstroom.

Na het introduceren van de deelstroom blijft het N-totaalgehalte in het effluent op een stabiele waarde beneden de eis van 10 mg/l.

Mede als gevolg van een relatief hoge watertemperatuur bedroeg het N-totaalgehalte in het effluent gemiddeld slechts 6,8 mg/l.

In fase 3.1 zijn een aantal piekbelastingen gemeten (etmaalwaarden 40% hoger dan gemiddeld). Door de gunstige temperaturen hebben deze piekbelastingen geen invloed gehad op de N-totaalconcentratie van het effluent.

De slibvolume-index is tijdens deze periode vrijwel constant 100 ml/g.

De P-totaalconcentratie in het effluent heeft gefluctueerd tussen 0,2 en 1,6 mg/l (gemiddeld 0,6 mg P-totaal/l). Deze gemiddeld lage P-concentratie is wellicht veroorzaakt door het introduceren van de deelstroom, waardoor de selectiedruk van fosfaataccumulerende bacteriën is toegenomen.

Deelstroom.

In de (anaërobe) strippertank kan het slib het tijdens de aërobe periode opgenomen fosfaat afstaan. De bruto P-afgifte van het slib is slechts 1 mg P/g ds.

Dit resulteert in een P-vracht met het supernatant van 0,9 kg/d, wat gelijk is aan 7 % van P-influent.

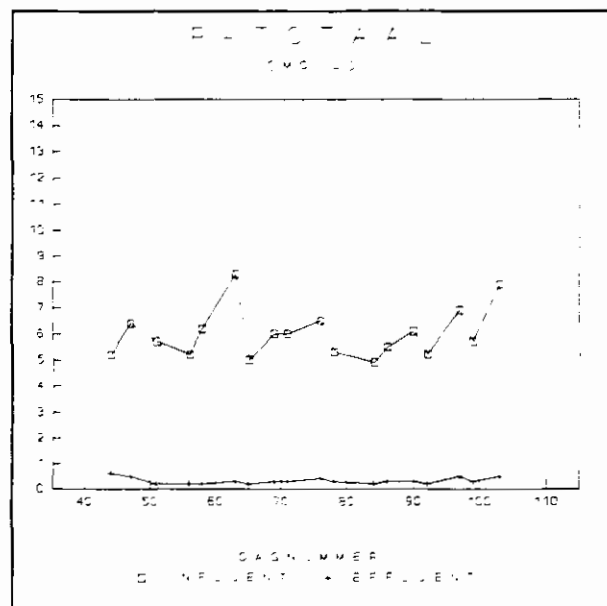
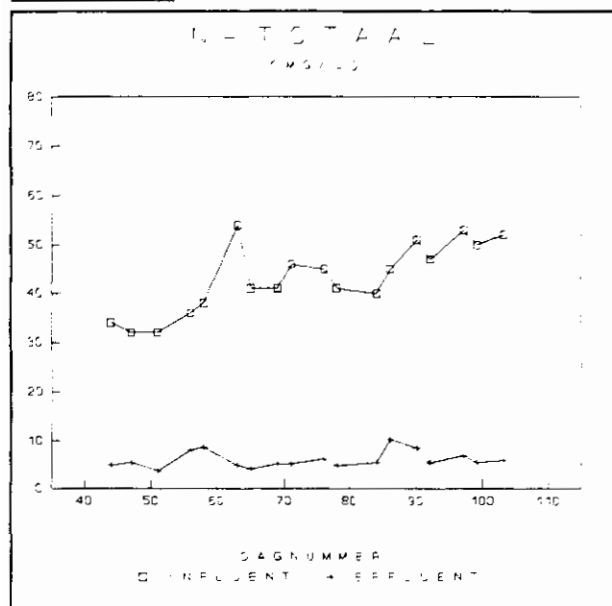
In laboratoriumproeven is, bij aanwezigheid van een overmaat acetaat, een aanzienlijk hogere fosfaatafgifte gemeten van 3,9 mg P/g ds. Hiermee is aangetoond dat de afwezigheid van acetaat in de strippertank onvoldoende kan worden gecompenseerd door het aanhouden van een relatief lange verblijftijd (14 h).

6.3.2 Fase 3.2.

Procescondities.

hoofdstroom		deelstroom	
slibbelasting:	0,043 kg BZV/(kg ds.d) 0,013 kg N-Kj/(kg ds.d)	introductie acetaatdoserings	
slibleeftijd :	27 dagen	SAF :	0,52 d ⁻¹
temperatuur :	20 °C	HRT :	8,3 h
droge stof :	3,5 g/l	acetaatdoserings:	11 mg Ac/g ds
SVI :	110 ml/g	anaëroob :	16 %
aëroob :	50 %		
anoxisch :	34 %		
anaëroob :	16 %		

Resultaten.



Hoofdstroom.

Slibbelasting, slibleeftijd en temperatuur zijn in fase 3.2 gunstig voor een vergaande stikstofverwijdering. De influentstikstofvracht is in deze periode relatief laag geweest (65 kg N-Kj/d ten opzichte van gemiddeld 75 kg N-Kj/d).

De N-totaalconcentratie in het effluent blijft beneden de eis van 10 mg N-totaal/l (gemiddeld 6,1 mg/l).

Door het geringere belastingniveau van de hoofdstroom in fase 3.2 is het anaëroobe aandeel en daarmee de selectiedruk toegenomen.

Door het introduceren van de acetaatdosering in de stripperlijn is de fosfaatconcentratie in het effluent van de hoofdstroom gedaald tot gemiddeld 0,3 mg P-totaal/l.

De helft hiervan is ortho-fosfaat. Daarnaast is ook de P-belasting lager dan in de voorgaande fase (9 respectievelijk 14 kg P/d)

Aan het einde van deze fase vertoont de SVI een stijging van 95 ml/g tot circa 120 ml/g.

Deelstroom.

In fase 3.2 is de dosering van acetaat geïntroduceerd. Gelijktijdig is de verblijftijd in de strippertank verkort van 14 naar 8,3 uur.

De dosering van acetaat, in de vorm van met natronloog geneutraliseerd azijnzuur, heeft een positieve invloed op de P-afgifte van het slib in de strippertank. De bruto P-afgifte is gestegen van 1 mg P/g ds in fase 3.1 naar 2.5 mg P/g ds in fase 3.2. Hierdoor stijgt de fosfaatvracht met het supernatant naar circa 4 kg P/d, wat overeenkomt met 35 % van de influent P-vracht.

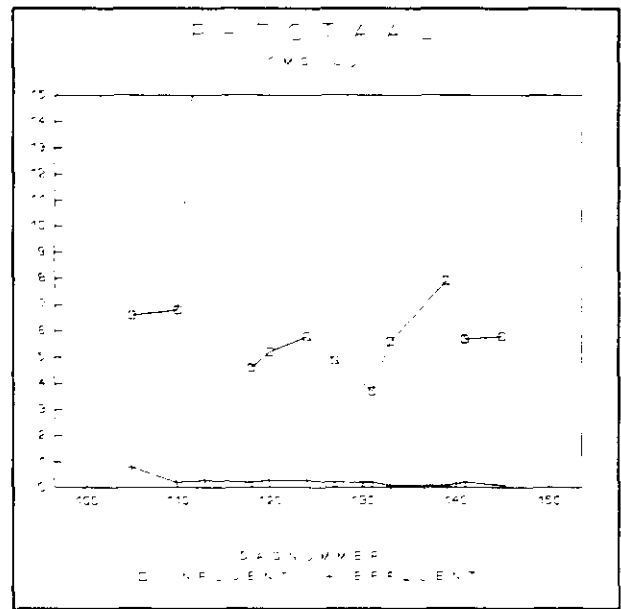
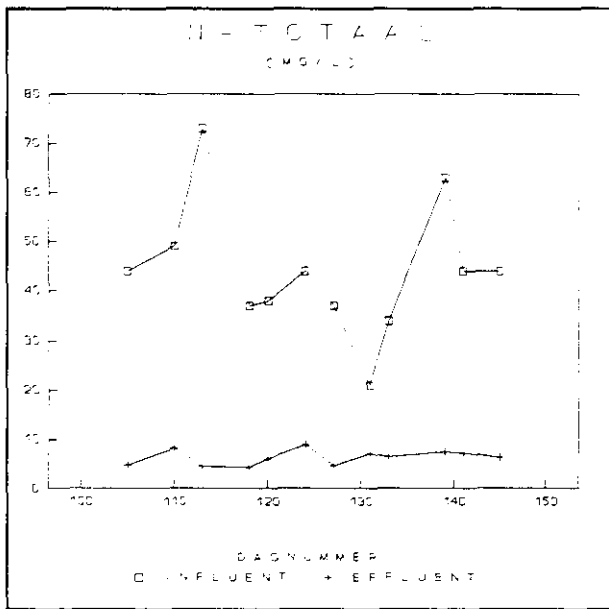
In fase 3.2 is sprake van een trendmatige toename van de bruto P-afgifte van het slib. Kennelijk zorgt de introductie van de deelstroom met acetaatdosering voor een positieve bijdrage in de P-afgifte. Een verlaging van de HRT in de strippertank van 14 naar 8,3 h heeft geen invloed gehad.

6.3.3 Fase 3.3.

Procescondities.

hoofdstroom	deelstroom
slibbelasting: 0,046 kg BZV/(kg ds.d) 0,012 kg N-Kj/(kg ds.d)	
slibleeftijd : 23 dagen temperatuur : 18 °C droge stof : 3,9 g/l SVI : 105 ml/g	SAF : 0,44 d ⁻¹ HRT : 4,3 h acetaatdosering: 11 mg Ac/g ds
aëroob : 53 % anoxisch : 30 % anaëroob : 17 %	anaëroob : 8 %

Resultaten.



Hoofdstroom.

De slibbelasting, slibleeftijd en temperatuur zijn in fase 3.3 gunstig voor vergaande stikstofverwijdering. Deze blijft dan ook goed: N-totaal gehalten < 10 mg/l zijn bij bovenstaande procescondities en instellingen goed haalbaar.

De slibvolume-index fluctueert tijdens deze fase tussen 90 en 130 ml/g.

De P-belasting is in fase 3.3 evenals in fase 3.2 aan de lage kant (10 kg P/d). Het P-totaal gehalte van het effluent bedroeg gemiddeld 0,3 mg/l. Het ortho-fosfaat gehalte is verder gedaald tot 0,1 mg/l.

Gebruikelijke fluctuaties in de influent P-vracht, als gevolg van RWA, hebben nagenoeg geen invloed op de P-totaalconcentratie van het effluent.

Deelstroom.

Uit lab-experimenten (bijlage 4) blijkt dat de maximale P-afgifte wordt bereikt binnen 3 uur. Op basis hiervan is de hydraulische verblijftijd van het slib in de strippertank verlaagd naar 4 uur. Dit heeft geen negatieve invloed gehad op het P-totaalgehalte in het effluent van de hoofdstroom.

De bruto P-afgifte van het slib is in deze fase gedaald van 3,5 naar 1,6 mg P/g ds. Deze daling van de P-release is ook waargenomen bij de laboratorium-experimenten. Gemiddeld is over deze fase 3 kg P/d (circa 27% P-influent) uit het systeem via de deelstroom verwijderd.

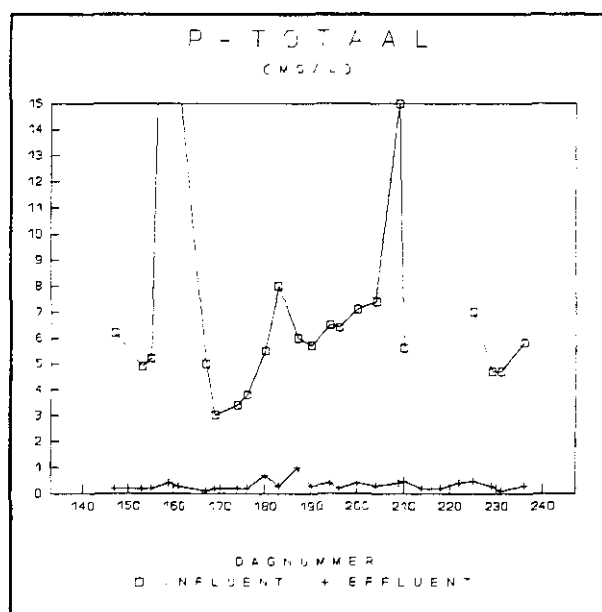
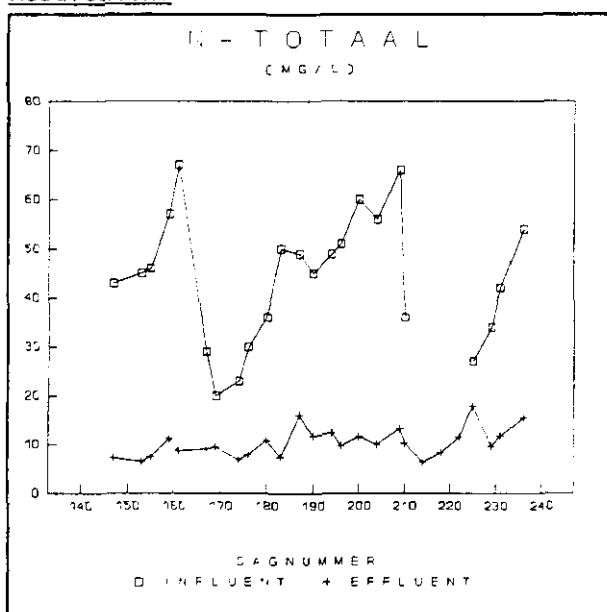
De daling van de bruto P-afgifte, in combinatie met gelijkblijvende effluentwaarden, kan worden verklaard door een overgedimensioneerde deelstroom: Doordat (te) veel slib in de strippertank wordt ontdaan van het opgenomen fosfaat, daalt het gemiddelde 'fosfaatbeladingsniveau' van het actiefslib.

Het vorenstaande wordt bevestigd door het fosfaatgehalte van het slib. Aan het begin van fase 3.3 bedraagt het P-gehalte in het slib 2,2 % van de droge stof, aan het einde van fase 3.3 nog slechts 1,9 % van de droge stof.

6.3.4 Fase 3.4.

Procescondities.

hoofdstroom		deelstroom	
slibbelasting:	0,064 kg BZV/(kg ds.d) 0,014 kg N-Kj/(kg ds.d)		
slibleeftijd:	18 dagen		
temperatuur:	12 °C	SAF	: 0,26 d ⁻¹
droge stof:	3,7 g/l	HRT	: 5,3 h
SVI	: 120 ml/g	acetaatdoserings:	12 mg Ac/g ds
aëroob	: 50 %	anaëroob	: 6 %
anoxisch	: 27 %		
anaëroob	: 23 %		

Resultaten.Hoofdstroom.

De BZV-slibbelasting is ten opzichte van fase 3.3 met circa 30% gestegen.

De slibleeftijd is hierdoor gedaald tot gemiddeld 18 dagen. De groei van nitrificerende bacteriën komt bij deze slibleeftijd niet in gevaar. Echter door de dalende temperatuur in de aëratietank tot circa 12 °C is de nitrificatiesnelheid van het slib gedaald. Hierdoor is het ammoniumgehalte in het effluent gestegen waardoor de effluenteis van 10 mg N-totaal/l is overschreden (gemiddeld 10,3 mg/l).

De beluchte (aërobe) periode is in fase 3.4 niet verlengd, omdat prioriteit is gegeven aan de selectie van fosfaataccumulerende bacteriën. In fase 3.5 is vervolgens de beluchte (aërobe) periode wel verlengd ten behoeve van het behoud van voldoende nitrificatie.

Het P-totaal gehalte in het effluent van de hoofdstroom is tijdens deze fase constant lager geweest dan de streefwaarde van 1 mg/l (gemiddeld 0,3 mg/l). De verlaging van de slibarbeidsfactor van 0,4 naar 0,26 d⁻¹ heeft hierop geen invloed gehad.

Aan het begin van fase 3.4 is sprake van een hoge fosfaatbelasting (5 maal de gemiddelde P-belasting), waarvan de oorzaak onbekend is gebleven. Als gevolg van het bij aanvang van fase 3.4 lage 'beladingsniveau' van het actiefslib kan dit verhoogde P-aanbod door het slib worden opgenomen. Er wordt geen verhoging van de P-concentratie in het effluent geconstateerd.

De in fase 3.4 optredende extreme piekbelastingen leiden slechts tot een tijdelijke verhoging van het effluent P-gehalte: Er is sprake van een grote processtabiliteit. Gelijktijdig loopt het P-gehalte van het slib op van 1,9 % naar 2,3 % van de droge stof als gevolg van de verlaging van de SAF van 0,4 naar 0,26 d⁻¹ en door de hogere P-aanvoer.

De slibvolume-index is tijdens deze fase, ten opzichte van fase 3.3, licht gestegen van 105 naar 120 ml/g.

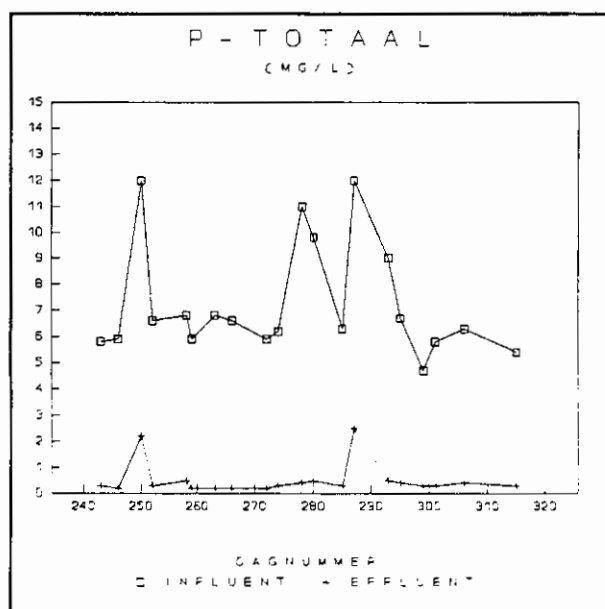
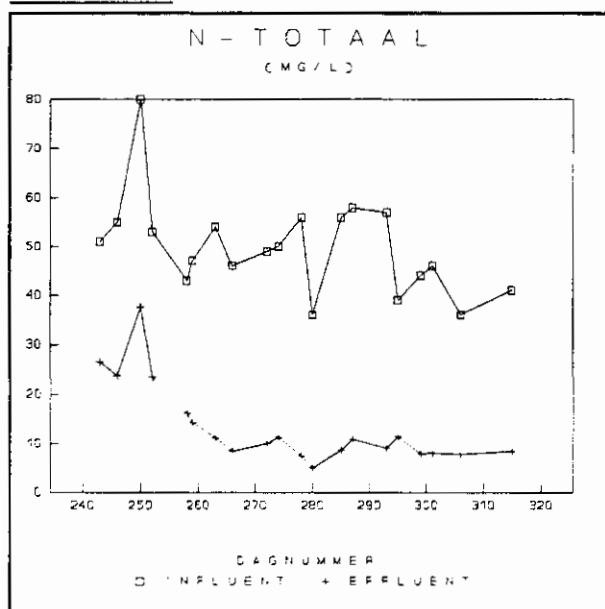
Deelstroom.

Als gevolg van het verlagen van de SAF stijgt de bruto P-afgifte van het slib aanvankelijk tot 4 mg P/g ds, waarna deze daalt naar 2,7 mg P/g ds. Laboratorium-experimenten vertonen eenzelfde verloop. De tijdelijke daling valt samen met een onevenredige piekbelasting (400 % BZV en 200 % N-Kj) ten opzichte van de ontwerp-capaciteit.

6.3.5 Fase 3.5.

Procescondities.

hoofdstroom	deelstroom
slibbelasting: 0,079 kg BZV/(kg ds.d) 0,017 kg N-Kj/(kg ds.d)	
slibleeftijd : 22 dagen	
temperatuur : 10 °C	SAF : 0,14 d ⁻¹
droge stof : 3,7 g/l	HRT : 3,6 h
SVI : 135 ml/g	acetaatdoserings: 30 mg Ac/g ds
aëroob : 67 %	anaëroob : 2 %
anoxisch : 27 %	
anaëroob : 6 %	

Resultaten.Hoofdstroom.

De BZV en de N-kj vracht van het influent zijn in deze fase gestegen met 25 respectievelijk 13 % ten opzichte van fase 3.4.

Aan het begin van fase 3.5 is de N-totaalconcentratie in het effluent gestegen tot boven 10 mg/l. Dit was het gevolg van een verhoogde ammoniumconcentratie.

Als oorzaken voor deze (tijdelijke) verhoging zijn aan te geven:

- verhoogde belasting;
- een, als gevolg van een processtoring, te laag droge-stofgehalte in de beluchtingstank;
- lage watertemperatuur (9 °C).

Om de nitrificatie te verbeteren is vervolgens de duur van de totale beluchte periode verlengd van 50 naar 67%. Tegelijkertijd is het droge-stofgehalte in de beluchtingstank verhoogd tot de oorspronkelijke waarde van 3,5 - 4 kg ds/m³.

De combinatie van deze maatregelen heeft geresulteerd in N-totaalconcentraties lager dan 10 mg/l.

Hieruit blijkt dat ondanks een verhoogde slibbelasting en een lage temperatuur toch voldaan kan worden aan de N-totaaleis van 10 mg N-totaal/l.

De N-totaalconcentratie van het effluent is in fase 3.5 gemiddeld 13,4 mg/l. Wanneer de resultaten van de verstoorde procesvoering in het begin van deze periode niet in dit gemiddelde worden meegenomen is de concentratie 9,7 mg N-totaal/l.

Door het aanpassen van het beluchtingsregime is de selectiedruk op de fosfaat-accumulerende bacteriën in de hoofdstroom gedaald. Deze is nu weer op eenzelfde niveau als in fase 3.1. De totale selectiedruk is echter in fase 3.5 lager door de lager ingestelde SAF.

Het P-totaalgehalte van het effluent is in deze fase licht gestegen van 0,3 naar 0,5 mg P/l: Er wordt dus nog ruimschoots voldaan aan de eis van 1 mg P-tot/l. De nieuwe instellingen van de deelstroom en een lagere buitentemperatuur hebben hierop geen invloed gehad. Pieken in de fosforaanvoer leiden in fase 3.5 incidenteel tot overschrijdingen van de effluenteis van 1 mg/l. Deze overschrijdingen worden veroorzaakt door een sterke stijging van de P-ortho concentratie in het effluent.

De SVI is ten opzichte van fase 3.4 enigszins gestegen (van 120 naar 135 ml/g).

Deelstroom.

In fase 3.4 is de SAF gehalveerd, waardoor het P-beladingsniveau van het slib is verhoogd. In fase 3.5 is de specifieke acetaatdosering verhoogd van 12 naar 30 mg Ac/g ds. Dit leverde geen verbetering van de acetaatbenutting op.

In de praktijkinstallatie verslechterde de acetaatbenutting van 5,6 mg Ac/mg P_{released} in fase 3.4 naar 9,5 mg Ac/mg P_{released} in fase 3.5.

Uit laboratoriummetingen (bijlage 4) is gebleken dat de optimale acetaatdosering is gelegen bij 15 mg Ac/g ds.

Daarom is in fase 3.6 de acetaatdosering teruggebracht naar 15 mg Ac/g ds.

Door de verhoogde P-vracht met het influent is, bij een gelijkblijvende P-vracht met het effluent, het P-gehalte in het actiefslib gestegen van 2,2 % in fase 3.4 naar 2,5 % in fase 3.5.

Ondanks een verdubbeling van de acetaatdosering is de bruto P-afgifte van het slib in fase 3.5, na een aanvankelijke stijging, gedaald van 3,1 naar 2 mg P/g ds. Hiervoor is geen eenduidige verklaring vastgesteld.

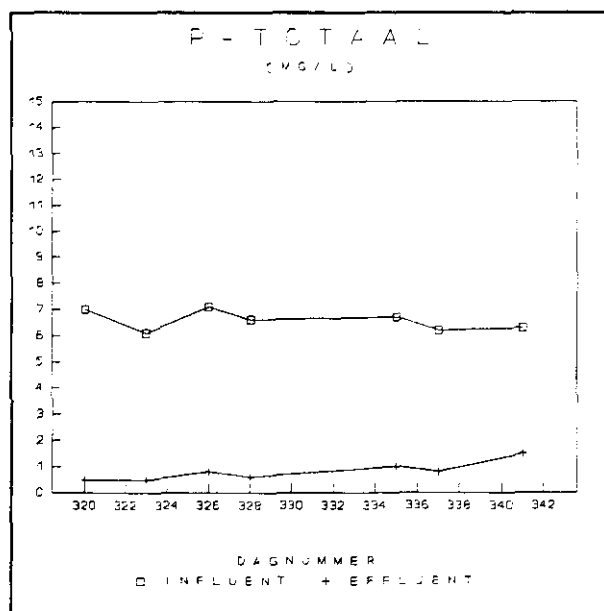
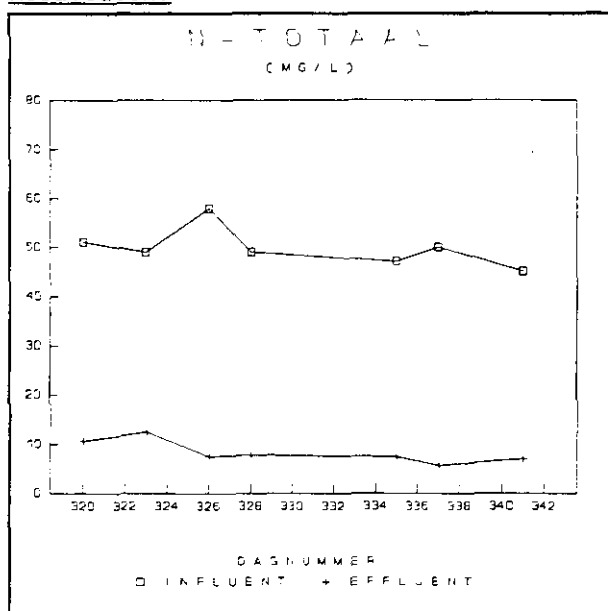
De gevoeligheid voor piekbelastingen is in deze fase groter geworden. Interne circulatie van fosfaat via de spuislibindikker kan hier invloed op hebben.

Daarom is in fase 3.6 de spuislibstroom verlegd naar de indikker van de deelstroom. Deze ombouw is reeds beschreven in hfst 4.4. De fosfaatafvoer wordt hierdoor verlegd van de spuislibstroom naar het supernatant.

6.3.6 Fase 3.6.

Procescondities.

hoofdstroom	deelstroom
slibbelasting: 0,052 kg BZV/(kg ds.d) 0,014 kg N-Kj/(kg ds.d)	spuislib uit deelstroom
slibleeftijd : 22 dagen	SAF : 0,09 d ⁻¹
temperatuur : 13 °C	HRT : 3,6 h
droge stof : 3,5 g/l	acetaatdoserings: 21 mg Ac/g ds
SVI : 150 ml/g	
aëroob : 67 %	anaëroob : 1 %
anoxisch : 30 %	
anaëroob : 3 %	

Resultaten.Hoofdstroom.

De BZV-slibbelasting is in deze fase gelijk aan de ontwerpwaarde.

Door het verlengen van de beluchtingstijd in fase 3.5 en door een temperatuur van 13 °C is de N-totaalconcentratie weer gedaald tot beneden 10 mg/l (gemiddeld 8,4 mg/l).

Selectie in de hoofdstroom heeft nauwelijks plaatsgevonden.

De SAF en daarmee de selectie in de deelstroom is verder verlaagd.

Interne recirculatie van fosfaat via de spuislibindikker is weggenomen door de spuislibstroom te verleggen naar de indikker van de deelstroom.

Door bovengenoemde wijzigingen in de procesvoering is het P-totaal gehalte in het effluent gestegen van 0,5 tot 1,5 mg/l als gevolg van een stijgende P-orthoconcentratie (figuur 14 pag. 57).

De SVI is gestegen van gemiddeld 135 in fase 3.5 naar 150 ml/g in fase 3.6.

Deelstroom.

Door een verdere verlaging van de SAF is het P-beladingsniveau van het slib verder toegenomen. De P-afgiftecapaciteit van het slib neemt toe tot gemiddeld 4,9 mg P/g ds. Ook de bruto P-afgifte is gestegen tot 3,5 mg P/g ds.

Door het verlagen van de specifieke acetaatdosering en door een verhoogde bruto P-afgifte is de acetaatbenutting verhoogd.

De P-vracht met het supernatant neemt door het verplaatsen van de spuislibaftap toe van 9 % van de influent P-vracht in fase 3.5 tot 18 % in fase 3.6.

Daar de P-totaalconcentratie in fase 3.6 de eis van 1 mg/l regelmatig overschrijdt is in fase 3.7 de anaërobe periode in de hoofdstroom teruggebracht.

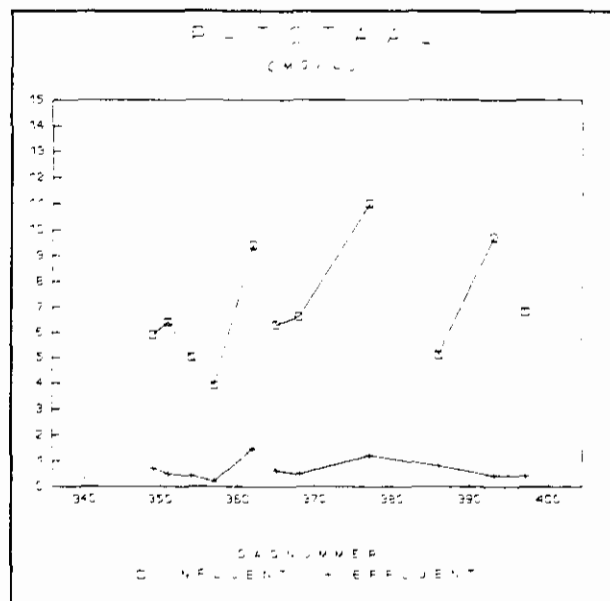
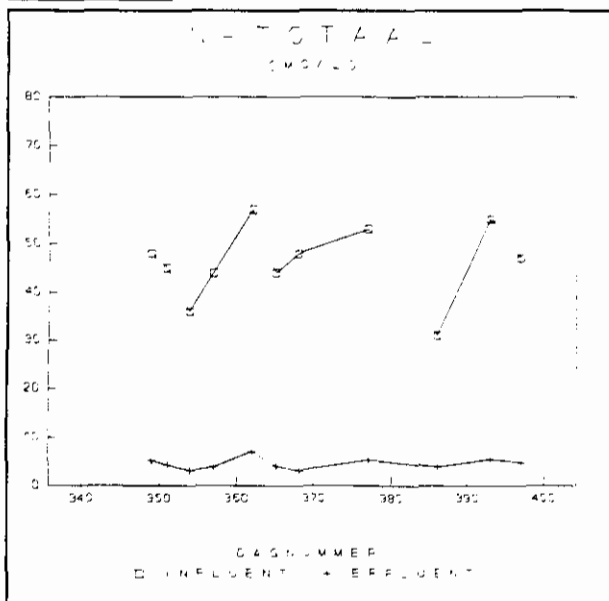
Bij een SAF van $0,09 \text{ d}^{-1}$ blijkt aanvullende selectie van fosfaataccumulerende bacteriën in de hoofdstroom noodzakelijk om aan de stringente fosforlozingseisen te kunnen voldoen.

6.3.7 Fase 3.7.

Procescondities.

hoofdstroom		deelstroom	
slibbelasting: 0,049 kg BZV/(kg ds.d) 0,012 kg N-Kj/(kg ds.d)			
slibleeftijd :	24 dagen	SAF :	$0,09 \text{ d}^{-1}$
temperatuur :	18 °C	HRT :	3,8 h
droge stof :	4,1 g/l	acetaatdosering:	16 mg Ac/g ds
SVI :	125 ml/g		
aëroob :	69 %	anaëroob :	1 %
anoxisch :	20 %		
anaëroob :	11 %		

Resultaten.



Hoofdstroom.

Na het terugbrengen van aanvullende selectie in de hoofdstroom daalt het P-ortho gehalte in het effluent. Het P-totaalgehalte is in fase 3.7 gemiddeld 0,7 mg P-totaal/l. De gevoeligheid voor piekbelastingen is, in vergelijking met bijvoorbeeld fase 3.4, relatief groot.

De stikstofverwijdering verloopt bij een temperatuur van 18 °C en een slibleeftijd van 24 dagen uitstekend. Gemiddeld over deze fase is het N-totaal gehalte in het effluent 4,5 mg/l geweest.

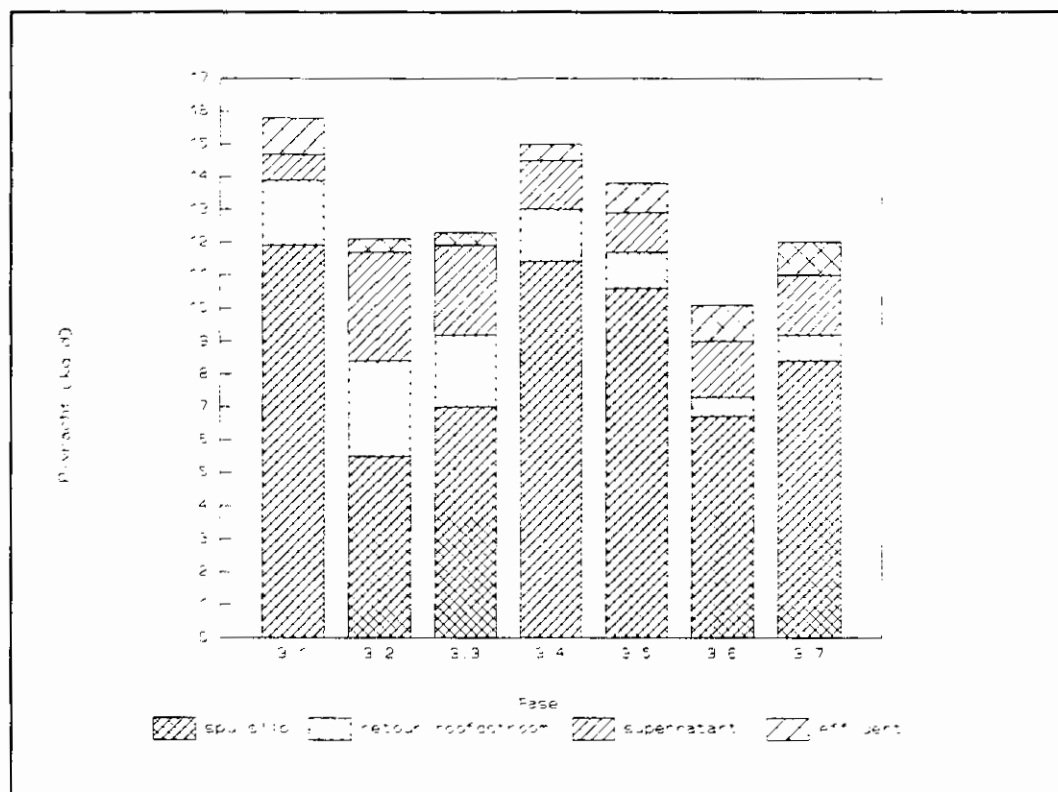
De SVI is tijdens deze fase gedaald tot 125 ml/g.

Deelstroom.

Tijdens fase 3.7 blijft de P-verwijdering met het supernatant op een gelijk niveau met fase 3.6. Een verhoogde aanvoer met het influent leidt niet tot een verhoogde P-afvoer met het supernatant. Een verhoogde acetaatdosering zou hierop geen invloed hebben gehad omdat batch-experimenten tot dezelfde afgiftecapaciteit hebben geleid. Daarnaast is het P-gehalte van het slib na stripping circa 2 % hetgeen overeenkomt met het normale fosforgehalte van actiefslib. Het acetaatverbruik is gedaald van 6,3 naar 5,4 mg Ac/mg P_{released}. De fosfaatafgiftecapaciteit fluctueert sterk tussen de 3,2 en 6,8 mg P/g ds. Een eenduidige verklaring hiervoor is niet vastgesteld.

6.4 Fosforbalansen.

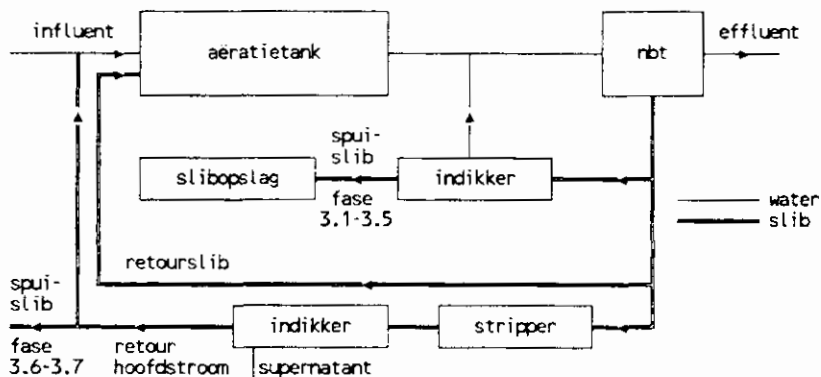
Over de verschillende onderzoeksfasen zijn fosforbalansen opgesteld welke in figuur 8 staan weergegeven.



Figuur 8. Fosforbalans.

De balansen zijn sluitend gemaakt door de resterende P-hoeveelheid te beschouwen als zijnde afgevoerd met het spuislib.

De in de balansen genoemde begrippen zijn in figuur 9, een blokschema van de rwzi Bergambacht, gevisualiseerd.



Figuur 9 Blokschema bij fosforbalansen.

Over de verschillende fasen is een dalende P-vracht te constateren in de retour hoofdstroom en in het supernatant. Deze daling is te verklaren door de steeds kleiner wordende SAF. Hierdoor neemt het slibdebiet en daarmee tevens de te strippen P-vracht door de deelstroom af. Dit resulteert direct in een lager wordende P-vracht met het supernatant en met de retour hoofdstroom. Van fase 3.1 → 3.2 is echter een stijging van de P-vracht met het supernatant gemeten. Deze stijging is het gevolg van de introductie van de acetaatdosering.

Over de verschillende fasen neemt de P-vracht met het effluent geleidelijk toe. Steeds meer fosfor wordt via het spuislib uit het systeem verwijderd.

In fase 3.5 lijkt het slib maximaal beladen te zijn omdat een verdere verlaging van de SAF in fase 3.5 leidt tot een relatief sterke stijging van de effluent P-vracht. Een andere oorzaak voor deze verschuiving zou kunnen zijn dat, door het wegvalLEN van de selectiedruk in de beluchtingstank in fase 3.5, het aandeel fosfaataccumulerende bacteriën is gedaald.

In fase 3.6 neemt de P-vracht met het effluent duidelijk toe. Het verwijderen van de selectiedruk in de hoofdstroom en het verlagen van de SAF leidt tot een verminderde selectie van fosfaataccumulerende bacteriën.

De invloed van het verleggen van de spuislibstroom naar de indikker van de deelstroom (fase 3.6 en 3.7) is duidelijk waarneembaar. De P-vracht van de "retour hoofdstroom" neemt af, de P-vracht van het supernatant neemt toe.

In fase 3.7 is selectie van fosfaataccumulerende bacteriën in de hoofdstroom weer teruggebracht. Ondanks de licht gestegen P-aanvoer is de P-afvoer met het effluent gedaald. De hoeveelheid fosfor in het supernatant nam niet toe, zodat de verbeterde P-verwijdering resulteerde in een verhoogde P-afvoer met het spuislib. Hierdoor voldeed het effluent weer aan de lozingseis.

6.5 Aanvullend onderzoek.

In dit hoofdstuk worden alleen de belangrijkste conclusies van het aanvullend onderzoek weergegeven. Voor de volledige resultaten ervan wordt naar de bijlagen verwezen.

* Meting fosfaatafgiftecapaciteit (bijlage 3).

Onder optimale omstandigheden kan de maximale fosfaatafgifte van het slib worden gemeten. Het voorschrift voor deze bepaling staat vermeld in bijlage 3. De P-afgiftecapaciteit varieerden van 3 tot 6 mg P/g ds. Het verloop van de P-afgiftecapaciteit in fase 3 is weergegeven in figuur 20 (release-meting).

* Effect acetaatdosering op fosfaatafgifte (bijlage 4).

Uit deze experimenten is gebleken dat een specifieke acetaatdosering van 15 mg Ac/g ds tot een maximale fosfaatafgiftecapaciteit en een maximale fosfaat-afgiftesnelheid leidt.

Een verblijftijd van 3 uur in de strippertank is voldoende om het slib het opgenomen fosfaat weer af te laten staan.

* Effect nitraat op fosfaatafgifte (bijlage 5).

Aanwezigheid van nitraat-N remt de fosfaatafgifte.

Wanneer het nitraat door denitrificatie is weggenomen, is de fosfaatafgifte-snelheid van het slib gelijk aan de situatie zonder nitraatdosering.

Nitraat-N heeft dus een tijdelijke invloed op de releasesnelheid. De maximale fosfaatafgiftecapaciteit wordt echter niet gehaald.

Een te lage acetaatdosering lijkt hier debet aan. Er zal dus moeten worden gestreefd naar een laag nitraatgehalte in het retourslib of er zal meer acetaat moeten worden gedoseerd.

* Effect neutralisatie azijnzuur op fosfaatafgifte (bijlage 6).

Het toevoegen van azijnzuur, bij een specifieke acetaatdosering van 30 mg Ac/g ds, leidt tot een pH-daling van het retourslib met 1 pH-eenheid.

Een (stoichiometrische) neutralisatie van azijnzuur van minder dan 50% leidt tot een sterk toenemende remming van de fosfaatafgiftecapaciteit.

In de praktijkinstallatie is het azijnzuur continu voor circa 100 % geneutraliseerd. Op basis van batch-experimenten lijkt echter een stoichiometrische neutralisatie van 50% voldoende.

* Concentratieverloop in beluchtingsruimte met/zonder influent (bijlage 7).

Overgang van anoxische naar anaërobe omstandigheden vindt plaats bij een redox-potentiaal van -60 mV, de nitraat-N concentratie is dan circa 0,4 mg/l. Toevoegen van een extra hoeveelheid BZV (bij aanvang van een anoxische periode) verhoogt de denitrificatiesnelheid aanzienlijk.

* Redoxpotentiaal in beluchtingstank (bijlage 8).

Uit de praktijkproef is gebleken dat het verloop van de redoxpotentiaal goed reproduceerbaar is. Tevens lijkt deze een goede regelparameter te zijn voor actief-slibsystemen met vergaande N-verwijdering.

* Verblijftijdspreiding strippertank (bijlage 9).

- Uit afgifte-experimenten is gebleken dat een nagenoeg volledige afgifte wordt bereikt na 3 uur anaërobe verblijftijd in de strippertank (bijlage 4).

- In de praktijkinstallatie is een gemiddelde hydraulische verblijftijd aangehouden van 3,7 h. Ondanks de langere verblijftijd in de praktijkinstallatie is een geringere fosfaatafgifte gemeten.

Dit kan worden verklaard door de spreiding in de verblijftijd in de volledig gemengde strippertank: 60 % van het slib heeft een kortere verblijftijd dan de benodigde 3 h.

Hieruit volgt dat een gedeelte van het slib niet al het fosfaat kan afstaan. Het gevolg hiervan is dat er minder fosfaat door het slib kan worden afgestaan dan op basis van batchexperimenten maximaal mogelijk is.

7 KOSTENVERGELIJKING.

7.1 Algemeen.

In dit hoofdstuk wordt een vergelijking gemaakt tussen de kosten van defosfatering voor drie verschillende technieken:

- simultane chemische defosfatering;
- biologische defosfatering in de hoofdstroom;
- biologische defosfatering in een deelstroom.

De kostenvergelijking is uitgevoerd op twee schaalniveau's:

- 40.000 ie à 50 g BZV (\equiv 53.000 ie à 136 g TZV);
- 100.000 ie à 50 g BZV (\equiv 132.000 ie à 136 g TZV).

Uitsluitend kosten die direct of indirect aan defosfatering toe zijn te wijzen worden in beschouwing genomen. De geraamde kosten zijn vergelijkenderwijs te beschouwen en kunnen niet als investeringsbedragen worden gehanteerd.

7.2 Uitgangspunten.

7.2.1 Dimensioneringsgrondslagen

Rwzi zonder defosfateren:

Voor de zuiveringsvarianten is uitgegaan van de in tabel 14 vermelde hydraulische en biologische capaciteiten.

Tabel 14 Ontwerp-uitgangspunten zuiveringsvarianten.

parameter	eenheid	ie à 50 g BZV ie à 136 g TZV	40.000 53.000	100.000 132.000
DWA-debiet	m ³ /h		570	1425
RWA-debiet	m ³ /h		1600	4000
RWA/DWA-verhouding	---		2,8	2,8
BZV (50 g/ie.d)	kg/d		2000	5000
N-Kj (12 g/ie.d)	kg/d		480	1200
P (1,9 g/ie.d)	kg/d		76	190

Bij de dimensionering is uitgegaan van een zeer laagbelast actief-slibstelsysteem zonder voorbezinking. In tabel 15 zijn de belangrijkste dimensioneringsgrondslagen voor de rwzi zonder defosfatering vermeld.

Tabel 15 Dimensioneringsgrondslagen rwzi zonder P-verwijdering.

parameter	eenheid	ie à 50 g BZV	40.000	100.000
		ie à 136 g TZV	53.000	132.000
slibbelasting	kg BZV/(kg.d)		0,05	0,05
slibvolume-index	ml/g		175	175
beluchtingsruimte:				
- slibgehalte	kg ds/m ³		4	4
- aantal	---		2	2
retourslibconcentratie	kg ds/m ³		7	7
slibproductie:				
- specifiek	kg ds/(ie.d)		50	50
- totaal	kg ds/d		2000	5000
oppervlaktebelasting:				
- nabezinktanks (2)	m ³ /(m ² .h)		0,66	0,66
- indikker	kg/(m ² .d)		25	25
PE-dosering	g PE/kg ds		6	6
zeefbandpers:				
- ds toevoer	% ds		2,5	2,5
- ds afvoer	% ds		25	25

Bovenstaande dimensioneringsgrondslagen zijn in principe ook gebruikt bij de verschillende defosfateringstechnieken. Wanneer van deze grondslag is afgeweken, wordt dat expliciet vermeld.

Simultane precipitatie:

De afwijkingen van de dimensioneringsgrondslagen staan vermeld in tabel 16.

Tabel 16 Afwijkingen dimensioneringsgrondslagen.

parameter	eenheid	waarde
slibvolume-index	ml/g	150
slibvolume	l/m ³	700
slibgehalte	kg ds/m ³	4,7
aëratietank		
chemische slibproductie	g ds/(ie.d)	14,4
FeSO ₄ -dosering:		
- opslag/oploskelder	ton	25
- Me/P-verhouding	---	1,5
slibontwatering		
- indikking	% ds	2,5
- centrifuge	% ds	25

Bij de berekening van het benodigde beluchtingsvolume is geen rekening gehouden met remming van nitrificatie. Wel is er rekening gehouden met een lagere biologische slibconcentratie van 3,65 kg/m³.

Biologische fosfaatverwijdering in de hoofdstroom:
(met aanvullend simultane precipitatie)

De afwijkingen van de dimensioneringsgrondslagen staan vermeld in tabel 17.

Tabel 17 Afwijkingen dimensioneringsgrondslagen.

parameter	eenheid	waarde	opmerkingen
verblijftijd anaërobe tank (1,5 * DWA-aanvoer)	h	2	twee afgesloten tanks
verblijftijd nabeluchting (RWA-aanvoer + retourslib RWA)	min.	10	
slibontwatering	% ds	25	directe ontwatering met centrifuge
- PE-dosering	g PE/kg ds	10	
FeCl ₃ -dosering - opslag en doseerfaciliteiten - Me/P-infl-verhouding	---	0,2	

Biologische defosfatering in de deelstroom:

De afwijkingen van de dimensioneringsgrondslagen staan vermeld in tabel 18.

Tabel 18 Afwijkingen dimensioneringsgrondslagen.

parameter	eenheid	waarde	opmerkingen
aëratietank: - vergroting t.b.v. anaërobie	%	15	
stripper: - SAF	d ⁻¹	0,1	gesloten tank
- retourslib-ds	kg/m ³	6	
- verblijftijd	uur	4	
- azijnzuurdosering	g Ac/kg ds	15	
- natronloogdosering	mol NaOH/mol HAC	0,5	
indikker: - oppervlaktebelasting	kg ds/(m ² .d)	25	
- indikkingsfactor	---	2,5	
kalkdosering: - HCO ₃ ⁻ in retourslib	mmol/l	3,0	
- kalkdosering	mmol/l	4,5	
- verblijftijd mengtank	min.	1	
kalkbezinker: - oppervlaktebelasting	m ³ /(m ² .h)	1,3	
kalkslib indik-en opslagsilo: - ds-gehalte afvoer	%	25	
- verblijftijd	d	20	
slibontwatering: (directe ontwatering met centrifuge)			spuislib uit retourslibstroom
- ds-gehalte afvoer	%	25	

7.2.2 Bouwkosten.

De bouwkosten zijn geraamd op het prijspeil van mei 1992.

De investeringen zijn berekend inclusief de volgende percentages:

- Onvolledigheid:	civiel:	10	%
-	mechanisch/electrisch:	20	%
- Advieskosten:	over het totaal:	15	%
- Onvoorzien:	over het totaal:	10	%
- BTW:	over het totaal:	18,5	%

Bij de investeringen zijn een aantal posten niet meegenomen voor factoren die sterk afhangen van de plaatselijke situatie. Hiertoe behoren de kosten voor grondverwerving, bouwrijp maken, bemaling, wegen, leges verzekeringen etc. Verder is de bouwrente niet meegenomen. De nauwkeurigheid waarmee de investeringskosten zijn geraamd, bedraagt +/- 30 %.

De investeringskosten voor slibontwatering, die rechtstreeks aan fosfaatverwijdering zijn toe te wijzen variëren afhankelijk van de gekozen ontwateringsmethode. Vergeleken met een conventionele zuivering zonder P-verwijdering, voorzien van een indikker gevolgd door ontwatering met een zeefbandpers, kunnen de investeringen bij biologische defosfatering met circa 25% oplopen voor een rechtstreekse ontwatering met centrifuges. Een besparing lijkt mogelijk bij toepassing van een mechanische voorontwatering gevolgd door een zeefbandpers. Bij simultane defosfatering kan ondanks de 30% hogere slibproductie circa 10% op de investering worden bespaard ten opzichte van een conventionele zuivering, wanneer bijvoorbeeld in plaats van een indikker gevolgd door een zeefbandpers gebruik wordt gemaakt van een mechanische voorontwatering gevolgd door een zeefbandpers.

De kapitaalslasten voortvloeiend uit deze eventueel hogere of lagere investeringskosten zijn in het kader van de totale kostenvergelijking tussen defosfateringstechnieken niet van wezenlijke invloed en zijn daarom verder buiten beschouwing gelaten.

7.2.3 Exploitatiekosten.

Kapitaalslasten:

De gehanteerde rentevoet is gesteld op 9 %.

Bij de berekening van de kapitaalslasten is gerekend met een annuïtaire afschrijving. De gehanteerde afschrijvingstermijn is 25 jaar voor zowel het civieltechnische als mechanisch/electrische deel. De annuïteit bedraagt dan 10,18 %.

Onderhoudskosten:

De onderhoudskosten zijn berekend als percentage van de investeringen:

- civiel	: 0,5 %
- mech./electr.	: 3,0 %

Chemicaliënkosten:

Reagens Kosten (f/ton, excl. BTW)

Ca(OH) ₂	260,-
FeSO ₄ .7H ₂ O	110,-
PE	12.000,-
Azijnzuur (70%)	1.110,-
NaOH	270,-

Energiekosten:

De energiekosten zijn gesteld op f 0,25/kWh

Bedieningskosten:

De bediening is, voor beide capaciteiten en ongeacht het type installatie gesteld op 2 personen. De personeelskosten bedragen f 70.000,- per persoon. Voor defosfatering is - een tijdsbesteding van 0,5 mensjaar voorzien.

Slibverwerking:

- slibverbranding + storten as f 700,-/ton ds (bij circa 25 % ds)
- storten fosfaatslib (na ontwatering) f 100,-/ton aangevoerd

Bij simultaan chemisch defosfateren is uitgegaan van een extra slibproductie van 30%.

Dit slib bestaat uit actiefslib en chemisch slib dat wordt verbrand en gestort.

Bij hoofdstroomdefosfatering is uitgegaan van een gelijkblijvende slibproductie.

Bij deelstroomdefosfatering is gerekend met een extra fosfaatslibstroom dat is geproduceerd door precipitatie van het fosfaatrijke supernatant. Door de hoge anorganische fractie is bij deze variant gekozen voor het, na ontwatering, storten van het slib.

Verontreinigingsheffing:

De verontreinigingsheffing is niet in de exploitatiekosten meegenomen.

7.3 Kosten voor defosfatering.

In de onderstaande tabellen 19 en 20 zijn de stichtingskosten, de jaarlijkse kosten en de jaarlijkse kosten per ie samengevat voor een zeer laagbelaste rwzi met een capaciteit van respectievelijk 40.000 ie en 100.000 ie. Voor de gespecificeerde kostenberekening wordt verwezen naar bijlage 11.

Tabel 19 Vergelijkende kosten voor defosfatering (in f incl. BTW) voor een rwzi van 40.000 ie (à 50 g BZV per ie) of 53.000 ie (à 136 g TZV per ie)

type defosfatering	simultaan	hoofdstroom	deelstroom
stichtingskosten	1.039.000	2.523.000	2.415.000
jaarlijkse kosten	378.000	400.000	474.000
jaarlijkse kosten per ie			
à 50 g BZV	9,50	10,00	11,90
à 136 g TZV	7,10	7,50	8,95

Tabel 20 Vergelijkende kosten voor defosfatering (in f incl. BTW) voor een rwzi van 100.000 ie (à 50 g BZV per ie) of 132.000 ie (à 136 g TZV per ie)

type defosfatering	simultaan	hoofdstroom	deelstroom
stichtingskosten	1.380.000	4.719.000	4.316.000
jaarlijkse kosten	792.000	798.000	945.000
jaarlijkse kosten per ie			
à 50 g BZV	7,90	8,00	9,45
à 136 g TZV	6,00	6,00	7,15

In tabel 21 is een gevoeligheidsberekening gepresenteerd waarbij de invloed van een aantal kenmerkende parameters tot uitdrukking komt. Alle overige niet in de tabel vermelde parameters zijn gelijk gehouden aan de basisvariant. De berekening is uitgevoerd voor een rwzi met een capaciteit van 100.000 ie.

Tabel 21 Gevoeligheidsberekening deelstroomdefosfatering voor een rwzi van 100.000 ie (jaarlijkse kosten in f per ie).

parameter:	waarde	kosten per ie (f)	
		ie à 50 g BZV	ie à 136 g TZV
SAF (d^{-1})	0,15	12	9
SAF (d^{-1}) _*	0,2	14	11
SAF (d^{-1}) _*	0,4	20	15
HRT stripper (uren)	2	12	9
HRT stripper (uren)	10	13	10
HAc-dosering (g Ac/kg ds.d)	10	11	8
HAc-dosering (g Ac/kg ds.d)	30	14	10

* niet meeberekend is de 15% extra ruimte in de aeratietank ten behoeve van aanvullende selectie in de hoofdstroom.

Bij vergelijking van tabel 20 en 21 blijkt dat de kostenniveaus voor de in beschouwing genomen varianten gelijk liggen bij een SAF van $0,1 d^{-1}$. Een verhoging van de SAF van $0,2 d^{-1}$ of meer, leidt tot significant hogere kosten voor het deelstroomproces. Dit duurder zijn van het deelstroomproces komt voornamelijk tot uiting in het chemicaliënverbruik.

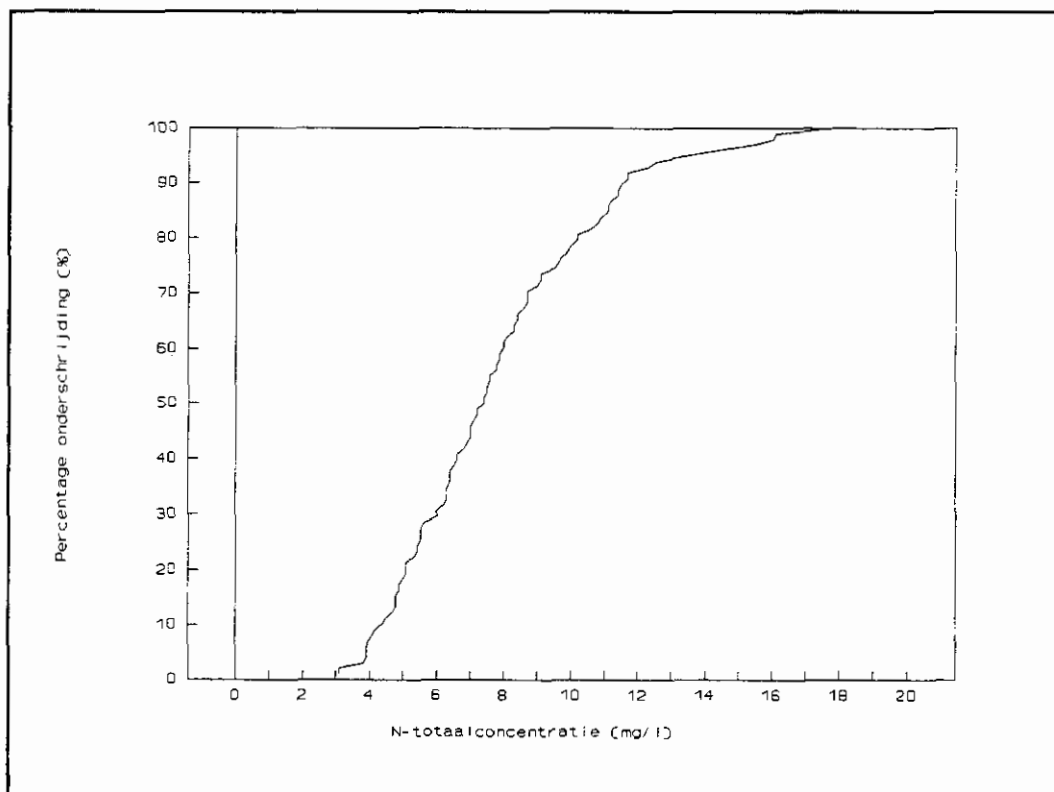
8 EVALUATIE.

8.1 Hoofdstroom.

8.1.1 Stikstofverwijdering.

Met betrekking tot de hoofdstroom is als doelstelling aangegeven het voldoen aan de toekomstige effluenteisen voor de nutriënten N en P.

Uit de resultaten blijkt dat met een laagbelast zuiveringssysteem aan de toekomstige lozings eis voor N-totaal van 10 mg/l als jaargemiddelde kan worden voldaan. In figuur 10 is een cumulatieve frequentieverdeling gegeven van de behaalde N-totaalconcentraties in het effluent over een periode van 12 maanden.



Figuur 10 Cumulatieve frequentieverdeling van de N-totaalconcentratie in het effluent.

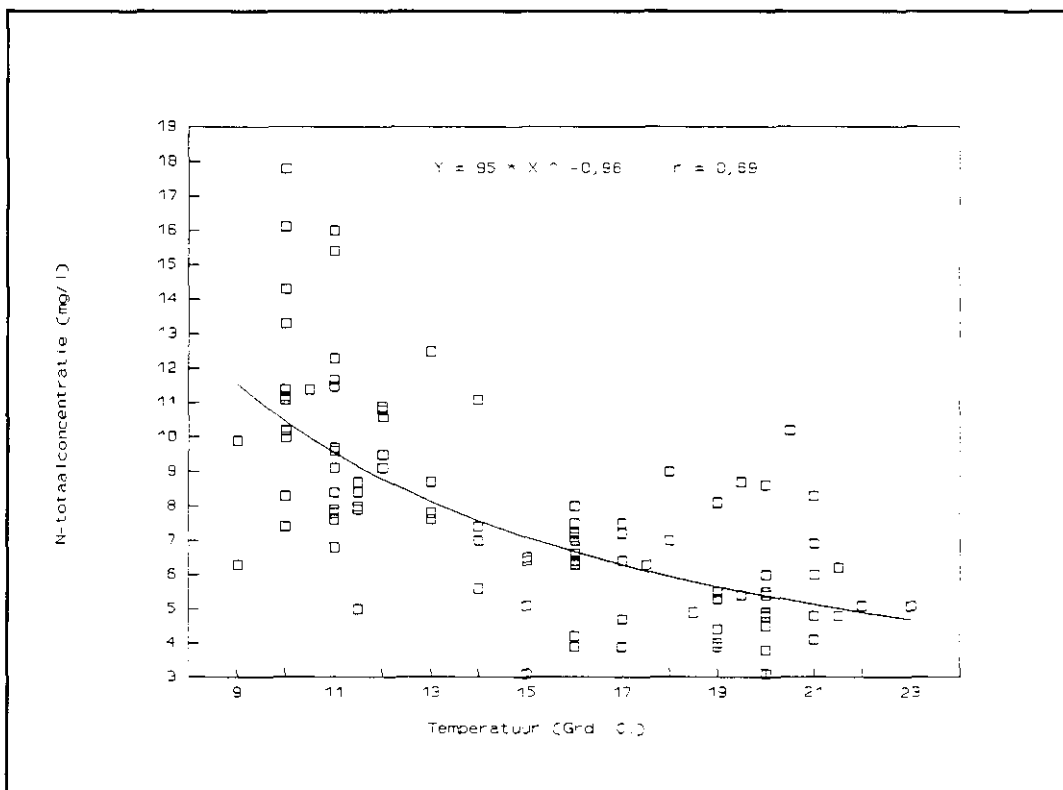
Uit figuur 10 blijkt dat een N-totaalconcentratie kleiner dan 4 mg/l nauwelijks kan worden gehaald. Gebleken is dat onder relatief gunstige omstandigheden, waarbij sprake is van een watertemperatuur boven 20 °C en een minder dan gemiddelde slibbelasting, N-totaalgehalten in het effluent worden gevonden van 5 - 6 mg/l. Een substantieel lager stikstofgehalte lijkt dan ook alleen mogelijk door toepassing van filtratie van het effluent.

In tabel 22 zijn de gemiddelde gehalten aan stikstof in het effluent over de gehele onderzoeksperiode samengevat.

Tabel 22 Gemiddelde gehalten aan stikstof in het effluent (jaargemiddelde).

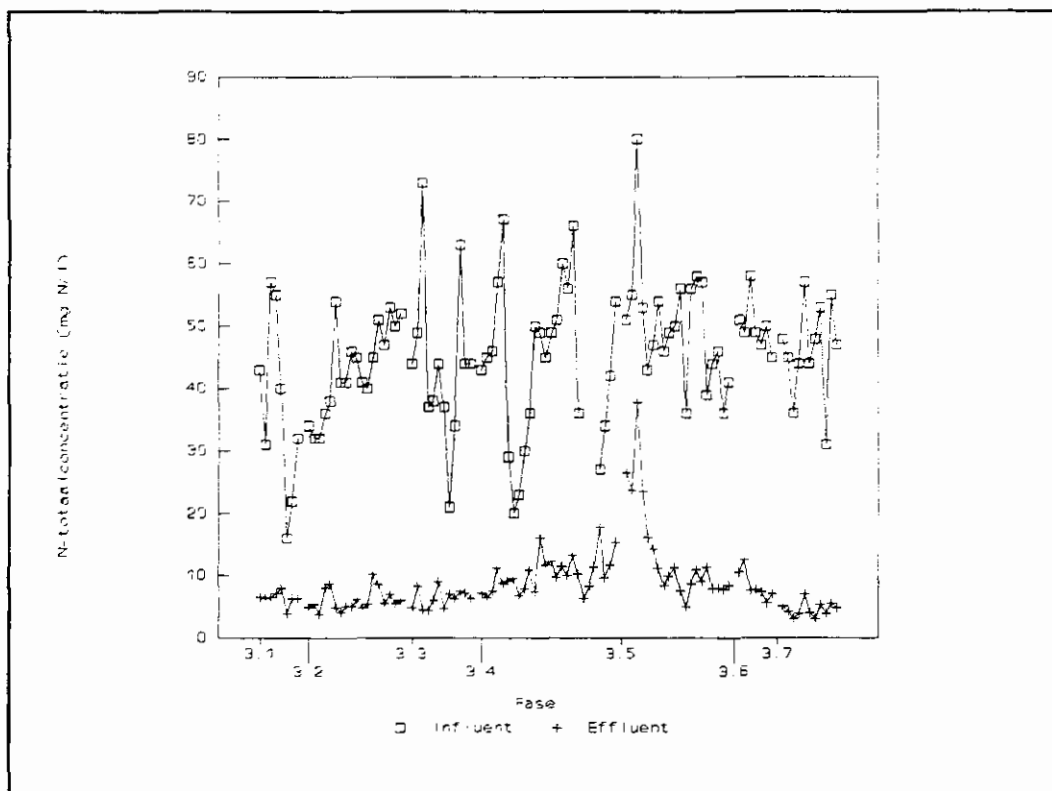
N-organisch	: 1,8 mg/l
N-ammonium	: 3,7 mg/l
N-nitraat	: 2,5 mg/l
<hr/>	
N-totaal	: 8,0 mg/l

Met name in perioden met watertemperaturen beneden 12 °C verslechtert de nitrificatie (figuur 11). Koude perioden met een watertemperatuur lager dan 10 °C zijn gedurende het praktijkonderzoek als gevolg van de relatief zachte winterperiode minder dan gemiddeld opgetreden.



Figuur 11 Invloed van de temperatuur op de N-totaalconcentratie van het effluent.

Aan het einde van fase 3.4 en het begin van fase 3.5 is het N-totaalgehalte in het effluent opgelopen tot meer dan 10 mg/l als gevolg van onvoldoende nitrificatie. Bij de dan optredende afvalwatertemperatuur van minder dan 10 °C blijkt de nitrificatiesnelheid onvoldoende om bij circa 13 uur beluchten het ammonium vergaand om te zetten. Door vergroting van de beluchtingsperiode daalt het N-totaalgehalte in het effluent weer tot beneden 10 mg/l (figuur 12).

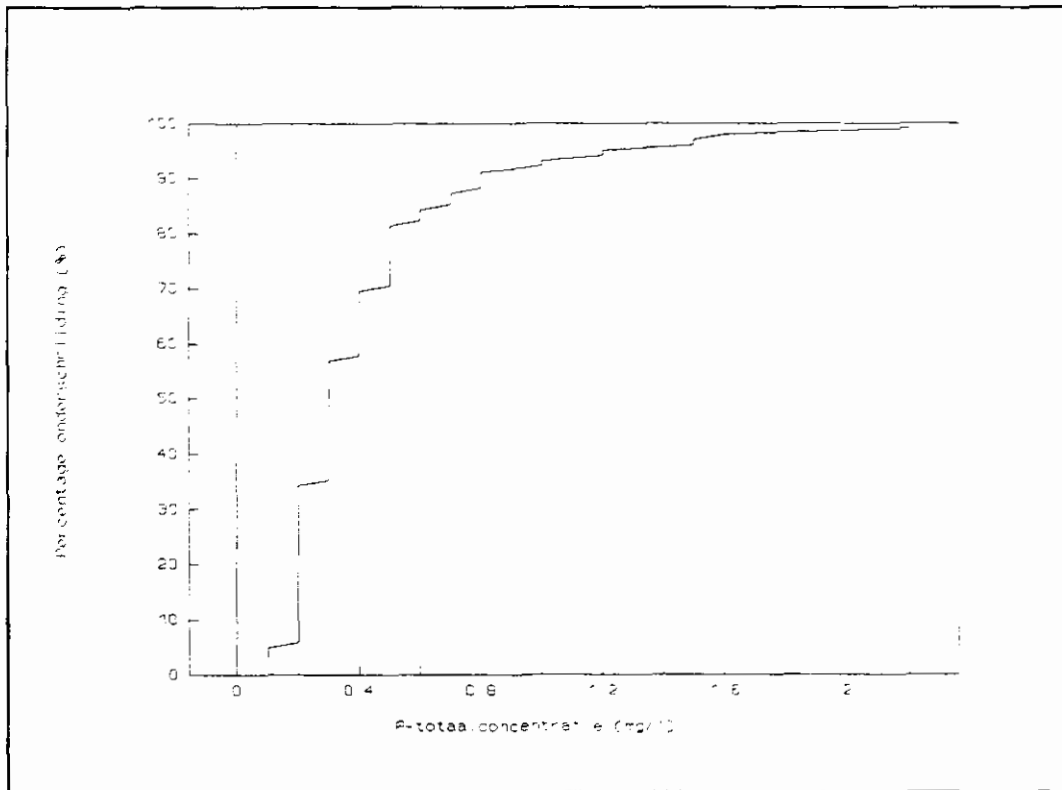


Figuur 12 N-totaalconcentraties van het influent en van het effluent.

8.1.2 Fosforverwijdering.

Bij de evaluatie van de fosforverwijdering is uitgegaan van de resultaten over de gehele onderzoeksperiode. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de instellingen in de deelstroom gedurende het onderzoek steeds zijn aangescherpt. Voor een statistische evaluatie zijn, gezien de in absolute zin geringe verschillen in P-concentraties van het effluent, alle resultaten bewerkt.

Uit het praktijkonderzoek is gebleken dat P-totaalconcentraties in het effluent lager dan 1 mg/l in ruim 90 % van de etmaalbemonsteringen kunnen worden gehaald (figuur 13).



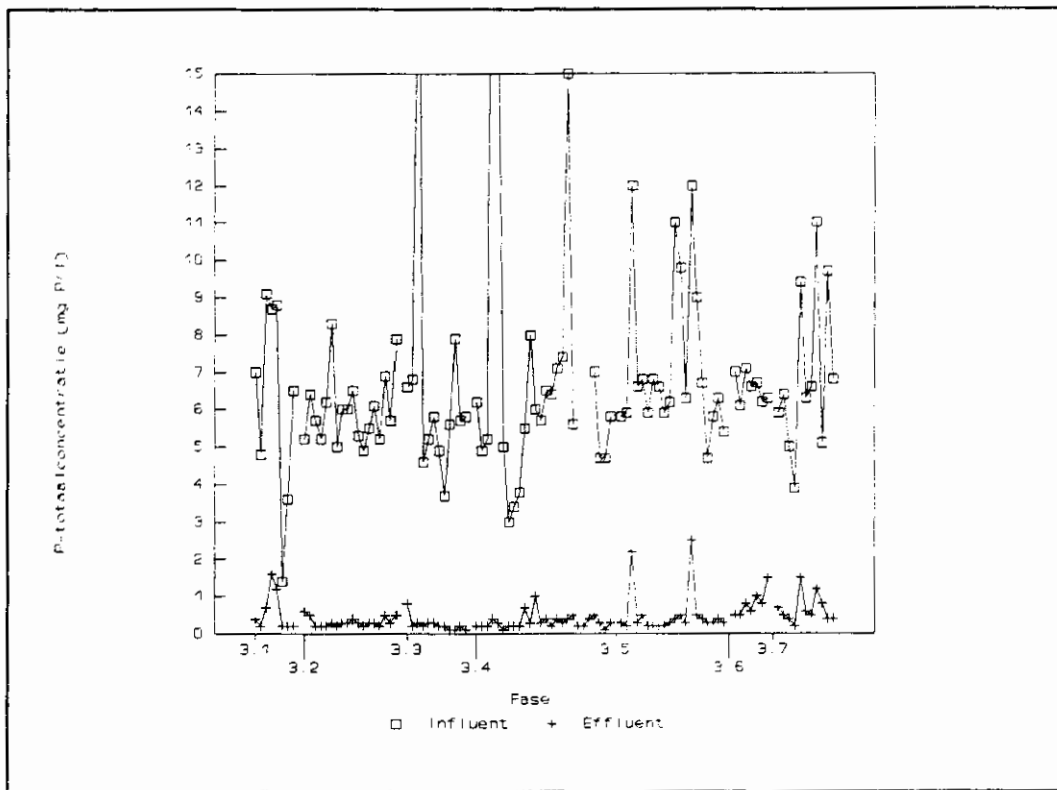
Figuur 13 Cumulatieve frequentieverdeling van de P-totaalconcentratie in het effluent.

Gebleden is dat ortho-fosfaat tot een niveau van circa 0,1 mg/l kan worden verwijderd. Het in het effluent voorkomende fosfor is voor circa 50 % in een gebonden vorm aanwezig (tabel 23). Gemiddeld wordt een effluent P-concentratie gevonden van 0,4 mg/l.

Tabel 23 Gemiddelde gehalten aan fosfor in het effluent over de gehele onderzoeksperiode (3.1 t/m 3.7).

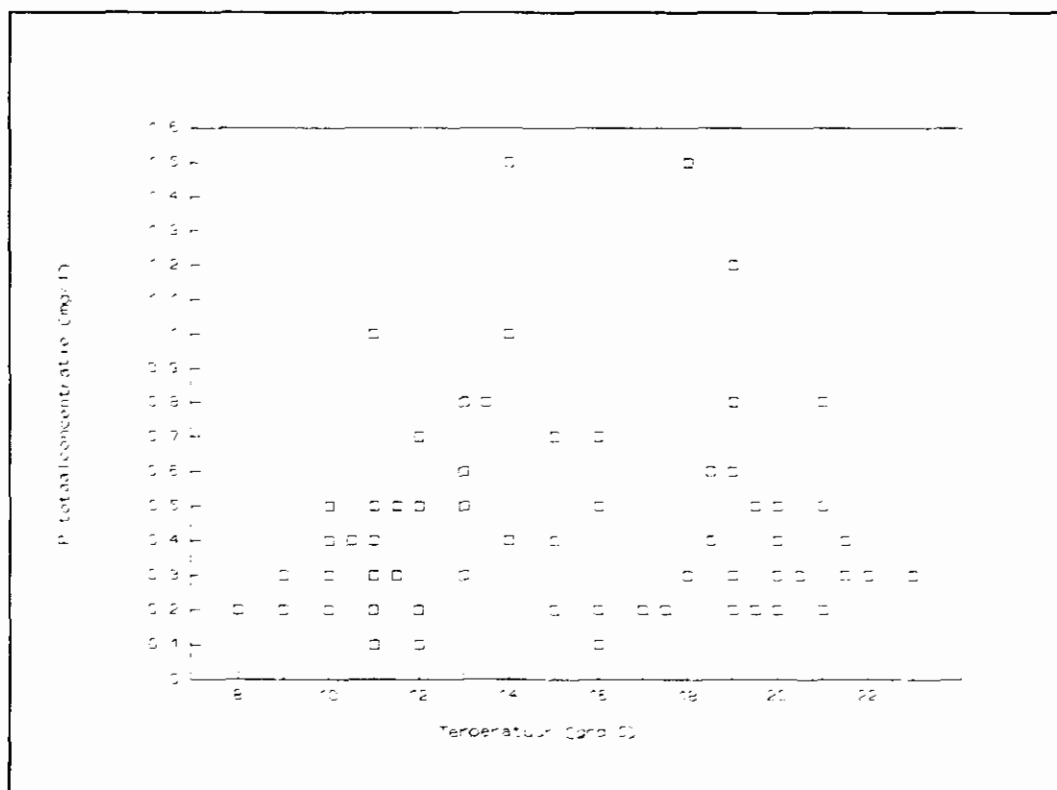
P-organisch	: 0,2 mg/l
P-ortho	: 0,2 mg/l
P-totaal	: 0,4 mg/l

In fase 3.5, waarbij de slibarbeidsfactor is teruggebracht tot $0,14 \text{ d}^{-1}$, wordt een relatief minder goede P-verwijdering gevonden, hoewel het effluent P-gehalte nog altijd ruim beneden $1,0 \text{ mg/l}$ ligt. Met name de gevoeligheid voor piekbelastingen blijkt te zijn toegenomen. Tijdens fase 3.6 neemt de effluent P-concentratie geleidelijk toe als gevolg van het verwijderen van aanvullende selectie van fosfaat-accumulerende bacteriën in de hoofdstroom. Nadat deze in fase 3.7 weer is teruggebracht, daalt het P-totaal gehalte in het effluent tot beneden $1,0 \text{ mg/l}$ (figuur 14).



Figuur 14 P-totaalconcentraties van het influent en van het effluent.

In tegenstelling tot de nitrificatie blijkt de fosforverwijdering in het onderzochte temperatuurstraject van 8 - 23 °C niet temperatuurafhankelijk te zijn (figuur 15).



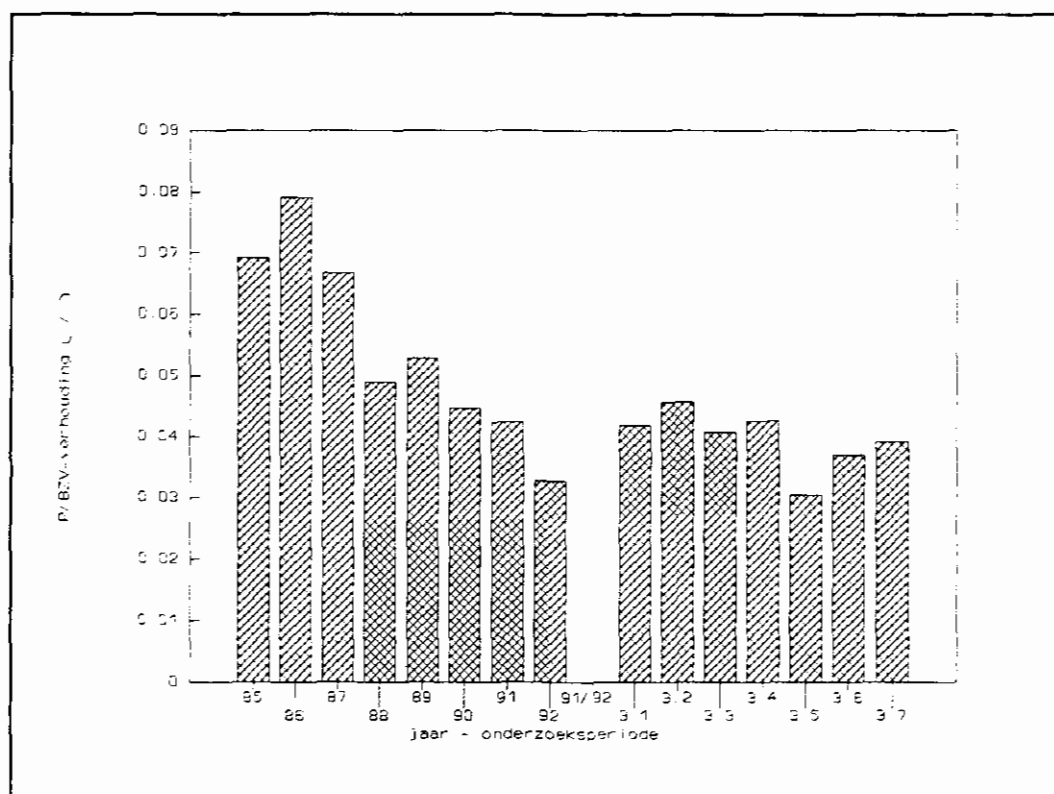
Figuur 15 Invloed van de temperatuur op de P-totaalconcentratie van het effluent.

8.1.3 Influentamenstelling.

De P-aanvoer bij de rwzi Bergambacht is representatief gebleken voor de gemiddelde P-aanvoer binnen het beheersgebied van het zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden. Het influentdebiet ligt per i.e. circa 8 % boven het gewogen gemiddelde over het gehele beheersgebied. Er is dus sprake van enige verdunning van het afvalwater.

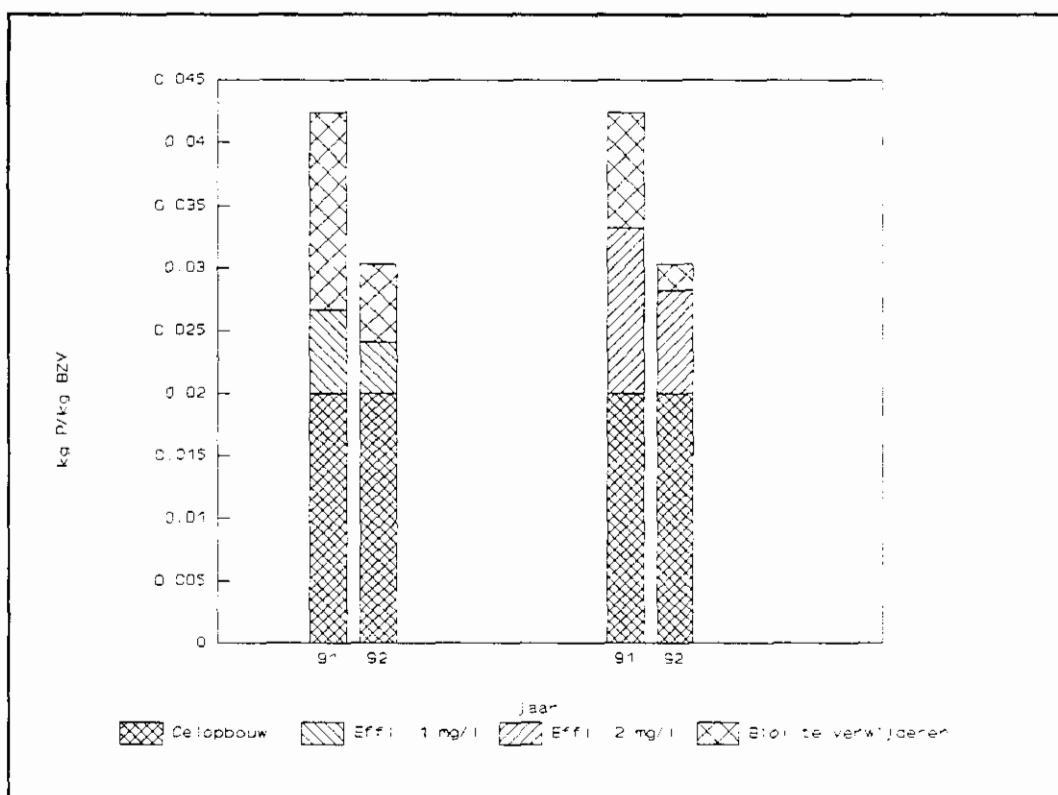
Uit de analyses van het influent is gebleken dat de P-aanvoer in fase 3 met circa 25 % is gedaald ten opzichte van de oriënterende fase (fase 1): In fase 1 is circa 53 g P/kg BZV aangevoerd terwijl in fase 3 gemiddeld 39 g P/kg BZV is aangevoerd. In figuur 16 is het verloop van de P/BZV-verhouding weergegeven. Als gevolg van lagere temperaturen (fase 3.5), daalt de P/BZV-verhouding als gevolg van een verminderde BZV-afbraak in het riool.

De nagenoeg gelijkblijvende gunstige resultaten met betrekking tot de P-concentraties in het effluent kunnen dan ook voor een deel worden verklaard uit de afgenomen P-belasting. Echter gedurende de fasen met de meest kritische instellingen (fase 3.4 t/m fase 3.7) is de P/BZV-verhouding nagenoeg constant gebleven.



Figuur 16 Verloop van de P/BZV-verhouding in het influent.

Inmiddels is de P-belasting zodanig gedaald dat naast de voor de celopbouw benodigde P en de toelaatbare lozing van P met het effluent (opvulling van de lozingsnorm), nog slechts een beperkt deel van de P-aanvoer (additioneel) biologisch behoeft te worden verwijderd (figuur 17). Hierbij is aangenomen dat het P-gehalte van actiefslib zonder biologische defosfatering 2% is en dat de specifieke slibproductie 1,0 kg ds/kg BZV bedraagt.



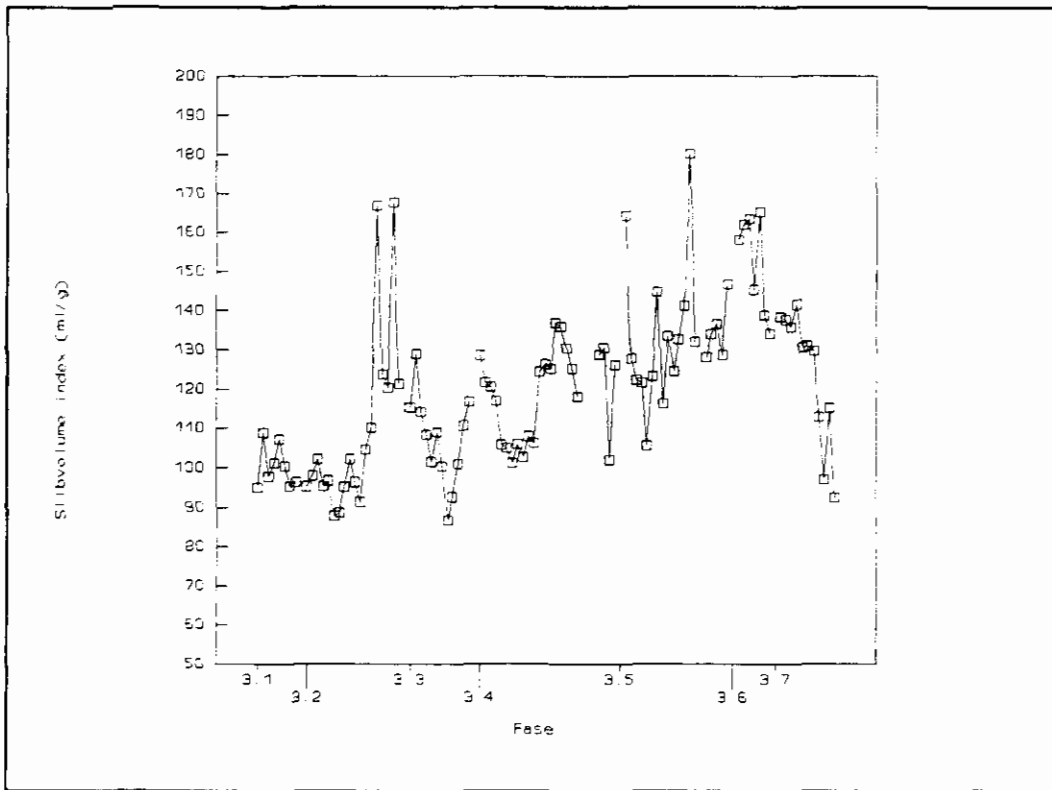
Figuur 17 Fosfor te verwijderen. (rwzi Bergambacht 1991-1992).

In het influent wordt gemiddeld circa 45 mg/l aan vluchtige vetzuren gevonden. Dagelijks wordt hiermee circa 85 kg vluchtige vetzuren in het systeem gebracht. De onbeluchte fasen omvatten circa 45 % van de tijd zodat circa 38 kg vluchtige vetzuren ter beschikking staat voor benutting onder zuurstofloze omstandigheden. Niet bekend is welk deel hiervan beschikbaar is voor selectie van fosfaataccumulerende bacteriën. De beschikbare vluchtige vetzuren leveren hiermee een substantiële bijdrage aan de behoefte van gemakkelijk opneembare C-bron in het systeem. Ter vergelijking: In fase 3.7 is dagelijks circa 14 kg acetaat aan de stripperlijn gedoseerd.

8.1.4 Slibvolume-index.

In fase 1 (oriënterend onderzoek) is geconstateerd dat, na introductie van intermitterende beluchting, de slibvolume-index is gestegen van 70 ml/g tot meer dan 200 ml/g. Deels is dit wellicht te wijten aan de nieuwe procesvoering waarbij anaërobie perioden zijn ingevoerd. Gelijktijdig bleek echter ook de werking van de selector verstoord. Door drijfslagvorming was de effectieve inhoud van de selector sterk verminderd. Na verwijdering van de drijfslag is de SVI gedaald tot circa 140 - 150 ml/g. De lage gemiddelde slibvolume-indices (< 100 ml/g) die vóór aanpassing van de beluchting werden gevonden zijn na introductie van de intermitterende beluchting niet meer bereikt.

Gedurende het praktijkonderzoek in fase 3 varieerde de slibvolume-index tussen 100 en 150 ml/g (figuur 18). Een dergelijke slibvolume-index mag, mede met het oog op de verwijdering van het fijne gesuspendeerde materiaal uit het effluent, als zeer acceptabel worden beschouwd.



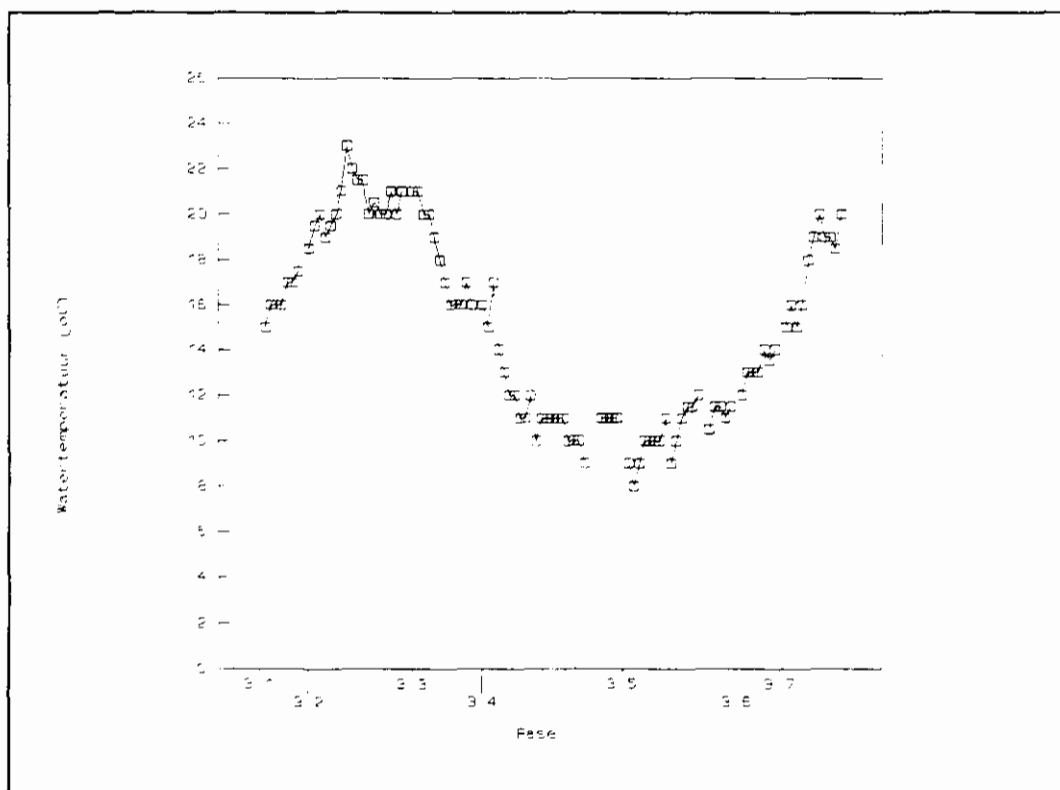
Figuur 18 Verloop van de slibvolume-index.

8.1.5 Temperatuur.

Het verloop van de watertemperatuur in de aëratietank is weergegeven in figuur 19. De temperatuur heeft gevarieerd tussen 8 - 23 °C. Temperaturen beneden 10 °C hebben zich gedurende slechts korte tijd voorgedaan (aaneengesloten perioden korter dan 1 slibleeftijd). De omstandigheden in de winterperiode gedurende de proefperiode waren relatief gunstig: In voorgaande winterperioden zijn watertemperaturen gemeten tot 6,5 °C.

Uit de zuiveringsresultaten over de fasen 1 en 3 kan worden afgeleid dat de lage temperatuur in de winterperiode voor wat betreft de nitrificatie remmend heeft gewerkt (figuur 10). Door de beluchte periode te verlengen en het slibgehalte op het ontwerp-niveau te handhaven kan met de lagere nitrificatiesnelheid toch voldoende nitrificatie worden bereikt, teneinde een N-totaalgehalte in het effluent lager dan 10 mg/l te behalen.

Een goede karakterisering van het te verwachten temperatuurprofiel blijft bij het opstellen van de uitgangspunten voor de dimensionering van nitrificatieprocessen van belang.



Figuur 19 Verloop van de watertemperatuur in de aëratietank.

8.1.6 Spuislib.

In de nabezinktank is geen fosfaat gereleased. Het retourslib en dus ook het spuislib (voor indikking) bevat geen opgelost ortho-fosfaat. In de spuislibindikker verblijft het in te dikke slib een geruime tijd waardoor afgifte van fosfaat optreedt. In het spuislib zijn ortho-fosfaatconcentraties gevonden van 25 - 100 mg/l (gemiddeld circa 45 mg/l). De ortho-fosfaatconcentratie ligt hier hoger dan in het supernatant of in het gestripte, ingedikte slib doordat de afgifte van het fosfaat met name plaatsvindt nadat het slib reeds vergaand is ingedikt.

De P-afgifte van het slib in de spuislibindikker bedraagt gemiddeld circa 2 mg P/g ds. Via het overloopwater van de spuislibindikker treedt een interne recirculatie van fosfaat op. In het overloopwater zijn ortho-fosfaatconcentraties gemeten van gemiddeld 3 - 4 mg/l. De spreiding in de gevonden ortho-fosfaatconcentraties zijn echter groot: 0,1 - 20 mg/l. Deze wordt veroorzaakt door het spuiregime.

Omdat het niet mogelijk is gebleken het debiet van het overloopwater vast te stellen, is geen P-balans over de spuislibindikker gemaakt.

In fase 3.6 en 3.7 is de spuislibindikker uit bedrijf genomen. De aftap van het spuislib is verplaatst naar de indikker voor het gestripte slib.

Hiermee is bereikt dat:

- het meeste fosfaat is afgegeven voordat indikking plaatsvindt. De afvoer van ortho-fosfaat wordt hierdoor in enige mate verschoven van de spuislibstroom naar de supernatantstroom;
- eventuele kortsluitstroming van het overloopwater naar het effluent wordt voorkomen. Het overloopwater van de spuislibindikker wordt nl. rechtstreeks geloosd op de afvoer naar de nabezinktank (zie figuur 3).

Spuislibproductie.

Als referentiefase geldt die fase waarin geen acetaat is gedoseerd (fase 3.1).

In fase 3.2 en 3.3 is vervolgens de hoogste acetaatdosering toegepast van de gehele onderzoeksperiode. In fase 3.4 is aanzienlijk minder acetaat gedoseerd. Het relatieve aandeel van de acetaatdosering in fase 3.6 kan, als gevolg van het verleggen van de spuislibstroom, niet als representatief worden beschouwd.

Uit tabel 24 blijkt dat sprake is van een verhoogde slibproductie over de onderzoeksfasen waarin acetaatdosering heeft plaatsgevonden (met uitzondering van fase 3.5). Er is echter geen eenduidige toename van de spuislibproductie geconstateerd.

Tabel 24 Toename van de slibproductie ten opzichte van fase 3.1.

fase	acetaatdosering	slibproductie	toename slibproductie
	% van BZV-verwijderd	kg ds/kg BZV-verwijderd	%
3.1	0	0,80	0
3.2/3.3	11,7	0,88	11
3.4	3,3	0,87	7,5
3.5	5,1	0,63	-
3.6	6,0	1,03	-
3.7	5,0	0,89	11

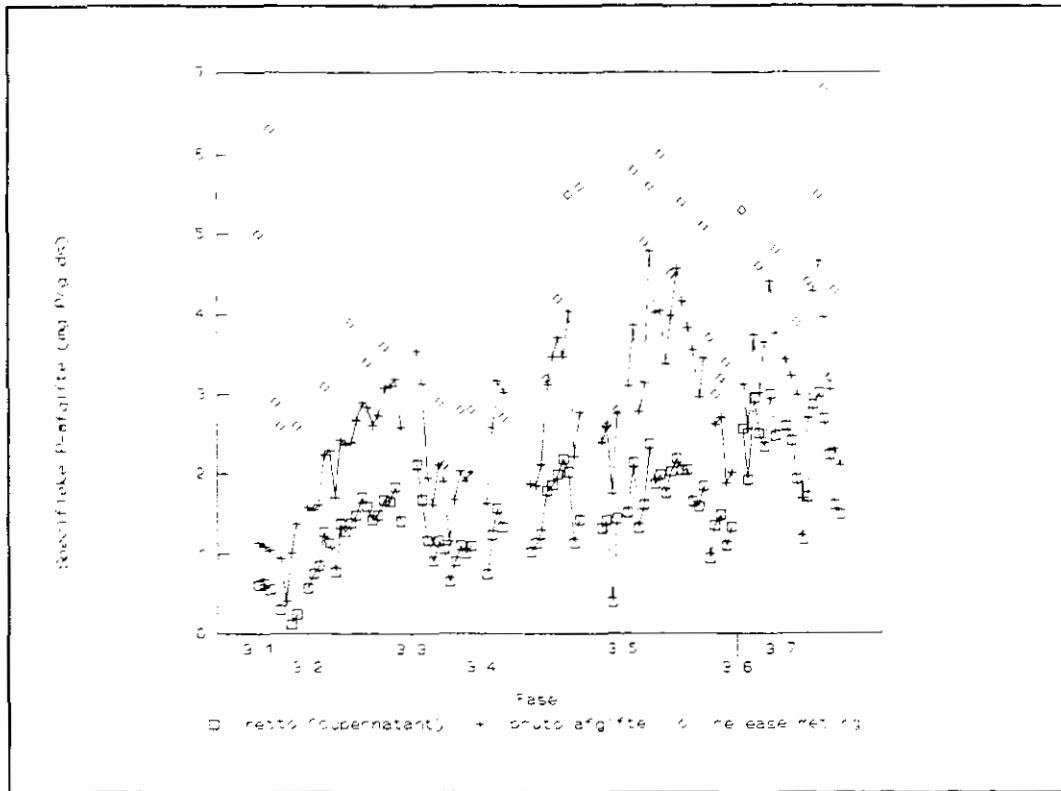
8.2 Deelstroom.

8.2.1 Fosfaatafgiftecapaciteit.

Optimalisatie van de deelstroom kan worden bereikt door verhoging van de fosfaat-afgiftecapaciteit van het slib.

Anderzijds wordt bij een dergelijke geoptimaliseerde deelstroom de selectiedruk op fosfaataccumulerende bacteriën verminderd.

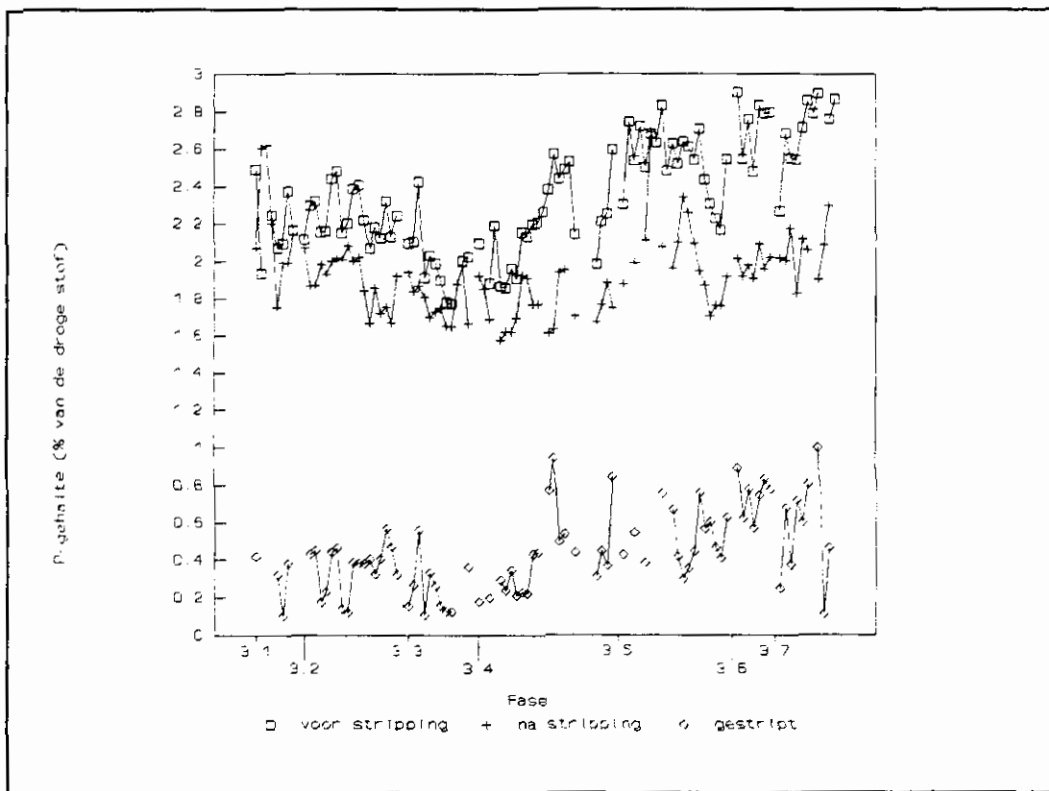
In figuur 7 is de P-afgiftecapaciteit van het slib weergegeven van fase 1, in figuur 20 die van fase 3.



Figuur 20 Specifieke fosfaatafgifte van het actiefslib (fase 3).

In de situatie waarin nog niet of nauwelijks sprake was van selectie van fosfaat-accumulerende bacteriën (fase 1.1 t/m 1.3) is een afgiftecapaciteit, op basis van batchproeven, bepaald van circa 1 mg P/g ds. Na introductie van meer selectiedruk in de hoofdstroom door verlenging van de anaërobe fasen, is de afgiftecapaciteit opgelopen tot 3,7 mg P/g ds.

In fase 3 wordt de selectiedruk verder verhoogd door introductie van de deelstroom. Aanvankelijk wordt geen hogere afgiftecapaciteit gevonden dan 3 mg P/g ds. Aangenomen mag worden dat dit is veroorzaakt door een laag beladingsniveau van het slib als gevolg van een (te) ruim gedimensioneerde stripperlijn. In het verloop van de fasen 3.3 t/m 3.7 is de dimensionering stapsgewijs verkleind. Dit heeft geleid tot een geleidelijke verhoging van de fosfaatafgiftecapaciteit tot 4 à 5 mg P/g ds. Deze verhoging kan worden toegeschreven aan een verhoogd beladingsniveau van het te strippen slib (figuur 21).



Figuur 21 P-gehalte van het slib voor en na stripping.

In figuur 20 is tevens de gemeten bruto-afgifte van het slib in de praktijkinstallatie aangegeven. De afgifte van het slib onder praktijkcondities ligt structureel lager dan de afgiftecapaciteitsmetingen uitgevoerd op laboratoriumschaal. Dit kan voor een belangrijk deel worden verklaard uit het volledig gemengde karakter van de strippertank van de praktijkinstallatie (bijlage 9).

De bruto-afgifte van het slib onder praktijkomstandigheden is over de fasen 3.3 tot 3.5 gestegen van 2 tot bijna 4 mg P/g ds.

De verhoging van de fosfaatafgifte weegt niet op tegen verlaging van de slibarbeidsfactor van 0,4 naar 0,14 d⁻¹. De P-vracht die via het supernatant wordt afgevoerd daalt over dezelfde periode van 27 naar 9 % van de influent P-vracht. Dit wordt gecompenseerd door een verhoogde P-verwijdering met het spuislib zodat de P-concentratie van het effluent niet nadelig is beïnvloed.

In figuur 20 is verder de gemeten netto-afgifte van de praktijkinstallatie aangegeven. De netto fosfaatafgifte is gerelateerd aan het door het slib afgegeven fosfaat dat daadwerkelijk via de supernatantstroom het systeem verlaat. Het verschil tussen de bruto en netto fosfaatafgifte geeft het deel van het fosfaat aan dat wel door het slib is afgegeven in de strippertank maar vervolgens als gevolg van onvoldoende scheiding tussen het fosfaatarme slib en het supernatant terug is gevoerd naar de hoofdstroom (interne recirculatie van fosfaat). Uit de figuur blijkt dat 40 - 50 % van het afgegeven fosfaat alsnog met het "fosfaatarme" slib wordt teruggevoerd naar de hoofdstroom. De werkelijke fosfaatbelasting van het systeem ligt hierdoor dan ook ruim 15 % hoger dan op basis van de influent P-vracht kan worden verondersteld.

De interne fosfaatbelasting dient dan ook bij de interpretatie van de onderzoeksresultaten betreffende de dimensionering van de stripperlijn (volume strippertank en acetaatbehoefte) te worden betrokken.

De interne fosfaatbelasting vanuit de stripperlijn kan globaal met een factor 4 worden gereduceerd door het toepassen van mechanische indikking in plaats van gravitatie indikking (indikking tot 7 % in plaats van 1,7 % droge stof). Het effect hiervan op het actief-slibproces (beschadiging slibvlok) dient nader te worden onderzocht.

Door de aanwezigheid van nitraat in het retourslib, wordt de maximale fosfaat-afgiftecapaciteit niet gehaald. Een langere verblijftijd in de strippertank, ten behoeve van denitrificatie, heeft hierop geen invloed (bijlage 5).

8.2.2 Acetaatdosering.

In de fasen 3.2 t/m 3.4 is 11 - 12 mg Ac/g ds gedoseerd aan het slib dat naar de stripperlijn is gevoerd. In fase 3.5 is 30 mg Ac/g ds gedoseerd.

Uit laboratoriummetingen is gebleken dat de optimale acetaatdosering is gelegen op een niveau van 15 mg Ac/g ds (bijlage 4), zodat de dosering in fase 3.6 en 3.7 is bijgesteld.

Acetaat wordt in de vorm van azijnzuur toegevoegd. De pH van het te strippen slib daalt onder invloed van de azijnzuurdosering (30 mg Ac/g ds) van 7,4 naar circa 6,4. Uit aanvullend laboratoriumonderzoek is gebleken dat hierdoor remming van de fosfaat-afgifte optreedt (bijlage 6). Gedurende het praktijkonderzoek is het azijnzuur dan ook voor nagenoeg 100 % (stoichiometrisch) geneutraliseerd. Op basis van de resultaten van het aanvullend onderzoek lijkt het zinvol neutralisatie van het azijnzuur te optimaliseren: Reeds bij circa 50 - 60 % neutralisatie kan de remming van de fosfaat-afgifte tot 5 % worden teruggebracht. Hierbij is sprake van een pH-daling na dosering van 7,4 naar 6,8.

8.2.3 Verblijftijd.

In het praktijkonderzoek bij de rwzi Bergambacht is gebruik gemaakt van een strippertank van het volledig gemengde type. Hierdoor moet een zekere mate van verblijftijdspreiding worden geaccepteerd (bijlage 9).

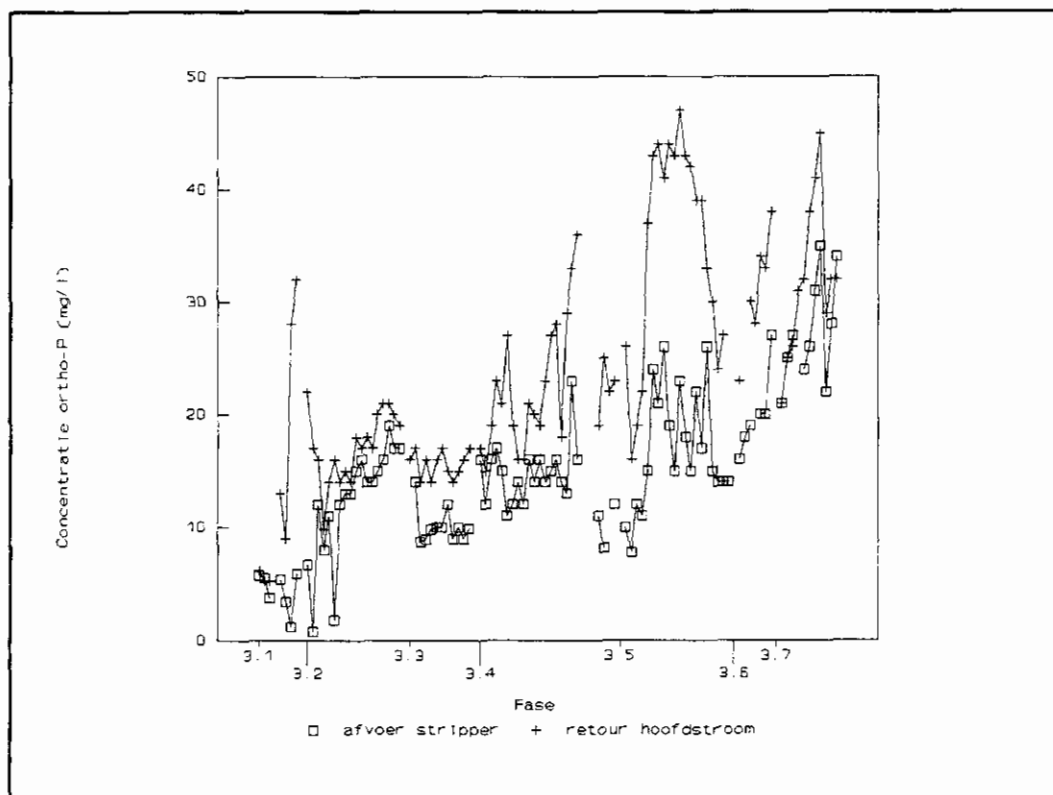
Een nadelig effect van verblijftijdspreiding is acetaatdoorslag naar de hoofdstroom. Dit heeft tot gevolg dat de BZV-belasting van de rwzi wordt verhoogd. Daarnaast kunnen vluchtige vetzuren tot een verhoogde slibvolume-index leiden.

Om effecten als gevolg van verblijftijdspreiding in enige mate te compenseren is een langere verblijftijd noodzakelijk dan op basis van batchexperimenten (=ideale propstroom) mag worden verwacht. Tevens zal de gemeten bruto-afgiftecapaciteit van het slib in de praktijkinstallatie hierdoor altijd lager liggen dan in batchexperimenten (figuur 20).

De verblijftijd in de strippertank is gedurende het praktijkonderzoek teruggebracht van 12 naar 3,6 h.

Uit aanvullende laboratoriummetingen (bijlage 4) is gebleken dat het slib uit de praktijkinstallatie het fosfaat binnen 3 uur af kan geven. Hierbij is uitgegaan van een acetaatdosering van 15 mg Ac/g ds.

Uit figuur 22 blijkt dat de fosfaatafgifte van het slib na het passeren van de strippertank beperkt is. Hierbij moet worden opgemerkt dat het verhoogde ortho-fosfaatgehalte van het ingedikte slib veroorzaakt wordt door het feit dat de drogestofconcentratie op de bodem sterk toeneemt. Een beperkte P-afgifte (mg P/g ds) leidt hierdoor tot een relatief sterke stijging van de P-ortho-concentratie in de waterfase.



Figuur 22 Ortho-P concentraties in afvoer strippertank en retour hoofdstroom.

Verdere optimalisatie van de verblijftijd in de strippertank is mogelijk door de strippertank uit te voeren in een propstroomconfiguratie waarbij tenminste drie in serie geschakelde compartimenten worden toegepast. Hierbij kan de gemiddelde hydraulische verblijftijd worden teruggebracht tot circa 3 uur en wordt "verlies" van acetaat en niet of onvolledig gestript slib naar de indikker beperkt.

8.2.4 Selectie van fosfaataccumulerende bacteriën.

Voor een goede biologische fosfaatverwijdering is het van belang dat de groei van fosfaataccumulerende bacteriën wordt gestimuleerd. Hiertoe worden in het zuiverings-systeem anaërobe compartimenten en/of fasen geïntroduceerd. Bij het deelstroomproces fungeert de stripper als een belangrijke "selector" voor fosfaataccumulerende bacteriën. In het praktijkonderzoek bij de rwzi Bergambacht is de selectiedruk, door het invoeren van anaërobe fasen in de hoofdstroom, uit te drukken als een relatief aandeel van de anaërobie op de totale verblijftijd van het slib in de hoofdstroom.

Selectiedruk in de deelstroom is moeilijk eenduidig in een kengetal uit te drukken. Veelal wordt de slibarbeidsfactor (SAF) gehanteerd.

Dit kengetal levert bij de interpretatie ervan een aantal problemen:

- de SAF is gerelateerd aan de slibbelasting en sibleeftijd;
- de lengte van een anaërobe verblijftijd in de sliblijn wordt niet in de SAF betrokken;
- aanvullende selectie in de hoofdstroom is niet in een SAF uit te drukken.

In tabel 22 is dan ook gepoogd de totale selectiedruk (anaërobie) gedurende de verschillende fasen van het onderzoek uit te drukken als het relatieve aandeel van de tijd. Hierbij wordt noodzakelijkerwijs aangenomen dat de selectiedruk van anaërobie compartimenten en/of fasen niet afneemt bij verlenging van de verblijftijd, dat vetzuren gedurende de anaërobie in voldoende mate beschikbaar zijn en dat het verblijf van het slib in de deelstroomindikker geen bijdrage levert aan de selectie.

Tabel 22. Overzicht van de anaërobie slibverblijftijden in de deelstroom en in de hoofdstroom (% van de slibverblijftijd).

Fase	deelstroom ¹		hoofdstroom ²
	SAF (d ⁻¹)	%	%
3.1	0,5	24	7
3.2	0,5	16	16
3.3	0,4	8	17
3.4	0,21	6	23
3.5	0,14	2	6
3.6	0,10	1	3
3.7	0,10	1	11

¹ berekend: zie begrippenlijst hoofdstuk 10.

² bepaald door continue meting en registratie van de redox-potentiaal in de aëratietank.

Uit het overzicht blijkt dat, als gevolg van de optimalisatie (verkleining) van de stripperlijn, de anaërobie tijd in de hoofdstroom belangrijker is geworden. De totale selectiedruk in fase 3.5 is relatief gering geweest mede als gevolg van het wegvalen van een deel van de anaërobie fasen in de hoofdstroom. Mogelijk is de grotere gevoeligheid voor piekbelastingen en het tijdelijk teruglopen van de afgiftecapaciteit bij hogere belastingniveau's in de tweede helft van fase 3.5 mede het gevolg van een teruggelopen selectiedruk.

In fase 3.6 is bewust voor een instelling gekozen waarbij geen meetbare selectiedruk optreedt in de hoofdstroom. Tevens is in deze fase de selectiedruk in de deelstroom afgenomen doordat een deel van het gestripte slib, het spuislib, niet meer wordt teruggevoerd naar de hoofdstroom.

De anaërobie verblijftijd in de deelstroom, bij een dergelijke lage slibarbeidsfactor, is nagenoeg niet meer van invloed op de selectiedruk van de fosfaataccumulerende bacteriën. Hierdoor is het ortho-P gehalte in het effluent gestegen waardoor de P-totaal eis van 1 mg/l werd overschreden. In fase 3.7 is de selectiedruk in de hoofdstroom teruggebracht, waarna weer werd voldaan aan de lozingseis.

9. CONCLUSIE

9.1 Hoofdstroom.

- Bij een gemiddelde slibbelasting van 0,05 kg BZV/(kg ds.d) is een N-totaalconcentratie van het effluent van 10 mg/l haalbaar;
- Het temperatuurprofiel over een jaar is mede bepalend voor het halen van de N-totaaleis;
- Met uitzondering van perioden met een watertemperatuur van circa 10 °C en lager, kan, naast aërobe en anoxische perioden, ook anaërobe perioden van 10 - 20 % anaërobe slibverblijftijd worden aangehouden ten behoeve van aanvullende selectie van fosfaat-accumulerende bacteriën;
- Bij defosfatering volgens het deelstroomproces kan, afhankelijk van de gekozen instellingen, een P-totaalconcentratie van het effluent van 0,3 tot 0,7 mg/l worden gehaald;
- De slibvolume-index is door introductie van het deelstroomproces en intermitterende beluchting gestegen van circa 90 naar 130 ml/g. Deze stijging heeft geen nadelig effect op de effluentkwaliteit gehad;
- In het ingedikte slib zijn hoge ortho-P concentraties gemeten (gemiddeld 45 mg/l). Bij toepassing van mechanische ontwatering na gravitatie-indikking, is het zinvol het vrijkomende slibwater gezamenlijk met het supernatant te behandelen;
- De redox-potentiaal lijkt een goede regelparameter te zijn voor actief-slibprocessen met vergaande stikstofverwijdering.

9.2 Deelstroom.

- Slibarbeidsfactor:

De benodigde SAF is direct gerelateerd aan de hoeveelheid fosfaat dat met het supernatant uit het systeem moet worden verwijderd en aan de fosfaatafgiftecapaciteit van het slib. Een verlaging van de SAF leidt tot een hoger fosfaatbeladingsniveau waardoor de fosfaatafgiftecapaciteit van het slib toeneemt. De selectiedruk en de P-vracht met het supernatant nemen echter af.

Bij een lagere SAF neemt de P-vracht met het spuislib toe.

Op de rwzi Bergambacht is, bij een SAF van 0,08 d⁻¹ en aanvullende selectie in de hoofdstroom (10 % anaërobe slibverblijftijd), een gemiddeld effluent P-gehalte van 1 mg/l gehaald.

De gevoeligheid voor piekbelastingen is bij deze SAF waarneembaar;

- Fosfaatafgiftecapaciteit:

Het slib van de rwzi Bergambacht heeft, bij een SAF van 0,08 d⁻¹ en bij aanvullende selectie in de hoofdstroom (10 % anaërobe slibverblijftijd), een fosfaatafgiftecapaciteit van 4-5 mg P/g ds;

- Specifieke acetaatdosering:

Een specifieke acetaatdosering van 15 mg Ac/g ds leidt tot een maximale fosfaatafgifte binnen 3 uur. Een hogere dosering heeft nauwelijks geleid tot een hogere afgiftesnelheid of een hogere maximale afgiftecapaciteit. Een lagere dosering heeft tot gevolg dat zowel de afgiftesnelheid als de maximale afgiftecapaciteit lager wordt;

- De afwezigheid van acetaat in de strippertank kan onvoldoende worden gecompenseerd door het aanhouden van een relatief lange verblijftijd (14 h);
- Spuislibproductie:
Er is geen eenduidige toename van de spuislibproductie geconstateerd;
- Neutralisatie azijnzuur:
Het toevoegen van acetaat in de vorm van azijnzuur heeft een pH-verlagend effect waardoor de afgifte van fosfaat wordt geremd. Om deze remming te minimaliseren is, bij een specifieke acetaatdosering van 30 mg Ac/g ds, een stoichiometrische neutralisatie van het azijnzuur van 50% noodzakelijk;
- Verblijftijd strippertank:
Het afgifteprofiel van fosfaat door actiefslib is aan fluctuaties onderhevig. Een optimale fosfaatafgifte in een strippertank met propstroomconfiguratie vindt plaats bij een hydraulische verblijftijd van drie uur.

9.3 Dimensioneringsgrondslagen.

parameter		waarde	eenheid
slibverblijftijd (anaëroob)	hoofdstroom	10-15	%
	deelstroom	1	%
slibarbeidsfactor		0,1	d^{-1}
		6	% Q-influent
specifieke acetaatdosering		15	mg Ac/g ds
	neutralisatie azijnzuur (stoichiometrisch)	50	%
hydraulische verblijftijd strippertank (volledig gemengd)		4	h

9.4 Kosten.

- Bij een SAF van $0,1 d^{-1}$ is het kostenniveau van de drie varianten nagenoeg gelijk;
- Het duurder zijn van het deelstroomproces komt vooral tot uiting in de jaarlijkse kosten;
- Het deelstroomproces is bij een SAF van $0,2 d^{-1}$, of hoger, significant duurder dan chemische precipitatie of biologische defosfatering uitsluitend in de hoofdstroom;
- De prijsverhoudingen tussen simultane chemische precipitatie, biologische defosfatering in de deelstroom en biologische defosfatering uitsluitend in de hoofdstroom, zijn niet gevoelig voor opschalingseffecten.

10 BEGRIPPENLIJST.

1. Hoofdstroom: De selektor, het beluchtingscircuit, de nabezinktank, het retourslib en -indien in gebruik- de spuislibindikker.
2. Deelstroom: De strippertank, de chemicaliëndosering en de indikker.
3. Fosfaatbeladingsniveau: Het aandeel van P in actiefslib dat in de vorm van polyfosfaat is vastgelegd.
4. Fosfaatafgiftecapaciteit: De hoeveelheid ortho-fosfaat, uitgedrukt in mg P/g ds, welke door het slib, na het toevoegen van een overmaat acetaat, in een onbeluchte periode wordt afgestaan.
5. Fosfaatafgiftesnelheid: De hoeveelheid ortho-fosfaat welke per gram droge stof per uur door het slib wordt afgegeven.
6. SlibArbeidsFactor (SAF):

In formule:

$$SAF = \frac{Q_{rwl} * ds_{rwl}}{V_{at} * ds_{at}} \quad [d^{-1}]$$

waarin: Q_{rwl} = debiet retour hoofdstroom vanuit indikker deelstroom [m³/d]
 ds_{rwl} = droge-stofgehalte retour hoofdstroom [kg/m³]

7. Slibbelasting:

Deze is berekend als:

- een over-all slibbelasting;
- een aërobe slibbelasting;
- een aërobe + anoxische slibbelasting.

De BZV van het toegevoegde acetaat is hierin niet meegenomen.

De belasting is berekend over de hoeveelheid slib die aanwezig is in de beluchtingstank.

In formule:

$$\text{- over-all slibbelasting} = \frac{\text{BZV}_{\text{infl}} * \text{Q}_{\text{infl}}}{\text{V}_{\text{at}} * \text{ds}_{\text{at}}} \quad [\text{kg BZV}/(\text{kg ds.d})]$$

waarin: BZV_{infl} = biochemisch zuurstofverbruik influent $[\text{kg}/\text{m}^3]$
 Q_{infl} = influentdebiet $[\text{m}^3/\text{d}]$
 V_{at} = volume aëratietank $[\text{m}^3]$
 ds_{at} = droge-stofgehalte in aëratietank $[\text{kg}/\text{m}^3]$

- aërobe slibbelasting = over-all slibbelasting * (24/aërobe contacttijd) [h/d]
 - aërobe + anoxische slibbelasting =
 over-all slibbelasting * (24/aërobe+anoxische contacttijd) [h/d]

8. Bruto/netto P-afgifte: Het gestripte, ingedikte, slib uit de indikker van de deelstroom komt samen met het influent terug in de hoofdstroom van de rwzi. De bruto P-afgifte is geformuleerd als de som van de hoeveelheid fosfaat dat met het supernatant het systeem verlaat + de hoeveelheid (opgelost) fosfaat in het gestripte, ingedikte slib. De netto P-afgifte is geformuleerd als de hoeveelheid fosfaat welke met het supernatant het systeem verlaat.

In formule:

$$\text{netto P-afgifte: } \frac{\text{kg P-ortho/d (A)}}{\text{kg slib-ds/d (C)}}$$

$$\text{bruto P-afgifte: } \frac{\text{kg P-ortho/d (A+B)}}{\text{kg slib-ds/d (C)}}$$

waarin: A = supernatant van de indikker in de deelstroom
 B = P-ortho opgelost in het gestripte slib
 C = gestript slibafvoer uit de indikker in de deelstroom

9. Acetaatbenutting: Onder acetaatbenutting wordt verstaan de hoeveelheid acetaat die wordt verbruikt voor het afstaan van 1 mg P.

In formule:

$$\frac{\text{kg acetaat/d}}{\text{kg P-ortho}_{\text{released}}/\text{d}} = \text{mg Ac/mg P-ortho}$$

10. Slibleeftijd: Deze is berekend als een over-all slibleeftijd, dus aërobe periode, inclusief anoxische en anaërobe periode. De slibleeftijd is berekend over de hoeveelheid slib die in de aëratietank aanwezig is.

In formule:

$$\text{slibleeftijd} = \frac{V_{at} * ds_{at}}{Q_{ss} * ds_{ss}} \quad [\text{dagen}]$$

waarin: V_{at} = volume aëratietank $[m^3]$
 ds_{at} = droge-stofgehalte aëratietank $[kg/m^3]$
 Q_{ss} = debiet spuislib $[m^3/d]$
 ds_{ss} = droge-stofgehalte spuislib $[kg/m^3]$

11. Anaërobe verblijftijd deelstroom (selectiedruk in deelstroom):

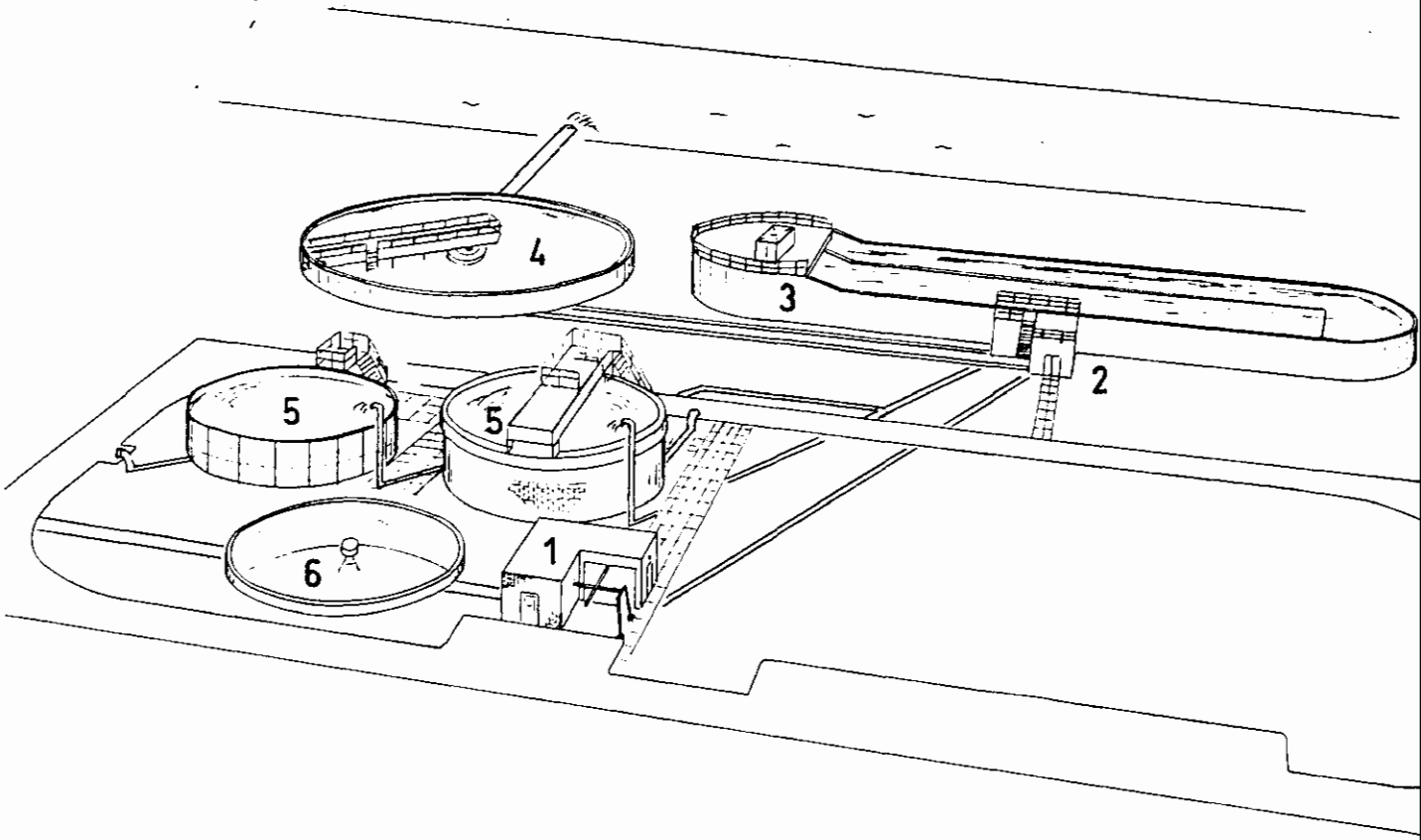
$$\frac{V_{str} * ds_{str}}{V_{str} * ds_{str} + V_{at} * ds_{at}} * 100\%$$

waarin: V_{str} = volume strippertank $[m^3]$
 ds_{str} = droge-stofgehalte strippertank $[kg/m^3]$
 V_{at} = volume aëratietank $[m^3]$
 ds_{at} = droge-stofgehalte aëratietank $[kg/m^3]$

11 LITERATUUR.

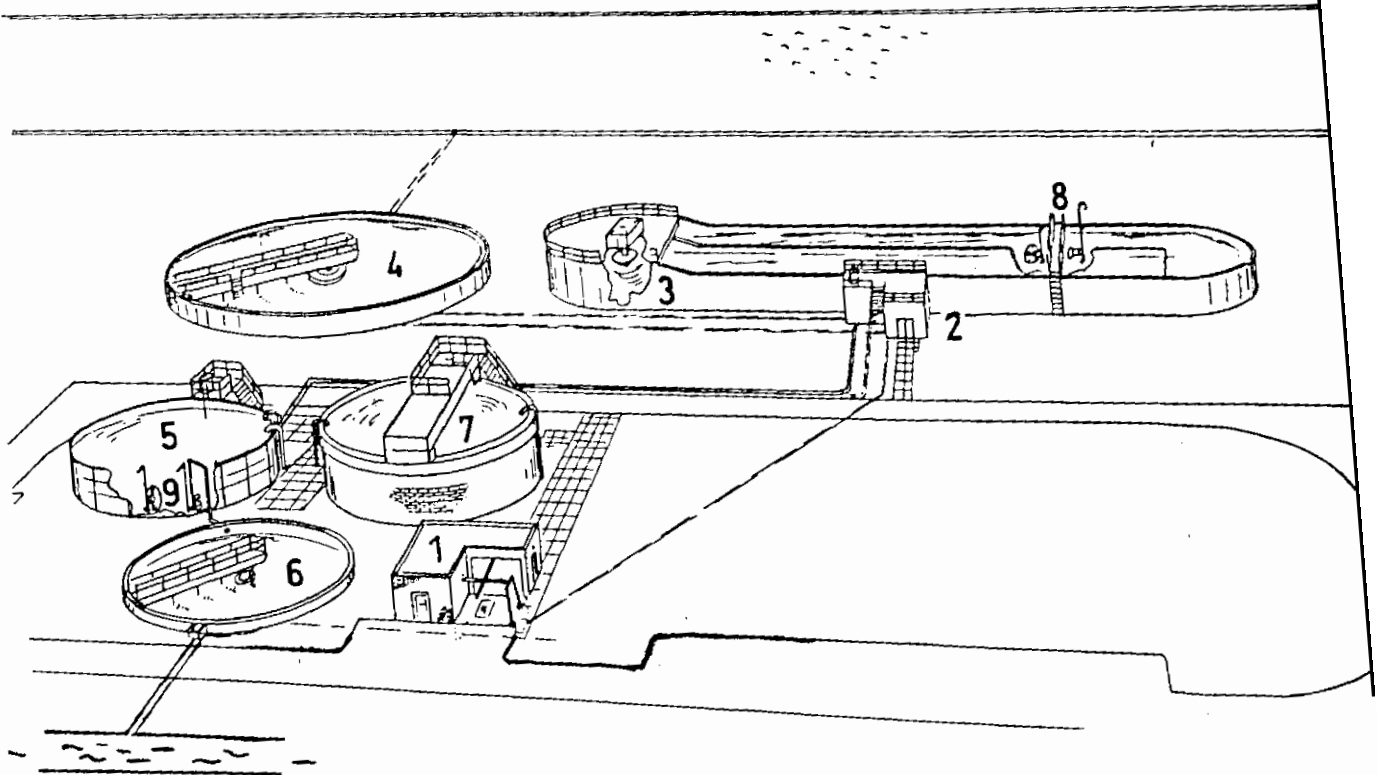
- 1 U.S. Environmental protection agency (1975), Process design manual for nitrogen control. University of California.
- 2 Klapwijk,A. (1978). Eliminatie van stikstof uit afvalwater door denitrificatie. Centrum voor lanbouwpublikaties en landbouwdocumentatie, LU Wageningen.
- 3 STOWA (1985). Denitrificatie. STOWA, Rijswijk.
- 4 Groenestijn, J.W.van, (1988). Accumulation and degradation of polyphosphate in *Acinetobacter* sp.. Proefschrift vakgroep microbiologie, LU Wageningen.
- 5 Janssen,P.M.J. (1992). Handleiding biologische fosfaatverwijdering. Programma PN 1992. STOWA, Rijswijk.
- 6 RIZA/STOWA (1990). Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laag belaste actief-slibinstallatie (RWZI Bergambacht), oriënterend onderzoek fase 1, Werkdocument RWZI 2000 90-03W, RIZA/STOWA, Lelystad/Rijswijk.
- 7 RIZA/STOWA (1992). Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laag belaste actief-slibinstallatie (RWZI Bergambacht), meetresultaten fase 1,2,3. Werkdocument RWZI 2000 92-01W, RIZA/STOWA, Lelystad/Rijswijk.

BIJLAGEN

BIJLAGE 1a SITUATIESCHETS RWZI BERGAMBACHT VOOR OMBOUW.

- 1 influentgemaal / bedieningsruimte
- 2 selektor / retourslibvijzel / spuislibindikker
- 3 aëratietank
- 4 nabezinktank
- 5 ingedikt-slibopslag
- 6 oude nabezinktank (buiten gebruik)

BIJLAGE 1b SITUATIESCHETS RWZI BERGAMBACHT NA OMBOUW.



- 1 influentgemaal / bedieningsruimte
- 2 selektor / retourslibvijzel / spuislibindikker
- 3 aëratietank
- 4 nabezinktank
- 5 strippertank
- 6 gestript-slibindikker
- 7 ingedikt-slibopslag
- 8 ejectorpomp / voortstuwer
- 9 menger

BIJLAGE 2 GEBRUIKTE APPARATUUR OMBOUW RWZI.

onderdeel	merk	type no.
zuurstofmeter/ transmitter	Endress + Hauser	905/ OVR-2
redoxpotentiaalmeter	Endress + Hauser	ETB-A
ejector (10 kg O ₂ /h)	Flygt	C3152
stromingsvormer	Flygt	4410
slibtoevoerpomp	Flygt	DF 3067
menger strippertank	Flygt	440
ingedikt slibafvoerpomp	Allweiler	AG SEP 380
spuislibpomp	Stöber	R27-1067-110-2
chemicaliëndosering	Gesco	A14

BIJLAGE 3 METING FOSFAATAFGIFTECAPACITEIT.

De fosfaatafgiftecaciteit wordt in een batch-experiment bepaald aan de hand van de hoeveelheid ortho-fosfaat welke door het slib, na het toevoegen van een overmaat acetaat, in een onbeluchte periode wordt afgestaan.

- werkwijze:
- * 5 liter actiefslib uit beluchtingstank;
 - * 15 minuten intensief beluchten;
 - * zuurstofconcentratie laten dalen tot 1 mg/l (roerder zo instellen dat er geen luchtinslag optreedt, maar dat het slib wel in suspensie blijft);
 - * acetaat toevoegen (t=0) (20 g NaAc.3H₂O);
 - * monsternamen op t=0, 60, 120, 180 (minuten) monsters direct filtreren en aanzuren met geconcentreerd zwavelzuur;
 - * bepalen ortho-P gehalten in filtraatmonsters;
 - * bepalen droge-stofgehalte actiefslib;
 - * afgiftecaciteit berekenen als mg P/g ds.

In het filtraat wordt het ortho-P gehalte bepaald met behulp van on-line analyse-apparatuur.

BIJLAGE 4 EFFECT ACETAATDOSERING OP FOSFAATAFGIFTE.

1 Algemeen.

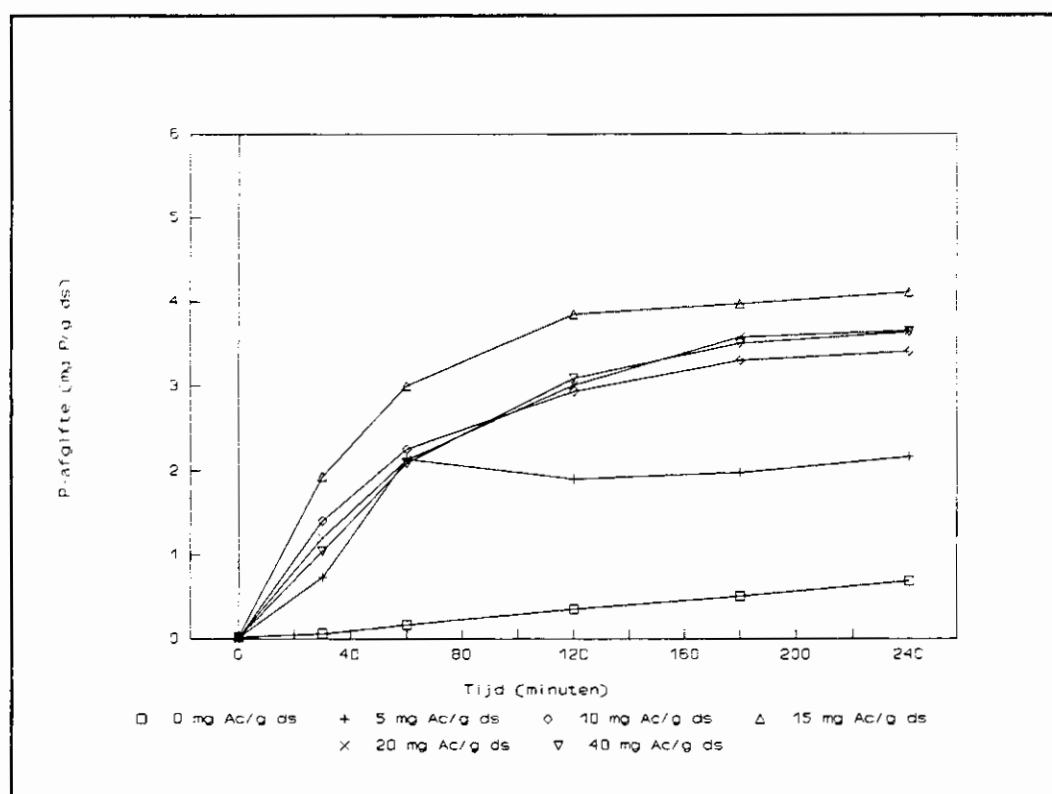
Vluchtige vetzuren versnellen, tijdens een anaërobe periode, de fosfaatrelease. Hiervoor wordt in de praktijk vaak acetaat gebruikt veelal in de vorm van azijnzuur, eventueel geneutraliseerd met natronloog.

Het doel van de proeven is de relatie tussen acetaatdosering, fosfaatafgiftesnelheid en -afgiftecapaciteit van het slib te bepalen. Nitraat-N is bij deze metingen vanaf aanvang afwezig.

Acetaat is toegevoegd als een 10% NaAc.3H₂O-oplossing, Er heeft geen pH-correctie plaatsgevonden.

2 Fase 3.4.

De resultaten staan grafisch weergegeven in figuur 4.1.



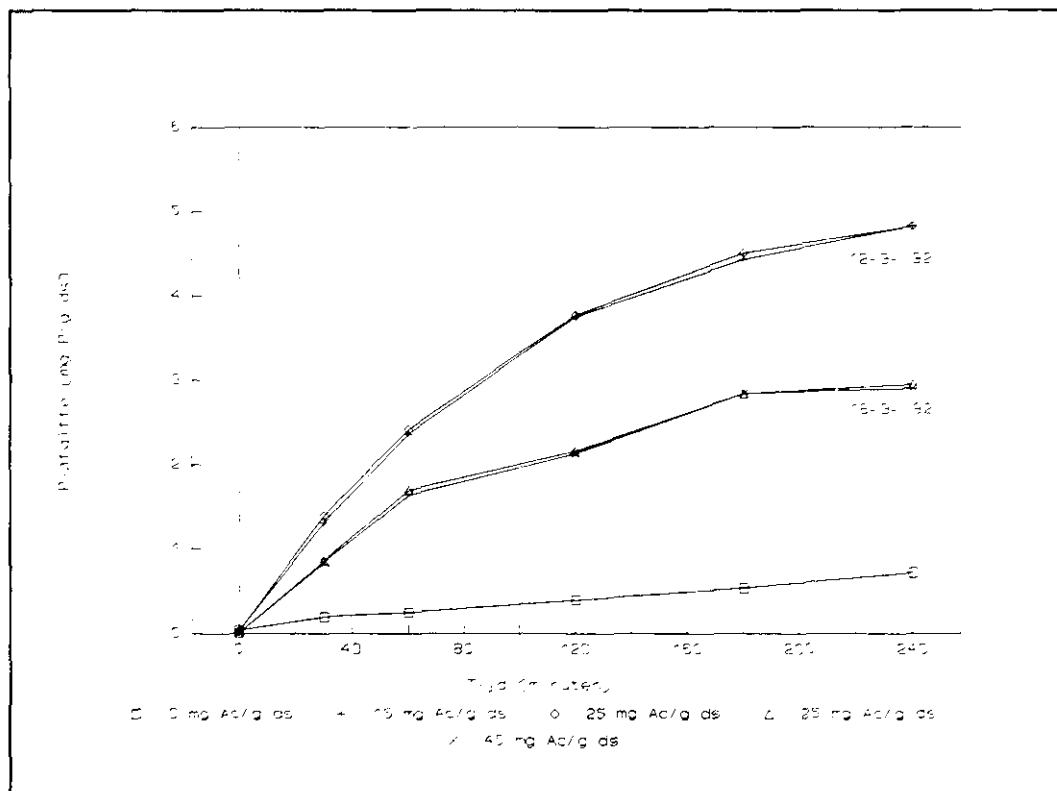
Figuur 4.1 Invloed van de acetaatdosering op de fosfaatafgifte (fase 3.4).

Uit deze figuur blijkt dat, bij een hogere acetaatdosering dan 15 mg Ac/g ds, het fosfaat niet sneller wordt afgegeven.

Tevens is te zien dat volstaan kan worden met een striptijd van circa 3 uur. De fosfaatafgiftesnelheid bedraagt circa 3,8 mg P/(g ds.h)

3 Fase 3.5.

De resultaten van de experimenten van fase 3.5 zijn samengevat in figuur 4.2.



Figuur 4.2 Invloed van de acetaatdosering op de fosfaatafgifte (fase 3.5).

In fase 3.5 is de specifieke acetaatdosering van de praktijkinstallatie verhoogd van 15 naar 30 mg Ac/g ds. Achterliggende gedachte hierbij was dat de acetaatdosering moet worden gebaseerd op de hoeveelheid ortho-fosfaat die door het slib wordt afgestaan. Bij een halvering van de SAF van fase 3.4 naar fase 3.5 is een hogere P-belading van het slib te verwachten en hiermee een hogere P-afgifte in de strippertank. De metingen welke zijn verricht op 18-3-'92 komen op een lagere maximale release uit dan de metingen van 12-3-'92.

In dit tijdvak is ook de fosfaatafgiftecapaciteit van het slib (gemeten volgens bijlage 3) gedaald van 5.1 naar 3.7 mg P/g ds.

Daar op beide dagen een releasemeting is gedaan met een specifieke acetaatdosering van 25 mg Ac/g ds is onderlinge vergelijking van de resultaten toch mogelijk.

Uit de figuur blijkt dan ook dat een hogere acetaatdosering dan 15 mg Ac/g ds geen invloed heeft op releasesnelheid of -capaciteit van het slib.

BIJLAGE 5 EFFECT NITRAAT OP FOSFAATAFGIFTE.

1 Algemeen.

In de literatuur [5] wordt regelmatig gewezen op verstoringen van de fosfaatafgifte, en daarmee de fosfaatopname, door de aanwezigheid van nitraat in het retourslib. Over de oorzaak hiervan bestaan meerdere theorieën:

- acetaatcompetitie tussen fosfaataccumulerende bacteriën en denitrificerende bacteriën;
- remming als gevolg van stoffen die bij het denitrificatieproces vrijkomen;
- fosfaatopname door denitrificerende bacteriën.

In het experiment is de invloed van een verschillend nitraatgehalte op het P-release proces onderzocht (proef A). Daarnaast is er gezocht naar een mogelijke relatie tussen de acetaatconcentratie en de denitrificatiesnelheid (proef B).

Nitraat-N is bij deze experimenten toegevoegd als 10% NaNO_3 -oplossing. Vluchtige vetzuren zijn in de vorm van acetaat toegevoegd in een 10% $\text{NaAc} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ -oplossing.

2. Proef A: Effect nitraatconcentratie op de fosfaatafgifte-snelheid.

De remming over een anoxische en anaërobe fase is berekend ten opzichte van de fosfaatrelease van het slib waaraan geen extra nitraat-N is toegevoegd. Als reactietijd is de HRT (4 uur) van het slib in de strippertank aangehouden. De specifieke acetaatdosering bedraagt 29 mg Ac/g ds. Daarnaast is de remming van de fosfaatafgifte berekend over de periode waarin nog nitraat aanwezig is (remming anoxische fase). De resultaten staan vermeld in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Effect van nitraat-N op de fosfaatafgifte-snelheid.

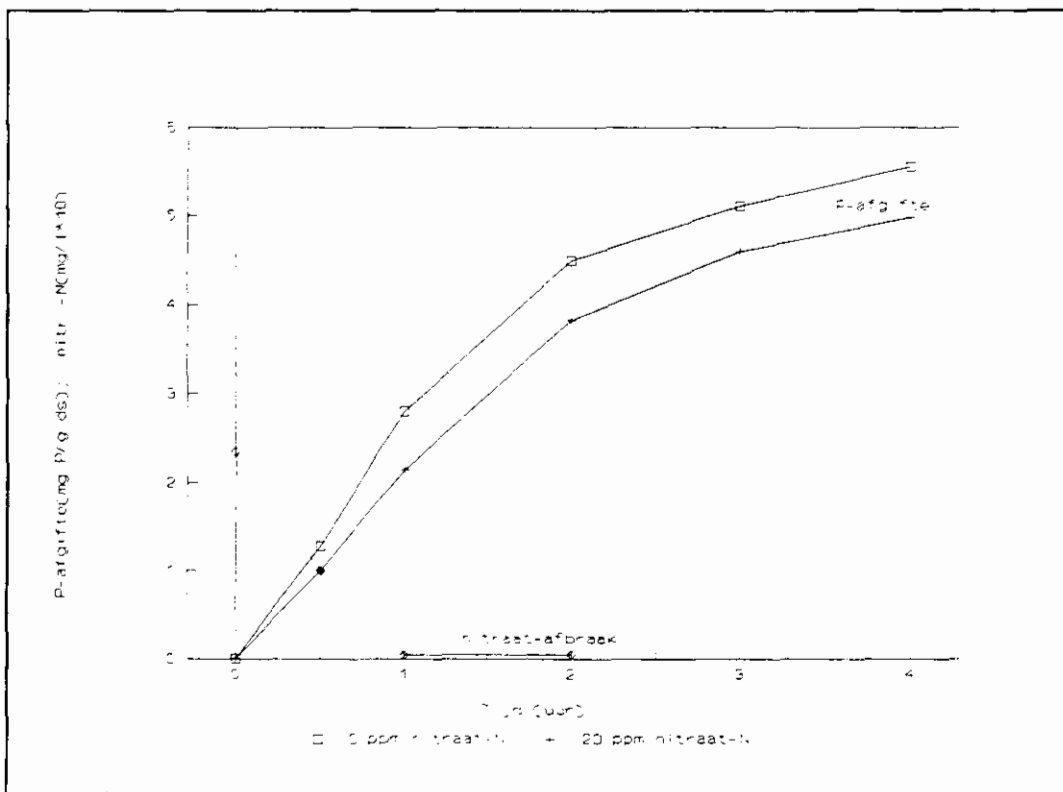
nitraat-N toegevoegd (mg nitraat-N/l)	% remming		
	anoxische fase	anaërobe fase	anoxische + anaërobe fase
0	0	0	0
10	10	0	3.5
20	25	0	9

Bij aanwezigheid van nitraat-N is de fosfaatafgiftesnelheid lager dan wanneer er geen nitraat-N aanwezig is (2 respectievelijk 2,5 mg P/(g ds.h). Deze snelheden worden weer aan elkaar gelijk wanneer het nitraat door denitrificatie is weggenomen. De grafische weergave hiervan staat in figuur 5.2.

Er is echter ook sprake van een blijvende invloed op de maximale afgifte en dus op de fosfaat-opnamecapaciteit. Gebleken is dat de uiteindelijke maximale fosfaatafgifte (na 4 uur) niet meer op het niveau komt van de situatie zonder nitraatdosering. Acetaatgebrek lijkt hierop van invloed te zijn.

Om de maximale fosfaatafgiftesnelheid van het slib te kunnen benutten zal er dus gestreefd moeten worden naar een laag nitraatgehalte in het retourslib of zal er meer acetaat moeten worden gedoseerd.

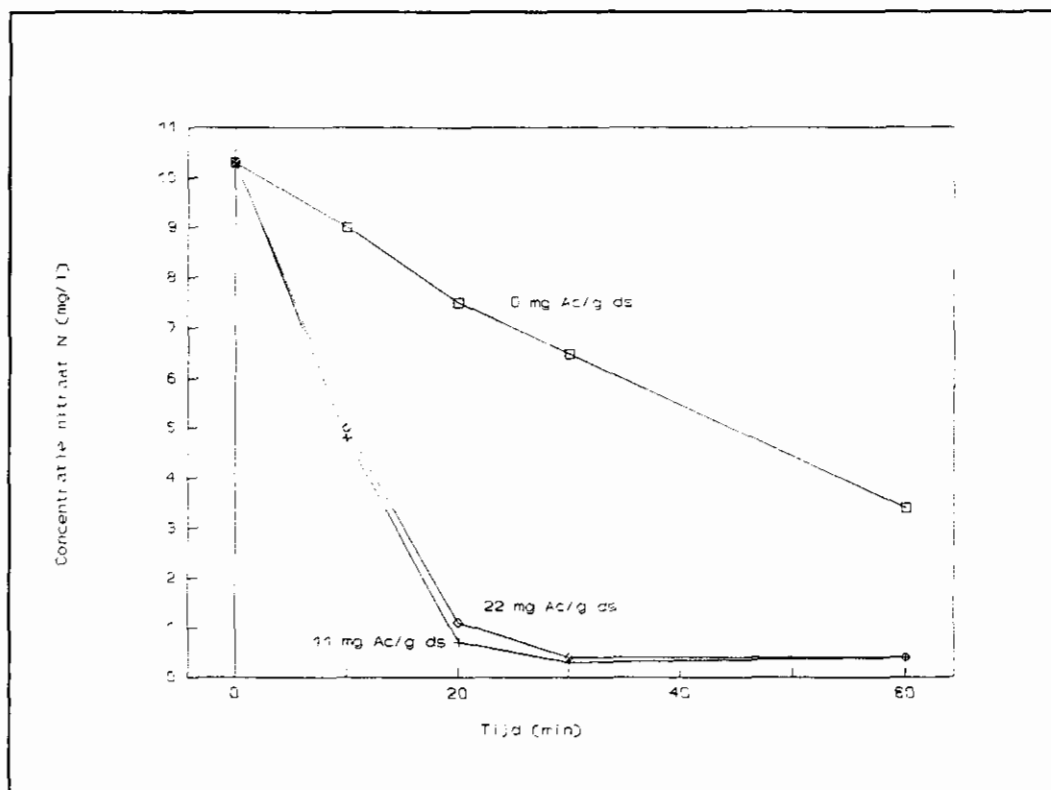
Het verhogen van de slibverblijftijd in de strippertank, ten behoeve van de denitrificatie, zal naar verwachting niet leiden tot het bereiken van de maximale afgiftesnelheid.



Figuur 5.2 Effect van nitraat-N op de fosfaatafgifte.

proef B: Invloed acetaatconcentratie op de denitrificatiesnelheid.

De resultaten staan grafisch weergegeven in figuur 5.3.



Figuur 5.3 Invloed van de acetaatconcentratie op de denitrificatiesnelheid.

Uit deze figuur blijkt dat de toevoeging van acetaat de denitrificatiesnelheid aanmerkelijk vergroot.

De acetaatdosering, welke doorgaans bij biologisch defosfateren voorkomt, is geen limiterende factor voor de denitrificatiesnelheid.

BIJLAGE 6 EFFECT NEUTRALISATIE AZIJNZUUR OP FOSFAATAFGIFTE.

1 Algemeen.

Een onderdeel van de jaarlijkse kosten ten behoeve van biologisch defosfateren volgens het deelstroomproces is de toevoegingen die aan het slib moeten worden gedaan om een goede, snelle afgifte van het fosfaat door het slib te verkrijgen.

Uit praktische en uit kostenoverwegingen kan acetaat het beste als azijnzuur toegevend worden. Door het toedienen van een zuur zal de pH van het slib dalen, wat kan leiden tot een verminderde of een langzamere fosfaatafgifte door het slib.

Het doel van deze experimenten is te achterhalen in welke mate het neutraliseren van azijnzuur met natronloog noodzakelijk is, en welke verhouding hierbij tot een maximale fosfaatrelease leidt.

De azijnzuurdosering is gebaseerd op een droge-stofgehalte van het retourslib van $7,5 \text{ kg/m}^3$ en een specifieke acetaatdosering van 30 mg Ac/g ds ($\approx 216 \text{ g Ac/m}^3$). De loogdosering is gebaseerd op een stoichiometrische neutralisatie van azijnzuur.

2 Invloed van azijnzuurdosering op het pH-verloop in de tijd.

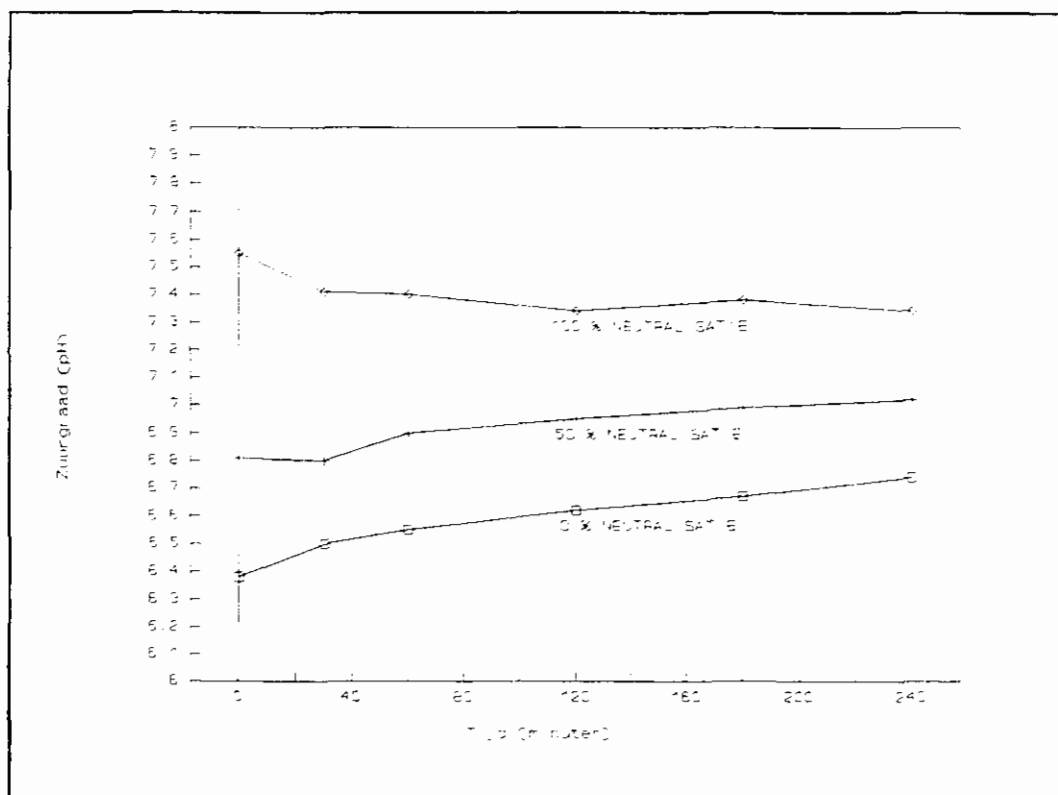
Het pH-verloop in de tijd staat weergegeven in figuur 6.1.

De pH van het retourslib is 7.4.

Uit de figuur blijkt dat de pH-sprong in het slib, die ontstaat door het toevoegen van azijnzuur, niet geheel door de bufferende werking van het slib wordt weggenomen.

Tevens is sprake van een geleidelijk weer oplopende pH als gevolg van opname van azijnzuur door de micro-organismen.

Bij 50 % neutralisatie van het azijnzuur is de pH-daling ongeveer de helft kleiner dan zonder neutralisatie. Bij 100 % neutralisatie blijft de pH op de begin pH.

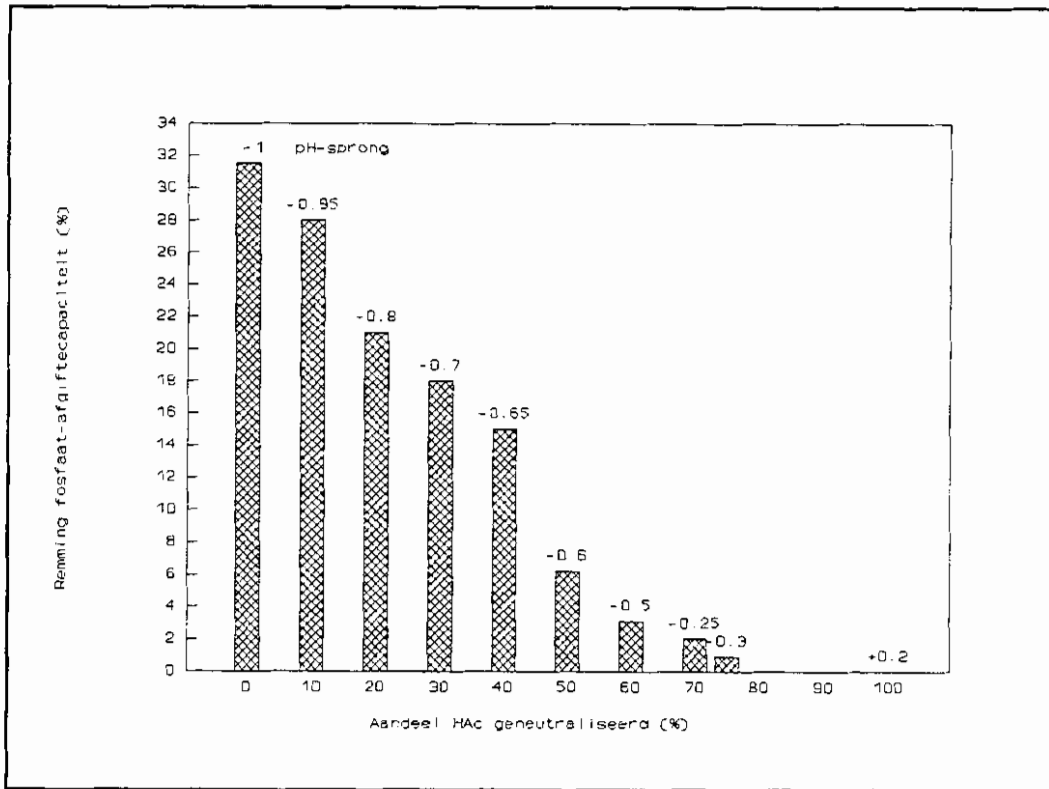


Figuur 6.1 pH-verloop bij volledige en bij niet volledige neutralisatie van het azijnzuur (pH voor dosering: 7.4).

3. Invloed van azijnzuurneutralisatie op de fosfaatrelease.

De resultaten van de fosfaatreleasemetingen zijn berekend als percentage remming ten opzichte van de fosfaatrelease bij 100% neutralisatie en een reactietijd van 4 uur. De resultaten zijn weergegeven in figuur 6.2.

Hierin is tevens de pH-sprong van het slib, door toevoeging van azijnzuur en natronloog, weergegeven.



Figuur 6.2 Invloed van de neutralisatie van azijnzuur op de fosfaatrelease.

Uit figuur 6.2 blijkt dat het niet neutraliseren van azijnzuur leidt tot een verminderde fosfaatrelease. Een neutralisatie van minder dan 50% leidt tot een sterk toenemende remming van de fosfaatrelease.

BIJLAGE 7 CONCENTRATIEVERLOOP IN AERATIETANK.

1 Algemeen.

Ten behoeve van vergaande stikstofverwijdering, is het beluchtingsregime van de rwzi aangepast: De oorspronkelijk toegepaste continue beluchting is gewijzigd in een intermitterende beluchting.

In aërobe (zuurstofrijke) perioden vindt oxydatie van stikstof plaats tot nitriet en nitraat (nitrificatie).

Tevens wordt ortho-fosfaat als poly-fosfaat vastgelegd.

Tijdens anoxische perioden wordt het gevormde nitraat gedenitrificeerd tot stikstofgas. Gedurende de erop volgende anaërobe perioden kan, bij aanwezigheid van vluchtige vetzuren afkomstig van het influent, het fosfaat door het slib worden afgegeven. Hierdoor treedt selectie op van fosfaataccumulerende bacteriën.

Gedurende de aërobe fasen zal de nitraatconcentratie toenemen. Hierdoor zal tevens sprake zijn van een toenemende 'nitraatlek' naar het effluent.

Gedurende de onbeluchte fasen treedt hetzelfde op met ammonium.

Dit onderzoek heeft tot doel het verloop van de nitraat- en ammoniumconcentratie onder praktijkomstandigheden te karakteriseren. Tevens zal de invloed van de influenttoevoer op het stikstofprofiel worden bepaald.

De metingen zijn verricht onder dwa-omstandigheden tijdens fase 3.4 (concentratieverloop met influent (2)) en fase 3.5 (concentratieverloop zonder influent (3)).

Daar de beluchtingstank een volledig gemengde ruimte is, is er gekozen voor één bemonsteringspunt nabij de overstort naar de nabezinktank.

2 Concentratieverloop met influent.

Een karakteristiek verloop van verschillende parameters in de aëratietank van de rwzi staat weergegeven in figuren 7.1.

Tijdens de niet beluchte periode ($t=0$ t/m $t=170$ en $t=300$ t/m $t=360$) is een afname van nitraat-N en een toename van ammonium-N waarneembaar.

Bij een beluchte periode ($t=170$ t/m $t=300$) is dit verloop omgekeerd.

Het droge-stofgehalte in de aëratietank was 3,3 g/l.

De P-ortho concentratie blijft constant op een lage waarde.

Tijdens de niet beluchte periode is er nauwelijks P-release waarneembaar.

De zuurstofconcentratie en de redoxpotentiaal dalen na het stopzetten van de beluchting. De overgang van anoxische naar anaërobe omstandigheden vindt plaats bij een E_h van -60 mV. De nitraat-N concentratie is dan circa 0,4 mg/l.

Door het hoge nitraatgehalte bij aanvang van de onbeluchte periode duurt de anoxische fase relatief lang waardoor de anaërobe fase te kort is voor de afgifte van ortho-fosfaat.

De redoxpotentiaal daalt tijdens een anaërobe periode tot circa -180 mV.

In een beluchte periode stijgt deze tot circa + 70 mV.

2 Concentratieverloop zonder influent.

Het verloop van de verschillende parameters staat weergegeven in figuren 7.2.

Het droge-stofgehalte in de aëratietank was 3,4 g/l.

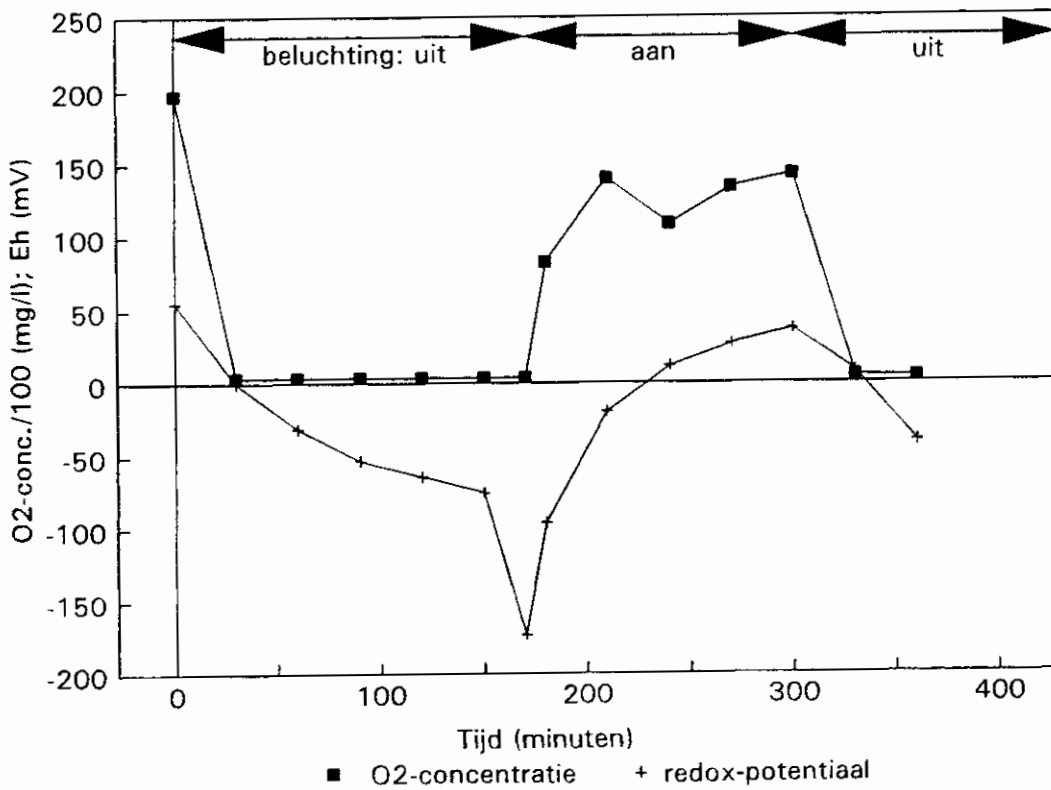
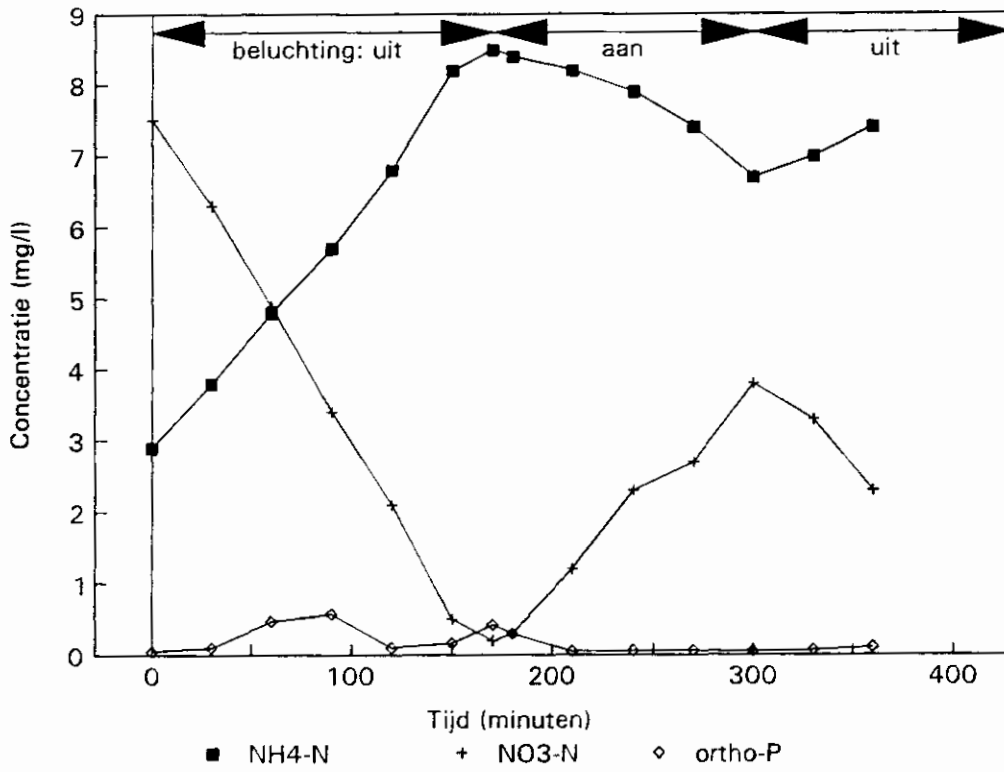
Tijdens de niet-beluchte periode (t=0 t/m t=170) is een geringe afname van nitraat-N waarneembaar. Door de afwezigheid van BZV is de denitrificatiesnelheid laag. De nitraatconcentratie blijft hierdoor hoog. De redox-potentiaal daalt slechts in beperkte mate.

Tevens wordt door de afwezigheid van influent geen ammonium gevormd.

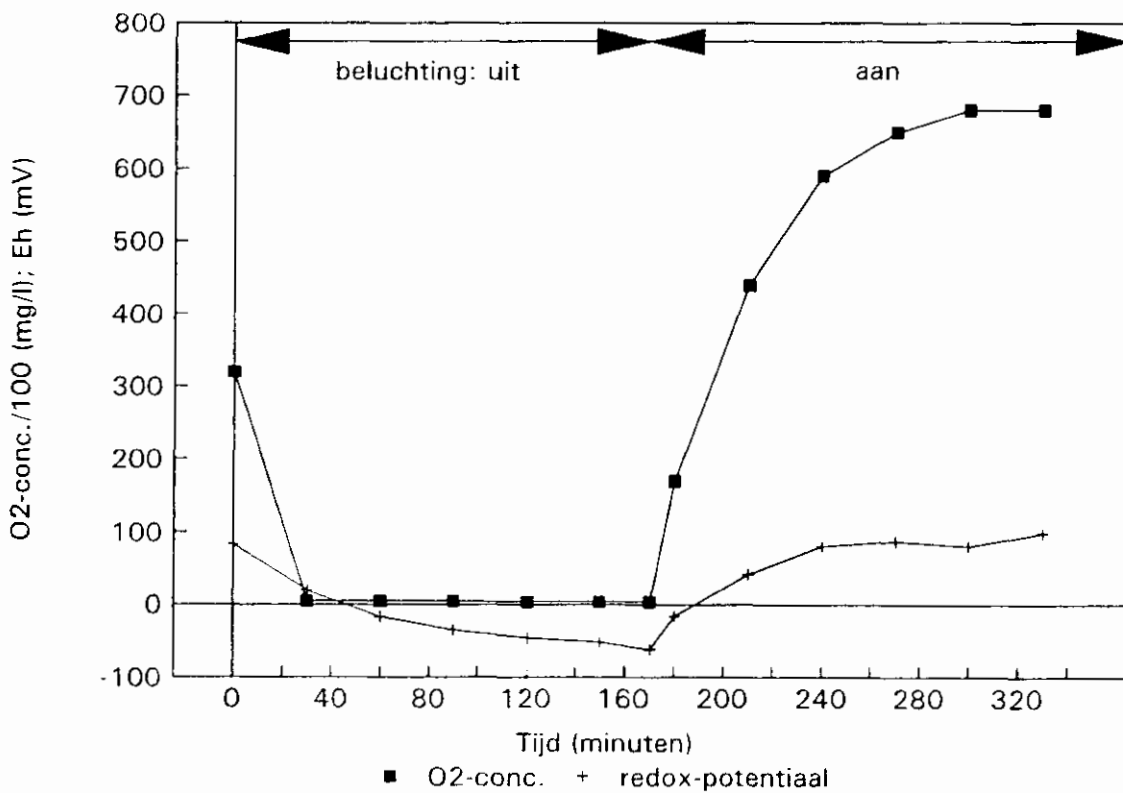
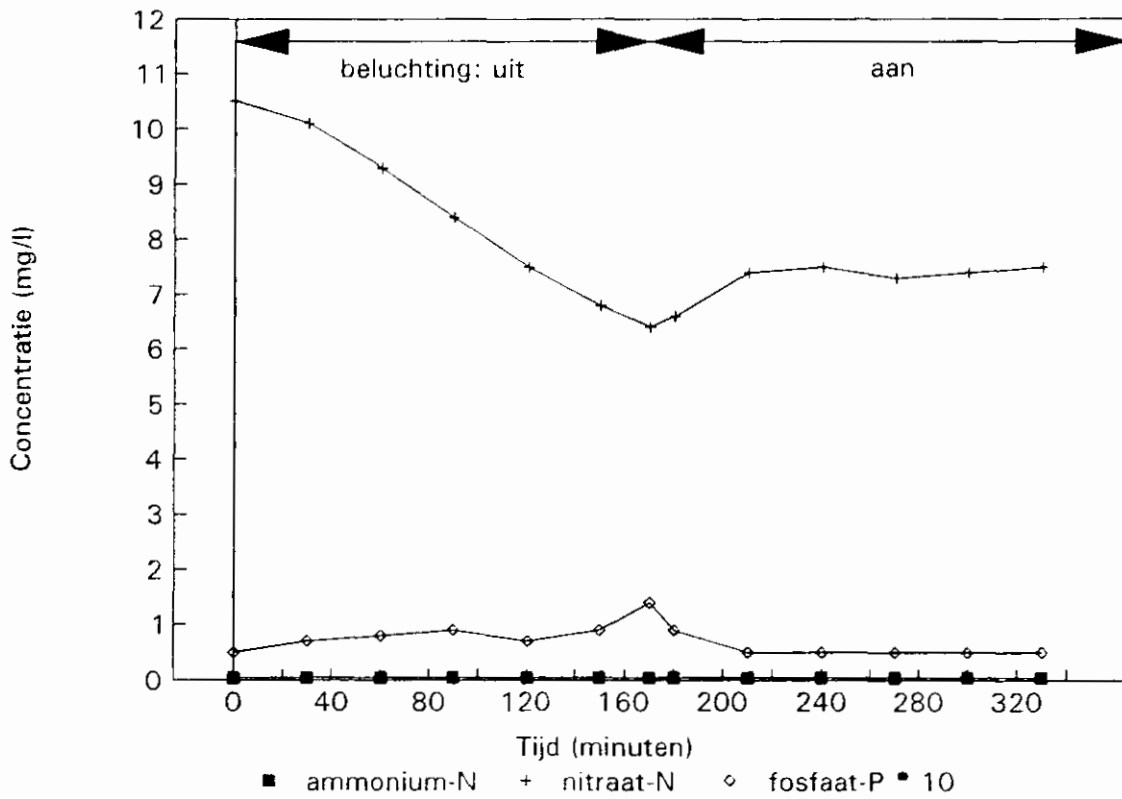
Ondanks de aanwezigheid van nitraat en de afwezigheid van vluchtige vetzuren is tijdens de niet-beluchte periode een geringe fosfaatrelease waarneembaar.

Bij de beluchte periode (t=170 t/m t=330) is aanvankelijk een stijging van nitraat-N waarneembaar. Echter, door de afwezigheid van ammonium-N vindt er geen nitrificatie plaats.

Het in de onbeluchte fase afgegeven fosfaat wordt tijdens de beluchte periode weer door het slib opgenomen.



Figuren 7.1 Concentratieverloop in de aëratietank tijdens een beluchte en een niet beluchte periode.



Figuren 7.2 Concentratieverloop in de aëratietank tijdens een beluchte en een niet beluchte periode.

BIJLAGE 8 REDOXPOTENTIALMETING.

Electro-chemische processen, veroorzaakt door chemische reacties, ontstaan door reacties met elektronenoverdracht.

De stof welke de electronen afstaat, de reductor, wordt geoxideerd.

Daar electronen niet vrij in een oplossing kunnen voorkomen, dient er direct een andere stof aanwezig te zijn die de electronen opneemt. Deze stof, de oxidator wordt gereduceerd.

In een oplossing waarin verschillende oxidatoren en reductoren aanwezig zijn (bijvoorbeeld actiefslib) verlopen bovengenoemde processen continu. Er zal een steady-state situatie ontstaan. De dan aanwezige "spanning" in de vloeistof is de reductie/oxidatie-potentiaal afgekort tot redox-potentiaal.

Wanneer de concentratie van oxidator en reductor in de oplossing bekend zijn kan de redox-potentiaal berekend worden met formule 8.1.

$$U = U_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{ox}}{a_{re}} \quad [8.1]$$

waarin: U	=	spanning (V)
U ₀	=	standaard electrode potentiaal (V)
n	=	aantal electronen betrokken bij één redox-reactie
R	=	gasconstante (8,31349 J K ⁻¹ mol ⁻¹)
T	=	absolute temperatuur (K)
F	=	constante van Faraday (9,648456*10 ⁴ mol ⁻¹)
a _{ox} , a _{re}	=	concentratie (mol/l)

Hoe hoger het quotiënt oxidator/reductor, hoe hoger de gemeten potentiaal zal zijn. Bij een hoog quotiënt zal de potentiaal positief zijn, bij een laag quotiënt zal de gemeten potentiaal negatief zijn.

Door het meten van de redox-potentiaal is dus te achterhalen welke redox-reactie er op dat moment verloopt, en dus welke stof(fen) in hogere concentraties aanwezig zijn.

Redoxpotentiaal toegepast in de rioolwaterzuivering.

Om in een rwzi de organische stof en stikstof te oxideren dient een sterke, in ruime mate aanwezige, oxidator aanwezig te zijn in de vorm van zuurstof.

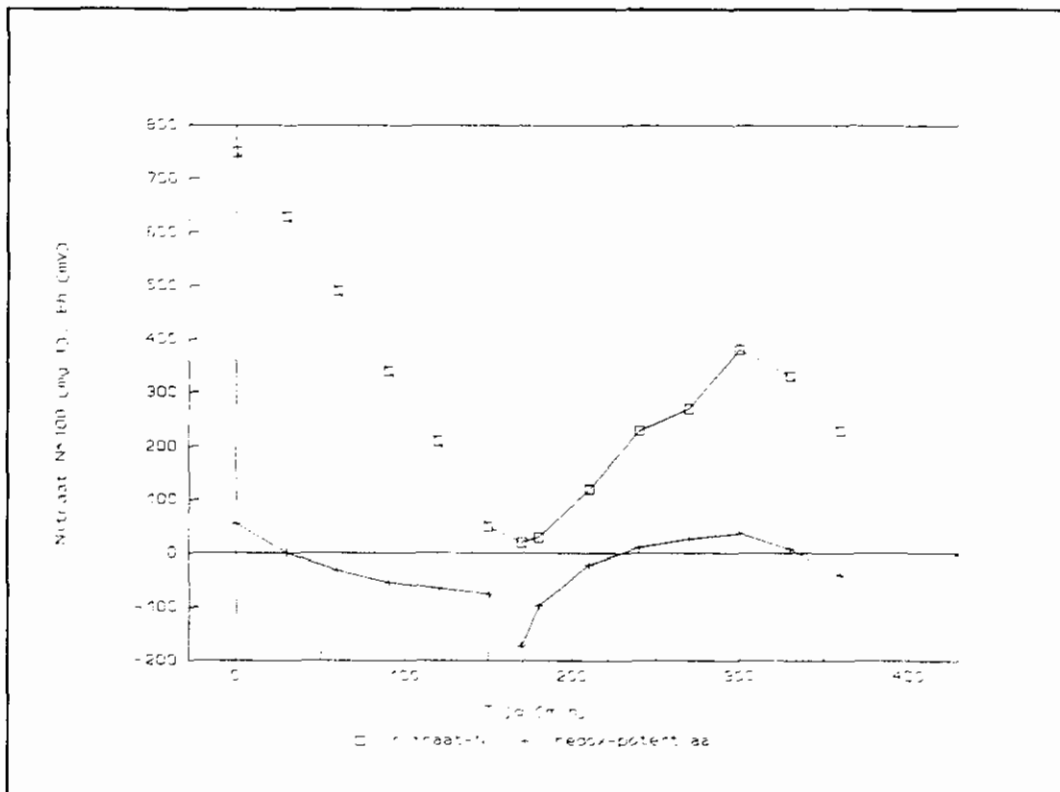
De redox-potentiaal is bij aanwezigheid van zuurstof in de aëratietank positief.

Voor vergaande stikstofverwijdering is op de rwzi Bergambacht gekozen voor intermitterende beluchting in de tijd. Dit betekent dat op bepaalde tijdstippen de beluchting wordt uitgezet.

Het vrije zuurstof wordt verbruikt, het quotiënt oxidator/reductor daalt waardoor ook de redoxpotentiaal daalt. Ten behoeve van de redoxreacties zullen vervolgens andere oxidatoren gaan fungeren. Eén van deze oxidatoren is nitraat welke aan het eind van een beluchte periode in voldoende mate aanwezig is. Het stikstof verlaat het systeem als stikstofgas (denitrificatie).

Tijdens de denitrificatie neemt het nitraatgehalte af. Hierdoor daalt ook de redoxpotentiaal. Op het moment dat de reductorconcentratie groter wordt dan de oxidatorconcentratie wordt de redox-potentiaal negatief. Wanneer het nitraatgehalte is gedaald tot circa 0,4 mg/l is ook deze oxidator nagenoeg verbruikt. De redox-potentiaal is dan circa -60 mV. Het slib bevindt zich dan onder anaërobie condities.

Het verband tussen de nitraatconcentratie en de redoxpotentiaal staat weergegeven in figuur 8.1.



Figuur 8.1 Verband tussen de redoxpotentiaal en de nitraatconcentratie.

Uit de praktijkproef is gebleken dat het verloop van de redoxpotentiaal goed reproduceerbaar is.

Tevens lijkt de redoxpotentiaal een goede regelparameter te zijn voor actief-slibsystemen met vergaande N-verwijdering.

BIJLAGE 9 VERBLIJFTIJDSPREIDING STRIPPERTANK.

De gemiddelde verblijftijd van het slib in de strippertank lijkt, op basis van batch-experimenten, ruim voldoende om een maximale fosfaatafgifte te bereiken. Door verblijftijdspreiding echter zal een gedeelte van het slib minder lang in de strippertank aanwezig zijn dan de berekende (gemiddelde) verblijftijd. Hierdoor kan een gedeelte van het slib niet de maximale hoeveelheid fosfaat afstaan. Een ander deel van het slib zal langer dan de berekende verblijftijd in de strippertank aanwezig zijn, maar kan daarentegen niet meer dan de maximale hoeveelheid fosfaat afstaan. Hierdoor is de totale fosfaatafgifte in de strippertank lager dan de maximale release welke in een batch-experiment (propstroomreactor) wordt gemeten.

Om de ogenschijnlijke discrepantie in de meetresultaten van het onderzoek te verklaren is gebruik gemaakt van het onderstaande model.

$$C_t = C_i - (C_i - C_0) * e^{-t*Q/V} \quad [9.1]$$

waarin C_t : concentratie in bassin op tijdstip t
 C_i : concentratie in invoer
 C_0 : concentratie in bassin op tijdstip $t = 0$
 Q : debiet (m^3/h) (invoer = uitvoer)
 V : volume bassin (m^3)
 t : tijdsduur (h)

Met formule 9.1 is het concentratieverloop te berekenen in een ideaal gemengd bassin met gelijktijdige invoer en uitvoer.

De volgende invoergegevens, bij een aanname dat de strippertank een ideaal gemengde ruimte is, zijn hierbij gebruikt:

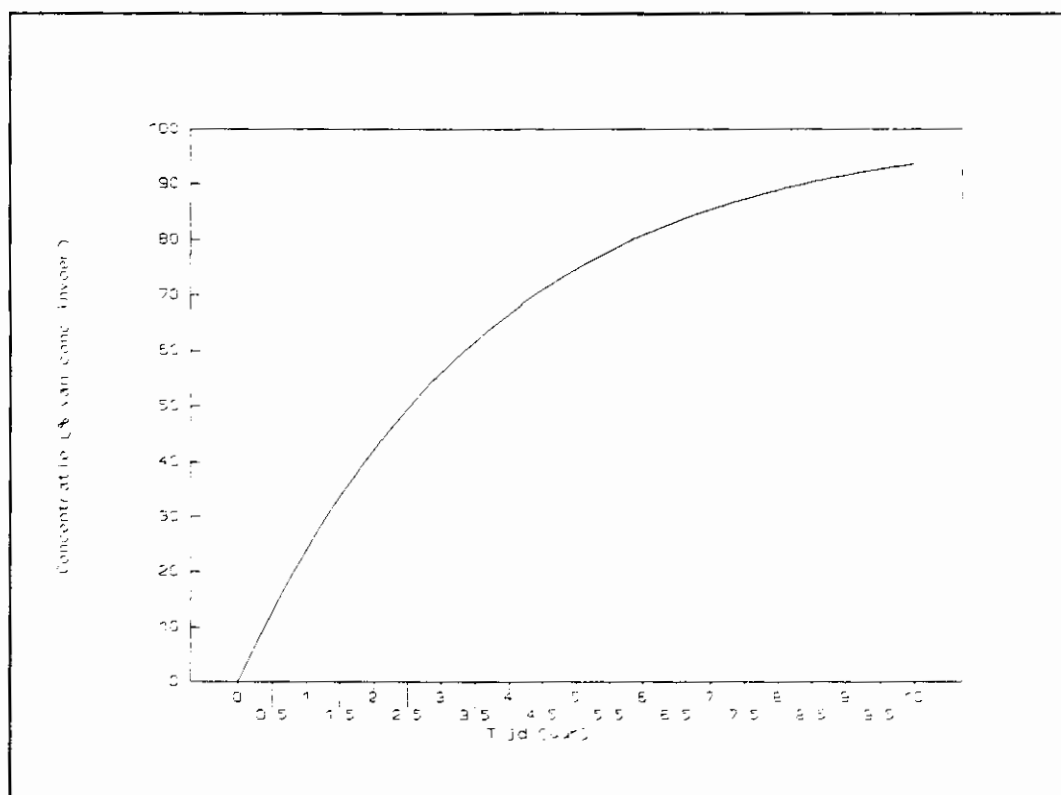
C_i : 100 %
 C_0 : 0 %
 Q : 3,75 m^3/h
 V : 14 m^3
 t : 0-10 h

Het resultaat van deze berekening is grafisch weergegeven in figuur 9.1.

Hieruit blijkt dat 65 % van het slib een kortere verblijftijd heeft dan de theoretische HRT van $14/3,75 = 3,7$ h.

Uit afgifte-experimenten (bijlage 4) is gebleken dat nagenoeg volledige afgifte is bereikt na drie uur anaërobe verblijftijd in de strippertank.

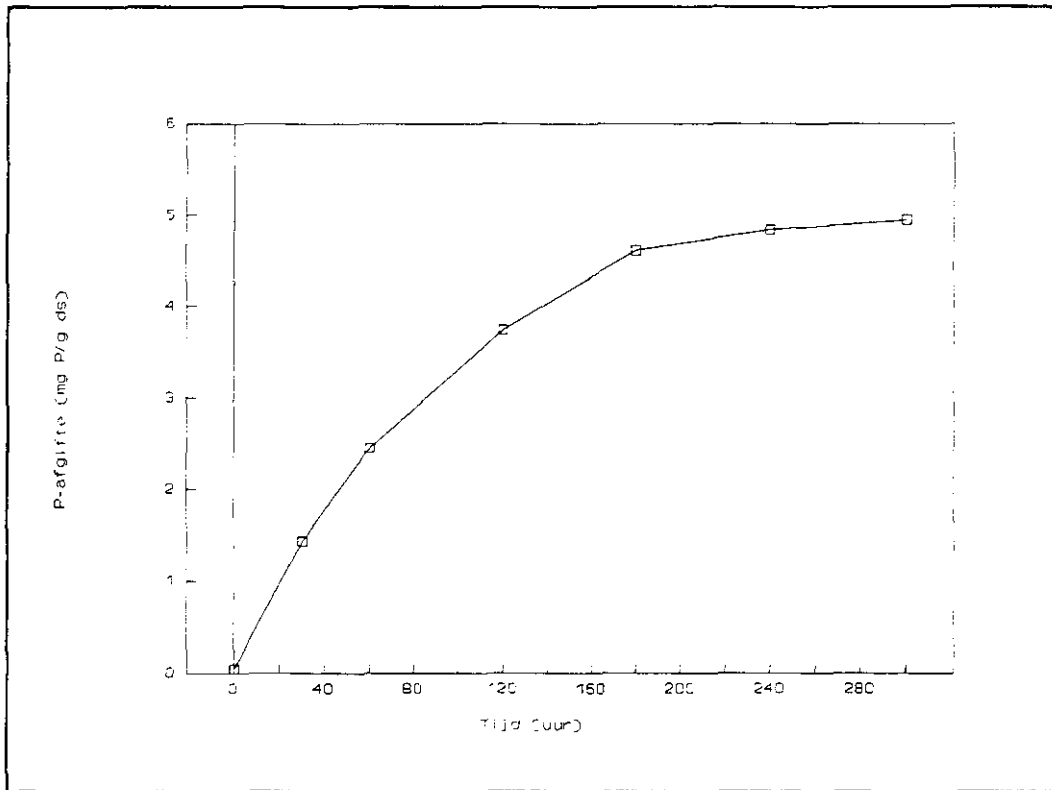
In de volledig gemengde tank heeft 55 % van het slib een kortere verblijftijd dan de minimaal benodigde drie uur (figuur 9.1).



Figuur 9.1 Het concentratieverloop in een ideaal gemengde strippertank.

Om deze gegevens te kunnen combineren met de fosfaatafgifte in de strippertank is er op laboratoriumschaal een fosfaatafgifteprofiel in de tijd bepaald. De specifieke acetaatdosering is hierbij gelijk aan die van de praktijkinstallatie namelijk 25 mg Ac/g ds.

Het fosfaatafgifteprofiel staat in figuur 9.2 weergegeven.



Figuur 9.2 Fosfaatafgifteprofiel van actiefslib.

Uit figuur 9.2 is bij een bepaalde verblijftijd in de anaërobe tank de bijbehorende P-release af te leiden.

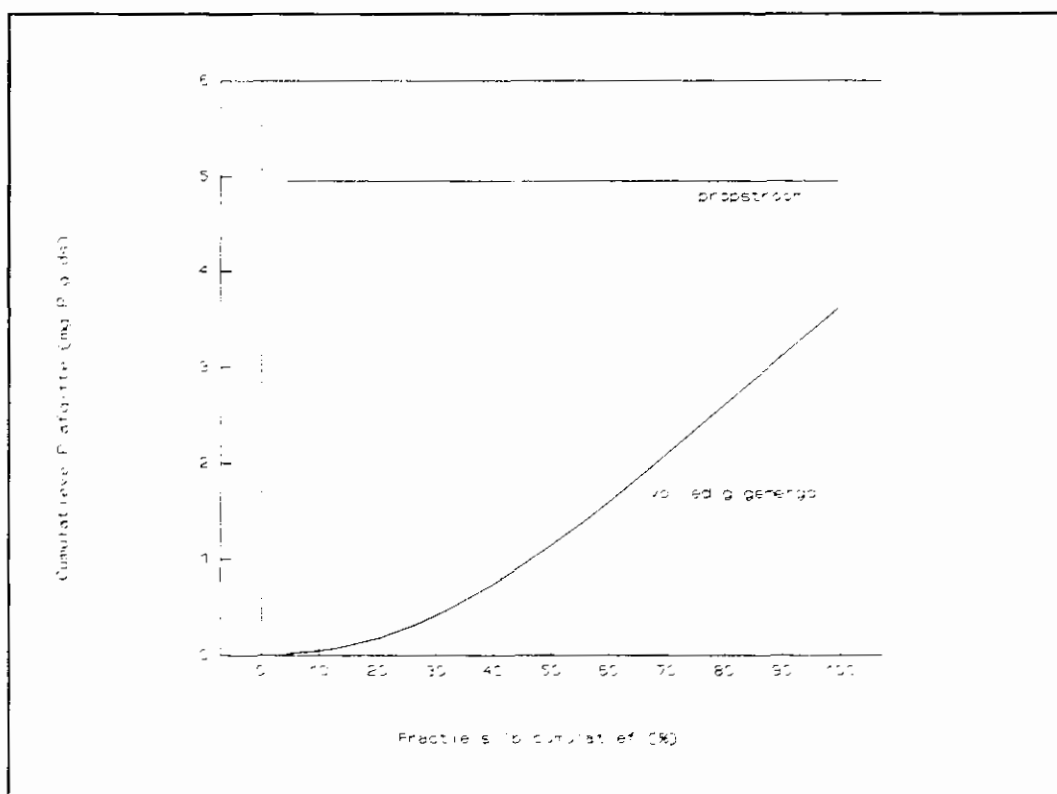
Bij elke verblijftijd is hiermee een fractie slib én een specifieke P-afgifte aan te geven. Vermenigvuldiging van de fractie slib met de bijbehorende specifieke P-afgifte geeft de bruto P-afgifte bij die verblijftijd.

Integratie van de bruto P-afgifte bij de verschillende verblijftijden resulteert in de totale bruto P-afgifte.

Voor de situatie Bergambacht is met het vorengenoemd model een bruto P-afgifte te berekenen van 3,6 mg P/g ds (figuur 9.3)

In de praktijkinstallatie is een bruto P-afgifte van 3,7 mg P/g ds gemeten.

Ter vergelijking is in figuur 9.3 het verband weergegeven tussen de hoeveelheid gestript slib en de bijbehorende P-afgifte in een propstroomreactor.



Figuur 9.3 Verband tussen de hoeveelheid gestript slib en de bijbehorende P-afgifte.

AWZI BERGAMBACHT - BIOLOGISCHE DEFOSFATERING

FASE	INFLUENT		CZV		BZVa		N-kjeldahl		P-totaal		P-ortho		BZV/N	BZV/P	Cl	alkali- teit	vluchtige vetzuren	Fe	Ca	Mg	Al	
	debiet	pH	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	-/-	-/-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1.1	1385		702	972	295	409	59	82	11.6	16	4.9	7										
	1786		409	730	167	298	38	68	7.6	14	4.1	7										
1.3	1132		465	526	196	222	51	58	9.7	11	5.4	6										
	1622		334	542	138	224	43	70	6.8	11	3.9	6										
1.5	2172		471	1023	158	343	36	78	6.9	15	3.0	6										
	1598		440	703	176	281	43	69	7.6	12	3.9	6										
1.7	1436		427	613	150	215	45	65	7.3	10	3.7	5										

AERATIETANK

FASE	ACTIEF SLIB		gloeirest	gloeirest %	bezinking ml/l	verdunningsfactor -/-	SVI ml/g	BZV-slibbelasting kg/kg.d	temperatuur oC	slibleeftijd d
	mg/l	kg								
1.1	4400	6367					66	0.064	17.0	
	3700	5354					70	0.065	16.0	
1.3	5200	7524					90	0.031	10.0	
	3700	5354					126	0.047	9.0	
1.5	3600	5209					132	0.062	11.0	
	3400	4920					152	0.057	11.0	
1.7	3600	5209					212	0.041	11.0	

EFFLUENT

FASE	debiet	pH	CZV		BZVa		N-kjeldahl		N-org.	N-NH4+	N-NO3-	N-totaal		P-totaal		P-ortho		P-gebonden	droogrest		
			mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	mg/l		
1.1			38	53	3	4.2	9		3.9	4.6	6.4	20.0	27.7	28.5	39.5	3.7	5.1	3.24	4.5	0.46	4
			43	77	4	7.1	4		2.2	2.0	3.6	8.8	15.7	13.0	23.2	2.7	4.8	1.99	3.6	0.71	4
1.3			46	52	3	3.4	6		4.0	1.7	1.9	17.0	19.2	22.7	25.7	3.1	3.5	2.49	2.8	0.61	4
			52	84	4	6.5	4		1.9	2.3	3.7	4.0	6.5	8.2	13.3	2.4	3.9	1.86	3.0	0.54	5
1.5			58	126	3	6.5	4		2.1	2.0	4.3	3.0	6.5	7.1	15.4	1.7	3.7	1.16	2.5	0.54	3
			58	93	3	4.8	3		1.7	1.7	2.7	3.5	5.6	6.9	11.0	2.4	3.8	1.87	3.0	0.53	3
1.7			65	93	9	12.9	5		1.7	3.7	5.3	1.6	2.3	7.0	10.1	2.0	2.9	1.16	1.7	0.84	13

AWZI BERGAMBACHT - BIOLOGISCHE DEFOSFATERING

	INFLUENT																					
	debiet	pH	CZV		BZVa		N-kje dahl		P-totaa		P-ortho		BZV/N	BZV/P	Cl	alkali- teit	vluchtige vetzuren	Fe	Ca	Mg	Al	
GEMIDDELD	m3/d		mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	-/-	-/-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
FASE 3.1																						
rekenkundig	2672	7.3	406	948	148	318	37	83	6.2	14	2.7	6	3.8	24.2	167	302	29	4	90	10	6	
gewogen			355		119		31		5.2		2.2											
FASE 3.2																						
rekenkundig	1531	7.4	386	600	131	201	43	65	6.0	9.2	3.2	5	3.0	21.5	186	322	48	3	91	12	2	
gewogen			392		131		42		6.0		3.2											
FASE 3.3																						
rekenkundig	1697	7.2	446	637	174	248	44	66	7.1	10	3.1	5	3.8	25.2	188	265	52	2	107	14	2	
gewogen			375		146		39		5.9		2.9											
FASE 3.4																						
rekenkundig	1839	7.2	462	863	183	334	44	76	7.8	13	3.3	5	4.2	27.3	170		34					
gewogen			469		182		41		7.1		2.7											
FASE 3.5																						
rekenkundig	1748	7.4	618	1079	240	420	50	85	7.3	13	3.7	6	4.8	32.0	215		54					
gewogen			617		240		49		7.4		3.4											
FASE 3.6																						
rekenkundig	1452	7.4	451	660	178	259	50	72	6.6	10	4.4	6	3.6	27.2	169		50					
gewogen			455		178		50		6.8		4.1											
FASE 3.7																						
rekenkundig	1585	7.5	462	747	176	283	46	73	6.9	11	3.8	6	3.7	25.7	184		66					
gewogen			471		179		46		6.9		3.8											

AERATIETANK

GEMIDDELD	ACTIEF SLIB		gloeirest %	bezinking ml/l	verdunnings- factor -/-	SVI ml/g	BZV-slib- belasting kg/kg.d	temperatuur oC	slib- leeftijd d
	droogrest mg/l	kg							
FASE 3.1									
rekenkundig	4238	6132	31	241	2	100	0.052	16.4	25
gewogen							0.052		
FASE 3.2									
rekenkundig	3472	5024	33	253	1	109	0.043	20	27
gewogen							0.043		
FASE 3.3									
rekenkundig	3899	5642	32	267	2	107	0.046	18.1	23
gewogen							0.046		
FASE 3.4									
rekenkundig	3672	5314	30	254	2	119	0.064	11.7	18
gewogen							0.064		
FASE 3.5									
rekenkundig	3747	5422	28	262	2	134	0.079	10.4	28
gewogen							0.079		
FASE 3.6									
rekenkundig	3509	5077	28	274	2	152	0.052	13	22
gewogen							0.052		
FASE 3.7									
rekenkundig	4080	5904	30	264	2	124	0.049	18	24
gewogen							0.049		

JEFFLUENT																							
=====																							
debiet pH	CZV	BZVa	N-kjeldahl	N-org.	N-NH4+	N-NO3-	N-totaal	P-totaal	P-ortho	P-gebonden	droog-	rest											
m3/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	mg/l	mg/l										
=====																							
FASE 3.1																							
rekenkundig	2467	7	40	92	3.4	6.8	4.1	8.4	1.6	2.8	5.5	2.4	6.5	6.4	16.2	0.6	1.1	0.4	0.6	0.2	0.2	8	
gewogen			37		2.8		3.4		2.2		2.6		6.6		0.5		0.2				0.3		
FASE 3.2																							
rekenkundig	1293	8	48	63	3.6	4.7	4.2	5.6	2.0	2.2	3.0	1.8	2.3	6.1	9.3	0.3	0.4	0.15	0.2		0.17	7	
gewogen			49		3.6		4.3		2.0	2.3	1.8		7.2		0.3		0.15				0.15		
FASE 3.3																							
rekenkundig	1477	7	36	49	2.3	3.2	3.8	5.0	1.4	2.4	3.1	2.5	4.7	6.3	11.1	0.3	0.4	0.10	0.1		0.15	9	
gewogen			33		2.2		3.4		1.3	2.1	3.2		7.5		0.3		0.07				0.21		
FASE 3.4																							
rekenkundig	1764	7	47	80	4.3	7.6	7.6	12.0	1.9	5.7	8.8	2.7	5.6	10.3	18.4	0.3	0.5	0.14	0.3		0.18	5	
gewogen			45		4.3		6.8		1.8	5.0	3.2		10.4		0.3		0.17				0.11		
FASE 3.5																							
rekenkundig	1695	7	57	95	5	8.6	10	16.0	2.1	8.3	11.9	3.0	4.6	13.4	22.1	0.5	0.9	0.30	0.5		0.23	6	
gewogen			56		5		9		2.4	7.0	2.7		13.1		0.5		0.29				0.24		
FASE 3.6																							
rekenkundig	1385	7	54	75	4	6.0	5	7.0	1.9	3.2	4.4	3.3	4.5	8.4	12.1	0.8	1.1	0.59	0.8		0.23	5	
gewogen			54		4		5		1.9	3.2	3.2		8.7		0.8		0.57				0.22		
FASE 3.7																							
rekenkundig	1525	8	46	71	3	4.6	4	5.8	1.5	2.3	3.6	0.8	1.2	4.5	7.2	0.7	1.0	0.39	0.6		0.27	?	
gewogen			47		3		4		1.4	2.4	0.8		4.7		0.7		0.39				0.26		

STRIPPERTANK

	TOEVOER				DOSERING				AFVOER					
	debiet m ³ /d	P-totaal mg/l	P-ortho mg/d	P-gehalte slib van ds	debiet l/d	specifieke dosering mgAc/g ds	natronloog debiet l/d	pH slib voor na	P-totaal mg/l	P-ortho mg/l	droogrest kg/d	inhoud m ³	siibarb. factor l/d	verblijf tijd h
GEMIDDELD														
FASE 3.1														
rekenkundig	369	198	0.33	8854	3251	2.3			201	4.4	8496	3123	213	0.51
gewogen				8810					8463					14.0
FASE 3.2														
rekenkundig	405	156	0.17	6967	2817	2.2	39	11	145	12.3	6426	2597	139	0.52
gewogen				6956			58	7.2	6412					8.3
FASE 3.3														
rekenkundig	358	135	0.16	7197	2575	1.9	35	11	128	10.1	6829	2461	64	0.44
gewogen				7193			5.0	7.2	6874					4.3
FASE 3.4														
rekenkundig	179	173	0.18	8058	1338	2.2	21	12	173	13.6	8104	1357	40	0.26
gewogen				7475			7	7.2	7581					5.3
FASE 3.5														
rekenkundig	88	203	0.38	8009	706	2.5	30	30	208	16.9	8488	747	13	0.14
gewogen				8023			9.5	7.1	8489					3.6
FASE 3.6														
rekenkundig	88	214	0.61	7844	691	2.7	21	21	206	21.7	7603	670	13	0.09
gewogen				7852			12	6.4	7614					3.6
FASE 3.7														
rekenkundig	84	247	0.31	9375	790	2.6	20	16	253	25.8	10507	891	13	0.07
gewogen				9405			21	5.4	10607					3.8

STRIPPERLIJN-INDIKKER

OVERLOOPWATER

	GESTRIPT SLIB																		
	debiet	P-totaal	P-ortho	P-gebonden	droogrest	P-afgifte snelheid	Bruto P-afgifte	Netto P-afgifte	Fosfaatafgifte	P-totaal	P-ortho	droogrest	P-gehalte slib						
GEMIDDELD	m ³ /d	kg/d	mg/l	mg/l	kg/d	mgP/(g ds.h)	mgP/g ds	mgP/g ds	mgP/g ds	kg/d	kg/d	kg/d	% van ds						
FASE 3.1																			
rekenkundig	204	7 1.4	4.8	1.0	2.6	19	4.0	0.07	1.01	0.41	3.9	165	361	59.6	14.1	2.32	16530	2725	2.2
gewogen		7	4.9		20								361	14.1		16515			
FASE 3.2																			
rekenkundig	238	16 3.7	14	3.3	1.7	28	6.7	0.30	2.43	1.31	3.5	167	287	47.8	17.2	2.86	14178	2364	1.9
gewogen		16	14		28								286						
FASE 3.3																			
rekenkundig	220	14 2.8	12	2.7	1.3	24	5.2	0.49	2.09	1.17	2.7	138	311	42.7	15.6	2.16	16700	2291	1.8
gewogen		13	12		24								309	15.7		16601			
FASE 3.4																			
rekenkundig	103	20 2.1	16	1.7	3.5	39	3.5	0.49	2.69	1.40	3.8	74	333	23.6	22.4	1.63	16867	1262	1.9
gewogen		20	17		34								319	22.0		17054			
FASE 3.5																			
rekenkundig	54	26 1.4	23	1.2	3.4	82	4.4	0.94	3.33	1.71	4.6	35	441	15.2	33.7	1.16	19254	664	2.2
gewogen		26	22		81								434	33.1		18971			
FASE 3.6																			
rekenkundig	67	33 2.2	25	1.7	8	71	4.7	0.97	3.47	2.53	4.9	22	454	9.7	28.7	0.61	21486	459	2.0
gewogen		33	25		70								441	27.7		20864			
FASE 3.7																			
rekenkundig	59	36 2.1	30	1.8	5.8	74	4.4	0.84	3.13	2.15	4.7	25	407	10.2	32.0	0.80	17682	443	2.1
gewogen		36	31		76								408	32.0		17720			

SPUI-SLIBINDIKKER

GEMIDDELD	OVERLOOPWATER			INGEDIKT SLIB						SLIB AFGEVOERD			
	P-totaal mg/l	P-ortho mg/l	droog- rest mg/l	debiet m3/d	P-totaal mg/kg ds	P-ortho kg/d	droogrest mg/l	%	kg ds/d	SLIB m3	AFGEVOERD P-totaal droog- rest		
											mg/kg ds	%	
FASE 3.1 rekenkundig gewogen	173.7	4.0	6966	8	20307	5.0	46	3.0	248.0	663			3.1
FASE 3.2 rekenkundig gewogen	66.6	6.7	2795	9	19433	3.1	29	2.8	157.9	567	21910		3.4
FASE 3.3 rekenkundig gewogen	91.2	3.2	3733	21	17992	9.1	28	2.7	235.0	187			3.0
FASE 3.4 rekenkundig gewogen	122.7	1.5	5136	11	18096	5.0	45	2.8	279.7	585	19355		2.6
FASE 3.5 rekenkundig gewogen	156.3	2.3	6038	10	20196	5.1	70	2.7	257.8	605	19433		2.6
FASE 3.6 rekenkundig gewogen				12	21424	9.7	29	2.1	261.6	210	21585		2.0
FASE 3.7 rekenkundig gewogen				14	23203	9.7	32	1.8	248.7	596	23492		1.8

GEMIDDELD	P-BALANS (kg/d)			UIT		
	IN	effluent	supernatant	effluent	supernatant	spuislib
	influent	retour	totaal	deel	stromen	gemeten
	stripper			stroom	gemeten	berekend
FASE 3.1						
rekenkundig	13.8	2.0	15.8	1.1	0.8	5.0
gewogen						11.9
FASE 3.2						
rekenkundig	9.2	2.9	12.1	0.4	3.3	3.1
gewogen						5.5
FASE 3.3						
rekenkundig	10.0	2.2	12.2	0.4	2.7	9.1
gewogen						7.0
FASE 3.4						
rekenkundig	13.5	1.6	15.1	0.5	1.7	5.0
gewogen						11.5
FASE 3.5						
rekenkundig	12.7	1.2	13.8	0.9	1.2	5.1
gewogen						10.6
FASE 3.6						
rekenkundig	9.5	0.6	10.2	1.1	1.7	10.2
gewogen						6.7
FASE 3.7						
rekenkundig	11.2	0.8	12.0	1.0	1.8	9.7
gewogen						8.4

BIJLAGE 11. KOSTENBEREKENING.

GESPECIFICEERDE KOSTENBEREKENING VOOR DEFOSFATEREN

Uitsluitend de kosten voor defosfatering zijn in de kostenoverzichten opgenomen.
(in guldens * 1000)

Raming civiele installatie:

onderdeel	capaciteit rwzi							
	ie a 50 g BZV:	40.000			100.000			
	ie a 136 g TZV:	53.000			132.000			
	simultaan	biologisch	biologisch	simultaan	biologisch	biologisch		
	chemisch	hoofdstroom	deelstroom	chemisch	hoofdstroom	deelstroom		
ijzersulfaatkelder	340			340				
anaerobe tanks		950			1950			
vergroting beluchtingscircuit	165		165	330				330
nabeluchtingstanks		230			460			
opvangbakken loog + zuur			40					65
striptank + afdekking			120					280
bezinktank + afdekking			220					430
gebouwtje kalkoplosunit			60					60
fundatieplaat mengtank + indikkers			25					35
fundatieplaats slibopslagsilo's			20					35
verbindend leidingwerk								
terreinwerken								
subtotaal	505	1180	650	670	2410			1235
onvolledigheid 10%	50.5	118	65	67	241			123.5
Totaal	555.5	1298	715	737	2651			1358.5

GESPECIFICEERDE KOSTENBEREKENING VOOR DEFOSFATEREN

Uitsluitend de kosten voor defosfatering zijn in de kostenoverzichten opgenomen.
(in guldens * 1000)

Raming mechanische en elektrische installatie:

onderdeel	capaciteit rwzi							
	ie a 50 g BZV:	40.000	simultaan chemisch	biologisch hoofdstroom	biologisch deelstroom	simultaan chemisch	biologisch hoofdstroom	biologisch deelstroom
	ie a 136 g TZV:	53.000				100.000		
						132.000		
beluchting nabeluchtingstanks				60			90	
dompelmengers anaerobe tanks				50			70	
metaalzoutendosering			90	140		120	170	
menger in strippertank					10			15
toevoerpomp + fo					15			25
debietmeting					10			15
ruimerwerk indikker					70			110
afvoerpomp indikker + fo					20			30
menger in mengtank					10			15
PVC-tank					5			10
kalkmelkinstallatie;								
kalksilo + filter + trilbodem					70			70
kalkmelk aanmaak • regeling					35			35
kalkmelk dosering					15			25
kalkbezinkers					220			440
sliopslag silo's					40			80
azijnzuur dosering					30			45
natronloog dosering					30			45
electrotechnische installatie 35%			31.5	87.5	203	42	115.5	336
subtotaal			121.5	337.5	783	162	445.5	1296
onvolledigheid 20%			24.3	67.5	156.6	32.4	89.1	259.2
Totaal (afgerond)			146	405	940	194	535	1555

GESPECIFICEERDE KOSTENBEREKENING VOOR DEFOSFATEREN

Uitsluitend de kosten voor defosfatering zijn in de kostenoverzichten opgenomen.
(in guldens * 1000)

Stichtingskosten van de varianten 'simultaan chemisch', 'biologisch hoofdstroom' en 'biologisch deelstroom'

capaciteit rwzi								
	ie a 50 g BZV:	40.000				100.000		
	ie a 136 g TZV:	53.000				132.000		
		simultaan chemisch	biologisch hoofdstroom	biologisch deelstroom		simultaan chemisch	biologisch hoofdstroom	biologisch deelstroom
Bouwkosten								
- civiele werken		556	1298	715		737	2651	1359
- mechanische/ electrotechnische werken		146	405	940		194	535	1555
Advieskosten (15%)		105	255	248		140	478	437
Onvoorzien 10%		70	170	165		93	319	291
INVESTERINGSKOSTEN		877	2129	2068		1164	3982	3642
BTW (18,5%)		162	394	383		215	737	674
TOTAAL (INCLUSIEF BTW)		1039	2523	2451		1380	4719	4316

GESPECIFICEERDE KOSTENBEREKENING VOOR DEFOSFATEREN

Uitsluitend de kosten voor defosfatering zijn in de kostenoverzichten opgenomen.
(in guldens * 1000)

Jaarlijkse kosten

capaciteit rwzi							
	ie a 50 g BZV: 40.000			100.000			
	ie a 136 g TZV: 53.000			132.000			
	simultaan chemisch	biologisch hoofdstroom	biologisch deelstroom	simultaan chemisch	biologisch hoofdstroom	biologisch deelstroom	

Kapitaalslasten							
- civiele werken	85	198	109	112	405	207	
- mech/electr. werken	22	62	143	30	82	237	
TOTAAL KAPITAALSLASTEN	107	260	252	142	486	445	
Bedrijfsvoeringskosten							
- onderhoud - civiele werken	4	8	5	5	17	9	
- mech/electr. werken	6	16	37	8	21	61	
- chemicalien - FeSO ₄	78			195			
- FeCl ₃		8			20		
- PE		60			151		
- azijnzuur			46			113	
- natronloog			11			27	
- kalk			25			63	
- energie	1	13	10	2	33	25	
- slibverbranding	148			370			
- slib storten			53			133	
- personeel	35	35	35	70	70	70	
TOTAAL BEDRIJFSVOERINGSASPECTEN	271	141	221	649	312	501	
TOTALE JAARLIJKSE KOSTEN (incl. BTW)	378	400	474	792	798	945	

SAMENVATTING VAN DE STICHTINGSKOSTEN EN DE JAARLIJKSE KOSTEN

capaciteit rwzi							
	ie a 50 g BZV: 40.000			100.000			
	ie a 136 g TZV: 53.000			132.000			
	simultaan chemisch	biologisch hoofdstroom	biologisch deelstroom	simultaan chemisch	biologisch hoofdstroom	biologisch deelstroom	

Stichtingskosten (incl. BTW)	1039	2523	2451	1380	4719	4316	
Jaarlijkse kosten (incl. BTW)	378	400	474	792	798	945	
Jaarlijkse kosten per ie 50 g BZV:	9.46	10.01	11.85	7.92	7.98	9.45	
(in guldens, incl. BTW) 136 g TZV:	7.10	7.50	8.90	6.00	6.05	7.15	

**PUBLIKATIEREEKS "TOEKOMSTIGE GENERATIE
RIOOLWATERZUIVERINGSINRICHTINGEN RWZI 2000" ¹**

- 1 "Behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst"
Een haalbaarheidsonderzoek. I. Eindrapport II. Werkrapport
RIZA, TNO-Maatschappelijke Technologie en Witteveen & Bos Raadgevende
ingenieurs
Juli 1986
- 2 "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen; RWZI 2000"
Onderzoekplan
RIZA, STORA
Januari 1988
- 3 "Jaarverslag 1988"
RIZA, STORA
Maart 1989
- 4 "Slibontwatering; een voorstudie"
TU-Delft, TU-Eindhoven
RWZI 2000 89-01
Januari 1989
- 5 "Knelpunten bij de invoering van defosfatering"
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-02
April 1989
- 6 "Selectieve verwijdering van zware metalen uit ruw rioolwater met behulp van
een magneetsysteem"
Smit-Nymegen, TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-03
Oktober 1989
- 7 "Verwijdering van zware metalen uit zuiveringslib door elektrolyse"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-04
Oktober 1989

¹ Te bestellen bij:
STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
tel. 030-321199

- 8 "Hydrolyse van zuiveringsslib in combinatie met anaërobe vergisting"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-05
Oktober 1989
- 9 "Het drogen van zuiveringsslib met het Carver-Greenfieldproces"
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen & Bos Raadgevende
ingenieurs
RWZI 2000 89-06
December 1989
- 10 "Natte oxydatie van zuiveringsslib met het Vertech-systeem"
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen & Bos Raadgevende
ingenieurs
RWZI 2000 89-07
December 1989
- 11 "Symposium "RWZI 2000" d.d. 5 oktober 1989"
RIZA, STORA
RWZI 2000 89-08
December 1989
- 12 "Jaarverslag 1989"
RIZA, STORA
RWZI 2000 90-01
Maart 1990
- 13 "AB-Systemen; een inventarisatie"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-02
September 1990
- 14 "Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-03
Augustus 1990
- 15 "Het afleiden van procestechnologische relaties uit bedrijfsgegevens van rwzi's"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-04
December 1990
- 16 "Automatische regeling van het slibgehalte in beluchtingstanks"
Adviebureau BKH
RWZI 2000 90-05
September 1990

- 17 "Verkenning Bio-Denitro/Bio-Denipho"
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 90-06
Juni 1990
- 18 "Linpor-sponsjes als dragermateriaal bij de aërobe zuivering van rioolwater"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 90-07
Oktober 1990
- 19 "Jaarverslag 1990"
RIZA, STORA
RWZI 2000 91-01
Maart 1991
- 20 "Deep Shaft-systemen; een inventarisatie"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 91-02
Maart 1991
- 21 "Perspectives for the utilization of membrane-assisted sludge retention in
municipal waste water treatment plants"
A feasibility study
RU-Groningen
RWZI 200 91-03
Juni 1991
- 22 "Jaarverslag 1991"
RIZA, STOWA
RWZI 2000 92-01
Maart 1992
- 23 "Vergisten van zuiveringsslib; een vergelijking tussen thermofiele en mesofiele
slibgisting"
Haskoning B.V., RIZA, LU-Wageningen, DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-02
Maart 1992
- 24 "First Dutch-Japanese workshop on the treatment of municipal waste water;
8-11 april 1991, Heelsum, The Netherlands. Part I and part II.
RIZA, STOWA, TU-Delft
RWZI 2000 92-03
Maart 1992

- 25 "Biologische fosfaatverwijdering in combinatie met een korrelreactor"
LU-Wageningen, DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-04
Augustus 1992
- 26 "Anaërobe behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland"
Covernota van het uitgevoerde onderzoek 1976 - 1991
LU-Wageningen, Haskoning B.V.
RWZI 2000 92-05
Mei 1992
- 27 "Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste aktiefslibinstallatie"
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, Grontmij N.V.
RWZI 2000 92-06
Oktober 1992