

**Behandeling van stikstofrijke
retourstromen
op rioolwaterzuiveringsinrichtingen**

Praktijkonderzoek aan de driefasen-airliftreactor
bij de RWZI Utrecht

Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen



**Praktijkonderzoek aan de driefasen-airliftreactor
bij de RWZI Utrecht**

95-10

Publicaties en het publicatieoverzicht
van de Stowa kunt u uitsluitend
bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079-611188
fax 079-613927
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.
ISBN nr. 90.74476.32.5

INHOUD

	TEN GELEIDE	iii
	SAMENVATTING	1
1	INLEIDING	5
2	DOELSTELLING	7
3	BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM	8
	3.1 De techniek	8
	3.2 De toepassing	8
4	OPZET VAN HET ONDERZOEK	11
	4.1 Beschrijving van de opstelling	11
	4.1.1 <i>Buffercontainer</i>	11
	4.1.2 <i>Pilot-plant airlifthereactor</i>	11
	4.2 Analyses en metingen	13
	4.3 Gefaseerde uitvoering	14
5	RESULTATEN	16
	5.1 Bedrijfsvoeringsaspecten	16
	5.1.1 <i>Schuimvorming</i>	16
	5.1.2 <i>Pompen</i>	16
	5.1.3 <i>Ophoping van het dragermateriaal</i>	16
	5.1.4 <i>Aanvoer en kwaliteit van het centrifugaat</i>	16
	5.1.5 <i>Biofilmafslag</i>	16
	5.1.6 <i>Temperatuur</i>	17
	5.2 Verloop van het onderzoek	17
	5.2.1 <i>Opstartperiode</i>	17
	5.2.2 <i>Maximalisatie van de nitrificatie</i>	18
	5.2.3 <i>Verhoogde ammoniumconcentraties</i>	20
6	EVALUATIE	23
	6.1 N-verwijdering	23
	6.2 Verwijdering overige componenten	24
	6.2.1 <i>BZV</i>	24
	6.2.2 <i>CZV</i>	24
	6.2.3 <i>Fosfaatgehalte</i>	24
	6.2.4 <i>Zwevendstofgehalte</i>	25

6.3	Procescondities	25
6.3.1	<i>Keuze nitriet-nitraatroute</i>	25
6.3.2	<i>Slibbelasting</i>	25
6.3.3	<i>pH</i>	25
6.3.4	<i>Zuurstofgehalte</i>	25
6.4	Chemicaliënverbruik	25
6.5	Energieverbruik	26
6.6	Slibproductie	27
6.7	Bedrijfsvoeringsaspecten	27
6.8	Knelpuntenanalyse	28
6.9	Dimensioneringsgrondslagen	28
6.10	Algemene toepasbaarheid van het systeem	29
7	KOSTEN	30
7.1	Inleiding	30
7.2	Standaard-rwzi van 100.000 i.e.	30
7.3	Standaard rwzi van 400.000 i.e.	31
7.4	Rwzi Utrecht	32
8	CONCLUSIES	33
9	REFERENTIELIJST	34
BIJLAGEN		
1.	Resultaten van de airliftreactor	35
2.	Figuren verwijdering van overige componenten	47
3.	Opschaling van de airliftreactor	51
4.	Specificatie van een installatie voor 100.000 i.e. + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten	55
5.	Specificatie van een installatie voor 400.000 i.e. + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten	59
6.	Specificatie van een installatie voor de rwzi Utrecht + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten	63
7.	Vergelijking van de oxydatieroute van ammonium	65
8.	Specificatie van de praktijkinstallaties met de airliftreactor	68

Ten geleide

Door de aangescherpte stikstofeis, die vanaf 1998 voor het effluent van bestaande rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) zal gelden, zal voor sommige rwzi's capaciteitsuitbreiding onvermijdelijk zijn. Voor andere rwzi's, die de eis van $N_{\text{tot}} \leq 10 \text{ mg/l}$ niet halen, kunnen relatief kleine aanpassingen van het zuiveringssysteem wellicht al voldoende zijn.

De behandeling van interne stikstofrijke retourstromen, vrijkomend bij de slibverwerking na de slibgisting, biedt hier een mogelijkheid om met zo min mogelijk kosten en ruimtebeslag de stikstofeis alsnog te kunnen halen. Stikstofverwijdering uit dit retourwater - een relatief zeer geringe hoeveelheid met een relatief grote stikstofvracht - kan de stikstofbelasting op de bestaande rwzi met 10 tot 20% verlagen.

In 1994 is door een combinatie van waterkwaliteitsbeheerders, ingenieursbureaus en de STOWA een aantal behandelingsmethoden voor het stikstofrijke retourwater in de praktijk op pilot plant-schaal onderzocht:

- de membraanbioreactor op de slibverwerkingsinstallatie Sluisjesdijk door het zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden en Grontmij N.V.;
- de driefasen-airliftreactor op de rwzi Utrecht door de provincie Utrecht, Paques en DHV;
- het lucht- en stoomstrippen van ammoniak op de rwzi Utrecht door de provincie Utrecht en DHV;
- het stoomstrippen van ammoniak op de rwzi Amsterdam-Oost door de Dienst Riolering en Waterhuishouding Amsterdam (met financiële participatie van het hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier);
- het MAP/CAFR-proces op de rwzi Utrecht door de provincie Utrecht en DHV.

Het geheel van deze praktijkonderzoeken werd in opdracht van de STOWA gecoördineerd door DHV Water B.V. en gerapporteerd in STOWA-rapport 95 - 08 "Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rwzi's; evaluatie van Nederlandse praktijkonderzoeken".

Naast het onderhavige onderzoek aan de driefasen-airliftreactor, zijn ook de overige onderzoeken in separate STOWA-rapporten gepubliceerd. Ook over de afzetmogelijkheden van de reststoffen, die met name bij de fysisch/chemische behandelingsmethoden vrijkomen, is in dit kader door de STOWA gerapporteerd.

Het onderhavige rapport beschrijft het onderzoek op de locatie Utrecht aan de driefasen-airliftreactor, uitgevoerd door Paques B.V., de provincie Utrecht en DHV Water B.V. De airliftreactor blijkt op praktijkschaal te kunnen worden toegepast voor het nitrificeren van stikstofrijk retourwater, wanneer aan een aantal randvoorwaarden voor de bedrijfsvoering wordt voldaan.

De werkzaamheden werden namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit ir. J. Ebbenhorst (voorzitter), ir. S.G. van der Kooij, ir. A. Mulder, ing. G.B.J. Rijs, ing. A.A.J.C. Schellen, ir. P.C. Stamperius en mw. ir. M.J.L. van de Vondervoort.

Utrecht, mei 1995

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

SAMENVATTING

Algemeen

Vanaf 1998 zullen de bestaande rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) aan strengere effluenteisen voor N en P moeten voldoen. Vooral door de verscherpte stikstofeis zal voor sommige rwzi's uitbreiding van de capaciteit onvermijdelijk zijn. Voor andere, die net niet aan de eisen voldoen, kunnen relatief kleine aanpassingen wellicht voldoende zijn. Er wordt thans gezocht naar alternatieven, waarmee met zo min mogelijk kosten en ruimtebeslag aan de eisen kan worden voldaan.

Een veelbelovend alternatief vormt de behandeling van interne retourstromen, die vrijkomen uit de slibverwerking na de slibgisting.

Het gaat hierbij om een geringe stroom water, waarmee een relatief grote stikstofvracht naar de waterlijn van de rwzi wordt teruggevoerd. Separate behandeling van dit stikstofrijke retourwater zal de stikstofbelasting op de bestaande rwzi met 10 tot 20% verlagen, en zodoende de effluentkwaliteit verbeteren.

Het RIZA/STOWA-rapport "Stikstofverwijdering uit interne stromen op rwzi's" van december 1992 bevat een gerichte literatuurstudie naar de mogelijke behandelingstechnieken voor het stikstofrijke water.

Onder meer op basis van deze literatuurverkenning zijn de volgende systemen voor onderzoek op kleine praktijkschaal geselecteerd:

- de membraanbioractor;
- de airliftreactor;
- het ammoniakstripproces (luchtstripper en stoomstripper);
- het MAP/CAFR-proces.

Dit praktijkonderzoek dient om van de geselecteerde systemen een beoordeling te geven van de mogelijkheden, beperkingen en kosten voor toepassing in de Nederlandse praktijk.

In het onderhavige rapport wordt het praktijkonderzoek geëvalueerd, dat in de periode januari 1994 tot oktober 1994 op de rwzi Utrecht is uitgevoerd naar de behandeling van stikstofrijk water in een airliftreactor. Dit is een compact biologisch slib-op-drager systeem, dat in het kader van STOWA-onderzoek eerder is onderzocht voor de behandeling van stedelijk afvalwater.

Toepasbaarheid van het systeem

De airliftreactor kan op praktijkschaal worden toegepast voor het nitrificeren van stikstofrijk retourwater, mits wordt voldaan aan een aantal randvoorwaarden voor de bedrijfsvoering (zie hierna).

De ontwerp-stikstofbelasting van de airliftreactor is door opschaling op basis van de onderzoeksresultaten berekend op 3,3 kg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ bij een temperatuur van 20°C. Het rendement van de ammoniumoxydatie bij deze condities bedraagt 90%.

In het onderzochte concentratiebereik van 400-1.800 mg $\text{NH}_4\text{-N}/\text{l}$ is het verwijderingsrendement onafhankelijk van de stikstofconcentratie. Om ongewenste groei van gesuspendeerde micro-organismen te voorkomen, moet bij hogere stikstofconcentraties (boven 900 mg N/l) de aanvoer naar de airliftreactor worden verdund.

Door de relatief korte looptijd van het onderzoek is geen uitspraak te doen over eventuele onthechting van de biofilm.

In de airliftreactor wordt stikstof omgezet in nitraat. Voor volledige stikstofverwijdering is denitrificatie noodzakelijk. Wanneer dit niet mogelijk is in de waterlijn van de rwzi moet een separate denitrificatietank met dosering van een externe koolstofbron (methanol) worden geïnstalleerd.

Bedrijfsvoering

Tijdens het onderzoek heeft zich een aantal storingen voorgedaan, die terug te voeren zijn op oorzaken, die te maken hebben met de uitvoering van de proefinstallatie.

Een praktijkinstallatie zal zodanig worden uitgevoerd, dat deze storingen kunnen worden voorkomen. Bij toepassing van de airliftreactor in de praktijk zijn de volgende aspecten van belang:

1. *Voorbehandeling*

Bij hoge zwevendstofconcentraties, zoals die kunnen voorkomen in het stikstofrijke water van centrifuges, kan verlies van dragermateriaal optreden. Daarnaast is het noodzakelijk om grove verontreinigingen te verwijderen om vervuiling van meetsondes te voorkomen. Zelfreinigende zeven voldoen goed voor de verwijdering van genoemde stoffen.

2. *Buffering*

De airliftreactor is een biologisch systeem. Om verlies van biologische activiteit bij uitval van voeding te voorkomen, is buffering noodzakelijk.

3. *pH-regeling*

Om de pH binnen het gewenste gebied te houden, is een goede en betrouwbare pH-regeling noodzakelijk.

4. *Anti-schuimdosering*

Boven het ontgassingsgedeelte van de drie-fasenscheider kan sterke schuimvorming optreden. Bij een te grote mate van schuimvorming treedt verlies van dragermateriaal uit de reactor op. Om de schuimvorming in de hand te houden is dosering van anti-schuim in combinatie met versproeiing van effluent op het wateroppervlak noodzakelijk.

5. *Beluchting*

De luchtinbreng heeft bij de airliftreactor de functies van zuurstofinbreng en drijvende kracht voor de vloeistofcirculatie. Bij uitval van de beluchting zakt het dragermateriaal uit, hetgeen leidt tot verstopping van de reactor en afsterving van de biofilm. Het is daarom noodzakelijk om voldoende reservecapaciteit van de compressoren te installeren.

6. *Handhaven biofilm*

Voor een stabiele werking van de airliftreactor is de aanwezigheid van voldoende biologisch actief materiaal in de biofilm van cruciaal belang. Over het risico van verlies van biofilm door onthechting kan vanwege de korte looptijd van het onderzoek geen uitspraak worden gedaan.

Kosten

De toepassing van de airliftreactor voor de behandeling van stikstofrijk water is in een aantal dimensioneringsvoorbeelden uitgewerkt.

De uitgangspunten van de standaard rwzi's zijn in tabelvorm samengevat.

Tabel 1

Uitgangspunten voor de standaard-rwzi's

parameter	eenheid	waarde					
capaciteit	i.e.	100.000			400.000		
totaal-stikstof	kg N/d	95			380		
ammoniumstikstof	kg NH ₄ -N/d	90			360		
temperatuur	°C	20			20		
variant	-	1	2	3	4	5	6
debiet	m ³ /d	50	100	200	200	400	800
totaal-stikstofconcentratie	g/m ³	1.900	950	475	1.900	950	475
ammoniumstikstofconcentratie	g/m ³	1.800	900	450	1.800	900	450
drogestofconcentratie	g/m ³	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
alkaliteit	mmol/l	136	68	134	168	68	34

Een overzicht van de stichtingskosten, de exploitatiekosten en de kosten per kg N(Kj)-verwijderd voor een installatie met de airliftreactor en een separate denitrificatiestap (denitrificatierendement van 90%) zijn eveneens in tabelvorm samengevat.

Tabel 2

Kostenoverzicht (in guldens) van de airlift-reactor voor de standaard-rwzi's

capaciteit (i.e.)	NH ₄ -N-conc. (mg/l)	stichtings- kosten	exploitatie- kosten	kosten per kg N(Kj) _{verw}
100.000	1800	3.400.000	680.000	23,00
100.000	900	3.490.000	690.000	23,30
100.000	450	3.650.000	730.000	24,70
400.000	1800	5.360.000	1.470.000	12,40
400.000	900	5.590.000	1.500.000	12,70
400.000	450	5.970.000	1.610.000	13,60

Conclusies

Op basis van het praktijkonderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De airliftreactor kan op praktijkschaal worden toegepast voor het nitrificeren van stikstofrijk water uit de slibverwerking van rwzi's, mits wordt voldaan aan een aantal randvoorwaarden voor de bedrijfsvoering. Het te allen tijde handhaven van voldoende biologische capaciteit is hierbij van primair belang. In het onderzoek kwam de biofilmvorming moeizaam tot stand, maar is er vervolgens gedurende twee maanden stabiel gedraaid.
- Tijdens het onderzoek heeft zich een aantal storingen voorgedaan, die het verloop van het onderzoek negatief hebben beïnvloed. Deze storingen zijn echter alle terug te voeren op de uitvoering van de pilot-plant-installatie. Een praktijkinstallatie kan zodanig worden uitgevoerd dat deze storingen worden voorkomen.
- De ontwerp-stikstofbelasting van de airliftreactor is door opschaling op basis van de onderzoeksresultaten berekend op 3,3 kg NH₄-N/(m³.d) bij een temperatuur van 20°C. Het rendement van de ammoniumoxydatie bij deze belasting bedraagt 90%.
- In de airliftreactor wordt het ammonium uit het stikstofrijke water geoxydeerd tot nitraat. Voor een volledige stikstofverwijdering is denitrificatie noodzakelijk. Wanneer dit niet mogelijk is in de waterlijn van de rwzi moet een separate denitrificatietank met dosering van een externe koolstofbron (methanol) worden geïnstalleerd.

- Vòòr de behandeling in de airliftreactor is een voorbehandeling van het water noodzakelijk. Deze voorbehandeling bestaat uit de verwijdering van bezinkbare stoffen en van drijfslaag. Om uitval van voeding naar de airliftreactor te voorkomen is de installatie van een buffertank met een opslagtijd van 1 dag noodzakelijk.
- Met een separate denitrificatiestap (denitrificatierendement van 90%) bedragen de exploitatiekosten per kg $N(Kj)_{\text{verw.}}$ bedragen afhankelijk van de capaciteit van de rwzi en de NH_4 -N-ingangconcentratie f 12,40 - f 24,70 per kg $N(Kj)_{\text{verw.}}$
- Wanneer denitrificatie in de waterlijn mogelijk is, kan de separate denitrificatiestap vervallen. De exploitatiekosten dalen in dat geval tot f 8,20 - f 16,90 per kg $N(Kj)_{\text{verw.}}$

1 INLEIDING

Op 1 september 1992 is de AMvB van kracht geworden waarin grenzen worden gesteld aan de lozing van totaal-stikstof met het effluent van rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's). De hierin gestelde grenswaarden zijn:

- 10 mg totaal-N/l voor rwzi's met een ontwerpcapaciteit ≥ 20.000 i.e. (op basis van 54 gram BZV);
- 15 mg totaal-N/l voor rwzi's met een ontwerpcapaciteit < 20.000 i.e. (op basis van 54 gram BZV).

De grenswaarden voor nieuwe rwzi's gelden met ingang van 1 september 1992, voor bestaande rwzi's gaan ze in per 1 januari 1998. Nieuwe rwzi's met simultane defosfatering mogen echter tot 1 januari 1995 een grenswaarde aanhouden van 15 mg totaal-N/l. In de AMvB van 1 september 1992 is aangegeven dat de concentratie totaal-stikstof in het te lozen afvalwater moet worden bepaald als jaargemiddelde.

De beheerder kan voor bestaande niet uit te breiden rwzi's van de grenswaarden afwijken als het zuiveringsrendement van totaal-stikstof tenminste 75% bedraagt voor alle in het beheersgebied aanwezige rwzi's gezamenlijk. Dit zuiveringsrendement wordt berekend met de totaal aangevoerde en totaal afgevoerde vracht aan totaal-stikstof per jaar.

Begin 1991 is in strategiestudies onderzocht welke maatregelen door de Provincie Utrecht (PU) zouden moeten worden genomen, teneinde te kunnen voldoen aan de Algemene Maatregelen van Bestuur voor P- en N-verwijdering.

Uit de strategiestudies is naar voren gekomen dat maatregelen op dit gebied op de rwzi Utrecht onvermijdelijk zijn. Zonder deze maatregelen kan binnen het beheersgebied niet worden voldaan aan de in de AMvB's geëiste 75% verwijdering van fosfaat en stikstof. Ook is gebleken dat vergaande verwijdering op de rwzi Utrecht leidt tot minder maatregelen op andere rwzi's in het beheersgebied van de provincie Utrecht. De rwzi Utrecht is van het type tweetraps-actiefslib met een hoogbelaste eerste trap. Het slib wordt ingedikt en vergist (warme en koude gisting). Het uitgegiste slib wordt door middel van centrifuges ontwaterd. Het overloopwater van de koude gisting en het centrifugaat maken circa 13% van de totale influentstikstofvracht uit, hetgeen goed overeenkomt met elders gevonden waarden [1].

Met het dynamische simulatiemodel STREAM* is een aantal mogelijke aanpassingen van de rwzi Utrecht bestudeerd. Hierbij is met name aandacht besteed aan optimalisatie van het bestaande concept, aangevuld met additionele biologische, danwel fysisch-chemische technieken.

Uit de simulatie is naar voren gekomen dat het behandelen van stikstofrijke (N-rijke) retourstromen in het kader van stikstofverwijdering een belangrijke rol kan spelen. In diverse bureaustudies is een aantal behandelingstechnieken voor het stikstofrijke water als kansrijk naar voren gekomen [2]. Mede op basis hiervan is door de Provincie Utrecht besloten om een tweetal processen, te weten ammoniakstrippen en de airlifthereactor op semi-technische schaal te onderzoeken.

Verschillende andere waterkwaliteitsbeheerders waren ook bezig om de mogelijkheden van de behandeling van stikstofrijke stromen nader te onderzoeken. Om de kennis op dit gebied samen te voegen en de ervaringen breder toepasbaar te maken heeft de STOWA besloten om, in samenwerking met een aantal kwaliteitsbeheerders en ingenieursbureaus, vergaand onderzoek te verrichten naar de behandeling van stikstofrijke stromen op rwzi's.

Hierbij zijn op een drietal locaties vier behandelingstechnieken, die op basis van een deskstudie als interessante opties zijn geselecteerd, onderzocht en met elkaar vergeleken. De vier geselecteerde processen zijn:

- hooggesuspendeerd actief-slibstelsel met ultrafiltratie (membraanbioreactor);
- ammoniakstrippen (luchtstrippen en stoomstrippen);
- precipitatie van magnesiumammoniumfosfaat (MAP) met recirculatie (CAFR-proces);
- airlifthereactor.

In het kader van het STOWA-project is het onderzoek op de rwzi Utrecht met betrekking tot ammoniakstrippen en de airlifthereactor verbreed en heeft uitbreiding plaatsgevonden met het onderzoek naar het MAP/CAFR-proces. De resultaten van de verschillende onderzoeken worden in separate rapporten beschreven [3, 4, 5, 6].

Dit rapport geeft een evaluatie van het onderzoek naar de airlifthereactor. In hoofdstuk 2 is de doelstelling van het onderzoek weergegeven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van het stelsel. Hoofdstuk 4 behandelt de opzet van het onderzoek. In hoofdstuk 5 is ingegaan op de resultaten van het onderzoek, met name op de bedrijfsvoeringsaspecten en het verloop van het onderzoek.

Hoofdstuk 6 geeft de evaluatie van de resultaten gericht op toepassing van de airlifthereactor voor behandeling van stikstofrijk water in de Nederlandse praktijk situatie.

Hoofdstuk 7 bevat een kostenraming van de airlifthereactor, ontworpen volgens de bevindingen uit het onderzoek, voor twee standaard-rwzi's (van 100.000 en 400.000 i.e.) en voor de rwzi Utrecht. Tot slot zijn de conclusies opgenomen in hoofdstuk 8.

2 DOELSTELLING

Het onderzoek op de rwzi Utrecht heeft tot doel inzicht te krijgen in de mogelijkheden en beperkingen van behandeling van stikstofrijk water uit de slibverwerking in een airliftreactor, zodat op basis daarvan ontwerpgrondslagen en informatie voor de bedrijfsvoering en stabiliteit van deze behandelingstechniek kunnen worden verkregen voor de realisatie van een praktijkinstallatie op de rwzi Utrecht.

In het kader van het STOWA-project is de doelstelling van het onderzoek uitgebreid teneinde de toepasbaarheid van de onderzoeksresultaten te verbreden.

Het onderzoek dient tevens inzicht te geven in de mogelijkheden, beperkingen en kosten bij toepassing van de beproefde techniek in de Nederlandse praktijk.

Daartoe dient op basis van het onderzoek inzicht te zijn verkregen in:

- algemene toepasbaarheid;
- dimensioneringsgrondslagen;
- stichtings- en exploitatiekosten;
- bedrijfsvoeringsaspecten;
- gevoeligheden van het systeem.

3.1 De techniek

De driefasen-airliftreactor is een slib-op-dragersysteem dat een hoge aërobe biologische conversie mogelijk maakt. In figuur 1 is dit zuiveringssysteem schematisch weergegeven. De reactor bestaat uit een "riser" en een "downcomer", die aan de boven- en onderzijde met elkaar in verbinding staan. Door continue beluchting onderin de riser, wordt de voor de micro-organismen benodigde zuurstof ingebracht en tevens worden hierdoor de drie fasen (lucht, water en dragermateriaal) in een opwaartse stroom gemengd, terwijl een neerwaartse stroom in de downcomer ontstaat. De vloeistofcirculatie wordt veroorzaakt door het verschil in de dichtheid van het water in de riser en de downcomer. De ingebrachte lucht wordt aan de bovenzijde afgescheiden in de driefasenscheider.

Het dragermateriaal is volledig gesuspenderd doordat de valsnelheid van het dragermateriaal lager is dan de stroomsnelheid van het water. In de driefasenscheider wordt het dragermateriaal afgescheiden; het begroeide dragermateriaal stroomt terug naar de beluchtingsruimte. Eventueel aanwezig zwevende stof verlaat de reactor met het effluent. Er worden daarom geen hoge eisen gesteld aan de voorbehandeling van het te behandelen afvalwater.

Vanwege de hoge turbulentie in de reactor worden hoge eisen gesteld aan het dragermateriaal. In het algemeen wordt hiervoor het vrij ruwe en poreuze zand of basalt gebruikt met een diameter 0,2 - 0,3 mm. De bacteriën hechten zich op het dragermateriaal doordat de verdunningssnelheid (D) van het systeem groter is dan de maximale groeisnelheid ($D > \mu_{max}$).

In vergelijking met conventionele systemen kunnen vergelijkbare zuiveringsresultaten worden behaald bij aanzienlijk hogere volumebelastingen. Er kan bij toepassing gericht op CZV-verwijdering een drageroppervlak van 2.000-3.000 m²/m³ reactor en een slibconcentratie van 15-30 g ds/l worden bereikt.

De reactor is ontwikkeld en op praktijkschaal toegepast door Gist-brocades voor de BZV-verwijdering en nitrificatie van haar afvalwater. Deze ééntraps aërobe zuivering behandelt het effluent van een tweetraps anaërobe fluid-bedreactor. Voordat tot de bouw werd overgegaan is op pilot-plantschaal onderzoek uitgevoerd. TNO heeft met de airliftreactor onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van het systeem voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater.

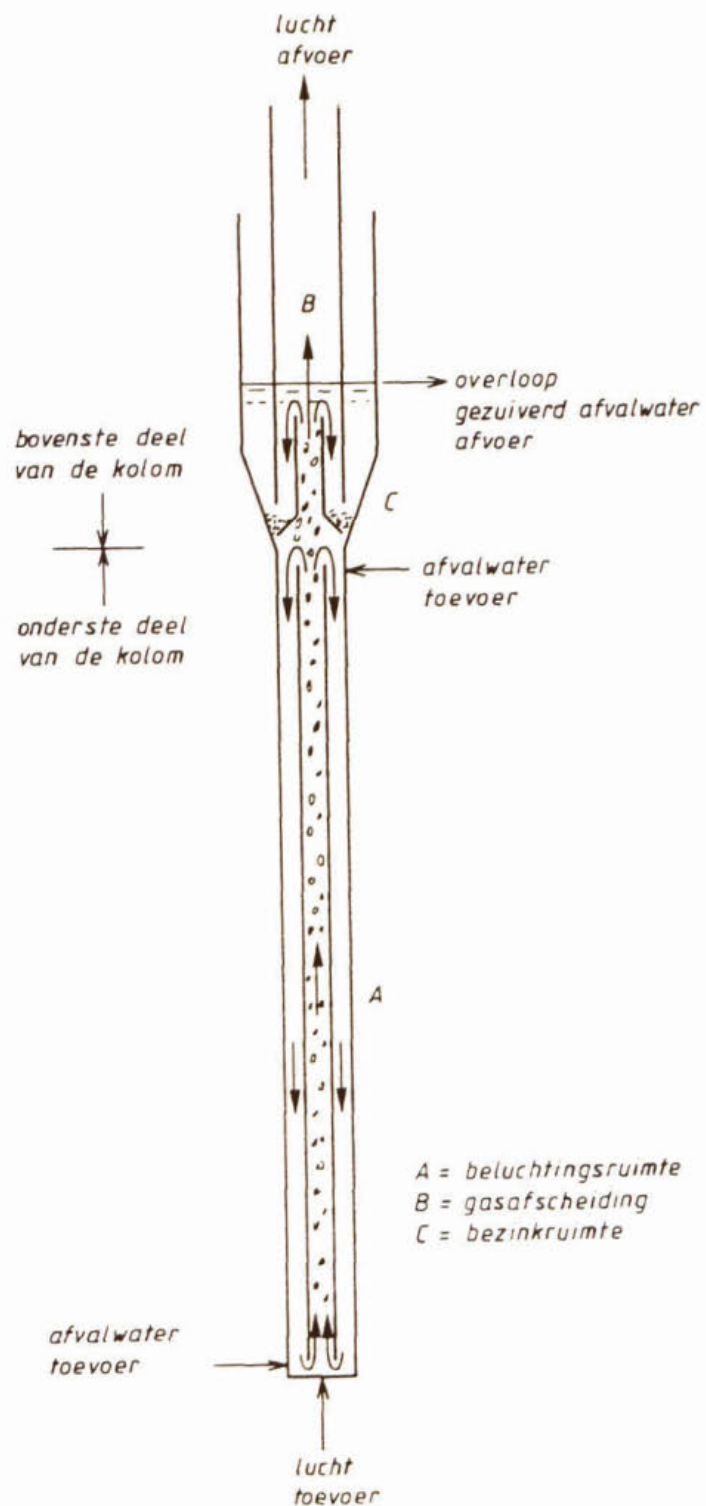
Het patent van het systeem is sinds enkele jaren in het bezit van de firma Paques. Deze heeft de airliftreactor verder ontwikkeld tot een systeem waarin naast nitrificatie in dezelfde reactor ook kan worden gedenitrificeerd. Hiertoe wordt het in de drie-fasenscheider afgescheiden slib niet teruggevoerd in de downcomer, maar gedeeltelijk in een onbeluchte anoxische ruimte. Met behulp van een mammoetpomp wordt dit slib vervolgens teruggevoerd naar de downcomer.

3.2 De toepassing

Er zijn verschillende toepassingen van de airliftreactor bekend:

1. Nabehandeling van anaëroob voorgezuiverd afvalwater.
 Bij deze toepassing worden de anaëroob moeilijk afbreekbare CZV-verbindingen, de gereduceerde zwavelverbindingen en de stikstofverbindingen biologisch geoxideerd en/of verwijderd.

- Gist-brocades	:	2 reactoren van 280 m ³ , in bedrijf sinds 1987.
- Grolsch	:	1 reactor van 240 m ³ , in bedrijf sinds april 1994.



Figuur 1
Schematische weergave van een airlift-reactor

- Heineken : pilot-studie (3,4 m³) met nitrificerende/denitrificerende Circox, 1992
- 2. Behandeling van huishoudelijk afvalwater in een nitrificerende en in een denitrificerende Circox.
Bij deze toepassing worden CZV- en stikstofverbindingen verwijderd. Er is sinds april 1994 op de rwzi Zaandam in het kader van een STOWA-project een pilot plant van 3,4 m³ operationeel.
- 3. Behandeling van industrieel afvalwater.
Momenteel (november 1994) wordt een reactor gebouwd voor de behandeling van afvalwater van een mouterij (CZV-verwijdering).
- 4. Behandeling van petrochemisch afvalwater.
Er zijn diverse pilot-onderzoeken uitgevoerd op petrochemisch afvalwater. Door de lange slijbleeftijd is deze technologie uitmate geschikt voor de verwijdering van biologisch moeilijk afbreekbare verbindingen.

4 OPZET VAN HET ONDERZOEK

4.1 Beschrijving van de opstelling

4.1.1 *Buffercontainer*

In het kader van het onderzoek is besloten om voor de aanvoer naar de proefinstallaties alleen centrifugaat te gebruiken. De overloop van de koude gisting is, op het gehalte zwevendstof na, in samenstelling gelijk aan het centrifugaat. Om logistieke redenen is het gebruik van centrifugaat eenvoudiger.

Ten behoeve van een constante aanvoer naar de verschillende proefinstallaties is een buffercontainer voor de pilot-plant geschakeld. Vanuit deze buffertank kan bij calamiteiten (bijvoorbeeld het uitvallen van een centrifuge) de airliftreactor gedurende enige tijd worden gevoed ten behoeve van het in stand houden van de biologische processen. Bij het starten of uitvallen van een centrifuge wordt de toevoer naar de buffertank automatisch gestopt in verband met de tijdelijk verhoogde gehalten zwevendstof.

Om bezonken slib af te kunnen laten, is de gehele container scheef opgesteld. Nabij het laagste punt is de tank van een handbediende afsluiter voorzien. Voor de verwijdering van de drijflaag is een overstortgoot aangebracht.

Aan de andere zijde bevinden zich een stijg- en een duikschot waardoor een "compartiment" ontstaat van waaruit met behulp van pompelpompen de verschillende proefinstallaties worden gevoed.

Om doorslag van zwevendstof vanuit de buffercontainer naar de airliftreactor tegen te gaan, zijn na de buffertank twee multiboxen opgesteld.

4.1.2 *Pilot-plant airliftreactor*

De pilot-plant is geleverd door de firma Paques en is opgesteld in een zeecontainer (lengte 6 meter). Deze is onderverdeeld in een controlekamer met een PLC-unit en een reactorruimte waarin zich naast de onderzijde van de reactor de pompen, de mengtank en doseerapparatuur bevinden. De reactor heeft een inhoud van 3,4 m³, waarvan 2,2 m³ aëroob en 1,2 m³ anoxisch.

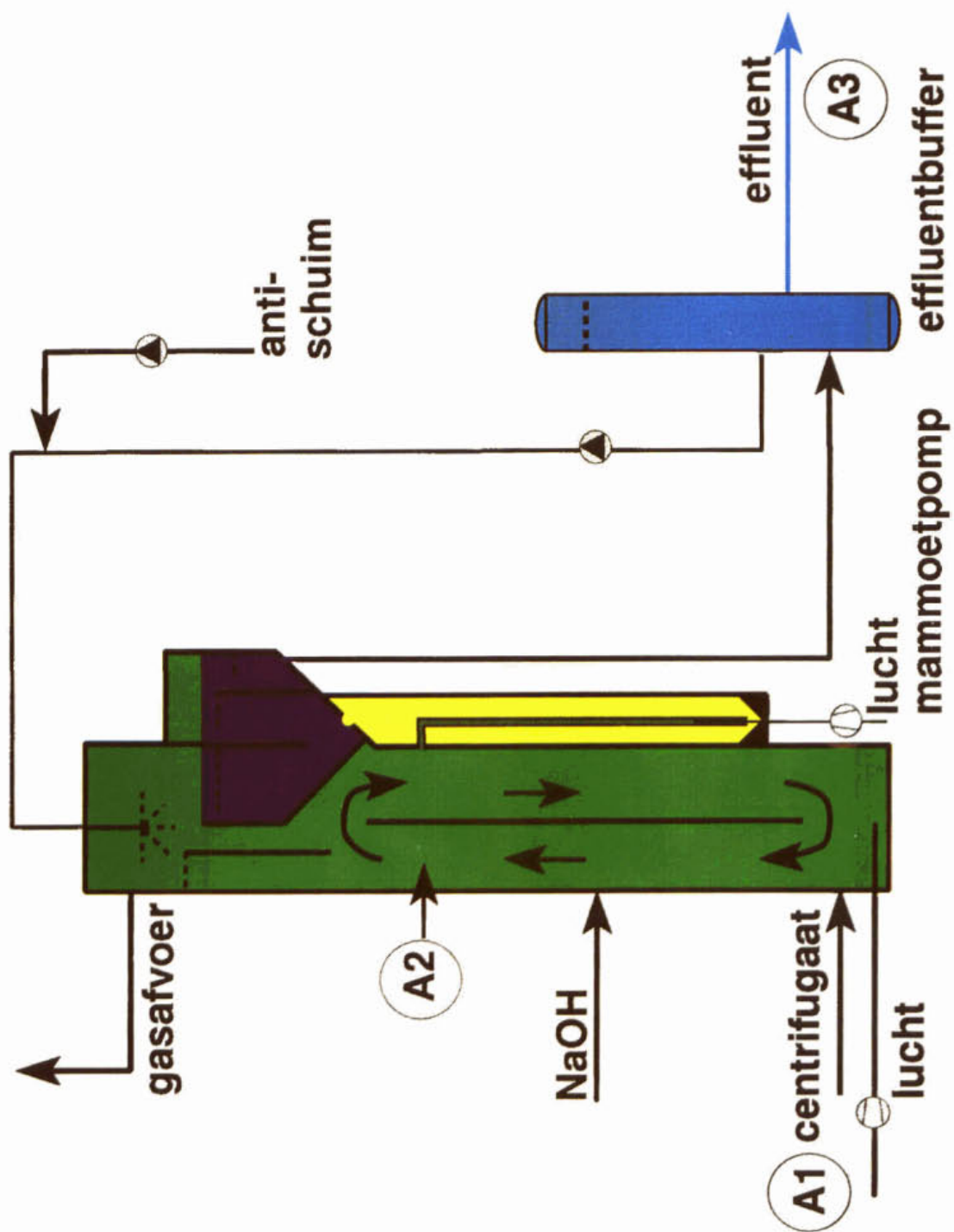
De reactor kan afvalwaterdebieten behandelen in een bereik van 0,1 tot 5 m³/h. De rechthoekige reactor heeft een vloeistofhoogte van ongeveer 7,5 m. De drie-fasenscheider is bovenop de reactor geplaatst.

Het afvalwaterdebiet, de doseringen van loog/zuur, sproeiwater en anti-foam kunnen automatisch worden geregeld en gecontroleerd. De luchttoevoer kan automatisch worden geregeld aan de hand van een ingestelde zuurstofconcentratie. De meetgegevens worden bijgehouden op een zeven-kanaals recorder. Aan de buitenzijde van de container bevinden zich aansluitingen voor zuur/loog-, nutriënten- en anti-foamopslagtanks.

Een proces-flowschema van de pilot-plant airliftreactor is opgenomen in figuur 2.

Een overzicht van de opstelling is weergegeven in figuur 3.

Het centrifugaat wordt door een pompelpomp vanuit de tweede multibox naar de voorraadtank gepompt. In de voorraadtank kunnen nutriënten aan het water worden toegevoegd. Vanuit deze tank wordt het centrifugaat met een constant debiet naar de onderzijde van de riser gepompt. Met de compressor wordt via twee pijpen lucht onderin de riser geblazen, waardoor de kenmerkende recirculatie wordt verkregen. De maximale capaciteit van de compressor bedraagt 45 Nm³/h.



Figuur 2
Proces-flowschema van de airliftreactor



Figuur 3
Overzicht van de opstelling van de proefinstallatie op de rwzi Utrecht

De riser en de downcomer vormen samen het aërobe deel van de reactor. Het water stroomt over in de drie-fasenscheider. Hier verlaat de lucht de reactor (ontgassing). Het (begroeide) dragermateriaal bezinkt in de drie-fasenscheider, waarna het in het onbeluchte, anoxische deel van de reactor komt (deni-compartiment). Vanuit de onderzijde van de anoxische ruimte worden het water en het dragermateriaal met behulp van een tweede compressor teruggevoerd naar de bovenzijde van de downcomer (mammoetpomp). Het recirculatiedebiet bedraagt 10 - 20 m³/h en kan worden afgelezen op een flowmeter. Het water verlaat de bezinker via een overstort en komt in de effluentbuffer.

Vanuit de effluentbuffer kan een deel van het effluent door een pomp naar de bovenzijde van de reactor worden gepompt en boven het ontgassingsgedeelte worden versproeid om schuimvorming tegen te gaan. In deze retourleiding kan een anti-schuimmiddel worden gedoseerd. Vanuit de effluentbuffer verlaat het effluent onder vrij verval de installatie.

In de riser en in het anoxische deel zijn zuurstofmeters aangebracht. In de downcomer bevindt zich een pH-meter. Door dosering van HCl 30% of NaOH 33% kan de pH in de reactor worden geregeld. In de reactor kunnen tevens handmatig sporenelementen worden gedoseerd.

4.2 Analyses en metingen

In tabel 3 is het schema voor bemonstering en analyse weergegeven voor de airliftreactor.

De hierboven weergegeven analyses zijn uitgevoerd door het laboratorium van de Provincie Utrecht. Daarnaast is op locatie gebruik gemaakt van Dr. Lange testkits voor de meting van ammonium, nitraat en nitriet.

De bemonstering vond dagelijks op een vast tijdstip plaats. Voor monsters die eens per week zijn genomen, geldt dat deze op hetzelfde tijdstip zijn genomen. De bemonsteringsdag schuift elke week één dag op, zodat eventuele dagelijkse invloeden worden uitgesloten. Gedurende de weekeinden is een verkort controle-, meet- en bemonsteringsprogramma gehanteerd.

Tabel 3
Bemonstering en analyse airliftreactor (week⁻¹)

Parameter	Bemonstering	Influent A1	Effluent A3	Reactor A2
CZV opgelost (mg/l)	tijd	5	5	
CZV totaal (mg/l)	tijd	1	1	
BZV (mg/l)	tijd	1	1	
N-Kjeldahl (mg N/l)	tijd	1	1	
ammonium (mg N/l)	tijd	5	7	
nitraat (mg N/l)	tijd	1	7	
nitriet (mg N/l)	tijd	1	7	
P- + M-getal (meq/l)	tijd	1	5	
P-ortho (mg P/l)	tijd	1	1	
P-totaal (mg P/l)	tijd	1	1	
indamprest (g/l)	steek		1	1
gloeirest (g/l)	steek		1	1
zware metalen in slib (Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, Cd)	steek			¼
zwevende stof (g/l)	tijd	5	5	
nitrificatie-activiteit (mg N/g ds.d)	steek			1
denitrificatie-activiteit (mg N/g ds.d)	steek			1
sneltesten NH ₄ , NO ₃ , NO ₂	steek	1	continu	
tijd = tijdproportioneel genomen monster steek = steekmonster				

De watermonsters zijn tijdproportioneel genomen en tot de analyse bewaard in een koelkast bij circa 3°C. De monsters zijn niet aangezuurd.

De slibmonsters zijn steeksgewijs genomen, en zo snel mogelijk verwerkt. De opgeloste componenten zijn daarbij bepaald na filtratie over een 1,2 µm GFC glasvezelfilter.

In tabel 4 zijn de parameters weergegeven, die ter plaatse zijn geregistreerd.

Tabel 4
Ter plaatse geregistreeerde parameters (week⁻¹)

Parameter	Influent	Effluent	Reactor	
			aëroob	anoxisch
pH	5	5	5	5
temperatuur (°C)	5	5	5	5
opgelost zuurstofgehalte (mg O ₂ /l)			5	5
debiet (m ³ /h)	5			
luchtdebiet (Nm ³ /h)			5	
recirculatiedebiet (m ³ /h)				5
dragervolume (ml/l)			5	5
verbruik NaOH 33% (l/h)			5	
verbruik HCL 30% (l/h)			5	
verbruik anti-schuim 5% (l/h)			5	

4.3 Gefaseerde uitvoering

In het onderzoek is de nadruk gelegd op het vaststellen van de nitrificatiecapaciteit bij verschillende procescondities. Het onderzoek is verdeeld in drie onderdelen:

1. maximalisatie van de nitrificatie: gezocht wordt naar de hoogst mogelijke N-belasting (kg N/(m³.d)), waarbij het nitrificierendement circa 90% bedraagt. De fase begint met

een startperiode, waarin een nitrificerende populatie in de biofilm wordt gekweekt. De startperiode heeft 5 maanden in beslag genomen. De totale duur van deze fase bedroeg 9 maanden;

2. toepassing van verschillende NH_4^+ -concentraties: Voor de vertaling van het onderzoek naar de "Nederlandse" situatie is de ammoniumconcentratie verhoogd. Nadat in de eerste fase de maximale belasting was gevonden, is aan de hand daarvan de ammoniumconcentratie verhoogd. Hierbij is het debiet verlaagd, zodanig dat de vracht nagenoeg gelijk bleef. Duur: 1 maand;
3. onderzoek naar de effecten van wisselende N-belastingen en pH in de reactor. Met de resultaten uit fase 1 was hierover voldoende informatie beschikbaar gekomen.

Bij de maximalisatie van de nitrificatie is veel aandacht besteed aan de mogelijkheden van gedeeltelijke oxydatie van ammonium naar nitriet in plaats van volledige oxydatie naar nitraat. Deze "nitriet"-route heeft een aantal voordelen boven de "nitraat"-route (zie bijlage 7). In het onderzoek is getracht door sturing van de procescondities (pH, rest-ammoniumconcentratie) de "nitraat"-route in de reactor te remmen.

5 RESULTATEN

5.1 Bedrijfsvoeringsaspecten

Gedurende het onderzoek heeft zich een aantal problemen voorgedaan die de voortgang hebben vertraagd. Deze problemen zijn voornamelijk te wijten aan het functioneren van de proefinstallatie, de gekozen opstartcondities en de aanvoer van centrifugaat. Hierna zijn de belangrijkste problemen weergegeven.

5.1.1 *Schuimvorming*

Door de aanwezigheid van rest-polyelectrolyt in het centrifugaat trad sterke schuimvorming op boven het ontgassingsgedeelte van de drie-fasen-scheider. Het versproeien van effluent op het wateroppervlak loste dit niet op, zodat dosering van anti-schuim noodzakelijk was. Met behulp van een membraanpomp is daarom anti-schuim (20x verdund) gedoseerd aan het sproeiwater. Hiermee kon de schuimvorming goed in de hand worden gehouden. Om verschillende technische redenen heeft dit lange tijd minder goed gefunctioneerd, zodat met regelmaat uitspoeling van begroeid dragermateriaal optrad, met name tijdens de opstartperiode.

5.1.2 *Pompen*

Zowel voor de dosering van schuimremmer als voor de dosering van zuur en loog zijn in de proefinstallatie membraanpompen toegepast. De toegepaste pompen waren gevoelig voor luchtinslag en onvoldoende bestendig tegen zuur medium. Het onderzoek werd hierdoor enigszins vertraagd.

In de praktijk kan een en ander worden voorkomen door voldoende aandacht te besteden aan de keuze van instrumentatie en materialen.

5.1.3 *Ophoping van het dragermateriaal*

Het dragermateriaal bleek moeilijk in suspensie te houden. Regelmatig hoopte het zich op onder in de downcomer. Incidenteel gebeurde dit ook in het anoxische deel en in de settler. De oorzaak was waarschijnlijk een te hoge concentratie van het dragermateriaal, in combinatie met poly-electrolyt en zwevendstof van het centrifugaat. Daarom werd het (nog nauwelijks begroeide) dragervolume na 1 maand verlaagd van 60 naar 40 ml/l.

5.1.4 *Aanvoer en kwaliteit van het centrifugaat*

De aanvoer van het centrifugaat is in de beginperiode regelmatig onderbroken. Dit werd met name veroorzaakt door storingen van en werkzaamheden aan de centrifuges. Een enkele keer is ook de aanvoer naar de proefinstallaties uitgevallen.

Het drogestof-afscheidingsrendement van de centrifuges en daarmee ook de kwaliteit van het centrifugaat is niet constant. Soms zijn er dermate grote hoeveelheden zwevendstof (enkele grammen per liter) aangevoerd, dat uitspoeling van dragermateriaal optrad. Om die reden zijn in de toevoerleiding naar de airliftreactor twee multiboxen geplaatst als extra bezinkmogelijkheid. Hierdoor is het zwevendstofgehalte in het influent bij exceptioneel hoge zwevendstofgehaltes afgenomen. Bij normale zwevendstofgehaltes ($< 0,5$ g/l) was geen effect merkbaar.

5.1.5 *Biofilmafslag*

Afslag van de biofilm kan verschillende oorzaken hebben. Een van de belangrijkste is shear: afslijting als gevolg van het botsen van dragerdeeltjes [7]. Belangrijke parameters hierbij zijn de grootte van het dragermateriaal, de hoeveelheid dragermateriaal en de mate waarin het dragermateriaal begroeid is.

Met name gedurende opstartperioden, als het dragermateriaal nog weinig begroeid is, is dit van belang. Een te grote hoeveelheid dragermateriaal kan tot gevolg hebben dat de biofilmvorming door afslag teniet wordt gedaan.

5.1.6 *Temperatuur*

In de winterperiode daalde de watertemperatuur in de niet-geïsoleerde reactor soms tot waarden van ongeveer 10°C. Bij deze temperatuur is de activiteit van de micro-organismen laag. Door het installeren van een verwarming in een van de buffervaten is vanaf 9 maart de temperatuur in de airliftreactor op minimaal 20°C geregeld.

5.2 **Verloop van het onderzoek**

De resultaten van de analyses van het influent en het effluent van de airliftreactor zijn opgenomen in bijlage 2. In bijlage 2 is het verloop van de concentratie van een aantal componenten als verloop van de tijd grafisch weergegeven.

5.2.1 *Opstartperiode*

De reactor is 3 januari 1994 opgestart. Hierbij is de reactor gevuld met ± 200 l basalt, overeenkomend met een hoeveelheid van 60 ml/l. Hiervan was 80 l begroeid (nitrificerend) dragermateriaal, gekweekt op brouwerij-afvalwater. Naderhand is gebleken dat het begroeide dragermateriaal de juiste diameter van 0,16 - 0,3 mm had. Het onbegroeide basalt had een te grote diameter (0,3 - 0,4 mm). De biofilm op de begroeide drager bleek niet meer actief te zijn.

De temperatuur in de reactor bedroeg 10 - 20°C. De pH was ingesteld op 7,5, het debiet op 0,5 m³/h, hetgeen bij een N-concentratie van 300 - 400 mg/l overeenkomt met een N-belasting van 1 - 1,5 kg N/(m³.d). De hydraulische verblijftijd bedroeg ongeveer zeven uur.

Onder deze procescondities is getracht een biofilm op de kale drager te kweken. Als er is slib uit de tweede trap van de rwzi gebruikt. Omdat het entslib actief-slib was, verliet het grootste gedeelte de reactor weer met het effluent.

Na zeven weken werd geen NO_x-vorming waargenomen, noch was er een biofilm ontstaan. Om de opstart te bespoedigen, werd begroeide drager uit de airliftreactor van Gist-Brocades (Gb) toegevoegd. Nadat 20 liter onbegroeid dragermateriaal was afgetapt, werd 250 liter slib van Gb toegevoegd, bestaande uit lichtbegroeid dragermateriaal en korrelvormig slib, vaak zonder dragerdeeltje.

Enkele dagen na het enten steeg de NO₂-concentratie in het effluent naar ongeveer 100 mg N/l. Door de genoemde procesverstoringen liep de concentratie niet verder op. Op 9 maart werd een verwarming geïnstalleerd, waardoor het proces op ongeveer 25°C kon worden bedreven.

De bedrijfsvoering van de airliftreactor is niet gericht geweest op het handhaven van het korrelvormig slib in het systeem; door desintegratie als gevolg van afslag en door schuimvorming is dit langzaam (binnen twee weken) uitgespoeld.

Omdat de NO₂-concentratie niet verder steeg dan circa 100 mg N/l is op 10 mei het dragervolume verder verlaagd tot 25 ml/l om de afslag te verminderen. Op 18 mei is voorts de pH aangepast om inhibitie door nitriet te voorkomen. Na deze maatregelen nam de nitrietconcentratie snel toe, waarbij op 1 juni een NH₄-verwijderingsrendement van 90% werd bereikt. Hiermee werd de opstartfase als voltooid beschouwd.

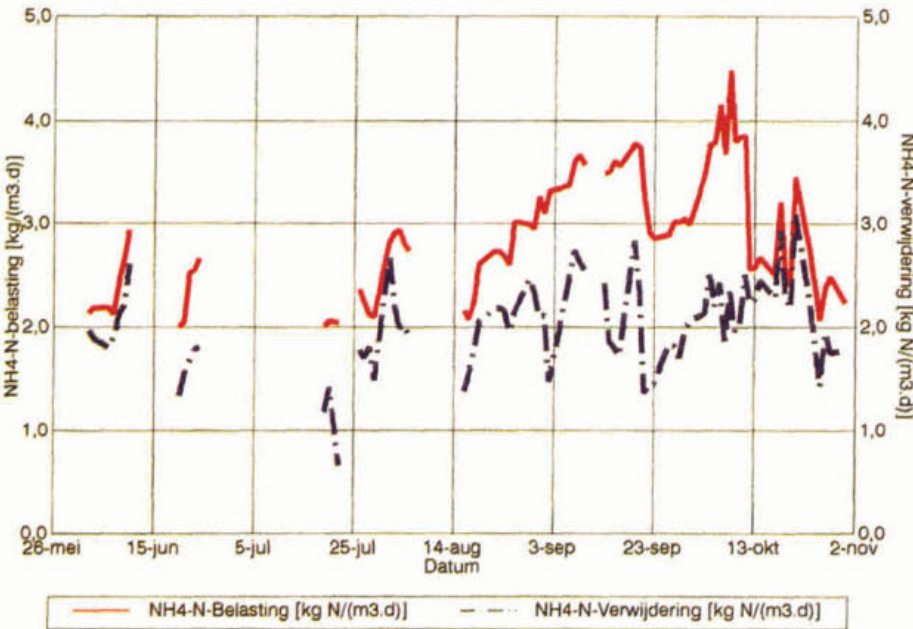
5.2.2 Maximalisatie van de nitrificatie

Nadat zich een goed nitrificerende biofilm had gevormd, werd de N-belasting verder opgevoerd door verhoging van het influentdebiet. De nitrificatiecapaciteit nam toe, evenals de begroeiing op het dragermateriaal. In figuur 4 zijn de $\text{NH}_4\text{-N}$ -belasting en de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering als functie van de tijd weergegeven. Hieruit blijkt dat de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering relatief sterk heeft gefluctueerd. Deze fluctuaties zijn toe te schrijven aan een aantal storingen, die hieronder kort worden behandeld.

Op vrijdagavond 10 juni 1994 viel de centrifugaataanvoer uit. Nadat alle ammonium was geoxideerd en de buffercapaciteit was verbruikt, is de pH-regeling gaan pendelen. Hierdoor is gedurende het weekeinde circa 200 l HCl en 200 l NaOH in het systeem gepompt, waardoor verzilting van de reactorinhoud optrad.

Hierna nam de nitrificatiecapaciteit sterk af, doordat de biofilm voor een deel was afgestorven en losliet van het dragermateriaal. De pH-regeling werd aangepast.

Op 13 juni werd de aanvoer hersteld. Na circa 1 week was de nitrificatiecapaciteit weer op het oude niveau.



Figuur 4
Verloop van de $\text{NH}_4\text{-N}$ -belasting en van de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering (na de opstartperiode)

In de weekeinden van 25-26 juni en 2-3 juli viel de airliftreactor uitgevallen als gevolg van een storing in een kabel van het energiebedrijf. Na de automatische opstart van de airliftreactor bleken de compressor en de pH-regeling niet te worden ingeschakeld. Hierdoor heersten in de airliftreactor gedurende circa 55 uur anoxische omstandigheden zonder menging, zodat de biologische activiteit ernstig werd verstoord. Het PLC-programma is vervolgens zodanig aangepast, dat bij een opstart de compressor en de pH-regeling automatisch in bedrijf worden gesteld.

Met de inmiddels verkregen kennis van het proces werd vervolgens een snelle opstart gerealiseerd: in een tijdsbestek van 4 weken nam de N-verwijdering toe van 0 tot 2,6 kg N/(m³.d) (betrokken op het beluchte volume).

In de eerste week van augustus nam, zonder een aanwijsbare oorzaak, de nitrificatiecapaciteit af. Uit microscopisch onderzoek bleek dat zich een laagje (soort scaling) op de biofilm had afgezet, zie figuur 5.



Figuur 5
Scaling op de biofilm

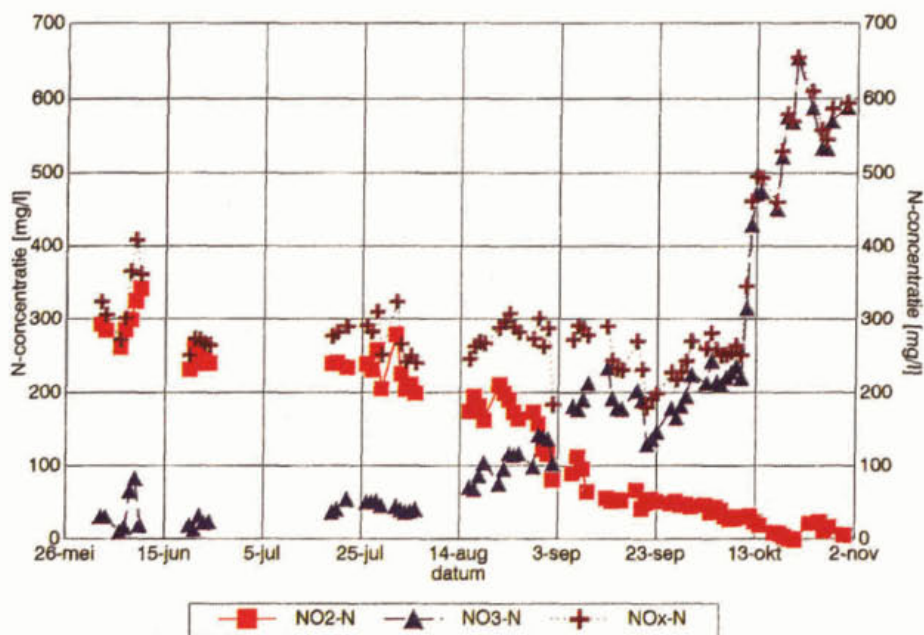
Het bleek niet mogelijk de samenstelling van deze laag te bepalen. Toevoeging van zuur liet enige gasvorming zien, hetgeen mogelijk duidt op een neerslag van CaCO_3 . Het is echter ook mogelijk dat zich andere afzettingen hadden gevormd. Deze afzettingen kunnen mogelijk verband houden met de dosering van spore-elementen (Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn). Om die reden werd de dosering van micro-nutriënten gestopt.

Om de scaling te kunnen verwijderen werd wat onbegroeid dragermateriaal toegevoegd, enerzijds om "nieuw" oppervlak aan te bieden, anderzijds om de shear wat te verhogen. Hierna trad een snel herstel van de nitrificatiecapaciteit op.

In figuur 6 zijn de concentraties $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{NO}_x\text{-N}$ in het effluent als functie van de tijd weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat tot begin september het grootste gedeelte van het geproduceerde $\text{NO}_x\text{-N}$ uit nitriet bestond. In deze periode vond bij de heersende procescondities (pH, rest-ammoniumconcentratie) een selectieve inhibitie van de omzetting van nitriet naar nitraat plaats. Er is voor deze "nitriet-route" gekozen, omdat deze een aantal duidelijke voordelen kent.

Vanaf begin augustus nam de nitraatconcentratie gestaag toe, totdat uiteindelijk vrijwel alle $\text{NO}_x\text{-N}$ uit nitraat bestond.

De genoemde wijziging in de stikstofoxydatie is ook duidelijk te herkennen aan het slibgehalte in de airlifthereactor. In figuur 7 is het volume (begroeid) dragermateriaal alsmede de organisch-drogestofconcentratie als functie van de tijd weergegeven. Vanaf begin augustus nemen beide sterk toe. Dit wordt verklaard uit een gewijzigde biofilmsamenstelling. In eerste instantie was hierin alleen *Nitrosomonas* aanwezig, terwijl de groei van *Nitrobacter* hierbij achter liep.



Figuur 6

Verloop van de NO_2 -N, NO_3 -N- en NO_x -N-concentratie als functie van de tijd

Uiteindelijk werd een evenwichtssituatie bereikt, waarbij de concentratie aan begroeid dragermateriaal min of meer constant bleef.

In de figuren 8 en 9 zijn microscopische opnamen van begroeid dragermateriaal uit de periode met weinig nitraatvormers (juni 1994) en uit de periode met veel nitraatvormers (oktober 1994) weergegeven.

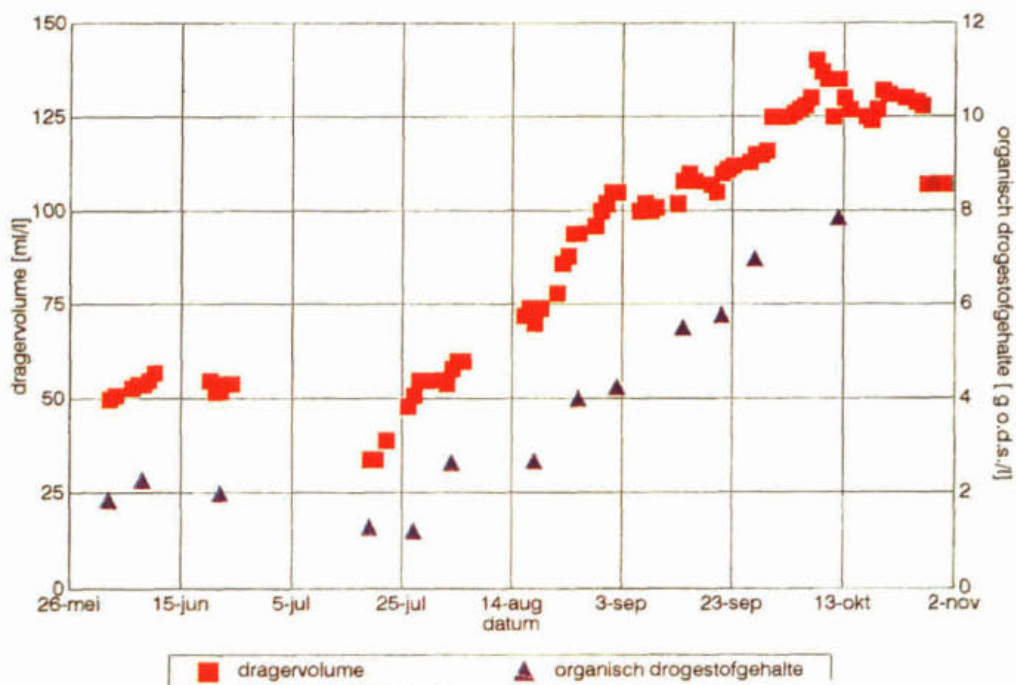
5.2.3 Verhoogde ammoniumconcentraties

Het onderzoek met de verhoogde NH_4 -concentraties is gestart in oktober 1994. Hiertoe werd aanvullend ammoniumchloride gedoseerd. De dosering heeft plaatsgevonden in de voorraad-tank.

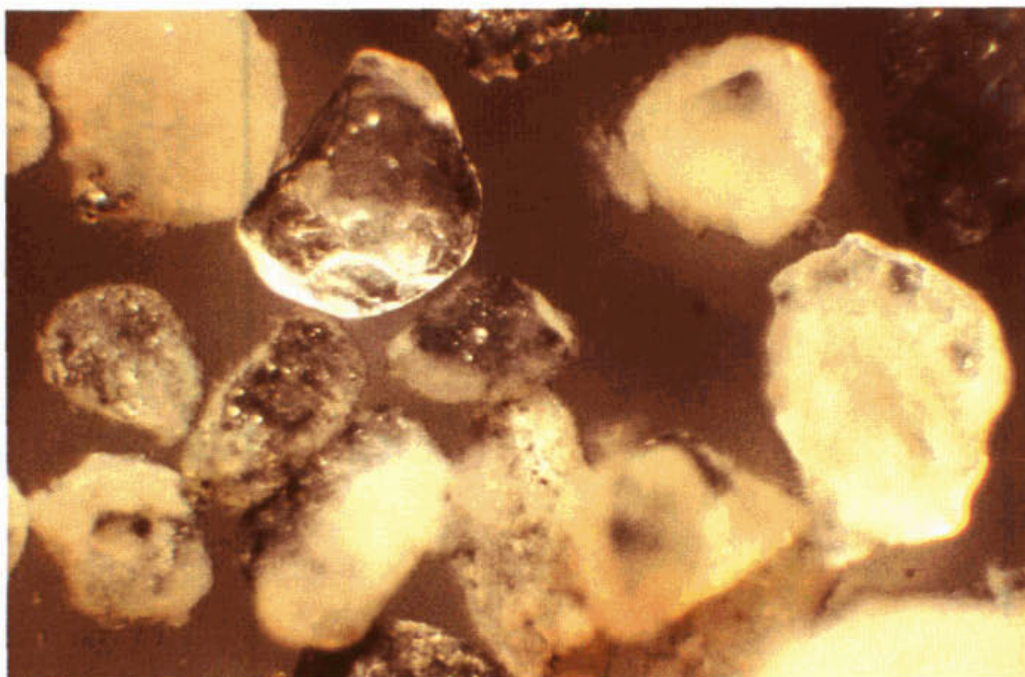
De ammoniumconcentratie in het centrifugaat bedroeg circa 450 mg N/l. De ammoniumconcentratie is in twee stappen verhoogd tot circa 850 mg N/l. Bij deze concentratie werd de ondergrens van de hydraulische belasting bereikt. Verdere verlaging zou resulteren in een te grote hydraulische verblijftijd met een te kleine selectiedruk voor groei in de biofilm, omdat de verdunningssnelheid dan kleiner is dan de maximale groeisnelheid.

Gedurende deze onderzoeksfase heeft zich één storing voorgedaan: Door het uitvallen van de anti-schuimdosing is een aanzienlijk deel (circa $\frac{1}{3}$) van de biomassa verloren gegaan. Dit had nauwelijks invloed op de ammoniumomzetting, hetgeen er op wijst dat zuurstof limiterend is voor de omzetting.

Voor een grafische weergave van de resultaten uit deze periode wordt verwezen naar de figuren 4, 6 en 7.



Figuur 7
Volume dragermateriaal en organische-drogestofconcentratie als functie van de tijd



Figuur 8
Microscopische opname van het dragermateriaal in juni 1994 (vergroting 60x); periode met weinig nitraatvorming

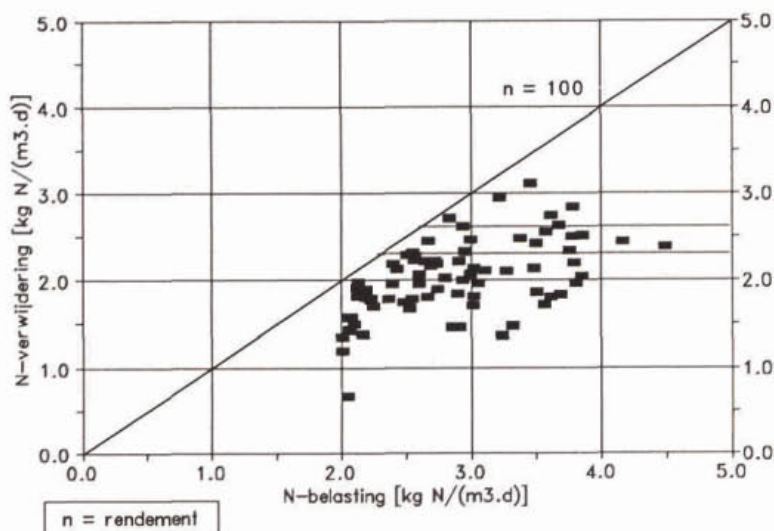


Figuur 9
Microscopische opname van het dragermateriaal in oktober 1994 (vergroting 50x); periode met veel nitraat-
vorming

6 EVALUATIE

6.1 N-verwijdering

In figuur 10 is de ammoniumverwijdering als functie van de ammoniumbelasting weergegeven (periode juni-oktober 1994).



Figuur 10
De $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering als functie van de $\text{NH}_4\text{-N}$ -belasting

In de figuur zijn alle meetpunten weergegeven.

De spreiding in de meetpunten wordt voornamelijk veroorzaakt door de eerder besproken storingen (zie 5.2.2). Gedurende een deel van het onderzoek is in de airliftreactor een stabiele $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering bereikt van 2,3 - 2,6 kg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{m}^3\text{.d})$. Bij een rendement van 90% komt dit overeen met een $\text{NH}_4\text{-N}$ -belasting van 2,55 - 2,9 kg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{m}^3\text{.d})$.

In tabel 5 zijn voor de periode 14 tot 28 september enige resultaten van de airliftreactor samengevat. Gedurende een gedeelte van deze periode werd getracht om met behulp van regeling van het O_2 -gehalte de oxydatie van nitriet naar nitraat te remmen. In deze periode werd gewerkt bij zuurstofgehalten van 2,5 - 3,5 mg O_2/l . Uit tabel 3 blijkt, dat dit evenwel in een momentane daling van de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering resulteerde. Hieruit werd geconcludeerd dat zuurstofconcentraties onder 4 - 4,5 mg/l limiterend zijn voor de omzetting van ammonium naar nitraat. De maximale nitrificatiecapaciteit van de airliftreactor wordt bepaald door de maximaal realiseerbare zuurstofinbreng.

Tabel 5
Samenvatting resultaten airlift-reactor in de periode 14-28 september

Datum	zuurstof-concentratie (mgO ₂ /l)	effluentconcentraties		NH ₄ -N-verwijdering (kgNH ₄ -N/m ³ .d)
		NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	
14-9	4,0	54	179	1,81
18-9	4,0	67	203	2,84
20-9	3,2	50	130	1,36
24-9	3,0	47	172	1,45
28-9	4,0	48	195	1,96

Op basis van de resultaten van het onderzoek kan worden geconcludeerd dat het mogelijk is om met de airliftreactor een vergaande nitrificatie van het ammonium uit stikstofrijk water te bereiken.

De resultaten zijn echter ontoereikend om een uitspraak te doen over de mogelijkheden van volledige stikstofverwijdering door nitrificatie en denitrificatie. Tijdens het onderzoek is in het denitrificatiecompartiment van de reactor geen nitraatverwijdering geconstateerd. Het onderzoek naar denitrificatie met een externe koolstofbron kon binnen de beschikbare onderzoeksperiode door tijdgebrek niet worden uitgevoerd. Het is daarnaast de vraag, hoe groot in het geval van denitrificatie het risico is op het "overgroeien" van de autotrofe micro-organismen in de biofilm door heterotrofe organismen.

6.2 Verwijdering overige componenten

In bijlage 2 is het verloop van de concentratie van een aantal componenten (BZV, CZV, PO₄-P, ortho PO₄-P en zwevendstof) als verloop van de tijd grafisch weergegeven.

6.2.1 BZV

Uit de resultaten blijkt dat het influent na filtratie een gering BZV (gemiddeld 10 mg/l) heeft. Het effluent bevat na filtratie (op twee uitbijters na) lagere BZV₅. De gemiddelde BZV in het effluent bedraagt 5 mg/l. Gezien de lage waarden is BZV-verwijdering niet relevant.

6.2.2 CZV

Het ongefiltreerd CZV in het in- en effluent van de airliftreactor is nagenoeg gelijk en bedraagt gemiddeld 200 - 300 mg/l. Na filtratie zijn de gehalten in het effluent gedurende het tweede deel van het onderzoek lager dan in het influent. De opgeloste-CZV-verwijdering is in deze fase steeds toegenomen en er is een gemiddelde verwijdering van ongeveer 50 mg/l aan opgeloste CZV bereikt.

6.2.3 Fosfaatgehalte

Het totaal-fosfaatgehalte en het orthofosfaatgehalte in het effluent zijn gemiddeld iets lager is dan in het influent. De relatief lage P-concentraties t/m augustus worden veroorzaakt door een parallel lopend precipitatie-onderzoek, dat gelijktijdig in de A-trap van de rwzi Utrecht is uitgevoerd. Uit de resultaten van het tweede deel van het onderzoek kan worden geconcludeerd dat ongeveer 4 mg/l orthofosfaat wordt opgenomen door de biomassa.

6.2.4 *Zwevendstofgehalte*

Het gehalte aan zwevendstof in het effluent van de airliftreactor is hoger dan het gehalte aan zwevendstof in het influent. Dit is voornamelijk het gevolg van biofilmafslag door afschuring. De stijging van het zwevendstofgehalte bedraagt gemiddeld 55 mg/l.

6.3 **Procescondities**

6.3.1 *Keuze nitriet-nitraatroute*

In het onderzoek is getracht om bewust door sturing van de procescondities (pH, restammonium-concentratie) in de reactor de nitraatroute te remmen. Vanaf augustus was dit niet goed meer mogelijk was. Vanaf deze periode neemt de nitraatconcentratie sterk toe. In de beschikbare tijd en onder de aangelegde condities is het vooralsnog niet mogelijk gebleken om de airliftreactor zodanig te bedienen dat alleen nitrietvorming optreedt.

6.3.2 *Slibbelasting*

In de airliftreactor is aan het eind van de onderzoeksperiode het volume aan begroeid dragermateriaal relatief constant. Deze hoeveelheid correspondeert met een organisch drogestofgehalte in de reactor van ongeveer 8 g o.d.s./l. Vergeleken met de praktijkervaringen van airliftreactoren, waarin CZV-verwijdering plaatsvindt, is dit slibgehalte aan de lage kant. Bij een $\text{NH}_4\text{-N}$ -belasting van 2,3 - 2,9 kg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ correspondeert dit met een slibbelasting van 0,29 - 0,36 kg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{kg o.d.s.d})$. Dit is een factor 15-20 hoger in vergelijking met een nitrificerende actief-slibinstallatie.

6.3.3 *pH*

In de airliftreactor beïnvloeden het strippen van CO_2 en de nitrificatie de pH.

In de afloop van de gistingstanks is een relatief hoge bicarbonaat concentratie aanwezig. Door strippen van CO_2 neemt de pH in de airliftreactor toe.

Daarentegen wordt bij de ammoniumoxydatie door *Nitrosomonas* alkaliteit verbruikt en wel 2 mol alkaliteit/(mol $\text{NH}_4\text{-N}$ omgezet). Hierdoor daalt de pH, afhankelijk van de buffercapaciteit. Het bicarbonaatgehalte in de toevoer naar de airliftreactor bedroeg gemiddeld 30 mmol/l en in de afloop 10 mmol/l.

Door de aanwezige buffercapaciteit wordt ongeveer 20 mmol/l aan loog wordt bespaard.

De pH is van grote invloed op de microbiologische processen in de airliftreactor. Het is daarom van groot belang om de pH in de reactor op de juiste waarde te regelen.

6.3.4 *Zuurstofgehalte*

Een minimale zuurstofconcentratie van 4 - 4,5 mg O_2/l in de waterfase is noodzakelijk om zuurstoflimitering te voorkomen.

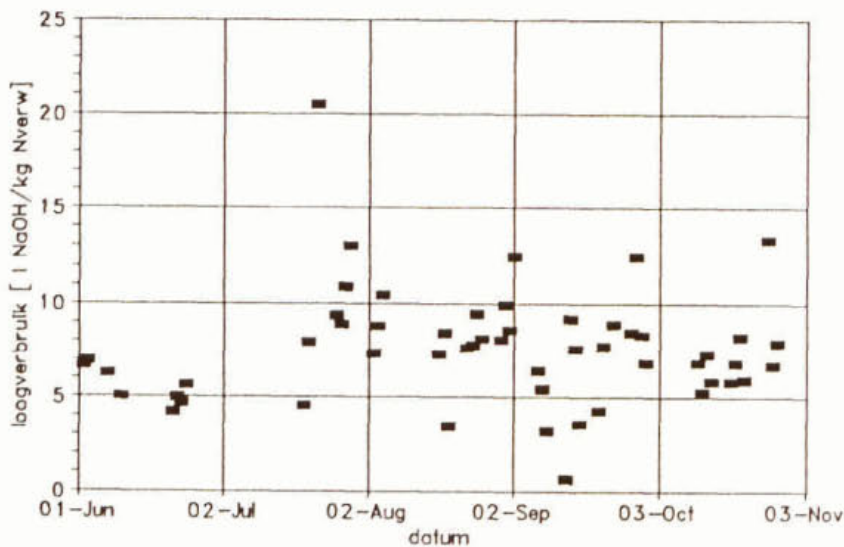
6.4 **Chemicaliënverbruik**

In de airliftreactor zijn de volgende chemicaliën gedoseerd:

- zuur;
- loog;
- anti-schuim;
- sporenelementen.

Het zuurverbruik (30% HCl) varieert in de tijd en vertoont geen duidelijke relatie met de belasting van de reactor en is in principe alleen nodig gedurende de opstartfase van de airliftreactor.

Het loogverbruik is gekoppeld aan de nitrificatiereactie. In figuur 11 is het specifieke loogverbruik (in liter Na(OH) per kg verwijderde $\text{NH}_4\text{-N}$) als verloop van de tijd weergegeven. Hieruit blijkt dat in de periode augustus-oktober gemiddeld 7 liter natronloog (33%) wordt verbruikt per kg $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderd. Dit komt overeen met een loogverbruik van 1,1 mol per mol $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderd. De aanwezige buffercapaciteit resulteert in een besparing op het loogverbruik van ongeveer 45%.



Figuur 11
Specifiek loogverbruik als functie van de tijd

Door de relatief hoge beluchtingsintensiteit vindt, mede door de aanwezigheid van polyelektrolyet in het influent, aan het wateroppervlak van de airliftreactor sterke schuimvorming plaats. Dit is ongewenst, omdat hierdoor overlast in de omgeving en verlies van dragermateriaal uit de reactor op kunnen treden. Om de schuimvorming te bestrijden wordt het wateroppervlak van de airliftreactor besproeid met effluent van de airliftreactor, dat een anti-schuimmiddel bevat.

Tijdens het onderzoek is per dag gemiddeld 1 - 2 liter anti-schuim (verdund tot 20 p.p.m.) verbruikt.

De dosering van sporenelementen heeft plaatsgevonden in de periode van 17 mei tot 8 augustus 1994.

6.5 Energieverbruik

De voornaamste energieverbruikers bij de airliftreactor zijn de beluchtingscompressor en de voedingspomp. Er zijn geen specifieke metingen van het energieverbruik verricht. Omdat de hoogte van de pilot-plantreactor sterk afwijkt van een praktijkreactor is dit ook minder zinvol.

6.6 Slibproductie

In de airliftreactor vindt aangroei van micro-organismen plaats. De omzetting van ammonium is bij de gegeven hydraulische verblijftijd alleen mogelijk door micro-organismen die aanwezig zijn in de biofilm op het dragermateriaal.

Ten gevolge van mechanische krachten (schuren van begroeid dragermateriaal) vindt afslag van biofilm plaats, hetgeen resulteert in een toename van dat zwevend-stofgehalte in het effluent van de airliftreactor.

Tijdens de onderzoeksperiode is het niet mogelijk gebleken een langdurige evenwichtssituatie te bereiken. De slibproductie is daarom berekend op basis van de toename van het organisch-drogestofgehalte en het zwevendstofgehalte in het in- en effluent.

Hiertoe is de periode augustus tot oktober beschouwd. Deze periode van 105 dagen kan als volgt worden gekarakteriseerd:

- toename organisch-drogestofgehalte	7 kg/m ³ _{reactor} ;
- gemiddeld debiet	17 m ³ /d;
- gemiddeld verschil zwevendstofgehalte effluent-influent	55 mg/l;
- gloeirest zwevend stof	50%;
- NH ₄ -N-verwijdering	2 kg NH ₄ -N/(m ³ .d).

De organisch-drogestofproductie is als volgt opgebouwd:

- aangroei op dragermateriaal	7 x 2.200/105	=	146,7 g.o.d.s./d
- toename zwevend stof	17 x 55 x 0,5	=	468,6 g.o.d.s./d
totaal			615,3 g.o.d.s./d
Per m ³ belucht reactorvolume (V = 2,2 m ³)			279,7 g.o.d.s./d

Met behulp van de berekende organisch-drogestofproductie wordt een yield-factor berekend van $0,280/2 = 0,14$ kg o.d.s./kg NH₄-N_{verw.}). Deze waarde komt zeer goed overeen met de theoretische yieldfactor van 0,15 kg o.d.s./kg NH₄-N_{verw.}).

6.7 Bedrijfsvoeringsaspecten

Op basis van de ervaringen, opgedaan tijdens het onderzoek, kan worden gesteld dat de volgende aspecten van wezenlijk belang zijn voor een goede bedrijfsvoering:

- continue beluchting: bij uitval van de beluchting zakt het dragermateriaal uit, hetgeen leidt tot verstopping en afsterving van de biofilm;
- relatief continue aanvoer: bij langdurige stopzetting van de aanvoer neemt de biologische omzettingscapaciteit af;
- continue dosering van anti-schuim;
- goede pH-regeling;
- goede voorbehandeling van het influent;
- watertemperatuur van $\approx 20^{\circ}\text{C}$.

Om een ongestoorde bedrijfsvoering zo goed mogelijk te waarborgen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- installeren van een reserve-compressor;
- installeren van een reserve-voedingspomp;
- installeren van een pH-regeling, gebaseerd op twee meetsondes;
- installeren van een voorbehandeling, bestaande uit een mechanische zeefinstallatie;

- installeren van een buffertank met een minimale buffertijd van 1 dag;
- isolatie van de installatie.

6.8 Knelpuntenanalyse

De meeste storingen die tijdens het onderzoek in de airliftreactor zijn opgetreden, zijn terug te voeren op oorzaken die te maken hebben met de uitvoering van de pilot-plantinstallatie. Een praktijkinstallatie zal zodanig worden uitgevoerd dat deze storingen kunnen worden voorkomen.

De volgende knelpunten worden gesignaleerd:

- in dit onderzoek is het niet mogelijk gebleken ammonium via de nitriet-route te verwijderen.
- de volledige looptijd van het onderzoek is nodig geweest voor onderzoek naar nitrificatie. Onderzoek naar denitrificatie heeft niet plaatsgevonden. Het is hierbij overigens de vraag in hoeverre denitrificatie in dezelfde reactor risico's oplevert voor de biofilmsamenstelling. Separate denitrificatie kan worden gerealiseerd in de waterlijn van de bestaande rwzi (bijvoorbeeld de A-trap van de rwzi Utrecht), of in een aparte denitrificatietank, waarin een externe koolstofbron (bijvoorbeeld methanol) wordt gedoseerd. Bij gebruik van methanol moet het slib hieraan zijn geadapteerd. Door achter de denitrificatietank een bezinktank met slibrecirculatie te installeren, wordt de aanwezigheid van voldoende geadapteerd slib gerealiseerd.

Naast bovengenoemde knelpunten bestaat nog enige onzekerheid over het optreden van scaling op de biofilm.

6.9 Dimensioneringsgrondslagen

Op basis van het onderzoek wordt de verwijderingscapaciteit van de pilotplant-installatie op 2,3 kg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ gesteld. Bij deze capaciteit vindt zuurstoflimitering plaats. Voor de opschaling van de pilotplant-reactor naar een praktijkinstallatie moet rekening worden gehouden met een verschil in hoogte tussen de pilotplant-installatie (7 meter) en de praktijkinstallatie (15 meter). Dit zal leiden tot een verhoogde zuurstof-overdracht en daarmee tot een verhoogde ammoniumoxydatie.

Deze verhoogde zuurstofoverdracht resulteert in een hogere $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering in de praktijkreactor. In bijlage 3 is hiervoor een berekening opgesteld, die resulteert in een $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingscapaciteit van 3 kg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$. Bij een omzettingsrendement van 90% is de dimensioneringsgrondslag vastgesteld op:

$\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering: 3 kg/($\text{m}^3\cdot\text{d}$)
 verwijderingsrendement: 90%
 $\text{NH}_4\text{-N}$ -belasting: 3,3 kg/($\text{m}^3\cdot\text{d}$)
 $T \approx 20^\circ\text{C}$
 superficiële gassnelheid $\leq 5 \text{ cm/s}$.

6.10 Algemene toepasbaarheid van het systeem

Op basis van de resultaten van het onderzoek kan worden gesteld dat behandeling van N-rijk water in het onderzochte gebied onafhankelijk is van de stikstofconcentratie. Omdat de reactor ontworpen wordt op een N-belasting, is het $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement bij eenzelfde N-belasting onafhankelijk van de stikstofconcentratie.

Bij de airliftreactor is er echter wel een grens gesteld aan de maximum concentratie in het influent. Om gesuspendeerde groei van micro-organismen te voorkomen, moet de hydraulische verblijftijd een minimum waarde te boven gaan. Dit houdt in dat bij hogere stikstofconcentraties (vanaf circa 900 mg/l) verdunning van de aanvoer met bedrijfswater (gefiltreerd effluent) noodzakelijk is.

7 KOSTEN

7.1 Inleiding

In het kader van de eindrapportage van het project "Behandeling N-rijke stromen" [8] worden voor de verschillende onderzochte technieken kostenramingen opgesteld voor de volgende capaciteiten:

- standaard-rwzi van 100.000 i.e.;
- standaard-rwzi van 400.000 i.e.;
- rwzi van de onderzoekslocatie, in dit geval rwzi Utrecht.

De installatie voor de behandeling van het stikstofrijke water kan worden onderverdeeld in de volgende delen:

- voorbehandeling en buffering;
- airliftreactor met randapparatuur;
- denitrificatie-reactor.

De installatie is gedimensioneerd op de volgende verwijderingsrendementen:

- $\text{NH}_4\text{-N}$: 90 %
- $\text{NO}_3\text{-N}$: 90 %
- N-totaal: 81 %

Voor de raming van de bouwkosten van de airliftreactor met randapparatuur is mede gebruik gemaakt van de raming van de leverancier (Paques).

Bij de raming van de stichtingskosten zijn de volgende opslagfactoren in rekening gebracht:

- bijkomende kosten 10%;
- onvoorzien 10%;
- advieskosten 10%;
- BTW 17,5%.

Bij de raming van de exploitatiekosten zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- rentevoet 8%;
- afschrijvingstermijn civiel 30 jaar;
- afschrijvingstermijn mechanisch/elektrisch 15 jaar;
- annuïteit civiel 8,9%;
- annuïteit mechanisch/elektrisch 11,7%;
- onderhoud civiel 0,5% van de aanneemsom;
- onderhoud mechanisch/elektrisch 3% van de aanneemsom;
- energiekosten f 0,15/kWh;
- chemicaliënkosten:
 - loog (33% NaOH) f 270,-/ton;
 - anti-schuim f 7,-/kg;
 - methanol f 650,-/ton;
- personeelskosten f 80.000,-/manjaar;
- molaire verhouding $\text{NH}_4\text{-N}/\text{HCO}_3^- = 1$.

7.2 Standaard-rwzi van 100.000 i.e.

De te behandelen stroom heeft een temperatuur van 20°C en is als volgt samengesteld:

- 95 kg/d N-totaal;

- 90 kg/d $\text{NH}_4\text{-N}$;
- 1 kg/m³ zwevend stof.

De installatie is gedimensioneerd voor drie verschillende debieten om de invloed van de $\text{NH}_4\text{-N}$ -ingangsconcentratie in het bereik van 450-1.800 mg/l zichtbaar te maken.

De verschillende debieten zijn:

- 50 m³/d;
- 100 m³/d;
- 200 m³/d.

Een specificatie van de installatie is opgenomen in bijlage 8. In bijlage 4 is een raming van de stichtings- en exploitatiekosten opgenomen.

Een overzicht van de kosten van de installaties, die onderling verschillen in ingaande stikstofconcentraties is weergegeven in tabel 6.

Tabel 6

Overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten (in guldens) voor een standaard-rwzi van 100.000 i.e.

	Ingangsconcentratie $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	3.650.000	3.490.000	3.400.000
Exploitatiekosten	730.000	690.000	680.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	24,70	23,30	23,00

Wanneer denitrificatie in de waterlijn mogelijk is kan de separate denitrificatestap vervallen. In dat geval nemen de stichtingskosten afhankelijk van de ammoniumconcentratie af met f 1.170.000,- - f 1.280.000,- en de exploitatiekosten met f 210.000,- - f 230.000,-.

7.3 Standaard rwzi van 400.000 i.e.

De te behandelen stroom heeft een temperatuur van 20°C en is als volgt samengesteld:

- 380 kg/d N-totaal;
- 360 kg/d $\text{NH}_4\text{-N}$;
- 1 kg/m³ zwevend stof.

De installatie is gedimensioneerd voor drie verschillende debieten.

Een specificatie van de installatie is opgenomen in bijlage 8. In bijlage 5 is een raming van de stichtings- en exploitatiekosten opgenomen.

Een overzicht van de kosten van de installaties, die onderling verschillen in ingaande stikstofconcentraties is weergegeven tabel 7.

Tabel 7

Overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten voor een standaard-rwzi van 400.000 i.e.

	Ingangsconcentratie NH ₄ -N (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	5.970.000	5.590.000	5.360.000
Exploitatiekosten	1.610.000	1.500.000	1.470.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	13,60	12,70	12,40

Wanneer denitrificatie in de waterlijn mogelijk is, kan de separate denitrificatiestap vervallen. In dat geval nemen de stichtingskosten afhankelijk van de ammoniumconcentratie af met f 2.120.000,- - f 2.440.000,- en de exploitatielasten met f 500.000,- - f 2.440.000,-.

7.4 Rwzi Utrecht

De te behandelen stroom is als volgt samengesteld:

- 480 kg/d N-totaal;
- 455 kg/d NH₄-N;
- 605 kg/d zwevend stof.

Het debiet bedraagt 960 m³/d, de temperatuur 20°C.

Een specificatie van de installatie is opgenomen in bijlage 8. In bijlage 6 is een raming van de stichtings- en de exploitatiekosten gegeven.

Voor de rwzi Utrecht worden de stichtingskosten geraamd op f 6.670.000,- en de exploitatiekosten op f 1.880.000,-. Per kilogram N(Kj) verwijderd bedragen de kosten f 12,60.

Wanneer denitrificatie in de A-trap mogelijk is, kan de separate denitrificatiestap vervallen. In dat geval nemen de stichtingskosten af met f 2.550.000,- en de exploitatielasten met f 620.000,-.

- De airliftreactor kan op praktijkschaal worden toegepast voor het nitrificeren van stikstofrijk water uit de slibverwerking van rwzi's, mits wordt voldaan aan een aantal randvoorwaarden voor de bedrijfsvoering. Het te allen tijde handhaven van voldoende biologische capaciteit is hierbij van primair belang. In het onderzoek kwam de biofilmvorming moeizaam tot stand, maar is er vervolgens gedurende twee maanden stabiel gedraaid.
- Tijdens het onderzoek heeft zich een aantal storingen voorgedaan, die het verloop van het onderzoek negatief hebben beïnvloed. Deze storingen zijn echter alle terug te voeren op de uitvoering van de pilot-plant-installatie. Een praktijkinstallatie kan zodanig worden uitgevoerd dat deze storingen worden voorkomen.
- De ontwerp-stikstofbelasting van de airliftreactor is door opschaling op basis van de onderzoeksresultaten berekend op 3,3 kg NH₄-N/(m³.d) bij een temperatuur van 20°C. Het rendement van de ammoniumoxydatie bij deze belasting bedraagt 90%.
- In de airliftreactor wordt het ammonium uit het stikstofrijke water geoxydeerd tot nitraat. Voor een volledige stikstofverwijdering is denitrificatie noodzakelijk. Wanneer dit niet mogelijk is in de waterlijn van de rwzi moet een separate denitrificatietank met dosering van een externe koolstofbron (methanol) worden geïnstalleerd.
- Vòòr de behandeling in de airliftreactor is een voorbehandeling van het water noodzakelijk. Deze voorbehandeling bestaat uit de verwijdering van bezinkbare stoffen en van drijfslaag. Om uitval van voeding naar de airliftreactor te voorkomen is de installatie van een buffertank met een opslagtijd van 1 dag noodzakelijk.
- Een overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten, alsmede de kosten per kg N(Kj)-verwijderd is in onderstaande tabel gegeven voor een installatie met de airliftreactor en een separate denitrificatiestap (denitrificatierendement van 90%).

Tabel 8
Kostenoverzicht (in guldens) van de airlift-reactor voor de onderscheiden rwzi's

capaciteit (i.e.)	NH ₄ -N-conc. (mg/l)	stichtings- kosten	exploitatie- kosten	kosten per kg N(Kj)- _{verw}
100.000	1800	3.400.000	680.000	23,00
100.000	900	3.490.000	690.000	23,30
100.000	450	3.650.000	730.000	24,70
400.000	1800	5.360.000	1.470.000	12,40
400.000	900	5.590.000	1.500.000	12,70
400.000	450	5.970.000	1.610.000	13,60
Utrecht	475	6.670.000	1.880.000	12,60

- Wanneer denitrificatie in de waterlijn mogelijk is, kan de separate denitrificatiestap vervallen. In dat geval nemen de stichtingskosten en de exploitatiekosten af. Afhankelijk van de capaciteit is deze afname:

	stichtingskosten	exploitatiekosten
100.000 i.e. :	f 1.170.000,- tot 1.280.000,-	f 210.000,- tot 230.000,-
400.000 i.e. :	f 2.120.000,- tot 2.440.000,-	f 500.000,- tot 550.000,-
rwzi Utrecht :	f 2.550.000,-	f 620.000,-

9 **REFERENTIELIJST**

- [1] RIZA/STOWA
De invloed van interne stromen op de stikstofhuishouding bij rwzi's.
Werkdocument RWZI 2000 91-05W

- [2] RIZA/STOWA
Stikstofverwijdering uit interne stromen op rwzi's.
Rapport RWZI 2000 92-09

- [3] STOWA
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.
Praktijkonderzoek aan de membraan-bioreactor op de slibverwerkingsinstallatie Sluisjes-
dijk.
Rapport 95-09

- [4] STOWA
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.
Praktijkonderzoek aan lucht- en stoomstripinstallaties bij de rwzi Utrecht.
Rapport 95-12

- [5] STOWA
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.
Praktijkonderzoek aan stoomstrippen met dampverdichting op de rwzi Amsterdam-Oost.
Rapport 95-11

- [6] STOWA
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.
Praktijkonderzoek aan het MAP/CAFR-proces op de rwzi Utrecht.
Rapport 95-13

- [7] Tijhuis, L.
The biofilm airliftsuspension reactor
Proefschrift, TU Delft, november 1994.

- [8] STOWA
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.
Evaluatie van Nederlandse praktijkonderzoeken
Rapport 95-08

BIJLAGE 1

Resultaten van de airliftreactor

Airlift Analyses resultaten influent

1994 Datum		CZV mg/l	CZV gefiltreerd mg/l	BZV ₅ gefiltreerd mg/l	NKj-N mg N/l	NH4-N mg N/l	NH4-N gefiltreerd mg N/l	NOx-N gefiltreerd mg N/l	NO2-N gefiltreerd mg N/l	zwevend stof mg/l	P-tot. mg P/l	PO4-P gefiltreerd mg P/l	M-getal meq/l	Indamp rest %
wo	01-Jun			119			326			136				
do	02-Jun			120			334			160				
vr	03-Jun													
za	04-Jun													
zo	05-Jun			105			334			140				
ma	06-Jun			121			324			172				
di	07-Jun						371	26	30	216	10	2.9	30.2	
wo	08-Jun	307		115	12	384	404			48				
do	09-Jun			111			385			135				
vr	10-Jun													
za	11-Jun													
zo	12-Jun													
ma	13-Jun			105			355			106				
di	14-Jun			99			365			71				
wo	15-Jun			106			369			140				
do	16-Jun						373			230	7.6	3.8	31.6	
vr	17-Jun	329		83	23	377								
za	18-Jun													
zo	19-Jun			90			367			100				
ma	20-Jun	226		86	387		377			67	8.3		31.2	
di	21-Jun			93			386			60				
wo	22-Jun			96			389			20				
do	23-Jun			98			407			137				
vr	24-Jun													
za	25-Jun													
zo	26-Jun													
ma	27-Jun	239		112	25	386	372	1.3	0.14	52	7.8	2.1	32.0	
di	28-Jun			176			366			183				
wo	29-Jun			103			367			90				
do	30-Jun			102			382			72				
do	01-Jul													

Airlift

Analyses resultaten influent

1994 Datum		CZV	CZV gefiltreerd mg/l	BZV ₅ gefiltreerd mg/l	NKj-N mg N/l	NH4-N mg N/l	NH4-N gefiltreerd mg N/l	NOx-N gefiltreerd mg N/l	NO2-N gefiltreerd mg N/l	zwevend stof mg/l	P-tot. mg P/l	PO4-P gefiltreerd mg P/l	M-getal meq/l	Indamp rest %
vr	01-Jul													
za	02-Jul													
zo	03-Jul													
ma	04-Jul		108				343			83				
di	05-Jul		108				413			84				
wo	06-Jul	194	100	12	436		401	2.7	2.6	68	5.6	3.1	34.6	
do	07-Jul		101				404			96				
vr	08-Jul		102				388			94				
za	09-Jul													
zo	10-Jul													
ma	11-Jul		123				361			70				
di	12-Jul		148				372			78				
wo	13-Jul		165				360			89				
do	14-Jul		172				356			92				
vr	15-Jul	303	182	15	342		422	59		174	11	3.7	27.3	
za	16-Jul													
zo	17-Jul													
ma	18-Jul	242	193	12	323		374	65	60	90	8.6	4.3	26.9	
di	19-Jul		201				368			42				
wo	20-Jul		168				315			64				
do	21-Jul		178				303			68				
vr	22-Jul		185				312			100				
za	23-Jul													
zo	24-Jul													
ma	25-Jul		159				305			56				
di	26-Jul	230	162	11	327		310	63	64	70	9.3	5.8	25.3	
wo	27-Jul		162				294			64				
do	28-Jul		193				278			100				
vr	29-Jul		198				275			52				
za	30-Jul													
zo	31-Jul													
zo	01-Aug		162				288			267				

Airlift Analyses resultaten influent

	1994 Datum		CZV	CZV	BZV _s	NKj-N	NH4-N	NH4-N	NOx-N	NO2-N	zwevend	P-tot.	PO4-P	M-getal	Indamp
	van	tot	mg/l	gefiltreerd mg/l	gefiltreerd mg/l	mg N/l	mg N/l	gefiltreerd mg N/l	gefiltreerd mg N/l	gefiltreerd mg N/l	stof mg/l	mg P/l	gefiltreerd mg P/l	meq/l	rest %
za	01-Oct	02-Oct													
zo	02-Oct	03-Oct		144				355							
ma	03-Oct	04-Oct		150				384							
di	04-Oct	05-Oct		108				386			88				
wo	05-Oct	06-Oct	323	132	11	429		424	31	18	80	25	17	32.9	
do	06-Oct	07-Oct	314	137		433		375			76	26			0.09
vr	07-Oct	08-Oct		121				457			48				
za	08-Oct	09-Oct		124				498			70				
zo	09-Oct	10-Oct		121				504			80				
ma	10-Oct	11-Oct		124				505			105				
di	11-Oct	12-Oct		122				470			52				
wo	12-Oct	13-Oct		125				471			114				
do	13-Oct	14-Oct	355	155	14	508		490	50	24	60	27	21	37.8	
vr	14-Oct	15-Oct													
za	15-Oct	16-Oct													
zo	16-Oct	17-Oct		116				460			80				
ma	17-Oct	18-Oct	317	133	8	627		590	45	21	80	26	18	36.8	
di	18-Oct	19-Oct		127				585			107				
wo	19-Oct	20-Oct		114				550			70				
do	20-Oct	21-Oct		119				792			107				
vr	21-Oct	22-Oct													
za	22-Oct	23-Oct													
zo	23-Oct	24-Oct		135				832			160				
ma	24-Oct	25-Oct		126				689			130				
di	25-Oct	26-Oct		123				631			130				
wo	26-Oct	27-Oct	520	125	8	850		731	31	19		25	23	34.3	
do	27-Oct	28-Oct		119				759			120				
vr	28-Oct	29-Oct													
za	29-Oct	30-Oct													
zo	30-Oct	31-Oct		101				681			30				
ma	31-Oct	01-Nov													

Airlift (zware metalen)

dag	1 tot Datum van tot		indamp rest %	gloeirest %	Cd mg/kg ds	Cr mg/kg ds	Cu mg/kg ds	Pb mg/kg ds	Ni mg/kg ds	Zn mg/kg ds
di	31-May	01-Jun	27	94						
di	07-Jun	08-Jun	33	94						
do	16-Jun	17-Jun		90	<0,3	188	176	<5,0	425	712
ma	20-Jun	21-Jun	41	92						
ma	27-Jun	28-Jun	22,5	94						
di	05-Jul	06-Jul	33,3	96						
do	14-Jul	15-Jul	38,4	96	<0,5	176	190	<5,0	457	430
zo	17-Jul	18-Jul	34,2	95						
ma	25-Jul	26-Jul	33,1	93						
di	02-Aug	03-Aug	30,6	92						
zo	07-Aug	08-Aug	31,3	93						
do	18-Aug	19-Aug	33	92						
ma	22-Aug	23-Aug	32,8	92						
ma	29-Aug	30-Aug	29,5	91	<0.1	164	126	1,3	398	304
wo	07-Sep	08-Sep	32	89						
zo	11-Sep	12-Sep	31	87						
ma	19-Sep	20-Sep	25	82						
di	27-Sep	28-Sep	25	80						
wo	05-Oct	06-Oct	28	80						
do	13-Oct	14-Oct	28,7	81	<0.5	130	95,3	6,0	324	173

Indamprest bepaald met asvrij filter (zwartband);
gloeirest door zwartband filter te gloeien.

Airlift Analyseresultaten effluent

1994 Datum		CZV	CZV gefilterd mg/l	BZV ₅ mg/l	NKJ-N mg N/mg	NH4-N mg N/mg	NH4-N gefilterd mg N/mg	NO3-N mg N/mg	NO3-N gefilterd mg N/mg	NO2-N mg N/mg	zwavel stof mg/l	P-tot. mg P/l	PO4-P gefilterd mg P/l	M-getal meq/l	indamp rest %	gloeirest %
wo	01-Jun													12.6		
do	02-Jun		525				25	324	293		284					
vr	03-Jun		390				45	306	285		184					
za	04-Jun							266	259							
zo	05-Jun						55	297	275							
ma	06-Jun		362				59	272	262		156			12.1		
di	07-Jun		396				32	301	285		120			10.5		
wo	08-Jun	581	426	6	71		46	365	299		115	8	2.7	12.6		
do	09-Jun		458				66	408	325		55			15		
vr	10-Jun		482				43	361	342		140					
za	11-Jun															
zo	12-Jun															
ma	13-Jun		246				220	143	134		300			16.2		
di	14-Jun		295				167	205	196		104			11.7		
wo	15-Jun		275				169	194	183		95			12.4		
do	16-Jun	453	288	2	194		172	202	191		176	7.8	2.1	11.2	0.1	40
vr	17-Jun						157	204	193		62					
za	18-Jun		333				137	236	218		26			11		
zo	19-Jun		361				121	251	232		78					
ma	20-Jun	694	353	4	121		89	273	260		200	13	2.5	11.4	0.2	53
di	21-Jun		353				130	272	240		104			11.9		
wo	22-Jun		353				117	267	245		60			12.8		
do	23-Jun		354				131	265	241		130			13.5		
vr	24-Jun						160	246	217		132					
za	25-Jun						153	240	214		166					
zo	26-Jun															
ma	27-Jun	429	215	14	315		272	103	86		153	7.2	1.7	21.2	0.1	50
di	28-Jun		201				305	52	43		284			15.3		
wo	29-Jun		252				314	52	43		170			9.2		
do	30-Jun		270				350	42	33		78			8.2		
	01-Jul															

Airlift

Analyseresultaten effluent

1994 Datum		van		tot		CZV	CZV gefiltreerd mg/l	BZV, mg/l	NKJ-N mg N/mg	NH4-N N/l	NH4-N gefiltreerd N/l	NO3-N gefiltreerd N/l	NO2-N gefiltreerd N/l	zwavel stof mg/l	P-tot. mg P/l	PO4-P gefiltreerd mg P/l	M-getal. P/l meq/l	indamp rest %	gloeirest %
vr	01-Jul			02-Jul							410			80					
za	02-Jul			03-Jul							320	57	38						
zo	03-Jul			04-Jul			161				363	20	41	66			26.1		
ma	04-Jul			05-Jul			199				387	28	18	142			10.3		
di	05-Jul			06-Jul			200	6	384		391	31	16	96	5.5	2.7	8		
wo	06-Jul			07-Jul		278	301				379	30	17	110			8.1		
do	07-Jul			08-Jul			156				379	34	16	124			8.6		
vr	08-Jul			09-Jul							361	43	19	118					
za	09-Jul			10-Jul							358	45	25	110					
zo	10-Jul			11-Jul			159				342	67	34	105			8.3		
ma	11-Jul			12-Jul			192				358	101	53	112			7.4		
di	12-Jul			13-Jul			229				303	138	85	156			7.5		
wo	13-Jul			14-Jul			242				362	180	114	120			8.6		
do	14-Jul			15-Jul		808	251	5	230		273	208	151	180	11	3.6	8.9	0.1	57
vr	15-Jul			16-Jul							213	246	170	116					
za	16-Jul			17-Jul							211	273	204	76					
zo	17-Jul			18-Jul		475	333	7	123		197	282	225	112	9	3.7	12.1	0.2	51
ma	18-Jul			19-Jul			358				151	277	240	114			14.4		
di	19-Jul			20-Jul			351				98	282	241	80			15.2		
wo	20-Jul			21-Jul			357				87	277		98			14.2		
do	21-Jul			22-Jul			342				211	290	235	82			16.3		
vr	22-Jul			23-Jul							85	277	250	64					
za	23-Jul			24-Jul							70	283	253	34					
zo	24-Jul			25-Jul			371				56	302		124			15.6		
ma	25-Jul			26-Jul		438	342				77	291	240	86	9	4.6	15.4	0.2	65
di	26-Jul			27-Jul			334				71	283	232	98			14		
wo	27-Jul			28-Jul			347				41	310	258	117			16.2		
do	28-Jul			29-Jul			300				80	252	206	75			17.6		
vr	29-Jul			30-Jul															
za	30-Jul			31-Jul															
zo	31-Jul			01-Aug			388				12	324	279	404			13.6		

Airlift Analyseresultaten effluent

1994 Datum		Analyseresultaten effluent														gloeirest	
van	tot	CZV	CZV gefiltreerd	BZV ₃	NKJ-N	NH4-N	NH4-N gefiltreerd	NO3-N	NO2-N	zwervend stof	P-tot.	PO4-P gefiltreerd	M-gestalt	indamp rest	gloeirest		
		mg/l	mg/l	mg/l	mg N/mg	mg N/l	mg N/l	mg N/l	mg N/l	mg/l	mg P/l	mg P/l	mg/l	%	%		
ma	01-Aug		334				71	266	226	148			16.8				
di	02-Aug	407	305	16	105		96	242	205	96	12	4.6	17.8	0.21	50		
wo	03-Aug		290				79	250	212	114			17.7				
do	04-Aug		289				86	241	200	122			17.7				
vr	05-Aug						99	226	182	95							
za	06-Aug						120	202	154	95							
zo	07-Aug		213				143	175	129	103			16.7				
ma	08-Aug		221				127	182	137	130			15.3				
di	09-Aug		210				139	180	127	103			13.6				
wo	10-Aug	644	203	9	177		152	169	117	373	23	7.4	12	0.11	65		
do	11-Aug		208				131	191	128	132			11				
vr	12-Aug						134	203	133	118							
za	13-Aug						89	255	182	280							
zo	14-Aug		248				92	244	161	192			12.6				
ma	15-Aug		250				102	246	175	108			14.1				
di	16-Aug		274				67	263	195	98			13.2				
wo	17-Aug		260				60	269	182	252			13.9				
do	18-Aug	422	253	4	77		72	267	163	98	14	7.9	14.8				
vr	19-Aug						81	266	214	94							
za	20-Aug						80	283	220	116							
zo	21-Aug	451	302	6	74		73	288	212	120	15	7.7		0.27	47		
ma	22-Aug		290				72	296	200	206			17.4				
di	23-Aug		283				69	308	191	102			16.7				
wo	24-Aug		262				85	289	174	96			18.2				
do	25-Aug		255				101	282	165	114			19.2				
vr	26-Aug						94	290	167	96							
za	27-Aug						89	296	166	92							
zo	28-Aug		263				61	273	174	118			17.8				
ma	29-Aug		247				71	301	158	110			17.6				
di	30-Aug	217	226		123		119	263	123	100	16	9.5	24.9	0.23	43		
wo	31-Aug		193				101	287	116	166			17.8				

Airlift

Analyseresultaten effluent

1994 Datum		CZV	CZV gefilterd mg/l	BZV, mg/l	NKJ-N mg N/l	NH4-N mg N/l	NH4-N gefilterd mg N/l	NO3-N gefilterd mg N/l	NO2-N gefilterd mg N/l	zwevend stof mg/l	P-tot. mg P/l	PO4-P gefilterd mg P/l	M-getal P/l meq/l	indamp rest %	gloeirest %
do	01-Sep							188	81	168			20.8		
vr	02-Sep		162					295	49	378					
za	03-Sep							327		388					
zo	04-Sep							327		1328			23.3		
ma	05-Sep		78					92	90	50			16.6		
di	06-Sep		178					89	113	126			18		
wo	07-Sep		197					106	96	40	25	11	18.3	0.3	60
do	08-Sep	438	169	4	143			104	65	124			17.1		
vr	09-Sep		138					85	69	344					
za	10-Sep							79	53	172					
zo	11-Sep		81	5	64			302		612	36	9.1	12.6	0.4	42
ma	12-Sep		124					109	56	128			17.6		
di	13-Sep		121					168	52	104			20.3		
wo	14-Sep		123					184	54	66			20.1		
do	15-Sep		124					188	53	122			19.4		
vr	16-Sep							198	59	60					
za	17-Sep							201	60	88					
zo	18-Sep		200					96	67	803			16.5		
ma	19-Sep	625	135	17	152			144	42	276	22	13	20.1	0.3	47
di	20-Sep		123					191	50	112			22		
wo	21-Sep		126					149	55	135			19.5		
do	22-Sep		121					143	52	165			18.8		
vr	23-Sep							120	50	76					
za	24-Sep							115	47	88					
zo	25-Sep		108					108	49	204			16.9		
ma	26-Sep		110					123	52	96			16.2		
di	27-Sep	177	102	1	34			133	47	240	15	12	16.5	0.2	59
wo	28-Sep		104					111	48	22			16.5		
do	29-Sep		100					95	45	212			15.3		
vr	30-Sep							133	49						
	01-Oct							232							

Airlift

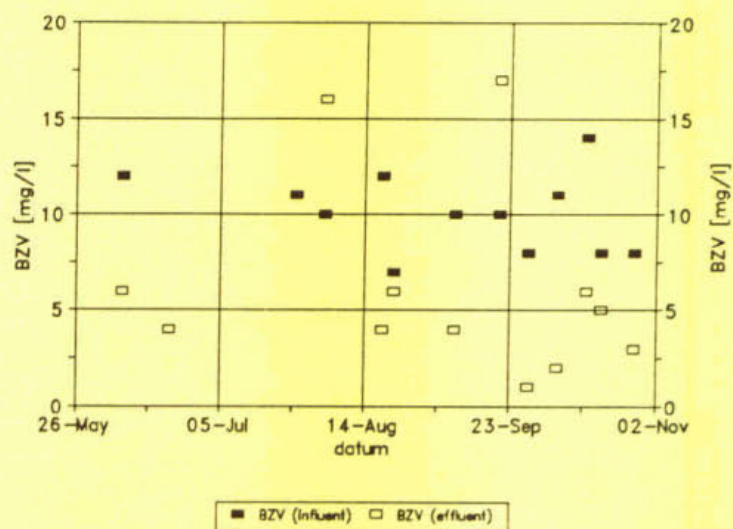
Analyseresultaten effluent

	1994 Datum		CZV	CZV	BZV ₅	NKJ-N	NH ₄ -N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	zwevend	P-tot.	PO ₄ -P	M-getal	indamp	gloeirest
	van	tot	mg/l	gefiltreerd mg/l	mg/l	mg	N/mg	N/lmg	N/lmg	N/lmg	stof mg/l	mg P/l	gefiltreerd mg P/l	meq/l	rest %	%
za	01-Oct	02-Oct							143	242	49					
zo	02-Oct	03-Oct		103					138	260	47	68		17.3		
ma	03-Oct	04-Oct		126					129	281	37	64		16.7		
di	04-Oct	05-Oct		109					162	259	44	34		19.1		
wo	05-Oct	06-Oct	252	110	2	179			176	251	40	68	20	15		
do	06-Oct	07-Oct	333	107		196			189	252	31	80	22		19.5	0.3
vr	07-Oct	08-Oct		103					215	255	27	70			21.3	
za	08-Oct	09-Oct		114					241	264	28	83			22	
zo	09-Oct	10-Oct		118					237	251	31	116			22.1	
ma	10-Oct	11-Oct		123					177	345	30	392			16.6	
di	11-Oct	12-Oct		121					61	461	32	220			13.5	
wo	12-Oct	13-Oct		107					55	495	24	192			13.3	
do	13-Oct	14-Oct	347	101	6	46			41	493	19	184	16	14	13.1	
vr	14-Oct	15-Oct							33	480	12	128				
za	15-Oct	16-Oct							30	469	8	124				
zo	16-Oct	17-Oct		98					42	460	9	184		15.1		
ma	17-Oct	18-Oct	336	86	5	53			50	530	8	136	17	15	12.1	
di	18-Oct	19-Oct		80					55	580	4	176			10.7	
wo	19-Oct	20-Oct		84					50	570	1	252			10.6	
do	20-Oct	21-Oct		96					80	655		304			9	
vr	21-Oct	22-Oct							91	715	18	244				
za	22-Oct	23-Oct							60	815	2	172				
zo	23-Oct	24-Oct		114					155	610	22			9.1		
ma	24-Oct	25-Oct									100					
di	25-Oct	26-Oct		105					194	558	24	100		9.1		
wo	26-Oct	27-Oct	292	92	3				135	545	12	400	23	8.9		
do	27-Oct	28-Oct		96					225	587	17	156		8.7		
vr	28-Oct	29-Oct							207	587	9	140				
za	29-Oct	30-Oct							171	583	5	104				
zo	30-Oct	31-Oct		89					136	595	6	92		6.5		
ma	31-Oct	01-Nov									168					

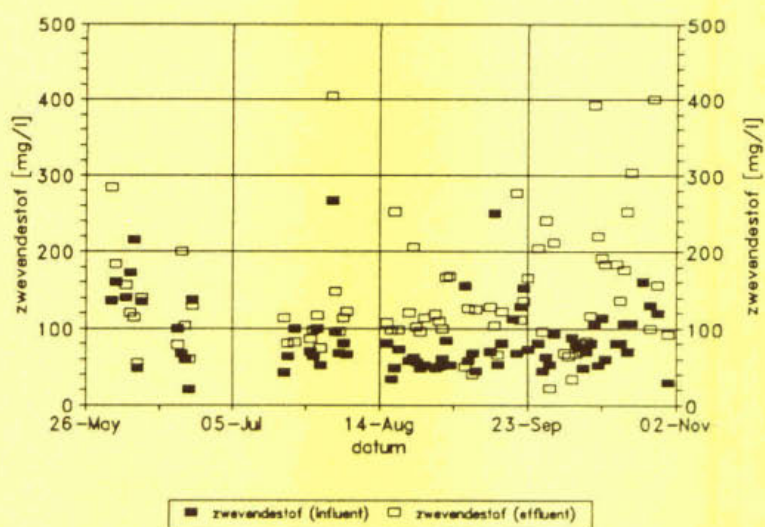
BIJLAGE 2

Figuren: verwijdering van overige componenten

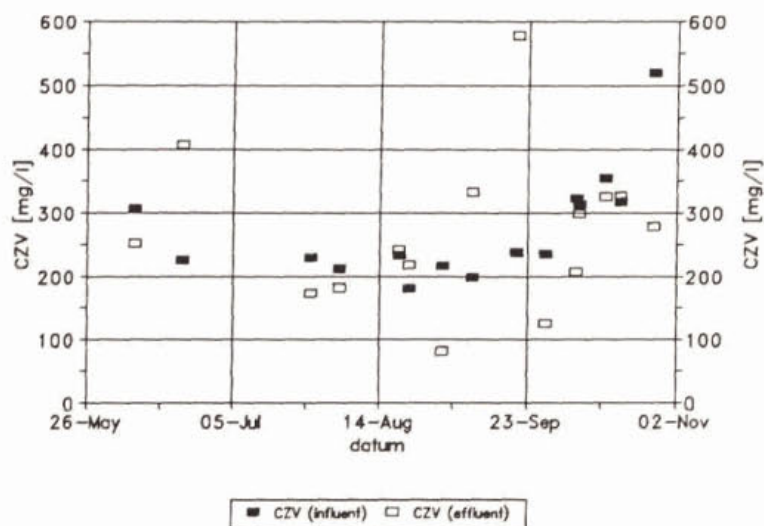
Afbeelding 1 Influent- en effluentconcentraties BZV



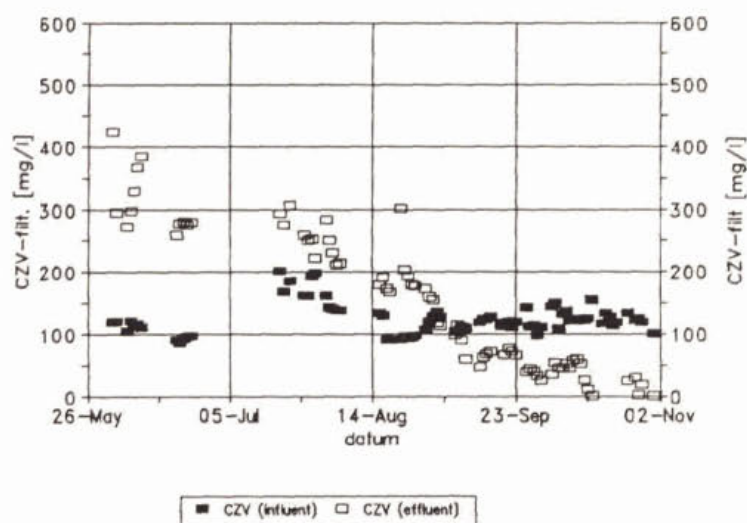
Afbeelding 2 Influent- en effluentconcentraties zwevendstof



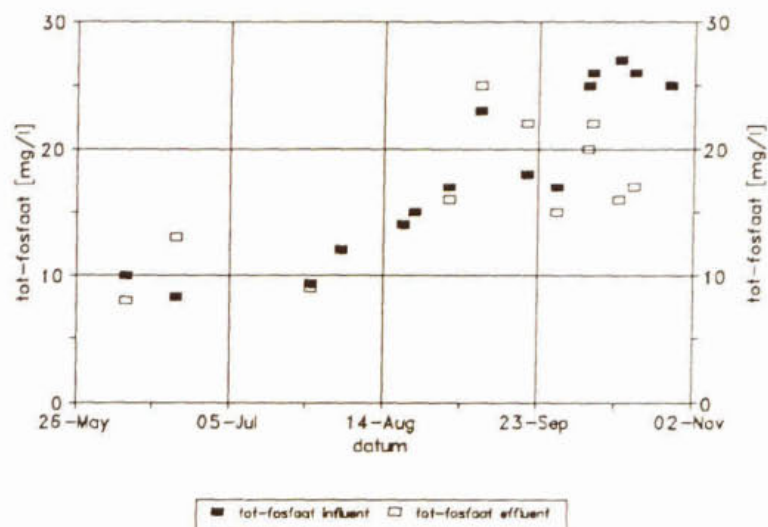
Afbeelding 3 Influent- en effluentconcentraties CZV



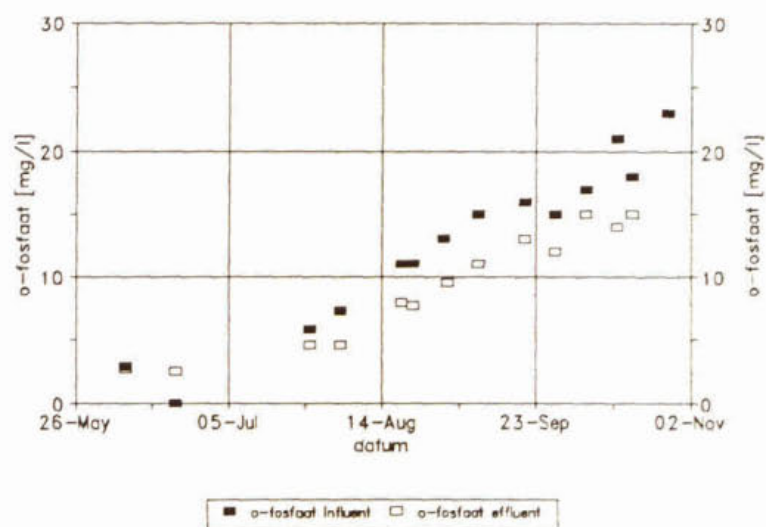
Afbeelding 4 Influent- en effluentconcentraties CZV (gefiltreerd)



Afbeelding 5 Influent- en effluentconcentraties totaal-fosfaat



Afbeelding 6 Influent- en effluentconcentraties ortho-fosfaat



BIJLAGE 3

Opschaling van de airliftreactor

1 Berekening van de pilotplant-reactor

1.1 Uitgangspunten

Bij de berekening zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Bij een luchtdebiet van 49 Nm³/uur is in de oxische ruimte 2,6 kg NO₃⁻-N/(m³.d) geproduceerd bij een opgeloste zuurstofconcentratie van 4,5 mg O₂/l. De omzetting is dan zuurstofgelimiteerd.
- Het belucht reactorvolume bedraagt 2,2 m³.
- De gemiddelde temperatuur bij deze omzetting bedraagt 20°C.
- De vloeistofspiegel in de pilot plant ligt op 7 m.

1.2 Bepaling k_LA bij 20°C

De verzadigingsconcentratie voor O₂ is afzonderlijk bepaald in gefiltreerd effluent op 7,9 mg/l bij 10⁵ Pa en 25°C.

Voor leidingwater kan de C* volgens de Henry-constante worden berekend op (H_{25°C} = 4,44·10⁹):

$$\frac{0,21 \times 10^5 \times 32 \times 10^6}{4,44 \cdot 10^9 \times 18} = 8,4 \text{ mg/l}$$

Door de aanwezigheid van opgeloste componenten daalt C* van 8,4 naar 7,9 mg/l. De correctiefactor hiervoor bedraagt $\frac{7,9}{8,4} = 0,94$.

De O₂-consumptie in de pilot-plant bij de gehanteerde uitgangspunten bedraagt:

$$\frac{2,6 \times 4,57 \times 1000 \times 2,2}{32} = 817 \text{ mol O}_2/\text{dag}$$

De luchtinbreng in de pilot-plant bedraagt:

$$\frac{49.000 \times 24}{22,4} = 52.500 \text{ mol/dag}$$

De berekende uitputting bedraagt $\frac{817}{52500} \times 100\% = 1,6\%$.

Bij de gemiddelde druk in de reactor van 1,35·10⁵ Pa bedraagt de partiële O₂-spanning:

$$(0,21 - 0,016) \times 1,35 \cdot 10^5 = 2,62 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

De berekende verzadigingswaarde C* bedraagt (H_{20°C} = 4,06·10⁹)

$$\frac{2,62 \cdot 10^4 \times 10^6 \times 32}{4,06 \cdot 10^9 \times 18} = 11,5 \text{ mg/l}$$

Gecorrigeerd voor opgeloste componenten wordt dit 0,94 x 11,5 = 10,8 mg/l

De totale zuurstofoverdracht is als volgt gedefinieerd:

$$OTR = k_L A (C^* - Cl) \Rightarrow k_L A = \frac{OTR}{(C^* - Cl)}$$

De totale zuurstofoverdracht in de pilot plant wordt berekend op:

$$OTR = \frac{2,6 \times 4,57 \times 1000}{24} = 495 \text{ mg/(l.h)}$$

$$\text{Hieruit volgt } \Rightarrow k_L A = \frac{495}{(10,8 - 4,5)} = 79 \text{ h}^{-1}$$

Over een groot traject is $k_L A$ proportioneel afhankelijk van de gassnelheid (ref: Heijnen et al, 1993, Development and scale up of an aerobic biofilm airlift suspension reactor. Wat. Sci. Tech. Vol. 27, No. 56, pp. 253-261).

De doorsnede van het oxisch gedeelte van de reactor bedraagt $0,52 \times 0,6 = 0,312 \text{ m}^2$.

De superficiële gassnelheid heeft dan een waarde van:

$$\frac{49 \times 100}{0,312 \times 3600} = 4,4 \text{ cm/sec}$$

De proportionaliteitsfactor bedraagt:

$$k_L A = C v_{\text{gas}} \quad (v_{\text{gas}} \text{ in cm/s; } k_L A \text{ in h}^{-1})$$

De waarde van de proportionaliteitsfactor bedraagt:

$$C = \frac{79}{4,4} = 18$$

2 Opschaling naar een praktijkinstallatie

Opgeschaald wordt naar een hoogte van 15 m. Als $v_{\text{sup.gas}}$ wordt een snelheid gekozen van 5 cm/sec. Bij deze snelheid wordt de grootte van de reactorkop (in verband met toegestane gassnelheid in de trechter in relatie tot schuimvorming) niet excessief. Bovendien zijn op praktijkschaal nooit hogere gassnelheden dan deze waarde gebruikt.

Zuurstofoverdracht

Bij bovengenoemde opschaling kan de totale zuurstofoverdracht worden berekend via een iteratieproces.

Aanname: O_2 -uitputting bedraagt 3,9%.

De berekende $k_L A$ bedraagt $18 \times 5 = 90 \text{ h}^{-1}$.

Bij een gemiddelde druk in de reactor van $1,75 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ bedraagt de partiële zuurstofspanning:

$$(0,21 - 0,039) \times 1,75 \cdot 10^5 = 2,99 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

De verzadigingsconcentratie (C^*) bedraagt:

$$\frac{2,99 \times 10^4 \times 10^6 \times 32}{4,06 \times 10^9 \times 18} = 13,1 \text{ mg/l}$$

Gecorrigeerd voor de aanwezigheid van opgeloste componenten bedraagt de verzadigingsconcentratie (C^*): $0,94 \times 13,1 = 12,3 \text{ mg/l}$.

De totale zuurstofoverdracht wordt met deze waarden berekend op:

$$OTR = 90 (12,3 - 4,5) = 702 \text{ mg/(l} \cdot \text{h)}$$

$$= \frac{702 \times 24}{4,57 \times 1000} = 3,7 \text{ kg NH}_4 - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

Controle van de zuurstofuitputting

Neem zelfde reactor van $2,2 \text{ m}^3$, maar dan 15 m hoog.

De oppervlakte van de reactor wordt $0,26 \times 0,6 = 0,156 \text{ m}^2$.

Het benodigde luchtdebiet wordt: $0,156 \times 0,05 \times 3600 = 28 \text{ m}^3/\text{uur}$.

De zuurstofvraag bedraagt: $\frac{2,2 \times 702 \times 24}{32} = 1158 \text{ mol/dag}$

Luchtinbreng bedraagt: $\frac{28000 \times 24}{22,4} = 30.000 \text{ mol/dag}$

De berekende uitputting bedraagt: $\frac{1158}{30.000} \times 100\% = 3,9\%$

3

Ontwerpbelasting

Bij een nitraatproduktie van $2,6 \text{ kg NO}_3^- \text{-N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ werd in de pilot-plant $2,3 \text{ kg NH}_4\text{-N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ verwijderd. Het $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement hierbij bedroeg 90%.

De haalbare verwijderingscapaciteit in een opgeschaalde praktijkreactor bedraagt daarmee

$$\frac{2,3}{2,6} \times 3,7 = 3,3 \text{ kg NH}_4\text{-N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

Om variaties in de belasting te compenseren, wordt gerekend met een veiligheidsfactor van 10%.

De voor het ontwerp maatgevende verwijderingscapaciteit bedraagt:
 $3 \text{ kg NH}_4\text{-N}/\text{m}^3/\text{dag}$.

Bij een $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement van 90% bedraagt de ontwerpbelasting:
 $3,3 \text{ kg NH}_4\text{-N}/\text{m}^3/\text{dag}$.

BIJLAGE 4

Specificatie van een installatie voor 100.000 i.e. + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten

BIJLAGE 4 – AIRLIFT 100.000 IE ; 2,1 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

		civil	mech/elektr.
voorbehandeling		83,000	84,000
airliftreactor – installatie		277,000	979,000
denitrificatie		203,000	548,000
bouwkosten (incl. onvolledigheid)		563,000	1,611,000
bouwkosten (totaal)		2,174,000	
bijkomende kosten	10 %	217,400	
onvoorzien	10 %	239,100	
investeringen		2,630,500	
advieskosten	10 %	263,100	
subtotaal (excl. BTW)		2,893,600	
BTW	17.5 %	506,400	
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,400,000	
AFGEROND		3,400,000	

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civil	0.5 %		
percentage mech./el.	3.0 %		
jaarkosten	72,700 f/jaar	airliftreactor	625 kWh/d
		diversen	60 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	158,300 f/jaar	jaarkosten	37,500 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
		aantal mensen	0.50
benodigd	98 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	80,200 f/jaar	levensduur civil	30 jaar
<u>anti-schuim</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
		rentevoet	8.0 %
benodigd	350 l/jaar	annuïteit civil	8.9 %
prijs per l	7 f/l	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	2,500 f/jaar	jaarkosten	372,600 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>	
		bedrijfsvoeringskosten	308,533 f/jaar
benodigd	80 ton/jaar	kapitaalslasten	372,600 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	52,000 f/jaar	exploitatiekosten	681,133 f/jaar
<u>afzet restprodukten</u>		AFGEROND	680,000 f/jaar
geen	0 f/jaar		

BIJLAGE 4 – AIRLIFT 100.000 IE ; 4,2 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

		civil	mech/elektr.
voorbehandeling		104,000	84,000
airliftreactor – installatie		277,000	979,000
denitrificatie		203,000	582,000
bouwkosten (incl. onvolledigheid)		584,000	1,645,000
bouwkosten (totaal)		2,229,000	
bijkomende kosten	10 %	222,900	
onvoorzien	10 %	245,200	
investeringen		2,697,100	
advieskosten	10 %	269,700	
subtotaal (excl. BTW)		2,966,800	
BTW	17.5 %	519,200	
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,486,000	
AFGEROND		3,490,000	

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civil	0.5 %		
percentage mech./el.	3.0 %		
jaarkosten	74,300 f/jaar	airliftreactor	625 kWh/d
		diversen	60 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	158,300 f/jaar	jaarkosten	37,500 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	98 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	80,200 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>anti-schuim</u>		levensduur civil	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	350 l/jaar	rentevoet	8.0 %
prijs per l	7 f/l	annuiteit civil	8.9 %
jaarkosten (excl. BTW)	2,500 f/jaar	annuiteit mech./el.	11.7 %
		jaarkosten	381,700 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>	
-----		bedrijfsvoeringskosten	310,133 f/jaar
benodigd	80 ton/jaar	kapitaalslasten	381,700 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	52,000 f/jaar	exploitatiekosten	691,833 f/jaar
		AFGEROND	690,000 f/jaar
<u>afzet restprodukten</u>			
geen	0 f/jaar		

BIJLAGE 4 – AIRLIFT 100.000 IE ; 8,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

		civil	mech/elektr.
voorbehandeling		139,000	93,000
airliftreactor – installatie		277,000	1,007,000
denitrificatie		203,000	616,000
bouwkosten (incl. onvolledigheid)		619,000	1,716,000
bouwkosten (totaal)		2,335,000	
bijkomende kosten	10 %	233,500	
onvoorzien	10 %	256,900	
investeringen		2,825,400	
advieskosten	10 %	282,500	
subtotaal (excl. BTW)		3,107,900	
BTW	17.5 %	543,900	
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,651,800	
AFGEROND		3,650,000	

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civil	0.5 %		
percentage mech./el.	3.0 %		
jaarkosten	77,600 f/jaar	airliftreactor	633 kWh/d
		diversen	60 kWh/d
kosten chemicalien		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	174,000 f/jaar	jaarkosten	37,900 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
benodigd	112 ton/jaar	aantal mensen	0.50
zuiverheid	33 %	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
prijs per ton	270 f/ton	jaarkosten	40,000 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	91,200 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>anti-schuim</u>		levensduur civil	30 jaar
benodigd	701 l/jaar	levensduur mech./el.	15 jaar
prijs per l	7 f/l	rentevoet	8.0 %
jaarkosten (excl. BTW)	4,900 f/jaar	annuïteit civil	8.9 %
		annuïteit mech./el.	11.7 %
		jaarkosten	399,500 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>	
benodigd	80 ton/jaar	bedrijfsvoeringskosten	329,533 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton	kapitaalslasten	399,500 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	52,000 f/jaar	exploitatiekosten	729,033 f/jaar
		AFGEROND	730,000 f/jaar
<u>afzet restprodukten</u>			
geen	0 f/jaar		

BIJLAGE 5

Specificatie van een installatie voor 400.000 i.e. + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten

BILAGE 5 – AIRLIFT 400.000 IE ; 8,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbereiding	139,000	93,000
airliftreactor – installatie	277,000	1,562,000
identificatie	588,000	768,000

1,004,000 2,423,000

bouwkosten (incl. onvolledigheid)

bouwkosten (total)

bijkomende kosten

onvoorzien

investeringen

advieskosten

subtotal (excl. BTW)

17,5 %

total stichtingskosten (incl. BTW)

AFGEROND

5,359,600

5,360,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

onderhoudskosten	percentage civiel	0,5 %	energie
percentage mech./el.	3,0 %	airliftreactor	1,772 kWh/d
jaarkosten	110,500 f/jaar	diversen	180 kWh/d
kosten chemicalien	total (incl. BTW)	prijs per kWh	0,15 f/kWh
natiumhydroxyde	634,300 f/jaar	jaarkosten	106,900 f/jaar
bedrijfskosten	392 ton/jaar	jaarprjs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton	kapitaalslasten	30 jaar
jaarkosten (excl. BTW)	320,700 f/jaar	levensduur civiel	15 jaar
ant – schuim	rentvoet	levensduur mech./el.	8,0 %
bedrijfskosten	1577 f/jaar	annuïteit civiel	8,9 %
prijs per l	7 f/l	annuïteit mech./el.	11,7 %
jaarkosten (excl. BTW)	11,000 f/jaar	jaarkosten	582,200 f/jaar
methanol	TOTAL	bedrijfsvoeringskosten	891,733 f/jaar
bedrijfskosten	320 ton/jaar	kapitaalslasten	582,200 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	1,473,933 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	208,100 f/jaar	AFGEROND	1,470,000 f/jaar
afzet restproducten	0 f/jaar		

BIJLAGE 5 – AIRLIFT 400.000 IE ; 16,7 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

		civil	mech/elektr.
voorbehandeling		207,000	110,000
airliftreactor – installatie		277,000	1,562,000
denitrificatie		602,000	818,000
bouwkosten (incl. onvolledigheid)		1,086,000	2,490,000
bouwkosten (totaal)		3,576,000	
bijkomende kosten	10 %	357,600	
onvoorzien	10 %	393,400	
investeringen		4,327,000	
advieskosten	10 %	432,700	
subtotaal (excl. BTW)		4,759,700	
BTW	17.5 %	832,900	
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		5,592,600	
AFGEROND		5,590,000	

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civil	0.5 %		
percentage mech./el.	3.0 %		
jaarkosten	113,900 f/jaar	airliftreactor	1,772 kWh/d
		diversen	180 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	634,300 f/jaar	jaarkosten	106,900 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	392 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	320,700 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>anti-schuim</u>		levensduur civil	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	1577 l/jaar	rentevoet	8.0 %
prijs per l	7 f/l	annuïteit civil	8.9 %
jaarkosten (excl. BTW)	11,000 f/jaar	annuïteit mech./el.	11.7 %
		jaarkosten	605,800 f/jaar
		<u>TOTAAL</u>	
methanol		bedrijfsvoeringskosten	895,133 f/jaar
-----		kapitaalslasten	605,800 f/jaar
benodigd	320 ton/jaar		-----
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	1,500,933 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	208,100 f/jaar	AFGEROND	1,500,000 f/jaar
<u>afzet restprodukten</u>			
geen	0 f/jaar		

BIJLAGE 5 – AIRLIFT 400.000 IE ; 33,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

		civil	mech/elektr.
voorbehandeling		340,000	118,000
airliftreactor – installatie		277,000	1,590,000
denitrificatie		616,000	878,000
bouwkosten (incl. onvolledigheid)		1,233,000	2,586,000
bouwkosten (totaal)		3,819,000	
bijkomende kosten	10 %	381,900	
onvoorzien	10 %	420,100	
investeringen		4,621,000	
advieskosten	10 %	462,100	
subtotaal (excl. BTW)		5,083,100	
BTW	17.5 %	889,500	
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		5,972,600	
AFGEROND		5,970,000	

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civil	0.5 %		
percentage mech./el.	3.0 %		
jaarkosten	119,000 f/jaar	airliftreactor	1,772 kWh/d
		diversen	180 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	697,700 f/jaar	jaarkosten	106,900 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
		aantal mensen	0.50
benodigd	446 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	364,900 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>anti-schuim</u>		levensduur civil	30 jaar
		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	2978 l/jaar	rentevoet	8.0 %
prijs per l	7 f/l	annuïteit civil	8.9 %
jaarkosten (excl. BTW)	20,800 f/jaar	annuïteit mech./el.	11.7 %
		jaarkosten	643,700 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>	
		bedrijfsvoeringskosten	963,633 f/jaar
benodigd	320 ton/jaar	kapitaalslasten	643,700 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	208,100 f/jaar	exploitatiekosten	1,607,333 f/jaar
		AFGEROND	1,610,000 f/jaar
<u>afzet restprodukten</u>			
geen	0 f/jaar		

BIJLAGE 6

Specificatie van een installatie voor de rwzi Utrecht + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten

BIJLAGE 6 – AIRLIFT RWZI UTRECHT ; 40 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

		civil	mech/elektr.
voorbehandeling		382,000	127,000
airliftreactor – installatie		277,000	1,848,000
denitrificatie		735,000	894,000
bouwkosten (incl. onvolledigheid)		1,394,000	2,869,000
bouwkosten (totaal)		4,263,000	
bijkomende kosten	10 %	426,300	
onvoorzien	10 %	468,900	
investeringen		5,158,200	
advieskosten	10 %	515,800	
subtotaal (excl. BTW)		5,674,000	
BTW	17.5 %	993,000	
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		6,667,000	
AFGEROND		6,670,000	

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civil	0.5 %		
percentage mech./el.	3.0 %		
jaarkosten	132,300 f/jaar	airliftreactor	1,772 kWh/d
		diversen	180 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	879,600 f/jaar	jaarkosten	106,900 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
		aantal mensen	0.50
benodigd	564 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	461,200 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>anti-schuim</u>		levensduur civil	30 jaar
		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	3504 l/jaar	rentevoet	8.0 %
prijs per l	7 f/l	annuïteit civil	8.9 %
jaarkosten (excl. BTW)	24,500 f/jaar	annuïteit mech./el.	11.7 %
		jaarkosten	717,900 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>	
		bedrijfsvoeringskosten	1,158,833 f/jaar
benodigd	404 ton/jaar	kapitaalslasten	717,900 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	262,900 f/jaar	exploitatiekosten	1,876,733 f/jaar
		AFGEROND	1,880,000 f/jaar
<u>afzet restprodukten</u>			
geen	0 f/jaar		

BIJLAGE 7

Oxydatieroute van ammonium via nitraat

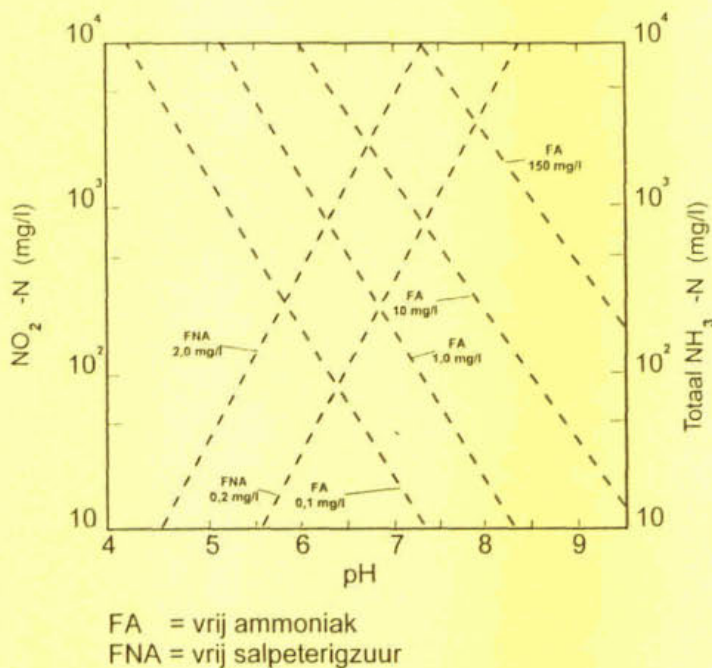
De bacteriële oxydatie van ammonium verloopt in twee stappen:

1. omzetting van ammonium tot nitriet door Nitrosomonas
2. omzetting van nitriet tot nitraat door Nitrobacter

Deze omzettingen worden geremd door vrij ammoniak (NH_3) en door salpeterigzuur (HNO_2). Hierbij zijn de volgende aspecten van belang:

- a. Inhibitie van Nitrosomonas vindt plaats bij hogere NH_3^- -gehalten dan inhibitie van Nitrobacter.
- b. De concentratie aan vrij ammoniak is afhankelijk van de pH (hoger bij stijgende pH) en temperatuur (hoger bij hogere temperatuur).
- c. De salpeterigzuurconcentratie is afhankelijk van de pH (lager bij stijgende pH) en temperatuur (lager bij hogere temperatuur).

Door Anthonissen e.a.¹⁾ is uitgebreid onderzoek verricht op het gebied van inhibitie van NH_3 en HNO_2 . De resultaten hiervan zijn grafisch weergegeven in figuur 7.1.



Figuur 7.1
Inhibitiegrenzen voor NH_3 en HNO_2

In deze figuur is band A de inhibitiegrens door HNO_2 , band B is de inhibitiegrens van Nitrobacter door NH_3 en band C is de inhibitiegrens van Nitrosomonas door NH_3 . Omdat de inhibitieband van Nitrobacter bij lagere NH_3 -concentraties ligt dan de inhibitieband van Nitrosomonas zijn er condities mogelijk waarbij ammoniak wordt omgezet naar nitriet, terwijl de omzetting van nitriet naar nitraat wordt geremd. Onder deze omstandigheden vindt selectieve inhibitie van nitraatvorming plaats.

¹⁾ Anthonissen, A.C. e.a., JWPCF, 48/1976, p.835-852

De voordelen van deze selectieve inhibitie zijn:

- Oxydatie tot nitriet kost minder zuurstof (3,43 kg O₂/kg NH₄-N v.s. 4,57 kg O₂/kg NH₄-N).
- Denitrificatie van **nitriet** (in de airliftreactor of in de A-trap) kost ± 40% minder CZV dan de denitrificatie van **nitraat**.
- Nitriet-reductie produceert minder slib dan nitraat-reductie.
- De snelheid van nitrietreductie is groter dan de snelheid van nitraatreductie.

Geconcludeerd kan worden dat de voordelen van de "nitriet"-route groot zijn.

Op basis van de gegevens uit figuur 7.1 kan voor de te verwachten stabiliteit het volgende worden gesteld:

- Regeling van de pH in de reactor is van wezenlijk belang.
- Bij een juiste keuze van de pH en rest-ammoniumconcentratie is het theoretisch mogelijk om de omzetting van nitriet naar nitraat te remmen.
- Bij de stikstofgehalten in het centrifugaat van de rwzi Utrecht (circa 400 mg/l) is het mogelijk om een vrijwel volledige omzetting tot nitriet te realiseren.

Bij een pH van circa 8,0 is de onderste inhibitiegrens van nitriet 2.390 mg/l. De toelaatbare ammoniumconcentratie bij deze pH is 240 mg/l. Om de omzetting naar nitraat te remmen mag de ammoniumconcentratie niet lager worden dan 20 mg/l. Afhankelijk van het feit of de capaciteit van de airliftreactor beperkt wordt door de biologische omzettingscapaciteit of door de zuurstofinbreng, kan dit in de praktijk worden gerealiseerd door de belasting of de zuurstofconcentratie te regelen. Conform het proefprogramma was het onderzoek in de airliftreactor gericht op het bepalen van de maximale omzettingscapaciteit onder de randvoorwaarde van 90% rendement. Dit houdt in dat het rest-ammoniumgehalte altijd ruim boven de inhibitieconcentratie van de nitraatvorming zal zijn.

BIJLAGE 8

Specificatie van de praktijkinstallaties met de airliftreactor

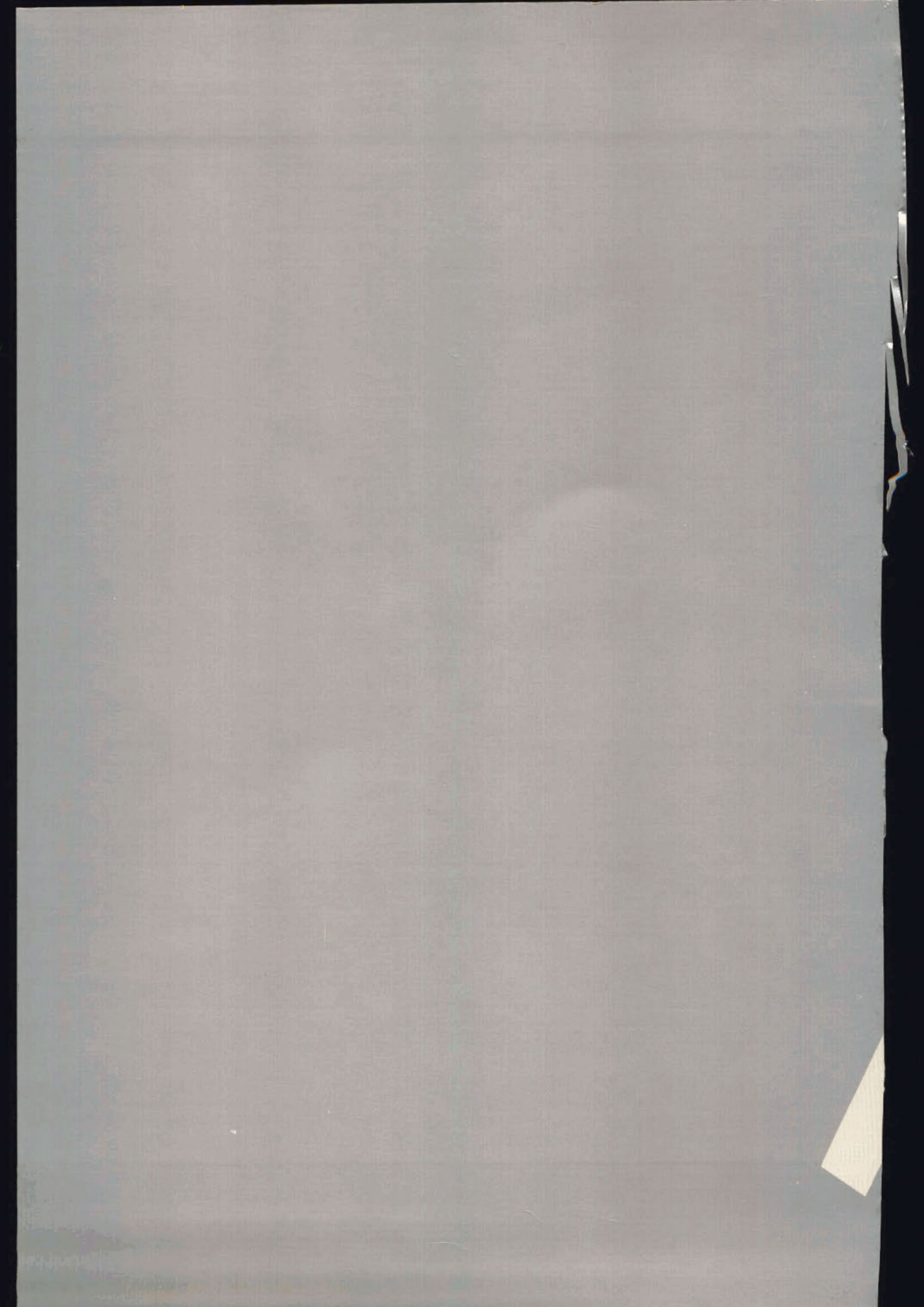
No.	Omschrijving	Materiaal	Methode	Resultaat	Opmerkingen
1	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...
6	...	...	...	...	...
7	...	...	...	...	...
8	...	...	...	...	...
9	...	...	...	...	...
10	...	...	...	...	...
11	...	...	...	...	...
12	...	...	...	...	...
13	...	...	...	...	...
14	...	...	...	...	...
15	...	...	...	...	...
16	...	...	...	...	...
17	...	...	...	...	...
18	...	...	...	...	...
19	...	...	...	...	...
20	...	...	...	...	...
21	...	...	...	...	...
22	...	...	...	...	...
23	...	...	...	...	...
24	...	...	...	...	...
25	...	...	...	...	...
26	...	...	...	...	...
27	...	...	...	...	...
28	...	...	...	...	...
29	...	...	...	...	...
30	...	...	...	...	...
31	...	...	...	...	...
32	...	...	...	...	...
33	...	...	...	...	...
34	...	...	...	...	...
35	...	...	...	...	...
36	...	...	...	...	...
37	...	...	...	...	...
38	...	...	...	...	...
39	...	...	...	...	...
40	...	...	...	...	...
41	...	...	...	...	...
42	...	...	...	...	...
43	...	...	...	...	...
44	...	...	...	...	...
45	...	...	...	...	...
46	...	...	...	...	...
47	...	...	...	...	...
48	...	...	...	...	...
49	...	...	...	...	...
50	...	...	...	...	...
51	...	...	...	...	...
52	...	...	...	...	...
53	...	...	...	...	...
54	...	...	...	...	...
55	...	...	...	...	...
56	...	...	...	...	...
57	...	...	...	...	...
58	...	...	...	...	...
59	...	...	...	...	...
60	...	...	...	...	...
61	...	...	...	...	...
62	...	...	...	...	...
63	...	...	...	...	...
64	...	...	...	...	...
65	...	...	...	...	...
66	...	...	...	...	...
67	...	...	...	...	...
68	...	...	...	...	...
69	...	...	...	...	...
70	...	...	...	...	...
71	...	...	...	...	...
72	...	...	...	...	...
73	...	...	...	...	...
74	...	...	...	...	...
75	...	...	...	...	...
76	...	...	...	...	...
77	...	...	...	...	...
78	...	...	...	...	...
79	...	...	...	...	...
80	...	...	...	...	...
81	...	...	...	...	...
82	...	...	...	...	...
83	...	...	...	...	...
84	...	...	...	...	...
85	...	...	...	...	...
86	...	...	...	...	...
87	...	...	...	...	...
88	...	...	...	...	...
89	...	...	...	...	...
90	...	...	...	...	...
91	...	...	...	...	...
92	...	...	...	...	...
93	...	...	...	...	...
94	...	...	...	...	...
95	...	...	...	...	...
96	...	...	...	...	...
97	...	...	...	...	...
98	...	...	...	...	...
99	...	...	...	...	...
100	...	...	...	...	...

De dimensionering van de hoofdonderdelen van de verschillende onderscheiden varianten van is samengevat in tabel 8.1.

Tabel 8.1

Dimensionering van de hoofdonderdelen voor de varianten

		1	2	3	4	5	6	Utrecht
pompinstallatie	m ³ /h	2,1	4,2	8,3	8,3	16,7	33,3	40
zccf	m ³ /h	2,1	4,2	8,3	8,3	16,7	33,3	40
influentbuffer	m ³	50	100	200	200	400	800	960
pompinstallatie	m ³ /h	2 x 2,1	2 x 4,2	2 x 8,3	2 x 8,3	2 x 16,7	2 x 33,3	2 x 40
airlift-reactor	m ³	27	27	27	109	109	109	138
compressorcapaciteit	Nm ³ /h	2 x 325	2 x 325	2 x 325	2 x 1300	2 x 1300	2 x 1300	2 x 1650
loog opslag	m ³	5	5	5	15	15	15	15
denitrificatietank	m ³	120	120	120	480	480	480	600
bezinktank	m ²	3,5	7,0	14,0	14,0	28,0	56,0	66,7
retourslibpomp	m ³ /h	2,1	4,2	8,3	8,3	16,7	33,3	40,0
methanolopslag	m ³	10	10	10	25	25	25	30
methanolverbruik	ton/d	0,22	0,22	0,22	0,88	0,88	0,88	1,10
loogverbruik	ton/d	0,27	0,27	0,31	1,07	1,07	1,22	1,54
energie airlift	kW	26	26	26	74	74	74	92



Airlift Analyses resultaten influent

1994	Datum	CZV	CZV	BZV ₅	NKJ-N	NH4-N	NH4-N	gefilterd mg N/l	NOx-N	NO2-N	zwevend stof	P-tot.	PO4-P	M-getal	Indamp rest
van	tot	mg/l	gefilterd mg/l	gefilterd mg/l	mg N/l	mg N/l	mg N/l	mg N/l	mg N/l	mg N/l	mg/l	mg P/l	mg P/l	meq/l	%
ma 01-Aug	02-Aug		143				296				96				
di 02-Aug	03-Aug	212	141	10	318		299	42	59		68	12	7.3	24.6	
wo 03-Aug	04-Aug		138				285				80				
do 04-Aug	05-Aug		138				279				66				
vr 05-Aug	06-Aug														
za 06-Aug	07-Aug														
zo 07-Aug	08-Aug		126				269				73				
ma 08-Aug	09-Aug		129				267				58				
di 09-Aug	10-Aug		125				266				43				
wo 10-Aug	11-Aug			7	268		263	52	54		43	12	8.7	21.5	
do 11-Aug	12-Aug	218	127				359				56				
vr 12-Aug	13-Aug		126												
za 13-Aug	14-Aug														
zo 14-Aug	15-Aug		133				271								
ma 15-Aug	16-Aug		134				283				86				
di 16-Aug	17-Aug		130				272				80				
wo 17-Aug	18-Aug		92				292				34				
do 18-Aug	19-Aug	233	90	12	353		341	11	7.9		48	14	11	29.2	
vr 19-Aug	20-Aug										73				
za 20-Aug	21-Aug														
zo 21-Aug	22-Aug	181	91	7	374		358	14	6.9		58	15	11	31.1	
ma 22-Aug	23-Aug		96				358				62				
di 23-Aug	24-Aug		95				352				56				
wo 24-Aug	25-Aug		94				341				48				
do 25-Aug	26-Aug		98				346				52				
vr 26-Aug	27-Aug														
za 27-Aug	28-Aug														
zo 28-Aug	29-Aug		107				343				48				
ma 29-Aug	30-Aug		120				338	41	40		50				
di 30-Aug	31-Aug	217	129		361		333				60	17	13	28.6	
wo 31-Aug	01-Sep		136				316				84				

Airlift Analyses resultaten influent

1994		CZV	CZV	BZV	NKJ-N	NH4-N	NH4-N	NO3-N	NO2-N	zwevend stof	P-tot.	PO4-P	M-getal	Indamp rest
Datum	van tot	mg/l	gefiltreerd mg/l	gefiltreerd mg/l	mg N/l	mg N/l	gefiltreerd mg N/l	gefiltreerd mg N/l	gefiltreerd mg N/l	mg/l	mg P/l	gefiltreerd mg P/l	med/l	%
vr	01-Jul	02-Jul												
za	02-Jul	03-Jul								83				
zo	03-Jul	04-Jul		108			343			84				
ma	04-Jul	05-Jul		108			413			68				
di	05-Jul	06-Jul	194	100	12	436	401	2.7	2.6	96	5.6	3.1	34.6	
wo	06-Jul	07-Jul		101			404			94				
do	07-Jul	08-Jul		102			388							
vr	08-Jul	09-Jul												
za	09-Jul	10-Jul												
zo	10-Jul	11-Jul		123			361			70				
ma	11-Jul	12-Jul		148			372			78				
di	12-Jul	13-Jul		165			360			89				
wo	13-Jul	14-Jul		172			356			92				
do	14-Jul	15-Jul	303	182	15	342	422	59		174	11	3.7	27.3	
vr	15-Jul	16-Jul												
za	16-Jul	17-Jul												
zo	17-Jul	18-Jul	242	193	12	323	374	65	60	90	8.6	4.3	26.9	
ma	18-Jul	19-Jul		201			368			42				
di	19-Jul	20-Jul		168			315			64				
wo	20-Jul	21-Jul		178			303			68				
do	21-Jul	22-Jul		185			312			100				
vr	22-Jul	23-Jul												
za	23-Jul	24-Jul												
zo	24-Jul	25-Jul		159			305			56				
ma	25-Jul	26-Jul	230	162	11	327	310	63	64	70	9.3	5.8	25.3	
di	26-Jul	27-Jul		162			294			64				
wo	27-Jul	28-Jul		193			278			100				
do	28-Jul	29-Jul		198			275			52				
vr	29-Jul	30-Jul												
za	30-Jul	31-Jul												
zo	31-Jul	01-Aug		162			288			267				