

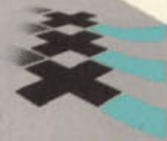
1995-11\_stikstofrijke-retourstromen-stoomstrippen

**stowa**

**Behandeling van stikstofrijke  
retourstromen  
op rioolwaterzuiveringsinrichtingen**

Praktijkonderzoek aan stoomstrippen met  
dampverdichting bij de rwzi Amsterdam-Oost

**95-11**



**Riolering en  
Waterhuishouding  
Amsterdam**

## Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen



Praktijkonderzoek aan stoomstrippen met  
dampverdichting bij de rwzi Amsterdam-Oost

95-11

Publikaties en het publikatieoverzicht  
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 90.74476.31.7

## 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  $N_{\text{tot}} \leq 10$  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 het stoomstrippen met dampverdichting, 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 rwzi Amsterdam-Oost, uitgevoerd door vertegenwoordigers van de firma Noell en de Dienst Riolering en Waterhuishouding Amsterdam (projectteam ir. S.G. van der Kooij, mw. ing. C.D. Meijer en mw. ing. E. Vermulst). Wanneer op een locatie stoom aanwezig is of wanneer warmte kan worden teruggewonnen, kan aanzienlijk worden bespaard op de exploitatiekosten.

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



## INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING

1.	<u>INLEIDING</u> .....	1
2.	<u>DOELSTELLING</u> .....	3
3.	<u>BESCHRIJVING VAN DE STOOMSTRIPTECHNIEK</u> .....	4
	3.1 Algemeen .....	4
	3.2 Ammoniakstrippen met de stoomstriptechniek .....	4
	3.3 Beschrijving van de proefinstallatie .....	4
4.	<u>OPZET VAN HET ONDERZOEK</u> .....	8
	4.1 <b>Onderzoeksparameters</b> .....	8
	4.1.1 Voorbehandeling .....	8
	4.1.2 Toepassing van verschillende influentconcentraties .....	8
	4.1.3 Beoordeling van het scheidingsrendement .....	8
	4.1.4 Scaling .....	8
	4.1.5 Energieverbruik .....	8
	4.1.6 Afzetmogelijkheid van het ammoniakaal water .....	8
	4.1.7 Meet- en regelsysteem en optimalisatie .....	9
	4.2 <b>Bemonstering van de proefinstallatie</b> .....	9
5.	<u>RESULTATEN EN DISCUSSIE</u> .....	11
	5.1 Samenstelling van het slibwater en het slibwater na pH-verhoging .....	11
	5.2 <b>Voorbehandeling</b> .....	11
	5.2.1 Kalkverbruik .....	11
	5.2.2 Productie van kalkslib .....	12
	5.2.3 Werking van de bezinktank .....	12
	5.2.4 Buffering van slibwater in het voorraadvat .....	12
	5.3 <b>Verwijderingsrendement van de stripkolom</b> .....	13
	5.4 <b>Verwijderingsrendement van de gehele installatie</b> .....	14
	5.4.1 Stikstof-verwijderingsrendement .....	14
	5.4.2 Fosfaat-verwijderingsrendement .....	15
	5.4.3 Invloed van de pH op het stikstof-verwijderingsrendement .....	15
	5.5 <b>Scaling</b> .....	16
	5.6 <b>Energieverbruik</b> .....	17
	5.7 <b>Kwaliteit van het ammoniakaal water</b> .....	17
	5.7.1 Percentage aan ammonium .....	17
	5.7.2 Debiet van het ammoniakaal water .....	18
	5.7.3 Drogestof- en CZV-gehalte .....	19
	5.7.4 Gehalte aan zware metalen .....	19
	5.7.5 Vergelijking met ammoniakaal water van "technische kwaliteit" .....	19
6.	<u>EVALUATIE</u> .....	21
7.	<u>KOSTEN</u> .....	22
	7.1 <b>Uitgangspunten voor de standaard rwzi's en rwzi Oost Amsterdam</b> .....	22
	7.2 <b>Stichtingskosten</b> .....	22
	7.3 <b>Exploitatiekosten</b> .....	23
8.	<u>CONCLUSIES</u> .....	25

BIJLAGEN

<b>Bijlage 1a:</b>	<b>Processchema van de waterlijn van rwzi Oost Amsterdam . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>Bijlage 1b:</b>	<b>Processchema van de sliblijn van rwzi Oost Amsterdam . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>Bijlage 2:</b>	<b>Theoretische achtergrond van het stripproces . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>Bijlage 3:</b>	<b>Kalkverbruik . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>Bijlage 4:</b>	<b>Ammoniumconcentratie in slibwater en slibwater na pH-verhoging . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>Bijlage 5:</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N eliminatie over de kolommen . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>Bijlage 6:</b>	<b>Temperaturen van de verschillende massastromen . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>Bijlage 7:</b>	<b>CZV-balans . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>Bijlage 8:</b>	<b>Analyses van het ammoniakaal water . . . . .</b>	<b>39</b>
<b>Bijlage 9:</b>	<b>Kostenraming . . . . .</b>	<b>41</b>



### SAMENVATTING

Per 1-1-1998 wordt de AMvB-stikstof van kracht. Amsterdam dient als gevolg van de AMvB 75% van de aangevoerde stikstofvracht in zijn beheersgebied te verwijderen.

Aangezien het slibwater van rwzi Oost 22% van de aangevoerde stikstofvracht bedraagt, kan behandeling van deze deelstroom, mede gezien het ruimtegebrek op rwzi Oost, kostentechnisch aantrekkelijk zijn. In STOWA-verband zijn zes technieken getest om deze stikstofrijke retourstroom te behandelen. Op rwzi Oost is gekozen voor de stoomstriptechniek met dampverdichting van de firma Noell.

Het onderzoek 'stoomstrippen' op rwzi Oost had als doel het aan de hand van proefresultaten vaststellen van het scheidingsrendement, het vaststellen van eventuele scaling in installatieonderdelen, het onderzoeken van de mogelijkheden tot hergebruik van bijproducten en het toetsen van de bedrijfszekerheid van de installatie en het meet- en regelsysteem. Tevens had het onderzoek als doel het testen van de algemene toepasbaarheid van de techniek, het controleren van de dimensioneringsgrondslagen en het vaststellen van de stichtings- en exploitatiekosten.

De stoomstriptechniek is een fysisch proces waarbij de vluchtige component in de vloeistoffase over gaat in de stoomfase. Door het concentratieverschil tussen beide fasen diffundeert de vluchtige stof van de vloeistoffase naar de stoomfase.

Het stripproces vindt plaats in een stripperkolom. De vloeistoffase beweegt van boven naar beneden door een pakking die is aangebracht ter vergroting van het specifieke oppervlak in de kolom. De stoom beweegt in tegenstroom. Om ammoniakstrippen mogelijk te maken dient de pH tot ca. 11 verhoogd te worden. Tevens wordt de aanwezige kooldioxide uit de vloeistoffase verwijderd. Hierbij ontstaat een neerslag. Het neerslag wordt van de vloeistof afgescheiden in een bezinktank. De ammoniakoplossing die na de strippkolom ontstaat, wordt in een rectificeerkolom geconcentreerd tot een 25% ammoniakoplossing.

Toepassing van de stoomstriptechniek op slibwater met concentraties van 500 à 600, 1000 à 1200 en 1800 à 2000 mg/l ammonium-N levert een gemiddeld stikstofverwijderingspercentage op van 87%. Het gemiddelde kon over de hele proefperiode worden bepaald omdat de verschillende ammoniumconcentraties in het slibwater geen duidelijke verschillen in het verwijderingspercentage tot gevolg hebben. Het percentage dat werkelijk door de kolommen verwijderd wordt, ligt iets lager omdat een gedeelte van de ammoniak verdwijnt door condensatie in de verdichter en met het afdalen van het inert gas.

In een aantal procesonderdelen trad scaling op. De warmtewisselaar raakte een aantal malen verstopt door neerslag van calciumcarbonaat. Dit gebeurde op dagen waarop er problemen waren met het bezinkproces van het kalkslib. In de bezinktank trad brugvorming op, wat doorslag van slib tot gevolg had. De huidige constructie van dit procesonderdeel voldoet dan ook niet. Tijdens de testperiode werd het probleem verholpen met zoutzuur, maar voor een blijvende oplossing is een andere manier van kalkslibafvoer nodig. Ook de sporen van scaling in de strippkolom, die overigens geen problemen tot gevolg hadden, zouden hiermee verminderd kunnen worden.

De analyseresultaten van het ammoniakale water laten zien dat een ammoniakpercentage van 25% haalbaar is. De concentraties aan verschillende zware metalen lagen in dezelfde orde grootte als in technisch ammoniakaal water. Het drogestof- en CZV-gehalte zijn wel hoger dan in technische ammoniak. Voor hergebruik van het ammoniakale water bij de AVI is dit geen probleem.

Het energieverbruik voor het genereren van stoom is een belangrijke kostenpost. Door gebruik te maken van een verdichter en sproeiverdamper kon aanzienlijk in energieverbruik bespaard worden; hiermee kon in 70% van de stoombehoefte van de stripkolom worden voorzien. In de praktijk zal dit percentage door minder warmteverliezen 93% zijn.

Op basis van het gevonden verwijderingspercentage van ammonium en de kwaliteit van het geproduceerde ammoniakale water kan geconcludeerd worden dat de stoomstrip-techniek een geschikte techniek is voor het verwijderen van ammonium uit slibwater.

De kosten van de behandeling van slibwater in een stoomstripinstallatie met dampverdichting zijn in onderstaande tabel weergegeven.

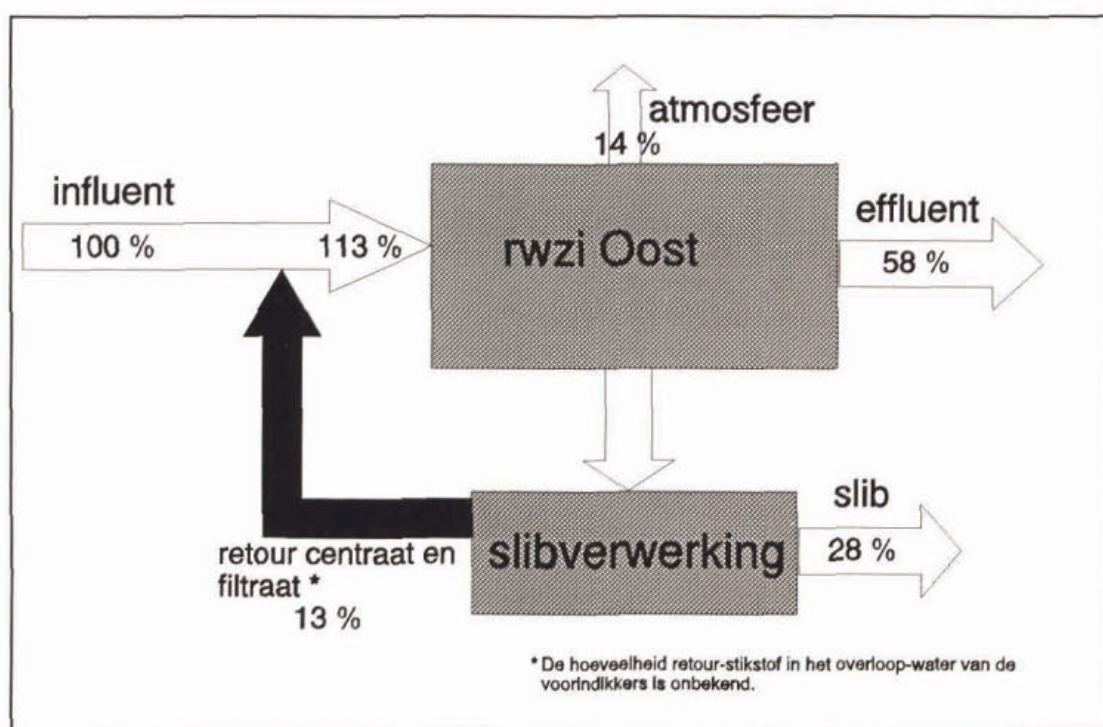
rwzi	v.e.	debiet (m <sup>3</sup> /d)	concentratie N <sub>kj</sub> (mg/l)	kosten per kg N-totaal verwijderd
1	100.000	50	1900	f 21,20
2	100.000	100	950	f 24,30
3	100.000	200	475	f 31,20
4	400.000	200	1900	f 7,70
5	400.000	400	950	f 9,80
6	400.000	800	475	f 14,30
7	750.000 (rwzi Oost)	1300	669	f 8,50



1. INLEIDING

Per 1-1-1998 wordt de AMvB-stikstof van kracht. Amsterdam dient als gevolg van de AMvB 75% van de aangevoerde stikstofvracht in zijn beheersgebied te verwijderen. Op rwzi Westpoort is reeds vergaande stikstofverwijdering ingevoerd. Op rwzi Oost wordt met behulp van proeven in de waterlijn bekeken in hoeverre vergaand stikstof verwijderd kan worden in de huidige configuratie. Een processchema van rwzi Oost is weergegeven in bijlage 1a en 1b.

Het slib van rwzi Oost wordt samen met het slib van rwzi Zuid en rwzi Westpoort centraal vergist, ontwaterd en sinds 1-1-1995 gedroogd. Bij de slibontwatering, bestaande uit drie centripresen en vier kamerfilterpersen, ontstaat  $\pm 1300 \text{ m}^3/\text{d}$  centraat en filtraat met een ammoniumconcentratie van ongeveer 600 mg/l. Het centraat en filtraat droegen in 1994 13% bij aan de normale stikstofvracht van rwzi Oost (zie afbeelding 1).



**Afbeelding 1** Stikstofbalans van 1994 over rwzi Oost

Vanaf 1995 draagt ook het condensaat van de slibdrogingsinstallatie bij aan de stikstofvracht van de waterlijn. Het betreft hier een ongeconcentreerde stroom van ca. 620 kg/d ammonium die de totale stikstofretourvracht verhoogt naar ongeveer 22% van de aangevoerde stikstofvracht op rwzi Oost.

Vanwege het ruimtegebrek op rwzi Oost kan behandeling van deze deelstroom kostentech- nisch gezien aantrekkelijk zijn.

Na enige aanpassing in de condensor van de slibdrogingsinstallatie kan het condensaat in een geconcentreerde deelstroom worden aangeleverd.

In STOWA-verband zijn op drie lokaties zes technieken getest om de stikstofrijke retour- stroom die ontstaat bij slibontwatering te behandelen:

- \* hoog gesuspenderd actief-slibstelsysteem met membraanfiltratie (Grontmij; locatie Sluisjesdijk);
- \* luchtstripproces (DHV; locatie Utrecht);



- \* CAFR-proces (DHV;locatie Utrecht);
- \* drie-fasen airliftreactor (DHV;locatie Utrecht);
- \* stoomstriptechniek 1<sup>e</sup> kolom (DHV;locatie Utrecht).

Op rwzi Oost is, mede gezien de geproduceerde warmte van de drogingsinstallatie, gekozen voor de stoomstriptechniek met dampverdichting van de firma Noell. De proefinstallatie is in afbeelding 2 weergegeven.



Afbeelding 2 De container met de stoomstripinstallatie

2. DOELSTELLING

Het doel van het STOWA-onderzoek was het nagaan van mogelijkheden, beperkingen en kosten bij toepassing van behandeling van stikstofrijke retourstromen in de Nederlandse praktijk, waartoe ook het afleiden van dimensioneringsgrondslagen behoort [STOWA, 27 september 1993, Projectvoorstel behandeling N-rijke retourstromen].

Het onderzoek 'stoomstrippen' op rwzi Oost beoogde:

- \* aan de hand van proefresultaten vaststellen van:
  - scheidingsrendement;
  - eventuele scaling in installatieonderdelen;
  - mogelijk hergebruik van bijprodukten;
  - bedrijfszekerheid van de installatie en het meet- en regelsysteem;
- \* het testen van de algemene toepasbaarheid van de techniek.
- \* het controleren van de dimensioneringsgrondslagen;
- \* het vaststellen van de stichtings- en exploitatiekosten.



### 3. BESCHRIJVING VAN DE STOOMSTRIPTECHNIEK

#### 3.1 Algemeen

De stoomstriptechniek is een fysisch proces waarbij de vluchtige component in de vloeistoffase overgaat in de stoomfase. Door het concentratieverschil tussen beide fasen diffundeert de vluchtige stof van de vloeistoffase naar de stoomfase.

Het stripproces vindt plaats in een stripperkolom. De vloeistoffase beweegt van boven naar beneden door een pakking die is aangebracht ter vergroting van het specifieke oppervlak in de kolom. De stoom beweegt in tegenstroom van beneden naar boven.

#### 3.2 Ammoniakstrippen met de stoomstriptechniek

Om ammoniakstrippen mogelijk te maken dient de pH tot ca. 11 verhoogd te worden. Tevens wordt de aanwezige kooldioxide uit de vloeistoffase verwijderd. Hierbij ontstaat een neerslag. Het neerslag wordt van de vloeistof afgescheiden in een bezinktank.

In de stripperkolom diffundeert de ammoniak van de vloeistoffase naar de stoomfase. De theoretische achtergrond van het stripproces staat beschreven in bijlage 2. De ammoniak-oplossing die na de stripkolom ontstaat, wordt in een rectificeerkolom geconcentreerd tot een 25% ammoniak-oplossing.

#### 3.3 Beschrijving van de proefinstallatie

De proefinstallatie heeft een capaciteit van 80 - 440 l/h. In deze proefinstallatie worden het centraat en filtraat uit de slibontwatering onderzocht (hierna slibwater genoemd). In afbeelding 3 is het processchema van de proefinstallatie weergegeven. Ook in afbeelding 5 zijn de verschillende procesonderdelen zichtbaar. De installatie bestaat uit de volgende onderdelen:

- A kalkdosering ter verhoging van de pH;
- B bezinktank;
- C stripkolom;
- D verdichter;
- E sproeiverdamper/condensor;
- F rectificeerkolom.

##### *A Kalkdosering ter verhoging van de pH*

Met behulp van  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  wordt de pH in het slibwater verhoogd tot pH 11. Het evenwicht ammonium/ammoniak wordt vrijwel volledig verschoven naar het vluchtige ammoniak.

Tevens worden op deze manier het aanwezige  $\text{CO}_3^{2-}$  en  $\text{HCO}_3^-$  neergeslagen om scaling in de installatie zelf te voorkomen.

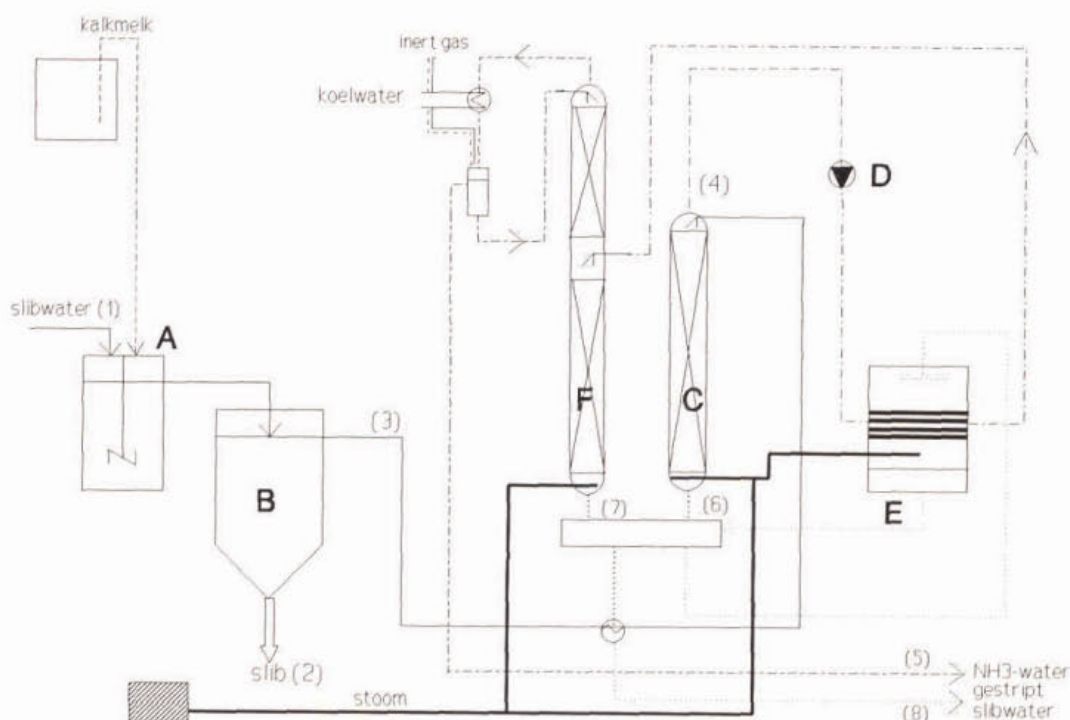
Calciumhydroxide wordt gedoseerd als een 10% suspensie, aangemaakt in de installatie. Op het signaal van de pH-meter wordt deze suspensie gedoseerd tot het ingestelde setpoint (pH=11).

##### *B Bezinktank*

Als gevolg van de kalkdosering ontstaat een neerslag. Dit neerslag bezinkt in een bezinktank en wordt discontinu afgetapt. Het aftappen wordt geregeld met behulp van een drogestofmeting in de tank. Wanneer geen slib wordt afgetapt, wordt een deel van het neerslag over de tank gerecirculeerd om nieuwe vlokvorming te bevorderen.

##### *C Stripkolom*

Het slibwater wordt met behulp van een warmtewisselaar met behulp van het gestripte slibwater (en eventueel de ammoniakale oplossing na de rectificeerkolom) opgewarmd tot  $\pm 92^\circ\text{C}$ . Het opgewarmde slibwater (pH 11) wordt bovenin de stripkolom gevoerd. In tegenstroom wordt een hoeveelheid stoom ingebracht. De stoom/water-verhouding is in verband met de te handhaven druk over de sproeiverdamper een vaste parameter en is in-



Afbeelding 3 Processchema van de stoomstripinstallatie

gesteld op  $113 \text{ kg/m}^3$ .

De strippkolom is voorzien van een pakking om het specifieke oppervlak in de kolom te vergroten. De vluchtige ammoniak in het slibwater diffundeert naar de stoomfase totdat een evenwicht wordt bereikt tussen de concentratie in het slibwater en in de stoomfase.

Om de lengte van één evenwichtstrap (HTU-waarde; zie ook bijlage 2) vast te stellen, is een kolomdiameter van 300 mm nodig. Daaruit volgt een influentdebiet van  $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$  en een verdampervermogen van 350 kg/h. Kostentechnisch is dit zeer ongunstig, omdat de proefinstallatie op deze manier niet meer in containervorm leverbaar is. In de proefinstallatie is daarom gekozen voor een kolomdiameter van 150 mm. Omdat voldoende praktijkervaring is opgedaan met de dimensionering van stripperkolommen, was het niet nodig deze dimensionering weer nader te bepalen in de proefinstallatie. De HTU-waarde van de gebruikte pakking (type Mellapak 250.Y) is 0,3 m.

De afmetingen van de kolom in de proefinstallatie zijn weergegeven in afbeelding 4.

De proefinstallatie is gedimensioneerd voor de behandeling van slibwater met een stikstofconcentratie van 1200 mg/l en een ammonium-stikstofverwijderingspercentage van 85%.

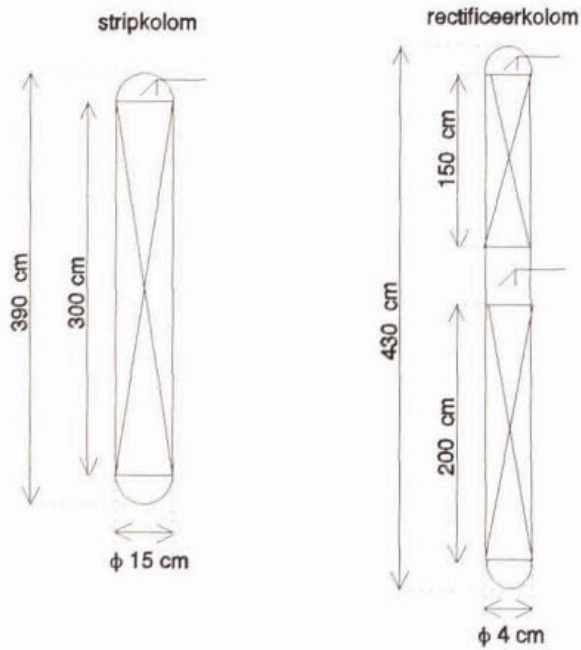
#### *D + E Verdichter en sproeiverdamper/condensor*

De in de strippkolom ontstane ammoniakoplossing wordt in een rootsblower zo ver verdicht dat de condensatietemperatuur boven het kookpunt van het gestripte slibwater ligt. Door de warmteoverdracht in de sproeiverdamper is het mogelijk de condensatiewarmte van de ammoniakdamp voor de productie van stoom uit het gestripte slibwater te gebruiken.  $11,5 \text{ m}^3/\text{h}$  gestript slibwater wordt continu over de sproeiverdamper/condensor gesproeid.

De voor de strippkolom benodigde hoeveelheid stoom wordt voor een groot deel geproduceerd uit gestript slibwater in de sproeiverdamper. De overige benodigde hoeveelheid wordt geproduceerd in een elektrische stoomgenerator. Door de drastische vermindering van het energieverbruik voor dampproductie kunnen de exploitatiekosten lager uitvallen dan die van een luchtstripper.

Het inert-gas dat in de sproeiverdamper ontstaat wordt in de rectificeerkolom gebracht.





**Afbeelding 4** Afmetingen van de stripkolom en de rectificeerkolom

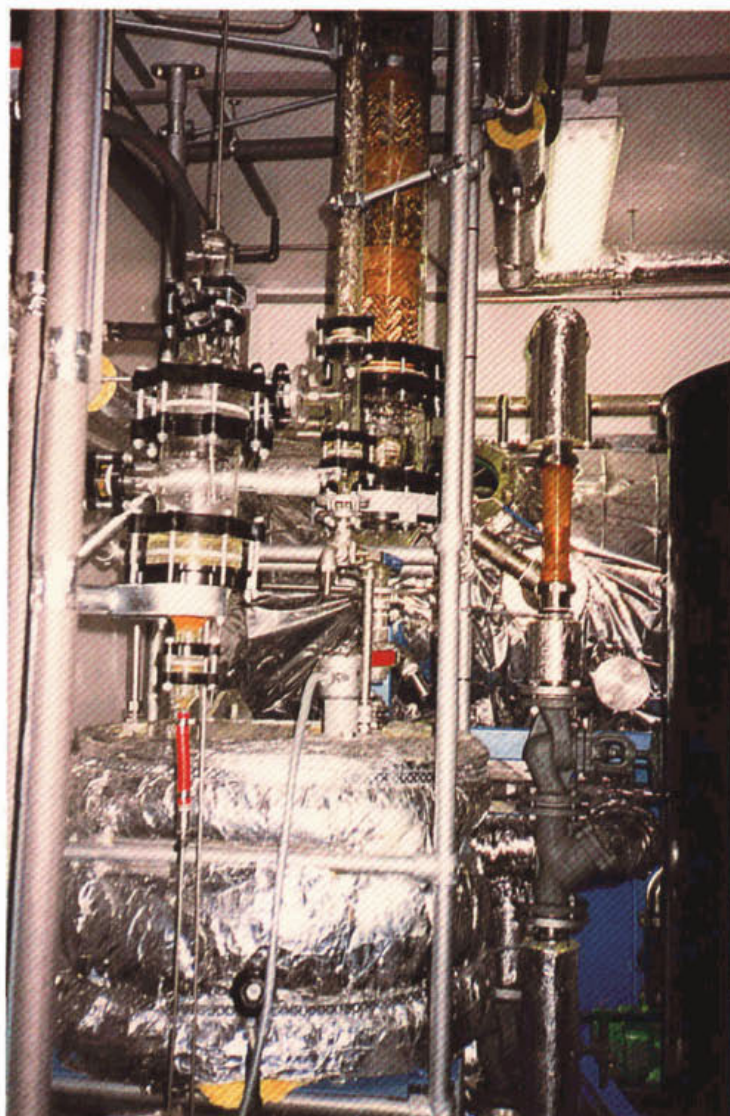
#### *F Rectificeerkolom*

In een rectificeerkolom wordt de gecondenseerde ammoniakoplossing met een ammoniakconcentratie van ca. 1% met behulp van een warmtewisselaar verwarmd. De ammoniakdamp wordt geconcentreerd tot een 25% ammoniakoplossing. De afmetingen van de rectificeerkolom zijn weergegeven in afbeelding 4.

Omdat het hier een proefinstallatie betreft, wordt ter verwarming in plaats van een warmtewisselaar een kleine hoeveelheid stoom onder in de rectificeerkolom gebracht. De benodigde hoeveelheid stoom wordt geproduceerd in een elektrische stoomgenerator.

De ammoniakale oplossing wordt in een warmtewisselaar aan drinkwater of slibwater gecondenseerd. Door middel van een temperatuurmetering boven in de rectificeerkolom wordt ammoniakoplossing gerecirculeerd over de kolom.

In een fase-afscheider wordt inert-gas afgescheiden.



**Afbeelding 5** Aanzicht proefinstallatie



## 4. OPZET VAN HET ONDERZOEK

### 4.1 **Onderzoekparameters**

In het onderzoek zijn verschillende parameters onderzocht. Het grootste deel van de onderzoekparameters is gedurende de gehele proefperiode onderzocht. Per parameter volgt een korte beschrijving met eventueel de bijbehorende onderzoeksperiode.

#### 4.1.1 *Voorbehandeling*

Kalkdosering is bij deze techniek noodzakelijk om naast de pH-verhoging voor de evenwichtsomslag naar ammoniak, ook het  $\text{CO}_3^{2-}$  en het  $\text{HCO}_3^-$  te verwijderen. Tevens wordt het in het slibwater aanwezige fosfaat neergeslagen als  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Uit kostentechnisch oogpunt is minimalisatie van het kalkverbruik gewenst. Het risico bestaat dat de  $\text{CO}_3^{2-}$ - en  $\text{HCO}_3^-$ -verwijdering niet volledig is bij een pH lager dan 11, waardoor de kans op scaling wordt vergroot. Tevens kan bij verlaging van de pH het verwijderingsrendement van de stripkolom verslechteren doordat het evenwicht ammonium/ammoniak niet volledig aan de kant van ammoniak ligt. De minimalisatie van de kalkdosering is gedurende 6 dagen getest.

De benodigde kalkhoeveelheid is afhankelijk van de buffercapaciteit van het slibwater en wordt automatisch gestuurd op de ingestelde pH.

Het kalkslib is mogelijk geschikt ter verbetering van de slibontwatering.

#### 4.1.2 *Toepassing van verschillende influentconcentraties*

Om de stoomstriptechniek te beoordelen in STOWA-verband zijn drie verschillende ammoniumconcentraties in het slibwater onderzocht:

- 500 - 600 mg/l (slibwater rwzi Oost): 5 weken;
- 1000 - 1200 mg/l: 2 weken;
- 1800 - 2000 mg/l: 2 weken.

Omdat verhoging van de concentratie met behulp van een ammoniumzout problemen op zou leveren door een te hoge zoutconcentratie in het slibwater, is de concentratie verhoogd met ingekocht ammoniakaal water.

#### 4.1.3 *Beoordeling van het scheidingsrendement*

De stripkolom is beoordeeld op het scheidingsrendement. Omdat de onderdelen in de installatie gedimensioneerd zijn op een influentconcentratie van ca. 1200 mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$ , wordt verwacht dat bij deze concentratie de beste rendementen worden behaald.

Na het testen van de installatie bij de drie verschillende ammoniumconcentraties in het slibwater zijn nog enkele proeven uitgevoerd bij gevarieerde pH's.

#### 4.1.4 *Scaling*

De stripkolom, de warmtewisselaars en sproeiverdamper/-condensor zijn gedurende de gehele proefperiode beoordeeld op scaling en verstoppingsgevoeligheid.

De scaling door zware metalen is met behulp van een zwaremetalenbalans onderzocht.

#### 4.1.5 *Energieverbruik*

Het energieverbruik van de proefinstallatie is gemeten met behulp van een kWh-meter. Het verbruik is echter niet direct te vertalen naar de opgeschaalde installatie. Het specifiek warmteverlies is namelijk hoger vanwege de ongunstige verhouding oppervlak/volume. In de praktijk wordt ook vanwege het hoge energieverbruik geen gebruik gemaakt van een elektrische stoomgenerator.

#### 4.1.6 *Afzetmogelijkheid van het ammoniakaal water*

De kwaliteit van het ammoniakaal water is vastgesteld door het te toetsen aan de kwaliteit van 'technisch ammoniakaal water'.

## 4.1.7 Meet- en regelsysteem en optimalisatie

Gedurende de hele proefperiode is de werking van de installatie geoptimaliseerd en is een bedrijfszeker meet- en regelsysteem ontwikkeld. De regeling wordt bij de resultaten zo veel mogelijk per onderdeel besproken.

## 4.2 Bemonstering van de proefinstallatie

In onderstaande tabellen wordt het analysepakket gedurende de proefperiode weergegeven. De bemonsteringspunten zijn met nummer weergegeven in het processchema (afbeelding 3).

Tabel 1a: Analyses op het slibwater (1)

analyse	NEN	frequentie/week
CZV	6633	5; na 23 aug. 1
NH <sub>4</sub> -N	3235	5
Kj-N	8481	1
NO <sub>3</sub> -N	6652	1
NO <sub>2</sub> -N	6653	1
P-tot	6663	5
p- en m-getal	3130	1
pH	6411	5; na 23 aug. 1
droogrest	6621	5
zware metalen <sup>1</sup>		1

Tabel 1b: Analyses op de neerslag (2)

analyse	NEN	frequentie/week
CZV	6633	1
Kj-N	6641	1
P-tot	6662	1
indamprest	3235	5
Ca	6446	5
zware metalen <sup>1</sup>		1

<sup>1</sup> Zware metalen:

arsen (NEN 6432);  
cadmium (NEN 6452);  
chrom (NEN 6448);  
koper (NEN 6451);  
lood (NEN 6453);  
nikkel (NEN 6456);  
zink (NEN 6443).



Tabel 1c: Analyses op het slibwater na pH-verhoging (3)

analyse	NEN	frequentie/week
CZV	6633	5
NH <sub>4</sub> -N	3235	5
Kj-N	8481	1
NO <sub>3</sub> -N	6652	1
NO <sub>2</sub> -N	6653	5
P-tot	6663	1
p- en m-getal	6411	5
droogrest	6621	1
zware metalen <sup>1</sup>		

Tabel 1d: Analyses op de ammoniakoplossing na de hoofdstriekolom (4)

analyse	NEN	frequentie/week
NH <sub>4</sub> -N	3235	5

Tabel 1e: Analyses op de ammoniakale oplossing na de rectificeerkolom (5)

analyse	NEN	frequentie/week
NH <sub>4</sub> -N	3235	5
Kj-N	8481	1
droogrest	6621	5
CZV	6633	1; na 23 aug. 5
zware metalen <sup>1</sup>		1

Tabel 1f: Analyses op gestript slibwater na striekolom (6)

analyse	NEN	frequentie/week
NH <sub>4</sub> -N	3235	5

Tabel 1g: Gestript slibwater na rectificeerkolom (7)

analyse	NEN	frequentie/week
NH <sub>4</sub> -N	3235	5

Tabel 1h: Gestript slibwater/filtraat (8)

analyse	NEN	frequentie/week
CZV	6633	5
NH <sub>4</sub> -N	3235	5
Kj-N	8481	1
NO <sub>3</sub> -N	6652	1
NO <sub>2</sub> -N	6653	5
P-tot	6663	5
droogrest	3130	5
pH	6621	1
zware metalen <sup>1</sup>		

## 5. RESULTATEN EN DISCUSSIE

De originele tijdsplanning voor het onderzoek bedroeg negen weken. De uiteindelijke onderzoeksduur is uitgelopen tot 3 maanden. Door problemen met de voorbehandeling trad regelmatig kalkdoorslag op en raakten verschillende procesonderdelen verstopt, waardoor de installatie uit bedrijf moest en er proefdagen verloren gingen. De indeling van de onderzoeksperiode is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 : Indeling van de onderzoeksperiode

concentratie NH <sub>4</sub> -N in slibwater (mg/l)	datum
500 - 600	1 aug. t/m 5 sept. en 31 okt. t/m 2 nov.
1000 - 1200	6 sept. t/m 6 okt. en 20 okt. t/m 30 okt.
1800 - 2000	7 okt. t/m 19 okt.
pH-variatie	3 nov. t/m 11 nov.

### 5.1 Samenstelling van het slibwater en het slibwater na pH-verhoging

Het slibwater afkomstig van de centrifuges en filterpersen werd opgeslagen in een buffertank van 10 m<sup>3</sup>. De samenstelling van het slibwater voor en na de pH-verhoging is weergegeven in tabel 3. De ammoniumconcentratie is afhankelijk van de proefperiode (zie tabel 2).

Tabel 3 : Samenstelling slibwater voor en na de pH-verhoging

element	eenheid	slibwater	slibwater na pH-verhoging
drogestofgehalte	mg/l	669	235
CZV	mg/l	852	191
P-totaal	mg/l	17	3.1
nitriet	mg/l	0.6	0.5
nitraat	mg/l	3.0	2.8
arseen	µg/l	3.4	0.77
cadmium	µg/l	1.7	0.45
chromium	µg/l	25	11
koper	µg/l	236	13
lood	µg/l	80	3.1
nikkel	µg/l	42	19
zink	µg/l	195	24

### 5.2 Voorbehandeling

#### 5.2.1 Kalkverbruik

De benodigde kalkhoeveelheid is afhankelijk van de buffercapaciteit van het slibwater. Op laboratoriumschaal is het slibwater van rwzi Oost getest. De benodigde kalkdosering bedroeg 3,3 kg Ca(OH)<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> slibwater.

Het kalkverbruik in de installatie is bepaald door iedere dag het verbruik uit het voorraadvat te meten. Het verbruik varieerde van 2,0 - 3,5 kg Ca(OH)<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> slibwater en is grafisch weergegeven in bijlage 3. Door onnauwkeurigheid in de aanmaakconcentratie van de kalkmelk kunnen de genoemde waarden iets afwijken. Door een defecte pH-meter is de kalkdosering in de periode van 5 tot en met 22 september handmatig ingesteld. Het



kalkverbruik is daarom in deze periode incidenteel hoger geweest.

Omdat bij de concentratieverhoging in het slibwater gebruik is gemaakt van ammoniakal water, is de pH van het slibwater verhoogd van 8,1 naar 9,5. Door de onnauwkeurigheid in de meting van het kalkverbruik is bij concentratieverhoging in het slibwater verschil in kalkverbruik nauwelijks waarneembaar.

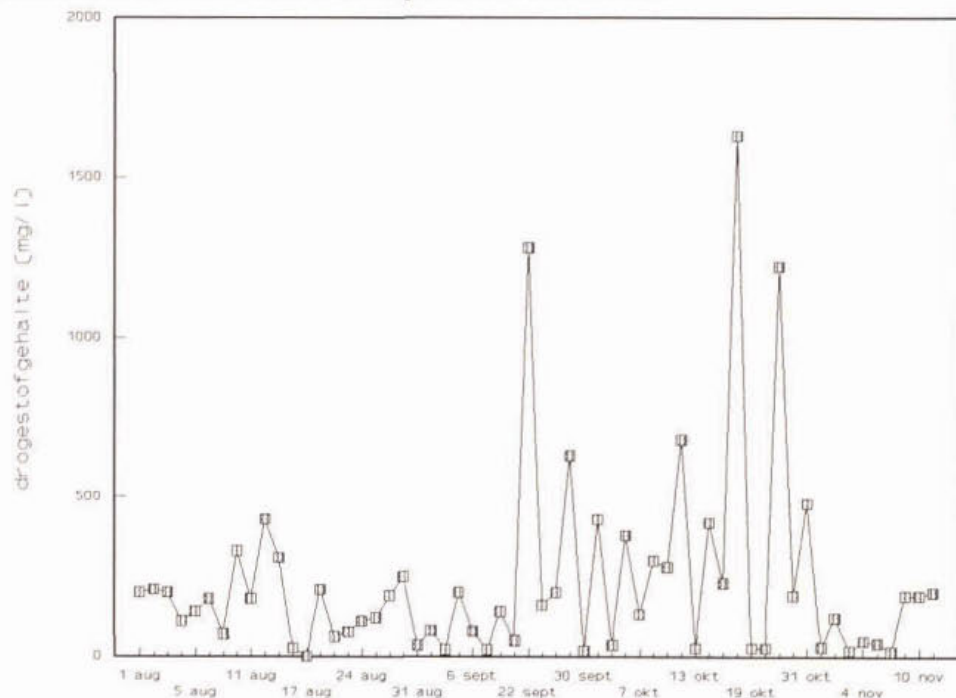
Gedurende de periode 1 augustus tot en met 2 november is gestuurd op pH 11. De pH is gemeten in het doseervat. Doordat het toerental van de kalk-doseerpomp van hoog naar laag pendelt, varieert de pH in het vat sterk. Het is daarom beter de pH te meten na de bezinktank.

### 5.2.2 *Productie van kalkslib*

Het slib bestaat voornamelijk uit  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  en bevat bij normale dosering ongeveer 445 g Ca/kg ds. Door brugvorming in de bezinktank en discontinue aftap van het slib was bepaling van de hoeveelheid slib niet mogelijk. De hoeveelheid kalkslib wordt aan de hand van de hoeveelheid gedoseerde kalk geschat op 4,5 kg/m<sup>3</sup> ( $\text{CaCO}_3$  en  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ); vermeerderd met het drogestof in het slibwater levert dit 5,5 kg slib/m<sup>3</sup> slibwater.

### 5.2.3 *Werking van de bezinktank*

Het neerslag in de bezinktank werd discontinue op het signaal van de drogestofmeter afgetapt. Omdat er in de tank brugvorming van het slib plaatsvond, werd nagenoeg geen slib afgetapt en vond slibophoping plaats met als gevolg incidentele kalkdoorslag. In afbeelding 6 geven de pieken met een drogestofgehalte groter dan 800 mg/l kalkdoorslag weer. Een roerwerk in de bezinktank kan dit probleem voorkomen.



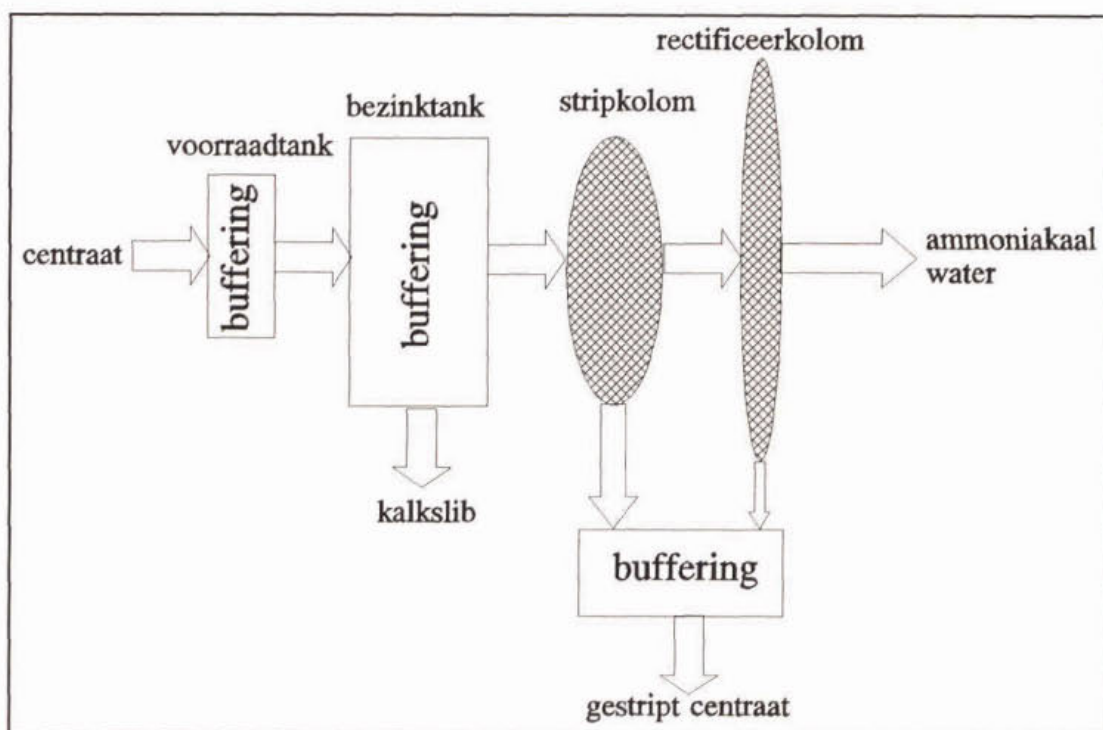
**Afbeelding 6** Drogestofgehalte (mg/l) in het slibwater na pH-verhoging

### 5.2.4 *Buffering van slibwater in het voorraadvat*

Doordat het slibwater een bepaalde verblijftijd heeft in het voorraadvat van de proefinstallatie (300 l) en in de bezinktank (1 m<sup>3</sup>) vindt buffering plaats. Hierdoor is het mogelijk dat bij verhoging of verlaging van de ammoniumconcentratie in het slibwater de concentraties

voor en na de kalkdosering niet gelijk zijn. In bijlage 4 is de grafiek van de ammoniumconcentraties in het slibwater voor en na de bezinktank weergegeven. In deze grafiek is duidelijk te zien dat bij verhoging van de ammoniumconcentratie in het slibwater naar 1000 à 1200 mg/l in het begin (6 t/m 28 september) geen rekening is gehouden met de deze buffering. Tevens vindt door de kalkdosering enige verdunning van het slibwater plaats.

Ook het gestripte slibwater uit de strip- en rectificeerkolom wordt gezamenlijk gebufferd voordat deze massastroom de installatie verlaat. In afbeelding 7 zijn de bufferzones schematisch weergegeven.



Afbeelding 7 Processchema van de buffering in de proefinstallatie

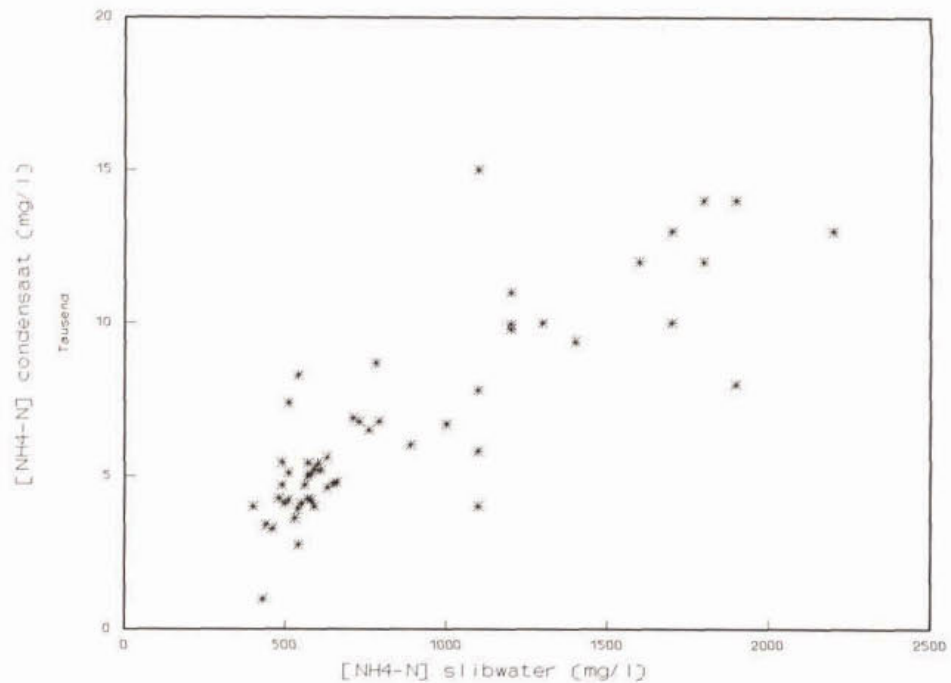
### 5.3 Verwijderingsrendement van de stripkolom

Het scheidingsrendement van de stripkolom is afhankelijk van de stoom/water-verhouding. De stoom/water-verhouding in de proefinstallatie ligt vast en bedraagt 113 kg/m<sup>3</sup> slibwater. Het scheidingsrendement van de stripkolom wordt beoordeeld op het NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement.

Het verwijderingsrendement is vrijwel onafhankelijk van de concentratie en bedroeg gemiddeld 91%. Het NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement is berekend op basis van de NH<sub>4</sub>-N-vrachten. Berekening van het rendement op basis van de concentraties zou hoger uitvallen doordat waterdamp in de kolommen condenseert en de hoeveelheid gestript slibwater hierdoor toeneemt. Het rendement is grafisch weergegeven in bijlage 5. De ammoniumconcentratie in het condensaat na de stripkolom is recht evenredig met de NH<sub>4</sub>-N-concentratie in het slibwater en is weergegeven in afbeelding 8.

De afhankelijkheid van het rendement van de temperatuur van het slibwater is niet onderzocht. De temperaturen van het slibwater en van de overige massastromen zijn weergegeven in bijlage 6. De temperatuur van het slibwater na opwarming via de warmtewisselaar bedroeg gemiddeld 92°C. Bij lagere temperaturen is stoom gebruikt voor de verdere opwarming en is via drukregeling automatisch de hoeveelheid stoom door de





**Afbeelding 8** NH<sub>4</sub>-N-concentratie (mg/l) in het condensaat na de stripkolom als functie van de NH<sub>4</sub>-N-concentratie (mg/l) in slibwater na pH-verhoging

stripkolom verhoogd.

#### 5.4 Verwijderingsrendement van de gehele installatie

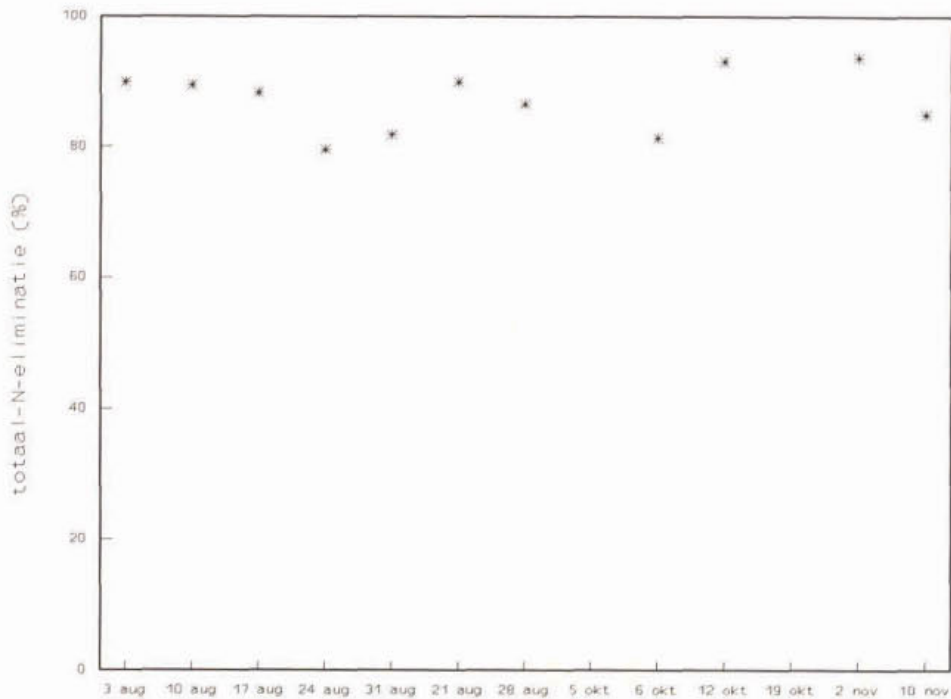
Het verwijderingsrendement wordt beoordeeld op de stikstof- en fosfaatverwijdering en wordt gecontroleerd met behulp van een CZV-balans over de installatie. De CZV-balans is weergegeven in bijlage 7. Wanneer verklaarbare uitbijters weggelaten worden, heeft de balans een afwijking van gemiddeld -7%, te wijten aan onnauwkeurigheid in debieten, monsternamen en analyses.

##### 5.4.1 Stikstof-verwijderingsrendement

Het stikstofverwijderingsrendement is vrijwel geheel toe te schrijven aan NH<sub>4</sub>-N-verwijdering. Het in zeer kleine hoeveelheid aanwezige nitraat en nitriet worden niet uit het slibwater verwijderd. De eventueel aanwezige organisch gebonden Kjeldahl-N wordt verwijderd door drogestofafscheiding in de bezinktank. Als gevolg van buffering (zie § 5.2.4) is het niet reëel elimineren te berekenen over de gehele installatie. Bij de berekening is daarom uitgegaan van het slibwater na de pH-verhoging.

Het N-totaal-verwijderingsrendement over de installatie is weergegeven in afbeelding 9. Het verwijderingsrendement bedroeg gemiddeld 87% ( $\pm 4.5$ ). De stikstofbalans heeft een afwijking van -15%. De verklaring hiervoor is dat een deel van de ammoniakale damp uit de stripkolom condenseerde in de verdichter en via de verdichter verwijderd is. Het overige deel is verklaarbaar met de onnauwkeurigheden die ook in de CZV-balans zichtbaar zijn. Tevens is het mogelijk dat incidenteel ammoniak met het inertgas ontsnapt is, doordat door temperatuurschommelingen in de rectificeerkolom niet alle NH<sub>3</sub> gecondenseerd is. In de praktijk worden door het gebruik van een bredere kolom deze temperatuurschommelingen voorkomen. In de praktijk is reiniging van de kleine hoeveelheid inertgas echter noodzakelijk.

Doordat de rectificeerkolom gedimensioneerd is voor gebruik bij  $\text{NH}_4\text{-N}$  van circa 1200 mg/l is het stikstofverwijderingsrendement over de gehele installatie bij bovengenoemde concentratie en hogere concentraties hoger. Bij lagere  $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentraties wordt de recirculatiefactor over de rectificeerkolom groter met als gevolg enige verslechtering van het scheidingsrendement doordat een deel van het  $\text{NH}_3$  met het gestripte slibwater deze kolom verlaat. Bestudering van de  $\text{NH}_4\text{-N}$ -eliminatie (hier zijn meer waarnemingen van beschikbaar dan van N-totaal) laat een verhoging van 1 à 2% zien bij de hogere ammoniumconcentraties. Gezien de onnauwkeurigheid in de CZV-balans is dit verschil te klein om te kunnen zeggen dat het rendement inderdaad hoger is bij hogere ammoniumconcentraties in het slibwater.



**Afbeelding 9** Totaal-N-eliminatie in de stoomstripper (%)

Het  $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement over de proefperiode is grafisch weergegeven in bijlage 5.

#### 5.4.2 Fosfaat-verwijderingsrendement

De fosfaatverwijdering vindt plaats door middel van kalkdosering. Fosfaat slaat neer als  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  en wordt verwijderd met het kalkslib. Het verwijderingsrendement bedroeg gemiddeld 81% en bleek afhankelijk van het drogestofgehalte in het slibwater. Door pH-verhoging als gevolg van toevoeging van ammoniakal water voor de concentratieverhoging in het slibwater slaat al fosfaat neer in het buffervat vóór de proefinstallatie; om die reden is het gemiddelde berekend over de periode waarin gebruik is gemaakt van het slibwater zonder concentratieverhoging.

#### 5.4.3 Invloed van de pH op het stikstof-verwijderingsrendement

In de laatste dagen van de proefperiode is gekeken naar de invloed van de pH van het slibwater op het scheidingsrendement van de kolommen. Er is onderzoek gedaan bij een ammoniumconcentratie van 500-600 mg/l en 1000-1200 mg/l in het pH-bereik van 10 tot 12. Bij beide concentraties is in dit pH-bereik geen duidelijke toe- of afname van het



scheidingsrendement te zien. Een voorlopige conclusie is dan ook dat er in dit pH-bereik geen verslechtering of verbetering optreedt. De verwachting is dat ook bij nog hogere pH-waarden geen rendementstoename optreedt. Een rendementsafname zou pas zichtbaar zijn bij een pH lager dan 9. Bij deze pH is echter onvolledige verwijdering van carbonaat en dientengevolge verstopping van de warmtewisselaar te verwachten.

### 5.5 Scaling

Gedurende de gehele proefperiode hebben de sproeiverdamper en de stripkolom probleemloos gefunctioneerd. Boven in de stripkolom was echter scaling zichtbaar (zie afbeelding 10). Waarschijnlijk is dit veroorzaakt door kalkdoorslag uit de bezinktank. De scaling heeft niet tot verstopping of verslechtering van het scheidingsrendement geleid.



**Afbeelding 10** Scaling in de stripkolom

Verstopping van de warmtewisselaar is verscheidene malen opgetreden. De hoofdoorzaak is de kalkdoorslag uit de bezinktank. In afbeelding 6 geven de pieken met een drogestofgehalte groter dan 800 mg/l de momenten waarop kalkdoorslag plaats heeft gevonden weer.



Verstopping van de warmtewisselaar trad direct na de kalkdoorslag op. Een verbeterde vlokvorming van  $\text{CaCO}_3$  en afscheiding van het slib blijken dan ook noodzakelijk voor de goede werking van de stoomstripper. In een opgeschaalde installatie dient echter een spoelinstallatie met bijvoorbeeld verdund zoutzuur stand-by te staan.

Ook de pH-elektrode werd structureel aangetast door kalkaanslag. In de praktijk wordt de pH na het bezinkvat in het slibwater gemeten, zodat scaling niet meer op zal treden.

Door onnauwkeurigheid in de zware-metalenanalyses en monsternamen in de tijd (bijv. buffering in voorraadvat) is het niet mogelijk een scaling door zware metalen te signaleren op basis van een zware-metalenbalans.

De hardheidsmetingen die uitgevoerd zijn volgens NEN 3130 blijken achteraf niet hanteerbaar voor dergelijk slibwater gezien het feit dat de ammoniumbuffercapaciteit mee wordt bepaald.

Ook het drogestofverlies dat zichtbaar wordt in de drogestofbalans is te wijten aan een niet geschikte analysemethode.

### 5.6 Energieverbruik

Het energieverbruik van de proefinstallatie is iedere dag gemeten met behulp van een kWh-meter. Het energieverbruik is vrij constant en bedraagt 480 kWh/d. Bij opschaling is het niet reëel met dit energieverbruik te rekenen.

Doordat een deel van de stoom ten behoeve van de stripkolom geproduceerd wordt in de sproeiverdamper met behulp van gestript slibwater, ligt het energieverbruik van een stoomstripinstallatie met dampverdichting aanmerkelijk lager. Bij een stoom/water-verhouding in de stripkolom van  $113 \text{ kg/m}^3$  slibwater is 50 kg/h stoom nodig. De benodigde hoeveelheid stoom ten behoeve van de rectificeerkolom bedraagt 6 kg/h. De productie van de sproeiverdamper bedraagt 35 kg/h en komt geheel ten goede aan de stripkolom. Dit levert een besparing op van 70% van de benodigde hoeveelheid stoom voor de stripkolom. De overige 21 kg/h stoom dient nog geproduceerd te worden. In de proefinstallatie is hiervoor een elektrische verdamper met een relatief hoog energieverbruik toegepast. In de praktijk ligt het percentage stoom dat geproduceerd wordt in de sproeiverdamper hoger.

### 5.7 Kwaliteit van het ammoniakaal water

Een groot voordeel van de stoomstriptechniek vormen de afzetmogelijkheden voor het geproduceerde ammoniakaal water. Daarvoor moet het ammoniakale water wel aan bepaalde eisen voldoen voor wat betreft het percentage ammoniak en de concentraties aan andere componenten. Om als technische ammoniak te kunnen worden gebruikt is een percentage van minimaal 25% vereist. Bij de AVI-west (Amsterdamse Vuilverbrandingsinstallatie) bestaat ook belangstelling voor oplossingen met lagere percentages ammoniak.

#### 5.7.1 Percentage aan ammonium

Het ammoniumpercentage in het ammoniakaal water gedurende de testperiode is grafisch weergegeven in bijlage 8. Het gemiddelde percentage ammonium in het condensaat van de rectificeerkolom is bepaald bij de verschillende ammoniumconcentraties in het slibwater. Deze waarden zijn weergegeven in tabel 4. Bij de berekening van de gemiddelden zijn verklaarbare uitschieters niet meegenomen. Naast het gemiddelde wordt ook de standaardafwijking in de tabel vermeld.

Het ammoniakale water van de stoomstripper dat geproduceerd is met het eigen slibwater voldoet net niet aan de minimumeis van 25%. Het ammoniumpercentage is te sturen door



middel van de temperatuur bovenin de rectificeerkolom. In de eerste twee weken van de proefperiode waren er problemen met de ijking van de temperatuursensor waardoor een aantal malen een lager percentage ammoniak werd verkregen.

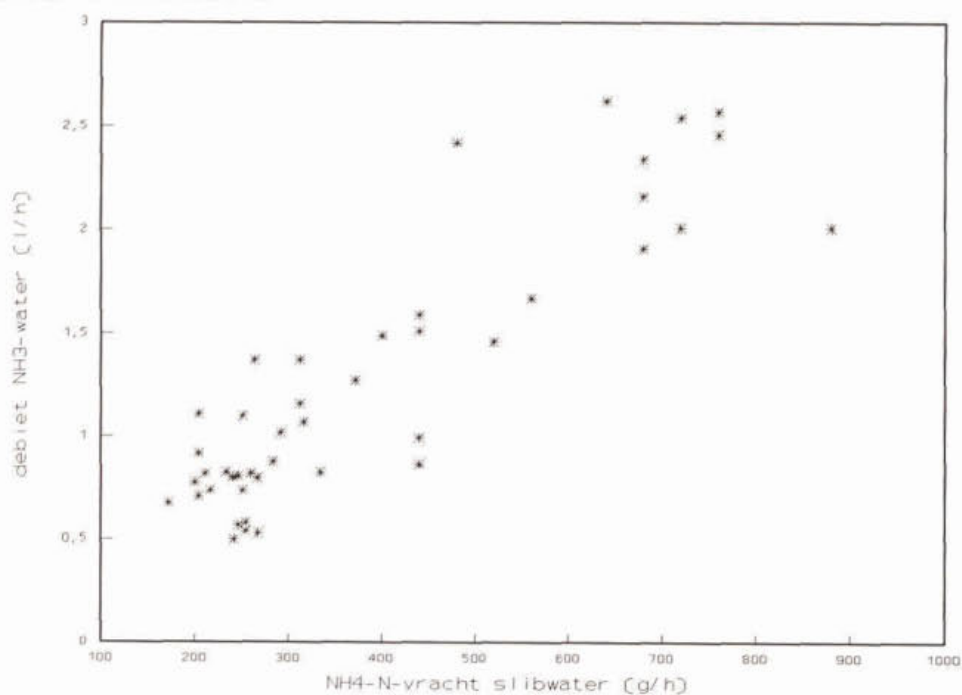
Tabel 4: Percentage ammonium bij verschillende concentraties in het slibwater

[NH <sub>3</sub> ] in slibwater (mg/l)	% NH <sub>3</sub> in ammoniakaal water	productie (l/m <sup>3</sup> slibwater)
500 - 600	24,7 ± 3,3	1,7 ± 0,4
1000 - 1200	25,9 ± 2,2	3,5 ± 1,0
1800 - 2000	27,1 ± 2,1	5,7 ± 0,7

De toename van het percentage ammoniak wordt niet veroorzaakt door de toename van de ammoniumconcentratie in het slibwater. Naarmate het onderzoek vorderde werd meer inzicht verkregen in de processturing en -regeling, waardoor betere resultaten behaald werden.

#### 5.7.2 *Debiet van het ammoniakaal water*

De installatie is gestuurd op de productie van ammoniakaal water met een ammoniumpercentage van 25%. De geproduceerde hoeveelheid ammoniakaal water is afhankelijk van het ammoniumgehalte in het slibwater (bij gelijk debiet). Dit is duidelijk te zien in afbeelding 11, waar de hoeveelheid ammoniakaal water is weergegeven als functie van de ammoniumvrucht in het slibwater.



**Afbeelding 11** Debiet (l/h) van het ammoniakale water als functie van de NH<sub>4</sub>-N-vrucht (g/h) in het slibwater

Voor de drie verschillende ammoniumconcentraties in het centraat is de gemiddelde productie aan ammoniakaal water per m<sup>3</sup> slibwater berekend. Deze waarden zijn weerge-

geven in tabel 4.

### 5.7.3 Drogestof- en CZV-gehalte

Het drogestof- en CZV-gehalte in het slibwater na pH-verhoging variëren sterk. Ook de analyses op het ammoniakale water laten met name voor het drogestofgehalte een sterke schommeling zien. De gemiddelden voor de perioden met verschillende ammoniumconcentraties in het slibwater staan vermeld in tabel 5. De afzonderlijke waarden zijn weergegeven in de grafieken van bijlage 8.

Bij de hogere ammoniumconcentraties is er minder recirculatie over de rectificeerkolom nodig en vindt minder concentratie plaats van drogestof en CZV in het ammoniakale water. Ondanks de grote variatie van de meetwaarden laat de tabel duidelijk zien dat de gehalten aan drogestof en CZV afnemen bij een hogere ammoniumconcentratie in het slibwater.

Tabel 5: Drogestof- en CZV-gehalte in het ammoniakale water

[NH <sub>4</sub> ] in slibwater (mg/l)	drogestof (mg/l)	CZV (mg/l)
500 - 600	17 ± 21	330 ± 136
1000 - 1200	13 ± 15	266 ± 112
1800 - 2000	4 ± 7	175 ± 27

### 5.7.4 Gehalte aan zware metalen

De gemiddelde analyseresultaten van de zware metalen zijn weergegeven in tabel 6. In het gemiddelde zijn verklaarbare uitbijters niet meegenomen. Het betreft hier de eerste twee analyseresultaten van chroom en nikkel. De eerste hoge gehalten aan chroom en nikkel zijn waarschijnlijk het gevolg van het oplossen van chroom en nikkel uit de relatief nieuwe leidingen van de proefinstallatie. De overige gehalten aan zware metalen, met uitzondering van arseen, vertonen nauwelijks spreiding. De gehalten van de zware metalen zijn dermate klein dat een relatie met het debiet van het ammoniakale water niet aantoonbaar is.

Tabel 6: Concentratie aan zware metalen in het ammoniakale water

element	concentratie
arseen	5,5 µg/l
cadmium	0,10 µg/l
chroom	3,9 µg/l
koper	1,4 µg/l
lood	1,2 µg/l
nikkel	5,4 µg/l
zink	18 µg/l

### 5.7.5 Vergelijking met ammoniakaal water van "technische kwaliteit"

Bij leveranciers van technische ammoniak, zijn vergelijkbare parameters onbekend. Om toch een vergelijking te kunnen maken zijn in tabel 7 de analyses van het ammoniak van de stoomstripper weergegeven tezamen met door RWA uitgevoerde analyses van techni-



sche ammoniak (gemiddelde van twee steekmonsters). Ook zijn de gegevens van ammoniak voor analysedoeleinden (Merck catalogus) ter vergelijking in deze tabel opgenomen.

Tabel 7: Analysegegevens van diverse ammoniakoplossingen

parameter	ammoniak * uit de stoomstripper	ammoniak technisch	ammoniak "analyse"
ammoniak (%)	24,8 ; 25,8 ; 27,1	26,7	≥ 25
drogestof (mg/l)	18 ; 11 ; 4	3,3	-
CZV (mg/l)	330 ; 266 ; 175	53	-
arseen (µg/l)	5,5	< 1,5	-
cadmium (µg/l)	0,10	0,10	≤ 91
chrom (µg/l)	3,9	< 1,5	≤ 46
koper (µg/l)	1,4	33	≤ 91
lood (µg/l)	1,2	1,8	≤ 46
nikkel (µg/l)	5,4	3,0	≤ 46
zink (µg/l)	18	15	≤ 182

\* Bij analyses waar de getallen verschillen voor de verschillende ammoniumconcentraties in het slibwater zijn de getallen per periode vermeld.

Wanneer de ammoniakale oplossing van de stoomstripper en de technische ammoniak met elkaar vergeleken worden, blijken de concentraties aan zware metalen in dezelfde ordegrootte te liggen. Van beide oplossingen liggen de concentraties zelfs ruim onder de maximumwaarden van ammoniak voor analyse-doeleinden.

De CZV-waarden en de hoeveelheden drogestof in het ammoniakale water liggen beduidend hoger dan die in technische ammoniak. Naarmate de ammoniumconcentratie in het slibwater hoger is, wordt dit verschil kleiner. Afhankelijk van de toepassing zal moeten worden nagegaan of deze concentraties in het geproduceerde ammoniak een probleem vormen. De AVI, die interesse heeft getoond, heeft geen problemen met enigszins verhoogde CZV- en drogestofconcentratie, zodat dit potentiële afzetkanaal een goede mogelijkheid blijft.

### 6. EVALUATIE

Toepassing van de stoomstriptechniek op slibwater met concentraties van 500 à 600, 1000 à 1200 en 1800 à 2000 mg/l ammonium-N levert een gemiddeld stikstofverwijderingspercentage op van 87%. Het gemiddelde kon over de hele proefperiode worden bepaald omdat de verschillende ammoniumconcentraties in het slibwater geen duidelijke verschillen in het verwijderingspercentage tot gevolg hadden. Het percentage dat werkelijk door de kolommen verwijderd wordt, ligt iets lager omdat een gedeelte van het ammoniak verdwijnt door condensatie in de verdichter en met het aflaten van het inert gas.

Gezien het gemiddelde stikstofverwijderingspercentage kan geconcludeerd worden dat de proefinstallatie voldoet aan de dimensioneringsgrondslagen.

In een aantal procesonderdelen trad scaling op. De warmtewisselaar raakte een aantal malen verstopt door neerslag van calciumcarbonaat. Dit gebeurde op dagen waarop er problemen waren met het bezinkproces van het kalkslib. In de bezinktank trad brugvorming op, wat doorslag van slib tot gevolg had. De huidige constructie van dit procesonderdeel voldoet dan ook niet. Tijdens de testperiode werd het probleem verholpen met zoutzuur, maar voor een blijvende oplossing is een andere manier van kalkslibafvoer nodig.

De analyseresultaten van het ammoniakale water laten zien dat een ammoniakpercentage van 25% haalbaar is. De verontreiniging met andere componenten is van dien aard, dat dit geen problemen zal geven bij hergebruik voor bepaalde doeleinden. De concentraties aan verschillende zware metalen lagen in dezelfde orde grootte als in technisch ammoniakaal water. Het gehalte aan drogestof en CZV is wel hoger dan in technische ammoniak. Voor toepassing bij een AVI is dit geen probleem. Voor andere afzetmogelijkheden als technische ammoniak moet wel nagegaan worden of de aanwezigheid van drogestof en CZV een probleem kan zijn.

Het energieverbruik voor het genereren van stoom is een belangrijke kostenpost. Door gebruik te maken van een verdichter en sproeiverdamper kan in 70% van de stoombehoefte van de stripkolom worden voorzien. In de praktijk zal dit percentage veel hoger liggen.

Op basis van het gevonden verwijderingspercentage van ammonium en de kwaliteit van het geproduceerde ammoniakale water kan geconcludeerd worden dat de stoomstriptechniek een geschikte techniek is voor het verwijderen van ammonium uit slibwater.



7. KOSTEN7.1 **Uitgangspunten voor de standaard rwzi's en rwzi Oost Amsterdam**

Voor de kostenberekening van de stoomstriptechniek met dampverdichting worden twee standaard rwzi's van 100.000 en 400.000 ie, en rwzi Oost gehanteerd.

In onderstaande tabel zijn de uitgangspunten gegeven.

Tabel 8: Uitgangspunten voor de standaard rwzi's en rwzi Oost Amsterdam

	100.00 ie	400.000 ie	rwzi Oost Amsterdam
	<i>rwzi 1</i>	<i>rwzi 4</i>	<i>rwzi 7</i>
debiet (m <sup>3</sup> /d)	50	200	1300
drogestof (kg/d ds)	50	200	1300
ammoniumstikstof (kg/d NH <sub>4</sub> -N)	90	360	865
totaal-stikstof (kg/d N-tot)	95	380	870
	<i>rwzi 2</i>	<i>rwzi 5</i>	
debiet (m <sup>3</sup> /d)	100	400	
drogestof (kg/d ds)	100	400	
ammoniumstikstof (kg/d NH <sub>4</sub> -N)	90	360	
totaal-stikstof (kg/d N-tot)	95	380	
	<i>rwzi 3</i>	<i>rwzi 6</i>	
debiet (m <sup>3</sup> /d)	200	800	
drogestof (kg/d ds)	200	800	
ammoniumstikstof (kg/d NH <sub>4</sub> -N)	90	360	
totaal-stikstof (kg/d N-tot)	95	380	

De kostenraming is mede op basis van de door de leverancier (Noell) gemaakte raming tot stand gekomen.

7.2 **Stichtingskosten**

Bij de berekening van de stichtingskosten zijn de volgende posten gehanteerd:

- investeringskosten (installatie en gebouw);
- bijkomende kosten: 10% over investeringskosten;
- onvoorzien: 10% over totaal bovenstaande kosten;
- advieskosten: 10% over totaal bovenstaande kosten;
- BTW: 17,5% over totaalbedrag.

De stichtingskosten zijn per rwzi weergegeven in tabel 9. De berekening is weergegeven in bijlage 9.

Tabel 9: Stichtingskosten

rwzi	v.e.	debiet (m <sup>3</sup> /d)	stichtingskosten
1	100.000	50	f 4.120.000,-
2	100.000	100	f 4.320.000,-
3	100.000	200	f 4.700.000,-
4	400.000	200	f 4.730.000,-
5	400.000	400	f 5.520.000,-
6	400.000	800	f 6.620.000,-
7	750.000 (rwzi Oost)	1300	f 8.430.000,-

### 7.3 Exploitatiekosten

Voor de bepaling van de benodigde kalkhoeveelheid is aangenomen dat de buffercapaciteit evenredig is met de stikstofconcentratie. De gehanteerde methode komt redelijk overeen met de praktijk. De exacte hoeveelheid moet echter voor ieder slibwater afzonderlijk bepaald worden.

Het energieverbruik van de verdichter is opgevraagd bij een leverancier van verdichters. Op deze manier kon de thermodynamische werking voor iedere installatiegrootte worden aangepast.

Het gezamenlijke stroomverbruik is bepaald voor continu bedrijf. Het aansluitvermogen is hoger.

Voor de bepaling van het stoomverbruik wordt uitgegaan van 150 mm isolatie en van een temperatuurverschil van 4K tussen de toe- en afvoer van de warmtewisselaar.

In een geïsoleerde installatie wordt 93% van de benodigde damp voor de stripkolom geproduceerd in de sproeiverdamper. Er wordt vanuit gegaan dat de overige 7% energieverliezen zijn. Deze kunnen voortkomen uit:

- \* temperatuurverschil tussen slibwater en gestript slibwater;
- \* straling;
- \* onvolledige condensatie in de sproeiverdamper.

Geproduceerde warmte door de verdichter kan dit energieverlies gedeeltelijk compenseren.

De stoomgenerator wordt op gas bedreven.

De dimensionering van de kolommen komt voort uit het aantal scheidingstrappen per meter pakking en het aantal benodigde theoretische scheidingstrappen (n). De leverancier van de pakking levert de bovengenoemde waarden. Voor de totale hoogte van de kolom is bij de genoemde pakkingshoogte nog drie meter kolom opgeteld voor noodzakelijke inbouw. In tabel 10 zijn de dimensioneringsgrondslagen voor de kolommen per rwzi weergegeven. Voor de pakking van de stripkolom is uitgegaan van type 'Montz-Pak B1-250'.

Om vergelijking met de standaard rwzi's mogelijk te maken, is bij de kostenberekening voor rwzi Oost geen rekening gehouden met de beschikbare warmte van de slibdrogingsinstallatie. De exploitatiekosten zullen in praktijk voor rwzi Amsterdam-Oost dus gunstiger uitvallen.



Tabel 10: Dimensioneringsgrondslagen voor de kolommen

rwzi	v.e.	debiet (m <sup>3</sup> /d)	stripkolom						rectificeer- kolom	
			dia- meter (mm)	theoreti- sche schei- dings- trappen	schei- dings- trap per m (1/m)	HTU (m)	pakkings- hoogte (m)	totale hoogte (m)	dia- meter (mm)	totale hoogte (m)
1	100.000	50	250	4.4	1.2	0.87	3.8	6.8	100	11
2	100.000	100	350	3.1	1.2	0.87	2.7	5.7	150	11
3	100.000	200	500	1.9	1.2	0.87	1.7	4.7	200	11
4	400.000	200	500	4.4	1.2	0.87	3.8	6.8	200	11
5	400.000	400	700	3.1	1.2	0.87	2.7	5.7	300	11
6	400.000	800	1000	1.9	1.2	0.87	1.7	4.7	400	11
7	rwzi Oost	1300	1300	2.5	1.2	0.87	2.2	5.2	500	11

De overige gehanteerde uitgangspunten voor de berekening van de exploitatiekosten zijn:

- oppervlakte van het bedrijfsgebouw (onafhankelijk van de capaciteit): 60 m<sup>2</sup>;
- bouwkosten: f 600/m<sup>3</sup>;
- afschrijvingstermijn civiel: 30 jaar;
- afschrijvingstermijn mechanisch/elektrisch: 15 jaar;
- kapitaalslasten berekend op basis van annuïteiten en een rentevoet van 8%;
- energiekosten: f 0,15/kWh;
- stoomkosten: f 50,-/ton;
- CaO-kosten (excl. BTW): f 230,-/ton;
- personeelskosten: f 80.000,-/manjaar;
- opbrengst van het NH<sub>3</sub>-water (25%): f 75,-/ton.

De exploitatiekosten zijn per rwzi weergegeven in tabel 11. De berekening is weergegeven in bijlage 9.

Tabel 11: Exploitatiekosten

rwzi	v.e.	debiet (m <sup>3</sup> /d)	exploitatie- kosten	kosten per kg N-totaal verwijderd
1	100.000	50	f 690.000,-	f 21,20
2	100.000	100	f 750.000,-	f 24,30
3	100.000	200	f 850.000,-	f 31,20
4	400.000	200	f 1.010.000,-	f 7,70
5	400.000	400	f 1.220.000,-	f 9,80
6	400.000	800	f 1.570.000,-	f 14,30
7	750.000 (rwzi Oost)	1300	f 2.290.000,-	f 8,50

8. CONCLUSIES

De stoomstriptechniek met dampverdichting is een geschikte techniek om stikstofrijk slibwater te behandelen.

Het stikstofverwijderingspercentage bedraagt 87% en is onafhankelijk van de stikstofconcentratie in het slibwater. In een opgeschaalde installatie kan dit percentage door minder warmteverlies hoger zijn.

Aandachtspunten bij de stoomstripinstallatie zijn de verdichter en de voorbehandeling. Uit de proef blijkt dat de voorbehandeling (een goede vlokvorming en slibafscheiding) van cruciaal belang is. Op deze manier kan scaling in de installatie voorkomen worden.

Het ammoniakale water is geschikt voor hergebruik.

Zeventig procent van de benodigde stoom voor de stripkolom in de proefinstallatie wordt geproduceerd met behulp van teruggewonnen warmte. In de praktijk zal dit percentage veel hoger liggen. Dit levert een aanzienlijke besparing in exploitatiekosten op in vergelijking met de traditionele stoomstriptechniek zonder dampverdichting.

De kosten van de behandeling van slibwater in een stoomstripinstallatie met dampverdichting zijn in onderstaande tabel weergegeven.

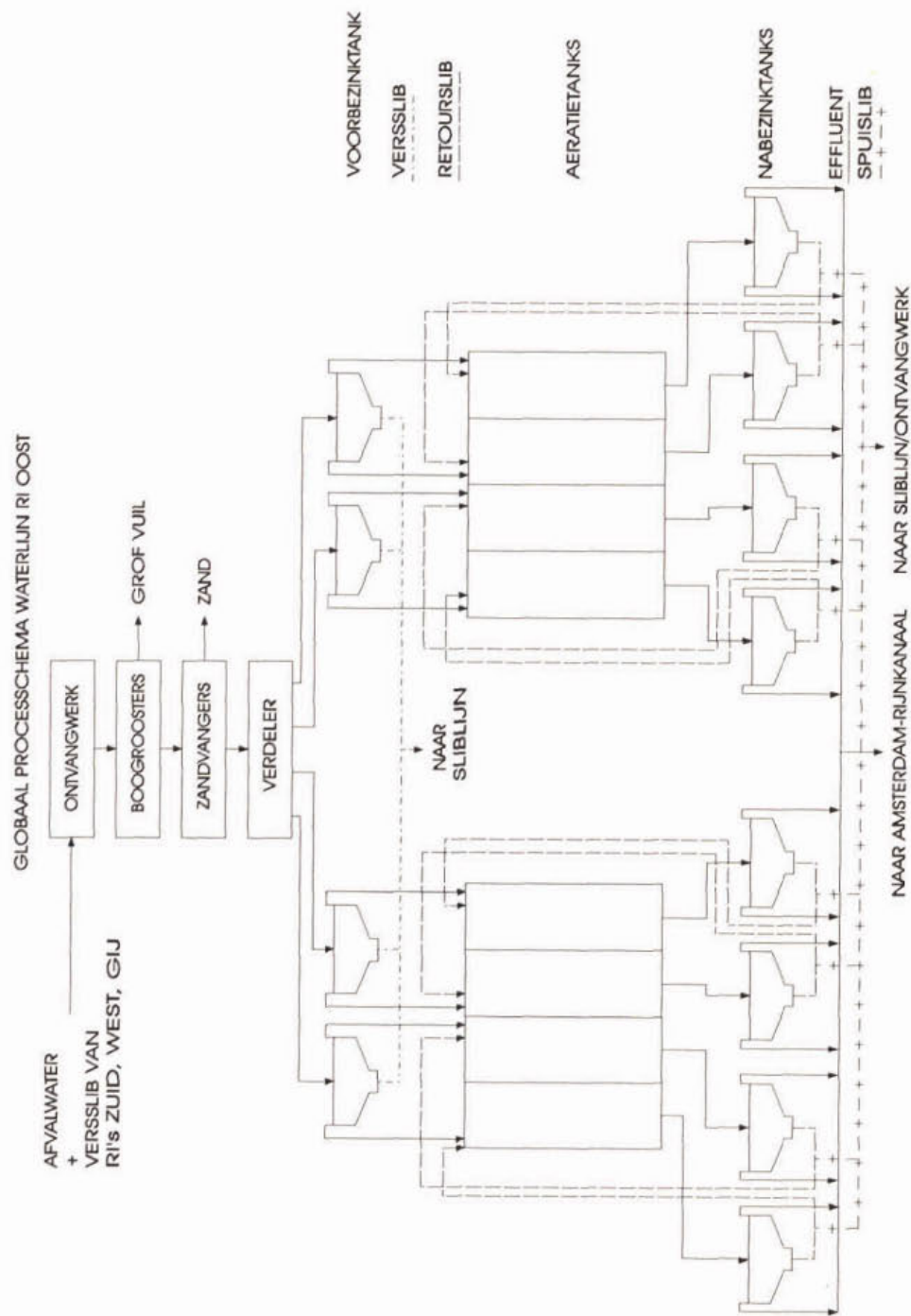
Tabel 12: Kosten per kg N-totaal verwijderd

rwzi	v.e.	debiet (m <sup>3</sup> /d)	concentratie N <sub>ki</sub> (mg/l)	kosten per kg N-totaal verwijderd
1	100.000	50	1900	f 21,20
2	100.000	100	950	f 24,30
3	100.000	200	475	f 31,20
4	400.000	200	1900	f 7,70
5	400.000	400	950	f 9,80
6	400.000	800	475	f 14,30
7	750.000 (rwzi Oost)	1300	669	f 8,50



# BIJLAGEN

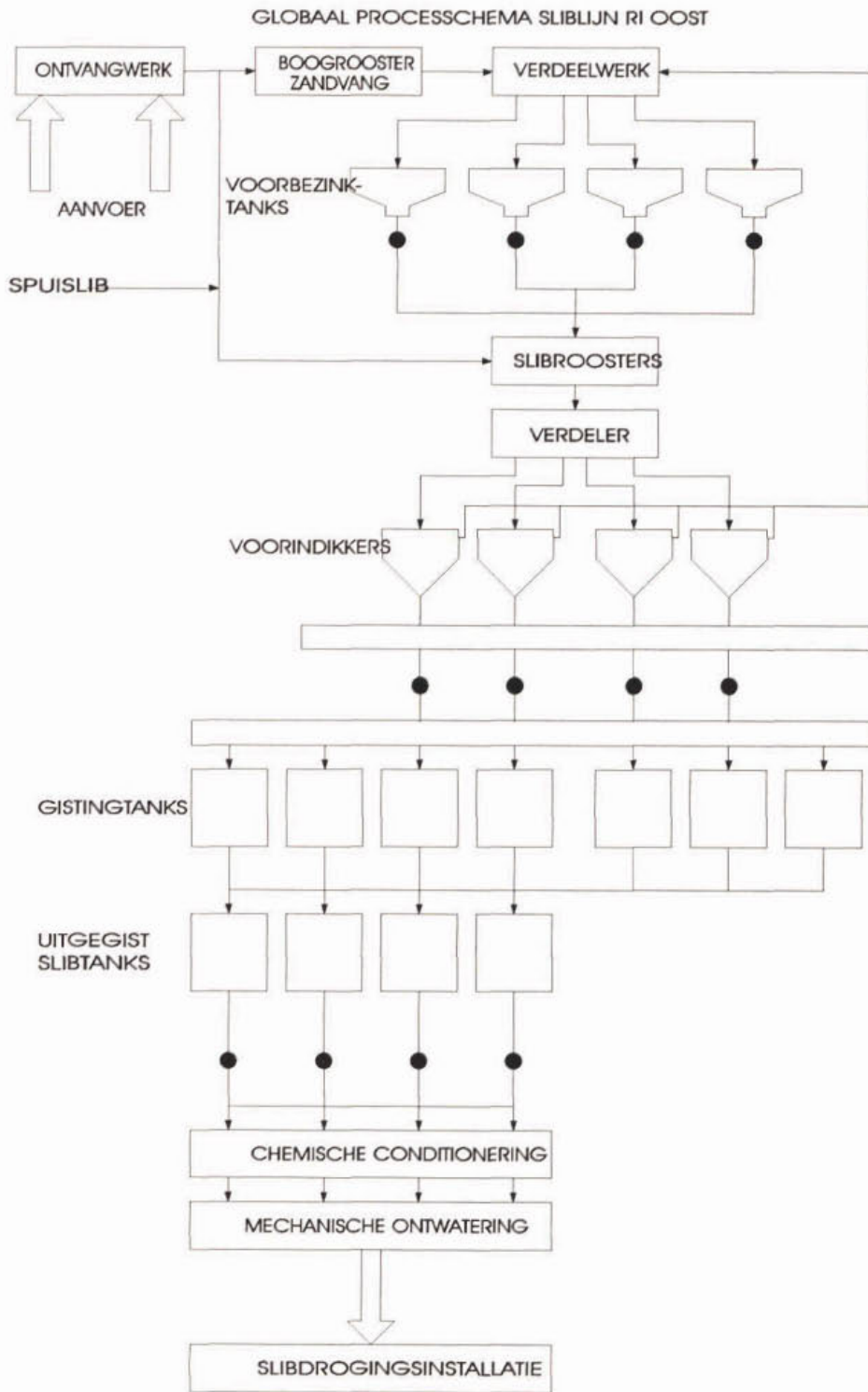
Bijlage 1a: Processchema van de waterlijn van rwzi Oost Amsterdam



Afbeelding 12



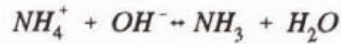
Bijlage 1b: Processchema van de sliblijn van rwzi Oost Amsterdam



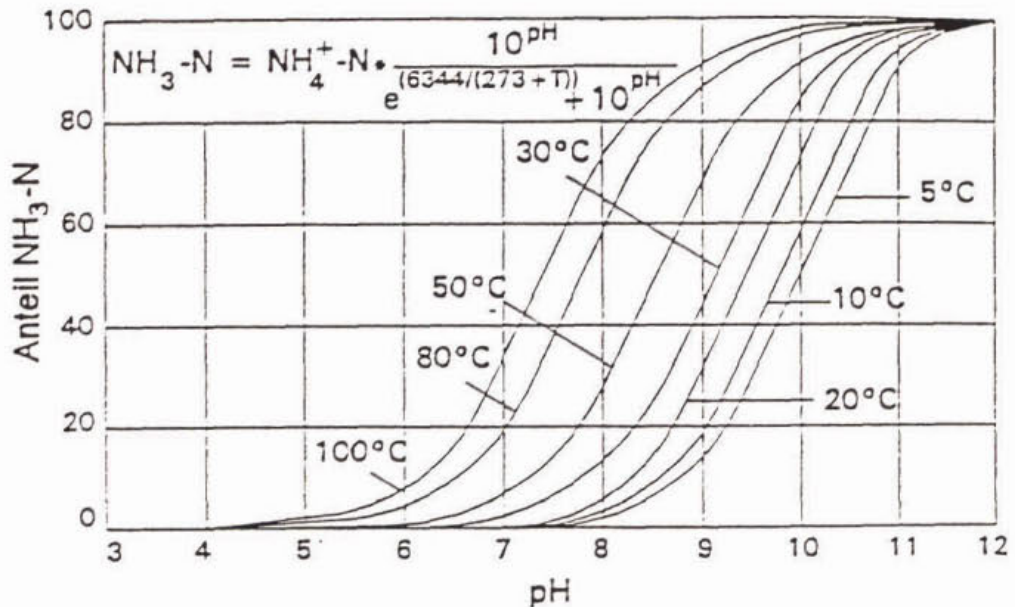
Afbeelding 13

## Bijlage 2: Theoretische achtergrond van het stripproces

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) is een in water goed oplosbare component en is derhalve goed stripbaar. In een waterige oplossing stelt zich het volgende evenwicht in:



De ligging van het evenwicht wordt bepaald door de temperatuur en de pH volgens onderstaande formule en is grafisch weergegeven in afbeelding 14.



**Afbeelding 14** Dissociatie-evenwicht van  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$

Uit afbeelding 14 blijkt dat het evenwicht ammoniak/ammonium bij verhoging van de pH en/of de temperatuur naar het gasvormige  $\text{NH}_3$  verschuift. Het rendement van het stripproces zal op deze manier toenemen.

Het principe van het strippen kan beschreven worden als een evenwichtssituatie. De vluchtige component in waterfase (in dit geval ammoniak) diffundeert in een stripkolom naar de gasfase (stoom). Beide fasen worden in tegenstroom door de stripkolom gevoerd. Het uitwisselend oppervlak in de kolom wordt vergroot door middel van een pakking.

Na het instellen van een evenwicht is de vluchtige component verdeeld over de twee fasen en kan als volgt worden weergegeven:

$$y = \frac{H_e}{P} * x = m * x$$

waarin:

- x = massafractie oplosbare stof ( $\text{NH}_3$ ) in de waterfase (gestript slibwater) [mol/mol]
- y = massafractie oplosbare stof ( $\text{NH}_3$ ) in de gasfase (stoom) [mol/mol]
- $H_e$  = Henry-constante [Pa]
- P = systeemdruk [Pa]
- m = verdelingscoëfficiënt [-]

De Henry-constante is stofspectiefiek en is afhankelijk van de temperatuur.



De contactplaats waar de uitwisseling tussen het scheidend agens (stoom) en de voeding (slibwater) wordt 'trap' genoemd. Het bovengenoemde evenwicht dat in deze trap ingesteld wordt, wordt beschreven als een 'evenwichtstrap'.

Afhankelijk van het gewenste scheidingsrendement wordt een aantal evenwichtstrappen na elkaar geschakeld in een stripkolom.

Bij het stripproces is het gewenst een zo groot mogelijk gewicht aan oplosbare stof in de gasfase te verkrijgen. De scheidingsfactor ( $S$ ) geeft de grootte van de verhouding aan oplosbare stof in de gas- en waterfase weer en is een maat voor de produktiviteit per evenwichtstrap:

$$S = m \cdot \frac{V}{L}$$

waarin:  $V$  = totale vracht gas (stoom) [mol/h]  
 $L$  = totale vracht voeding (slibwater) [mol/h]

Het theoretische rendement van de stripkolom kan dan als volgt worden weergegeven:

$$\eta_{\text{theoretisch}} = 1 - \left( \frac{1-S}{1-S^{n+1}} \right) \cdot 100 \quad [\%]$$

waarin:  $n$  = het aantal theoretische evenwichtstrappen in de stripkolom

Het aantal theoretische evenwichtstrappen ( $n$ ) is aan de hand van het gewenste scheidingsrendement te berekenen met onderstaande formule:

$$n = \frac{\log\left(1 - \frac{x_0}{x_n} \cdot (1-S)\right)}{\log S} - 1$$

waarin:  $x_0$  = concentratie oplosbare stof ( $\text{NH}_3$ ) in de voeding (slibwater) [mol/l]  
 $x_n$  = concentratie oplosbare stof ( $\text{NH}_3$ ) in de waterfase (gestript slibwater) na de  $n^{\text{de}}$  evenwichtstrap [mol/l]

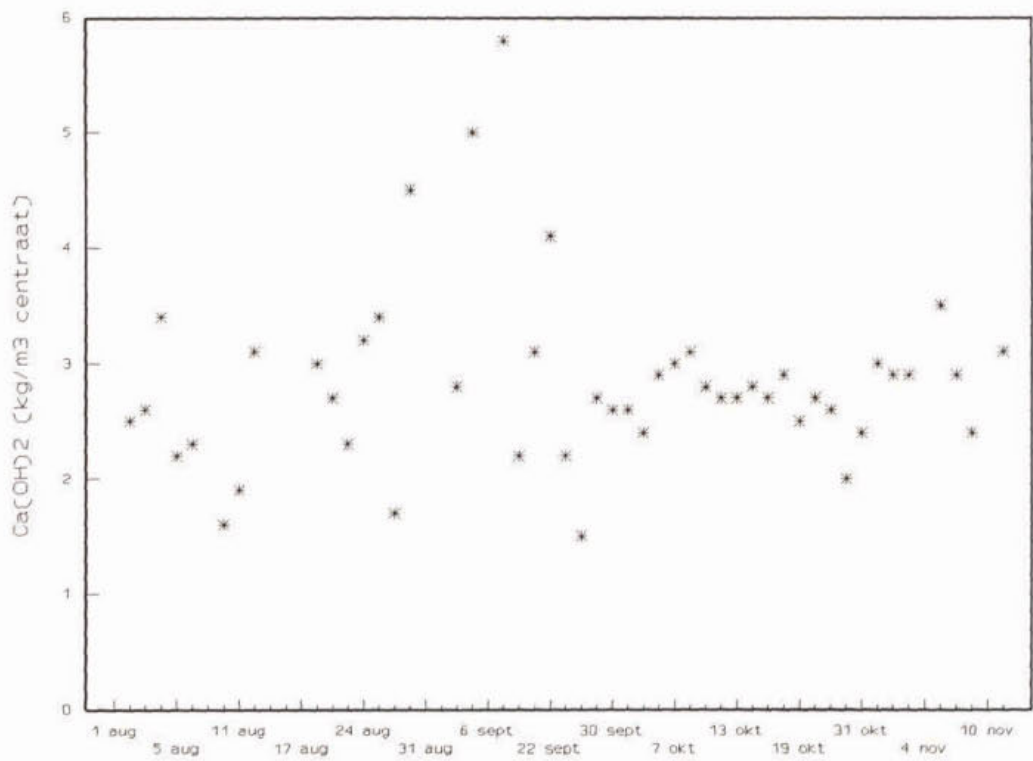
De hoogte van een stripkolom ( $H$ ) komt dan overeen met:

$$H = n \cdot HTU$$

waarin:  $HTU$  = de lengte van één evenwichtstrap

De  $HTU$ -waarde is afhankelijk van het type pakking en is veelal bekend bij de leverancier van de pakking. Tevens kan deze  $HTU$ -waarde proefondervindelijk worden vastgesteld.

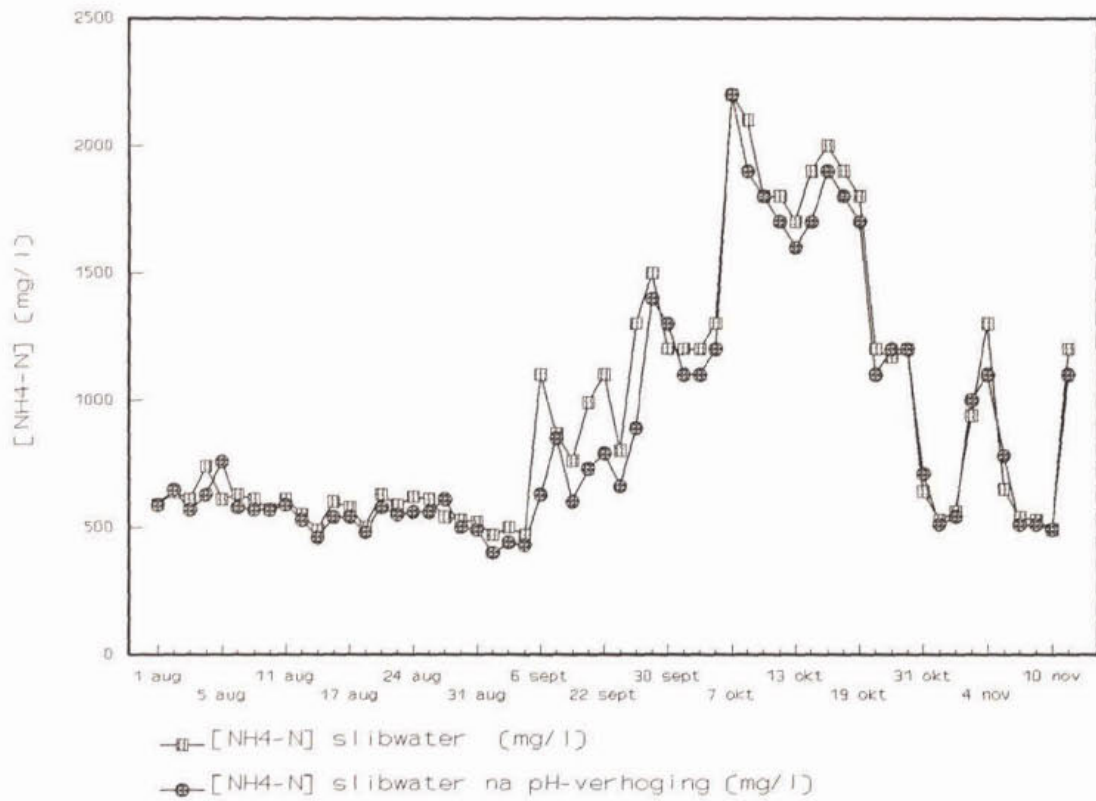
Bijlage 3: Kalkverbruik



Afbeelding 15 Kalkverbruik ten behoeve van de pH-verhoging

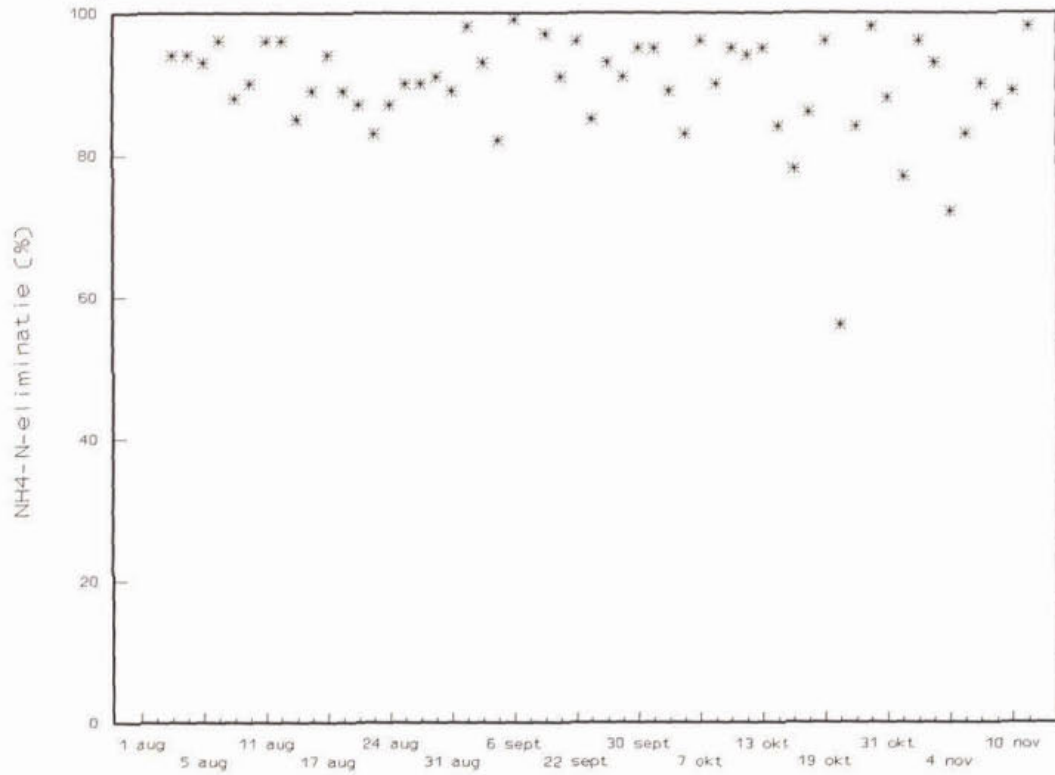


## Bijlage 4: Ammoniumconcentratie in slibwater en slibwater na pH-verhoging

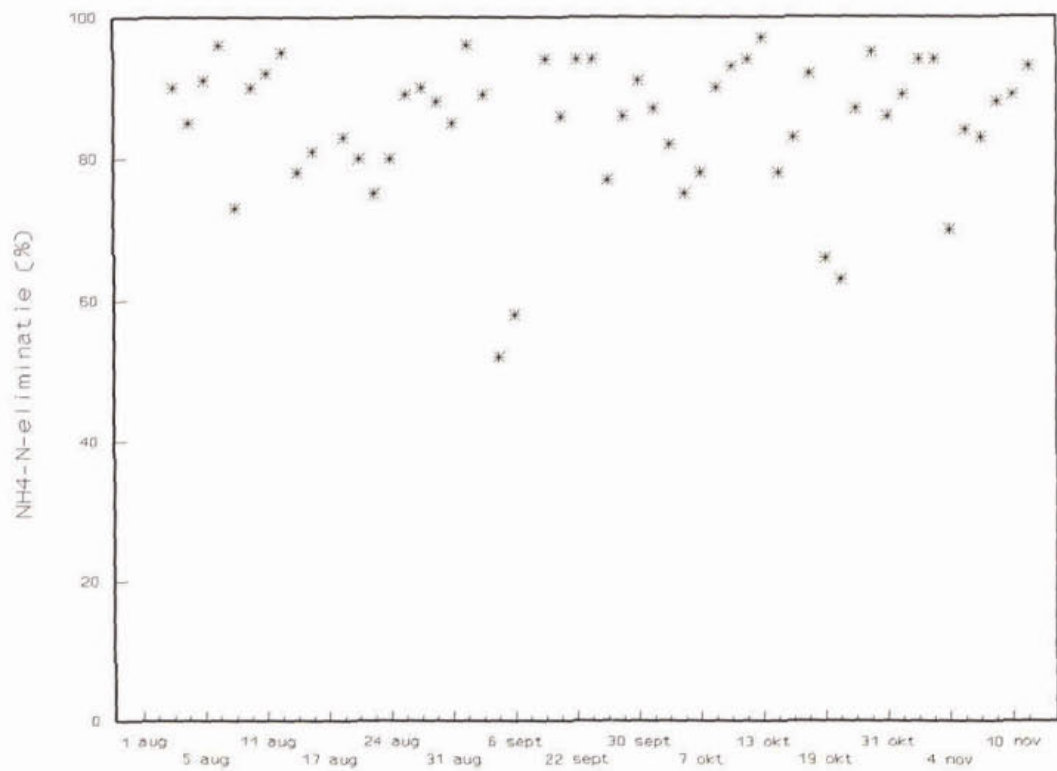


Afbelding 16 Ammoniumconcentratie in het slibwater voor en na pH-verhoging

Bijlage 5:  $\text{NH}_4\text{-N}$  eliminatie over de kolommen



Afbeelding 17  $\text{NH}_4\text{-N}$ -eliminatie in de stripkolom (%)



Afbeelding 18  $\text{NH}_4\text{-N}$ -eliminatie in de stoomstripper



Bijlage 6: Temperaturen van de verschillende massastromen

Temperatuur in °C				
	slibwater	slibwater na warmtewisselaar	in stripkolom	gestript slibwater na warmtewisselaar
ma 1-8	28,9	87,0	102,5	35,1
di 2-8	32,2	86,3	104,3	35,6
wo 3-8	32,7	76,8	104,1	33,0
do 4-8	35,1	83,8	103,3	35,8
vr 5-8	33,0	91,5	102,9	39,2
ma 8-8	32,6	96,4	103,7	43,6
di 9-8	33,0	88,7	103,8	35,2
wo 10-8	33,8	95,2	103,8	43,3
do 11-8	35,8	96,9	103,0	43,9
vr 12-8	32,2	95,4	102,2	44,4
ma 15-8	28,3	93,7	103,0	35,8
di 16-8	29,1	85,3	103,8	33,5
wo 17-8	29,4	95,4	101,9	51,4
vr 19-8	35,1	94,7	103,5	38,2
ma 22-8	35,8	94,2	104,2	34,3
di 23-8	41,3	96,9	103,5	37,4
wo 24-8	33,3	95,4	103,5	37,1
do 25-8	34,8	94,5	103,5	36,9
vr 26-8	38,7	94,7	103,3	37,1
di 30-8	42,4	92,8	102,4	72,8
wo 31-8	43,6	84,2	103,8	40,9
do 1-9	38,9	96,0	103,0	39,4
ma 5-9	39,2	94,0	102,5	33,5
di 6-9	37,1	93,5	103,5	40,8
wo 7-9	35,3	94,5	102,7	42,6
vr 16-9	34,8	94,0	102,7	32,2
wo 21-9	42,0	94,5	103,0	29,1
do 22-9	42,3	89,2	100,0	33,0
di 27-9	32,2	95,7	103,3	32,5
wo 28-9	36,1	97,2	103,8	43,9
do 29-9	41,8	90,7	103,3	36,6
vr 30-9	49,6	87,0	101,4	34,8
di 4-10	47,0	90,5	102,5	30,7
wo 5-10	33,3	92,2	103,0	36,1
do 6-10	35,1	93,2	101,4	38,9
vr 7-10	41,8	93,7	101,2	34,3
ma 10-10	41,3	94,2	102,5	34,5

Temperatuur in °C				
	slibwater	slibwater na warmtewisselaar	in stripkolom	gestript slibwater na warmtewisselaar
di 11-10	42,0	95,4	102,2	39,5
wo 12-10	43,3	93,2	102,5	38,4
do 13-10	40,2	83,5	102,2	36,4
vr 14-10	39,7	95,4	103,5	36,1
ma 17-10	38,7	94,2	102,5	35,1
di 18-10	38,9	78,1	102,2	28,6
wo 19-10	23,4	88,3	101,4	51,9
do 20-10	35,8	91,5	102,2	30,9
do 27-10	42,1	93,6	102,7	37,2
vr 28-10	41,0	62,5	102,7	42,8
ma 31-10	41,3	91,6	103,0	31,5
di 1-11	40,0	94,5	101,7	35,8
wo 2-11	41,0	93,0	102,7	33,5
do 3-11	35,8	90,7	102,7	31,7
vr 4-11	39,7	92,0	101,4	36,4
ma 7-11	41,0	93,7	103,5	30,4
di 8-11	43,9	92,2	102,5	36,6
wo 9-11	39,5	96,4	103,0	40,0
do 10-11	40,5	95,0	104,1	37,1
vr 11-11	40,0	88,5	102,5	34,5



## Bijlage 7: CZV-balans

		slibwater	slibwater na pH verh.	ammoniakiaal water	gestript slibwater	ammoniakiaal water + ge- stript slibwater (uit)	% uit van slib- water
		g/uur	g/uur	g/uur	g/uur		
1	aug	157	122	-	-	-	-
2	aug	148	158	-	-	-	-
3	aug	428	127	0,000	100	100	21
4	aug	1280	110	-	104	104	5
5	aug	1320	89	-	75	75	16
8	aug	187	114	-	105	105	8
9	aug	122	82	-	83	83	-1
10	aug	126	108	0,311	102	102	6
11	aug	1021	82	-	76	76	7
12	aug	128	95	-	84	84	12
15	aug	249	66	-	61	61	8
16	aug	132	81	-	71	71	12
17	aug	86	51	0,000	47	47	8
18	aug						
19	aug	140	105	-	108	108	-3
22	aug	317	90	0,000	90	90	0
23	aug	165	82	0,000	89	89	-9
24	aug		73	0,226	76	76	-4
25	aug		103	0,244	89	89	14
26	aug		110	0,167	99	99	10
29	aug		-	-	-	-	-
30	aug		93	0,378	106	106	-14
31	aug		64	0,000	79	79	-23
1	sept		29	0,243	34	34	-17
2	sept		114	0,000	109	109	4

## RWA - Sector Zuivering en Bemaling

		slibwater	slibwater na pH verh.	ammoniaakaal water	gestript slibwater	ammoniaakaal water + ge- stript slibwater (uit)	% uit van slib- water
		g/uur	g/uur	g/uur	g/uur		
5	sept		82	0,179	135	135	-65 <sup>2</sup>
6	sept		34	0,000	34	34	0
7	sept		68	0,188	55	55	19
8	sept	-	-	-	-	-	-
9	sept	-	-	-	-	-	-
12	sept	-	-	-	-	-	-
13	sept	-	-	-	-	-	-
14	sept	-	-	-	-	-	-
15	sept	-	-	-	-	-	-
16	sept		100	0,378	96	96	4
19	sept	-	-	-	-	-	-
20	sept	-	-	-	-	-	-
21	sept		92	0,319	85	85	8
22	sept		79	0,458	34	34	57 <sup>3</sup>
23	sept	-	-	-	-	-	-
26	sept	-	-	-	-	-	-
27	sept		56	0,482	51	51	9
28	sept		84	0,339	76	76	10
29	sept		131	0,359	90	90	31
30	sept		78	0,329	67	67	14
3	okt	-	-	-	-	-	-
4	okt	201	92	0,388	92		
5	okt	73	74	0,377	86	86	-16
6	okt		53	0,161	110	110	-108 <sup>3</sup>
7	okt		74	0,293	78	78	-5

<sup>2</sup> problemen met verdichter

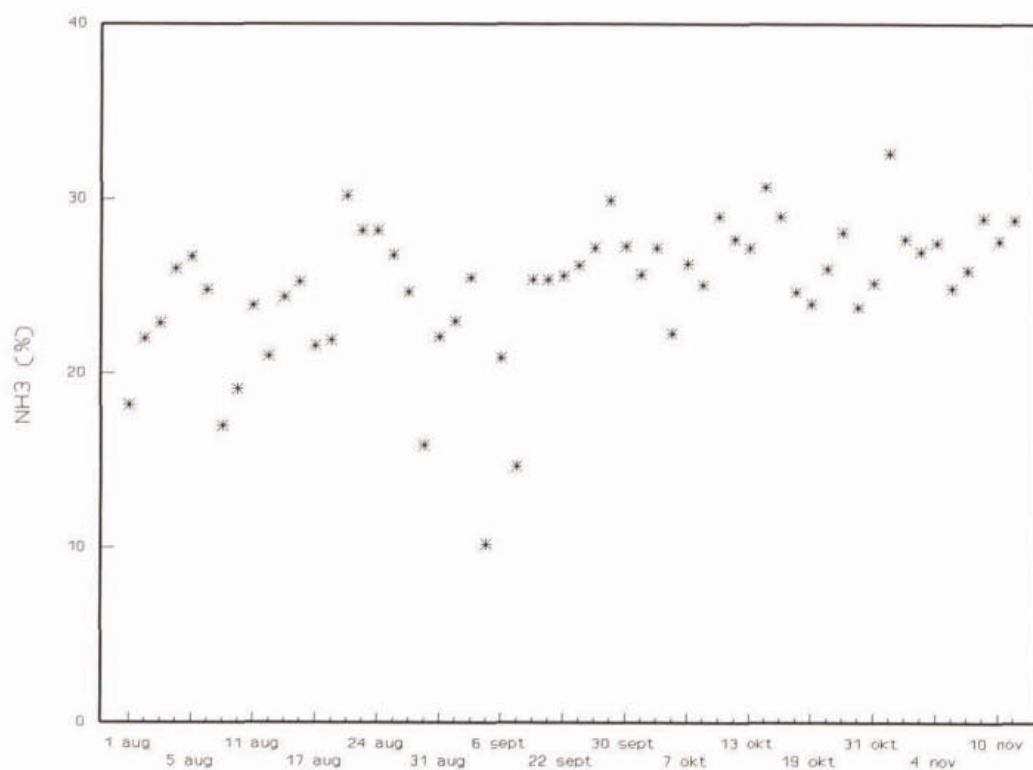
<sup>3</sup> verstopping warmtewisselaar

## RWA - Sector Zuivering en Bemaling

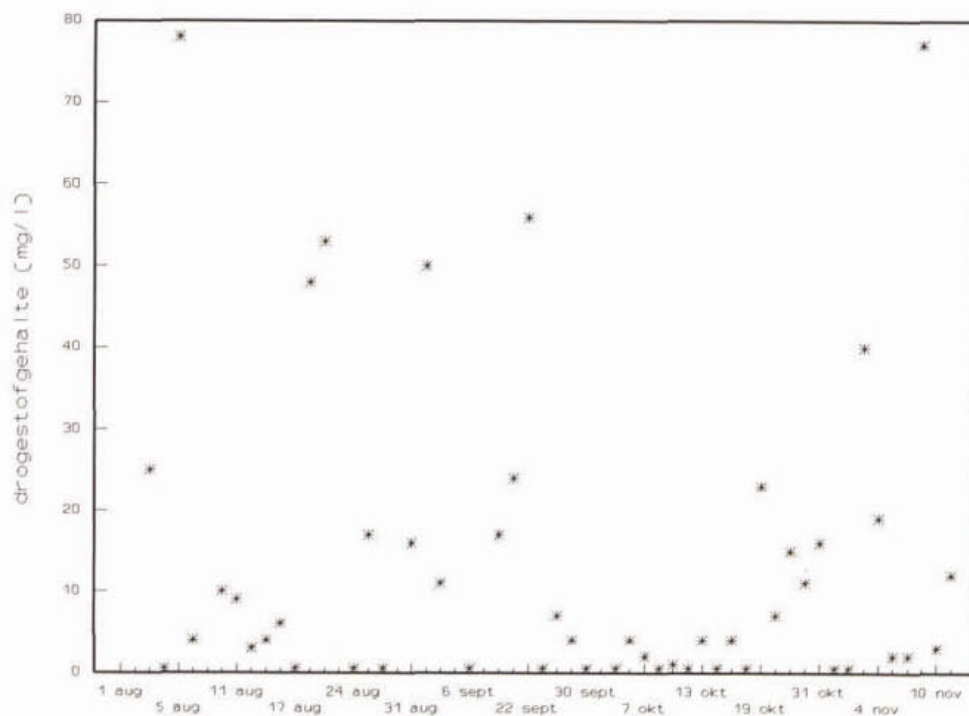
		slibwater	slibwater na pH verh.	ammoniakal water	gestript slibwater	ammoniakal water + ge- stript slibwater (uit)	% uit van slib- water
		g/uur	g/uur	g/uur	g/uur		
10	okt		78	0,550	76	76	3
11	okt		66	0,402	66	66	0
12	okt		54	0,404	52	52	4
13	okt		46	0,482	44	44	4
14	okt		69	0,300	57	57	17
17	okt		77	0,463	64	64	17
18	okt		70	0,330	60	60	14
19	okt		67	0,393	167	167	-149 <sup>3</sup>
20	okt		70	0,137	68	68	3
21	okt	-	-	-	-	-	-
24	okt	-	-	-	-	-	-
25	okt	-	-	-	-	-	-
26	okt	-	-	-	-	-	-
27	okt		69	0,048	61	61	12
28	okt		49	0,244	34	34	31 <sup>3</sup>
31	okt		92	0,033	82	82	11
1	nov		61	0,212	56	56	8
2	nov	74	58	0,240	45	45	22
3	nov	70	55	0,271	50	50	9
4	nov		58	-	59	59	-2
7	nov		53	0,197	52	52	2
8	nov		47	0,226	35	35	26
9	nov	95	55	0,245	56	56	-2
10	nov		33	-	31	31	6
11	nov		44	0,254	30	30	32



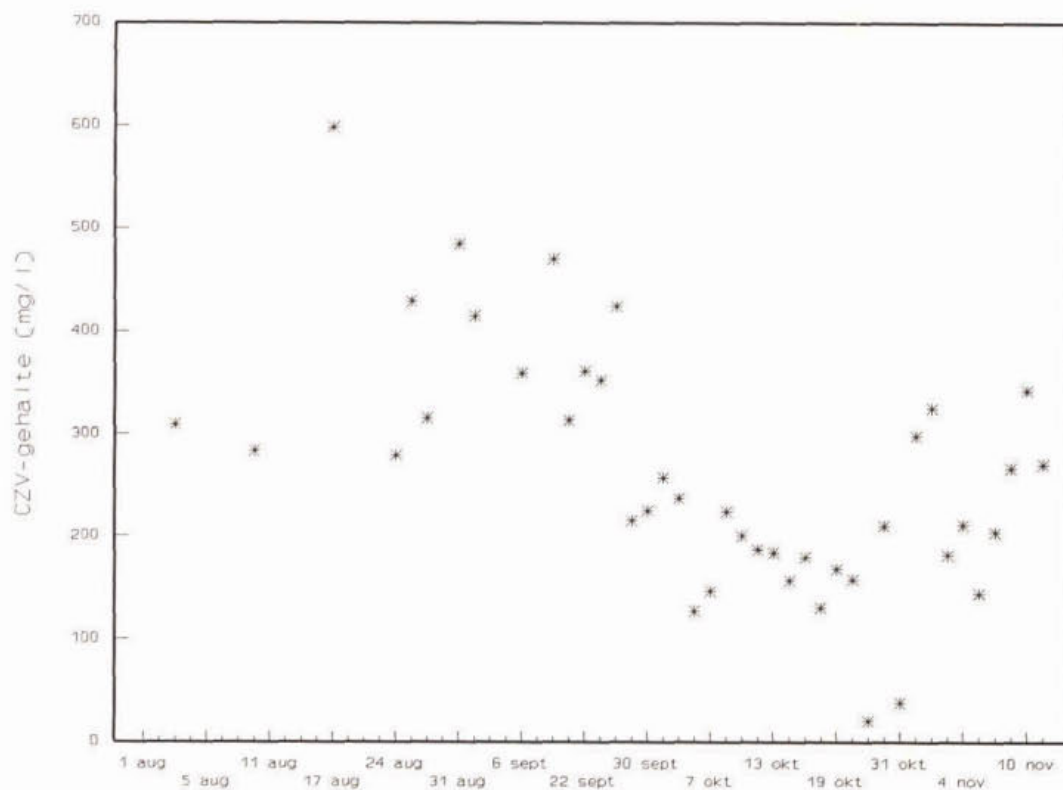
**Bijlage 8: Analyses van het ammoniakale water**



**Afbeelding 19** Percentage NH<sub>3</sub> in het ammoniakale water



**Afbeelding 20** Drogestofgehalte (mg/l) in het ammoniakale water



Afbeelding 21 CZV-gehalte (mg/l) in het ammoniakale water

## RWA - Sector Zuivering en Bemaling

### Bijlage 9: Kostenraming

uitgangspunten	m3/d	100.000 ie			400.000 ie			ri Oost
		50	100	200	200	400	800	
debit								
drogestof	kg/d	50	100	200	200	400	800	1300
ammonium-stikstof	kg/d NH <sub>4</sub> -N	90	90	90	360	360	360	865
totaal stikstof	kg/d N-tot.	95	95	95	380	380	380	870
NH <sub>4</sub> -N concentratie gestript slibwater	mg/l	100	100	100	100	100	100	100
<b>investeringskosten</b>								
stroomstripinstallatie								
civiel	f	180000	180000	180000	180000	180000	180000	180000
mech./el.	f	2054800	2174700	2366100	2384800	2750000	3336300	4164600
voorbehandeling								
civiel	f	59000	66000	88000	88000	143000	203000	350000
mech./el.	f	203000	203000	213000	213000	297000	354000	525000
kalkoploseenheid	f	140000	140000	159000	159000	159000	159000	170000
totale investeringskosten	f	2636800	2763700	3006100	3024800	3529000	4232300	5389600
bijkomende kosten 10%	f	263680	276370	300610	302480	352900	423230	538960
onvoorzien 10%	f	290048	304007	330671	332728	388190	465553	592856
investeringen	f	3190528	3344077	3637381	3660008	4270090	5121083	6521416
advieskosten 10%	f	319053	334408	363738	366001	427009	512108	652142
subtotaal	f	3509581	3678485	4001119	4026009	4697099	5633191	7173558
BTW 17,5%	f	614177	643735	700196	704552	821992	985808	1255373



## RWA - Sector Zuivering en Bemaling

uitgangspunten		100.000 ie			400.000 ie			ri Oost
debiet	m3/d	50	100	200	200	400	800	1300
stichtingskosten totaal	<i>f</i>	4123757	4322220	4701315	4730560	5519091	6619000	8428930
<b>chemicaliënverbruik</b>								
CaO-dosering	kg CaO/m3	10,76	5,38	2,69	10,76	5,38	2,69	3,65
massastroom Ca(OH) <sub>2</sub> 10%	t/h	0,296	0,296	0,296	1,185	1,185	1,185	2,610
CaO-verbruik	t/d	0,538	0,538	0,538	2,152	2,152	2,152	4,740
prijs CaO incl. BTW	<i>f</i> /ton	270,25	270,25	270,25	270,25	270,25	270,25	270,25
jaarkosten CaO	<i>f</i> /jaar	53069	53069	53069	212276	212276	212276	467579
<b>restprodukten</b>								
kalkslib	t/d	0,9	0,9	1,0	3,4	3,6	4,0	8,2
NH <sub>3</sub> -water (25%)	t/d	0,413	0,389	0,340	1,651	1,554	1,360	3,570
opbrengst NH <sub>3</sub> -water	<i>f</i> /ton	75	75	75	75	75	75	75
opbrengst	<i>f</i> /jaar	11306	10649	9308	45196	42541	37230	97729
<b>energieverbruik</b>								
vermogen verdichter	kW	12,9	20,0	25,9	47,1	68,2	91,8	178,8
vermogen pomp sproeiverdamper	kW	0,7	0,9	1,4	1,3	1,9	2,8	3,8
vermogen overige pompen e.d.	kW	12,4	15,6	19,3	20,7	28,1	42,2	52,1
totaal elektrisch vermogen	kW	26,0	36,5	46,5	69,1	98,2	136,8	234,7
prijs per kWh		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
jaarkosten incl. BTW	<i>f</i> /jaar	34164	47961	61101	90797	129035	179755	308396
te produceren stoom	t/h	0,034	0,069	0,148	0,139	0,285	0,598	0,944
stoomprijs	<i>f</i> /ton	50	50	50	50	50	50	50

## RWA - Sector Zuivering en Bemaling

uitgangspunten	100.000 ie				400.000 ie				ri Oost
	50	100	200	200	200	400	800	1300	
<b>debit</b>	<b>m3/d</b>								
jaarkosten	f/jaar	14892	30222	64824	60882	124830	261924	413472	
totale jaarkosten	f/jaar	49056	78183	125925	151679	253865	441679	721868	
<b>onderhoudskosten</b>									
civiel	%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
mech./el.	%	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
jaarkosten	f/jaar	98995	104159	113040	113838	133389	161253	204999	
<b>bediening</b>									
aantal personen		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
jaarprijs p.p.	f/p/jaar	80000	80000	80000	80000	80000	80000	80000	80000
jaarkosten		40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000
<b>kapitaalslasten</b>									
levensduur civiel	jaar	30	30	30	30	30	30	30	30
levensduur mech./el.	jaar	15	15	15	15	15	15	15	15
rentevoet		8	8	8	8	8	8	8	8
annuïteit civiel		0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
annuïteit mech./el.		0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117
jaarkosten	f/jaar	465179	488059	530553	533969	623685	749559	954093	
bedrijfsvoeringskosten	f/jaar	229814	264762	322727	472597	596989	817979	1336718	
exploitatiekosten totaal	f/jaar	694993	752821	853280	1006567	1220673	1567537	2290810	
<b>exploitatiekosten per kg N verwijderd</b>									
	f	22,4	25,8	33,4	8,1	10,5	15,3	8,5	

