

1995-12_stikstofrijke-retourstromen-
luchtstripinstallaties

stowa

**Behandeling van stikstofrijke
retourstromen**

op rioolwaterzuiveringsinrichtingen

Praktijkonderzoek aan lucht- en stoom-
stripinstallaties bij de RWZI Utrecht

95-12



PROVINCIE ■ UTRECHT

Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen



Praktijkonderzoek aan lucht- en stoomstrip-
installaties bij de RWZI Utrecht

95-12

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. 90.74476.30.9

INHOUD		i
TEN GELEIDE		iii
SAMENVATTING		1
1	INLEIDING	4
2	DOELSTELLING	6
3	BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM	7
	3.1 Beschrijving van de techniek	7
	3.1.1 <i>Stripproces algemeen</i>	7
	3.1.2 <i>Ammoniakstrippen</i>	7
	3.1.3 <i>Luchtbehandeling</i>	9
	3.2 Toepassingen	10
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 installaties</i>	11
	4.1.3 <i>Voorbehandeling</i>	11
	4.1.4 <i>Luchtstripinstallatie</i>	12
	4.1.5 <i>Stoomstripinstallatie</i>	12
	4.2 Analyses en metingen	12
	4.3 Gefaseerde uitvoering	17
5	RESULTATEN	19
	5.1 Bedrijfsvoeringsaspecten	19
	5.1.1 <i>Scaling</i>	19
	5.1.2 <i>Afkoeling bij hoge temperaturen</i>	19
	5.1.3 <i>Vocht in de striplucht</i>	19
	5.1.4 <i>pH-verschuiving bij hoge temperaturen</i>	19
	5.1.5 <i>Stoomdebietmeting</i>	21
	5.2 Verloop van het onderzoek	21
	5.2.1 <i>Algemeen</i>	21
	5.2.2 <i>Resultaten luchtstripinstallatie</i>	21
	5.2.3 <i>Scrubber</i>	24
	5.2.4 <i>Luchtverbranding</i>	25
	5.2.5 <i>Stoomstrippen</i>	25
	5.2.6 <i>Voorbehandeling</i>	25
6	EVALUATIE	29
	6.1 N-verwijdering algemeen	29

6.1.1	<i>Luchtstripper</i>	29
6.1.2	<i>Stoomstrippen</i>	30
6.2	Verwijdering van overige componenten	30
6.3	Procescondities	31
6.3.1	<i>Luchtstrippen</i>	31
6.3.2	<i>Scrubber</i>	35
6.3.3	<i>Katalytische verbranding</i>	35
6.3.4	<i>Stoomstripper</i>	35
6.4	Chemicaliënverbruik	36
6.5	Energieverbruik	37
6.6	Productie van reststoffen	37
6.7	Bedrijfsvoeringsaspecten	38
6.7.1	<i>Scaling</i>	38
6.7.2	<i>Condensvorming</i>	38
6.7.3	<i>Voorbehandeling</i>	39
6.8	Knelpunten	39
6.9	Dimensioneringsgrondslagen	39
6.9.1	<i>Luchtstripper</i>	39
6.9.2	<i>Scrubber</i>	40
6.9.3	<i>Katalytische verbrandingsinstallatie</i>	40
6.9.4	<i>Stoomstripinstallatie</i>	40
6.9.5	<i>Rectificeerkolom</i>	40
6.10	Algemene toepasbaarheid van het systeem	40
7	KOSTEN	41
7.1	Inleiding	41
7.2	Standaard-rwzi van 100.000 i.e.	42
7.3	Standaard rwzi van 400.000 i.e.	43
7.4	Rwzi Utrecht	44
7.5	Invloed van de reststoffenproductie op de kosten	45
8	CONCLUSIES	46
9	REFERENTIELIJST	47
BIJLAGEN:		
1.	Resultaten van het luchtstripproces	49
2.	Resultaten van het stoomstripproces	73
3.	Samenstelling van de reststoffen	83
4.	Specificatie van een installatie voor 100.000 i.e. + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten	85
5.	Specificatie van een installatie voor 400.000 i.e. + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten	95
6.	Specificatie van een installatie voor de rwzi Utrecht + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten	105
7.	Samenvatting van de theorie van het HTU-NTU-concept	109
8.	Specificatie van de praktijkinstallaties	113

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 luchtstrippen en stoomstrippen van ammoniak op de rwzi Utrecht, 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 aan het luchtstrippen en stoomstrippen van ammoniak op de rwzi Utrecht, uitgevoerd door DHV Water B.V. (projectteam ir. H.F. van der Roest, ir. J.M. Janus, ing. P.C.A.M. van Helvoort en ir. R.J. van der Kuij). De stripprocessen kunnen op praktijkschaal worden toegepast voor de behandeling van stikstofrijk retourwater, wanneer aan een aantal voorwaarden voor de voorbehandeling van dit water 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 airlift-reactor;
- het ammoniakstripproces (luchtstripper en stoomstripper);
- het MAP/CAFR-proces.

Dit praktijkonderzoek diende 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 met lucht- en stoomstripinstallaties. Dit is een fysisch/chemische techniek waarbij ammoniak bij hoge pH uit het stikstofrijke water wordt gestript.

Toepasbaarheid van het systeem

Het stripproces kan op praktijkschaal worden toegepast voor de behandeling van stikstofrijk water uit de slibverwerking van rwzi's, mits wordt voldaan aan een aantal randvoorwaarden voor de voorbehandeling. Als voorbehandeling van het water is naast verwijdering van bezinkbare stoffen, zwevendstof en drijflagen een vergaande verwijdering van (bi)carbonaat noodzakelijk om scalingsproblemen te voorkomen.

De resultaten van het onderzoek kunnen goed worden gebruikt voor het opschalen naar praktijkinstallaties. Dit geldt zowel voor het luchtstripproces bij lage en hoge temperatuur als voor het stoomstripproces.

Voor het luchtstripproces zijn de maatgevende randvoorwaarden voor de dimensionering, afhankelijk van de temperatuur:

	T = 25°C	T = 50°C
R/Q (Nm ³ /m ³)	≥ 2.000	≥ 1.000
pH	≥ 10,5	≥ 9,5
HTU (m)	0,7 - 1,0	0,7 - 1,0

Voor het stoomstripproces zijn de maatgevende randvoorwaarden voor de dimensionering.

stoom/waterverhouding	$\geq 150 \text{ kg/m}^3$
pH	≥ 9
HTU (m)	$\approx 0,4$

Met de stripprocessen kan een vergaande ammoniumverwijdering ($\geq 95\%$) worden gerealiseerd. In het onderzochte concentratiebereik van 400 - 1.800 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ is het verwijderingsrendement onafhankelijk van de stikstofconcentratie.

Bedrijfsvoering

Bij toepassing van de stripprocessen in de praktijk zijn de volgende aspecten van belang:

Voorbehandeling

In het stikstofrijke water is naast ammoniumstikstof onder meer bicarbonaat en calcium aanwezig. Bij de verhoogde pH van het stripproces ontstaat calciumcarbonaat, dat op diverse plaatsen (warmtewisselaar, leidingen, stripkolom) leidt tot ongewenste afzettingen (scaling). Hierdoor neemt de bedrijfstijd van de installatie af. Om scaling te verwijderen is het immers noodzakelijk om de aangegroeide onderdelen met een zure oplossing te verwijderen. Scaling kan worden voorkomen door de hiervoor verantwoordelijke componenten zoveel mogelijk vooraf te verwijderen.

Door de dosering van het relatief goedkope kalk wordt naast calciumcarbonaat ook calciumfosfaat neergeslagen. Tevens wordt een groot deel van het aanwezige zwevend stof uitgevlokt. De gevormde neerslagen en vlokken worden in een (afgedichte) bezinktank verwijderd.

Het afgescheiden slib wordt teruggevoerd naar de slibverwerking. Deze voorbehandeling wordt bij de gerealiseerde praktijkinstallaties voor de behandeling van stikstofrijke retourstromen reeds toegepast.

pH-regeling

Instelling van de juiste pH is voor het rendement van het stripproces van groot belang. Een goede en betrouwbare pH-regeling is daarom noodzakelijk. In dit geval wordt een regeling in twee trappen geïnstalleerd, waarbij de pH in eerste instantie in de flocculatie/bezinktank wordt geregeld en de instelling op de gewenste waarde voor het stripproces plaatsvindt in de toevoerleiding van de striptoren naar de warmtewisselaar.

Buffering

Om tijdelijke uitval van de stripinstallatie (storingen; schoonmaken met zuur) te overbruggen kan het stikstofrijke water worden gebufferd. Het volume van de buffer is afgestemd op minimaal 4 uur buffertijd.

Kosten

De toepassing van de stripprocessen voor de behandeling van stikstofrijk water is een aantal dimensioneringsvoorbeelden uitgewerkt. De uitgangspunten van de standaard rwzi's zijn in tabel 1 samengevat.

Een overzicht van de stichtingskosten, de exploitatiekosten en de kosten per kg N(Kj)verwijderd, zijn in tabel 2 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	34	136	68	34

Tabel 2
Kostenoverzicht van de lucht- en stroomstripinstallaties voor de standaard-rwzi's

variant (nr.)	capaciteit (i.e.)	NH ₄ -N-conc. (mg/l)	strip-temperatuur (°C)	stichtingskosten	exploitatiekosten	kosten per kg N(Kj) _{verw}
1	100.000	1800	50	3.200.000	560.000	17,90
2	100.000	900	50	3.490.000	620.000	19,90
3	100.000	450	50	3.880.000	710.000	22,80
4	400.000	1800	50	3.970.000	950.000	7,60
5	400.000	900	50	4.700.000	1.120.000	9,00
6	400.000	450	50	5.770.000	1.400.000	11,20
1	100.000	1800	100	2.840.000	560.000	17,90
2	100.000	900	100	2.940.000	670.000	21,50
3	100.000	450	100	3.130.000	880.000	28,20
4	400.000	1800	100	3.120.000	1.020.000	8,20
5	400.000	900	100	3.540.000	1.440.000	11,50
6	400.000	450	100	4.440.000	2.300.000	18,40

Conclusies

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

- Het stripproces kan op praktijkschaal worden toegepast voor de behandeling van stikstofrijk water uit de slibverwerking van rwzi's, mits wordt voldaan aan een aantal randvoorwaarden voor de voorbehandeling.
- Als voorbehandeling van het water is naast verwijdering van bezinkbare stoffen, zwevendstof en drijfslagen een vergaande verwijdering van (bi)carbonaat noodzakelijk om scalingsproblemen te voorkomen.
- De resultaten van het onderzoek kunnen goed worden gebruikt voor het opschalen naar praktijkinstallaties. Dit geldt zowel voor het luchtstripproces bij lage en hoge temperatuur als voor het stroomstripproces.
- Met de stripprocessen kan een vergaande ammoniumverwijdering ($\geq 95\%$) worden gerealiseerd.
- Van de stripprocessen is bij de gehanteerde uitgangspunten het luchtstripproces bij 50°C economisch het meest aantrekkelijk.
- De exploitatiekosten per kg N(Kj)_{verw.} bedragen zijn bij 50°C afhankelijk van de capaciteit van de rwzi en de NH₄-N-ingangconcentratie f 7,60 - f 22,80 per kg N(Kj)_{verw.}

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 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].

Op basis van een bureaustudie is door de Provincie Utrecht besloten om een tweetal processen, te weten ammoniakstrippen en de airlift-reactor 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 (biomembraansysteem);
- 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 stripprocessen (luchtstrippen en stoomstrippen). In hoofdstuk 2 is de doelstelling van het onderzoek weergegeven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van het systeem en hoofdstuk 4 de opzet van het onderzoek. In hoofdstuk 5 wordt 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 stripprocessen voor behandeling van stikstofrijk water in de Nederlandse praktijk situatie.

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

DOELSTELLING

Het onderzoek op de rwzi Utrecht heeft tot doel inzicht te krijgen in de mogelijkheden en beperkingen van behandeling van stikstofrijk water met behulp van stripprocessen, zodat op basis daarvan ontwerpgrondslagen en informatie voor de bedrijfsvoering en stabiliteit van deze behandelingstechnieken 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 ter verbreding van de toepasbaarheid van de onderzoeksresultaten.

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 BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM

3.1 Beschrijving van de techniek

3.1.1 Stripproces algemeen

Strippen is een proces waarbij een in vloeistof opgeloste component wordt verwijderd door de vloeistof in contact te brengen met een gasfase. De gasfase is arm aan de te verwijderen component, waardoor de component als gevolg van het concentratieverschil naar de gasfase wordt overgedragen. Bij luchtstrippen wordt uitgegaan van lucht als gasfase, bij stoomstrippen wordt uitgegaan van stoom.

De snelheid van de stofoverdracht wordt bepaald door het concentratieverschil en de eigenschappen van de specifieke component. Voor een goede stofoverdracht is het uitwisselend oppervlak van belang.

Een veel gebruikte uitvoeringsvorm van luchtstrippen is de striptoren. In een striptoren wordt in het algemeen het water boven en de lucht onder in de striptoren ingebracht, zodat er sprake is van een tegenstroomproces. In de striptoren is voorts een pakking aangebracht, waardoor het uitwisselend oppervlak wordt vergroot.

Stoomstrippen is een techniek, die grote overeenkomsten vertoont met luchtstrippen. Het voornaamste verschil vormt de nabehandeling van de lucht c.q. de stoom. Bij luchtstrippen wordt de lucht in het algemeen nabehandeld door te wassen met zuur, waarbij een NH_4 -zout ontstaat. Bij stoomstrippen kan worden volstaan met condensatie van de stoom, waarna een ammoniakale oplossing resteert. Door recirculatie (refluxen) kan het ammoniakgehalte van de condensaatstroom worden verhoogd.

In de volgende paragraaf zijn de processen die bij het (ammoniak)strippen een belangrijke rol spelen nader toegelicht.

3.1.2 Ammoniakstrippen

Dissociatie-evenwicht

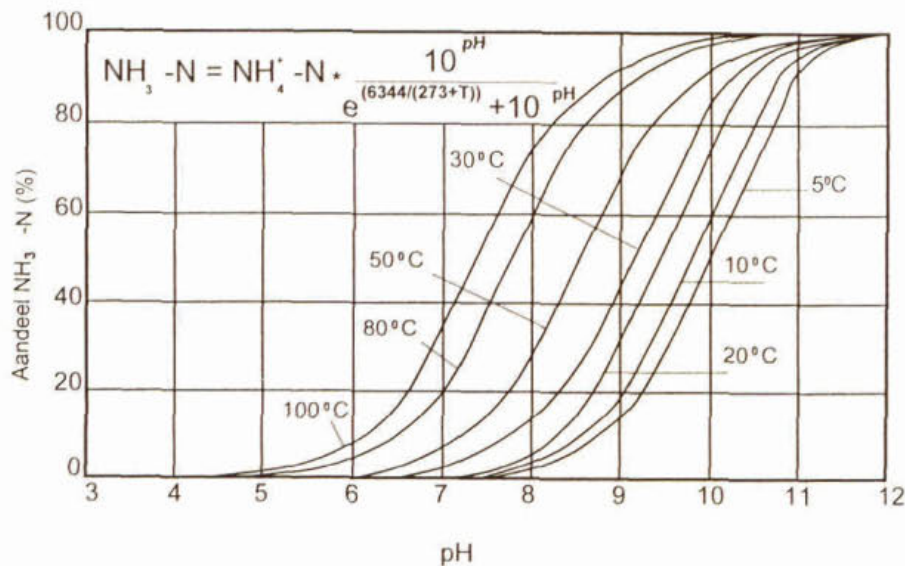
Ammoniak is een in water goed oplosbaar gas en in deze vorm stripbaar. In een waterige oplossing stelt zich een evenwicht in tussen ammoniak en ammonium volgens:



De ligging van het evenwicht wordt bepaald door de temperatuur en de pH volgens de formule [5]:

$$\text{NH}_3\text{-N} = \text{NH}_4^+\text{-N} * \frac{10^{\text{pH}}}{e^{\left(\frac{6344}{273+T}\right)} + 10^{\text{pH}}} \quad (2)$$

Deze formule is grafisch weergegeven in afbeelding 1.



Figuur 1
Dissociatie-evenwicht van $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ [5]

Uit afbeelding 1 blijkt dat bij verhoging van de pH of de temperatuur het evenwicht naar het gasvormige ammoniak verschuift. Hierdoor neemt het rendement van het stripproces toe.

Fasenevenwicht

Wanneer een gasfase door een ammoniakhoudende oplossing wordt geleid, stelt zich een evenwicht in tussen het ammoniak in de luchtfase en het ammoniak in de waterfase. Het evenwicht wordt berekend volgens:

$$y = \frac{He}{P} * x \quad (3)$$

Waarin:

- y = molfractie NH_3 in gas [mol/mol]
- x = molfractie NH_3 in vloeistof [mol/mol]
- He = Henry-constante [Pa]
- P = systeemdruk [Pa]

De Henry-coëfficiënt wordt beschreven als:

$$He = \frac{m}{P} \quad (8)$$

Waarin: m = verdelingscoëfficiënt [-]

De verdelingscoëfficiënt en daarmee de Henry-constante zijn stofspectiefiek en afhankelijk van de temperatuur. Deze afhankelijkheid wordt in de literatuur door veel verschillende relaties beschreven. Ze hebben echter alle gemeen dat bij stijgende temperatuur de verdelingscoëfficiënt toeneemt. Dit houdt in dat bij hogere temperatuur meer ammoniak kan oplossen in de gasfase, hetgeen een positief effect heeft op het rendement van het stripproces.

Stripfactor

Het striprendement is primair afhankelijk van het aantal evenwichtstrappen, de gas/vloeistof-verhouding en de verdelingscoëfficiënt. Bij een gegeven temperatuur en pH wordt het striprendement bepaald door de stripfactor S:

$$S = m * \frac{G}{L} \quad (9)$$

Waarin: G = molair gasdebiet [kmol/h]
L = molair vloeistofdebiet [kmol/h]

Het rendement van de stripkolom kan vervolgens worden bepaald met behulp van de onderstaande vergelijking:

$$\eta_{theorie} = \frac{S - 1}{S^{(N+1)} - 1} \quad (10)$$

Waarin: N = aantal theoretische evenwichtstrappen

3.1.3 Luchtbehandeling

De ammoniakrijke lucht die vrijkomt bij het luchtstripproces, kan niet zonder meer worden geloosd of opnieuw worden gebruikt bij het stripproces. In beide gevallen dient het ammoniak uit de luchtfase te worden verwijderd. Hiervoor zijn verschillende technieken beschikbaar. De meest toegepaste zijn scrubbing (gaswassen) en verbranding.

Scrubbing

Bij toepassing van scrubbing wordt de ammoniakrijke lucht in contact gebracht met een zure vloeistof. De drijvende kracht voor de NH_4 -binding wordt met name bepaald door de zuur-base-reactie. In mindere mate kan het concentratieverschil een rol spelen. In het algemeen wordt voor de wasvloeistof een maximum pH van circa 3 aangehouden. Bij het absorptieproces ontstaat een ammoniumzout in de vloeistof. De behandelde lucht kan worden teruggevoerd naar de striptoren. Door een goede ammoniakbinding in de scrubber wordt een lage ammoniakconcentratie in de ingaande lucht van de striptoren verkregen. Hierdoor neemt het concentratieverschil in de striptoren toe, hetgeen een positief effect heeft op het rendement.

De uitvoeringsvorm van de scrubber komt grotendeels overeen met de striptoren. Evenals bij de striptoren wordt de zure oplossing bovenin en de lucht onderin een gepakte kolom gebracht, zodat ook hier sprake is van een tegenstroomproces.

Luchtverbranding

Een alternatief voor de scrubber is de (katalytische) verbranding. Hierbij wordt de ammoniak in de uitgaande luchtstroom van de striptoren, eventueel in aanwezigheid van een katalysator, verbrand tot stikstofgas en water. Net als bij een scrubber kan de lucht hierna worden teruggevoerd naar de striptoren. Hierbij kunnen de hete verbrandingsgassen de temperatuur van het stripproces verhogen, hetgeen gunstig is voor de NH_4 -verwijdering.

De temperatuur van het verbrandingsproces heeft een grote invloed op de omzetting van NH_3 . Een te lage temperatuur resulteert in een slechte verwijdering. Bij een te hoge temperatuur worden echter ongewenste stikstofoxyden (NO_x) gevormd. De conventionele verbranding van ammoniak verloopt bij een temperatuur van ca 800°C. Katalytische verbranding vindt plaats bij ca. 300°C.

3.2 Toepassingen

Stripprocessen kennen in de praktijk een brede toepassing voor de verwijdering van een groot aantal verschillende componenten. Wanneer men zich beperkt tot de toepassing van $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering uit afvalwater, zijn de volgende toepassingen bekend:

1. Behandeling van stikstofrijke stromen op rwzi's.
Deze toepassing is, evenals het onderhavige semi-technische onderzoek, gericht op de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering uit het retourwater van de slibverwerking:
 - rwzi Saltebakken, Frederikshavn, Denemarken.
Capaciteit rwzi 140.000 i.e.; rejectiewater 140 m³/d; bouwjaar luchtstripper 1990;
 - rwzi Eslöv, Zweden.
Capaciteit rwzi 244.000 i.e.; rejectiewater 350 m³/d; bouwjaar luchtstripper 1992;
 - rwzi Göteborg, Zweden.
Pilot-onderzoek in 1989.
2. Behandeling van mest.
Deze toepassing is gericht op de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering uit dierlijke mest:
 - installatie Haverbeck (Duitsland): 1,5 m³/h;
 - installatie Braunschweig (Duitsland): 0,6 m³/h.
3. Behandeling van waswater uit de behandeling van afgassen van vuilverbrandingsinstallaties. Deze afgassen worden behandeld in een Denox-installatie om de NO_x -concentratie in de afgassen te verlagen. Hierbij wordt een overmaat ammoniakaal water gedoseerd, die via het waswater wordt verwijderd.
4. Behandeling van ammoniumrijke afvalwaterstromen in de industrie.
Deze toepassing is gericht op de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering uit diverse geconcentreerde stromen in de industrie.
5. Behandeling van percolatiewater van een vuilstort.

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 proefinstallaties is een buffercontainer voor de pilot plants geschakeld. Bij het starten of uitvallen van een centrifuge wordt de toevoer naar de buffertank 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 drijfslag is een overstortgoot aangebracht.

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

4.1.2 *Pilot-plant installaties*

In afbeelding 2 is een flowschema van de luchtstripinstallatie opgenomen en in afbeelding 3 van de stoomstripinstallatie.

De afbeeldingen 4 en 5 geven een beeld van de opstellingen.

4.1.3 *Voorbehandeling*

Voorbehandeling van het stikstofrijke water is noodzakelijk om problemen met afzettingen en verstoppingen in verschillende installatiedelen (warmtewisselaar, leidingen, pompen, striptoren) zoveel mogelijk te voorkomen.

De voorbehandeling bij de proefinstallatie bestaat uit de volgende onderdelen:

- CO₂-stripper;
- flocculatie/precipitatie-unit.

In de CO₂-stripper wordt bicarbonaat uit het centrifugaat verwijderd door het centrifugaat intensief te beluchten. Hoewel dit proces optimaal verloopt bij lagere pH's, wordt het centrifugaat niet aangezuurd.

Bicarbonaat (HCO₃⁻) kan echter bij hogere pH-waarden een neerslag vormen met calcium, waardoor in leidingen, appendages en de stripkolom een CaCO₃-afzetting ontstaat.

Er wordt echter wel een besparing op het loogverbruik verkregen.

Vervolgens wordt het centrifugaat in de flocculatie-unit op de juiste pH voor het stripproces gebracht. Hiervoor is tijdens het onderzoek loog toegepast. De loogdosering wordt gestuurd door een pH-meting. Door de hoge pH treedt vlokvorming van zwevend stof op. Tevens vormen zich neerslagen van bijvoorbeeld CaCO₃ en Ca₃(PO₄)₂. De neerslagen en de vlokken worden door middel van precipitatie en bezinking uit het centrifugaat verwijderd.

Voor het onderzoek bij hogere temperaturen is in de aanvoerleiding naar de striptoren een warmtewisselaar opgenomen.

4.1.4 *Luchtstripinstallatie*

De luchtstripinstallatie bestaat uit de volgende onderdelen:

- stripkolom;
- scrubber;
- katalytische verbranding.

De striptoren heeft een gepakte kolom van 2 m. De diameter van de toren bedraagt 0,4 m. Als pakkingsmateriaal zijn "high-flow"-ringen gebruikt.

In de scrubber wordt de ammoniak-rijke lucht uit de striptoren in tegenstroom door een zwavelzuur- of fosforzuuroplossing geleid. Dit leidt tot de vorming van ammoniumsulfaat, dat handmatig wordt afgelaten. De lucht wordt vervolgens teruggevoerd naar de striptoren. Door dit gesloten circuit wordt voorkomen dat telkens nieuwe lucht met daarin CO₂ (wat mogelijk scaling veroorzaakt) in de striptoren wordt gevoerd.

Om het uitwisselingsoppervlak te vergroten, is een pakking in de scrubber aangebracht. De hoogte van de pakkingslaag is 2 m, de diameter is 0,5 m.

De pH in de scrubber is met een pH-regeling gestuurd op een waarde van ongeveer 2.

In de verbrandingsinstallatie wordt het ammoniak verwijderd door omzetting in stikstof en water. Hierbij moet verse lucht worden gesuppleerd. De ammoniakrijke lucht wordt door middel van een elektrische verwarming verhit tot 270 - 330°C.

De capaciteit van de installatie bedraagt 200 Nm³/h.

4.1.5 *Stoomstripinstallatie*

De stoomstripper maakt gebruik van dezelfde voorbehandeling als de luchtstripinstallatie.

De stoomstripinstallatie heeft een hydraulische capaciteit van 0,5 m³/h en bestaat uit de volgende onderdelen:

- stripkolom;
- stoomgenerator;
- condensor.

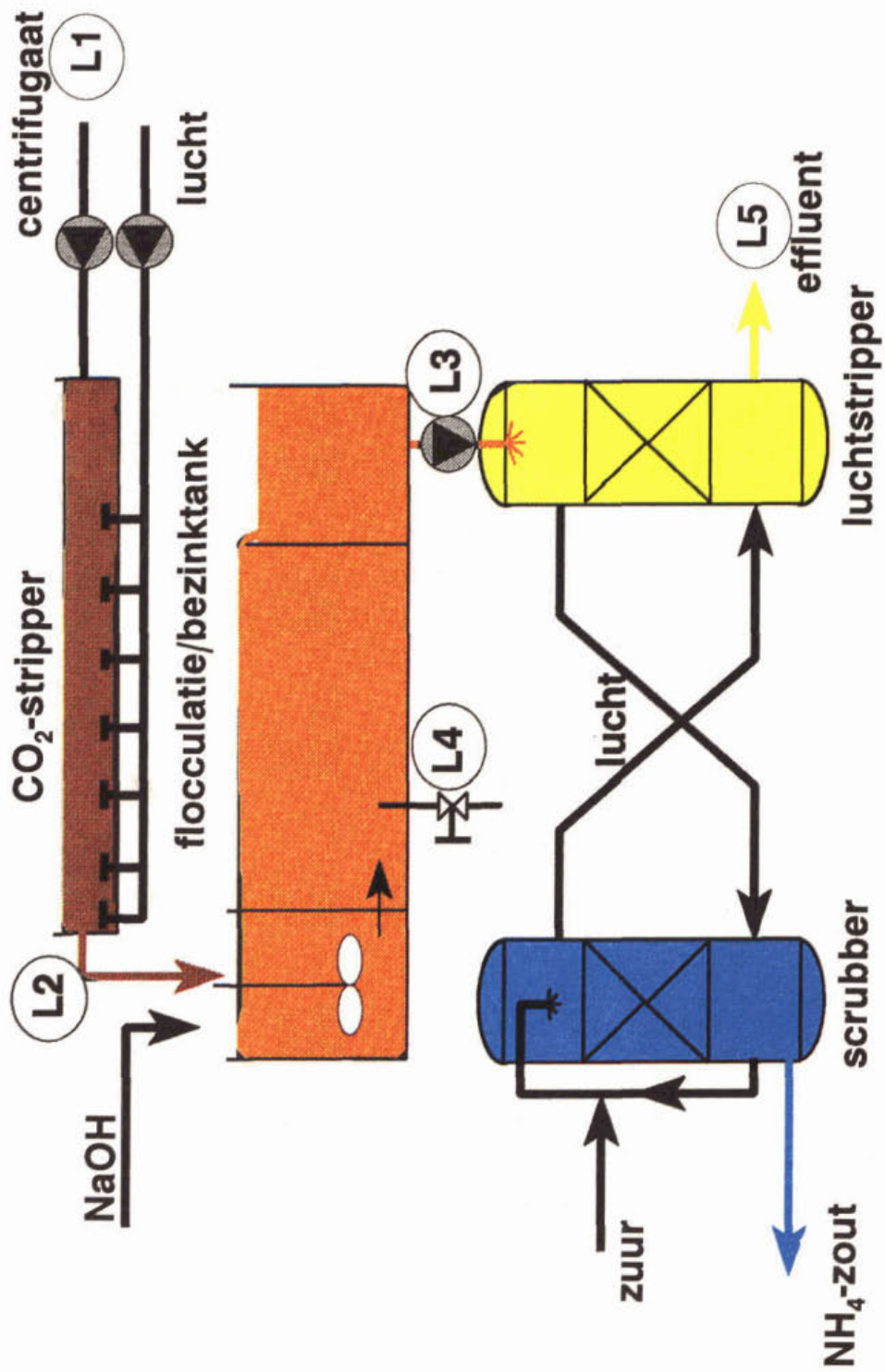
De stoomstripper heeft een diameter van 0,4 m; de hoogte van de gepakte kolom is 3,5 m.

De stoom is verkregen door onthard bedrijfswater elektrisch te verwarmen. De capaciteit van de stoomgenerator bedroeg 97 kg/h. Omdat de temperatuur van het centrifugaat niet constant was, is als stoom/water-verhouding het condensaat/effluent-debiet genomen. Hiermee is automatisch gecorrigeerd voor de hoeveelheid stoom die wordt gebruikt voor de opwarming van het centrifugaat tot 100°C.

De stoom, die resteert na opwarming van het centrifugaat, verlaat de stripkolom aan de bovenzijde, en komt vervolgens in de condensor. Deze bestaat uit twee concentrische buizen. Door de buitenste buis stroomt koelwater (bedrijfswater). In de binnenste buis condenseert de stoom.

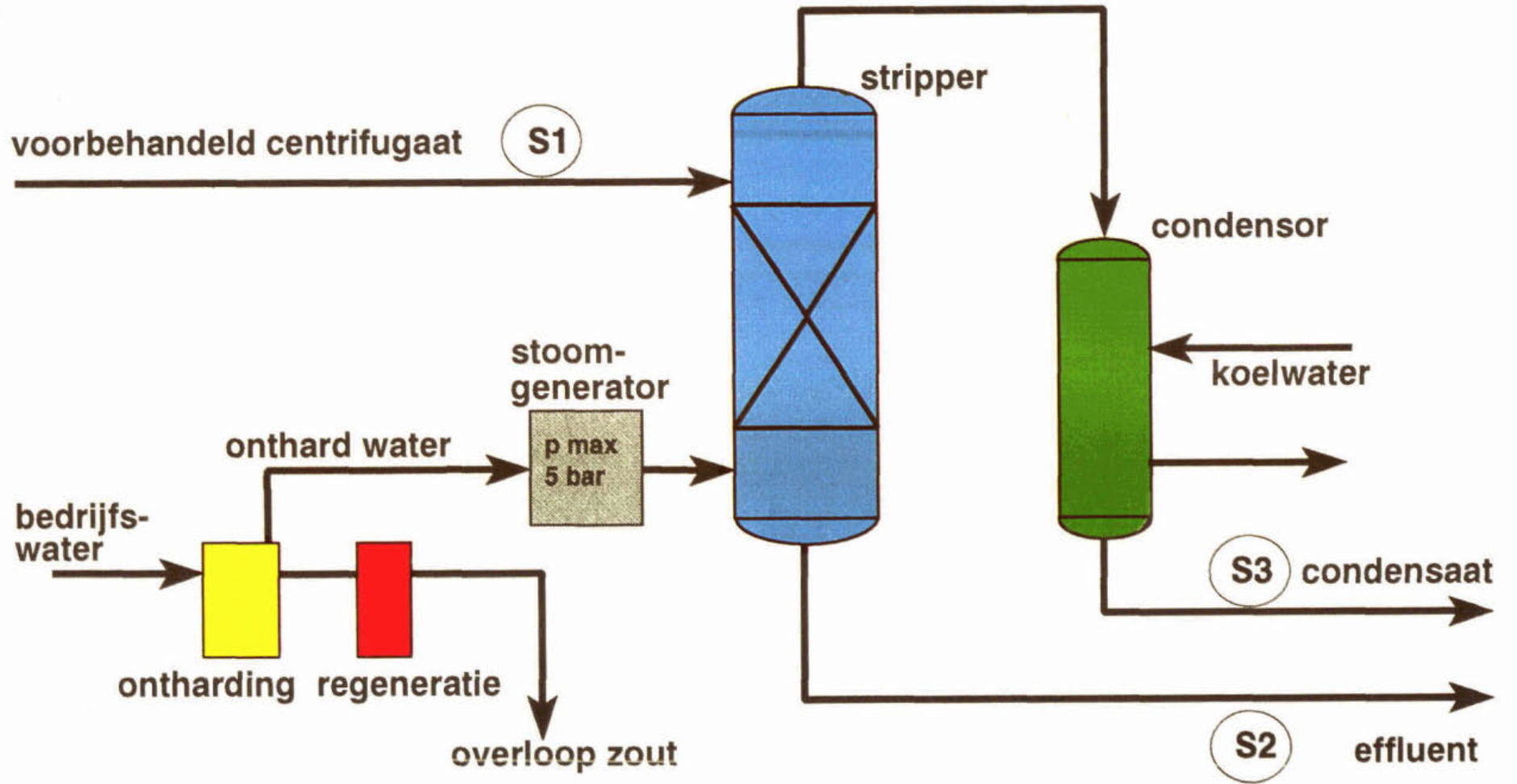
4.2 **Analyses en metingen**

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



Figuur 2
Flowschema van de luchtstripinstallatie

Figuur 3
Flowschema van de stoomstrippinstallatie





Figuur 4
Overzicht van de stripinstallaties



Figuur 5
Overzicht van de stripinstallaties

Tabel 3
Bemonstering en analyse lucht- en stoomstripinstallatie (week⁻¹)

Parameter	influent L1*	overloop CO ₂ stripper L2	influent striptorens L3 / S1**	effluent striptorens L5 / S2	flocculatie- slib L4
CZV-opgelost (mg/l)	1		1		
CZV-totaal (mg/l)	1		1		
N-Kjeldahl (mg N/l)	1		1		
P-totaal (mg P/l)	1		1		
M-getal (meq/l)	1	1			
P-getal (meq/l)	1	1			
Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn (mg/kg ds)					½
indamprest zwevendstof (mg/l)	1		5	5	½
sneltesten					
- NH ₄ -N	1		continu	on-line	
- PO ₄ -P	1		1		
* L = Luchtstrippen					
** S = Stoomstrippen					

De hierboven weergegeven analyses zijn uitgevoerd door het laboratorium van de provincie Utrecht.

Het N-gehalte van de inhoud van de scrubber is wekelijks gemeten. Aan het einde van de proefnemingen is tevens het zware-metalengehalte in het ammoniumsulfaat en -fosfaat bepaald. Voorts is bij elke meting het NH₄-gehalte in het condensaat gemeten.

Er is op locatie gebruik gemaakt van Dr. Lange testkits voor de meting van ammonium. Het ammoniumgehalte in het effluent van de luchtstripper is on-line gemeten met een monitor van WTW.

De bemonstering vond dagelijks op een vast tijdstip plaats. Voor monsters die eens per week zijn genomen, geldt dat deze tegelijkertijd zijn genomen. De bemonsteringsdag schuift elke week één dag op, zodat eventuele dagelijkse invloeden worden vermeden.

De monsters zijn niet aangezuurd. Monsters die slib bevatten, zijn steeksgewijs genomen, en zo snel mogelijk verwerkt. Opgeloste componenten zijn bepaald na filtratie over een 1,2 µm GFC glasvezelfilter.

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

Bij de katalytische verbrandingsinstallaties zijn de volgende parameters gemeten c.q. geregistreerd:

- temperatuur van de ingaande lucht en de verbrander;
- luchtdebiet;
- NO_x en NH₃ in de ingaande en uitgaande lucht.

Tabel 4

Ter plaatse geregistreerde parameters (instelling¹)

Parameter	infl. strip-torens	(effl.) lucht-strip-per	over-loop CO ₂ -strip-per	scrub-ber	stoomstripper	
					effl.	cond.
pH	continu	1	1/dag		1	1
temperatuur (°C)	continu	1	1/dag		1	
debiet (m ³ /h)	continu	continu			1	1
luchtdebiet (Nm ³ /h)		continu				
systeemtemperatuur (°C)		1			1	
recirculatie-debiet (m ³ /h)				1		
NH ₃ in uitgaande lucht				1		
verbruik NaOH 33% (l/h)	1/dag					
verbruik H ₂ SO ₄ 37% / H ₃ PO ₄ 59% (l/h)				1/dag		
stoomdebiet (l/h)						
stoomtemperatuur (°C)					continu	
stoomdruk (bar)					1	
					1	

4.3 Gefaseerde uitvoering

Het onderzoek met de stripinstallaties en de katalytische verbranding is in fasen uitgevoerd:

1. Optimalisatie van de flocculatie. Verschillende factoren zijn van invloed op het rendement van de flocculatie/precipitatie. Hiervoor moet het optimum empirisch worden vastgesteld.

Omdat de pilot plant is uitgerust met slechts één loogdoseerpomp worden de pH's voor flocculatie en stripproces tegelijkertijd ingesteld. Hierbij prevaleert de optimale pH van het ammoniak-stripproces. De voorbehandeling van de pilot plant kan dus mogelijk niet bij een optimale pH worden bedreven.

Om die reden is het onderzoek op lab-schaal door middel van bekersglasproeven uitgevoerd. Het onderzoek nam ongeveer twee weken in beslag.

2. Aangroei en scaling, en de noodzaak van voorbehandeling. De werking van de striptoren kan worden verstoord door er kalkafzettingen of aangroei van biomassa op het pakkingsmateriaal. Dit aspect is in het onderzoek meegenomen, omdat hierdoor de resultaten van de onderzoeken negatief worden beïnvloed. Er is echter geen specifiek onderzoek naar gedaan.

Om de noodzaak van de voorbehandeling te onderzoeken was oorspronkelijk aan het eind van het onderzoek een duurproef in de planning opgenomen. Gedurende het onderzoek is echter voldoende informatie verkregen over dit aspect, zodat de duurproef kwam te vervallen.

3. Invloed van de procescondities van pH, temperatuur en gas/water-verhouding. Het rendement van de striptoren is evenredig met het percentage N dat als ammoniak voorkomt. Uit afbeelding 1 blijkt dat de temperatuur eveneens een effect heeft op de ligging van het evenwicht, zodat de temperatuur als prioritaire parameter is beschouwd. Een hogere temperatuur heeft tevens tot gevolg, dat ammoniak minder goed oplost, waardoor eveneens een rendementsverbetering wordt bereikt.

Omdat het stoomstripproces bij atmosferische druk werkt, is de bedrijfstemperatuur van dit proces altijd 100 - 105°C.

Vertaald naar de praktijk houdt een hogere temperatuur in dat het mogelijk is om een hoger vloeistofdebiet of een kleinere gas/water-verhouding (R_q) te hanteren. Om die reden kunnen de voornoemde parameters niet los van elkaar worden gezien.

Dit deelonderzoek heeft samen met deelonderzoek 4, 5 maanden in beslag genomen.

4. Algemene toepasbaarheid. Voor de vertaling naar de Nederlandse situatie is het onderzoek in STOWA-verband uitgebreid om de algemene toepasbaarheid van de stripperinstallatie voor de behandeling van N-rijke retourstromen vast te stellen. Dit houdt in dat het onderzoek is uitgevoerd bij verschillende NH_4 -concentraties. De ammoniumconcentratie van het centrifugaat is door dosering van NH_4Cl verhoogd tot 1.000 - 1.200 en 1.800 - 2.000 mg N/l.

Hierbij is aandacht besteed aan de temperatuur, pH en de gas/water-verhouding conform het beschrevene in deelonderzoek 3.

5. Werking van de scrubber en het ontstaan van reststoffen: de werking van de scrubber is van belang voor de werking van de gehele installatie. Voor de voornoemde onderzoeken is het van belang dat binding van ammoniak in de scrubber optimaal verloopt. Dit is een eenvoudig proces, dat kan worden geoptimaliseerd op de toe te passen pH in de scrubber. Dit komt tot uitdrukking in het zuurverbruik.

Het onderzoek naar de optimalisatie van de scrubber is uitgevoerd met zwavelzuur en fosforzuur als absorbens en heeft in totaal 3 weken in beslag genomen. Hierbij is tevens aandacht besteed aan de reststoffen van dit proces (ammoniumsulfaat en -fosfaat).

6. Katalytische verbranding. Een alternatief voor de scrubber is de (katalytische) verbranding van de ammoniakrijke lucht. Hierbij wordt het ammoniak in de uitgaande luchtstroom van de striptoren eventueel met behulp van een katalysator verbrand tot stikstofgas en water. Hierbij is met name de temperatuur van de verbranding van belang.

Het onderzoek heeft 3 maanden in beslag genomen.

7. De ammoniakconcentratie van de uitgaande condensaatstroom is primair van belang voor de afzet van het condensaat. Daarom is op lab-schaal onderzoek verricht naar het verder concentreren van het condensaat.

5 RESULTATEN

5.1 Bedrijfsvoeringsaspecten

5.1.1 *Scaling*

Vanwege het lage CO₂-verwijderingsrendement van de CO₂-stripper van de proefinstallatie zijn als gevolg van scaling problemen opgetreden. Er is zoveel mogelijk getracht deze te voorkomen door het uitvoeren van periodiek onderhoud (eens per 2 weken) bij de procesonderdelen die hiervoor het meest gevoelig zijn. Bij de proefinstallatie waren dit met name de warmtewisselaar, de aanvoerpomp (kanaalwaaierpomp) naar de beide strippers en de verdeelwerken van de beide striptoren. Op afbeelding 5 is de scaling in de warmtewisselaar te zien.

Het oppervlak van de pakking in de luchtstripper is relatief weinig afgenomen door de scaling. De constructie van het verdeelwerk was zodanig dat de werking ervan nauwelijks door scaling werd aangetast.

In de stoomstripper zijn het verdeelwerk en de pakking veel sterker verontreinigd, als gevolg van de hogere temperatuur waarbij is gewerkt. In combinatie met de toegepaste constructie van het verdeelwerk (zie afbeelding 6) is de werking hiervan danig verstoord. Als gevolg hiervan zijn alleen de resultaten van het onderzoek bij een N-concentratie van 1.000 mg N/l representatief.

Vanzelfsprekend treedt scaling niet alleen op de genoemde oppervlakken op. Ook treedt afzetting op pH-elektroden, leidingen etc. op.

5.1.2 *Afkoeling bij hoge temperaturen*

Tijdens het onderzoek bij hogere temperaturen, treedt in de luchtstripper een vrij sterke afkoeling op. Door de afkoeling is de effluenttemperatuur bij de verschillende onderzoeken niet constant, hetgeen de vergelijking van de resultaten enigszins bemoeilijkt.

Door afkoeling trad ook condensatie op in de vochtige striplucht. Doordat de proefinstallaties discontinu worden bedreven, treedt tijdens stilstand ook condensatie op.

5.1.3 *Vocht in de striplucht*

Scrubber

Afgezien van de genoemde condensatie in de luchtleidingen van en naar de striptoren, bevatte ook de striplucht druppels water. Dit water wordt in de scrubber en de striptoren afgevangen. Dit veroorzaakte enige problemen in de scrubber, doordat voortdurend vloeistof moest worden afgelaten. Hierdoor was de ammoniumconcentratie van de vloeistof lager dan de in een praktijkinstallatie maximaal mogelijke waarde. Ook was hierdoor het zuurverbruik bij de scrubber hoger dan strikt noodzakelijk.

Luchtverbranding

Door de aanwezigheid van relatief grote hoeveelheden vocht in de striplucht, is de verbranding van de lucht negatief beïnvloed. Als gevolg van het vocht is het niet mogelijk gebleken om de conventionele verbrandingsinstallatie operationeel te houden.

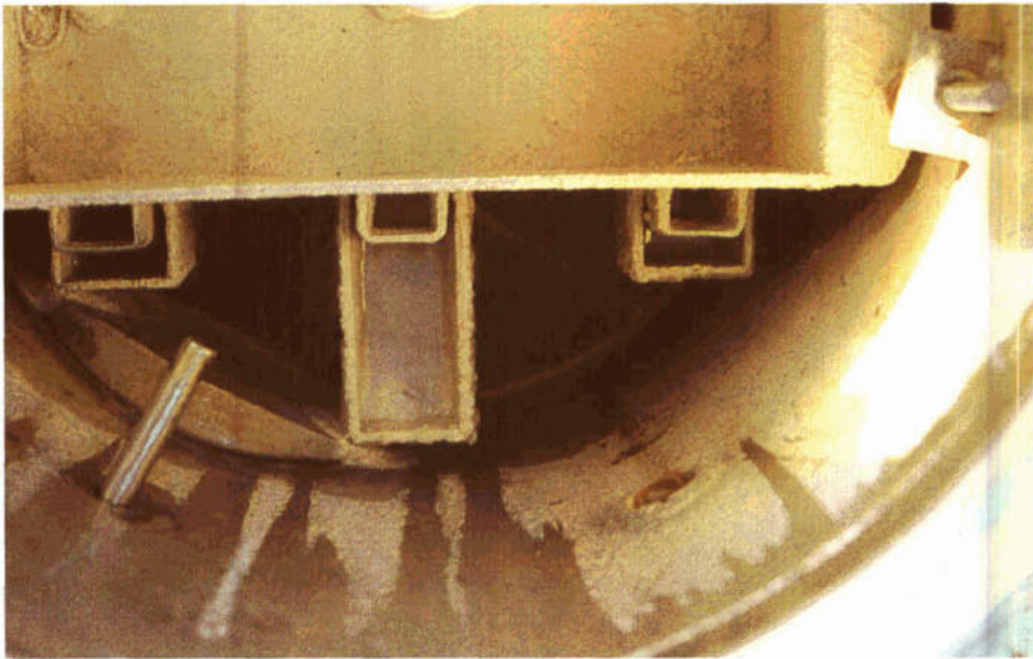
5.1.4 *pH-verschuiving bij hoge temperaturen*

De pH van de oplossing wordt in zekere mate beïnvloed door het ammonium/ ammoniak-evenwicht en de temperatuur. Bij verhoging van de temperatuur, verschuift het evenwicht, waarbij de pH van de oplossing verandert.

Dit gaf problemen bij de pH-instelling.



Figuur 6
Scaling in de warmtewisselaar



Figuur 7
Scaling in het verdeelwerk van de stoomstripper

5.1.5 *Stoomdebietmeting*

Bij controle van de vloeistofbalans over de stoomstripper bleek de debietmeting van de stoomgenerator niet correct. Om die reden is als stoom/water-verhouding niet langer uitgegaan van het stoom- en het centrifugaatdebiet maar van het condensaat- en effluentdebiet. Hiermee is tevens gecorrigeerd voor de wisselende hoeveelheid stoom die nodig is voor de opwarming van het centrifugaat.

5.2 **Verloop van het onderzoek**

5.2.1 *Algemeen*

De pilot plant is in de eerste week van februari opgebouwd. Na een vorstperiode midden februari is het onderzoek gestart bij de heersende temperaturen (10 - 20°C). De warmtewisselaar is geïnstalleerd op 28 maart. Door het ontbreken van een regeling op de blower was de hoeveelheid lucht niet instelbaar. Tevens was de capaciteit van de blower gelimiteerd tot $\pm 1.500 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Bij een centrifugaatdebiet van $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ bedroeg de lucht/water-verhouding dan maximaal $1.500 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$, terwijl het proefprogramma onderzoek in de range 0 - $3.000 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$ voorzag. Bij 25°C en 50°C zijn de proeven daarom uitgevoerd met een influentdebiet van $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Op 14 april is het onderzoek met de complete installatie gestart.

Door de in paragraaf 5.1.1 beschreven problemen met scaling is het onderzoek in enige mate vertraagd. De aanvoer naar de beide strippers werd verzorgd door een kanaalwaaierpomp. Dit type pomp is gevoelig voor dichtslibben door bv. deeltjes in de vloeistof of door het ontstaan van afzettingen. Door preventief onderhoud (halve dag per week) konden problemen door scaling worden voorkomen.

De pijpenbundel van de warmtewisselaar diende telkens na 2 weken bedrijf in een zuurbad te worden gereinigd. Hierdoor was de warmtewisselaar elke twee weken 1 à 2 dagen uit bedrijf.

Met deze restricties is het onderzoek voorts voorspoedig verlopen. Wel bleek dat de behaalde rendementen met de stoomstripper bij 1.000 mg N/l niet konden worden bereikt bij 400 en 2.000 mg N/l . Na afloop van het onderzoek is dan ook gebleken, dat het verdeelwerk en de pakking van de stoomstripper een aanzienlijke scaling vertoonden.

Tijdens het onderzoek waarbij verhoogde ammoniumconcentraties zijn toegepast, is ammoniumchloride gedoseerd in de flocculatuurruimte.

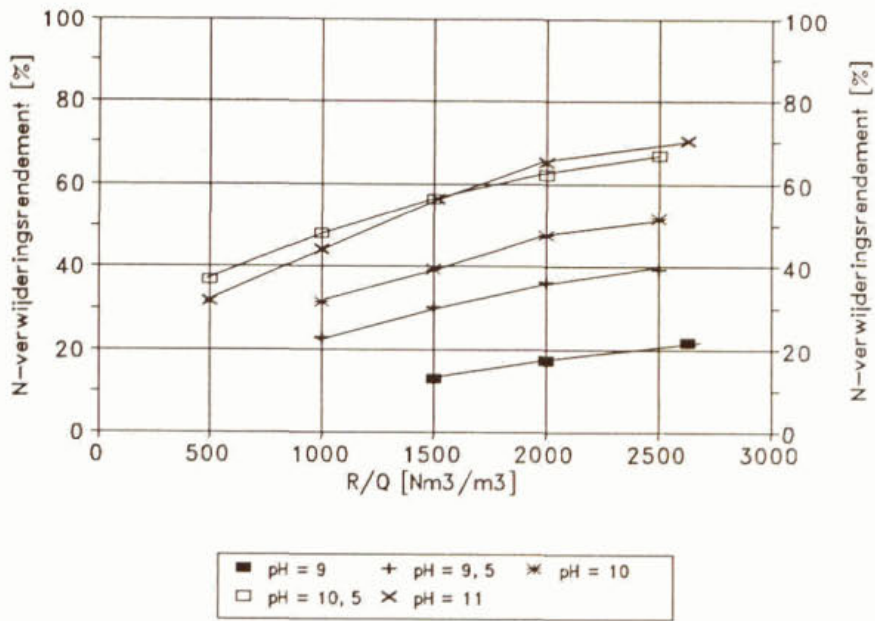
5.2.2 *Resultaten luchtstripinstallatie*

De resultaten van de metingen met de luchtstripinstallatie zijn opgenomen in bijlage 1. In deze bijlage zijn de verwerkte gegevens zowel in tabelvorm als grafisch weergegeven. In de afbeelding 8 en 9 zijn de resultaten van de luchtstripinstallatie weergegeven bij een temperatuur van respectievelijk 25°C en 50°C voor het zodanige centrifugaat van de rwzi Utrecht ($\text{NH}_4\text{-N}$ -concentratie circa 400 mg/l).

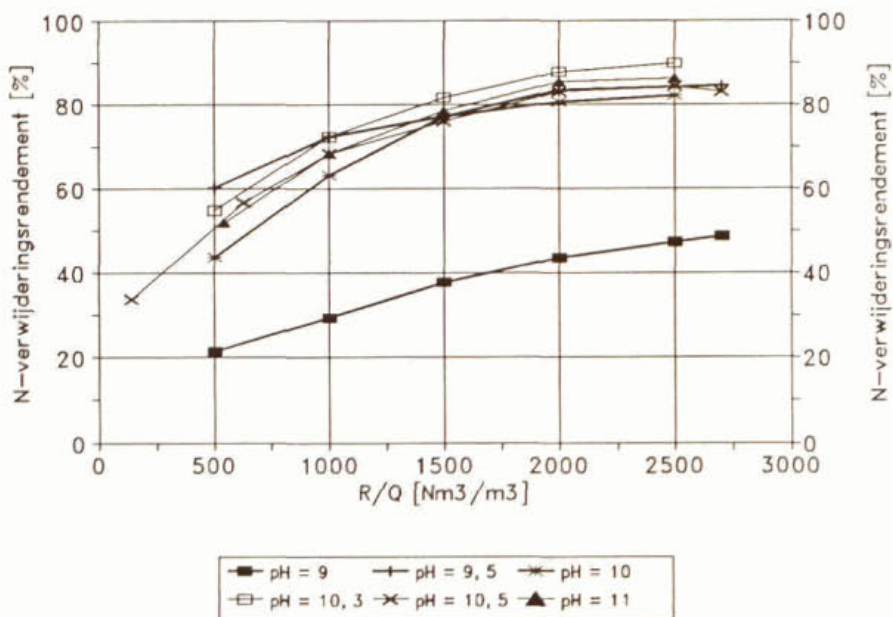
In de afbeeldingen is voor de verschillende onderzochte pH's het $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement uitgezet tegen de lucht/water-verhouding (in m^3/m^3), de R/Q-verhouding.

Uit de resultaten kan het volgende worden geconcludeerd:

- bij 25°C neemt de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering in het onderzochte bereik steeds toe met stijgende R/Q;
- bij 25°C neemt de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering toe met stijgende pH tot een pH van 10,5. Boven deze pH neemt het verwijderingsrendement niet meer significant toe;

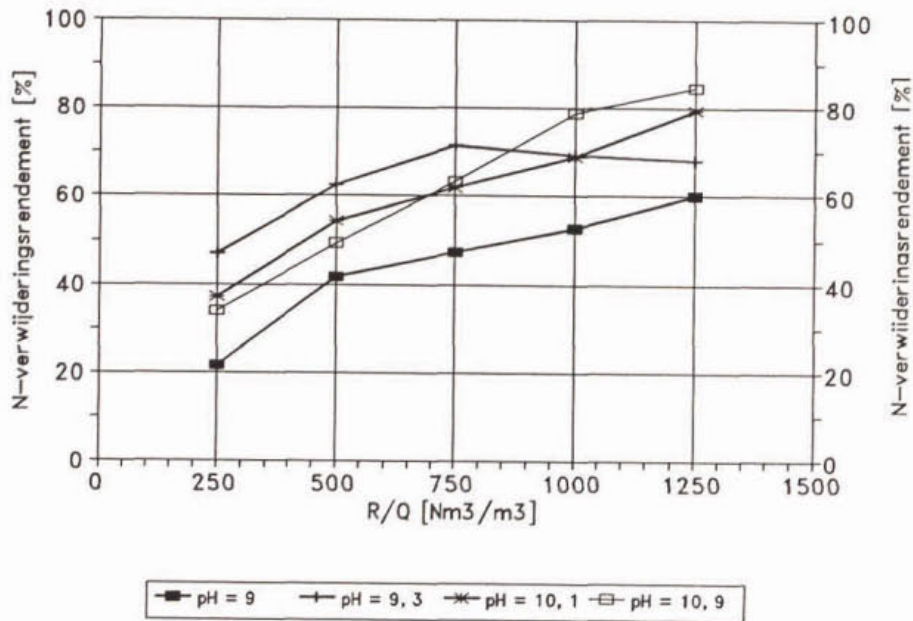


Figuur 8
NH₄-N-verwijderingsrendement als functie van R/Q bij een temperatuur van 25°C (NH₄-N = 400 mg/l)

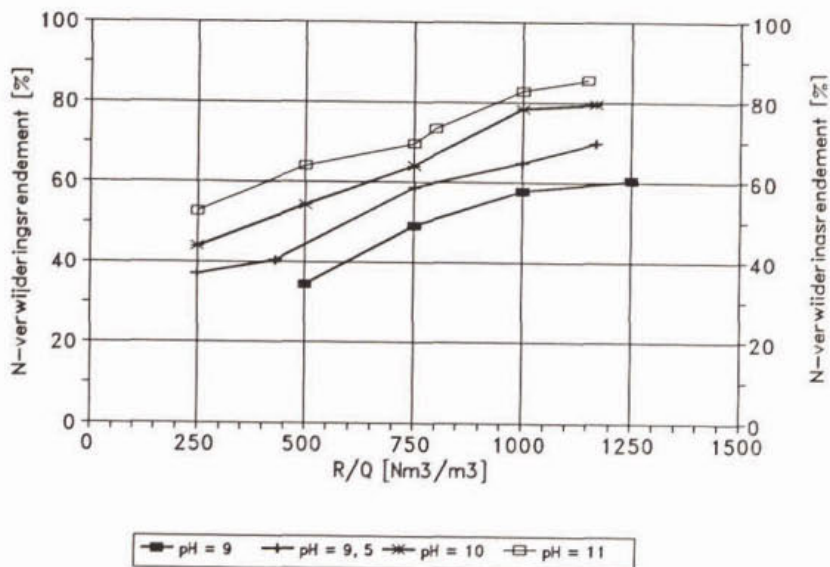


Figuur 9
NH₄-N-verwijderingsrendement als functie van R/Q bij een temperatuur van 50°C (NH₄-N = 400 mg/l)

- bij 50°C neemt bij de laagste onderzochte pH (9,5) de NH₄-N-verwijdering in het onderzochte bereik steeds toe met stijgende R/Q. Bij alle hogere pH-waarden neemt de NH₄-N-verwijdering toe tot een waarde voor R/Q van ongeveer 2.000 (Nm³/m³). Boven deze waarde is de NH₄-N-verwijdering constant;



Figuur 10
 NH₄-N-removeringsrendement als functie van R/Q bij een ingangconcentratie van 1.000 mg/l NH₄-N (50°C)



Figuur 11
 NH₄-N-removeringsrendement als functie van R/Q bij een ingangconcentratie van 2.000 mg/l NH₄-N (50°C)

- bij 50°C neemt de NH₄-N-removering toe met stijgende pH tot een pH van 10,0. Boven deze pH neemt het removeringsrendement niet meer toe.

Het onderzoek bij hogere temperaturen dan 50°C is slechts in beperkte mate mogelijk geweest vanwege de capaciteit van de warmtewisselaar en warmteverliezen in de niet-geïsoleerde stripperinstallatie. Voor de resultaten wordt verwezen naar bijlage 1.

Het onderzoek bij verhoogde ammonium-concentraties is in dezelfde onderzoeksperiode uitgevoerd als het onderzoek bij de zodanige samenstelling van het centrifugaat van de rwzi Utrecht.

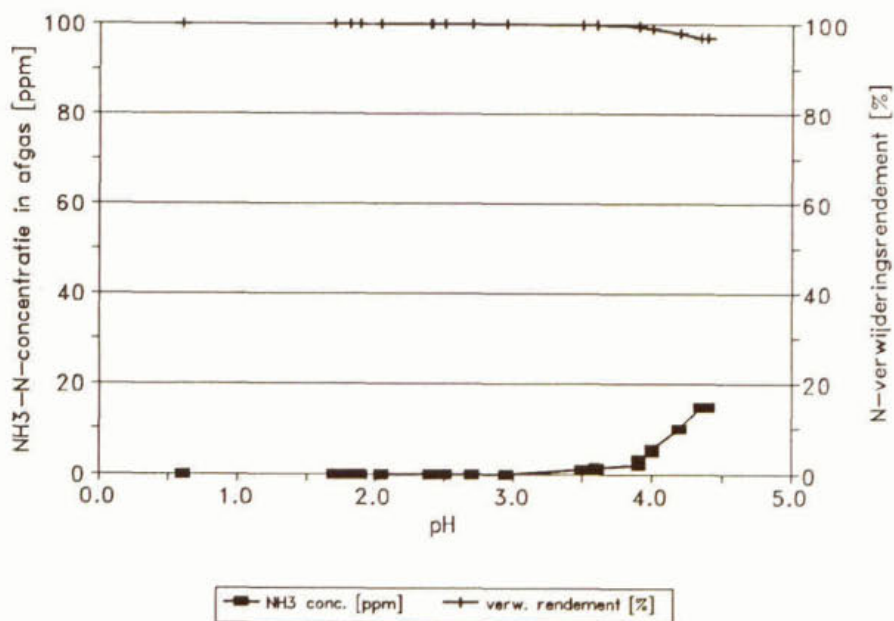
Bij deze proeven is de keuze van instellingen voor de te variëren procescondities gebaseerd op de resultaten van de reeds eerder uitgevoerde proeven. In de afbeeldingen 10 en 11 zijn de resultaten van de metingen bij 50°C weergegeven voor ingaande NH₄-N-concentraties in het te behandelen water van 1.000, respectievelijk 2.000 mg/l.

5.2.3 Scrubber

In de scrubber wordt de ammoniakhoudende lucht uit de stripkolom in contact gebracht met een zuur, waardoor de ammoniak chemisch wordt gebonden als ammoniumzout in de scrubbervloeistof. In het kader van het onderzoek zijn zwavelzuur en fosforzuur toegepast.

Omdat de uitgaande lucht van de scrubber wordt gebruikt als ingaande lucht van de stripkolom, is een vrijwel volledige ammoniakverwijdering uit de in de scrubber behandelde lucht van groot belang. Verhoogde ammoniak concentraties in de retourlucht hebben een negatieve invloed op de NH₄-N-verwijdering in de stripkolom.

In week 28 en 29 is aandacht besteed aan de werking van de scrubber. In afbeelding 12 zijn de resultaten van de metingen weergegeven. Hierbij zijn het rendement van de NH₃-verwijdering en de NH₃-concentratie in de uitgaande lucht van de scrubber als functie van de pH van de scrubbervloeistof weergegeven. De temperatuur van de stripkolom bedroeg hierbij 25°C.



Figuur 12
Rendement van de NH₃-verwijdering en de NH₃-concentratie in de uitgaande lucht als functie van de pH van de scrubbervloeistof

Uit de resultaten blijkt dat bij pH-waarden tot ongeveer 3-3,5 de ammoniak vrijwel volledig uit de behandelde lucht wordt verwijderd.

Bij een pH-waarde van 4 is de NH_3 -concentratie < 10 ppm. Boven een pH-waarde van 4 neemt de NH_3 -concentratie toe.

Metingen bij een striptemperatuur van 50°C leveren een vergelijkbaar resultaat op.

5.2.4 *Luchtverbranding*

Zoals reeds eerder vermeld, was het niet mogelijk om de conventionele verbrandingsinstallatie operationeel te houden, vanwege het hoge vochtgehalte in de ingaande lucht. Het onderzoek naar de mogelijkheden van luchtverbranding heeft zich daarom beperkt tot katalytische verbranding. Uit kosten oogpunt is conventionele verbranding vanwege de veel hogere verbrandingstemperatuur ook minder aantrekkelijk.

De capaciteit van de katalytische verbrandingsinstallatie van het semi-technisch onderzoek bedroeg maximaal $200 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Dit houdt in, dat een deel van de uitgaande lucht van de stripkolom naar de verbrandingsinstallatie wordt gevoerd. In de afbeeldingen 13 en 14 zijn de resultaten van de katalytische verbrandingsinstallatie grafisch weergegeven voor een temperatuur in de stripkolom van 25 respectievelijk 50°C .

Uit de resultaten blijkt, dat bij een temperatuur van de stripkolom van 50°C voor een volledige NH_3 -verwijdering de verbranding bij een hogere temperatuur moet plaatsvinden dan bij het bedrijven van de stripkolom op 25°C . Waarschijnlijk houdt dit verband met een stijging in het vochtgehalte in de verbrandingslucht bij hogere striptemperaturen.

5.2.5 *Stoomstrippen*

De resultaten van de metingen met de stoomstripinstallatie zijn opgenomen in bijlage 2. In deze bijlage zijn de verwerkte gegevens zowel in tabelvorm als grafisch weergegeven.

In afbeelding 15 zijn de resultaten van de stoomstripinstallatie weergegeven voor een $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentratie in de te behandelen vloeistof van 1000 mg/l . In de afbeelding is voor de verschillende onderzochte pH's het $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement uitgezet tegen de berekende verhouding stoom/influent, uitgedrukt in %.

Uit de resultaten kan het volgende worden geconcludeerd:

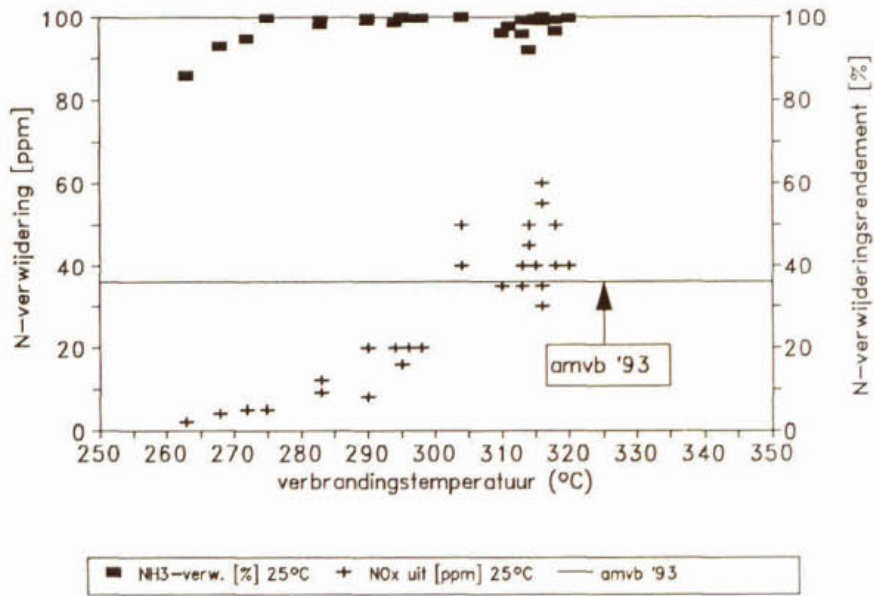
- bij een pH-waarde van $8,5$ neemt de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering in het onderzochte bereik van de stoom/water-verhouding steeds toe.
- bij pH-waarden vanaf 9 neemt de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering toe tot een bepaalde waarde van de stoom/waterverhouding; boven deze waarde blijft de $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering constant. De waarde van de stoom/waterverhouding, waarbij dit optreedt, is lager naarmate de pH-waarde hoger is.

Zoals reeds eerder vermeld trad in de stoomstripper ten gevolge van de hoge temperaturen snel scaling op. De scaling op het verdeelwerk van de vloeistof in de kop van de stripperkolom resulteerde in een afname van de werking ervan. De resultaten van de overige uitgevoerde proeven bij andere ingangconcentraties in de te behandelen vloeistof zijn hierdoor beïnvloed en minder goed interpreteerbaar.

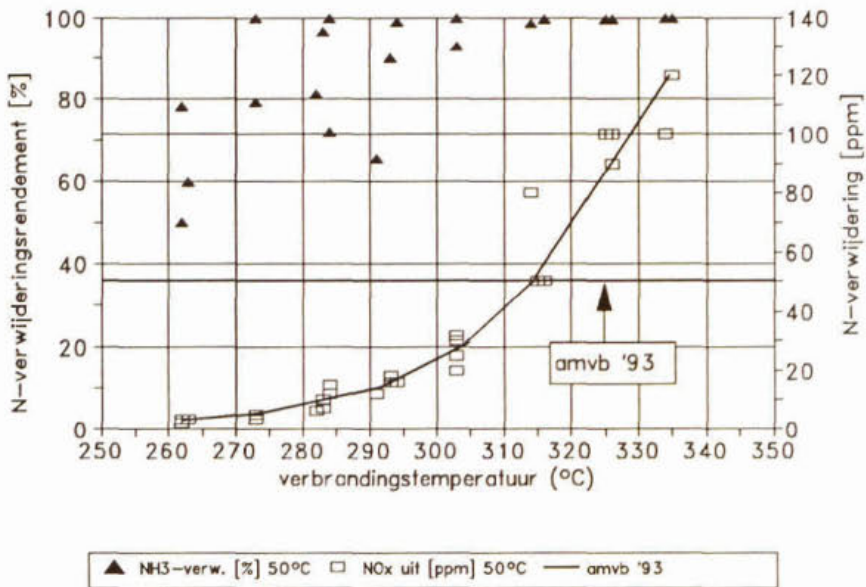
5.2.6 *Voorbehandeling*

De voorbehandeling van een stripperinstallatie is gericht op het voorkomen van met name verstoppings- en scalingsproblemen.

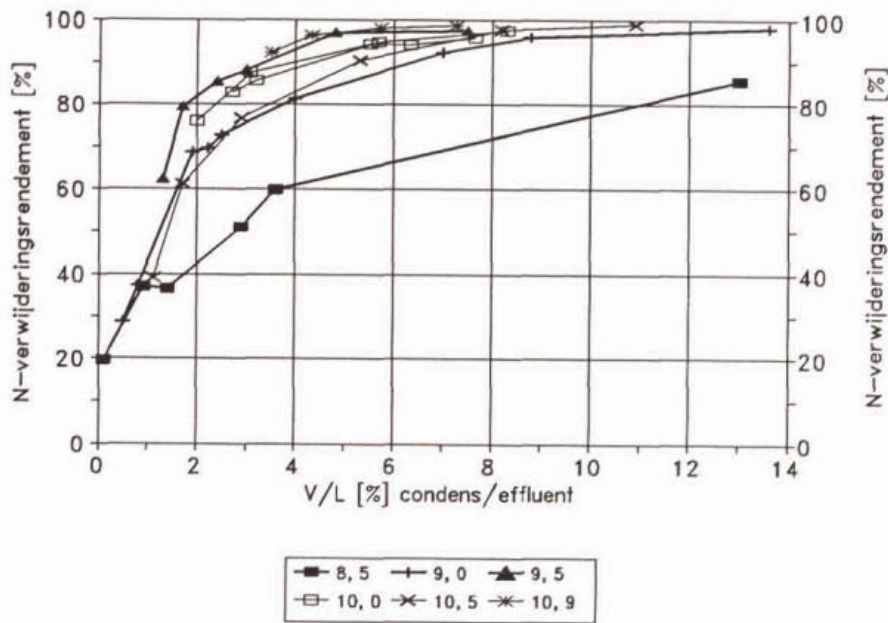
Omdat de mogelijkheden van procesinstellingen bij de semi-technische schaal beperkt waren, is aanvullend onderzoek uitgevoerd op laboratoriumschaal.



Figuur 13
 Rendement van de NH_3 -verwijdering en de concentratie NO_x in de verbrandingslucht (temperatuur in de stripkolom 25°C)



Figuur 14
 Rendement van de NH_3 -verwijdering en de concentratie NO_x in de verbrandingslucht (temperatuur van de stripkolom 50°C)



Figuur 15
 NH₄-N-verwijderingsrendement als functie van verhouding stoom/influent

De pilot-plant installatie is voorzien van de volgende procesonderdelen:

- CO₂-stripper;
- flocculatie/precipitatie-unit.

CO₂-stripper

In het overloopwater van de gisting komen relatief hoge concentraties aan bicarbonaat voor, dat bij de hogere pH-waarden van het stripproces als carbonaat-ion aanwezig is.

Omdat de vloeistof ook calcium-ionen bevat, wordt calciumcarbonaat gevormd. Het calciumcarbonaat zet zich af, waardoor scalingsproblemen ontstaan.

Deze problemen kunnen worden verkleind door het bicarbonaat vooraf uit het water te verwijderen. Hiertoe is de proefinstallatie voorzien van een CO₂-stripper. Om een redelijke mate van CO₂-verwijdering te bereiken, moet de pH in de vloeistof worden verlaagd, zodat een groot deel van het bicarbonaat als opgelost CO₂ aanwezig is. Daarnaast moet voldoende uitwisseling tussen vloeistof en lucht optreden om de CO₂ van de waterfase naar de luchtfase over te dragen.

De CO₂-stripper van de pilot-plant bestaat uit een ondiepe bak waarin een aantal buisvormige beluchtingselementen is geplaatst. Een compressor verzorgt de benodigde hoeveelheid lucht. Als gevolg van het in het centrifugaat aanwezige poly-electrolyet, treedt echter schuimvorming op. Hierdoor is de luchttoevoer naar de CO₂-stripper verminderd, evenals striprendement.

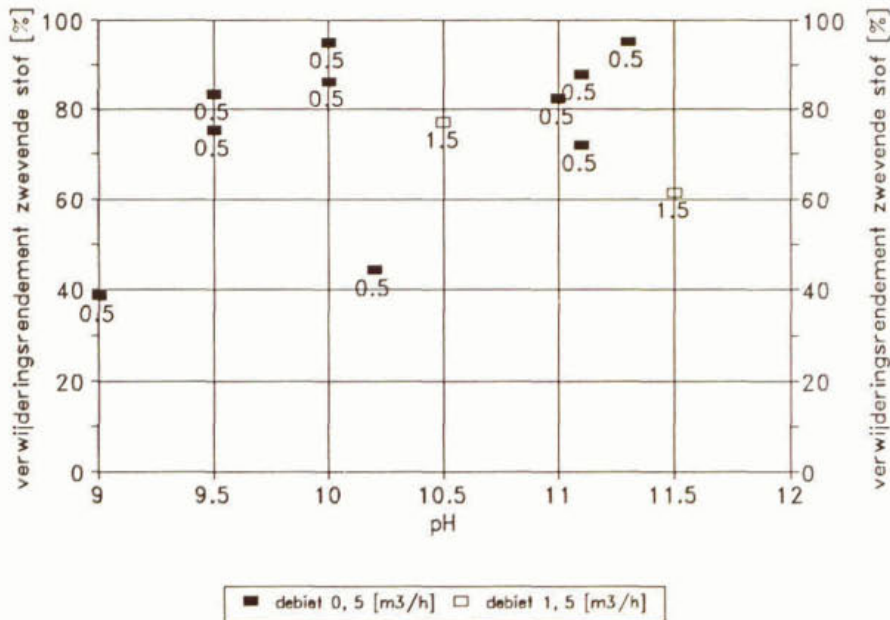
De CO₂-stripper is bedreven zonder aanpassing van de pH. De pH van het centrifugaat nam als gevolg van de uitdrijving van CO₂ toe van 7,5 naar 8,3. Als gevolg van de relatief hoge pH en de geringe luchthoeveelheid waarbij het proces is bedreven, kan worden aangenomen dat het striprendement laag bleef.

Flocculatie/precipitatie

De proefinstallatie is voorzien van een flocculatie/precipitatie tank. Omdat de verwijdering van het aanwezige zwevendestof beter verloopt bij hogere pH-waarden, is de pH in de flocculatie tank verhoogd. De mogelijke pH-verhoging was mede afhankelijk van de pH-waarde van de toevoer naar de stripper.

In het algemeen is de pH in de flocculatie verhoogd tot een waarde van 9 à 11,5.

Om inzicht te krijgen in het effect van de pH op de verwijdering van zwevendestof in de flocculatie/precipitatie tank is een deelonderzoek uitgevoerd naar dit aspect. De resultaten hiervan zijn weergegeven in afbeelding 16.



Figuur 16

Rendement van de verwijdering van zwevendestof als functie van de pH

Uit afbeelding 16 blijkt, dat in het onderzochte pH-gebied een vergaande verwijdering van zwevendestof (70-90%) mogelijk is.

Het gehalte aan zwevende stoffen na flocculatie/precipitatie bedroeg gemiddeld 20 mg/l.

Laboratoriumonderzoek

In februari 1994 is op laboratoriumschaal onderzoek uitgevoerd naar de verwijdering van zwevende stoffen uit centrifugaat door pH-verhoging.

De voornaamste resultaten hiervan waren:

- vlokvorming, vloggrootte en bezinksnelheid geven boven een pH waarde van 10 de beste resultaten;
- bij hogere pH wordt wel enige ammoniak gestript; het NH_4 -verlies hierdoor neemt toe met stijgende pH van 5% bij pH = 9 tot 12,5% bij pH = 11;
- de verwijdering van de zwevende stoffen neemt toe van 75% bij pH = 10 tot 96% bij pH = 11.

De resultaten van het laboratoriumonderzoek vertonen derhalve hetzelfde beeld als die van het pilot-plant onderzoek.

6 EVALUATIE

6.1 N-verwijdering algemeen

6.1.1 Luchtstripper

Uit het onderzoek is gebleken dat het goed mogelijk is om ammonium uit stikstofrijk water te verwijderen met behulp van luchtstrippen.

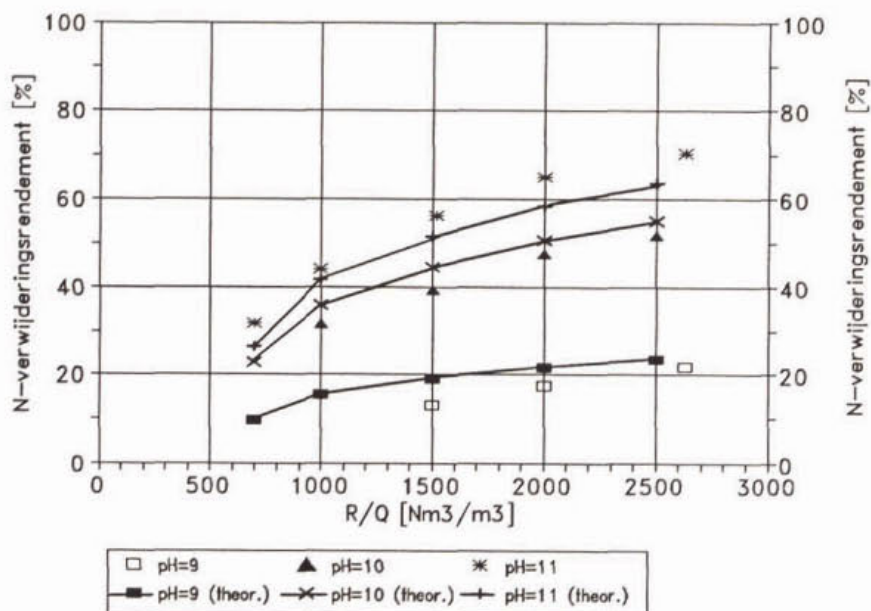
Voor het rendement van het luchtstripproces zijn de volgende parameters van belang:

- pH;
- temperatuur;
- verhouding lucht/water (R/Q);
- vloeistofbelasting.

Om te beoordelen of de samenstelling van het stikstofrijk water uit de slibverwerking invloed heeft op het verwachte $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement, zijn de meetresultaten vergeleken met de voorspelde waarden van een computermodel van een striptoren.

In het model wordt alleen rekening gehouden met de aanwezigheid van ammonium.

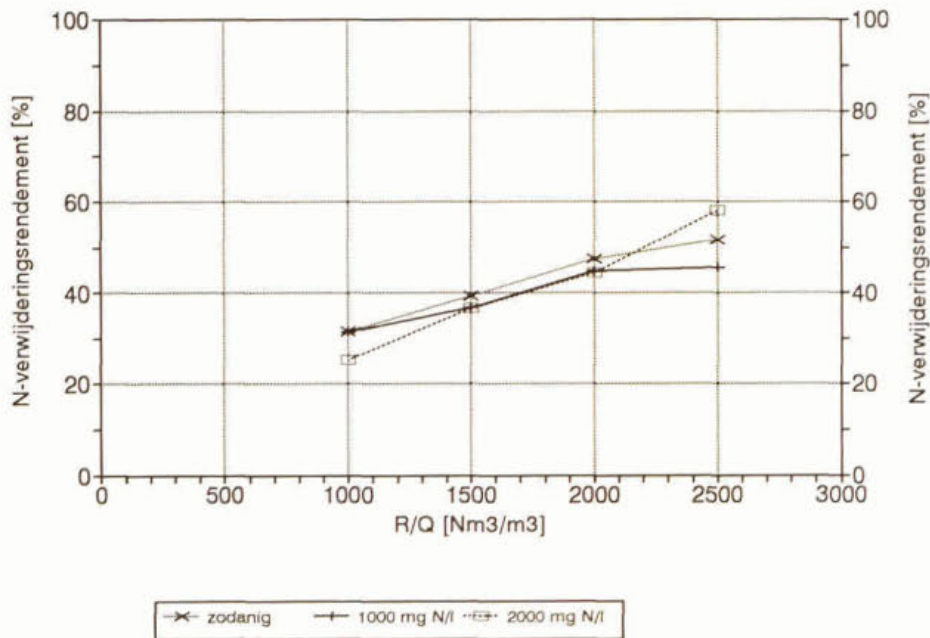
In afbeelding 17 is het resultaat van deze vergelijking weergegeven voor een $\text{NH}_4\text{-N}$ -ingangconcentratie van 400 mg/l en een striptemperatuur van 25°C, en verschillende pH's.



Figuur 17
Vergelijking resultaten proefinstallatie met resultaten modelberekening

Uit afbeelding 17 blijkt dat er een goede overeenstemming bestaat tussen de gemeten en de voorspelde waarden. Kleine afwijkingen worden verklaard door kleine afwijkingen in de pH-waarde (met name van belang bij lage pH-waarden) en in temperatuur (met name van belang bij lage temperatuur). Uit de goede overeenkomst tussen de resultaten met het onderzochte water met de modelberekeningen, waarin alleen rekening wordt gehouden met ammoniumhoudend water, kan worden geconcludeerd, dat de aanwezigheid van andere componenten in het onderzochte water geen merkbare invloed heeft op het stripproces.

In afbeelding 18 zijn de resultaten van de metingen bij verschillende ingangconcentraties samengevat. Het $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement is hierbij weergegeven als functie van de R/Q bij een pH van 10. Het betreft de metingen bij een striptemperatuur van 25°C.



Figuur 18
Samenvatting van de meetresultaten bij een striptemperatuur van 25°C en bij een pH van 10,5

Het $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement blijkt nagenoeg onafhankelijk van de ingangconcentratie, hetgeen ook in overeenstemming is met de theorie.

6.1.2 Stoomstrippen

Op basis van het onderzoek (zie afbeelding 15) kan worden gesteld dat het goed mogelijk is om ammonium uit stikstofrijk water te verwijderen.

Voor het rendement van het stoomstripproces zijn de volgende parameters van belang:

- pH;
- verhouding stoom/water.

Op basis van de theorie kan worden verwacht dat, evenals bij luchtstrippen, het $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement onafhankelijk is van de ingangconcentratie aan ammonium.

6.2 Verwijdering van overige componenten

De verwijdering van overige componenten (CZV, $\text{PO}_4\text{-P}$, zwevendstof, calcium, bicarbonaat) is voornamelijk afhankelijk van de voorbehandeling.

Hierbij kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst:

- De verwijdering van andere componenten is afhankelijk van de voorbehandeling. De voorbehandeling bij de semi-technische installatie wijkt af van de voorgestelde voorbehandeling voor een praktijkinstallatie. De resultaten van de semi-technische installatie hebben ten aanzien van dit aspect daarom een beperkte waarde.
- De afvoer van de stripperinstallaties wordt niet direct geloosd, maar naar de waterlijn van de rwzi gevoerd. De concentratie van de overige componenten in het stikstofrijke

water zijn zodanig, dat deze nauwelijks van invloed zullen zijn op de zuiveringsresultaten van de waterlijn.

6.3 Procescondities

6.3.1 Luchtstrippen

Het is goed mogelijk om op basis van de resultaten van het onderzoek de procescondities voor het luchtstripproces te definiëren.

In de afbeeldingen 19 en 20 zijn de resultaten van de metingen bij 25°C en 50°C voor de lage ingangconcentratie NH₄-N weergegeven.

Uit deze afbeeldingen kan het volgende worden geconcludeerd:

- bij 25°C moet voor een NH₄-N-verwijderingsrendement van meer dan 60% de pH ≥ 10,5 en de R/Q ≥ 2.000 zijn;
- bij 50°C moet voor een NH₄-N-verwijderingsrendement van meer dan 60% de pH ≥ 9,5 en de R/Q ≥ 1.000 zijn

De dimensionering van stripinstallaties vindt veelal plaats op basis van het HTU-NTU-concept [6]. Deze theorie is kort samengevat in bijlage 7. Volgens deze theorie is de hoogte van een stripperkolom (H) het produkt van een specifieke hoogte van een overdrachtstrap (HTU) en een dimensieloos getal (NTU), dat het aantal van de benodigde overdrachtstrappen uitdrukt. Hierbij is HTU bepaald door stofafhankelijke en geometrische parameters en is NTU alleen afhankelijk van het gewenste verwijderingsrendement.

De resultaten van de metingen kunnen zodanig worden uitgewerkt dat op basis hiervan de HTU-waarde kan worden bepaald. In de afbeelding 21 en 22 is voor de resultaten bij respectievelijk 25°C en 50°C en lage NH₄-N-concentraties de HTU-waarde weergegeven als functie van de pH en de R/Q.

Voor het ontwerp van een luchtstripkolom dient de HTU een waarde in het gebied van 0,7-1,0 meter te hebben. Op basis van afbeelding 21 en 22 kan hiervoor de volgende randvoorwaarde voor de procescondities worden geformuleerd:

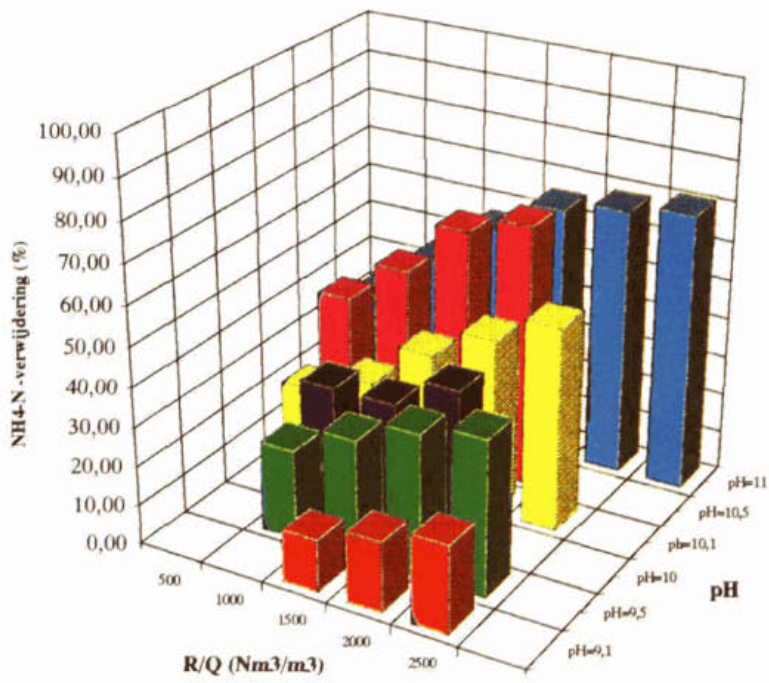
T = 25°C	T = 50°C
pH ≥ 10,5	pH ≥ 9,5
R/Q ≥ 2000 Nm ³ /m ³	R/Q ≥ 1000 Nm ³ /m ³

Door een volgende bewerkingsstap worden de resultaten nog algemener bruikbaar. Hierbij wordt de lucht/waterverhouding met de dimensies van de onderzoekskolom omgerekend tot de F-factor, die als volgt is gedefinieerd:

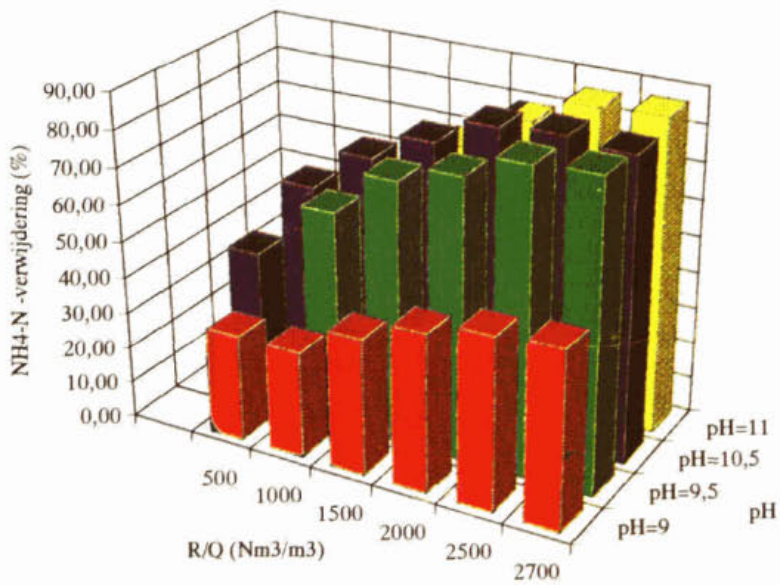
$$F = v_{gas} \cdot \sqrt{d}$$

waarin:

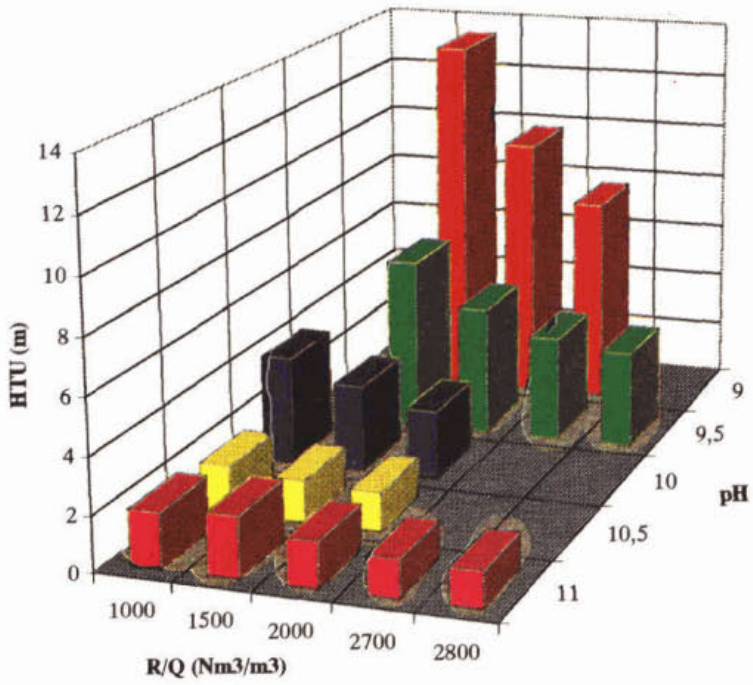
v_{gas} = superficiële gassnelheid (m/s)
 d = dichtheid (kg/m³)



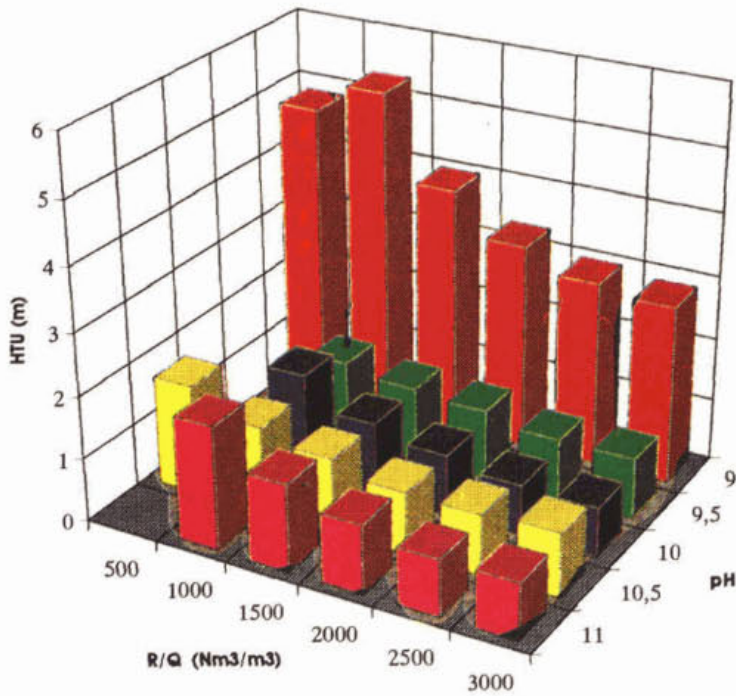
Figuur 19
 $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering als functie van de R/Q en de pH bij 25°C



Figuur 20
 $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering als functie van de R/Q en de pH bij 50°C

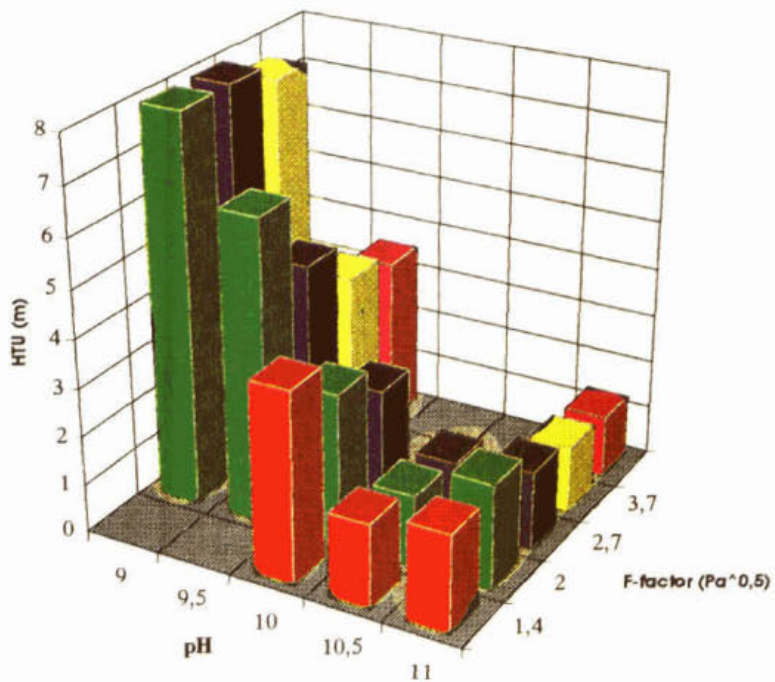


Figuur 21
HTU als functie van de R/Q en de pH bij T = 25°C

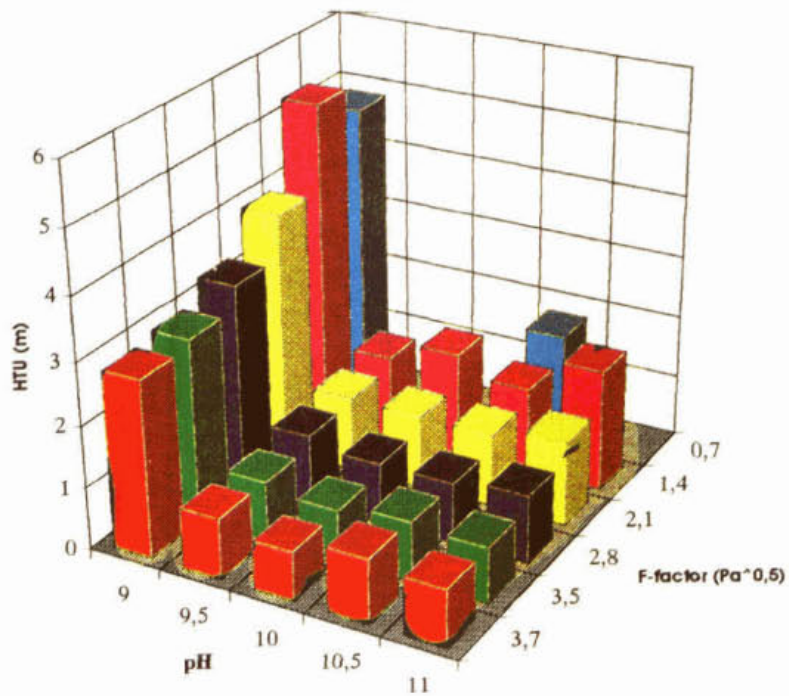


Figuur 22
HTU als functie van de R/Q en de pH bij T = 50°C

In de afbeeldingen 23 en 24 is voor de resultaten bij 25°C en 50°C de HTU-waarde weergegeven als functie van de pH en de F-factor.



Figuur 23
HTU als functie van de F-factor en de pH bij 25°C



Figuur 24
HTU als functie van de F-factor en de pH bij 50°C

Als randvoorwaarde voor de F-factor geldt: $F \geq 2$ teneinde een goede luchtstroming in de kolom te garanderen.

Op basis van de gegevens uit afbeelding 23 en 24 worden randvoorwaarden voor de procescondities gesteld. Deze zijn samengevat in tabel 3.

Tabel 5
Randvoorwaarden voor de procescondities in de ammoniakstripper

temperatuur (°C)	pH	F-factor (Pa ^{0,5})	R/Q (Nm ³ /m ³)	HTU (m)
25	> 10,5	≥ 2	> 2.000	0,7-1,0
50	> 9,5	≥ 2	> 1.000	0,7-1,0

6.3.2 Scrubber

Op basis van de resultaten (zie afbeelding 12 in § 5.2.3), kan worden gesteld dat voor een goede werking van de scrubber (NH₃-verwijdering > 99%) de pH van de scrubber aan de volgende randvoorwaarden moet voldoen:

$$\text{pH} < 3,5$$

6.3.3 Katalytische verbranding

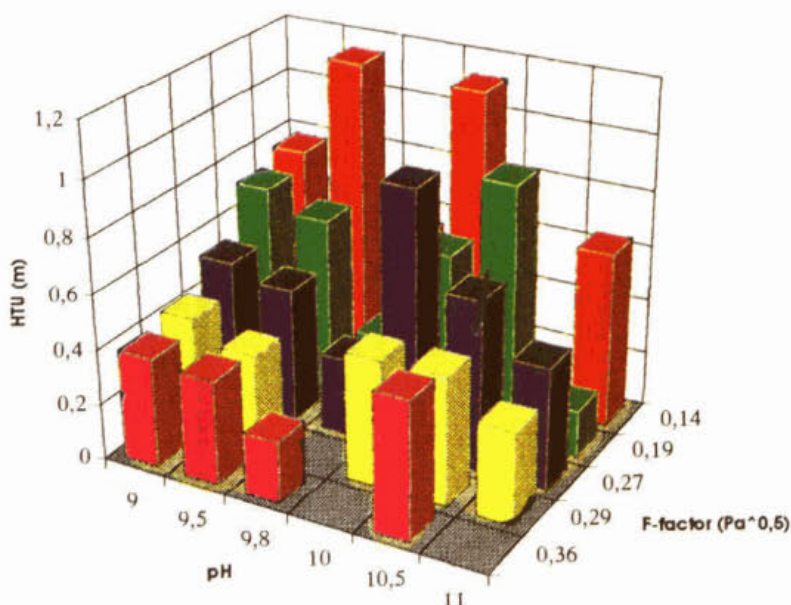
Volgens de Richtlijn verbranding [11] bedraagt de toelaatbare NO_x-concentratie 70 mg NO₂/Nm³, hetgeen overeenkomt met ongeveer 36 ppm NO₂. Daarnaast moet de NH₃ vrijwel volledig verwijderd worden (NH₃ < 10 ppm). Op basis van de resultaten van de katalytische verbrandingsinstallatie (zie afbeelding 13 en 14) kan worden gesteld, dat voor de katalytische verbrandingsinstallatie de volgende randvoorwaarde voor de temperatuur (in °C) kan worden opgesteld:

$$270 < T < 300$$

6.3.4 Stoomstripper

De resultaten van de metingen met de stoomstripper bij een ingangconcentratie van 1.000 mg/l NH₄-N zijn weergegeven in afbeelding 25.

Hierbij is de waarde van de HTU weergegeven als functie van de pH-waarde en de F-factor.



Figuur 25
 NH₄-N-verwijdering als functie van de pH en de stoom/waterverhouding

Voor het ontwerp van een stoomstrip-kolom moet de HTU-waarde ongeveer 0,4 meter bedragen.

Op basis van de resultaten kunnen de volgende randvoorwaarden voor de stoomstripinstallatie worden geformuleerd:

<p>pH > 9 stoom/water > 150 kg/m³ HTU ≈ 0,4 m</p>
--

6.4 Chemicaliënverbruik

In de proefinstallatie zijn de volgende chemicaliën verbruikt:

- natronloog (33%) voor de instelling van de pH;
- zwavelzuur (37%) voor de scrubber;
- fosforzuur (59%) voor de scrubber.

Het specifieke verbruik van natronloog in de proefinstallatie is afhankelijk van de bicarbonaatconcentratie, de NH₄-N-concentratie, het debiet en de gewenste pH.

Omdat de voorbehandeling van de proefinstallatie wezenlijk verschilt van de voorgestelde voorbehandeling van de praktijkinstallatie is het weinig zinvol om het loogverbruik van de proefinstallatie uitvoerig te evalueren.

Het zuurverbruik in de scrubber is afhankelijk van de NH₃-belasting naar de scrubber en is mede afhankelijk van de maximaal haalbare ammoniumzoutconcentratie in de

scrubbervloeistof. Vanwege de effecten van condenswater zijn de gegevens van de proefinstallatie echter minder goed bruikbaar om het zuurverbruik te onderbouwen.

6.5 Energieverbruik

De voornaamste energieverbruikers voor de luchtstripinstallatie zijn:

- blower;
- voedingspomp;
- ketel (met watervoorziening).

De voornaamste energieverbruikers voor de stoomstripinstallatie zijn:

- stoomgenerator;
- voedingspomp.

Er zijn geen specifieke metingen gedaan aan het energieverbruik van de proefinstallatie.

6.6 Productie van reststoffen

Voorbehandeling

In de flocculatie/precipitatietank van de proefinstallatie vindt een verwijdering van zwevendstof plaats.

Scrubber

In de scrubber wordt NH_3 verwijderd met een zure vloeistof. Tijdens het onderzoek zijn zwavelzuur en fosforzuur toegepast. De scrubbervloeistof is geanalyseerd (zie bijlage 3). De belangrijkste resultaten zijn samengevat in tabel 4.

Tabel 6
Analyses van de scrubbervloeistof

Concentratie	Eenheid	Scrubbevloeistof	
		zwavelzuur	fosforzuur
$\text{NH}_4\text{-N}$	g/l	65	46
CZV	mg/l	103	67
Cu	$\mu\text{g/l}$	1050	80
Zn	$\mu\text{g/l}$	990	510

Ammoniak

In de condensor van de stoomstripinstallatie wordt de ammoniakhoudende stoom gecondenseerd. De ammoniakconcentratie is hierbij afhankelijk van de toegepaste stoom/waterverhouding.

Het was niet mogelijk om in de proefinstallatie de ammoniakhoudende stoom verder te concentreren tot de in verband met afzet gewenste concentratie.

Op laboratoriumschaal is eenmalig het ammoniakhoudende condens opgewerkt. Na opwerking is een concentratie bereikt van 30 gewichts %.

De resultaten van de analyses in de uitgangsvloeistof en de geconcentreerde vloeistof zijn vermeld in bijlage 3 en samengevat in tabel 5.

Tabel 7
Analyses ammoniakhoudende vloeistof

Concentratie	eenheid	condensaat	opgewerkte vloeistof
NH ₃	g N/l	10-30	267
CZV	mg/l	21	n.a.
Cu	µg/l	370	160
Zn	µg/l	510	330

6.7 Bedrijfsvoeringsaspecten

Bij het ontwerpen van een stripperinstallatie is het van belang aandacht te schenken aan de volgende bedrijfsvoeringsaspecten:

- voorkoming van scaling;
- voorkoming van condensvorming.

6.7.1 *Scaling*

Wanneer het optreden van scaling zo veel mogelijk wordt voorkomen, neemt de bedrijfstijd van de installatie toe. Om scaling te verwijderen is het immers noodzakelijk om de aangevoerde onderdelen met een zure oplossing (zoutzuur) te behandelen.

Scaling kan worden voorkomen door de hiervoor verantwoordelijke componenten in de voorbehandeling zo ver mogelijk te verwijderen. De opgetreden scaling in de striptoren bestond voornamelijk uit calciumcarbonaat.

In de voorbehandeling moet derhalve calcium of bicarbonaat worden verwijderd.

Verwijdering van calcium door precipitatie als calciumcarbonaat is in principe mogelijk, maar alleen bij gebruik van het relatief dure natronloog. Verder bestaat er in het geval van stoomstrippen kans op afzetting van ammoniumcarbonaat.

Bicarbonaat kan op verschillende manieren worden verwijderd. Een optie is om na verlagen van de pH het koolzuur uit het water te strippen. Uit oogpunt van proceseenvoud, kosten en chemicaliënverbruik is dit minder aantrekkelijk. Vergaande verwijdering van bicarbonaat is ook mogelijk door de pH te verhogen en calcium te doseren. Hierbij worden geen extra chemicaliën verbruikt, omdat de pH-verhoging ook voor het stripproces noodzakelijk is.

Door de dosering van het relatief goedkope kalk wordt naast calciumcarbonaat ook calciumfosfaat neergeslagen. Tevens wordt een groot deel van het aanwezige zwevend stof uitgevlokt. De gevormde neerslagen en vlokken worden in een (afgedichte) bezinktank verwijderd.

Het afgescheiden slib wordt teruggevoerd naar de slibverwerking. Deze voorbehandeling wordt bij de gerealiseerde praktijkinstallaties voor de behandeling van stikstofrijke retourstromen reeds toegepast.

6.7.2 *Condensvorming*

Om condensvorming zoveel mogelijk te beperken is voorzien in een vergaande isolatie van pijp- en leidingwerk.

6.7.3 Voorbehandeling

De voorbehandeling vòòr de stripperinstallatie bestaat uit de volgende onderdelen:

- pompput;
- buffertank;
- pompput;
- flocculatie/lamellenseparator met slibpomp.

De buffertank heeft een netto inhoud, overeenkomend met maximaal 4 uur buffertijd. Voor het spoelen van de installatie met zoutzuur moet de stripperinstallatie gedurende 2-3 uur uit bedrijf.

6.8 Knelpunten

Het belangrijkste knelpunt bij de stripperinstallatie is de pH-meting. Door de temperatuurafhankelijkheid van deze meting wordt de nauwkeurigheid van de meting negatief beïnvloed. In de praktijk is het mogelijk om een goede pH-meter met temperatuurcorrectie te installeren.

In de praktijk scaling een probleem vormen. Bij een goede voorbehandeling, gericht op de verwijdering van bicarbonaat, kan de mate van scaling aanzienlijk worden verlaagd.

6.9 Dimensioneringsgrondslagen

6.9.1 Luchtstripper

De dimensionering van de luchtstripper is gebaseerd op het HTU-NTU-concept.

Hierbij vindt de dimensionering plaats volgens de volgende stappen:

- op basis van de temperatuur en de hydraulische belasting wordt een dusdanige combinatie van de pH, de HTU en de F-factor gezocht, dat een kolomdiameter wordt verkregen die in een standaard-leveringsprogramma past. Door de F-factor ligt tevens de luchtbelasting vast. Hierbij moet aan de volgende randvoorwaarden worden voldaan:

superficiële gassnelheid	≥ 2 m/s
maximale vloeistofbelasting	≤ 4 m ³ /(m ² .h) bij 25°C
	≤ 8 m ³ /(m ² .h) bij 50°C
0,7 < HTU (m) < 1,0	

- het aantal overdrachtstrappen (NTU) wordt bepaald door het gewenste NH₄-verwijderingsrendement;
- de totale hoogte van de stripkolom (H) wordt bepaald door:

$$H = NTU \cdot HTU$$

6.9.2 *Scrubber*

Voor het ontwerp van de scrubber geldt dat het proces vergelijkbaar is met dat in de stripkolom. De overdrachtssnelheid is echter vele malen groter.

De diameter van de scrubber wordt bepaald door het luchtdebiet; de scrubber heeft derhalve dezelfde diameter als de stripkolom.

De hoogte van de scrubber kan beperkt blijven tot 2-3 meter.

6.9.3 *Katalytische verbrandingsinstallatie*

De katalytische verbrandingsinstallatie wordt ontworpen op de NH_3 -vracht in de verbrandingslucht.

6.9.4 *Stoomstripinstallatie*

De dimensionering van de stoomstripper is analoog aan die van de luchtstripper. De voornaamste verschillen zijn:

- de diameter van de kolom is een factor 4 à 5 kleiner, vanwege het ontbreken van geforceerde luchtdoorvoer;
- de hoogte van het strippergedeelte is lager vanwege de lagere hoogte per overdrachtstrap (HTU). De stoomstripper moet evenwel, om de gewenste ammoniakconcentratie in het condensaat te verkrijgen, voorzien zijn van een concentreringsgedeelte, de "rectificeerkolom". Dit onderdeel wordt om kosten te besparen in dezelfde kolom ingebouwd als het stripperdeel. De totale hoogte van de stoomstripkolom is daarmee, afhankelijk van de capaciteit van de installatie, gelijk of hoger in vergelijking met de luchtstripkolom.

Door de kleinere diameter van de stripkolom en het ontbreken van de scrubber of verbrandingsinstallatie is het ruimtebeslag van de stoomstripinstallatie kleiner dan van de luchtstripinstallatie.

6.9.5 *Rectificeerkolom*

De dimensionering van de rectificeerkolom wordt bepaald door de condensbelasting, de $\text{NH}_4\text{-N}$ -ingangconcentratie in de te behandelen vloeistof en de gewenste NH_3 -concentratie in het produkt. De maximale bereikbare NH_3 -concentratie is afhankelijk van de temperatuur van het beschikbare koelmedium en de druk. Bij atmosferische druk en een koelwatertemperatuur van 20-25°C is een oplossing van 20-25 gewichts % NH_3 mogelijk.

6.10 **Algemene toepasbaarheid van het systeem**

Het $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement is onafhankelijk van de ingaande $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentratie.

Dit wordt geïllustreerd in afbeelding 18 waar de resultaten van de metingen bij $\text{pH} = 10,5$ voor de verschillende onderzochte concentraties zijn weergegeven.

Het voorgaande houdt in, dat bij eenzelfde verwijderingsrendement en eenzelfde temperatuur de grootte van het aantal overdrachtstrappen (NTU) onafhankelijk is van de ingangconcentratie.

7 KOSTEN

7.1 Inleiding

In het kader van de overkoepelende rapportage van het project "Behandeling N-rijke stromen" [10] 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;
- stripperinstallatie met randapparatuur.

De dimensionering van de stripperinstallatie is afhankelijk van het gewenste ammoniumverwijderingsrendement. In het kader van de kostenramingen is uitgegaan van een verwijderingsrendement van 95%.

Bij de dimensionering zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

pH \geq 10,5 (in verband met carbonaatverwijdering in voorbehandeling)

R/Q = 3000 (20°C); 1000 (50°C)

Voor de raming van de bouwkosten van de stripperinstallatie met randapparatuur is mede gebruik gemaakt van de raming van de leverancier (Rauschert). Voor de katalytische verbrandingsinstallatie is eveneens de raming van de leverancier (Halden-Topse) als uitgangspunt genomen.

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 mechnisch/elektrisch 11,7%;
- onderhoud civiel 0,5% van de aanneemsom;
- onderhoud mechanisch/elektrisch 3% van de aanneemsom;
- energiekosten f 0,15/kWh;
- stoomkosten f 50,-/ton;
- aardgas f 0,51/Nm³;
- chemicaliënkosten (excl. BTW):
 - loog (33% NaOH) f 270,-/ton;
 - zwavelzuur (96%) f 175,-/ton;
 - fosforzuur (75%) f 500,-/ton;
 - salpeterzuur (60%) f 200,-/ton;
- personeelskosten f 80.000,-/manjaar;

- opbrengst van de geproduceerde chemicaliën (inclusief transportkosten):
 - . ammoniakaal water (25%) f 75,-/ton;
 - . ammoniumsulfaat f 0,-/ton;
 - . ammoniumfosfaat (45%) f 85,-/ton;
 - . ammoniumnitraat (50%) f 50,-/ton.

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 NH₄-N;
- 1 kg/m³ zwevend stof.

De installatie is gedimensioneerd voor drie verschillende debieten om de invloed van de NH₄-N-ingangconcentratie in het bereik van 450-1800 mg/l zichtbaar te maken.

De verschillende debieten zijn:

- 50 m³/d;
- 100 m³/d;
- 200 m³/d.

Voor elke capaciteit zijn de volgende installaties uitgewerkt:

- luchtstrippen bij normale temperatuur (20°C);
- luchtstrippen bij verhoogde temperatuur (50°C);
- stoomstrippen;

Voor de luchtstripinstallatie is in de kostenberekening uitgegaan van zwavelzuur.

Een specificatie van de installaties 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 de tabellen 8, 9 en 10.

Tabel 8

Overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten (in gulden) voor een standaard-rwzi van 100.000 i.e. (luchtstrippen 20°C)

	Ingangconcentratie NH ₄ -N (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	5.260.000	4.310.000	3.880.000
Exploitatiekosten	870.000	720.000	650.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	27,90	23,10	20,80

Tabel 9

Overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten (in guldens) voor een standaard-rwzi van 100.000 i.e. (luchtstrippen 50°C)

	Ingangconcentratie NH ₄ -N (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	3.880.000	3.490.000	3.200.000
Exploitatiekosten	710.000	620.000	560.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	22,80	19,90	17,90

Tabel 10

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

	Ingangconcentratie NH ₄ -N (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	3.130.000	2.940.000	2.840.000
Exploitatiekosten	880.000	670.000	560.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	28,20	21,50	17,90

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 NH₄-N;
- 1 kg/m³ zwevend stof.

De installatie is gedimensioneerd voor drie verschillende debieten.

Een specificatie van de installaties 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 de tabellen 11, 12 en 13.

Tabel 11

Overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten (in guldens) voor een standaard-rwzi van 400.000 i.e. (luchtstrippen 20°C)

	Ingangconcentratie NH ₄ -N (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	9.650.000	6.650.000	5.370.000
Exploitatiekosten	1.800.000	1.320.000	1.110.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	14,40	10,60	8,90

Tabel 12

Overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten (in guldens) voor een standaard-rwzi van 400.000 i.e. (luchtstrippen 50°C)

	Ingangconcentratie NH ₄ -N (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	5.770.000	4.700.000	3.970.000
Exploitatiekosten	1.400.000	1.120.000	950.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	11,20	9,00	7,60

Tabel 13

Overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten (in guldens) voor een standaard-rwzi van 400.000 i.e. (stoomstrippen)

	Ingangconcentratie NH ₄ -N (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	4.440.000	3.540.000	3.120.000
Exploitatiekosten	2.300.000	1.440.000	1.020.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	18,40	11,50	8,20

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 installaties is opgenomen in bijlage 8. In bijlage 6 is een raming van de stichtings- en exploitatiekosten opgenomen, die eveneens is samengevat in tabel 14.

Tabel 14

Overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten (in guldens) voor de rwzi Utrecht

Type stripinstallatie	Stichtingskosten	Exploitatiekosten	Kosten per kg N(Kj) verw.
Luchtstrippen - 20°C	10.860.000	2.070.000	13,10
Luchtstrippen - 50°C	6.160.000	1.580.000	10,00
Stoomstrippen	5.460.000	2.780.000	17,60

7.5 Invloed van de reststoffenproduktie op de kosten

Voor de luchtstripinstallatie met een capaciteit voor 400.000 i.e. bij 400 m³/d is de invloed nagegaan van de produktie van andere reststoffen dan ammoniumsulfaat. Uit de berekeningen blijkt dat de exploitatiekosten bij de produktie van ammoniumnitraat en ammoniumfosfaat toenemen met f 50.000,- respectievelijk f 180.000,-.

De opbrengst van de reststoffen zoals ammoniakaal water bij stoomstrippen vertegenwoordigt slechts een gering percentage van de totale exploitatiekosten. De exploitatiekosten zijn daarom slechts beperkt gevoelig voor variaties in de opbrengst van de reststof.

Bij katalytische verbranding worden geen reststoffen geproduceerd. Ten opzichte van de situatie met produktie van ammoniumsulfaat nemen de exploitatiekosten toe met f 410.000,-.

CONCLUSIES

- Het stripproces kan op praktijkschaal worden toegepast voor de behandeling van stikstofrijk water uit de slibverwerking van rwzi's, mits wordt voldaan aan een aantal randvoorwaarden voor de voorbehandeling.
- Als voorbehandeling van het water is naast verwijdering van bezinkbare stoffen, zwevendstof en drijflagen een vergaande verwijdering van carbonaat noodzakelijk om scalingsproblemen te voorkomen.
- De resultaten van het onderzoek kunnen goed worden gebruikt voor het opschalen naar praktijkinstallaties. Dit geldt zowel voor het luchtstripproces bij lage en hoge temperatuur als voor het stoomstripproces.
- Voor het luchtstripproces zijn de maatgevende randvoorwaarden voor de dimensionering, afhankelijk van de temperatuur:

	T = 25°C	T = 50°C
R/Q (Nm ³ /m ³)	≥ 2.000	≥ 1.000
pH	≥ 10,5	≥ 9,5
HTU (m)	0,7 - 1,0	0,7 - 1,0
- Voor het stoomstripproces zijn de maatgevende randvoorwaarden voor de dimensionering.

stoom/waterverhouding	≥ 150 kg/m ³
pH	≥ 9
HTU (m)	≈ 0,4
- Met de stripprocessen kan een vergaande ammoniumverwijdering (≥ 95%) worden gerealiseerd.

Tabel 15

Kostenoverzicht van de lucht- en stoomstripinstallaties voor de standaard-rwzi's

capaciteit (i.e.)	N-conc. (mg/l)	strip- temperatuur (°C)	stichtings- kosten	exploitatie- kosten	kosten per kg N(Kj) _{verw}
100.000	1800	50	3.200.000	560.000	17,90
100.000	900	50	3.490.000	620.000	19,90
100.000	450	50	3.880.000	710.000	22,80
400.000	1800	50	3.970.000	950.000	7,60
400.000	900	50	4.700.000	1.120.000	9,00
400.000	450	50	5.770.000	1.400.000	11,20
100.000	1800	100	2.840.000	560.000	17,90
100.000	900	100	2.940.000	670.000	21,50
100.000	450	100	3.130.000	880.000	28,20
400.000	1800	100	3.120.000	1.020.000	8,20
400.000	900	100	3.540.000	1.440.000	11,50
400.000	450	100	4.440.000	2.300.000	18,40

- Van de stripprocessen is bij de gehanteerde uitgangspunten het luchtstripproces bij 50°C economisch het meest aantrekkelijk.

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
Sluisjesdijk.
Rapport 95-09
- [4] STOWA
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.
Praktijkonderzoek aan de driefasen-airliftreactor op de rwzi Utrecht.
Rapport 95-10
- [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] Rautenbach, R. e.a.
Ammoniakrecycling aus dem Prozesswasser der Schlammwässerung.
Korrespondenz Abwasser, 41 (4), 576-584, 1994.
- [8] N.N.
Das HTU-NTU-Konzept.
Seminar zur Vorlegung Stoff- und Wärmeaustauscher WS 82/83, 1983.
- [9] STOWA
Behandeling van stikstofrijke stromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.
Afzetmogelijkheden voor de reststoffen van strippen en MAP-proces.
Rapport 95-14
- [10] STOWA
Behandeling van stikstofrijke stromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.
Evaluatie van Nederlandse praktijkonderzoeken.
Rapport 95-08

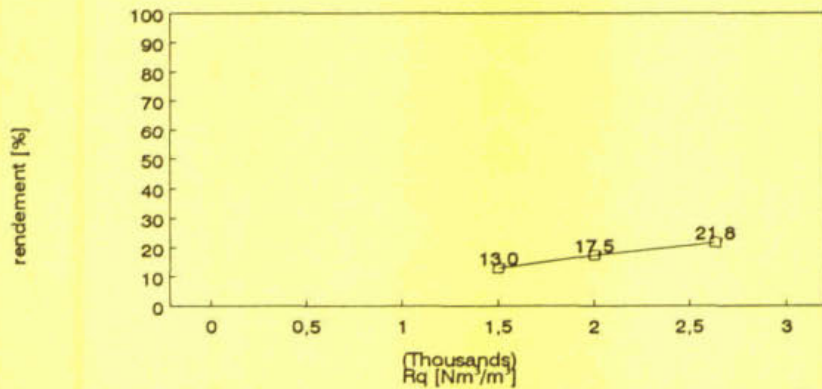
- [11] Besluit luchtemissie afvalverbranding
Staatsblad 21 januari 1993.

BIJLAGE 1

Resultaten van het luchtstripproces

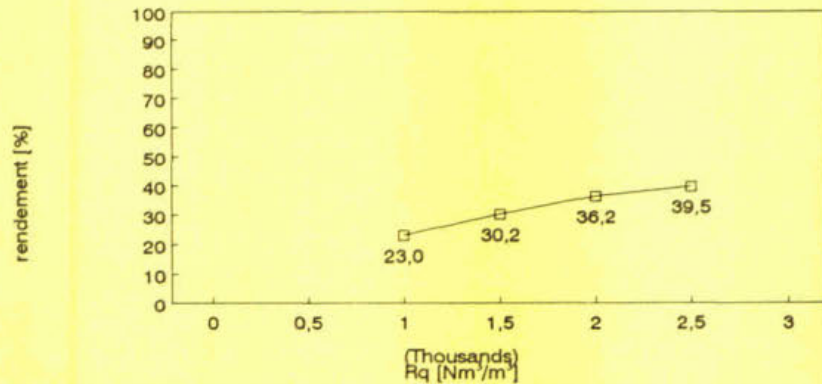
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 9,0 T = 25 °C Q = 0,50 m³/h

temperatuur °C	Tijd (uur)	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
26	14,14	9,12	2630	435	340	21,8
25	15,30	9,12	2000	435	359	17,5
25	16,40	9,12	1500	430	374	13,0



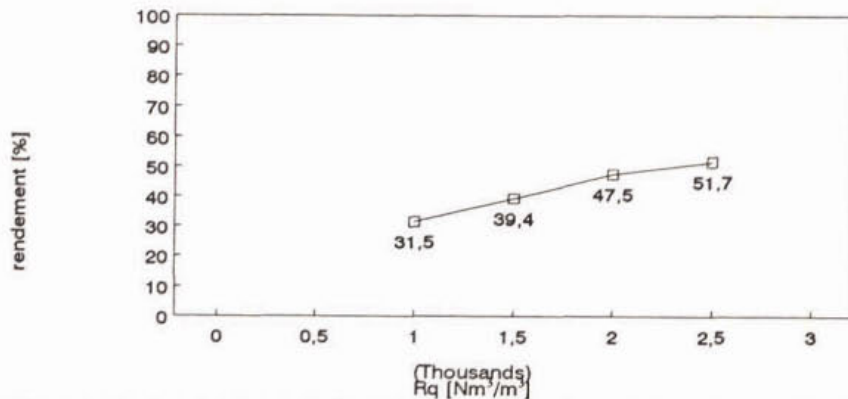
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 9,5 T = 25 °C Q = 0,5 m³/h

temperatuur °C	Tijd (uur)	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
25	11,50	9,50	2500	420	254	39,5
25	12,40	9,52	2000	425	271	36,2
25	13,40	9,54	1500	432,5	302	30,2
25	15,50	9,54	1000	435	335	23,0



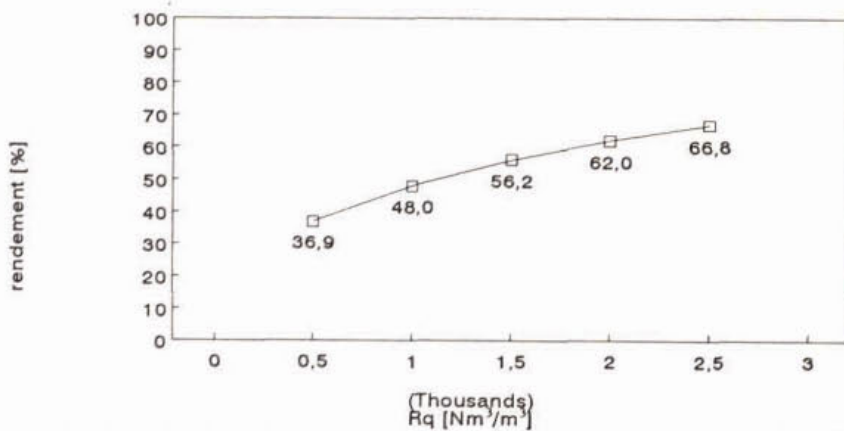
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 10,0 T = 25 °C Q = 0,50 m³/h

temperatuur °C	Tijd (uur)	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
25	12,35	10,05	2500	375	181	51,7
24	13,40	10,03	2000	415	218	47,5
25	14,40	10,03	1500	407,5	247	39,4
25	15,40	10,02	1000	417,5	286	31,5



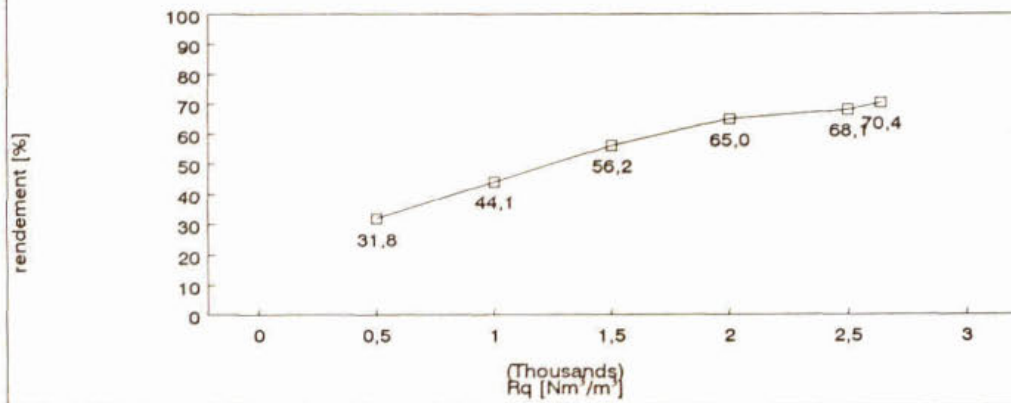
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 10,5 T = 25 °C Q = 0,5 m³/h

temperatuur °C	Tijd (uur)	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
25	13,10	10,48	2500	385	128	66,8
25	14,10	10,53	2000	405	154	62,0
25	15,20	10,55	1500	417,5	183	56,2
25	16,10	10,54	1000	415	216	48,0
25	17,00	10,54	500	420	265	36,9



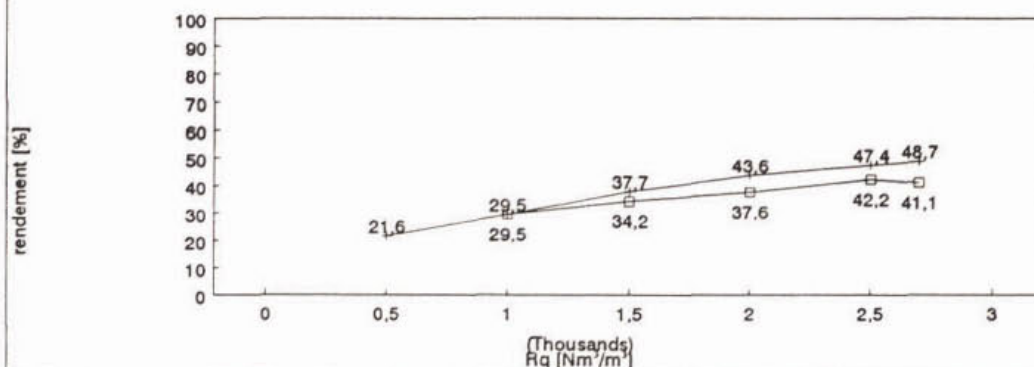
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 11,0 T = 25 °C Q = 0,50 m³/h

temperatuur °C	Tijd (uur)	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
25	10,10	11,00	2640	405	120	70,4
25	11,30	11,04	2500	407,5	130	68,1
25	13,20	11,04	2000	442,5	155	65,0
25	14,30	11,04	1500	445	195	56,2
26	16,20	11,04	1000	447,5	250	44,1
26	16,50	11,04	500	447,5	305	31,8



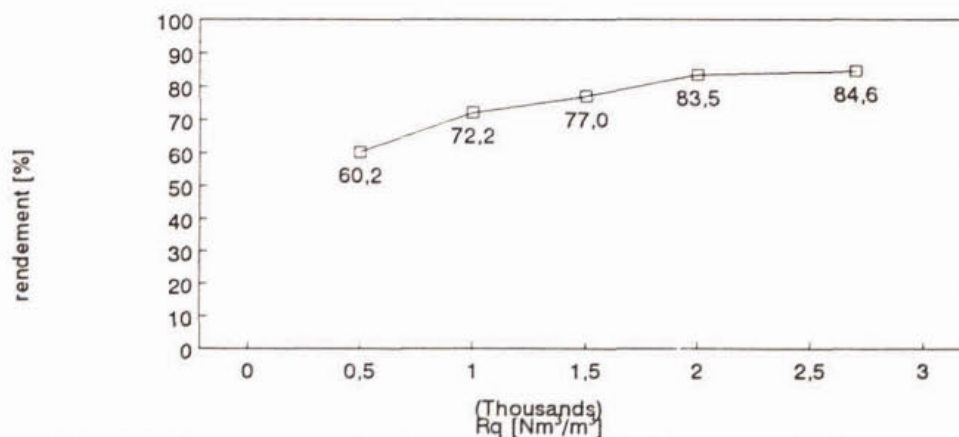
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
pH = 9,0 T = 50 °C Q = 0,50 m³/h

temp. °C	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent 's morgens (mg N/l)	influent 's middags (mg N/l)	effluent 's morgens (mg N/l)	effluent 's middags (mg N/l)	rendement 's morgens %	rendement 's middags %
50	9,00	2700	370	390	218	200	41,1	48,7
50	9,00	2500	370	390	214	205	42,2	47,4
50	9,00	2000	370	390	231	220	37,6	43,6
50	9,00	1500	380	390	250	243	34,2	37,7
50	9,00	1000	-	380	-	268	29,5	29,5
50	9,00	500	-	380	-	298	NA	21,6



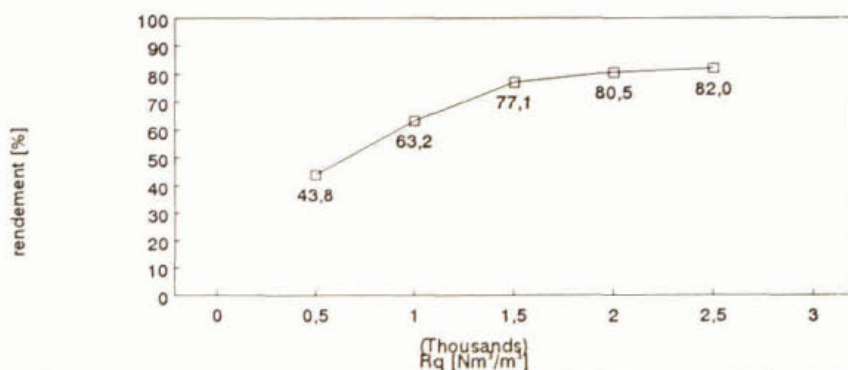
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
pH = 9,5 T = 50 °C Q = 0,5 m³/h

tempe °C	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
50	9,40	2700	367,5	56,6	84,6
50	9,45	2000	417,5	69,0	83,5
50	9,45	1500	387,5	89,0	77,0
50	9,45	1000	410	114	72,2
50	9,50	500	417,5	166	60,2



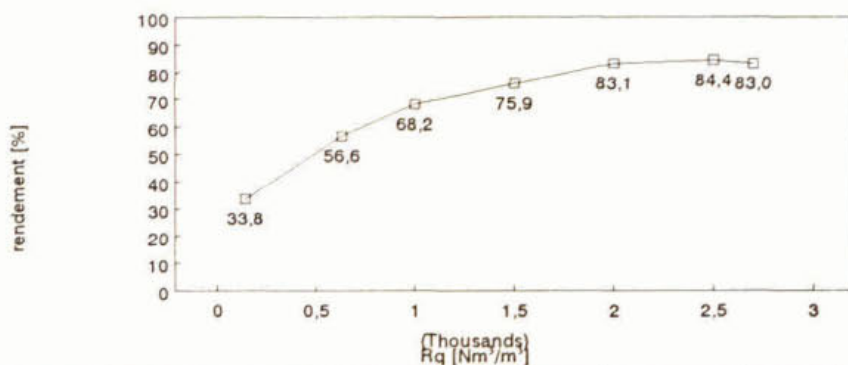
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 10 T = 50 °C Q = 0,50 m³/h

temperatuur °C	Tijd (uur)	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
51	16,50	10,10	2500	355	64,0	82,0
53	15,40	10,10	2000	400	78,0	80,5
50	14,50	10,00	1500	412,5	94,5	77,1
50	13,30	10,05	1000	407,5	150	63,2
50	12,00	10,05	500	395	222	43,8



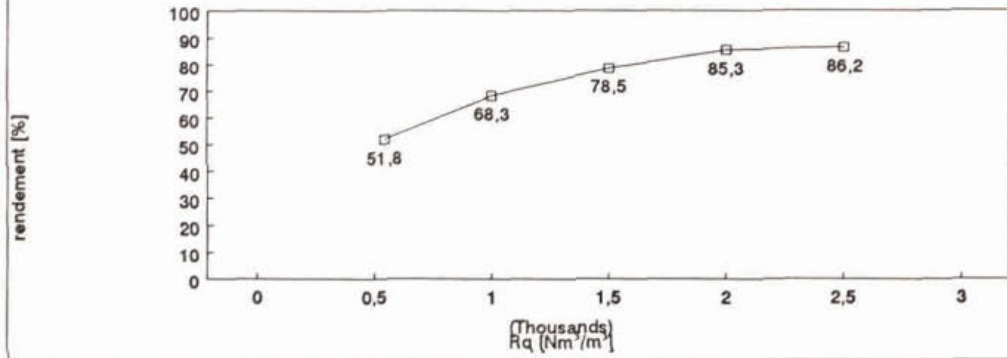
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 10,5 T = 50 °C Q = 0,5 m³/h

temperatuur °C	Tijd (uur)	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
50	10,00	10,5	2700	342	58,0	83,0
50	10,30	10,5	2500	347	54,3	84,4
50	11,00	10,5	2000	347	58,6	83,1
50	11,50	10,5	1500	347	83,8	75,9
50	12,35	10,5	1000	355	113	68,2
50	14,00	10,5	630	355	154	56,6
50	16,45	10,5	142	355	235	33,8



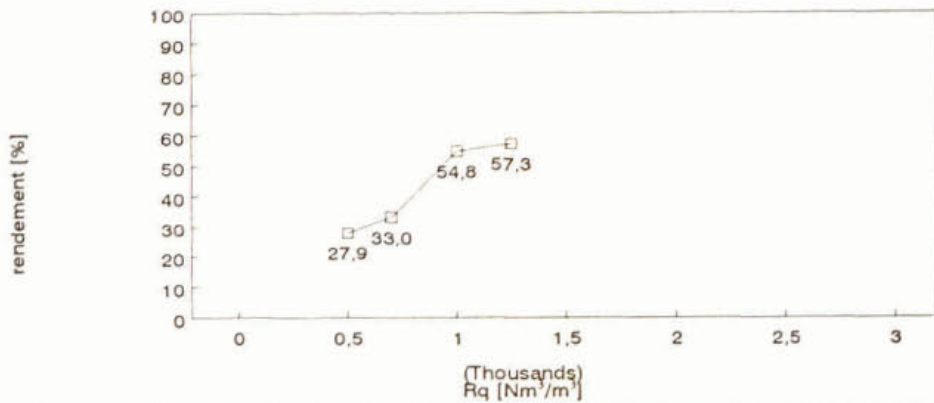
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 11,0 T = 50 °C Q = 0,50 m³/h

temperatuur °C	Tijd (uur)	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
50		11,00	2500	445	61,4	86,2
50	15,50	11,00	2000	445	65,3	85,3
50	14,50	11,04	1500	445	95,5	78,5
50	12,15	11,07	1000	435	138	68,3
50	11,30	11,07	544	415	200	51,8



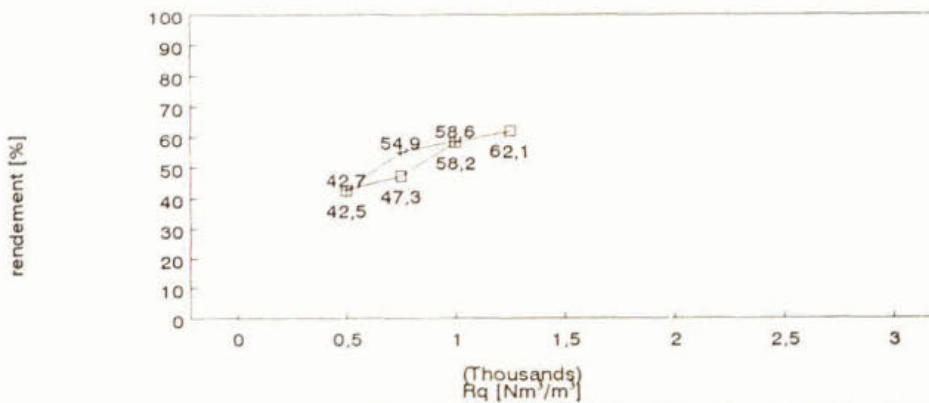
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 8,5 T = 60 °C Q = 1,0 m³/h

tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
15,05	61	49	8,43	8,13	1250	433,3	185	57,3
16,15	58	46	8,45	8,09	1000	382,5	173	54,8
13,00	58	51	8,43	8,39	700	385	258	33,0
16,30	57	47	8,61	8,43	500	380	274	27,9



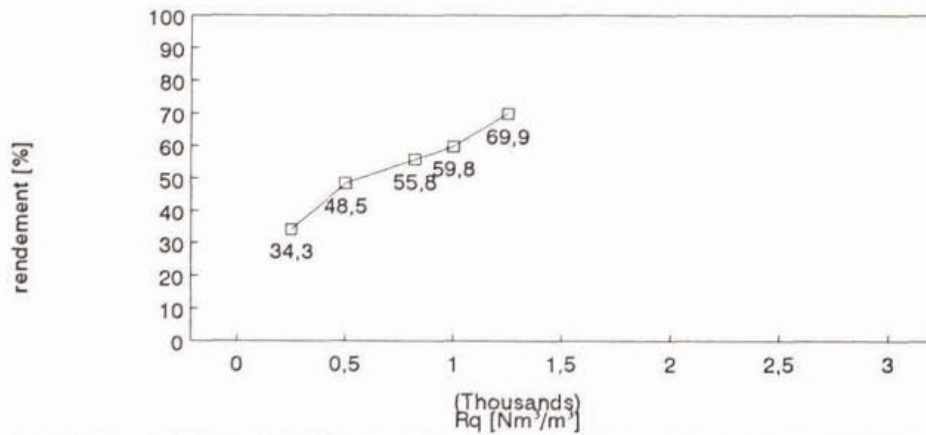
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 9 T = 60 °C Q = 1,0 m³/h

tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
14,10	62	44	8,93	8,86	1250	385	146	62,1
15,00	60	46	9,00	8,96	1000	382,5	160	58,2
16,00	58	42	9,07	9,00	750	377,5	199	47,3
11,00	59	46	9,12	9,18	500	400	230	42,5
13,35	57	46	9,08	8,92	1000	367,5	152	58,6
14,20	57	48	9,13	9,05	750	376,5	170	54,9
15,50	53	48	9,24	9,13	500	366,7	210	42,7



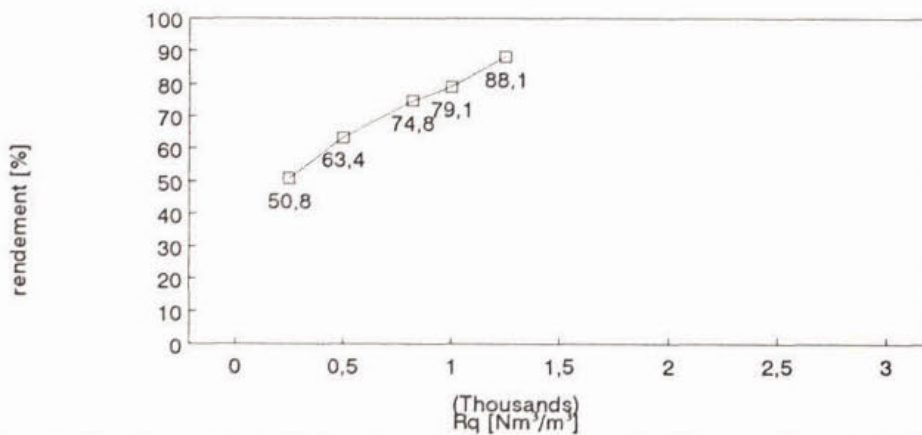
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 9,7 T = 60 °C Q = 1,0 m³/h

tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
16,10	50	43	9,53	9,44	1250	358,3	108	69,9
11,00	47	39	9,75	9,67	1000	358,3	144	59,8
12,00	51	43	9,80	9,78	820	360	159	55,8
13,15	45	41	9,91	9,89	500	366,7	189	48,5
14,10	45	41	9,93	9,91	250	368,3	242	34,3



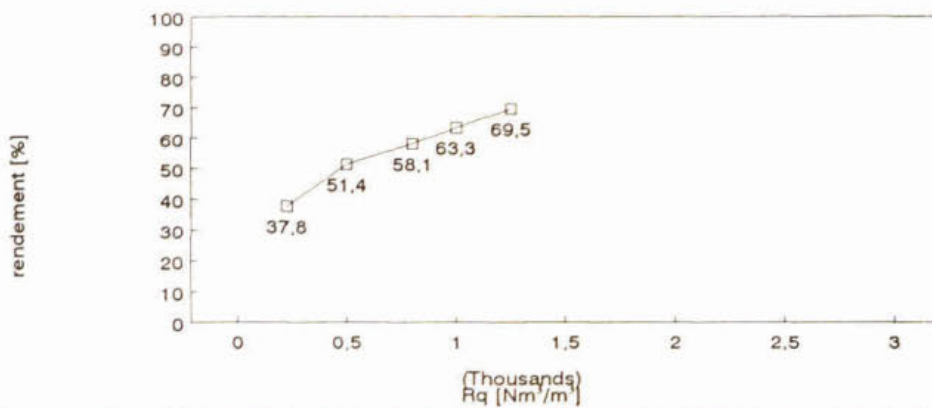
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 10,1 T = 60 °C Q = 1,0 m³/h

tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
15,45	56	40	10,14	10,19	1250	427,5	51	88,1
14,30	56	42	10,13	10,18	1000	402,5	84	79,1
13,40	57	42	10,12	10,17	820	420	106	74,8
12,15	56	43	10,13	10,2	500	447,5	164	63,4
11,20	56	43	10,08	10,16	250	402,5	198	50,8



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 8,5 T = 60 °C Q = 1,0 m³/h

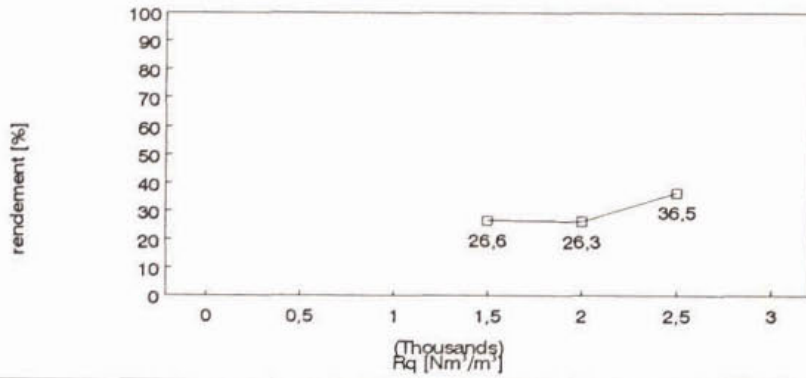
tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
15.20	53	46	10,90	11,02	1250	387,5	118	69,5
14.30	56	47	10,84	10,95	1000	392,5	144	63,3
13.50	53	47	10,96	11,02	800	412,5	173	58,1
12.30	60	47	10,84	10,98	500	463	225	51,4
11.30	62	53	10,64	10,85	225	450	280	37,8



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 9 T = 25 °C NH₄-N = 1000 mg N/l Q = 0,5 m³/h

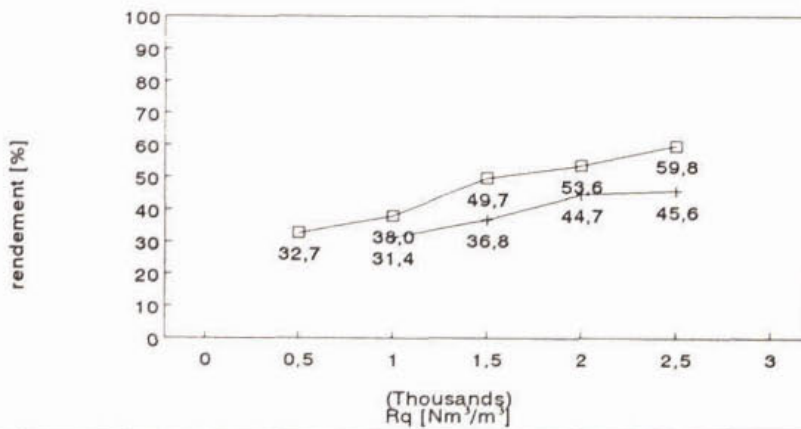
temperatuur °C	Tijd (uur)	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
25	12,05	9,03	2500	1090	692	36,5
24	14,50	9,00	2000	1035	763	26,3
26	14,40	9,98	1500	1070	785	26,6



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 10 T = 25 °C NH₄-N = 1000 mg N/l Q = 0,5 m³/h

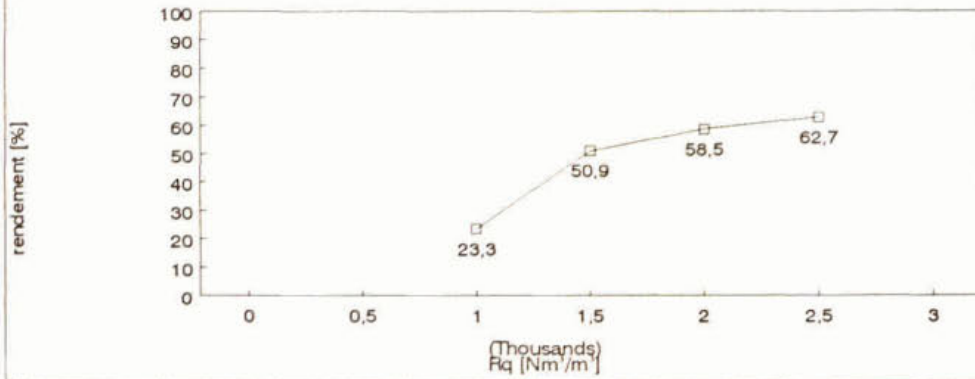
temperatuur °C	Tijd (uur)	pH	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
26	14,00	9,82	2500	850	342,0	59,8
25		9,87	2000	875	406	53,6
25		9,88	1500	905	455,0	49,7
25		9,88	1000	815	505,0	38,0
27		9,85	500	910	612,0	32,7
25	16,00	10,08	2500	1060	577	45,6
25	10,10	10,08	2000	1050	581	44,7
26	11,20	10,1	1500	1050	664	36,8
25	13,00	10,00	1000	1150	720,0	37,4



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 10,5 T = 25 °C NH₄-N = 1000 mg N/l Q = 0,5 m³/h

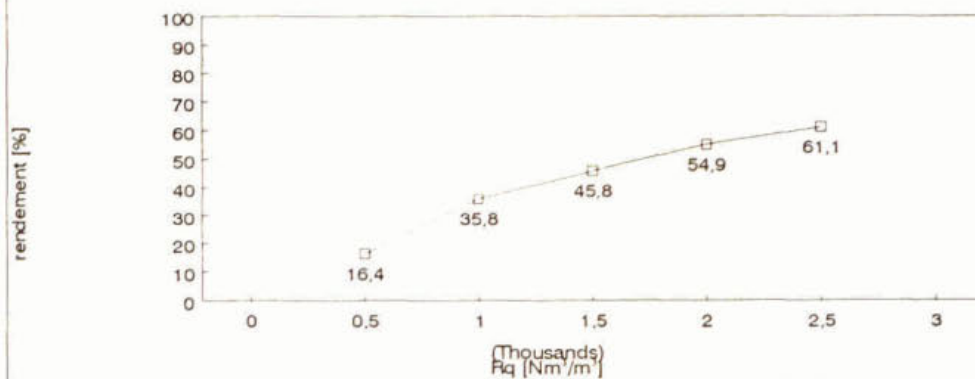
Tijd (uur)	pH	T _{lucht} (°C)	T _{water} (°C)	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
12,20	10,53	23,0	24	2500	1060	395	62,7
14,50	10,61	24,5	24	2000	1050	436	58,5
16,00	10,61	24,0	25	1500	1050	516	50,9
-	10,41	25,0	25	1000	1150	882	23,3



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 11 T = 25 °C NH₄-N = 1000 mg N/l Q = 0,5 m³/h

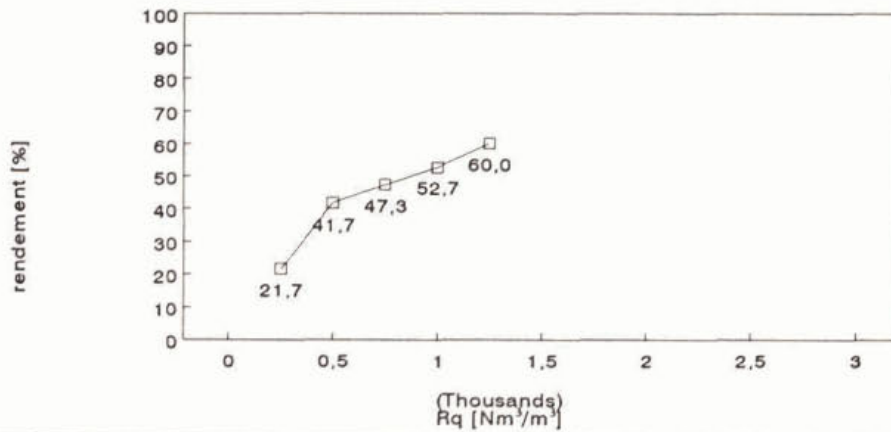
Tijd (uur)	pH	T _{lucht} (°C)	T _{water} (°C)	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
11.30	11,14		25	2500	900	350	61,1
13.20	11,24	25,3	25	2000	1005	453	54,9
15.45	11,26	25,2	25	1500	1005	545	45,8
14.45	11,20	24,6	25	1000	1005	645	35,8
13.30	11,18	25	26	500	935	782	16,4



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 9 T = 50 °C NH₄-N = 1000 mg N/l Q = 1,0 m³/h

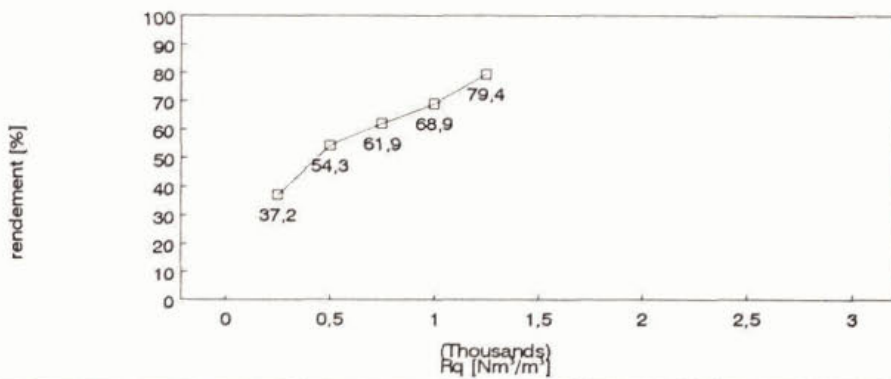
tijd	pH infl.	pH effl.	temp. infl. (°C)	temp. effl. (°C)	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
12.30	9,09	9,13	50	44	1250	1010	404	60,0
13.45	9,00	8,77	52	41	1000	1035	490	52,7
10.35	9,13	8,91	51	43	750	845	445	47,3
15.45	9,01	9,00	52	42	500	1115	650	41,7
16.30	9,00	8,95	51	46	250	1085	850	21,7



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 10 T = 50 °C NH₄-N = 1000 mg N/l Q = 1,0 m³/h

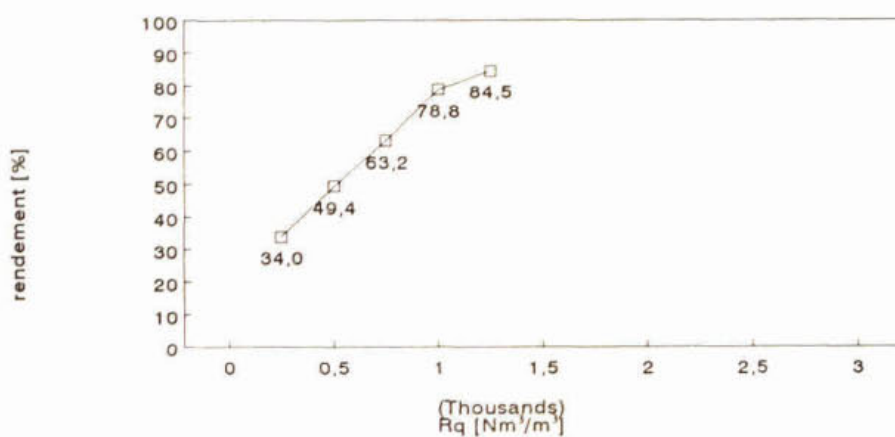
tijd	pH infl.	pH effl.	temp. infl. (°C)	temp. effl. (°C)	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
13.30	10,24	10,13	47	42	1250	970	200,0	79,4
10.30	10,21	10,19	51	39	1000	900	280,0	68,9
16.00	10,14	10,09	50	42	750	925	352,0	61,9
15.00	10,01	10,24	50	36	500	1040	475,0	54,3
13.00	9,94	9,97	50	41	250	1065	669	37,2



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

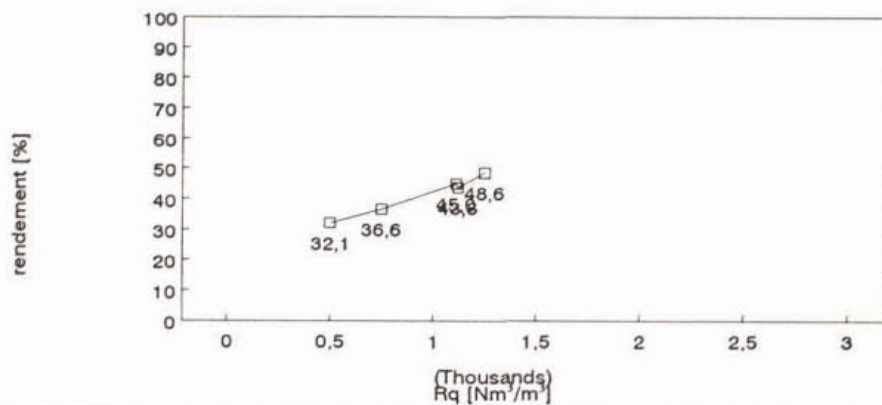
pH = 11 T = 50 °C NH₄-N = 1000 mg N/l Q = 1,0 m³/h

tijd	pH infl.	pH effl.	temp. infl. (°C)	temp. effl. (°C)	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
15.30	10,95	10,85	50	43	1250	1035	160	84,5
14.30	10,95	10,80	52	43	1000	1060	225	78,8
13.30	10,90	10,80	51	42	750	1065	392	63,2
12.30	10,85	10,86	51	42	500	1040	526	49,4
11.15	10,87	10,86	51	42	250	1060	700	34,0



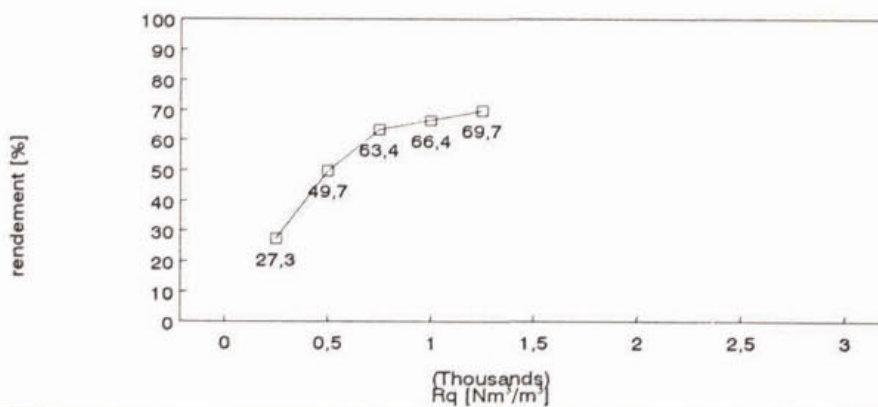
RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 8,5 T = 60 °C Q = 1,0 m³/h NH₄-N = 1000 mg N/l

tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
11.30	59	51	8,44	7,74	1250	1285	660	48,6
15.30	60	50	8,41	7,77	1120	1245	700	43,8
12.30	60	50	8,43	7,81	1111	1200	660	45,0
10.20	60	50	8,40	8,11	750	1290	818	36,6
11.45	58	50	8,52	8,34	500	1230	835	32,1



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 9 T = 60 °C NH₄-N = 1000 mg N/l Q = 1,0 m³/h

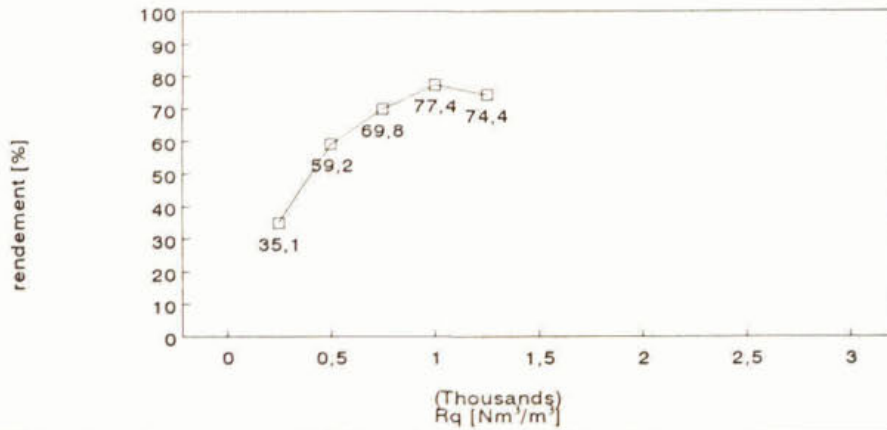
tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
13.05	62	54	8,91	8,23	1250	1315	398	69,7
15.30	60	53	8,93	8,38	1000	1260	423	66,4
14.20	61	56	8,90	8,40	750	1280	468	63,4
15.15	58	52	8,99	8,70	500	985	495	49,7
14.00	58	50	8,89	8,90	250	1125	818	27,3



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 9,5 T = 60 °C Q = 1,0 m³/h NH₄-N = 1000 mg N/l

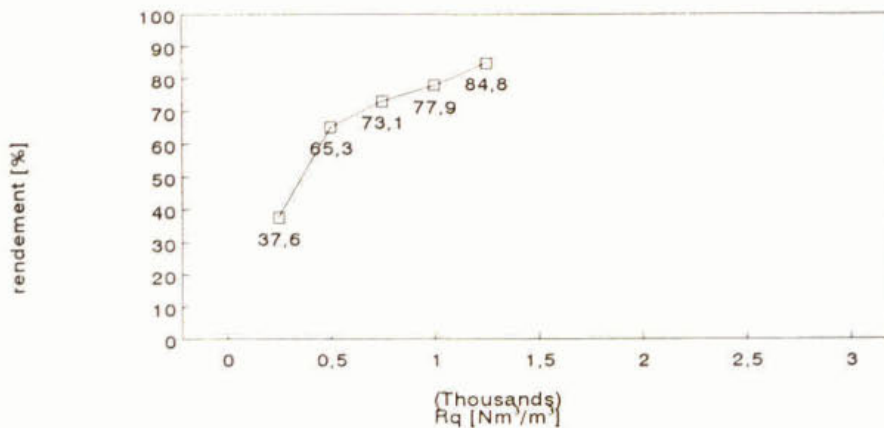
tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
11,45	59	48	9,36	9,01	1250	990	254	74,4
16,30	60	51	9,46	9,19	1000	895	203	77,4
15,20	60	52	9,47	9,24	750	920	278	69,8
14,15	59	52	9,47	9,32	500	845	345	59,2
13,10	60	52	9,51	9,45	250	855	555	35,1



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

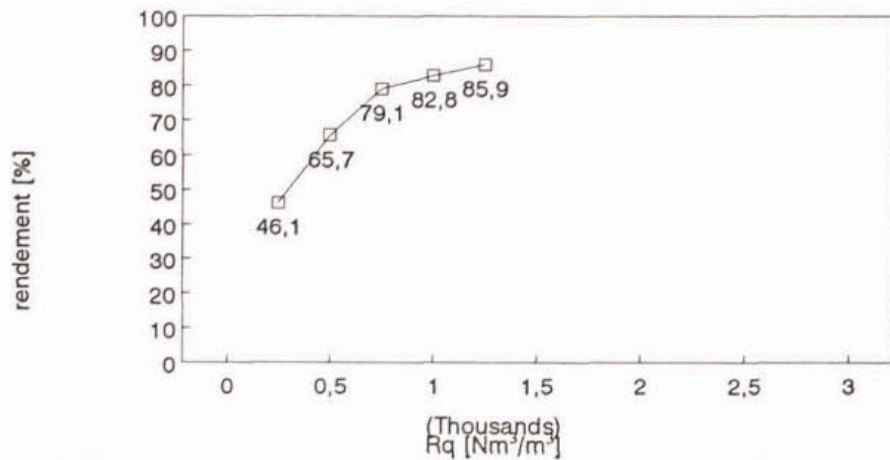
pH = 10 T = 60 °C Q = 1,0 m³/h NH₄-N = 1000 mg N/l

tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
14,30	60	54	10,06	10,01	1250	955	145	84,8
13,00	60	54	10,04	9,94	1000	980	217	77,9
11,00	57	52	9,87	9,87	750	945	254	73,1
14,30	60	53	10,22	10,20	500	1090	378	65,3
15,30	52	55	10,00	10,02	250	935	583	37,6



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER
 pH = 10,7 T = 60 °C Q = 1,0 m³/h NH₄-N = 1000 mg N/l

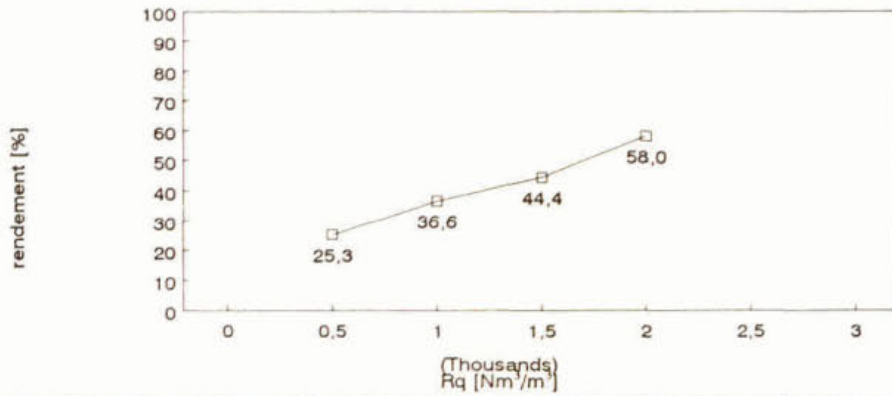
tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
10,10	63	52	10,72	10,90	1250	960	135	85,9
15,30	62	52	10,80	11,00	1000	1020	175	82,8
14,05	64	45	10,65	10,87	750	950	199	79,1
11,00	65	46	10,49	10,87	500	955	328	65,7
16,00	65	54	10,90	11,20	250	900	485	46,1



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 10,1 T = 25°C NH₄-N = 2000 mg N/l Q = 0,5 m³/h

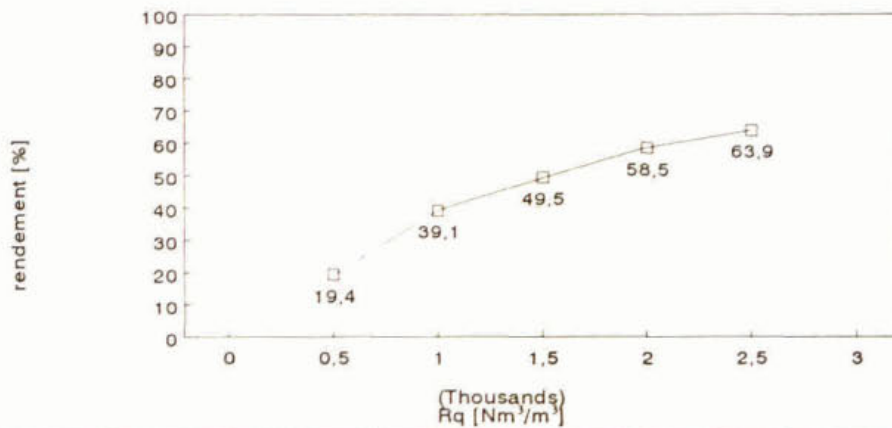
Tijd	pH infl.	pH effl.	temp. infl. (°C)	temp. effl. (°C)	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
16,00	10,12		26		2500	1680	705	58,0
11,00	10,15		25		2000	1670	928	44,4
12,30	10,14		27		1500	1680	1065	36,6
14,00	10,13		28		1000	1600	1195	25,3



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 10,5 T = 25°C NH₄-N = 2000 mg N/l Q = 0,5 m³/h

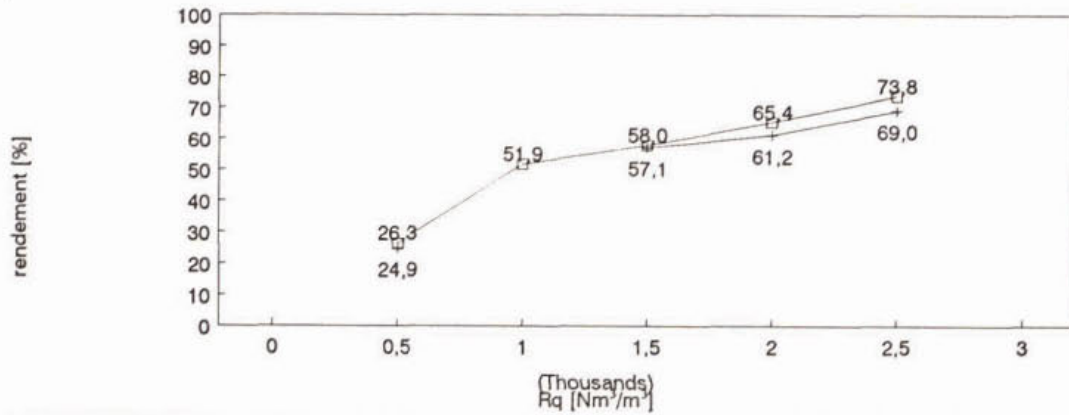
Tijd	pH infl.	pH effl.	temp. infl. (°C)	temp. effl. (°C)	Rq (Nm ³ /m ³)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement %
13,30	10,51	10,11	26	28	2500	1800	650	63,9
15,00	10,53	10,20	26	27	2000	1710	709	58,5
11,10	10,48	20,28	28	27	1500	1840	930	49,5
12,40	10,49	10,26	26	28	1000	1750	1065	39,1
13,45	10,48	10,38	27	28	500	1700	1370	19,4



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 11 T = 25°C NH₄-N = 2000 mg N/l Q = 0,5 m³/h

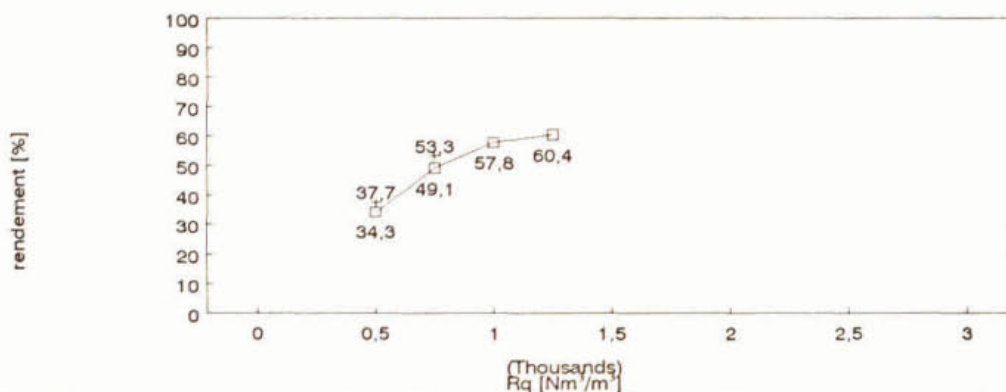
Rq (Nm ³ /m ³)	meting 1						meting 2		
	temp. infl. (°C)	temp. effl. (°C)	pH	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
2500	25	24	11,15	1920	595	69,0	1910	500	73,8
2000	25	24	11,20	1820	707	61,2	2050	710	65,4
1500	25	24	11,20	1830	785	57,1	1960	823	58,0
1000	25	25	11,19	NA	NA	NA	2000	963	51,9
500	27	26	11,15	1870	1405	24,9	1940	1430	26,3



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 9 T = 50°C Q = 1,0 m³/h NH₄-N = 2000 mg N/l

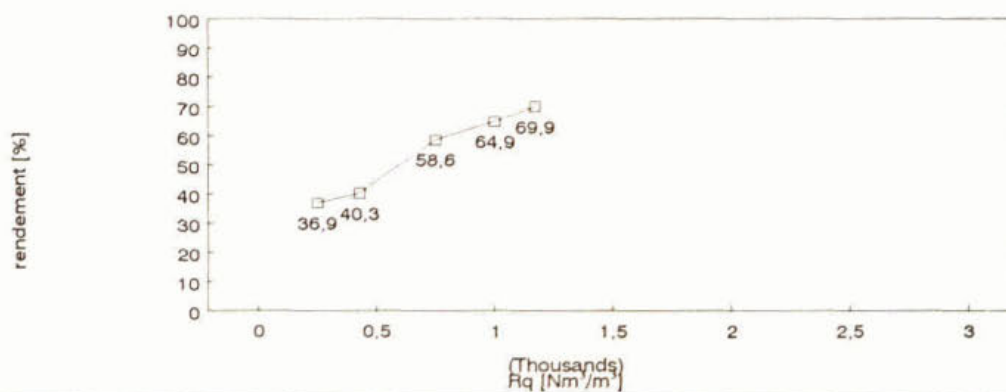
tijd	temp. (infl) (°C)	temp. (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	meting 1			meting 2		
						infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rend. (%)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rend. (%)
13,40	52	49	8,93	8,24	1250				1950	772	60,4
14,15	52	49	8,93	8,33	1000				1960	828	57,8
10,00	53	42	8,87	8,63	750	2010	939	53,3	1950	992	49,1
16,10	53	49	8,94	8,63	500	1990	1240	37,7	1910	1255	34,3



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 9,5 T = 50°C Q = 1,0 m³/h NH₄-N = 2000 mg N/l

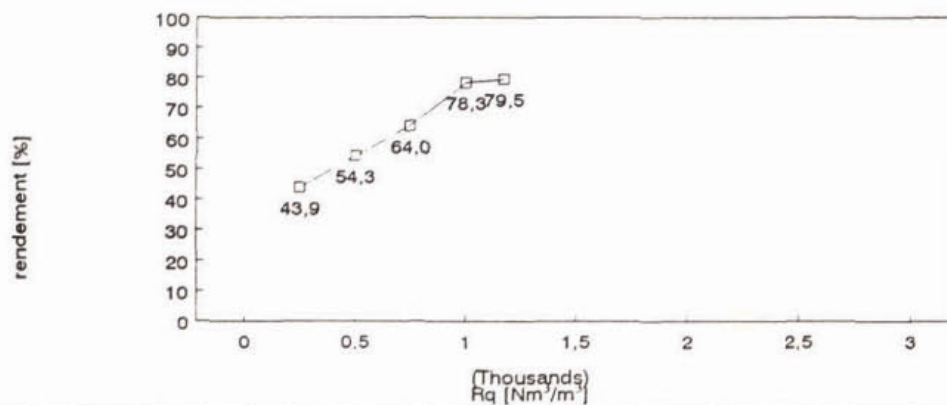
tijd	temp. (infl) (°C)	temp. (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)				infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rend. (%)
13,45	50	46	9,50	9,03	1170				1980	595	69,9
14,45	51	45	9,50	9,12	1000				1990	699	64,9
15,45	52	46	9,46	9,19	750				2050	849	58,6
11,20	53	45	9,53	9,43	430				2000	1195	40,3
12,30	54	46	9,45	9,37	250				1950	1230	36,9



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 10 T = 50°C Q = 1,0 m³/h NH₄-N = 2000 mg N/l

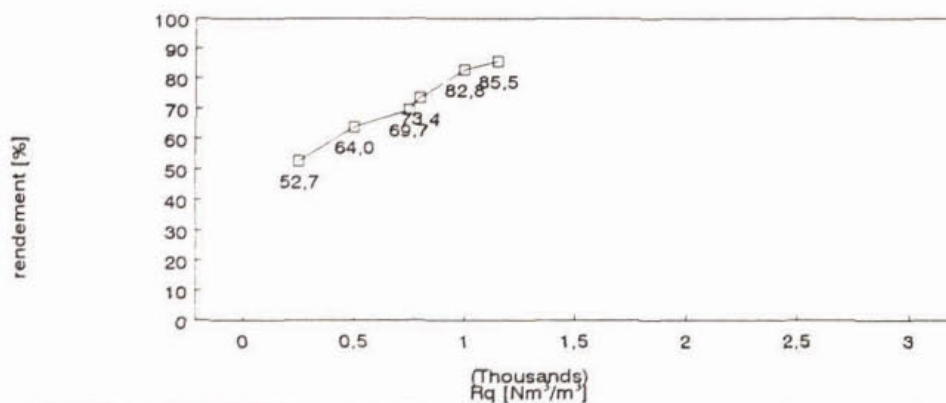
tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
15,10	54	46	10,03	9,74	1170	1800	369	79,5
16,00	54	46	9,94	9,71	1000	1870	405	78,3
10,00	50	46	9,98	9,74	750	2040	735	64,0
11,00	52	46	9,96	9,80	500	2110	965	54,3
12,00	52	48	9,99	9,90	250	1960	1100	43,9



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 11 T = 50°C NH₄-N = 2000 mg N/l

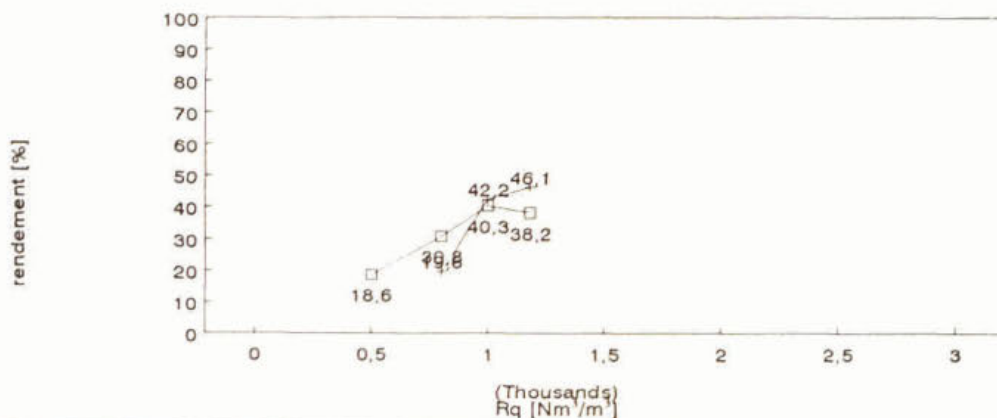
tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
15,30	54	47	10,90	10,86	1150	2020	293	85,5
16,20	52	47	10,96	10,90	1000	2010	345	82,8
15,40	52	47	11,10	11,09	800	1970	524	73,4
12,20	52	44	10,98	11,02	750	1930	585	69,7
13,15	51	47	11,03	11,03	500	1920	692	64,0
14,20	55	47	11,00	11,05	250	2000	946	52,7



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 8,2 T = 60°C NH₄-N = 2000 mg/l Q = 1,0 m³/h

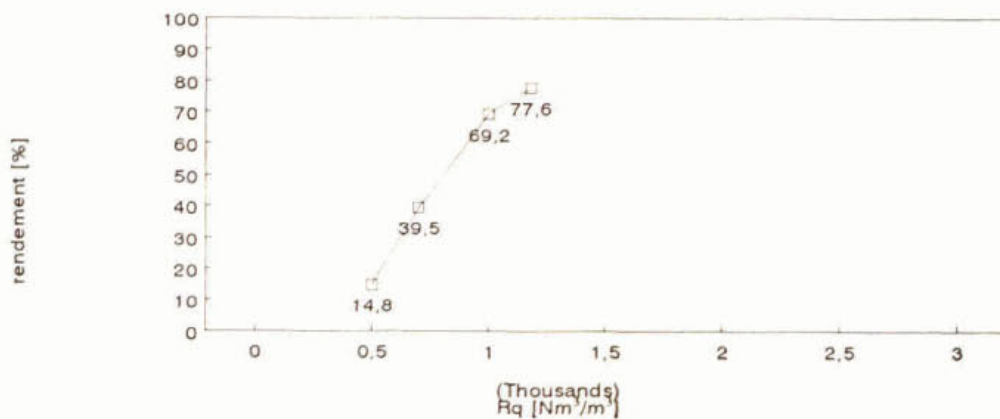
behorend bij meting 2				meting 1				meting 2			
T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rend. (%)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rend. (%)	
60	52	8,28	7,64	1180	2070	1115	46,1	1900	1175	38,2	
59	50	8,35	7,80	1000	1870	1080	42,2	2020	1205	40,3	
60	46	8,19	7,87	800	1990	1600	19,6	1850	1280	30,8	
61	52	8,03	7,75	500	NA	NA	NA	2100	1710	18,6	



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 9,2 T = 60°C NH₄-N = 2000 mg/l Q = 1,0 m³/h

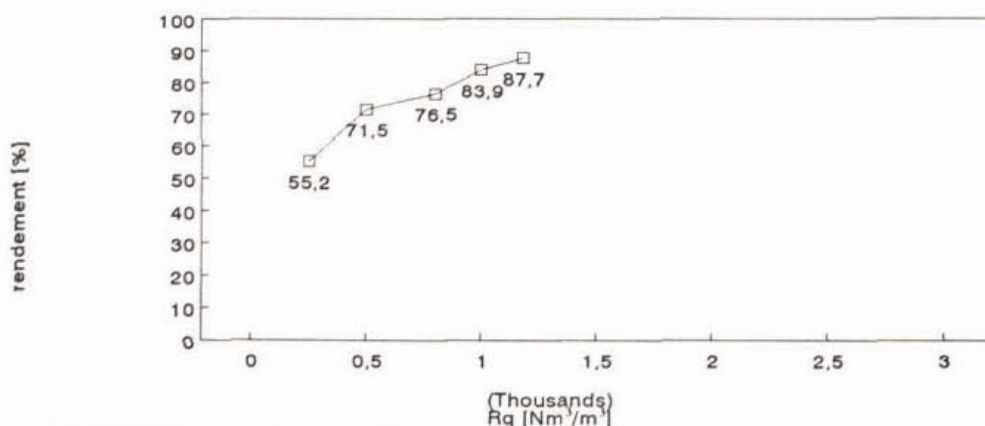
T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rend. (%)
62	52	9,16	8,48	1180	2320	520	77,6
58	52	9,22	8,52	1000	1900	585	69,2
60	49			700	1850	1120	39,5
62	52	9,21	9,30	500	1820	1550	14,8



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 9,5 T = 60°C Q = 1,0 m³/h NH₄-N = 2000 mg N/l

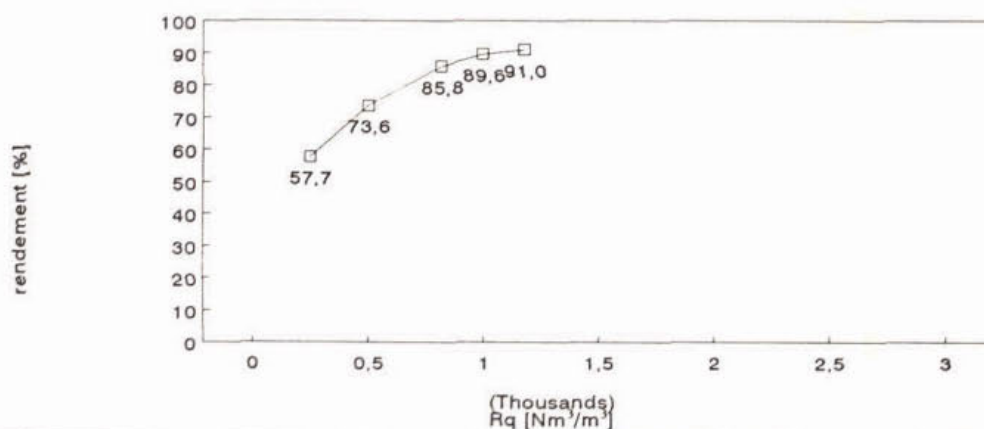
tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
15,40	60	51	9,63	9,04	1180	2470	305	87,7
16,15	61	51	9,64	9,18	1000	2420	390	83,9
12,20	63	51	9,58	9,15	800	2240	527	76,5
13,20	64	53	9,75	9,55	500	2210	629	71,5
14,00	64	52	9,80	9,73	250	2150	963	55,2



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 10 T = 60°C Q = 1,0 m³/h NH₄-N = 2000 mg N/l

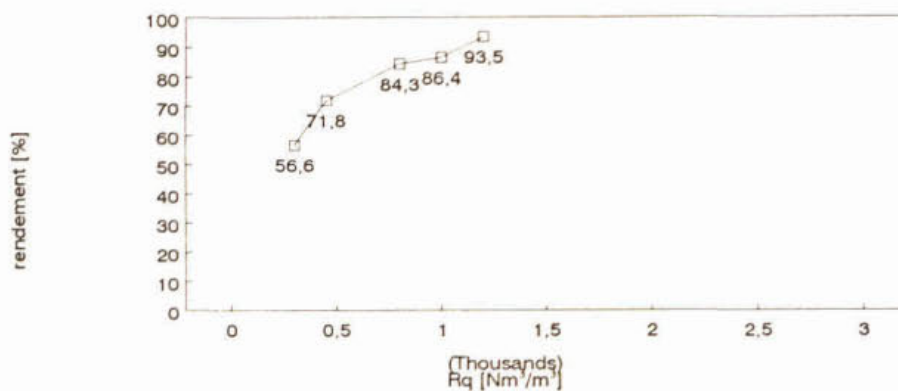
tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
11,30	62	52	10,06	9,82	1180	2180	197	91,0
12,20	62	51	10,08	8,95	1000	2130	222	89,6
13,45	59	48	10,10	9,92	820	2150	305	85,8
15,20	58	49	10,10	9,95	500	2180	575	73,6
16,10	55	48	10,16	10,10	250	2140	905	57,7



RESULTATEN LUCHTSTRIPPER

pH = 10,5 T = 60 °C NH₄-N = 2000 mg N/l Q = 1,0 m³/h

tijd (uur)	T (infl) (°C)	T (effl) (°C)	pH (infl)	pH (effl)	Rq (Nm ³ /m ³)	infl. NH ₄ -N (mg N/l)	effl. NH ₄ -N (mg N/l)	rendement (%)
15,00	60	46	10,54	10,49	1200	1990	130	93,5
16,10	59	46	10,35	10,15	1000	1940	263	86,4
10,45	59	46	10,64	10,66	800	2000	315	84,3
13,30	57	46	10,84	10,91	450	2030	573	71,8
14,40	57	45	10,88	10,99	300	1980	860	56,6



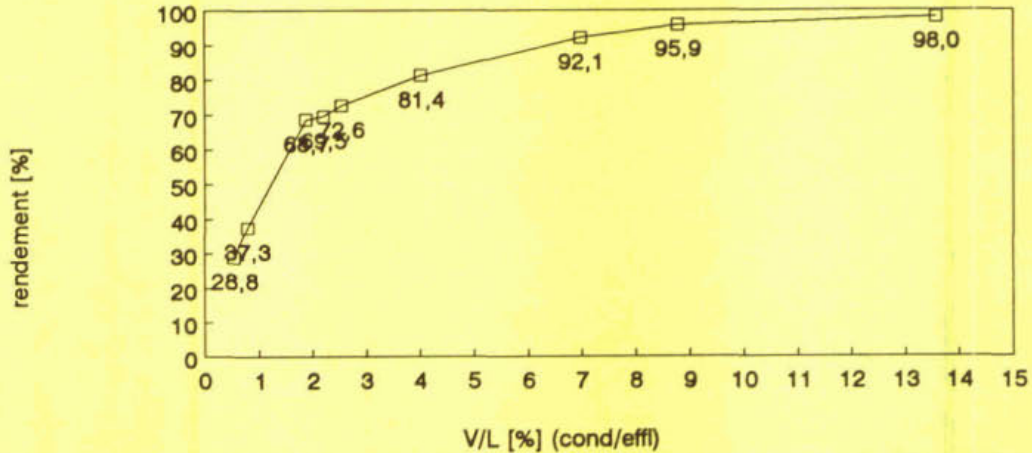
BIJLAGE 2

Resultaten van het stoomstripproces

RESULTATEN STOOMSTRIPPER

pH= 9 NH₄-N = 1000 mg N/l

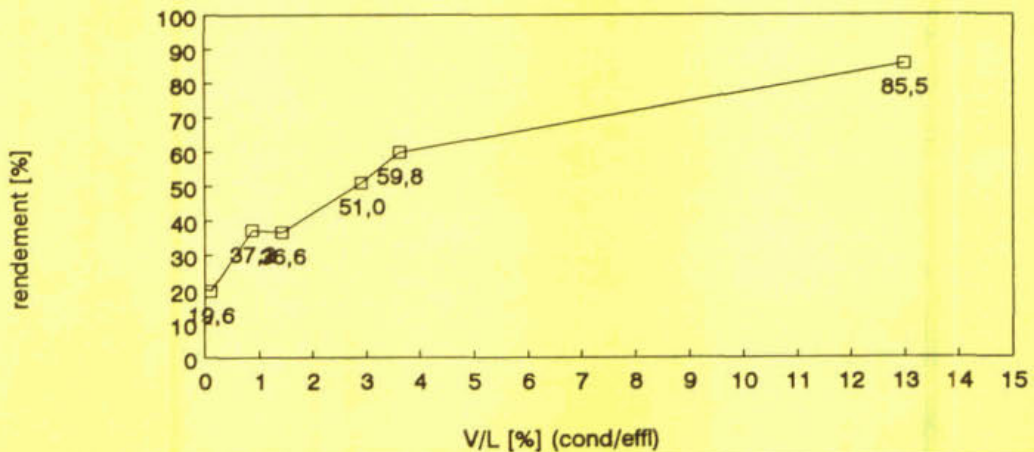
pH influent (60°C)	pH effluent (25°C)	debit (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
	9,90	424	363	63	2,3	0,5	1075	765,0	24,9	28,8
	9,74	474	418	60	3,72	0,8	1245	780,0	40,4	37,3
9,01	9,67	486	419	76	9,12	1,9	935	292,5	31,6	68,7
8,99	9,69	409	344	74	9	2,2	985	300,0	37,8	69,5
	9,60	474	407	79	12	2,5	1260	345,0	30,5	72,6
	9,52	456	381	93	18,3	4,0	1250	232,5	23,1	81,4
	9,34	456	368	120	31,8	7,0	1315	103,5	15,0	92,1
	9,30	444	357	126	39	8,8	1355	55,5	9,5	95,9
8,90	9,34	409	315	150	55,5	13,6	1280	25,1	10,0	98,0



RESULTATEN STOOMSTRIPPER

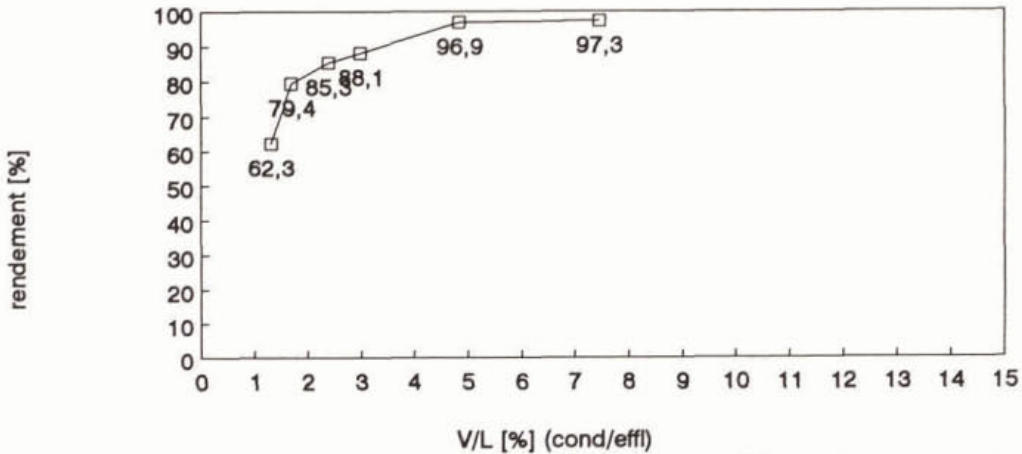
pH=8,5 NH₄-N=1000 mg N/l

pH influent (60°C)	pH effluent (20°C)	debit (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
8,62	9,53	605	527	79	0,7	0,1	1200	965,0	27,3	19,6
8,57	9,60	585	501	89	5,1	0,9	1290	810,0	25,8	37,2
8,44	9,43	590	506	92	8,4	1,4	1285	815,0	20,5	36,6
8,43	9,56	595	502	110	17,3	2,9	1290	632,5	18,0	51,0
8,52	9,35	713	584	155	25,8	3,6	1230	495,0	16,3	59,8
8,40	8,40	468	351	178	60,8	13,0	1280	185,5	7,4	85,5



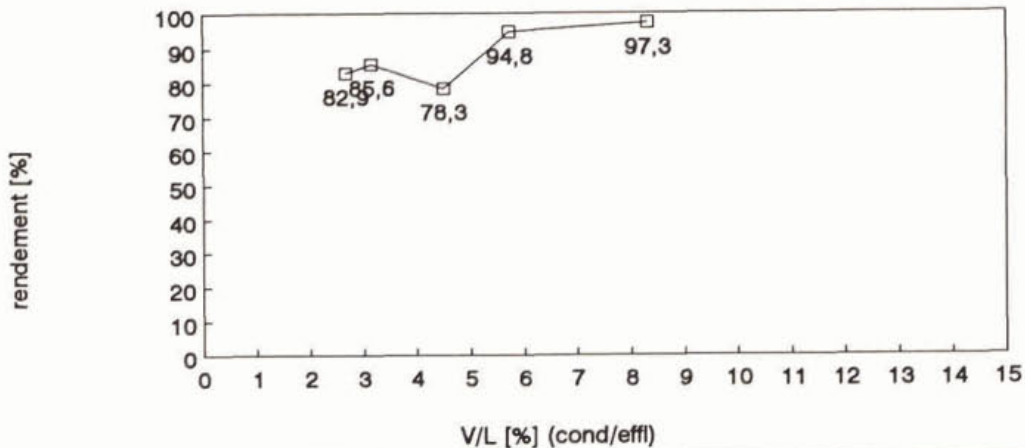
RESULTATEN STOOMSTRIPPER
pH= 9,5 NH₄-N = 1000 mg N/l

pH influent (60°C)	pH effluent (30°C)	debit (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
9,47	9,94	590	505	93	7,75	1,3	845	318,8	37,3	62,3
9,47	9,84	610	512	108	10,35	1,7	920	189,5	29,3	79,4
9,46	9,82	619	514	120	14,8	2,4	895	131,5	26,9	85,3
9,36	9,88	563	469	110	16,8	3,0	990	117,5	24,8	88,1
NA	9,87	529	425	130	25,6	4,8	1000	31,0	14,3	96,9
9,31	9,70	571	454	160	42,6	7,5	1180	31,5	14,0	97,3



RESULTATEN STOOMSTRIPPER
pH= 10 NH₄-N = 1000 mg N/l

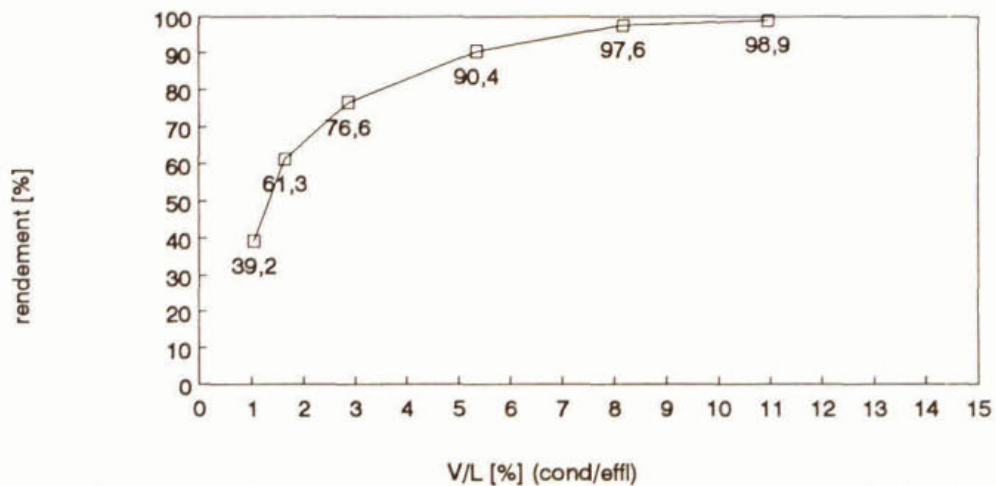
pH influent (60°C)	pH effluent (30°C)	debit (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
9,87	10,35	490	438	65	13,1	2,7	980	167,5	23,9	82,9
10,06	10,40	507	433	90	16	3,2	955	137,5	20,1	85,6
10,06	10,36	439	360	99,0	19,8	4,5	870	188,5	11,6	78,3
10,00	10,40	474	389	112	27,2	5,7	935	48,4	13,6	94,8
9,50	9,30	483	396	127,5	40,2	8,3	990	26,5	10,6	97,3



RESULTATEN STOOMSTRIPPER

pH = 10,5 NH₄-N = 1000 mg N/l

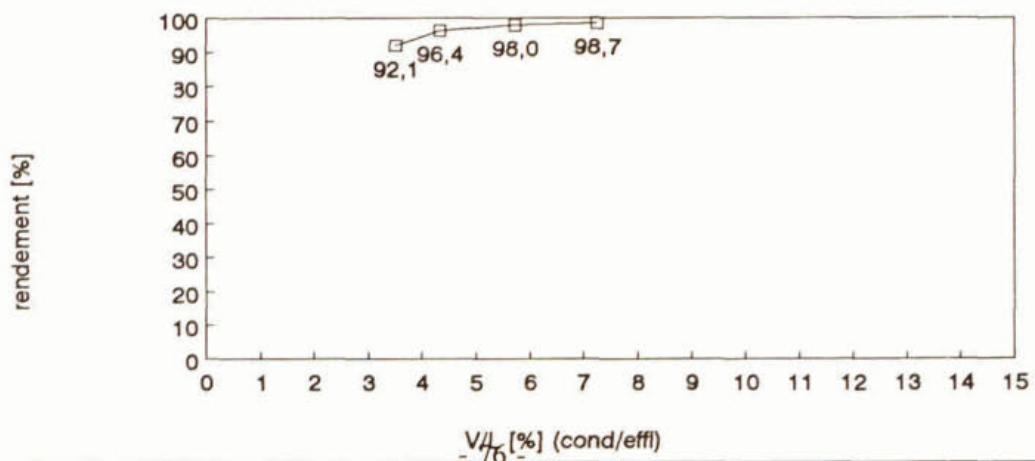
pH influent (30°C)	pH effluent (30°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens. NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
10,24	10,18	537	463	79,5	5,64	1,1	1027,5	625,0	39,0	39,2
10,82	10,57	537	452	93,5	8,88	1,7	1025	396,3	29,9	61,3
11,33	11,19	545	459	102	15,6	2,9	1000	233,8	24,6	76,6
11,47	11,34	554	461	123	29,6	5,3	1005	96,5	18,4	90,4
11,49	11,40	529	424	148,5	43,2	8,2	990	24,0	16,9	97,6
11,50	10,98	537	421	175	58,8	10,9	975	10,5	13,4	98,9



RESULTATEN STOOMSTRIPPER

pH = 11 NH₄-N = 1000 mg N/l

Tijd	pH influent (30°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens. NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
12:30	10,85	451	369	97,5	15,84	3,5	1040	82,5	26,2	92,1
13:45	10,90	443	355	107,5	19,2	4,3	1065	38,0	19,5	96,4
14:45	10,90	450	358	117,5	25,8	5,7	1060	21,5	17,0	98,0
15:45	10,95	430	334	127	31,2	7,3	1035	13,8	12,6	98,7

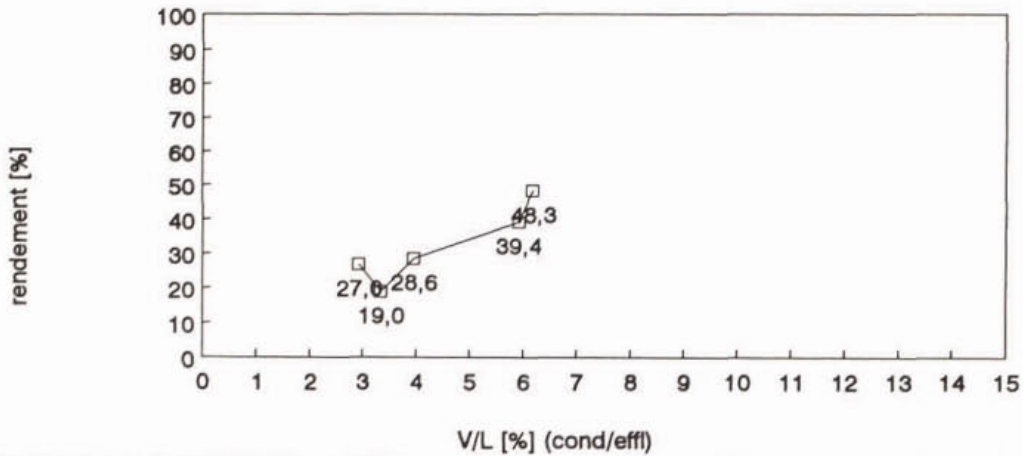


V/L [%] (cond/effl)

RESULTATEN STOOMSTRIPPER

pH=8,0 NH₄-N=2000 mg N/l

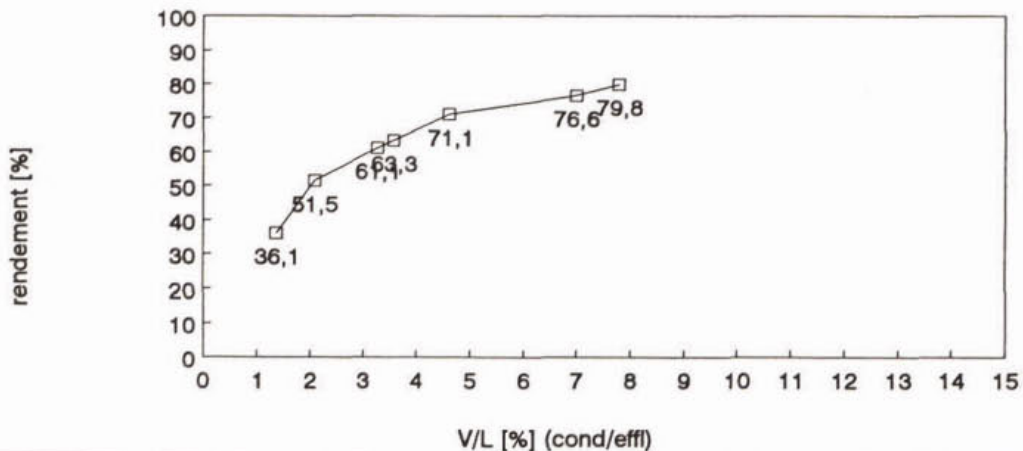
pH influent (60°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
		507	427	95	14,8	2,9	2280	1665,0	13,2	27,0
		396	315	94	13,2	3,3	2290	1855,0	12,1	19,0
		486	505	?	19,2	4,0	2240	1600,0	13,5	28,6
		474	378	124	28,0	5,9	2070	1255,0	11,7	39,4
		486	372	144	30,0	6,2	2070	1070,0	10,1	48,3



RESULTATEN STOOMSTRIPPER

pH=9 NH₄-N=2000 mg N/l

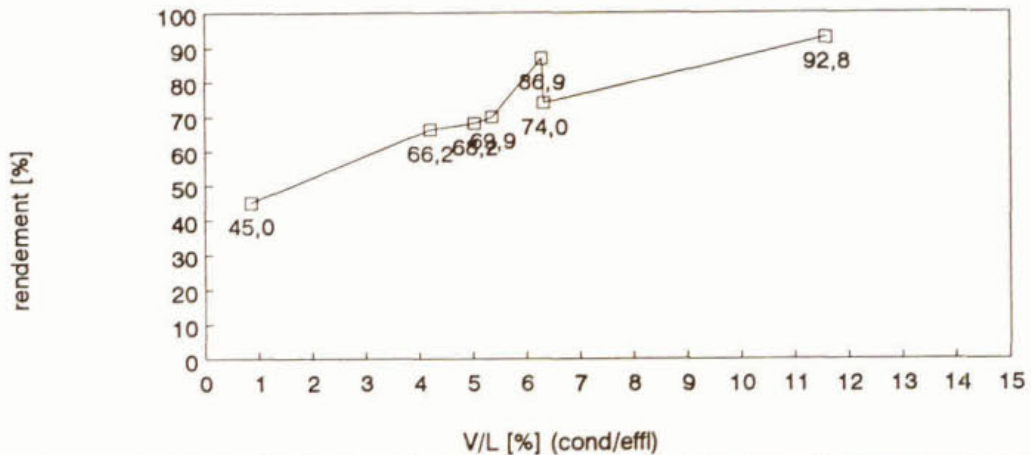
pH influent (60°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
		493	407	93	6,7	1,4	1910	1220,0	33,6	36,1
		468	384	94	9,8	2,1	2020	980,0	35,6	51,5
		500	405	111	16,3	3,3	2020	785,0	33,9	61,1
		444	361	99	15,8	3,6	2030	745,0	32,4	63,3
		474	373	123	21,9	4,6	2010	581,3	27,8	71,1
		493	388	140	34,5	7,0	1980	463,8	19,9	76,6
		500	367	172	39,0	7,8	1960	395,0	16,3	79,8



RESULTATEN STOOMSTRIPPER

pH=8,5 NH₄-N=400 mg N/l

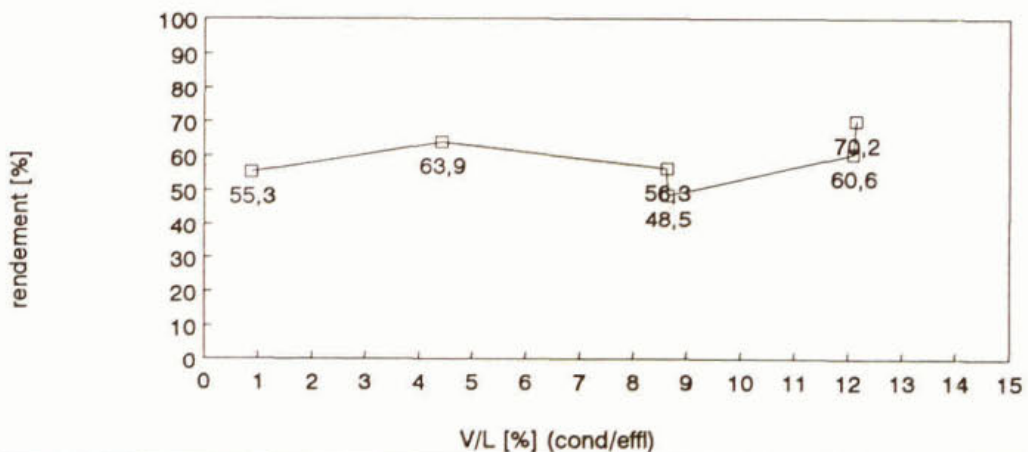
pH influent (20°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
9,13	9,77	610	504	111	5,2	0,9	400	220,0	7,7	45,0
9,16	9,76	493	388	126	20,7	4,2	392,5	132,5	5,9	66,2
9,15	9,75	507	402	131	25,5	5,0	392,5	125,0	3,9	68,2
9,16	9,76	537	432	134	28,8	5,4	377,5	113,8	4,3	69,9
9,15	9,69	439	318	149	27,6	6,3	392,5	51,3	3,5	86,9
9,16	9,76	537	426	145	34,0	6,3	385	100,0	4,1	74,0
9,17	9,71	456	341	168	52,8	11,6	400	28,8	2,8	92,8



RESULTATEN STOOMSTRIPPER

pH=9 NH₄-N=400 mg N/l

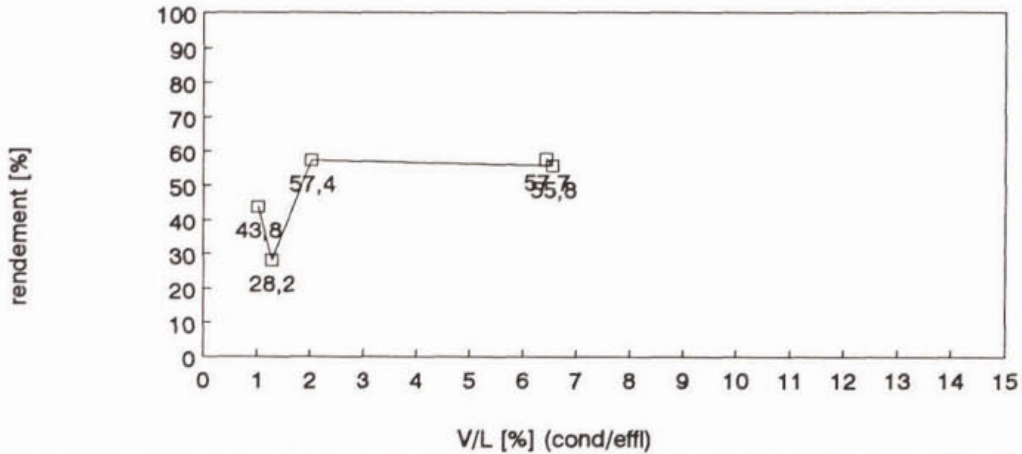
pH influent (20°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
9,99	9,95	409	300	113	3,6	0,9	355	158,8	2,3	55,3
9,92	9,89	529	417	135	23,4	4,4	367,5	132,5	2,7	63,9
9,86	9,82	507	394	157	43,8	8,6	357,5	156,3	3,9	56,3
9,86	9,87	444	350	132	38,4	8,6	407,5	210,0	2,1	48,5
9,86	9,84	500	392	168	60,5	12,1	425	167,5	1,5	60,6
9,87	9,87	474	358	174	57,6	12,2	445	132,6	1,9	70,2



RESULTATEN STOOMSTRIPPER

pH=9,5 NH₄-N=400 mg N/l

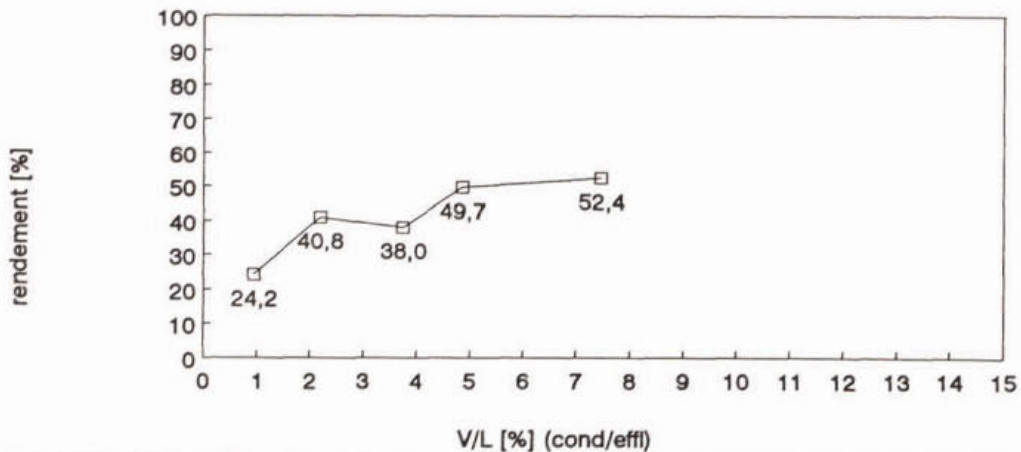
pH influent (20°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
	9,40	507	366	174	32,7	47,6	325	137,5	2,6	57,7
	9,42	487	353	165	31,9	46,7	330	146,0	2,9	55,8
	9,47	563	433	141	11,4	32,6	340	145,0	4,2	57,4
	9,43	545	437	115	7,0	26,3	355	255,0	5,3	28,2
	9,51	562	568		5,8	0,0	420	236,0	3,7	43,8



RESULTATEN STOOMSTRIPPER

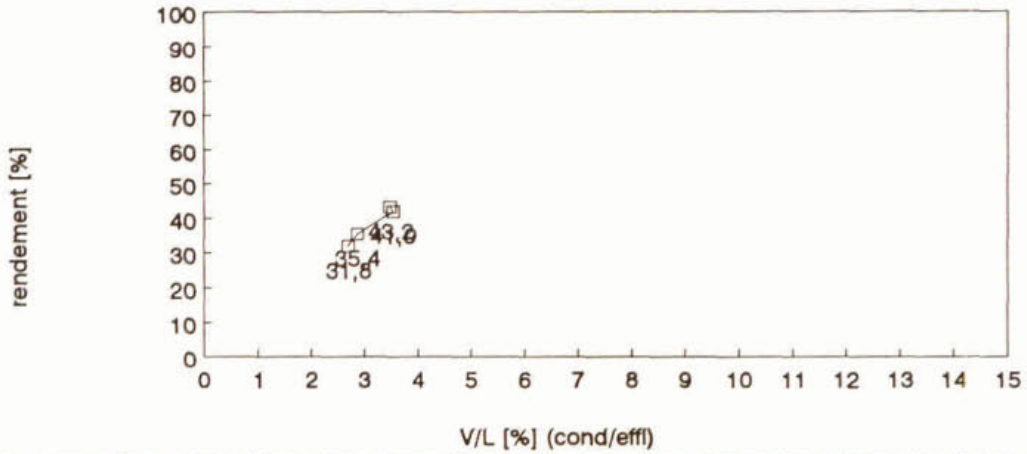
pH=10 NH₄-N=400 mg N/l

pH influent (55°C)	pH effluent (15°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
10,10	10,6	706	563	150	6,7	1,0	402,5	305,0	3,3	24,2
10,13	10,6	878	732	165	19,2	2,2	447,5	265,0	2,9	40,8
10,14	10,6	545	440	125	20,4	3,7	427,5	265,0	2,8	38,0
10,13	10,6	580	463	145	28,2	4,9	402,5	202,5	2,4	49,7
10,12	10,6	563	440	165	42,0	7,5	420	200,0	1,8	52,4



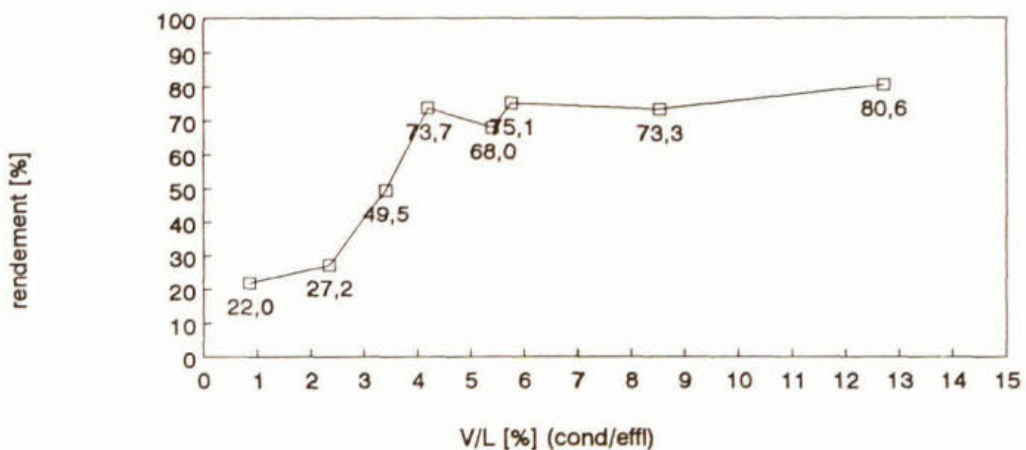
RESULTATEN STOOMSTRIPPER
 pH=10,5 NH₄-N=2000 mg N/l

pH influent (60°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
		679	569	128	18,3	2,7	1980	1350,0	18,7	31,8
		692	577	135	19,8	2,9	1980	1280,0	17,5	35,4
		679	557	146	24,0	3,5	1980	1150,0	17,3	41,9
		679	550	153	23,6	3,5	1920	1090,0	16,3	43,2



RESULTATEN STOOMSTRIPPER
 pH=11 NH₄-N=2000 mg N/l

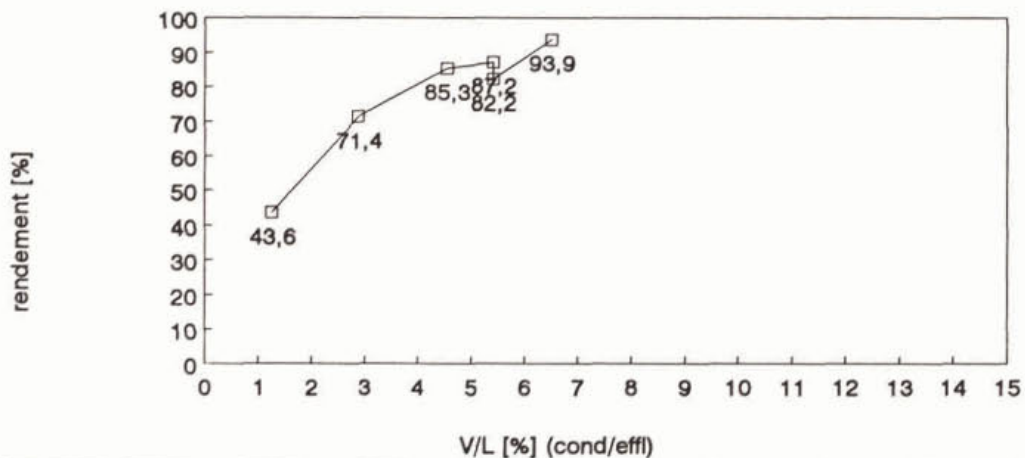
pH influent (60°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
		600	498	107	5,2	0,9	1980	1545,0	23,8	22,0
		554	453	114	13,0	2,3	1930	1405,0	19,3	27,2
		400	328	86	13,6	3,4	1990	1005,0	24,1	49,5
		507	400	128	21,3	4,2	1920	505,0	25,0	73,7
		383	311	93	20,7	5,4	1970	630,0	19,8	68,0
		493	385	136	28,4	5,8	1870	465,0	25,4	75,1
		450	345	143	38,4	8,5	1950	520,0	19,5	73,3
		439	326	169	55,8	12,7	1930	375,0	13,8	80,6



RESULTATEN STOOMSTRIPPER

pH=9,5 NH₄-N=2000 mg N/l

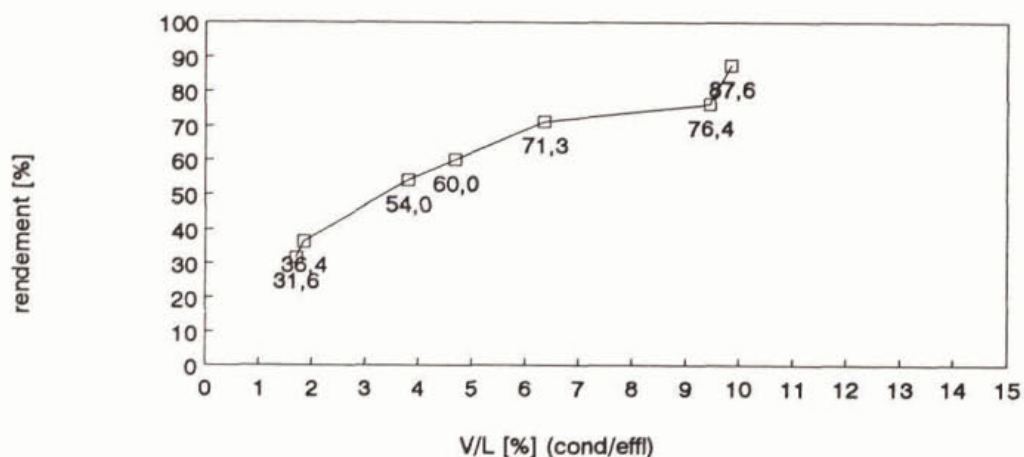
pH influent (60°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
		493	411	88	6,2	1,3	1960	1105,0	45,8	43,6
		486	396	104	14,0	2,9	1990	570,0	41,8	71,4
		462	369	114	21,0	4,5	2010	295,0	31,4	85,3
		554	454	130	30,0	5,4	1940	247,5	30,5	87,2
		554	442	142	30,0	5,4	1890	336,3	28,9	82,2
		554	426	164	36,0	6,5	1910	117,0	22,6	93,9



RESULTATEN STOOMSTRIPPER

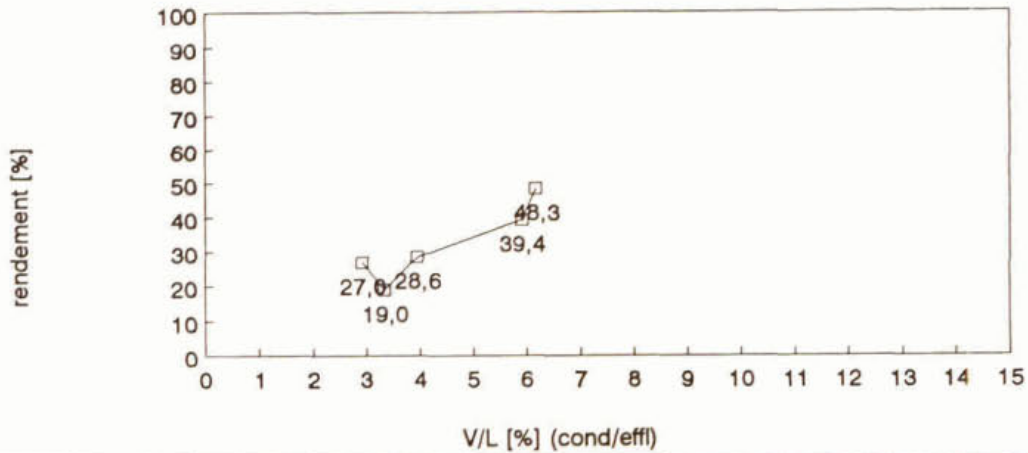
pH=10 NH₄-N=2000 mg N/l

pH influent (60°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
		621	498	134	10,6	1,7	1960	1340,0	25,5	31,6
		529	441	98	9,8	1,8	1760	1120,0	27,6	36,4
		500	407	112	19,1	3,8	1730	795,0	21,4	54,0
		480	384	119	22,5	4,7	1750	700,0	17,3	60,0
		581	456	162	36,9	6,4	1830	525,0	17,4	71,3
		514	395	168	48,6	9,5	1800	425,0	11,9	76,4
		414	314	141	40,8	9,9	1980	245,0	15,1	87,6



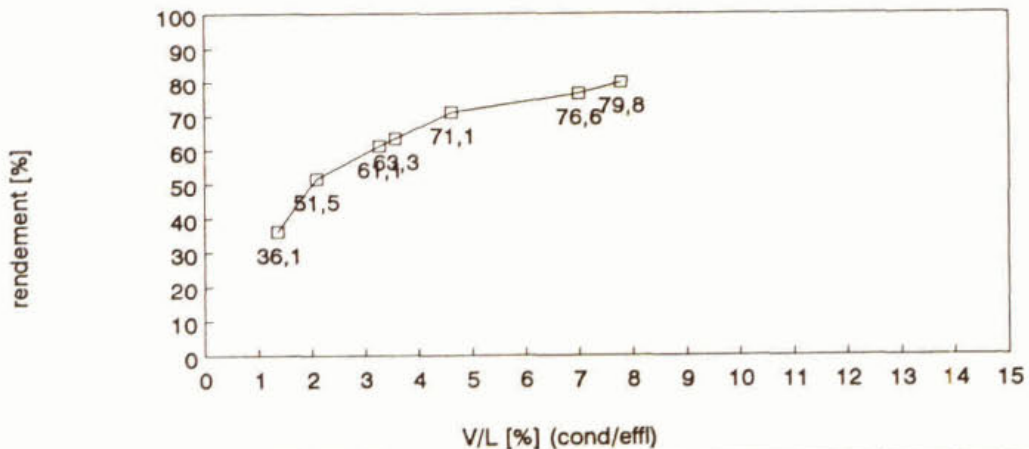
RESULTATEN STOOMSTRIPPER
pH=8,0 NH₄-N=2000 mg N/l

pH influent (60°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
		507	427	95	14,8	2,9	2280	1665,0	13,2	27,0
		396	315	94	13,2	3,3	2290	1855,0	12,1	19,0
		486	505	?	19,2	4,0	2240	1600,0	13,5	28,6
		474	378	124	28,0	5,9	2070	1255,0	11,7	39,4
		486	372	144	30,0	6,2	2070	1070,0	10,1	48,3



RESULTATEN STOOMSTRIPPER
pH=9 NH₄-N=2000 mg N/l

pH influent (60°C)	pH effluent (20°C)	debiet (l/h)				V/L (%)	influent NH ₄ -N (mg N/l)	effluent NH ₄ -N (mg N/l)	condens NH ₄ -N (g N/l)	rende- ment %
		effluent	influent	stoom (kg/h)	con.					
		493	407	93	6,7	1,4	1910	1220,0	33,6	36,1
		468	384	94	9,8	2,1	2020	980,0	35,6	51,5
		500	405	111	16,3	3,3	2020	785,0	33,9	61,1
		444	361	99	15,8	3,6	2030	745,0	32,4	63,3
		474	373	123	21,9	4,6	2010	581,3	27,8	71,1
		493	388	140	34,5	7,0	1980	463,8	19,9	76,6
		500	367	172	39,0	7,8	1960	395,0	16,3	79,8



De samenstellingen van de produkten zoals die zijn verkregen tijdens het onderzoek in Utrecht zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel
Samenstelling van de restprodukten

Parameter	Eenheid	$(\text{NH}_4)_{2-x}\text{H}_x\text{SO}_4$	$(\text{NH}_4)_{3-x}\text{H}_x\text{PO}_4$	NH_3
$\text{NH}_4\text{-N}$	g/l	65 ± 6	46 ± 5	10-30
PO_4	-	n.v.t.	-	n.v.t.
CZV	mg O_2 /l	103	67	21
Cadmium	$\mu\text{g/l}$	0,8	2,4	< 10
Chroom	$\mu\text{g/l}$	7,5	75	< 10
Koper	$\mu\text{g/l}$	1050	80	370
Lood	$\mu\text{g/l}$	65	75	< 200
Nikkel	$\mu\text{g/l}$	< 25	65	< 50
Zink	$\mu\text{g/l}$	990	510	510
Calcium	-	10,2	0,04	0,3
Kalium	mg/l	3,0	1,3	0,1
Magnesium	mg/l	3,8	0,8	0,06
VI. vetzuren	mg/l	n.v.t.	n.v.t.	0
Indamprest	%	-	38	0,0027
Geleidbaarh.	mS/cm	> 1000	128	4

BIJLAGE 4

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

BIJLAGE 4 – LUCHTSTRIPPEN 20 C 100.000 IE ; 2,1 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		261,000
stripperinstallatie		2,223,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		2,484,000
bijkomende kosten	10 %	248,400
onvoorzien	10 %	273,200

investeringen		3,005,600
advieskosten	10 %	300,600

subtotaal (excl. BTW)		3,306,200
BTW	17.5 %	578,600

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,884,800
AFGEROND		<u>3,880,000</u>

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>
percentage civiel	0.5 %	
percentage mech./el.	3.0 %	
jaarkosten	91,500 f/jaar	stripperinstallatie
		134 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		diversen
totaal (incl. BTW)	77,100 f/jaar	10 kWh/d
		prijs per kWh
		0.15 f/kWh
		jaarkosten
		7,900 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>
-----		aantal mensen
benodigd	196 ton/jaar	0.50
zuiverheid	100 %	jaarprijs per mens
prijs per ton	230 f/ton	80,000 f/mens/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	45,100 f/jaar	jaarkosten
		40,000 f/jaar
<u>zwavelzuur</u>		<u>kapitaalslasten</u>
-----		levensduur civiel
benodigd	112 ton/jaar	30 jaar
zuiverheid	96 %	levensduur mech./el.
prijs per ton	175 f/ton	15 jaar
jaarkosten (excl. BTW)	20,500 f/jaar	rentevoet
		8.0 %
		annuïteit civiel
		8.9 %
		annuïteit mech./el.
		11.7 %
		jaarkosten
		436,100 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>
-----		bedrijfsvoeringskosten
benodigd	0 ton/jaar	216,600 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton	kapitaalslasten
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	436,100 f/jaar

<u>opbrengst restprodukten</u>		exploitatiekosten
ammoniumsulfaat	0 f/jaar	652,700 f/jaar
		AFGEROND
		<u>650,000 f/jaar</u>

BILAGE 4 – LUCHTSTRIPPEN 20 C 100.000 IE ; 4,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN			BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN		
voorbehandeling	268,000		energie		
strijperinstallatie	2,491,000		strippeinstalatie	226 kWh/d	
			diversen	20 kWh/d	
			prijs per kWh	0.15 €/kWh	
			jaarlijkse kosten	13,400 €/jaar	
bouwkosten (incl. onvoll.)	2,759,000		bediening	0.50	
			aantal mensen	80,000 f/mens/jaar	
			jaarlijkse per mens	40,000 €/jaar	
			jaarlijkse kosten		
			kapitaalslasten		
			levensduur civiel	30 jaar	
			levensduur mech./el.	15 jaar	
			rentvoet	8.0 %	
			aannulst civiel	8.9 %	
			aannulst mech./el.	11.7 %	
			jaarlijkse kosten	485,600 €/jaar	
			TOTAL		
			bedrijfsvoeringskosten	233,300 €/jaar	
			kapitaalslasten	485,600 €/jaar	
			exploitatiekosten	718,900 €/jaar	
			AFGEROND	720,000 €/jaar	
voorbehandeling	268,000		onderhoudskosten		0.5 %
strijperinstallatie	2,491,000		percentagewise mech./el.		3.0 %
			jaarlijkse kosten		102,700 €/jaar
			kosten chemicalien		77,100 €/jaar
			total (incl. BTW)		
			calciumoxyde		
			benodigd	196 ton/jaar	100 %
			zuiverheid	100 %	
			prijs per ton	230 €/ton	
			jaarlijkse kosten (excl. BTW)	45,100 €/jaar	
			zwevelzuur		
			benodigd	112 ton/jaar	96 %
			zuiverheid	96 %	
			prijs per ton	175 €/ton	
			jaarlijkse kosten (excl. BTW)	20,500 €/jaar	
			methanol		
			benodigd	0 ton/jaar	
			prijs per ton	650 €/ton	
			jaarlijkse kosten (excl. BTW)	0 €/jaar	
			opbrengst resp. producten		
			ammoniumsulfate	0 €/jaar	

BIJLAGE 4 – LUCHTSTRIPPEN 20 C 100.000 IE ; 8,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		300,000
stripperinstallatie		3,078,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		3,378,000
bijkomende kosten	10 %	337,800
onvoorzien	10 %	371,600

investeringen		4,087,400
advieskosten	10 %	408,700

subtotaal (excl. BTW)		4,496,100
BTW	17.5 %	786,800

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		5,282,900
AFGEROND		5,280,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %		
percentage mech./el.	3.0 %		
jaarkosten	127,500 f/jaar	stripperinstallatie	463 kWh/d
		diversen	50 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	77,100 f/jaar	jaarkosten	28,100 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	196 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	45,100 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	112 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	596,800 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	20,500 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	272,800 f/jaar
-----		kapitaalslasten	596,800 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	-----	
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	869,600 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	870,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammoniumsulfaat	0 f/jaar		

BIJLAGE 4 – LUCHTSTRIPPEN 50 C 100.000 IE ; 2,1 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		261,000
stripperinstallatie		1,785,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		2,046,000
bijkomende kosten	10 %	204,600
onvoorzien	10 %	225,100

investeringen		2,475,700
advieskosten	10 %	247,600

subtotaal (excl. BTW)		2,723,300
BTW	17.5 %	476,600

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,199,900
AFGEROND		<u>3,200,000</u>

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	verbruik aardgas	75 Nm3/d
percentage mech./el.	3.0 %	prijs aardgas	0.51 f/Nm3
jaarkosten	73,000 f/jaar	stripperinstallatie	41 kWh/d
		diversen	4 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	77,100 f/jaar	jaarkosten	16,400 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	196 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	45,100 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
		levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	112 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	356,300 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	20,500 f/jaar		
		<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	206,600 f/jaar
-----		kapitaalslasten	356,300 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar		-----
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	562,900 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	<u>560,000 f/jaar</u>
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammoniumsulfaat	0 f/jaar		

BIJLAGE 4 – LUCHTSTRIPPEN 50 C 100.000 IE ; 4,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		268,000
stripperinstallatie		1,962,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		2,230,000
bijkomende kosten	10 %	223,000
onvoorzien	10 %	245,300

investeringen		2,698,300
advieskosten	10 %	269,800

subtotaal (excl. BTW)		2,968,100
BTW	17.5 %	519,400

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,487,500
AFGEROND		3,490,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	verbruik aardgas	150 Nm3/d
percentage mech./el.	3.0 %	prijs aardgas	0.51 f/Nm3
jaarkosten	80,600 f/jaar	stripperinstallatie	86 kWh/d
		diversen	9 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	77,100 f/jaar	jaarkosten	33,100 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	196 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	45,100 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>zwavelzuur</u>		levensduur civiel	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	112 ton/jaar	rentevoet	8.0 %
zuiverheid	96 %	annuïteit civiel	8.9 %
prijs per ton	175 f/ton	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	20,500 f/jaar	jaarkosten	389,600 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>	
-----		bedrijfsvoeringskosten	230,900 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	kapitaalslasten	389,600 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton	-----	
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	exploitatiekosten	620,500 f/jaar
		AFGEROND	620,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammoniumsulfaat	0 f/jaar		

RAMING STICHTINGSKOSTEN		BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN	
300,000	voorbereiding		
2,180,000	stripinstallatie		
2,480,000	bouwkosten (incl. onvoll.)		
248,000	bijkomende kosten	10 %	
272,800	onvoorzen	10 %	
3,000,800	investeringen		
300,100	advieskosten	10 %	
3,300,900	subtotal (excl. BTW)		
577,700	BTW	17.5 %	
3,878,600	total stichtingskosten (incl. BTW)		
3,880,000	AFGEROND		

300 Nm ³ /d	energie	0.5 %	
0.51 t/Nm ³	verbruik aardgas	3.0 %	
168 kWh/d	stripinstallatie	90,300 t/jaar	
17 kWh/d	diversen		
0.15 t/kWh	prijs per kWh	77,100 t/jaar	
66,000 t/jaar	jaarkosten		

0.50	bediening		
80,000 t/mens/jaar	aantal mensen	196 ton/jaar	
	jaarprijs per mens	100 %	
40,000 t/jaar	jaarkosten	230 t/ton	
	kapitaalslasten	45,100 t/jaar	
30 jaar	levensduur civiel		
15 jaar	levensduur mech./el.		
8.0 %	rentevoet		
8.9 %	annuïteit civiel	112 ton/jaar	
11.7 %	annuïteit mech./el.	96 %	
434,100 t/jaar	jaarkosten	175 t/ton	
	TOTAAL	20,500 t/jaar	
273,500 t/jaar	bedrijfsvoeringskosten		
434,100 t/jaar	kapitaalslasten	0 ton/jaar	
	exploitatiekosten	650 t/ton	
707,600 t/jaar	AFGEROND	0 t/jaar	
710,000 t/jaar			

	onderhoudskosten		
	percentage civiel		
	percentage mech./el.		
	jaarkosten		
	kosten chemicalien		
	total (incl. BTW)		
	calciumoxyde		
	bedrijfd		
	zuiverheid		
	prijs per ton		
	jaarkosten (excl. BTW)		
	zwevelzuur		
	bedrijfd		
	zuiverheid		
	prijs per ton		
	jaarkosten (excl. BTW)		
	methanol		
	bedrijfd		
	prijs per ton		
	jaarkosten (excl. BTW)		
	opbrengst resp. producten		
	ammoniumsulfat		
	bedrijfd		
	prijs per ton		
	jaarkosten (excl. BTW)		
	opbrengst resp. producten		
	ammoniumsulfat		

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

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		261,000
stripperinstallatie		1,554,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		1,815,000
bijkomende kosten	10 %	181,500
onvoorzien	10 %	199,700

investeringen		2,196,200
advieskosten	10 %	219,600

subtotaal (excl. BTW)		2,415,800
BTW	17.5 %	422,800

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		2,838,600
AFGEROND		2,840,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	5,160 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	66,100 f/jaar	stripperinstallatie	24 kWh/d
		diversen	10 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	53,000 f/jaar	jaarkosten	96,000 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	196 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	45,100 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	0 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	317,700 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	246,331 f/jaar
-----		kapitaalslasten	317,700 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	-----	
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	564,031 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	560,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammonia	8,870 f/jaar		

BIJLAGE 4 – STOOMSTRIPPEN 100.000 IE ; 4,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		268,000
stripperinstallatie		1,615,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		1,883,000
bijkomende kosten	10 %	188,300
onvoorzien	10 %	207,100

investeringen		2,278,400
advieskosten	10 %	227,800

subtotaal (excl. BTW)		2,506,200
BTW	17.5 %	438,600

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		2,944,800
AFGEROND		2,940,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	10,152 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	68,800 f/jaar	stripperinstallatie	43 kWh/d
		diversen	10 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	53,000 f/jaar	jaarkosten	188,200 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	196 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	45,100 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	0 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	329,800 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	341,231 f/jaar
-----		kapitaalslasten	329,800 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	-----	
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	671,031 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	670,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammonia	8,870 f/jaar		

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

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		300,000
stripperinstallatie		1,701,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		2,001,000
bijkomende kosten	10 %	200,100
onvoorzien	10 %	220,100

investeringen		2,421,200
advieskosten	10 %	242,100

subtotaal (excl. BTW)		2,663,300
BTW	17.5 %	466,100

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,129,400
AFGEROND		3,130,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>
percentage civiel	0.5 %	stoom
percentage mech./el.	3.0 %	20,016 kg/d
jaarkosten	73,000 f/jaar	stoomprijs
		50 f/ton
<u>kosten chemicalien</u>		stripperinstallatie
totaal (incl. BTW)	53,000 f/jaar	89 kWh/d
		diversen
		10 kWh/d
		prijs per kWh
		0.15 f/kWh
		jaarkosten
		370,700 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>
-----		aantal mensen
benodigd	196 ton/jaar	0.50
zuiverheid	100 %	jaarprijs per mens
prijs per ton	230 f/ton	80,000 f/mens/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	45,100 f/jaar	jaarkosten
		40,000 f/jaar
<u>zwavelzuur</u>		<u>kapitaalslasten</u>
-----		levensduur civiel
benodigd	0 ton/jaar	30 jaar
zuiverheid	96 %	levensduur mech./el.
prijs per ton	175 f/ton	15 jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	rentevoet
		8.0 %
		annuïteit civiel
		8.9 %
		annuïteit mech./el.
		11.7 %
		jaarkosten
		350,400 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>
-----		bedrijfsvoeringskosten
benodigd	0 ton/jaar	527,931 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton	kapitaalslasten
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	350,400 f/jaar

		exploitatiekosten
		878,331 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>		AFGEROND
ammonia	8,870 f/jaar	880,000 f/jaar

BIJLAGE 5

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

BIJLAGE 5 – LUCHTSTRIPPEN 20 C 400.000 IE ; 8,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		309,000
stripperinstallatie		3,127,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		3,436,000
bijkomende kosten	10 %	343,600
onvoorzien	10 %	378,000

investeringen		4,157,600
advieskosten	10 %	415,800

subtotaal (excl. BTW)		4,573,400
BTW	17.5 %	800,300

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		5,373,700
AFGEROND		5,370,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>
percentage civiel	0.5 %	
percentage mech./el.	3.0 %	
jaarkosten	130,000 f/jaar	stripperinstallatie
		475 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		diversen
totaal (incl. BTW)	308,200 f/jaar	50 kWh/d
		prijs per kWh
		0.15 f/kWh
		jaarkosten
		28,800 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>
-----		aantal mensen
benodigd	784 ton/jaar	0.50
zuiverheid	100 %	jaarprijs per mens
prijs per ton	230 f/ton	80,000 f/mens/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	180,400 f/jaar	jaarkosten
		40,000 f/jaar
<u>zwavelzuur</u>		<u>kapitaalslasten</u>
-----		levensduur civiel
benodigd	449 ton/jaar	30 jaar
zuiverheid	96 %	levensduur mech./el.
prijs per ton	175 f/ton	15 jaar
jaarkosten (excl. BTW)	81,900 f/jaar	rentevoet
		8.0 %
		annuïteit civiel
		8.9 %
		annuïteit mech./el.
		11.7 %
		jaarkosten
		607,400 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>
-----		bedrijfsvoeringskosten
benodigd	0 ton/jaar	507,100 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton	kapitaalslasten
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	607,400 f/jaar

		exploitatiekosten
		1,114,500 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>		AFGEROND
ammoniumsulfaat	0 f/jaar	1,110,000 f/jaar

BIJLAGE 5 – LUCHTSTRIPPEN 20 C 400.000 IE ; 16,7 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		440,000
stripperinstallatie		3,809,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		4,249,000
bijkomende kosten	10 %	424,900
onvoorzien	10 %	467,400

investeringen		5,141,300
advieskosten	10 %	514,100

subtotaal (excl. BTW)		5,655,400
BTW	17.5 %	989,700

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		6,645,100
AFGEROND		6,650,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %		
percentage mech./el.	3.0 %		
jaarkosten	161,900 f/jaar	stripperinstallatie	907 kWh/d
		diversen	90 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	308,200 f/jaar	jaarkosten	54,600 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	784 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	180,400 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>zwavelzuur</u>		levensduur civiel	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	449 ton/jaar	rentevoet	8.0 %
zuiverheid	96 %	annuïteit civiel	8.9 %
prijs per ton	175 f/ton	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	81,900 f/jaar	jaarkosten	752,500 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>	
-----		bedrijfsvoeringskosten	564,800 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	kapitaalslasten	752,500 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton	-----	
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	exploitatiekosten	1,317,300 f/jaar
		AFGEROND	1,320,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammoniumsulfaat	0 f/jaar		

BILLAGE 5 – LUCHTSTRIPPEN 20 C 400.000 IE ; 33,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling 557,000
stripinstallatie 5,613,000

bouwkosten (incl. onvll.) 6,170,000

10 % 617,000

bijkomende kosten

10 % 678,700

onvoorzien

7,465,700

investeringen

10 % 746,600

advieskosten

8,212,300

subtotal (excl. BTW)

17,5 % 1,437,200

BTW

9,649,500

total stichtingskosten (incl. BTW)

9,650,000

AFGEROND

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

onderhoudskosten

0,5 %

percentage civiel

3,0 %

percentage mech./el.

jaarkosten

239,300 €/jaar

stripinstallatie

1,884 kWh/d

diversen

190 kWh/d

0,15 €/kWh

113,600 €/jaar

kosten chemicalien

308,200 €/jaar

jaarkosten

calciumoxyde

bediening

0,50

aantal mensen

80,000 f/mens/jaar

benodigd

784 ton/jaar

zilverheid

100 %

jaarprjs per mens

40,000 €/jaar

prijs per ton

230 f/ton

jaarkosten (excl. BTW)

180,400 €/jaar

kapitaalslasten

30 jaar

levensduur civiel

15 jaar

levensduur mech./el.

8,0 %

rentvoet

8,9 %

annuïteit civiel

11,7 %

annuïteit mech./el.

1,098,000 €/jaar

benodigd

449 ton/jaar

zilverheid

96 %

prijs per ton

175 f/ton

jaarkosten (excl. BTW)

81,900 €/jaar

jaarkosten

TOTAL

bedrijfsvoeringskosten

701,200 €/jaar

methanol

0 ton/jaar

benodigd

650 f/ton

prijs per ton

jaarkosten (excl. BTW)

0 €/jaar

exploitatiekosten

1,799,200 €/jaar

opbrengst resp. producten
ammoniumsulfaat

0 €/jaar

BIJLAGE 5 – LUCHTSTRIPPEN 50 C 400.000 IE ; 8,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		309,000
stripperinstallatie		2,229,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		2,538,000
bijkomende kosten	10 %	253,800
onvoorzien	10 %	279,200

investeringen		3,071,000
advieskosten	10 %	307,100

subtotaal (excl. BTW)		3,378,100
BTW	17.5 %	591,200

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,969,300
AFGEROND		3,970,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	verbruik aardgas	300 Nm3/d
percentage mech./el.	3.0 %	prijs aardgas	0.51 f/Nm3
jaarkosten	92,800 f/jaar	stripperinstallatie	168 kWh/d
		diversen	17 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	308,200 f/jaar	jaarkosten	66,000 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	784 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	180,400 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
		levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	449 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	444,700 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	81,900 f/jaar		
		<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	507,100 f/jaar
-----		kapitaalslasten	444,700 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	-----	
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	951,800 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	950,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammoniumsulfaat	0 f/jaar		

BIJLAGE 5 – LUCHTSTRIPPEN 50 C 400.000 IE ; 16,7 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		440,000
stripperinstallatie		2,565,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		3,005,000
bijkomende kosten	10 %	300,500
onvoorzien	10 %	330,600

investeringen		3,636,100
advieskosten	10 %	363,600

subtotaal (excl. BTW)		3,999,700
BTW	17.5 %	699,900

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		4,699,600
AFGEROND		4,700,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	verbruik aardgas	600 Nm3/d
percentage mech./el.	3.0 %	prijs aardgas	0.51 f/Nm3
jaarkosten	110,400 f/jaar	stripperinstallatie	367 kWh/d
		diversen	37 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	308,200 f/jaar	jaarkosten	133,800 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0,50
benodigd	784 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	180,400 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
		levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	449 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	527,200 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	81,900 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
		bedrijfsvoeringskosten	592,500 f/jaar
<u>methanol</u>		kapitaalslasten	527,200 f/jaar
-----		-----	
benodigd	0 ton/jaar	exploitatiekosten	1,119,700 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton	AFGEROND	1,120,000 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar		
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammoniumsulfaat	0 f/jaar		

BIJLAGE 5 – LUCHTSTRIPPEN 50 C 400.000 IE ; 33,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		557,000
stripperinstallatie		3,132,000
<hr/>		
bouwkosten (incl. onvoll.)		3,689,000
bijkomende kosten	10 %	368,900
onvoorzien	10 %	405,800
<hr/>		
investeringen		4,463,700
advieskosten	10 %	446,400
<hr/>		
subtotaal (excl. BTW)		4,910,100
BTW	17.5 %	859,300
<hr/>		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		5,769,400
AFGEROND		5,770,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	verbruik aardgas	1200 Nm3/d
percentage mech./el.	3.0 %	prijs aardgas	0.51 f/Nm3
jaarkosten	136,700 f/jaar	stripperinstallatie	636 kWh/d
		diversen	64 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	308,200 f/jaar	jaarkosten	261,700 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	784 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	180,400 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	449 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	648,600 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	81,900 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	746,700 f/jaar
-----		kapitaalslasten	648,600 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	-----	
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	1,395,300 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	1,400,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammoniumsulfaat	0 f/jaar		

BIJLAGE 5 – STOOMSTRIPPEN 400.000 IE ; 8,3 M3/H

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		300,000
stripperinstallatie		1,692,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		1,992,000
bijkomende kosten	10 %	199,200
onvoorzien	10 %	219,100

investeringen		2,410,300
advieskosten	10 %	241,000

subtotaal (excl. BTW)		2,651,300
BTW	17.5 %	464,000

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,115,300
AFGEROND		3,120,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	20,424 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	72,500 f/jaar	stripperinstallatie	86 kWh/d
		diversen	10 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	212,000 f/jaar	jaarkosten	378,000 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	784 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	180,400 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>zwavelzuur</u>		levensduur civiel	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	0 ton/jaar	rentevoet	8.0 %
zuiverheid	96 %	annuïteit civiel	8.9 %
prijs per ton	175 f/ton	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	jaarkosten	348,600 f/jaar
<u>methanol</u>		<u>TOTAAL</u>	
-----		bedrijfsvoeringskosten	667,122 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	kapitaalslasten	348,600 f/jaar
prijs per ton	650 f/ton	-----	
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	exploitatiekosten	1,015,722 f/jaar
		AFGEROND	1,020,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammonia	35,478 f/jaar		

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

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		440,000
stripperinstallatie		1,824,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		2,264,000
bijkomende kosten	10 %	226,400
onvoorzien	10 %	249,000

investeringen		2,739,400
advieskosten	10 %	273,900

subtotaal (excl. BTW)		3,013,300
BTW	17.5 %	527,300

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,540,600
AFGEROND		3,540,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	40,392 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	81,900 f/jaar	stripperinstallatie	178 kWh/d
		diversen	20 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	212,000 f/jaar	jaarkosten	748,000 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	784 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	180,400 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	0 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	395,500 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	1,046,522 f/jaar
-----		kapitaalslasten	395,500 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	-----	
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	1,442,022 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	1,440,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammonia	35,478 f/jaar		

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

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		557,000
stripperinstallatie		2,283,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		2,840,000
bijkomende kosten	10 %	284,000
onvoorzien	10 %	312,400

investeringen		3,436,400
advieskosten	10 %	343,600

subtotaal (excl. BTW)		3,780,000
BTW	17.5 %	661,500

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		4,441,500
AFGEROND		4,440,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	79,992 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	104,200 f/jaar	stripperinstallatie	355 kWh/d
		diversen	40 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	212,000 f/jaar	jaarkosten	1,481,500 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	784 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	180,400 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	0 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	498,100 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	1,802,322 f/jaar
-----		kapitaalslasten	498,100 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	-----	
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	2,300,422 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	2,300,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammonia	35,478 f/jaar		

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

BILAGE 6

BIJLAGE 6 – LUCHTSTRIPPEN 20 C RWZI UTRECHT

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		604,000
stripperinstallatie		6,337,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		6,941,000
bijkomende kosten	10 %	694,100
onvoorzien	10 %	763,500

investeringen		8,398,600
advieskosten	10 %	839,900

subtotaal (excl. BTW)		9,238,500
BTW	17.5 %	1,616,700

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		10,855,200
AFGEROND		10,860,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %		
percentage mech./el.	3.0 %		
jaarkosten	270,200 f/jaar	stripperinstallatie	2,280 kWh/d
		diversen	230 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	390,200 f/jaar	jaarkosten	137,400 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	994 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	228,600 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	568 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	1,236,300 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	103,500 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	837,900 f/jaar
-----		kapitaalslasten	1,236,300 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	-----	
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	2,074,200 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	2,070,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammoniumsulfaat	0 f/jaar		

BIJLAGE 6 – LUCHTSTRIPPEN 50 C RWZI UTRECHT

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		604,000
stripperinstallatie		3,334,000
<hr/>		
bouwkosten (incl. onvoll.)		3,938,000
bijkomende kosten	10 %	393,800
onvoorzien	10 %	433,200
<hr/>		
investeringen		4,765,000
advieskosten	10 %	476,500
<hr/>		
subtotaal (excl. BTW)		5,241,500
BTW	17.5 %	917,300
<hr/>		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		6,158,800
AFGEROND		6,160,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	verbruik aardgas	1440 Nm3/d
percentage mech./el.	3.0 %	prijs aardgas	0.51 f/Nm3
jaarkosten	145,800 f/jaar	stripperinstallatie	773 kWh/d
		diversen	77 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	390,200 f/jaar	jaarkosten	314,600 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	994 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	228,600 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	568 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	692,200 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	103,500 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	890,700 f/jaar
-----		kapitaalslasten	692,200 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	-----	
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	1,582,900 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	1,580,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammoniumsulfaat	0 f/jaar		

BIJLAGE 6 – STOOMSTRIPPEN RWZI UTRECHT

RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		1,110,000
stripperinstallatie		2,380,000

bouwkosten (incl. onvoll.)		3,490,000
bijkomende kosten	10 %	349,000
onvoorzien	10 %	383,900

investeringen		4,222,900
advieskosten	10 %	422,300

subtotaal (excl. BTW)		4,645,200
BTW	17.5 %	812,900

totaal stichtingskosten (incl. BTW)		5,458,100
AFGEROND		5,460,000

BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

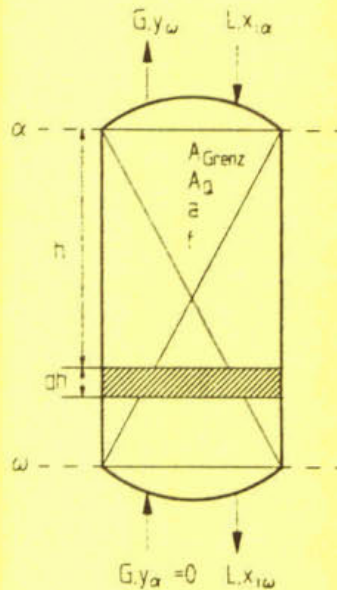
<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	96,000 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	127,300 f/jaar	stripperinstallatie	422 kWh/d
		diversen	50 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	268,600 f/jaar	jaarkosten	1,777,900 f/jaar
<u>calciumoxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	0.50
benodigd	994 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	100 %	jaarkosten	40,000 f/jaar
prijs per ton	230 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	228,600 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
		levensduur civiel	30 jaar
<u>zwavelzuur</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	0 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	175 f/ton	jaarkosten	611,100 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar		
		<u>TOTAAL</u>	
<u>methanol</u>		bedrijfsvoeringskosten	2,169,060 f/jaar
-----		kapitaalslasten	611,100 f/jaar
benodigd	0 ton/jaar	-----	
prijs per ton	650 f/ton	exploitatiekosten	2,780,160 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	0 f/jaar	AFGEROND	2,780,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
ammonia	44,840 f/jaar		

BIJLAGE 7

Samenvatting van de theorie van het HTU-NTU-concept

Massabalans over een stripkolom

In figuur 7.1 is een schematische weergave van een stripkolom weergegeven, met de in- en uittrekende stromen en de karakteristieke geometrische parameters.



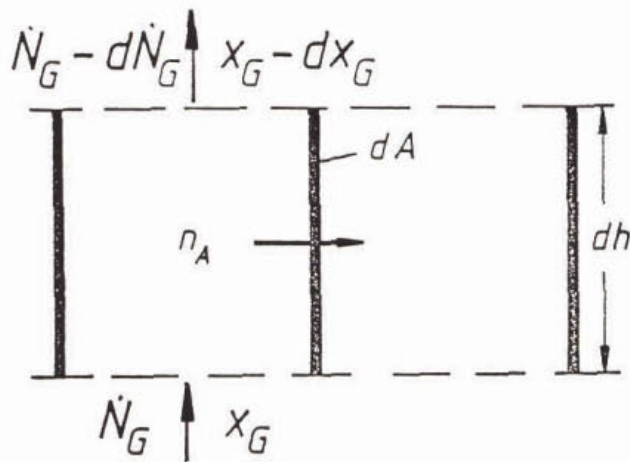
Figuur 7.1
Massabalans over een stripkolom

De vloeistofstroom met het te verwijderen ammoniak wordt bovenin de kolom gevoerd. Tijdens het transport door de kolom gaat het ammoniak van de vloeistoffase naar de gasfase over. De ammoniakrijke gasstroom verlaat de kolom aan de top, terwijl de behandelde waterstroom de kolom aan de bodem verlaat.

Er wordt een massabalans over een kolom segment met hoogte dh tussen h en $h + dh$ opgesteld met de volgende uitgangspunten:

- Het stromingsprofiel heeft een propstroomkarakter.
Er is geen sprake van verblijftijdsspreiding.
- Aan het fasegrensvlak heerst een thermodynamisch evenwicht.

Over het kolomsegment kunnen massabalansen worden opgesteld (zie figuur 7.2).



Figuur 7.2
Overzicht kenmerkende grootheden in kolomsegment dh

De volgende balansen kunnen worden opgesteld:

$$N_G X_G - (N_G - dN_G) (X_G - dX_G) = n_A \cdot dA \quad (1)$$

$$N_G \cdot dX_G + dN_G \cdot X_G = n_A \cdot dA \quad (dN_G dX_G = 0) \quad (2)$$

$$d(N_G X_G) = n_A \cdot dA \quad (3)$$

De molenstroom van de gasfase is constant:

$$N_{GT} = N_G (1 - X_G) \quad (4)$$

$$n_A \cdot dA = d \left(\frac{N_{GT}}{(1 - X_G)} \cdot X_G \right) \quad (5)$$

Uit deze laatste vergelijking volgt:

$$n_A dA = N_{GT} \frac{dX_G}{(1 - X_G)^2} \quad (6)$$

Voor de stofoverdracht geldt:

$$n_A = \beta_{OG} \cdot \Delta C_{OG} \quad (7)$$

Met concentratieverschil kan worden vervangen door:

$$\Delta C_{OG} = \left(\frac{\rho}{M}\right)_G \Delta X_{OG} \quad (8)$$

Hieruit volgt:

$$n_A = \beta_{OG} \left(\frac{\rho}{M}\right)_G \Delta X_{OG} \quad (9)$$

Uit (6) en (9) volgt:

$$n_A = \beta_{OG}^K \left(\frac{\rho}{M}\right)_G \Delta X_{OG}^K \quad (10)$$

Voor het fasegrensvlak geldt:

$$dA = a \cdot A_s \cdot dh \quad (11)$$

Combinatie van (21), (22) en (23) levert:

$$dh = \frac{N_{GT}}{\beta_{OG}^K a A_s \left(\frac{\rho}{M}\right)_G \Delta X_{OG}^K} (1 - X_G)^2 \quad (12)$$

Integratie levert voor de kolomhoogte H:

$$H = \frac{N_{GT}}{\beta_{OG}^K \cdot a \cdot A_s \cdot \left(\frac{\rho}{M}\right)_G} \int_{x(h=0)}^{x(h=H)} \frac{dX_G}{(1 - X_G)^2 \cdot \Delta X_{OG}^K} \quad (13)$$

Hierbij noemt men de uitdrukking voor het integraalteken HTU.

Deze uitdrukking bevat alleen stofspecifieke en geometrische gegevens.

Het integraaldeel noemt men NTU. Deze is alleen afhankelijk van de concentratie aan het begin en aan het eind van de kolom.

BIJLAGE 8

Specificatie van de praktijkinstallatie

The image shows a large, faint grid structure, likely a table intended for the specification of the practical installation. The grid is composed of approximately 12 columns and 10 rows. The content within the grid is extremely faint and illegible, appearing as light gray lines on a yellowish background. The table structure is centered on the page below the title 'Specificatie van de praktijkinstallatie'.

De dimensionering van de hoofdonderdelen van de verschillend onderscheiden variant 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
influentbuffer	m ³	10	20	40	40	80	160	200
pompinstallatie	m ³	2,1	4,2	8,3	8,3	16,7	33,3	40
flocculator/lamellensepar- rator	m ³ /h	2,1	4,2	8,3	8,3	16,7	33,3	40
pompinstallatie	m ³ /h	2,1	4,2	8,3	8,3	16,7	33,3	40
diameter stripkolom (20°C)	mm	1000	1400	2000	2000	2800	4000	4400
hoogte stripkolom (20°C)	m	14,5	13,0	15,0	14,0	15,5	18,5	19,5
compressor (20°C)	Nm ³ /h	6.400	12.500	25.000	25.000	50.000	100.000	120.000
diameter stripkolom (50°C)	m	500	800	1100	1100	1500	2100	2300
hoogte stripkolom (50°C)	m	11,1	11,5	12,0	12,0	12,5	14,0	14,5
compressor (50°C)	Nm ³ /h	1.600	3.200	6.200	6.200	12.500	25.000	30.000
diameter scrubber (20°C)	mm	1000	1400	2000	2000	2800	4000	4400
hoogte scrubber (20°C)	m	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0	14,5	15,0
diameter scrubber (50°C)	mm	500	800	1100	1100	1500	2100	2300
hoogte scrubber (50°C)	m	10,0	10,0	10,0	11,0	11,5	12,0	12,5
diameter stripkolom(100°C)	mm	200	300	400	400	600	900	1000
hoogte stripkolom + rectificeerkolom (100°C)	m	14	14	15	14	14,5	15	15
kalkverbruik	ton/d	0,54	0,54	0,54	2,15	2,15	2,15	2,72
zwavelzuurverbruik	ton/d	0,31	0,31	0,31	1,23	1,23	1,23	1,56
energieverbruik (20°C)	kW	6,0	10,3	21,4	21,9	41,4	86,4	104,7
energieverbruik (50°C)	kW	1,9	4,0	7,7	7,7	16,8	29,2	35,4
energieverbruik (100°C)	kW	1,4	2,2	4,1	4,0	8,2	16,5	19,7
aardgasverbruik (50°C)	Nm ³ /d	75	150	300	300	600	1200	1440
stoomverbruik (100°C)	ton/d	5,2	10,2	20,0	20,4	40,4	80,0	96,0