

1995-13\_stikstofrijke-retourstromen-MAP-CAFR-  
proces

**stowa**

**Behandeling van stikstofrijke  
retourstromen  
op rioolwaterzuiveringsinrichtingen**

Praktijkonderzoek aan het MAP/CAFR-proces  
bij de RWZI Utrecht

**95-13**



PROVINCIE **UTRECHT**

## Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen



Praktijkonderzoek aan het MAP/CAFR-proces  
bij de RWZI Utrecht

95-13

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. 90.74476.29.5

## INHOUD

	TEN GELEIDE	iii
	SAMENVATTING	1
1	INLEIDING	4
2	DOELSTELLING	6
3	BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM	7
	3.1 De techniek	7
	3.2 De toepassing	8
4	OPZET VAN HET ONDERZOEK	9
	4.1 Beschrijving van de opstelling	9
	4.1.1 <i>Buffercontainer</i>	9
	4.1.2 <i>Pilot-plant MAP/CAFR-proces</i>	9
	4.2 Analyses en metingen	12
	4.3 Gefaseerde uitvoering	13
5	RESULTATEN	15
	5.1 Bedrijfsvoeringsaspecten	15
	5.1.1 <i>MAP-proces</i>	15
	5.1.2 <i>CAFR-proces</i>	16
	5.2 Verloop van het onderzoek	16
	5.2.1 <i>Algemeen</i>	16
	5.2.2 <i>Onderzoek naar de molaire verhouding en de pH</i>	17
	5.2.3 <i>Onderzoek naar de entkristalconcentratie</i>	18
	5.2.4 <i>Opwerking van het MAP-slib</i>	20
	5.2.5 <i>CAFR-proces</i>	21
	5.2.6 <i>Algemene toepasbaarheid van het systeem</i>	24
	5.2.7 <i>Voorbehandeling van het centrifugaat</i>	24
	5.2.8 <i>Bezinksnelheid van het MAP</i>	25
6	EVALUATIE	26
	6.1 N-verwijdering	26
	6.1.1 <i>MAP-proces</i>	26
	6.1.2 <i>CAFR-proces</i>	26
	6.2 Verwijdering van overige componenten	26

6.3	Procesconditie	27
6.3.1	<i>pH en molaire verhouding</i>	27
6.3.2	<i>Kristalconcentratie</i>	27
6.3.3	<i>Verblijftijd</i>	27
6.4	Chemicaliënverbruik	28
6.4.1	<i>MAP-proces</i>	28
6.4.2	<i>CAFR-proces</i>	29
6.5	Energieverbruik	29
6.5.1	<i>MAP-proces</i>	29
6.5.2	<i>CAFR-proces</i>	29
6.6	Produktie van reststoffen	29
6.6.1	<i>Voorbehandeling</i>	29
6.6.2	<i>MAP-proces</i>	29
6.6.3	<i>CAFR-proces</i>	30
6.7	Bedrijfsvoeringsaspecten	30
6.7.1	<i>Algemeen</i>	30
6.7.2	<i>Voorbehandeling</i>	30
6.8	Knelpunten	31
6.9	Dimensioneringsgrondslagen	31
6.9.1	<i>MAP-proces</i>	31
6.9.2	<i>CAFR-installatie</i>	31
6.10	Algemene toepasbaarheid van het systeem	32
7	KOSTEN	33
7.1	Inleiding	33
7.2	Standaard-rwzi van 100.000 i.e.	34
7.3	Standaard rwzi van 400.000 i.e.	34
7.4	Rwzi Utrecht	35
8	CONCLUSIES	37
9	REFERENTIELIJST	38
BIJLAGEN:		
1.	Resultaten van het MAP-proces op semi-technische schaal	39
2.	Resultaten van het MAP-proces op laboratoriumschaal	41
3.	Specificatie van een installatie voor 100.000 i.e. + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten	43
4.	Specificatie van een installatie voor 400.000 i.e. + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten	50
5.	Specificatie van een installatie voor de rwzi Utrecht + ramingen van de stichtings- en exploitatiekosten	57
6.	Specificatie van de praktijkinstallaties met het MAP- en het CAFR-proces	60



## 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 Riolerings en Waterhuishouding Amsterdam (met financiële participatie van het hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier);
- het MAP/CAFR-proces op de rwzi Utrecht door de provincie Utrecht en DHV.

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

Naast het onderhavige onderzoek aan het MAP/CAFR-proces 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 MAP/CAFR-proces, 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). Het proces, waarin magnesiumammoniumfosfaat (MAP) wordt gevormd, kan op praktijkschaal worden toegepast voor de behandeling van stikstofrijk water. Voor uitspraken over de toepasbaarheid van de recycle-stap van het proces op praktijkschaal is aanvullend onderzoek nodig.

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 het MAP/CAFR-proces. Dit is een fysisch-chemisch proces, waarbij het ammonium uit het stikstofrijke water wordt verwijderd door precipitatie als magnesiumammoniumfosfaat (MAP), dat eventueel kan worden hergebruikt (CAFR-proces).

### Toepasbaarheid van het systeem

Het MAP-proces kan op praktijkschaal worden toegepast voor de behandeling van stikstofrijk water uit de slibverwerking van rwzi's. Over de toepasbaarheid van het CAFR-proces op praktijkschaal kan zonder aanvullend onderzoek (op semi-technische schaal) naar de opwerking van het MAP-slib geen uitspraak worden gedaan.

Als voorbehandeling van het water is verwijdering van bezinkbare stoffen, zwevendstof en drijflaag noodzakelijk om verontreiniging van het MAP-slib te voorkomen.

De resultaten van het onderzoek kunnen voor het MAP-proces goed worden gebruikt voor het opschalen tot praktijkinstallaties. Voor het CAFR-proces kan het opwerkingsdeel niet worden gedimensioneerd.

Voor het MAP-proces zijn de maatgevende randvoorwaarden voor de dimensionering:

- N:P:Mg = 1:1:1;
- pH = 9,5;
- verblijftijd in de kristallisatiereactor: 20 minuten;
- belasting van de bezinktank: 10 kg d.s./m<sup>2</sup>.h.



Met het MAP-proces kan een vergaande ( $\geq 90\%$ ) ammoniumverwijdering worden gerealiseerd.

In het onderzochte concentratiebereik van 400-1.800 mg  $\text{NH}_4\text{-N/l}$  is het  $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement onafhankelijk van de  $\text{NH}_4\text{-N}$ -ingangsconcentratie.

### Bedrijfsvoering

Bij toepassing van het MAP-proces in de praktijk zijn de volgende aspecten van belang:

#### *Voorbehandeling*

Om ongewenste afzettingen in de procesonderdelen en insluiting van verontreinigingen in het MAP-slib zoveel mogelijk te voorkomen, wordt het stikstofrijke water voorbehandeld. Het doel hiervan is om het aanwezige zwevend stof te verwijderen.

Hiertoe wordt de pH met behulp van natronloog verhoogd.

#### *Chemicaliëndosering*

De instelling van de juiste molaire N:P:Mg verhouding is van groot belang voor het rendement van het MAP/CAFR-proces. De ammoniumconcentraties in het aangevoerde stikstofrijke water kunnen variëren. Om de chemicaliëndosering hierop af te stemmen is continue meting van het ammoniumgehalte in de toevoer noodzakelijk.

#### *pH-regeling*

De instelling van de juiste pH is van groot belang voor het rendement van het MAP/CAFR-proces. Hiervoor is een goede en betrouwbare instelling van de pH noodzakelijk.

#### *Buffering*

Om tijdelijke uitval van de installatie (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 het MAP- en het CAFR-proces voor de behandeling van stikstofrijk water is in een aantal dimensioneringsvoorbeelden uitgewerkt. Voor het CAFR-proces is hierbij uitgegaan van een stoomstripinstallatie voor de opwerking van het CAFR-slib, omdat het op basis van de onderzoeksresultaten niet goed mogelijk is om dit procesonderdeel te ontwerpen. De uitgangspunten van de standaard rwzi's zijn in tabelvorm samengevat.

**Tabel 1**  
Uitgangspunten voor de standaard-rwzi's

parameter	eenheid	waarde					
		1	2	3	4	5	6
capaciteit	i.e.	100.000			400.000		
totaal-stikstof	kg N/d	95			380		
ammoniumstikstof	kg $\text{NH}_4\text{-N/d}$	90			360		
temperatuur	$^{\circ}\text{C}$	20			20		
variant	-	1	2	3	4	5	6
debiet	$\text{m}^3/\text{d}$	50	100	200	200	400	800
totaalstikstofconcentratie	$\text{g}/\text{m}^3$	1.900	950	475	1.900	950	475
ammoniumstikstofconcentratie	$\text{g}/\text{m}^3$	1.800	900	450	1.800	900	450
drogestofconcentratie	$\text{g}/\text{m}^3$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
alkaliteit	mmol/l	136	68	34	168	68	34

Een overzicht van de stichtingskosten, de exploitatiekosten en de kosten per kg N(Kj)-verwijderd, zijn eveneens in tabelvorm samengevat.

Tabel 2

Kostenoverzicht (in guldens) van het MAP/CAFR-proces voor de standaard-rwzi's

capaciteit (i.e.)	NH <sub>4</sub> -N-conc. (mg/l)	MAP/CAFR	stichtingskosten	exploitatiekosten	kosten per kg N(Kj) <sub>verw</sub>
100.000	1800	MAP	4.000.000	860.000	29,10
100.000	900	MAP	4.000.000	860.000	29,10
100.000	450	MAP	4.050.000	870.000	29,40
400.000	1800	MAP	4.370.000	1.610.000	13,50
400.000	900	MAP	4.820.000	1.670.000	14,10
400.000	450	MAP	5.020.000	1.710.000	14,50
100.000	1800	CAFR	4.690.000	960.000	32,50
100.000	900	CAFR	4.690.000	960.000	32,50
100.000	450	CAFR	4.740.000	970.000	32,80
400.000	1800	CAFR	5.880.000	1.820.000	15,40
400.000	900	CAFR	6.340.000	1.880.000	15,90
400.000	450	CAFR	6.540.000	1.920.000	16,20

### Conclusies

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

- Het MAP-proces kan op praktijkschaal worden toegepast voor de behandeling van stikstofrijk water uit de slibverwerking van rwzi's.
- Over de toepasbaarheid van het CAFR-proces op praktijkschaal kan zonder aanvullend onderzoek (op semi-technische schaal) naar de opwerking van MAP-slib geen uitspraak worden gedaan.
- Als voorbehandeling van het water is verwijdering van bezinkbare stoffen, zwevendstof en drijfslag noodzakelijk om verontreiniging van het MAP-slib te voorkomen.
- De resultaten van het onderzoek kunnen voor het MAP-proces goed worden gebruikt voor het opschalen tot praktijkinstallaties. Voor het CAFR-proces kan het opwerkingsdeel niet worden gedimensioneerd.
- Voor het MAP-proces zijn de maatgevende randvoorwaarden voor de dimensionering:
  - . N:P:Mg = 1:1:1;
  - . pH = 9,5;
  - . verblijftijd in de kristallisatiereactor: 20 minuten;
  - . belasting van de bezinktank: 10 kg d.s./m<sup>2</sup>.h.
- Met het MAP-proces kan een vergaande (≥ 90%) ammoniumverwijdering worden gerealiseerd.
- De exploitatiekosten per kg N<sub>verw</sub> bedragen zijn afhankelijk van de capaciteit van de rwzi en de NH<sub>4</sub>-N-ingangconcentratie voor het MAP-proces *f* 13,50 - *f* 29,40 per kg N(Kj)<sub>verw</sub> en *f* 15,40 - *f* 32,80 per kg N(Kj)<sub>verw</sub> voor het CAFR-proces.



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

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

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

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

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

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

Uit de simulatie is naar voren gekomen dat het behandelen van stikstofrijke (N-rijke) retourstromen in het kader van stikstofverwijdering een belangrijke rol kan spelen. (In diverse bureaustudies is een aantal behandelingstechnieken voor het stikstofrijke water als kansrijk naar voren gekomen [2]).

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-slibstelsysteem met ultrafiltratie (biomembraansysteem);
- ammoniakstrippen (luchtstrippen en stoomstrippen);
- precipitatie van magnesiumammoniumfosfaat (MAP) met recirculatie (CAFR-proces);
- airlift-reactor.

In het kader van het STOWA-project is het onderzoek op de rwzi Utrecht met betrekking tot ammoniakstrippen en de airliftreactor 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 precipitatie van magnesium-ammoniumfosfaat met en zonder recirculatie (MAP-proces en CAFR-proces). In hoofdstuk 2 is de doelstelling van het onderzoek weergegeven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van het systeem. Hoofdstuk 4 behandelt de opzet van het onderzoek. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de resultaten van het onderzoek, met name ten aanzien van de bedrijfsvoeringsaspecten en het verloop van het onderzoek.

Hoofdstuk 6 geeft de evaluatie van de resultaten gericht op toepassing van het MAP- en het CAFR-proces voor behandeling van stikstofrijk water in de Nederlandse praktijksituatie.

Hoofdstuk 7 bevat een kostenraming van zowel het MAP-proces als van het CAFR-proces, 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 zijn 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 precipitatie van magnesiumammoniumfosfaat (MAP-proces), zonder en met recirculatie (CAFR-proces) 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.

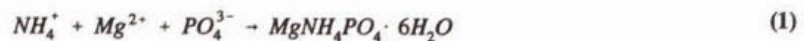
### 3 BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM

#### 3.1 De techniek

##### MAP-kristallisatie

Het MAP-proces is gebaseerd op de vorming van het onoplosbare magnesiumammoniumfosfaat (MAP). Aan de te behandelen ammoniumrijke afvalwaterstroom worden magnesium en fosfaat toegevoegd, waarna de juiste pH (8,5 - 10) wordt ingesteld. Omdat het oplosbaarheidsproduct van MAP wordt overschreden, slaat de verbinding in de vorm van kristallen neer. De gevormde kristallen kunnen vervolgens eenvoudig door bezinking worden afgescheiden.

Het ammonium in het afvalwater wordt neergeslagen met magnesium en fosfaat volgens de volgende reactie:



Hierbij ontstaat per kg neergeslagen  $NH_4$ -N 17,52 kg MAP.

Het oplosbaarheidsproduct  $K_L$  van MAP is:

$$K_L = [Mg^{2+}][NH_4^+][PO_4^{3-}] \quad (2)$$

en bedraagt bij 25 °C aan  $7,1 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^3/\text{l}^3$ .

Indien het product van de activiteiten van de ionsoorten  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$  en  $PO_4^{3-}$  het oplosbaarheidsproduct overschrijdt, zal MAP uitkristalliseren totdat het product weer gelijk is aan het oplosbaarheidsproduct.

De activiteiten van de ionsoorten in oplossing zijn afhankelijk van de totale hoeveelheid van de component in oplossing, maar tevens van de pH en de ionsterkte. Bij stijgende pH neemt het aandeel  $PO_4^{3-}$  toe, terwijl de concentraties aan  $Mg^{2+}$  en  $NH_4^+$  afnemen.

Daarnaast zal bij een hoge pH tevens magnesiumfosfaat en calciumfosfaat neerslaan waardoor een deel van de toegevoegde chemicaliën niet beschikbaar is voor de ammoniumverwijdering.

##### CAFR-proces

Nadelen van het MAP-proces zijn het ontstaan van restproducten en het relatief hoge chemicaliënverbruik. Omdat de afzet van MAP economisch gezien twijfelachtig is, is door de firma Nalva Umwelttechnik het MAP-proces uitgebreid tot het CAFR-proces (Chemische Ammonium Fällung und Rezyklierung) door het toevoegen van een opwerkingsstap voor het magnesiumammoniumfosfaat.

In deze opwerkingsstap wordt het bezonken MAP op de gewenste pH gebracht waarna het wordt verwarmd. Hierdoor ontleedt het MAP in magnesiumhydrofosfaat en ammonium. Door de verhoogde pH kan het ammonium als ammoniak worden gestript. De ammoniakrijke damp kan worden verwerkt tot een geconcentreerde ammoniakale oplossing (door condensatie) of tot een ammoniumzout (door wassing met zuur).

Het magnesiumhydrofosfaat kan (eventueel na aanzuring) opnieuw worden gebruikt voor de vorming van MAP, waardoor sprake is van recirculatie van magnesium en fosfaat. Door de recycling kan ophoping plaatsvinden van verschillende componenten, die bij de kristallisatie van MAP ook neerslaan. Hierbij kan worden gedacht aan bijvoorbeeld  $MgKPO_4$ ,  $CaCO_3$  en  $Ca_3(PO_4)_2$ . De kritische calciumconcentratie voor het kristallisatieproces ligt in de orde/grootte van 400 mg/l. Om deze concentratie niet te overschrijden moet een deel van het geproduceer-



de MAP worden gespuid en is aanvullende dosering van "vers" magnesium en fosfaat noodzakelijk.

### **3.2 De toepassing**

Volgens opgave van Nalva worden momenteel nog geen praktijk-installaties bedreven volgens het MAP- of het CAFR-proces.

Wel zijn er in het verleden proeven verricht op pilot plant schaal:

1. verwijdering van ammoniak uit rejectiewater bij de rwzi Stuttgart-Mühlhausen;
2. behandeling van diverse (industriële) afvalwatertypen afkomstig van:
  - cokesfabriek;
  - galvanische bedrijven;
  - stort(percolatiewater);
3. behandeling van vloeibare mest.

## 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 proefinstallatie 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 automatisch gestopt in verband met de tijdelijk verhoogde gehalten aan 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. Ten behoeve van de verwijdering van de drijfslaag 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 MAP/CAFR-proces*

De pilot plant is geleverd door de firma Nalva Umwelttechnik GmbH, heeft een hydraulische capaciteit van 5 m<sup>3</sup>/h en bestaat uit de volgende onderdelen:

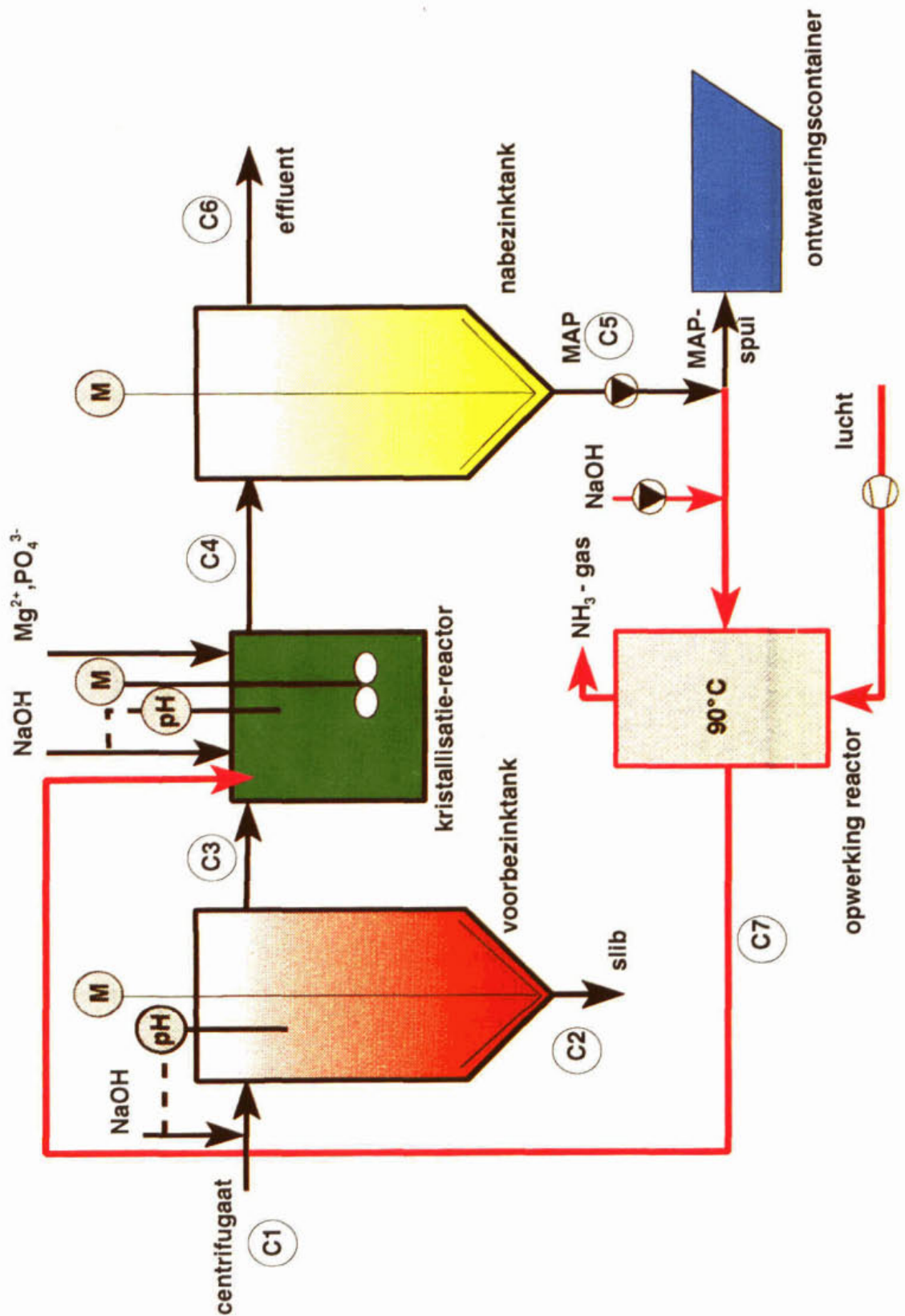
- voorbezinktank (1,2 m<sup>3</sup>);
- reactievat voor ammoniumprecipitatie (0,4 m<sup>3</sup>);
- nabezinktank (1,2 m<sup>3</sup>);
- reactor voor het opwerken van MAP (0,6 m<sup>3</sup>);

In figuur 1 is een schema van de proefinstallatie weergegeven.

De voorbehandeling bestaat uit een dosering van poly-elektrolyt, vlokvorming en bezinking. De vlokvormingsruimte bevindt zich in de inlaatconstructie van de voorbezinktank. Door de dosering van NaOH tot pH 9 vindt enige flocculatie plaats, zonder dat een significante hoeveelheid ammoniak wordt gestript.

Via de overloop van de voorbezinktank komt het voorbehandelde water in de MAP-kristallisatiereactor. Met behulp van pompen worden aan de reactor de chemicaliën (fosfaat en magnesium) toegevoegd. Via een pH-regeling wordt in de reactor met behulp van natronloog de gewenste pH gehandhaafd. In het reactievat is een roerder geplaatst, die voor een goede menging zorgt.

Achter het reactievat is een bezinktank geplaatst, waarin het uitgekristalliseerde MAP bezinkt. Het effluent wordt afgevoerd via een overloop. Het bezonken MAP wordt met een monopomp naar de opwerkingsreactor gepompt. Tevens bevat de bezinktank een monopomp voor het spuien van MAP in een ontwateringscontainer.



Figuur 1  
Proces-flowschema van het MAP/CAFR-proces



In de aanvoerleiding naar de opwerkingsreactor wordt met een pomp natronloog gedoseerd. Hiermee wordt de gewenste pH-waarde voor het opwerken van MAP ingesteld. In de opwerkingsreactor wordt het MAP met een verwarmingsspiraal verwarmd tot circa 80 à 90 °C. Door een compressor wordt onderin de reactor lucht ingeblazen. Hierdoor wordt het gevormde ammoniak uit het reactiemengsel gestript en vindt tevens menging plaats. Het gestripte ammoniak wordt vervolgens door een vat zwavelzuur geleid.

Via een overloop wordt het opgewerkte magnesium-hydrofosfaat onder vrij verval naar het reactievat teruggevoerd, waarna het opnieuw kan worden gebruikt voor de vorming van MAP.

Figuur 2 geeft een overzicht van de proefopstelling op de rwzi Utrecht.



**Figuur 2**  
Overzicht van de proefopstelling van het CAFR-proces op de rwzi Utrecht



## 4.2 Analyses en metingen

### MAP-proces

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

**Tabel 3**  
Bemonstering en analyse voor het MAP-proces (week<sup>-1</sup>)

Parameter	influent C1	overloop vbt C3	overloop MAP- reactor C4	MAP- slib C5	overloop nbt C6
CZV-opgelost (mg/l)		1			1
CZV-totaal (mg/l)		1			1
N-Kjeldahl (mg N/l)		1			1
ammonium (mg N/l)				1	
P-ortho (mg P/l)			1	1	
P-totaal (mg P/l)		1			1
Ca (mg/l)	1	5	1	1	5
Mg (mg/l)	1	5	1	1	5
K (mg/l)	1	5	1	1	5
M-getal (meq/l)		1			1
P-getal (meq/l)		1			1
zwevendstof (mg/l)	1	5	1	1	5
sneltesten					
- NH <sub>4</sub> -N	1	5	1		5
- PO <sub>4</sub> -P	1	5	1		5

Het bovenstaande schema is aangehouden gedurende de deelonderzoeken "pH, molaire verhouding" en "kristalnten", zie ook paragraaf 4.3. De bemonstering vond telkens plaats aan het einde van een proef.

Voor monsters die eens per week zijn genomen, geldt dat deze op hetzelfde moment zijn genomen. De bemonsteringsdag schuift elke week een dag op, zodat eventuele dagelijkse invloeden worden uitgesloten. Zowel de watermonsters als de slibmonsters zijn steeksgewijs genomen. De opgeloste componenten zijn bepaald na filtratie over een 1,2 µm GFC glasvezelfilter. De effluentmonsters zijn zo snel mogelijk en zonder koeling in behandeling genomen om nakristallisatie tegen te gaan.

Het MAP-slib is gedroogd bij 35°C, gedurende 2 à 3 dagen. Na droging is een hoeveelheid MAP opgelost in HCl. In deze oplossing zijn vervolgens de analyses verricht.

### CAFR-proces

Tabel 4 bevat het schema voor de bemonstering en analyse van het CAFR-proces.

Tabel 4  
Bemonstering en analyse CAFR-proces (week<sup>-1</sup>)

Parameter	influent C1	overloop vbt C3	overloop MAP- reactor C4	MAP- slib C5	overloop nbt C6	MgHPO <sub>4</sub> C7
CZV-opgelost (mg/l)		1			1	
CZV-totaal (mg/l)		1			1	
N-Kjeldahl (mg N/l)		1			1	
ammonium (mg N/l)				5		5
P-ortho (mg P/l)				5		5
P-totaal (mg P/l)		1			1	
Ca (mg/l)	1	1		5	1	5
Mg (mg/l)	1	1		5	1	5
K (mg/l)	1	1		5	1	5
kristalconcentratie (g/l)			1	1		1
zwevendstof (mg/l)	1	3		5	3	5
sneltesten						
- NH <sub>4</sub> -N	1	5			5	
- PO <sub>4</sub> -P	1	5			5	

Het schema is aangehouden tijdens de deelonderzoeken "opwerking MAP-slib" en "CAFR-proces", zie paragraaf 4.3. Voor de bemonstering geldt voorts hetzelfde als vermeld bij de bemonstering en analyse van het MAP-proces.

### Geregistreerde parameters

In tabel 5 zijn de parameters die ter plaatse zijn geregistreerd weergegeven voor zowel het MAP- als het CAFR-proces.

Tabel 5  
Ter plaatse geregistreerde parameters voor MAP- en CAFR-proces (week<sup>-1</sup>)

Parameter	centrifugaat/ voorbezinking	MAP-reactor	effluent/ nabezinking	recycle/spui/ opwerking
pH	5	5	5	5
temperatuur (°C)	5	5	5	5
debiet	5		5	5
slibafvoer	5		5	5
verbruik NaOH 33% (l/h)	5			
verbruik NaOH 20% (l/h)		5		5
verbruik Magphos-30 (l/h)		5		
verbruik H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 59% (l/h)		5		

## 4.3 Gefaseerde uitvoering

Het onderzoek is verdeeld in een aantal deelonderzoeken. Het eerste deelonderzoek betreft het meest elementaire proces, waarbij alleen de MAP-vorming is bestudeerd. Elk volgend onderzoek betekent een uitbreiding van het proces.



Het onderzoek beslaat de volgende acht onderdelen:

1. pH, molaire N:P:Mg-verhouding. In dit deelonderzoek is het effect van de pH en de molaire N:P:Mg-verhouding op de ammoniumverwijdering onderzocht. Voor de vergaande verwijdering van  $\text{NH}_4$  moeten Mg en P minimaal stochiometrisch worden gedoseerd. Hierbij is de pH van groot belang. Flankerend onderzoek is op lab-schaal uitgevoerd.  
Dit onderdeel heeft 4 maanden in beslag genomen.
2. Hoeveelheid entkristal. In dit deelonderzoek is onderzocht of de kristalvorming en daarmee ook  $\text{NH}_4$ -N-verwijdering kan worden verbeterd door extra specifiek oppervlak in de kristallisatiereactor aan te bieden. Als specifiek oppervlak kunnen MAP-kristallen fungeren, die reeds gevormd zijn. De kristalconcentratie is verhoogd door een gedeelte van het bezonken MAP-slib naar het reactievat terug te voeren.  
Dit deelonderzoek heeft 3 weken geduurd.
3. Opwerking van het MAP-slib. Dit was een voorbereiding op het deelonderzoek "recycle MAP-slib". Het opwerken van het MAP gebeurt door de pH van het bezonken MAP-slib te verhogen en dit vervolgens te verwarmen. Hierbij ontwijkt  $\text{NH}_3$  en blijft  $\text{MgHPO}_4$  achter. De aandacht heeft zich toegespitst op de procescondities (pH en temperatuur) van de opwerking. Daarbij is ondersteunend lab-onderzoek verricht.  
Dit deelonderzoek besloeg een periode van 4 weken.
4. Recirculatie van magnesiumhydrofosfaat (CAFR-proces). Het opgewerkte  $\text{MgHPO}_4$ -slib werd teruggevoerd naar de kristallisatiereactor, waar het is hergebruikt voor de vorming van MAP-kristallen. Hierbij is onderzocht of het  $\text{MgHPO}_4$  na de opwerking nog een verdere voorbehandeling behoeft. Tevens is het effect van de recycle/spui-verhouding op de kwaliteit van het MAP-slib en de kristalvorming bestudeerd. Het onderzoek is vooraf gegaan door oriënterende lab-proeven.  
Het onderzoek naar het CAFR-proces heeft twee maanden in beslag genomen.
5. Algemene toepasbaarheid van het MAP/CAFR-proces. Voor de vertaling van het onderzoek naar de Nederlandse situatie is het MAP-proces gedurende twee weken bedreven bij verhoogde ammoniumconcentraties (1000 en 1800 mg N/l). De resultaten zijn gerelateerd aan de uitkomsten van deelonderzoek 1.
6. Voorbehandeling van het centrifugaat. In de basisopstelling van het MAP-proces is geen voorbehandeling opgenomen. Een voorbehandeling kan echter noodzakelijk zijn ter voorkoming van scaling en ter verwijdering van componenten die een storende invloed kunnen hebben op het proces. Bij de aanvang van deelonderzoek 1 is hier aandacht aan besteed.
7. Bezinksnelheid van het MAP. Aan dit onderdeel is tijdens deelonderzoek 1 regelmatig aandacht besteed.
8. Aangroei en scaling. Aan dit onderdeel is geen specifieke aandacht besteed, omdat dit gedurende het gehele onderzoek is meegenomen.

## 5 RESULTATEN

### 5.1 Bedrijfsvoeringsaspecten

#### 5.1.1 MAP-proces

Het MAP-proces is vrijwel zonder storingen verlopen.

##### Zwevendstof

Door inbouw van zwevendstof kan de kwaliteit van het MAP-slib voor verdere verwerking minder interessant zijn. Tijdens het onderzoek is daarom een groot deel van het zwevendstof door flocculatie verwijderd in de voorbezinktank door op deze plaats een deel van het natronloog te doseren tot een pH van 9.  $\text{NH}_4$ -strippen treedt bij deze pH overigens niet op.

##### Scaling

Scaling vindt met name plaats in de kristallisatiereactor en niet of nauwelijks in de effluentleidingen.

De scaling geeft problemen bij de pH-regeling. Door de aangroei op het membraan wordt de ionenoverdracht trager, zodat de pH-meting en dus ook de pH-regeling wordt vertraagd. Dit resulteert uiteindelijk in grotere pH-schommelingen in de reactor. Door regelmatig te spoelen met een licht zure oplossing is de scaling eenvoudig te verwijderen.

Bij het schoonmaken van de reactor na drie maanden bedrijf is onderin de reactor een grote hoeveelheid korrelig materiaal aangetroffen. De korrels bestonden uit MAP-kristallen die zich hadden afgezet op een dragerdeeltje (meestal roest).

##### pH-controle

Voor het uitvoeren van het deelonderzoek "pH, molaire N:P:Mg-verhouding", is het vanzelfsprekend van belang dat de pH goed in de hand kan worden gehouden. Door de voornoemde scaling en door vochtigheid is de pH-regeling een aantal keren verstoord.

##### Instabiele ammoniumconcentratie

De rwzi Utrecht heeft twee parallelle gistingstraten. De centrifuges ontwateren tegelijkertijd het slib van één straat. Iedere twee uur wordt overgeschakeld op de andere straat. Omdat het centrifugaatwater uit de twee gistingstraten qua samenstelling niet identiek is, is de ammoniumconcentratie in het centrifugaat niet constant. In de aanvoer van het MAP-proces resulteerde dit in een schommeling in de  $\text{NH}_4$ -concentratie van circa 50 mg N/l. Dit is meer dan 10% van de gemiddelde concentratie. Omdat de dosering van P en Mg wordt vastgesteld op basis van deze concentratie, schommelt de molaire N:P:Mg-verhouding eveneens. Hierdoor wordt een constante bedrijfsvoering van het MAP-proces bemoeilijkt.

Dit is zeker het geval bij het deelonderzoek "pH, molaire N:P:Mg-verhouding", waarbij een bepaalde molaire verhouding moet worden vastgehouden.

##### Gebruik van verschillende chemicaliën

Tijdens het deelonderzoek "pH, molaire N:P:Mg-verhouding" is gebleken dat het gebruik van verschillende chemicaliën voor de kristallisatie van MAP invloed heeft op het rendement van de N-verwijdering. De meeste molaire verhoudingen die met de proefinstallatie zijn getest, zijn ingesteld door de dosering van Magphos-30. Deze stof wordt geleverd door Nalco en bestaat in een zuur milieu voornamelijk uit opgelost  $\text{Mg}^{2+}$  en  $\text{PO}_4^{3-}$  (verhouding P:Mg = 1:1,1). Door hieraan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  of MgO toe te voegen kunnen andere molaire verhoudingen worden ingesteld.



Bij dosering van MgO aan het proces blijkt dat dit slechts zeer langzaam oplost. Door de korte hydraulische verblijftijd in het systeem is dan ook een gering deel van het MgO beschikbaar voor de vorming van MAP.

Om die reden is het deelonderzoek op labschaal herhaald, waarbij uitsluitend gebruik is gemaakt van fosforzuur en magnesiumchloride.

### **Corrosie**

De pilot plant blijkt gevoelig te zijn voor corrosie. Met name de kristallisatiereactor en de bezinktank, welke beide zijn vervaardigd van staal, waren sterk aangetast.

## 5.1.2 *CAFR-proces*

### **Algemeen**

Door het voorkomen van verschillende geconcentreerde chemicaliën, geconcentreerde ammoniakdampen en sterk verwarmde stromen (80°C) moet het onderhoud aan het proces met de nodige voorzichtigheid gebeuren. Omdat de proefinstallatie relatief veel toezicht en veel preventief onderhoud vergt, is het CAFR-proces op semi-technische schaal een arbeidsintensief proces.

### **Opwerkingsreactor**

Bij de bedrijfsvoering van het CAFR-proces zijn verschillende problemen opgetreden die terug te voeren zijn op de bedrijfsvoering en de werking van de opwerkingsreactor:

- De pH voor het opwerkingsproces is ingesteld door NaOH te doseren in de aanvoerleiding. Dit houdt in dat alle loog ineens moet worden toegevoegd. Hierdoor neemt de pH van de aanvoer toe tot 13. Dit heeft als gevolg dat de asafdichtingen van de aanvoer pomp snel verslijten. Bovendien heeft de afvoer van de opwerkingsreactor eveneens een relatief hoge pH (10 - 12).
- Het afvoerdebiet van het opgewerkte slib is niet constant. Door de hoge pH van het te hergebruiken magnesiumhydrofosfaat is de pH in de kristallisatiereactor hoger dan de optimale waarde. Door plaatsing van een extra (geroerd) vat tussen de opwerkingsreactor en de kristallisatiereactor is de toevoer naar de kristallisatiereactor uitgevlakt.

### **Scaling**

Het opgewerkte slib blijkt aanzienlijk meer scaling te veroorzaken dan het MAP-slib. Scaling treedt op in alle onderdelen van het proces, hetgeen ondermeer leidt tot verstopte leidingen. Het bij het MAP-proces genoemde probleem van scaling op de pH-elektrode treedt hier ook op.

Aan het einde van de proefperiode blijkt zich een dikke, harde laag op de wanden en roerder van de kristallisatiereactor te hebben afgezet. Deze laag bestaat waarschijnlijk uit MAP danwel opgewerkt MAP te bestaan.

## 5.2 **Verloop van het onderzoek**

### 5.2.1 *Algemeen*

Het MAP-proces is 31 januari opgestart. Door de matige centrifugaatkwaliteit in die periode (veel zwevendstof) is al na enige dagen een provisorische flocculatiaruimte in de inlaatruimte van de voorbezinktank gemaakt. In deze ruimte wordt door dosering van NaOH de pH verhoogd tot 9. Bij deze pH treedt enige uitvloeking van organisch materiaal op, zonder dat ammonium wordt gestript. De loogdosering is later aangesloten op een regelaar.

Tijdens de bedrijfsvoering van het CAFR-proces bleek al snel dat de opwerkingsreactor de oorzaak vormde voor een aantal storingen.

Om een goede bedrijfsvoering mogelijk te maken, is een extra geroerd vat tussen de opwerkingsreactor en de kristallisatiereactor geplaatst. Hier vond dosering van zuur plaats.

Tijdens het onderzoek waarbij de ammoniumconcentraties is verhoogd, is ammoniumchloride in de kristallisatiereactor gedoseerd.

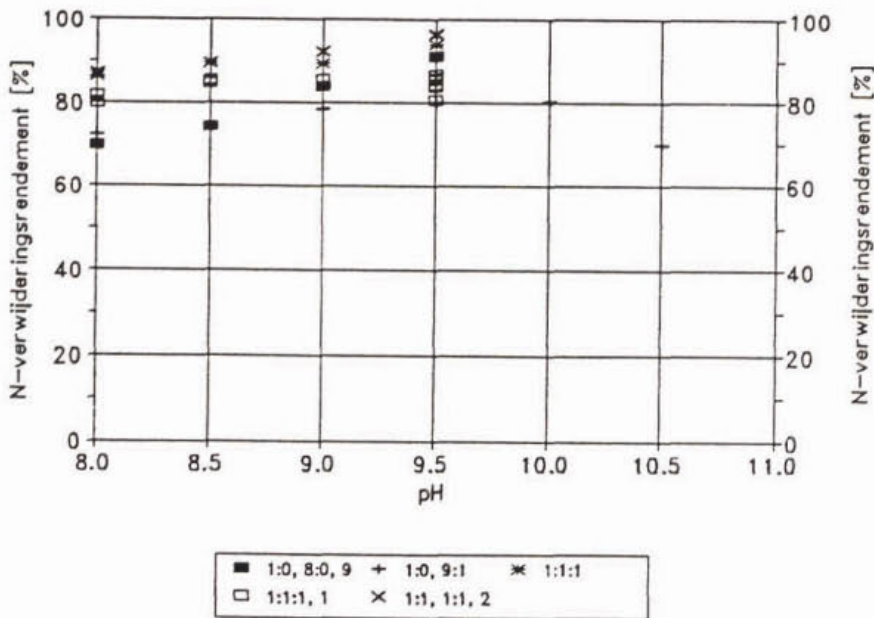
### 5.2.2 Onderzoek naar de molaire verhouding en de pH

Dit deelonderzoek is zowel op semi-technische schaal in de pilot-plantinstallatie als op laboratoriumschaal uitgevoerd.

#### Pilot-plant installatie

In figuur 3 zijn de resultaten van het onderzoek in de pilot-plant installatie weergegeven.

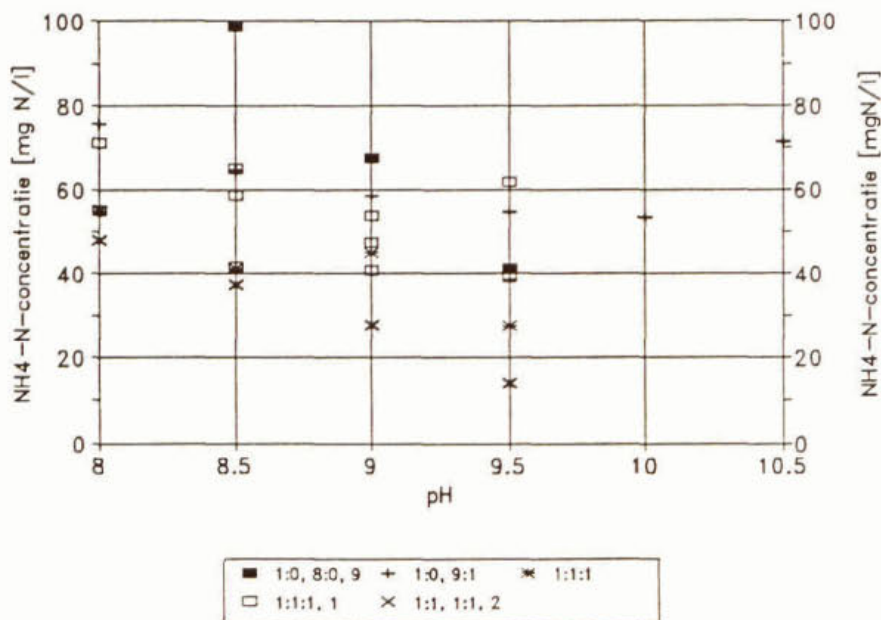
De resultaten zijn gecorrigeerd voor het in het centrifugaat aanwezige fosfaat en voor de beperkte beschikbaarheid van het extra toegevoegd MgO. De resultaten zijn eveneens vermeld in bijlage 1.



Figuur 3  
NH<sub>4</sub>-N-verwijdering bij verschillende molaire verhoudingen en pH's

In figuur 4 is de NH<sub>4</sub>-N-concentratie in het effluent weergegeven als functie van de pH bij verschillende molaire verhoudingen.





**Figuur 4**  
 NH<sub>4</sub>-N-concentratie in het effluent als functie van de pH bij verschillende molaire verhoudingen

Uit de figuren 3 en 4 kan het volgende worden geconcludeerd:

- een vergaande NH<sub>4</sub>-N-verwijdering wordt bereikt bij een pH-waarde van 9,5 - 10;
- de hoogste NH<sub>4</sub>-N-verwijdering wordt bereikt bij een molaire verhouding van N:P:Mg van 1:1,1:1,2.

Dit is conform de verwachting omdat zowel P als Mg in overmaat zijn gedoseerd.

#### Laboratoriumonderzoek

Bij het laboratoriumonderzoek is uitsluitend gewerkt met fosforzuur, magnesiumchloride en natronloog. Het magnesiumchloride is hierbij steeds in het fosforzuur opgelost, om het magnesium volledig beschikbaar te maken.

Tevens is gebruik gemaakt van een hoeveelheid centrifugaat met constante samenstelling. Variaties in de molaire verhouding tengevolge van variatie in de samenstelling zijn op deze wijze geminimaliseerd.

De resultaten van het onderzoek zijn opgenomen in bijlage 2.

In figuur 5 is het NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement als functie van de pH bij verschillende molaire verhoudingen weergegeven.

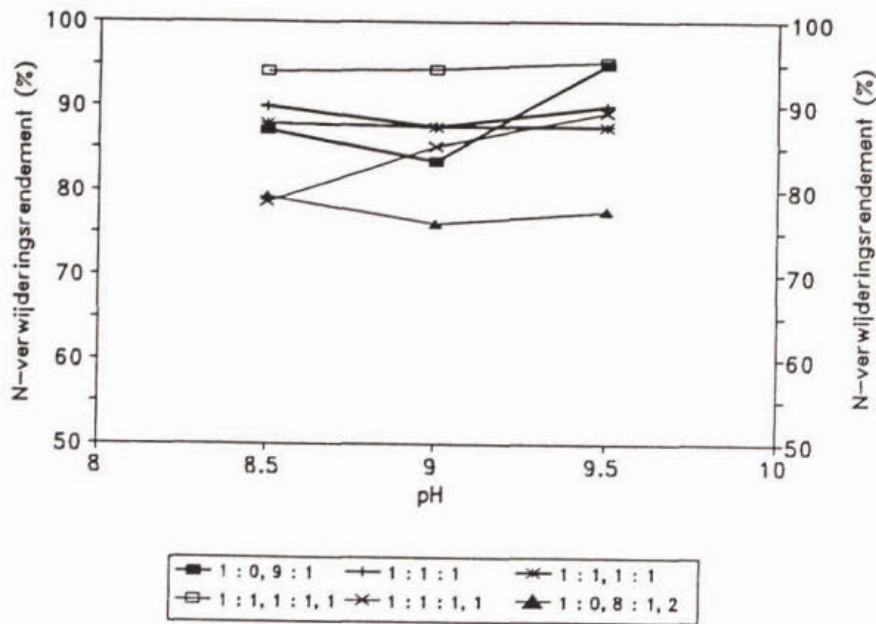
Uit de resultaten blijkt:

- de NH<sub>4</sub>-N-verwijdering neemt in het onderzochte gebied toe met de pH;
- onder- of overdosering van fosfaat bij een molaire verhouding N:Mg van 1:1 heeft een geringe invloed op het NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement;
- overdosering van P en Mg geeft een verbetering van het NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement.

#### 5.2.3 Onderzoek naar de entkristalconcentratie

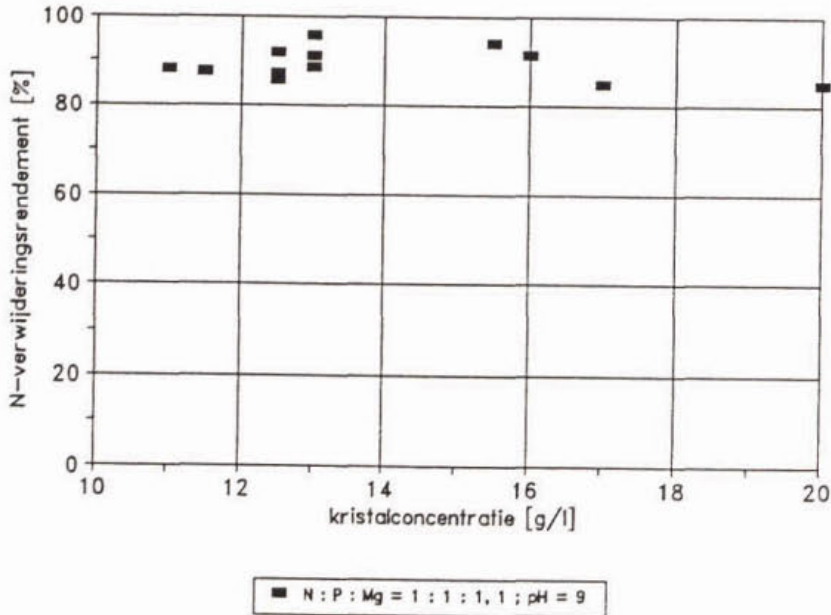
In dit deelonderzoek is een deel van het gevormde MAP-slib na bezinking teruggevoerd naar de kristallisatiereactor. Door het recirculatie-debiet te variëren is de kristalconcentratie in de reactor gevarieerd tussen 11 en 20 g/l.





**Figuur 5**  
 NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement als functie van de pH bij verschillende molaire verhoudingen (lab-onderzoek)

In figuur 6 is het NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement uitgezet tegen de kristalconcentratie in de reactor.



**Figuur 6**  
 NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement als functie van de kristalconcentratie

Uit de gevonden resultaten volgt geen verband tussen het NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement en de kristalconcentratie. De verschillen in de resultaten van de metingen zijn veeleer het gevolg van wisselende molaire verhoudingen door variaties in de NH<sub>4</sub>-N-concentratie van het centrifugaat.

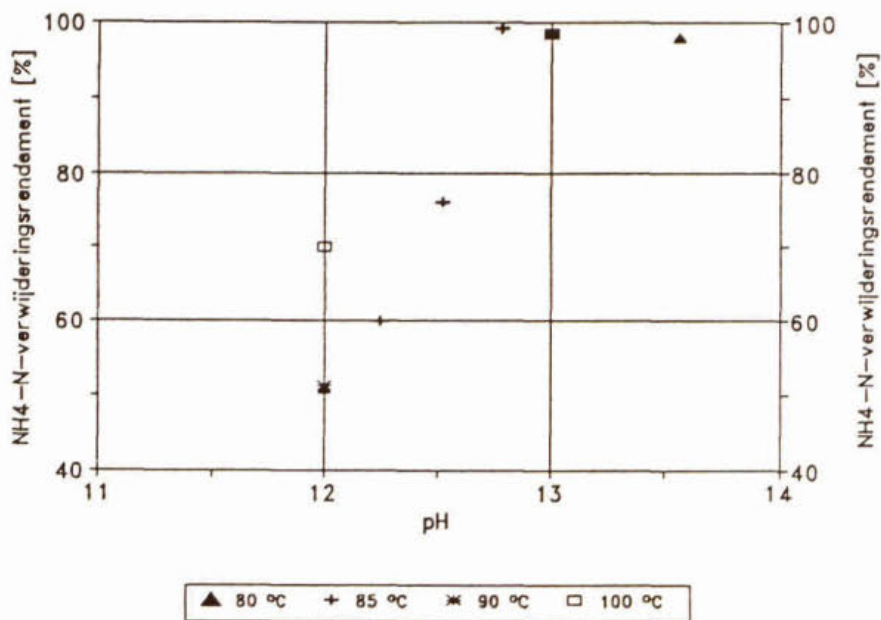
#### 5.2.4 Opwerking van het MAP-slib

Bij het CAFR-proces worden de produktie van MAP-slib en het chemicaliënverbruik gereduceerd door het MAP-slib op te werken.

Bij hoge temperatuur ( $> 80^{\circ}\text{C}$ ) valt het MAP-kristal uiteen. Door de pH te verhogen wordt het vrije ammonium omgezet in ammoniak, dat vervolgens kan worden gestript. Het resterende magnesiumhydrofosfaat wordt teruggevoerd naar de kristallisatiereactor. Dit onderzoek heeft zowel op laboratoriumschaal als op pilot-plant schaal plaatsgevonden.

#### Laboratoriumonderzoek

In laboratoriumonderzoek zijn bij de opwerking van MAP-slib de pH en de temperatuur gevarieerd. De resultaten zijn weergegeven in figuur 7.



Figuur 7

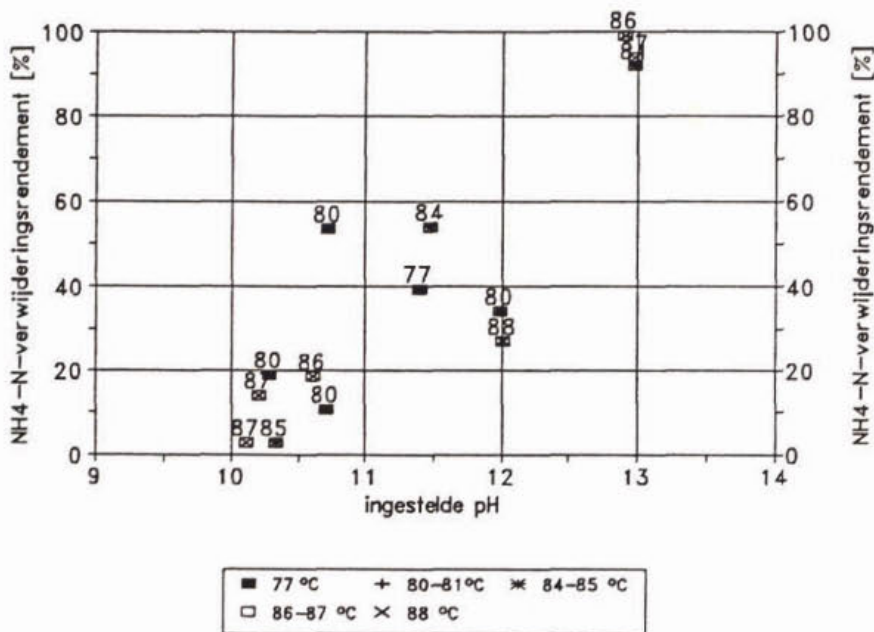
Rendement van de  $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering uit MAP-slib (laboratoriumonderzoek)

#### Pilot-plant onderzoek

In figuur 8 zijn de resultaten weergegeven van het onderzoek in de pilot-plant.

De resultaten zijn verkregen door omrekening van de  $\text{NH}_4\text{-N}$ -analyses in de vaste stof van de slurry en geven derhalve een inzicht in de mate, waarin het  $\text{NH}_4$  is vrijgekomen uit het MAP. De temperaturen van de experimenten zijn daarbij in figuur 8 aangegeven.





**Figuur 8**  
 NH<sub>4</sub>-N-verwijdering uit MAP-slib (pilot-plant onderzoek)

Uit de resultaten van het laboratoriumonderzoek en het pilot-plant onderzoek kan worden geconcludeerd dat voor een volledige NH<sub>4</sub>-N-verwijdering uit het MAP de volgende randvoorwaarden gelden:

$T > 80-85^{\circ}\text{C}$   
 $\text{pH} > 12,75$

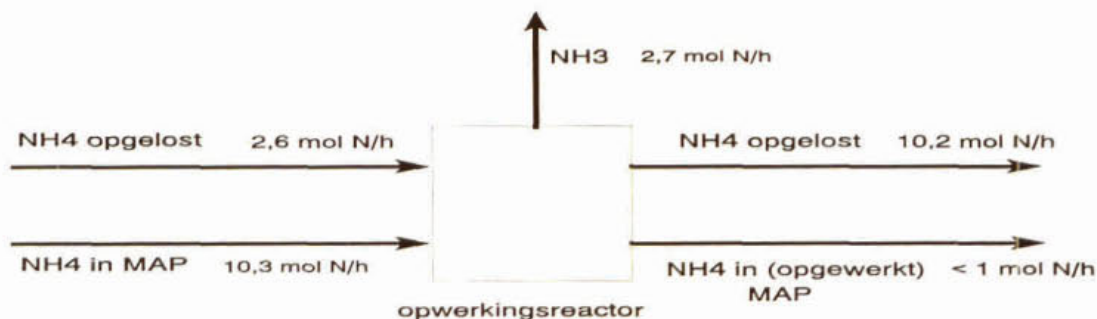
### 5.2.5 CAFR-proces

Het onderzoek naar het CAFR-proces is uitgevoerd op pilot-plant schaal en op laboratorium-schaal. Het onderzoek heeft zich toegespitst op de mogelijkheden van hergebruik van het opgewerkte MAP-slib.

Het bleek niet goed mogelijk om in de opwerkingsreactor van de pilot-plant het uit het MAP-slib vrijgemaakte NH<sub>3</sub> met voldoende rendement te strippen.

Om het striprendement af te schatten is een NH<sub>4</sub>-balans over de opwerkingsreactor opgesteld. Hierbij is voor de in- en uitgaande stromen van de reactor een onderscheid gemaakt in de vorm waarin het NH<sub>4</sub> aanwezig is (gebonden in MAP of vrij in oplossing). De hoeveelheid door strippen verwijderd NH<sub>3</sub> is op basis van een kloppende balans berekend. De balans is weergegeven in figuur 9.

## N-balans over de opwerkingsreactor

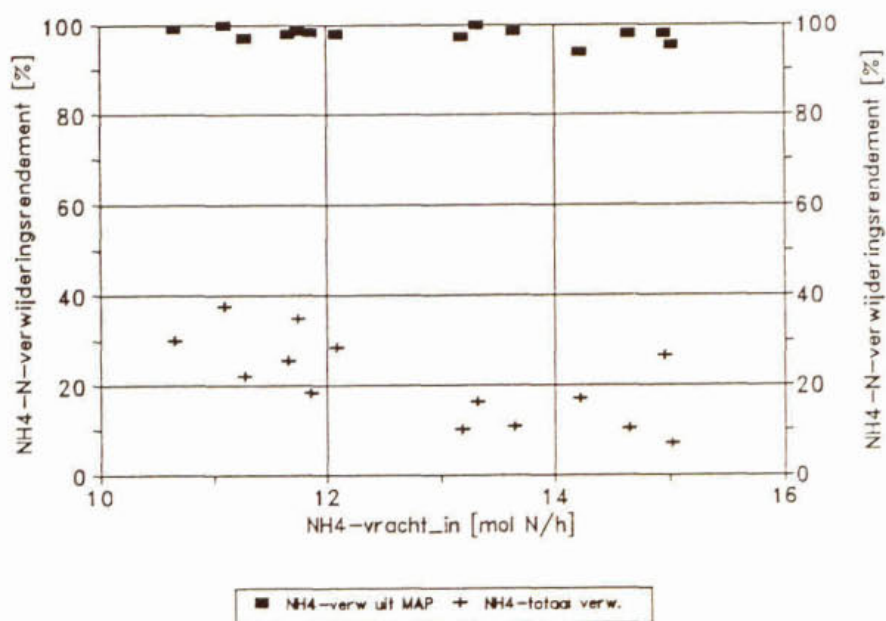


Figuur 9

NH<sub>4</sub>-balans over de opwerkingsreactor (gemiddeld, berekend met waarden waarbij de N-verwijdering uit het MAP > 90 % bedraagt)

Uit figuur 9 blijkt dat het NH<sub>4</sub> weliswaar volledig is vrijgekomen uit het MAP, maar dat door het onvolledige striprendement een groot deel van het NH<sub>4</sub>-N in opgeloste vorm weer naar de kristallisatiereactor wordt gerecirculeerd.

In figuur 10 zijn de resultaten van de metingen aan de opwerkingsreactor tijdens het CAFR-proces samengevat.



Figuur 10

NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement in de opwerkingsreactor

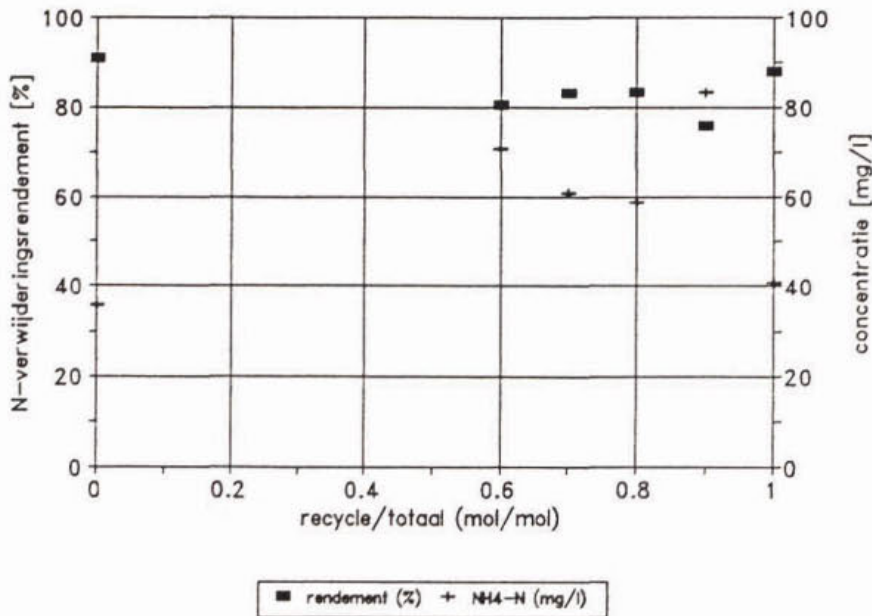
De netto verwijdering door strippen heeft gemiddeld slechts 20% bedragen (bandbreedte 5-35%). Door achter de opwerkingsreactor een tank met een plaatbeluchter te installeren, is getracht het striprendement te verhogen. Het rendement is na het installeren van de extra striptank niet significant toegenomen, waarschijnlijk omdat het niet mogelijk was het totale luchtdebiet naar de opwerkingsreactor en de striptank te verhogen. Hieruit kan worden



geconcludeerd, dat de opwerkingsreactor onvoldoende functioneert voor een verantwoord onderzoek aan het CAFR-proces.

Het onderzoek op laboratoriumschaal heeft zich toegespitst op het vaststellen van de activiteit van het opgewerkte magnesiumfosfaat.

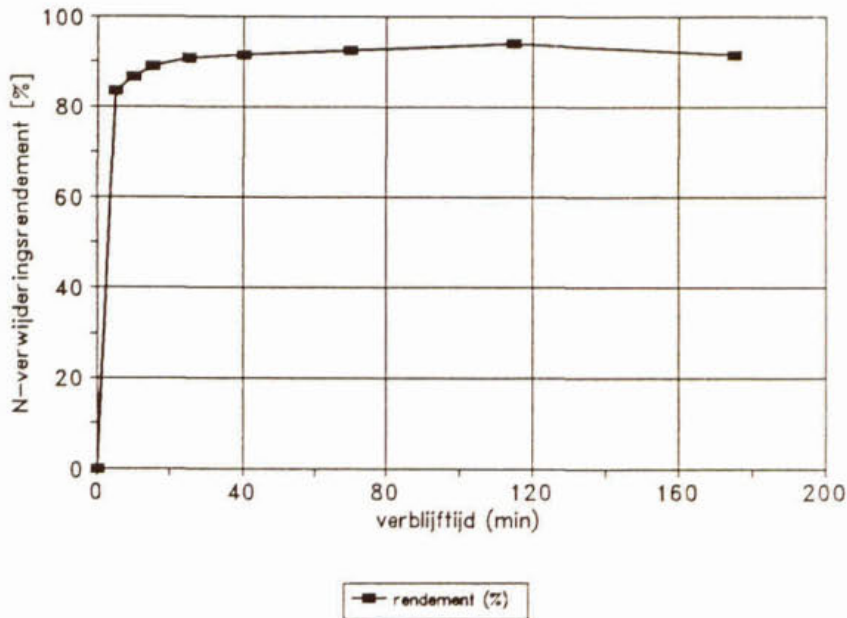
In figuur 11 is het  $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement uitgezet tegen de verhouding  $\text{MgHPO}_4$  (uit opgewerkt MAP)/ $\text{MgHPO}_4$  (totaal). Hierbij moet worden opgemerkt dat deze proeven zijn uitgevoerd bij een relatief hoge verhouding N:Mg.



Figuur 11  
 $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement als functie van de verhouding  $\text{MgHPO}_4$  (uit opwerking)/ $\text{MgHPO}_4$  (totaal)

Op basis van figuur 11 wordt geconcludeerd, dat het opgewerkte  $\text{MgHPO}_4$  goed herbruikbaar is voor MAP-vorming.

In figuur 12 is het  $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement weergegeven als functie van de verblijftijd in het kristallisatievat.



**Figuur 12**  
**NH<sub>4</sub>-N-verwijderingsrendement als functie van de verblijftijd bij gebruik van opgewerkt MAP**

Uit figuur 12 blijkt, dat na ongeveer 20 minuten het rendement nauwelijks meer toeneemt.

### 5.2.6 Algemene toepasbaarheid van het systeem

Het MAP-proces is eveneens uitgevoerd met verhoogde N-concentraties. Hiertoe is ammoniumchloride aan het centrifugaat toegevoegd. Het experiment is uitgevoerd bij een molaire N:P:Mg-verhouding van 1:1:1,1 en pH = 9. Het debiet tijdens deze proeven heeft 1 m<sup>3</sup>/h bedragen. De concentratie is opgevoerd tot 1.000 en 1.800 mg N/l. De resultaten zijn samengevat in tabel 6.

**Tabel 6**  
**Resultaten van het deelonderzoek naar verhoogde N-concentraties in het MAP-proces**

NH <sub>4</sub> -N influent (mg N/l)	PO <sub>4</sub> -P influent (mg P/l)	N	P	Mg	NH <sub>4</sub> -N effluent (mg N/l)	PO <sub>4</sub> -P effluent (mg P/l)	η (%)
380	3,3	1	1,04	1,13	52,5	16,5	86,2
972	11,1	1	1,01	1,10	130	7,6	86,6
1.043	8,6	1	0,97	1,05	116	4,8	88,9
1.803	7,3	1	1,00	1,10	148	2,4	91,8
1.860	3,8	1	0,99	1,08	254	3,8	86,4

Uit de de resultaten blijkt dat de N-concentratie niet of nauwelijks invloed heeft op het verwijderingsrendement. Zowel bij 380, 1.000 als 1.800 mg N/l lag het rendement tussen 86 en 92%.



### 5.2.7 Voorbehandeling van het centrifugaat

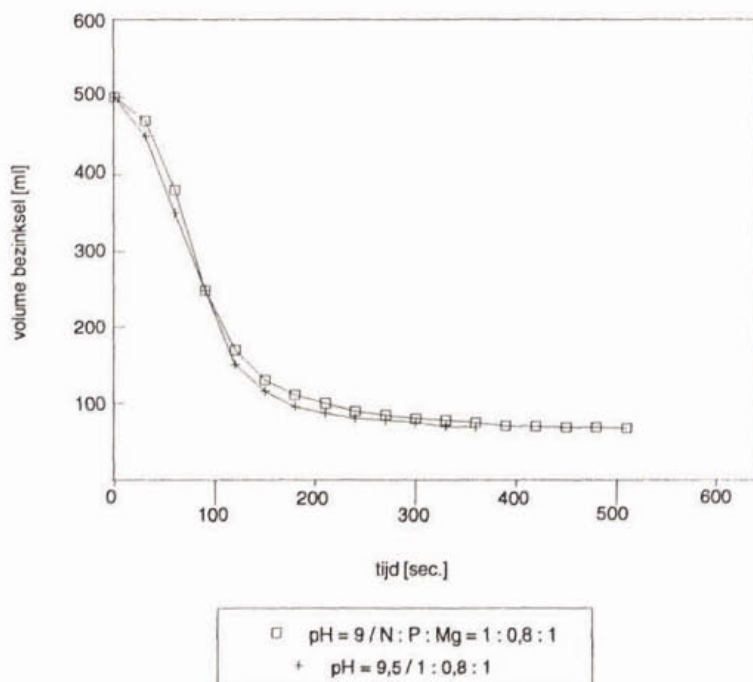
In het centrifugaat komt nog een hoeveelheid zwevendstof voor, die niet door bezinking is af te scheiden. In het reactievat van het MAP-proces vindt door het toevoegen van natronloog wel flocculatie plaats. Daarnaast wordt er MAP gevormd.

Het gevormde MAP-slib bevat op deze manier een relatief hoog gehalte aan verontreinigingen. Dit is ondervangen door reeds kort na het begin van het onderzoek in de toelooop van de voorbezinktank van de MAP-installatie een provisorische flocculatiekamer te creëren.

In deze flocculatiekamer wordt een gedeelte van de natronloog gedoseerd tot een pH-waarde van ongeveer 9. Bij deze pH vlokt een groot gedeelte van de zwevende stoffen uit, waarna deze in de bezinktank worden afgescheiden.

### 5.2.8 Bezinknelheid van het MAP

Om een indruk te krijgen van de bezinkeigenschappen van het MAP is enige malen een monster uit het reactievat genomen. In een maatcilinder is de bezinknelheid gemeten. De resultaten van een meting zijn weergegeven in figuur 13.



**Figuur 13**  
**Bezinkcurve MAP**

Het MAP-slib heeft zeer goede bezinkingseigenschappen. Dit is conform de resultaten van eerder uitgevoerde onderzoek [7].

## 6 EVALUATIE

### 6.1 N-verwijdering

#### 6.1.1 MAP-proces

Op basis van de resultaten kan worden gesteld dat een vergaande  $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering kan worden verkregen door precipitatie als magnesiumammoniumfosfaat. Het bereikbare rendement is afhankelijk van de pH en de molaire N:P:Mg-verhouding.

Een rendement van 90% is in de praktijk haalbaar bij een pH van 9,5 en een molaire verhouding van N:P van 1:1 en van N:Mg van 1:1 tot 1:1,2.

Wanneer deze resultaten worden vergeleken met gegevens uit de literatuur [7] kan het volgende worden gesteld:

- de pH-waarde van 9,5 is de bovengrens van het optimale pH-gebied (8,5 - 9,5) uit de literatuur;
- de molaire verhouding valt binnen het bereik, dat in de literatuur als optimaal wordt aangeduid;
- de  $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentratie in het behandelde water in het onderhavige onderzoek ( $\approx 40$  mg/l) is hoger dan de in de literatuur vermelde waarde ( $\approx 20$  mg/l).

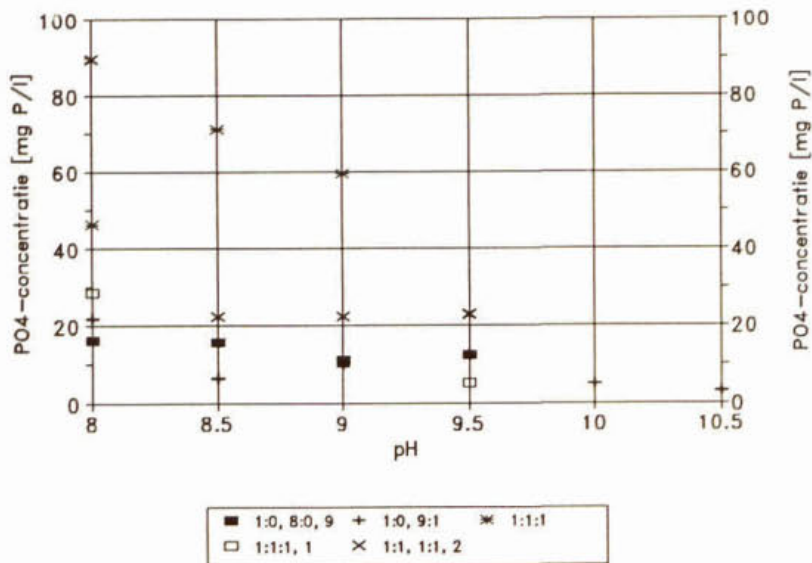
#### 6.1.2 CAFR-proces

Op basis van het pilot-plant onderzoek kan vanwege de onvoldoende werking van de opwerkingsreactor geen uitspraak worden gedaan. Op basis van het laboratoriumonderzoek kan worden gesteld, dat het goed mogelijk is om  $\text{NH}_4$  uit het MAP vrij te maken en te strippen. Het opgewerkte  $\text{MgHPO}_4$  is goed bruikbaar voor nieuwe MAP-vorming. De optimale verhouding opgewerkt  $\text{MgHPO}_4$ : totaal  $\text{MgHPO}_4$  zal afhankelijk zijn van de maximaal toelaatbare concentratie aan verontreinigingen, die zich bij het recycle-proces in het MAP-slib zullen ophopen. Hierbij speelt met name de voor het kristallisatieproces maximaal toelaatbare calciumconcentratie een belangrijke rol.

### 6.2 Verwijdering van overige componenten

Van de overige componenten is met name de fosfaatverwijdering van belang, omdat deze component ook aan het proces wordt gedoseerd. In figuur 14 is het fosfaatgehalte in het effluent van de MAP-reactor weergegeven bij verschillende pH's en molaire verhoudingen.

Uit de resultaten blijkt dat de fosfaatconcentratie in het effluent bij stijgende pH daalt en dat de laagste fosfaatconcentraties, conform de verwachting, worden bereikt bij een onderdosering van fosfaat. Bij een molaire verhouding N:P van 1:1 wordt bij pH 9,5 een fosfaatconcentratie in het effluent van de MAP-reactor bereikt van ongeveer 20 mg/l. Dit is ongeveer gelijk aan de fosfaatconcentratie van het influent.



Figuur 14 Fosfaatgehalte in het effluent van de MAP-reactor als functie van de molaire verhouding N:P:Mg

### 6.3 Procesconditie

#### 6.3.1 pH en molaire verhouding

Op basis van de resultaten van het onderzoek moeten voor een  $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijderingsrendement van  $\geq 90\%$  de volgende procescondities worden gekozen:

pH = 9,5  
N:P:Mg = 1:1:1

Overdosering van Mg is uit oogpunt van  $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering niet noodzakelijk en is uit kostenooopunt niet aantrekkelijk.

#### 6.3.2 Kristalconcentratie

Volgens de theorie is de snelheid van MAP-vorming afhankelijk van twee processen:

- nucleatie (vorming van nieuwe kristallen);
- aangroei van kristallen.

De aangroei wordt ondermeer bepaald door het aangeboden kristaloppervlak. Op basis van de resultaten van het onderzoek kan worden gesteld dat vergroting van het oppervlak door verhoging van de kristalconcentratie niet noodzakelijk is om de  $\text{NH}_4\text{-N}$ -verwijdering te verbeteren.

#### 6.3.3 Verblijftijd

Om de maximale hydraulische belasting vast te stellen en daarmee tevens de minimale verblijftijd in de kristallisatiereactor is het MAP-proces is bedreven bij verschillende debieten.



De pH in de MAP-reactor bedroeg 9,0 en de molaire N:P:Mg-verhouding 1:0,9:1. In tabel 7 zijn de resultaten van het onderzoek samengevat.

**Tabel 7**  
Resultaten van het onderzoek naar de maximale hydraulische belasting

HVT (min)	Q (m <sup>3</sup> /h)	NH <sub>4</sub> -N infl. (mg/l)	PO <sub>4</sub> -P infl. (mg/l)	molaire verhouding			NH <sub>4</sub> -N effl. (mg/l)	PO <sub>4</sub> -P effl. (mg/l)	η (%)
				N mol	P mol	Mg mol			
24	1,0	273	-	1	0,9	1,0	59	9,7	79
16	1,5	503	10,4	1	0,9	1,0	115	9,4	77
10,5	2,3	555	13,2	1	0,9	1,0	108	14,6	81
10	2,4	475	7,1	1	0,9	1,0	113	7,6	76

Het debiet werd uiteindelijk beperkt door de afvoercapaciteit van de effluentleiding (2,4 m<sup>3</sup>/h). Uit tabel 7 blijkt dat het rendement van het MAP-proces bij verhoogde debieten overeenkomt met het rendement bij 1 m<sup>3</sup>/h, zodat kan worden gesteld dat de grenzen van de verblijftijd in de reactor of van de belasting van de bezinktank nog niet waren bereikt.

## 6.4 Chemicaliënverbruik

### 6.4.1 MAP-proces

In het MAP-proces worden als chemicaliën gebruikt:

- magnesiumoxyde of magnesiumchloride;
- fosforzuur;
- natronloog.

Het is mogelijk om uit te gaan van de afzonderlijke chemicaliën magnesiumoxyde of magnesiumchloride en fosforzuur. Nadelen hiervan zijn de noodzakelijke opslagvoorzieningen en handling, terwijl voor een goede beschikbaarheid van het magnesium het oplossen van het magnesiumoxyde of het magnesiumchloride in fosforzuur noodzakelijk is. Dit vraagt een extra tank met de nodige regelvoorzieningen.

Het is in de praktijk ook mogelijk om uit te gaan van op de markt verkrijgbare chemicaliënoplossingen, waarin de benodigde ionen magnesium en fosfaat in de gewenste verhouding aanwezig zijn.

Door de firma Nalco worden de volgende oplossingen op de markt gebracht:

- Magphos 20: molaire verhouding P : Mg = 1:0,33
- Magphos 30: molaire verhouding P : Mg = 1:1,03

Het is mogelijk om de molaire verhoudingen in de te leveren oplossing naar wens van de klant bij te stellen.

Het verbruik aan Magphos is afhankelijk van de NH<sub>4</sub>-vracht naar de installatie en de gewenste molaire verhouding N:P:Mg. Nadeel van het gebruik van Magphos zijn de hogere exploitatiekosten.

Het natronloogverbruik voor het instellen van de gewenste pH (9,5) is afhankelijk van de buffercapaciteit van het centrifugaat en de dosering van het (zure) Magphos. Voor het centrifugaat van de rwzi Utrecht was het verbruik gemiddeld 5 - 10 ml/l van 20% Na(OH).

#### 6.4.2 *CAFR-proces*

In het CAFR-proces is in vergelijking met het MAP-proces het verbruik van "verse" magnesium- en fosfaathoudende chemicaliën lager. Het feitelijk verbruik is afhankelijk van de gekozen verhouding tussen de spui van MAP en de totale produktie aan MAP.

Het loogverbruik is bij het CAFR-proces hoger, omdat voor de opwerking van het MAP de pH-waarde moet worden verhoogd.

### 6.5 **Energieverbruik**

#### 6.5.1 *MAP-proces*

Het energieverbruik van het MAP-proces is beperkt door het geringe opgestelde vermogen, dat nodig is voor:

- toevoer pompen;
- menger reactor.

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

#### 6.5.2 *CAFR-proces*

Het energieverbruik van het CAFR-proces wordt grotendeels bepaald door de opwerkingsreactor. Het feitelijk energieverbruik zal afhangen van de specifieke uitvoeringsvorm van de opwerkingsreactor.

Er zijn geen specifieke metingen uitgevoerd naar het energieverbruik van de opwerkingsreactor van de proefinstallatie. Desondanks moet worden gesteld, dat het een belangrijke factor is.

### 6.6 **Produktie van reststoffen**

#### 6.6.1 *Voorbehandeling*

In de flocculatie/precipitatietank van de proefinstallatie vindt een verwijdering van zwevende stof plaats. In de praktijk zal de voorbehandeling anders worden uitgevoerd dan in de proefinstallatie. De voorbehandeling zal dan bestaan uit een separate flocculatietank met lamellenseparator, conform de behandeling van het stripproces [6]. Dit houdt in, dat een minimaal verwijderingsrendement van zwevendstof van 75% zal worden bereikt.

#### 6.6.2 *MAP-proces*

Tijdens het MAP-proces wordt magnesiumfosfaathoudend slib geproduceerd. In tabel 6 is een overzicht gegeven van de voornaamste analyses van het MAP-slib uit de proefinstallatie bij een molaire verhouding N:P:Mg van 1:1:1. Tevens is hierin de theoretische samenstelling van zuiver magnesiumammoniumfosfaat weergegeven.



**Tabel 8**

Samenstelling van MAP-slib uit dit onderzoek en van zuiver magnesiumammoniumfosfaat

Parameter	Eenheid	MAP-slib	MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O
NH <sub>4</sub>	g/kg	67,0	73,6
PO <sub>4</sub>	g/kg	394	389
Mg	g/kg	95	96

Op basis van deze gegevens kan worden geconcludeerd dat het geproduceerde MAP-slib een zuiverheid heeft van 91 %, gebaseerd op de verhouding van de N in het geproduceerde slib ten opzichte van zuiver magnesiumammoniumfosfaat.

Theoretisch wordt per kg verwijderde NH<sub>4</sub>-N 17,4 kg NH<sub>4</sub>MgPO<sub>4</sub>·6 H<sub>2</sub>O gevormd. Gezien de zuiverheid van het geproduceerde MAP-slib zal per kg verwijderde NH<sub>4</sub>-N op de rwzi Utrecht 19,1 kg MAP-slib worden gevormd. Het gevormde MAP-slib heeft goede ontwateringseigenschappen. In de ontwateringscontainer is een drogestofgehalte van ongeveer 30% d.s. bereikt bij een verblijftijd van 1 dag.

### 6.6.3 CAFR-proces

In het CAFR-proces wordt ook MAP-slib geproduceerd. De hoeveelheid is afhankelijk van de gekozen verhouding van de spui van MAP-slib ten opzichte van de totale MAP-productie. Over de zuiverheid van het MAP-slib bij het CAFR-proces zijn op grond van het onderzoek geen uitspraken te doen.

Bij de opwerking van het MAP-slib wordt ammoniak gestript. Het ammoniak kan hierbij analoog aan het stoomstripproces als een oplossing van 20-25 gewichts % worden verkregen.

## 6.7 Bedrijfsvoeringsaspecten

### 6.7.1 Algemeen

Bij het ontwerp van het MAP/CAFR-proces is het van belang aandacht te schenken aan scaling. In de proefinstallatie heeft scaling met name plaatsgevonden op de reactorwand, de roerder en in stilstaande leidingen van met name het opwerkingsdeel in het CAFR-proces. Deze scaling bestaat voornamelijk uit een mengvorm van MAP en MgHPO<sub>4</sub>.

In de praktijk zal het wellicht noodzakelijk zijn om de installatie regelmatig met zuur te spoelen.

### 6.7.2 Voorbehandeling

De voorgestelde voorbehandeling voor het MAP/CAFR-proces bestaat uit de volgende onderdelen:

- pompput;
- buffertank;
- flocculatie/lamellenseparator.

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



## 6.8 Knelpunten

### MAP-proces

Bij het MAP-proces wordt scaling als knelpunt gezien.

### CAFR-proces

Bij het CAFR-proces is het belangrijkste knelpunt de opwerking van het MAP-slib. Op basis van het onderzoek is het niet goed mogelijk om dit procesgedeelte te ontwerpen. Vooral nog zal voor de dimensionering en de kostenberekening worden uitgegaan van een stroomstripinstallatie.

Wanneer het CAFR-proces als economisch aantrekkelijk uit de evaluatie van de onderzochte technieken naar voren komt, zal het noodzakelijk zijn om op semi-technische schaal de opwerking nader te onderzoeken.

## 6.9 Dimensioneringsgrondslagen

### 6.9.1 MAP-proces

De dimensionering van de kristallisatiereactor is gebaseerd op de minimale verblijftijd, die nodig is om de kristallisatiereactie volledig te laten verlopen.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek, zowel op semi-technische als op laboratoriumschaal, wordt uitgegaan van de volgende dimensioneringsgrondslag.

$$\tau \geq 20 \text{ minuten}$$

De dimensionering van de bezinktank is gebaseerd op de maximale toelaatbare drogestofbelasting. Op semi-technische schaal is de bezinktank met maximaal 14 kg d.s./( $\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) belast zonder dat dit aanleiding gaf tot verslechtering van de effluentkwaliteit.

Om enige reserve in te bouwen wordt voor de bezinktank uitgegaan van de volgende dimensioneringsgrondslag.

$$\text{drogestofbelasting} \leq 10 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

### 6.9.2 CAFR-installatie

Voor de CAFR-installatie worden de kristallisatiereactor en de bezinktank op dezelfde wijze gedimensioneerd als bij het MAP-proces.

Voor de dimensionering van het opwerkingsdeel wordt in het kader van de kostenvergelijking uitgegaan van een stroomstripinstallatie en wel om de volgende redenen:

- voor het vrijmaken van ammoniak uit MAP is een temperatuur van  $\geq 80^\circ\text{C}$  noodzakelijk;
- uit economische overwegingen heeft de produktie van ammoniakhoudend water de voorkeur boven de produktie van een ammoniumzout;
- er bestaan referenties van het stroomstrippen van ammoniak uit slurries, bijvoorbeeld uit ammoniakhoudende gipsstromen.

Bij de dimensionering van de stoomstripinstallatie is de verhouding spui van MAP-slib ten opzichte van de totaal-productie van MAP van belang.

De hydraulische capaciteit van de stoomstripinstallatie is daarnaast afhankelijk van de drogestofconcentratie in de te behandelen slurry. In de proefinstallatie is een waarde van 50 g/l haalbaar gebleken.

Voor het ontwerp van de opwerking wordt veiligheidshalve uitgegaan van een drogestofgehalte van 40 g/l. Het rendement van vrijmaken van  $\text{NH}_4$  tijdens de opwerking wordt op 95% gesteld. Hiermee wordt de  $\text{NH}_3$ -concentratie in de toevoer naar de stoomstripper op ongeveer 2500 mg/l berekend. Voor het ontwerp van de stoomstripper is uitgegaan van een  $\text{NH}_4$ -N-verwijderingsrendement van  $\geq 90\%$ . De stoomstripper is voorzien van een concentreringsgedeelte, waarmee het mogelijk is om ammoniakhoudend water van 20-25 gewichts-% te produceren.

#### **6.10 Algemene toepasbaarheid van het systeem**

Het  $\text{NH}_4$ -N-verwijderingsrendement is onafhankelijk van de ingaande  $\text{NH}_4$ -N-concentratie (zie tabel 4).

De  $\text{NH}_4$ -N-concentratie heeft wel invloed op het chemicaliënverbruik en op de MAP-kristalconcentratie. Het ontwerp van de bezinktank en van het opwerkingsdeel is afhankelijk van de MAP-productie en dus afhankelijk van de  $\text{NH}_4$ -N-concentratie.

## 7 KOSTEN

### 7.1 Inleiding

In het kader van de eindrapportage van het project "Behandeling N-rijke stromen" [8] zijn 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;
- MAP-proces met randapparatuur; er is uitgegaan van gebruik van de afzonderlijke chemicaliën magnesiumoxyde en fosforzuur;
- opwerkingsdeel MAP-slib (bij CAFR-proces). Bij ontwerp van het CAFR-proces is uitgegaan van een verhouding spui MAP-slib: productie totaal MAP-slib van 0,3:1. Voor de opwerking is uitgegaan van een stoomstripper;
- ontwatering MAP-slib. Voor de ontwatering van het MAP-slib is bij het MAP-proces bij alle capaciteiten uitgegaan van mechanische ontwatering. Bij het CAFR-proces is bij een capaciteit van 100.000 i.e. uitgegaan van ontwateringscontainers en bij de overige capaciteiten van mechanische slibontwatering.

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;
- chemicaliënkosten (excl. BTW):
  - . loog (33 % NaOH)  $f$  270,-/ton;
  - . magnesiumoxyde (96 %):  $f$  450,-/ton;
  - . fosforzuur (75 %):  $f$  500,-/ton;
- personeelskosten  $f$  80.000,-/manjaar;
- opbrengst van de geproduceerde chemicaliën (inclusief transportkosten):
  - . MAP-slib (30 % d.s.):  $f$  17,-/ton;
  - . ammoniakaal water (25 gew. %):  $f$  75,-/ton.;
- molaire verhouding ammoniumstikstof/bicarbonaat: 1.



## 7.2 Standaard-rwzi van 100.000 i.e.

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

- 95 kg/d N-totaal;
- 90 kg/d NH<sub>4</sub>-N;
- 1 kg/m<sup>3</sup> zwevend stof.

De installatie is gedimensioneerd voor drie verschillende debieten om de invloed van de NH<sub>4</sub>-N-ingangconcentratie in het bereik van 450-1800 mg/l zichtbaar te maken.

De verschillende debieten zijn:

- 50 m<sup>3</sup>/d;
- 100 m<sup>3</sup>/d;
- 200 m<sup>3</sup>/d.

Een specificatie van de installatie is opgenomen in bijlage 1. In bijlage 3 is een raming van de stichtings- en exploitatiekosten opgenomen.

Een overzicht van de kosten van de installaties, die onderling verschillen in ingaande stikstofconcentraties is voor het MAP-proces weergegeven in tabel 9 en voor het CAFR-proces in tabel 10.

**Tabel 9**

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

	NH <sub>4</sub> -N-ingangconcentratie (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	4.050.000	4.000.000	4.000.000
Exploitatiekosten	870.000	860.000	860.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	29,40	29,10	29,10

**Tabel 10**

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

	NH <sub>4</sub> -N-ingangconcentratie (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	4.740.000	4.690.000	4.690.000
Exploitatielasten	970.000	960.000	960.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	32,80	32,50	32,50

## 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 NH<sub>4</sub>-N;
- 1 kg/m<sup>3</sup> zwevend stof.

De installatie is gedimensioneerd voor drie verschillende debieten.

Een specificatie van de installatie is opgenomen in bijlage 6. 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 stikstofconcentratie is voor het MAP-proces weergegeven tabel 11 en voor het CAFR-proces in tabel 12.

**Tabel 11**

Overzicht stichtings- en exploitatiekosten (in gulden) van het MAP-proces voor een standaard-rwzi van 400.000 i.e.

	NH <sub>4</sub> -N-ingangconcentratie (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	5.020.000	4.820.000	4.370.000
Exploitatiekosten	1.710.000	1.670.000	1.610.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	14,50	14,10	13,50

**Tabel 12**

Overzicht stichtings- en exploitatiekosten (in gulden) van het CAFR-proces voor een standaard-rwzi van 400.000 i.e.

	NH <sub>4</sub> -N-ingangconcentratie (mg/l)		
	450	900	1800
Stichtingskosten	6.540.000	6.340.000	5.880.000
Exploitatiekosten	1.920.000	1.880.000	1.820.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	16,20	15,90	15,40

#### 7.4 Rwzi Utrecht

De te behandelen stroom is als volgt samengesteld:

- 480 kg/d N-totaal;
- 455 kg/d NH<sub>4</sub>-N;
- 605 kg/d zwevend stof.

Het debiet bedraagt 960 m<sup>3</sup>/d en de temperatuur is 20°C.

Een specificatie van de installatie is opgenomen in bijlage 6. In bijlage 5 is een raming van de stichtings- en exploitatiekosten opgenomen, die eveneens in tabel 13 voor het MAP-proces en het CAFR-proces zijn weergegeven.

**Tabel 13****Overzicht stichtings- en exploitatiekosten (in guldens) van het MAP-proces en het CAFR-proces van de rwzi Utrecht**

Kosten	MAP-proces	CAFR-proces
Stichtingskosten	5.100.000	6.680.000
Exploitatiekosten	1.970.000	2.180.000
Kosten per kg N(Kj) verwijderd	13,20	14,60



- Het MAP-proces kan op praktijkschaal worden toegepast voor de behandeling van stikstofrijk water uit de slibverwerking van rwzi's.
- Over de toepasbaarheid van het CAFR-proces op praktijkschaal kan zonder aanvullend onderzoek (op semi-technische schaal) naar de opwerking van MAP-slib geen uitspraak worden gedaan.
- Als voorbehandeling van het water is verwijdering van bezinkbare stoffen, zwevendstof en drijfslaag noodzakelijk om verontreiniging van het MAP-slib te voorkomen.
- De resultaten van het onderzoek kunnen voor het MAP-proces goed worden gebruikt voor het opschalen tot praktijkinstallaties. Voor het CAFR-proces kan het opwerkingsdeel niet worden gedimensioneerd.
- Voor het MAP-proces zijn de maatgevende randvoorwaarden voor de dimensionering:
  - . N:P:Mg = 1:1:1;
  - . pH = 9,5;
  - . verblijftijd kristallisatiereactor: 20 minuten;
  - . belasting bezinktank: 10 kg d.s./m<sup>2</sup>.h.
- Met het MAP-proces kan een vergaande ( $\geq 90\%$ ) ammoniumverwijdering worden gerealiseerd.
- Een overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten, alsmede de kosten per kg N-verwijderd is in onderstaande tabel gegeven voor een installatie met het MAP-proces en eveneens voor een installatie met het CAFR-proces. Bij het CAFR-proces is voor de kostenraming uitgegaan van opwerking van het MAP-slib met een stoomstripper.

Tabel 14

Kostenoverzicht (in guldens) van het MAP/CAFR-proces voor de onderscheiden rwzi's

capaciteit (i.e.)	N-conc. (mg/l)	MAP/CAFR	stichtings- kosten	exploitatie- kosten	kosten per kg N(K <sub>j</sub> ) <sub>verw</sub>
100.000	1800	MAP	4.000.000	860.000	29,10
100.000	900	MAP	4.000.000	860.000	29,10
100.000	450	MAP	4.050.000	870.000	29,40
400.000	1800	MAP	4.370.000	1.610.000	13,50
400.000	900	MAP	4.820.000	1.670.000	14,10
400.000	450	MAP	5.020.000	1.710.000	14,50
Utrecht	475	MAP	5.100.000	1.970.000	13,20
100.000	1800	CAFR	4.690.000	960.000	32,50
100.000	900	CAFR	4.690.000	960.000	32,50
100.000	450	CAFR	4.740.000	970.000	32,80
400.000	1800	CAFR	5.880.000	1.820.000	15,40
400.000	900	CAFR	6.340.000	1.880.000	15,40
400.000	450	CAFR	6.540.000	1.920.000	16,20
Utrecht	475	CAFR	6.680.000	2.180.000	14,60

## REFERENTIELIJST

- [1] RIZA/STOWA  
De invloed van interne stromen op de stikstofhuishouding bij rwzi's.  
Werkdocument RWZI 2000 91-05W
- [2] RIZA/STOWA  
Stikstofverwijdering uit interne stromen op rwzi's.  
Rapport RWZI 2000 92-09
- [3] STOWA  
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.  
Praktijkonderzoek aan de membraan-bioreactor op de slibverwerkingsinstallatie Sluisjes-  
dijk.  
Rapport 95-09
- [4] STOWA  
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.  
Praktijkonderzoek aan 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 lucht- en stoomstripinstallaties bij de rwzi Utrecht.  
Rapport 95-12
- [7] Seyfried, C.F., Scheer, H & Rauls, H.  
Anwendungsbereich und -grenzen der Magnesium-Ammonium-Phosphatfällung in der  
Abwasserreinigung.  
Abwassertechnik, 5, 1993, 35-40.
- [8] STOWA  
Behandeling van stikstofrijke stromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.  
Evaluatie van Nederlandse praktijkonderzoeken.  
Rapport 95-08

## **BIJLAGE 1**

### **Resultaten van het MAP-proces op semi-technische schaal**



## Overzicht MAP-proeven op semi-technische schaal

pH	N:P:Mg Verhouding	2	2
		N rendement %	P rendement %
8	1 : 0,9 : 1	72,3	
8,5	1 : 0,9 : 1	74,2	
9	1 : 0,9 : 1	78,5	
9,5	1 : 0,9 : 1	79,9	
10	1 : 0,9 : 1	80,3	
10,5	1 : 0,9 : 1	69,9	
		+P	
8	1 : 1 : 1	86,2	
8,5	1 : 1 : 1	89,4	
9	1 : 1 : 1	89,2	
9,5	1 : 1 : 1	93,8	
8	1 : 1 : 1,1	81,5	94,8
8,5	1 : 1 : 1,1	85,3	96,6
9	1 : 1 : 1,1	85,6	97,0
9,5	1 : 1 : 1,1	86,6	98,6
8	1 : 1,1 : 1,2	87,1	
8,5	1 : 1,1 : 1,2	89,6	
9	1 : 1,1 : 1,2	92,3	
9,5	1 : 1,1 : 1,2	96,3	
		+MgO	
8	1 : 0,8 : 0,9	69,7	
8,5	1 : 0,8 : 0,9	74,4	
9	1 : 0,8 : 0,9	83,9	
9,5	1 : 0,8 : 0,9	91,1	

## **BIJLAGE 2**

### **Resultaten van het MAP-proces op laboratoriumschaal**

## Overzicht MAP-proeven op laboratoriumschaal

pH	N:P:Mg Verhouding	1	2	1	2
		N rendement %	N rendement %	P rendement %	P rendement %
8	1 : 0,9 : 1		65,1		95,2
8,5	1 : 0,9 : 1	87,1	70,3	84,6	98,0
9	1 : 0,9 : 1	83,4	70,7	72,4	98,5
9,5	1 : 0,9 : 1	95	71,6	70,0	98,5
10	1 : 0,9 : 1				
10,5	1 : 0,9 : 1				
8	1 : 1 : 1		88,5		91,9
8,5	1 : 1 : 1	89,9	90,2	58,5	94,8
9	1 : 1 : 1	87,5	90,2	79,9	96,9
9,5	1 : 1 : 1	89,9	91,5	72,1	97,3
8	1 : 1,1 : 1		78,7		92,2
8,5	1 : 1,1 : 1	87,9	80,6	63,7	94,8
9	1 : 1,1 : 1	87,5	81,9	63,7	96,6
9,5	1 : 1,1 : 1	87,5	83,3	65,5	97,5
8	1 : 1,1 : 1,1		84,0		94,8
8,5	1 : 1,1 : 1,1	94,1	86,5	72,0	96,6
9	1 : 1,1 : 1,1	94,3	88,0	72,2	97,0
9,5	1 : 1,1 : 1,1	95,3	90,2	67,8	98,6
8	1 : 1 : 1,1		72,0		96,1
8,5	1 : 1 : 1,1	78,6	75,0	80,1	98,7
9	1 : 1 : 1,1	85,2	78,4	79,9	99,0
9,5	1 : 1 : 1,1	89,1	81,0	78,8	99,1
8	1 : 0,8 : 1,2		75,2		97,1
8,5	1 : 0,8 : 1,2	79,2	74,5	99,4	98,7
9	1 : 0,8 : 1,2	76,1	76,6	98,3	99,1
9,5	1 : 0,8 : 1,2	77,5	78,9	99,0	99,4
8	1 : 0,9 : 1,2		67,7		97,1
8,5	1 : 0,9 : 1,2	82,7	68,8	92,6	98,4
9	1 : 0,9 : 1,2	85,0	71,1	93,8	98,6
9,5	1 : 0,9 : 1,2	84,8	73,8	91,8	99,0
8	1 : 1 : 1,2		62,5		
8,5	1 : 1 : 1,2	86,1	65,0	81,8	
9	1 : 1 : 1,2	87,5	65,5	88,0	
9,5	1 : 1 : 1,2	87,7	65,5	82,5	
8	1 : 1,1 : 1,2		80,6		97,2
8,5	1 : 1,1 : 1,2	72,3	82,8	73,7	98,6
9	1 : 1,1 : 1,2	80,4	83,6	74,6	98,8
9,5	1 : 1,1 : 1,2	85,1	85,3	75,6	98,5

\* 1)

Magnesiumchloride

2)

Magphos en Magnesiumoxide



### **BIJLAGE 3**

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

## BIJLAGE 3 – MAP-PROCES 100.000 IE ; 2,1 M3/H

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		261,000
MAP–installatie		2,299,000
-----		
bouwkosten (incl. onvoll.)		2,560,000
bijkomende kosten	10 %	256,000
onvoorzien	10 %	281,600
-----		
investeringen		3,097,600
advieskosten	10 %	309,800
-----		
subtotaal (excl. BTW)		3,407,400
BTW	17.5 %	596,300
-----		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		4,003,700
AFGEROND		4,000,000

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	0 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	94,900 f/jaar	MAP–installatie	40 kWh/d
		diversen	10 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.14 f/kWh
totaal (incl. BTW)	261,100 f/jaar	jaarkosten	2,600 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	1.00
benodigd	77 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	62,900 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>magnesiumoxide</u>		levensduur civiel	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	95 ton/jaar	rentevoet	8.0 %
zuiverheid	96 %	annuïteit civiel	8.9 %
prijs per ton	450 f/ton	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	44,300 f/jaar	jaarkosten	450,100 f/jaar
<u>fosforzuur</u>		<u>TOTAAL</u>	
-----		bedrijfsvoeringskosten	409,068 f/jaar
benodigd	230 ton/jaar	kapitaalslasten	450,100 f/jaar
zuiverheid	96 %	-----	
prijs per ton	500 f/ton	exploitatiekosten	859,168 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	115,000 f/jaar	AFGEROND	860,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP–slib	29,565 f/jaar		

## BIJLAGE 3 – MAP–PROCES 100.000 IE ; 4,3 M3/H

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		268,000
MAP–installatie		2,287,000
<hr/>		
bouwkosten (incl. onvoll.)		2,555,000
bijkomende kosten	10 %	255,500
onvoorzien	10 %	281,100
<hr/>		
investeringen		3,091,600
advieskosten	10 %	309,200
<hr/>		
subtotaal (excl. BTW)		3,400,800
BTW	17.5 %	595,100
<hr/>		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		3,995,900
AFGEROND		<u>4,000,000</u>

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	0 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	94,800 f/jaar	stripperinstallatie	50 kWh/d
		diversen	10 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.14 f/kWh
totaal (incl. BTW)	263,200 f/jaar	jaarkosten	3,100 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
<hr/>		aantal mensen	1.00
benodigd	79 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	64,700 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
		levensduur mech./el.	15 jaar
<u>magnesiumoxide</u>		rentevoet	8.0 %
<hr/>		annuïteit civiel	8.9 %
benodigd	95 ton/jaar	annuïteit mech./el.	11.7 %
zuiverheid	96 %	jaarkosten	449,400 f/jaar
prijs per ton	450 f/ton	<u>TOTAAL</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	44,300 f/jaar	bedrijfsvoeringskosten	411,568 f/jaar
		kapitaalslasten	449,400 f/jaar
<u>fosforzuur</u>		<hr/>	
<hr/>		exploitatiekosten	860,968 f/jaar
benodigd	230 ton/jaar	AFGEROND	860,000 f/jaar
zuiverheid	96 %		
prijs per ton	500 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	115,000 f/jaar		
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP–slib	29,565 f/jaar		



## BIJLAGE 3 – MAP – PROCES 100.000 IE ; 8,3 M3/H

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		300,000
MAP – installatie		2,289,000
-----		
bouwkosten (incl. onvoll.)		2,589,000
bijkomende kosten	10 %	258,900
onvoorzien	10 %	284,800
-----		
investeringen		3,132,700
advieskosten	10 %	313,300
-----		
subtotaal (excl. BTW)		3,446,000
BTW	17.5 %	603,100
-----		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		4,049,100
AFGEROND		4,050,000

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	0 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	95,400 f/jaar	stripperinstallatie	60 kWh/d
		diversen	10 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.14 f/kWh
totaal (incl. BTW)	266,000 f/jaar	jaarkosten	3,600 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	1.00
benodigd	82 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	67,100 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>magnesiumoxide</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8.0 %
benodigd	95 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	450 f/ton	jaarkosten	454,600 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	44,300 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>fosforzuur</u>		bedrijfsvoeringskosten	415,468 f/jaar
-----		kapitaalslasten	454,600 f/jaar
benodigd	230 ton/jaar	-----	
zuiverheid	96 %	exploitatiekosten	870,068 f/jaar
prijs per ton	500 f/ton	AFGEROND	870,000 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	115,000 f/jaar		
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP – slib	29,565 f/jaar		

## BIJLAGE 3 – CAFR-PROCES 100.000 IE ; 2,1 M3/H

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		261,000
CAFR-installatie		2,740,000
-----		
bouwkosten (incl. onvoll.)		3,001,000
bijkomende kosten	10 %	300,100
onvoorzien	10 %	330,100
-----		
investeringen		3,631,200
advieskosten	10 %	363,100
-----		
subtotaal (excl. BTW)		3,994,300
BTW	17.5 %	699,000
-----		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		4,693,300
AFGEROND		4,690,000

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	2,952 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	113,700 f/jaar	MAP-installatie	40 kWh/d
		diversen	10 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	193,200 f/jaar	jaarkosten	56,600 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	1.00
benodigd	143 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	116,600 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>magnesiumoxyde</u>		levensduur civiel	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	28 ton/jaar	rentevoet	8.0 %
zuiverheid	96 %	annuïteit civiel	8.9 %
prijs per ton	450 f/ton	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	13,300 f/jaar	jaarkosten	530,700 f/jaar
<u>fosforzuur</u>		<u>TOTAAL</u>	
-----		bedrijfsvoeringskosten	427,110 f/jaar
benodigd	69 ton/jaar	kapitaalslasten	530,700 f/jaar
zuiverheid	75 %	-----	
prijs per ton	500 f/ton	exploitatiekosten	957,810 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	34,500 f/jaar	AFGEROND	960,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP-slib	8,870 f/jaar		
ammoniakiaal water	7,554 f/jaar		

## BIJLAGE 3 – CAFR – PROCES 100.000 IE ; 4,3 M3/H

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		268,000
CAFR–installatie		2,729,000
-----		
bouwkosten (incl. onvoll.)		2,997,000
bijkomende kosten	10 %	299,700
onvoorzien	10 %	329,700
-----		
investeringen		3,626,400
advieskosten	10 %	362,600
-----		
subtotaal (excl. BTW)		3,989,000
BTW	17.5 %	698,100
-----		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		4,687,100
AFGEROND		4,690,000

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	2,952 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	113,600 f/jaar	stripperinstallatie	50 kWh/d
		diversen	10 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	195,300 f/jaar	jaarkosten	57,200 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	1.00
benodigd	145 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	118,400 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>magnesiumoxyde</u>		levensduur civiel	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	28 ton/jaar	rentevoet	8.0 %
zuiverheid	96 %	annuïteit civiel	8.9 %
prijs per ton	450 f/ton	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	13,300 f/jaar	jaarkosten	530,100 f/jaar
<u>fosforzuur</u>		<u>TOTAAL</u>	
-----		bedrijfsvoeringskosten	429,710 f/jaar
benodigd	69 ton/jaar	kapitaalslasten	530,100 f/jaar
zuiverheid	75 %	-----	
prijs per ton	500 f/ton	exploitatiekosten	959,810 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	34,500 f/jaar	AFGEROND	960,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP–slib	8,870 f/jaar		
ammoniakaal water	7,554 f/jaar		



## BIJLAGE 3 – CAFR – PROCES 100.000 IE ; 8,3 M3/H

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		300,000
CAFR – installatie		2,730,000
-----		
bouwkosten (incl. onvoll.)		3,030,000
bijkomende kosten	10 %	303,000
onvoorzien	10 %	333,300
-----		
investeringen		3,666,300
advieskosten	10 %	366,600
-----		
subtotaal (excl. BTW)		4,032,900
BTW	17.5 %	705,800
-----		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		4,738,700
AFGEROND		4,740,000

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	2,952 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	114,200 f/jaar	stripperinstallatie	60 kWh/d
		diversen	10 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	198,100 f/jaar	jaarkosten	57,700 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	1.00
benodigd	148 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	120,800 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>magnesiumoxyde</u>		levensduur civiel	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	28 ton/jaar	rentevoet	8.0 %
zuiverheid	96 %	annuïteit civiel	8.9 %
prijs per ton	450 f/ton	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	13,300 f/jaar	jaarkosten	535,100 f/jaar
<u>fosforzuur</u>		<u>TOTAAL</u>	
-----		bedrijfsvoeringskosten	433,610 f/jaar
benodigd	69 ton/jaar	kapitaalslasten	535,100 f/jaar
zuiverheid	75 %	-----	
prijs per ton	500 f/ton	exploitatiekosten	968,710 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	34,500 f/jaar	AFGEROND	970,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP – slib	8,870 f/jaar		
ammoniakaal water	7,554 f/jaar		

## **BIJLAGE 4**

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

RAMING STICHTINGSKOSTEN	
voorbereiding	309,000
MAP - installatie	2,483,000
-----	
bouwkosten (incl. onvoll.)	2,792,000
bijkomende kosten	279,200
10 %	
onvoorzien	307,100
10 %	
investeringen	3,378,300
advieskosten	337,800
10 %	
subtotal (excl. BTW)	3,716,100
BTW	650,300
17.5 %	
total stichtingskosten (incl. BTW)	4,366,400
AFGEROND	4,370,000
-----	
BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN	
onderhoudskosten	0.5 %
percentage civiel	3.0 %
percentage mech./el.	103,800 t/jaar
jaarkosten	
kosten chemicalien	1,044,200 t/jaar
total (incl. BTW)	
natriumhydroxyde	
-----	
benodigd	307 ton/jaar
zilverheid	33 %
prijs per ton	270 t/ton
jaarkosten (excl. BTW)	251,500 t/jaar
magnesiumoxide	
-----	
benodigd	378 ton/jaar
zilverheid	96 %
prijs per ton	450 t/ton
jaarkosten (excl. BTW)	177,300 t/jaar
TOTAAL	
bedrijfsvoeringskosten	
kapitaalslasten	
levensduur civiel	30 jaar
levensduur mech./el.	15 jaar
rentvoet	8.0 %
annuïteit civiel	8.9 %
annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten	491,200 t/jaar
exploitatiekosten	1,114,673 t/jaar
kapitaalslasten	491,200 t/jaar
-----	
AFGEROND	1,605,873 t/jaar
exploitatiekosten	1,610,000 t/jaar
MAP - slijb	118,260 t/jaar
opbrengst resp. producten	

BILLAG 4 - MAP-PROCES 400,000 IE ; 8,3 M3/H



## BIJLAGE 4 – MAP – PROCES 400.000 IE ; 16,7 M3/H

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		440,000
MAP – installatie		2,644,000
-----		
bouwkosten (incl. onvoll.)		3,084,000
bijkomende kosten	10 %	308,400
onvoorzien	10 %	339,200
-----		
investeringen		3,731,600
advieskosten	10 %	373,200
-----		
subtotaal (excl. BTW)		4,104,800
BTW	17.5 %	718,300
-----		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		4,823,100
AFGEROND		4,820,000
-----		

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0,5 %	stoom	0 kg/d
percentage mech./el.	3,0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	113,000 f/jaar	stripperinstallatie	85 kWh/d
		diversen	15 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.14 f/kWh
totaal (incl. BTW)	1,052,700 f/jaar	jaarkosten	5,100 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	1.00
benodigd	316 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	258,700 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>magnesiumoxide</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
-----		rentevoet	8,0 %
benodigd	378 ton/jaar	annuïteit civiel	8,9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11,7 %
prijs per ton	450 f/ton	jaarkosten	540,700 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	177,300 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>fosforzuur</u>		bedrijfsvoeringskosten	1,132,573 f/jaar
-----		kapitaalslasten	540,700 f/jaar
benodigd	920 ton/jaar	-----	
zuiverheid	96 %	exploitatiekosten	1,673,273 f/jaar
prijs per ton	500 f/ton	AFGEROND	1,670,000 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	459,900 f/jaar		
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP – slib	118,260 f/jaar		

## BIJLAGE 4 – MAP – PROCES 400.000 IE ; 33,3 M3/H

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		557,000
MAP – installatie		2,653,000
<hr/>		
bouwkosten (incl. onvoll.)		3,210,000
bijkomende kosten	10 %	321,000
onvoorzien	10 %	353,100
<hr/>		
investeringen		3,884,100
advieskosten	10 %	388,400
<hr/>		
subtotaal (excl. BTW)		4,272,500
BTW	17.5 %	747,700
<hr/>		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		5,020,200
AFGEROND		<u>5,020,000</u>

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	0 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	116,000 f/jaar	stripperinstallatie	90 kWh/d
		diversen	15 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.14 f/kWh
totaal (incl. BTW)	1,064,000 f/jaar	jaarkosten	5,400 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
<hr/>		aantal mensen	1.00
benodigd	328 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	268,300 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>magnesiumoxide</u>		levensduur civiel	30 jaar
<hr/>		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	378 ton/jaar	rentevoet	8.0 %
zuiverheid	96 %	annuïteit civiel	8.9 %
prijs per ton	450 f/ton	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	177,300 f/jaar	jaarkosten	560,700 f/jaar
<u>fosforzuur</u>		<u>TOTAAL</u>	
<hr/>		bedrijfsvoeringskosten	1,147,173 f/jaar
benodigd	920 ton/jaar	kapitaalslasten	560,700 f/jaar
zuiverheid	96 %	<hr/>	
prijs per ton	500 f/ton	exploitatiekosten	1,707,873 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	459,900 f/jaar	AFGEROND	1,710,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP – slib	118,260 f/jaar		

## BIJLAGE 4 – CAFR-PROCES 400.000 IE ; 8,3 M3/H

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		309,000
CAFR-installatie		3,452,000
-----		
bouwkosten (incl. onvoll.)		3,761,000
bijkomende kosten	10 %	376,100
onvoorzien	10 %	413,700
-----		
investeringen		4,550,800
advieskosten	10 %	455,100
-----		
subtotaal (excl. BTW)		5,005,900
BTW	17.5 %	876,000
-----		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		5,881,900
AFGEROND		5,880,000

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	11,592 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	145,100 f/jaar	stripperinstallatie	80 kWh/d
		diversen	15 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	772,900 f/jaar	jaarkosten	216,800 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	1.00
benodigd	570 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	466,600 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>magnesiumoxyda</u>		levensduur civiel	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	113 ton/jaar	rentevoet	8.0 %
zuiverheid	96 %	annuïteit civiel	8.9 %
prijs per ton	450 f/ton	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	53,200 f/jaar	jaarkosten	668,300 f/jaar
<u>fosforzuur</u>		<u>TOTAAL</u>	
-----		bedrijfsvoeringskosten	1,149,140 f/jaar
benodigd	276 ton/jaar	kapitaalslasten	668,300 f/jaar
zuiverheid	75 %	-----	
prijs per ton	500 f/ton	exploitatiekosten	1,817,440 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	138,000 f/jaar	AFGEROND	1,820,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP-slib	35,478 f/jaar		
ammoniakaal water	30,215 f/jaar		



## BIJLAGE 4 – CAFR-PROCES 400.000 IE ; 16,7 M3/H

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		440,000
CAFR-installatie		3,614,000
-----		
bouwkosten (incl. onvoll.)		4,054,000
bijkomende kosten	10 %	405,400
onvoorzien	10 %	445,900
-----		
investeringen		4,905,300
advieskosten	10 %	490,500
-----		
subtotaal (excl. BTW)		5,395,800
BTW	17.5 %	944,300
-----		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		6,340,100
AFGEROND		6,340,000

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	11,592 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	154,400 f/jaar	stripperinstallatie	85 kWh/d
		diversen	15 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	781,300 f/jaar	jaarkosten	217,000 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
-----		aantal mensen	1.00
benodigd	579 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton		
jaarkosten (excl. BTW)	473,700 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>magnesiumoxyde</u>		levensduur civiel	30 jaar
-----		levensduur mech./el.	15 jaar
benodigd	113 ton/jaar	rentevoet	8.0 %
zuiverheid	96 %	annuïteit civiel	8.9 %
prijs per ton	450 f/ton	annuïteit mech./el.	11.7 %
jaarkosten (excl. BTW)	53,200 f/jaar	jaarkosten	717,900 f/jaar
<u>fosforzuur</u>		<u>TOTAAL</u>	
-----		bedrijfsvoeringskosten	1,167,040 f/jaar
benodigd	276 ton/jaar	kapitaalslasten	717,900 f/jaar
zuiverheid	75 %	-----	
prijs per ton	500 f/ton	exploitatiekosten	1,884,940 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	138,000 f/jaar	AFGEROND	1,880,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP-slib	35,478 f/jaar		
ammoniakaal water	30,215 f/jaar		

RAMING STICHTINGSKOSTEN		BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN	
voorbereiding	557,000	energie	11,592 kg/d
CAFR-instalatie	3,622,000	stoom	50 t/ton
		stoomprijs	90 kWh/d
		diversen	15 kWh/d
		stipperijs	0,15 €/kWh
bouwkosten (incl. onvull.)	4,179,000	prijs per kWh	217,300 €/jaar
bijkomende kosten	417,900	jaarlijkse kosten	1,00
10 %		aantal mensen	80,000 t/mens/jaar
onvoorzien	459,700	jaarlijkse kosten	80,000 €/jaar
10 %		kapitaalslasten	30 jaar
investeringen	5,056,600	levensduur civiel	15 jaar
advieskosten	505,700	levensduur mech./el.	8,0 %
10 %		rentevoet	8,9 %
subtotal (excl. BTW)	5,562,300	aanuïteit civiel	11,7 %
BTW	973,400	aanuïteit mech./el.	737,800 €/jaar
17,5 %		jaarlijkse kosten	1,181,440 €/jaar
total stichtingskosten (incl. BTW)	6,535,700	TOTAL	1,919,240 €/jaar
AFGEROND	6,540,000	bedrijfsvoeringskosten	1,814,400 €/jaar
		kapitaalslasten	737,800 €/jaar
		exploitatiekosten	1,919,240 €/jaar
		AFGEROND	1,920,000 €/jaar
		opbrengst restproducten	35,478 €/jaar
		MAP-slib	30,215 €/jaar
		ammoniakal water	
		benodigd	591 ton/jaar
		zuiverheid	33 %
		prijs per ton	270 t/ton
		jaarlijkse kosten (excl. BTW)	483,300 €/jaar
		magnesiumoxyde	
		benodigd	113 ton/jaar
		zuiverheid	96 %
		prijs per ton	450 t/ton
		jaarlijkse kosten (excl. BTW)	53,200 €/jaar
		fosforzuur	
		benodigd	276 ton/jaar
		zuiverheid	75 %
		prijs per ton	500 t/ton
		jaarlijkse kosten (excl. BTW)	138,000 €/jaar
		MAP-slib	
		opbrengst restproducten	

BIJLAGE 4 - CAFR-PROCES 400.000 IE ; 33,3 M3/H

## **BIJLAGE 5**

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



## BIJLAGE 5 – MAP – PROCES RWZI UTRECHT

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		604,000
MAP – installatie		2,654,000
<hr/>		
bouwkosten (incl. onvoll.)		3,258,000
bijkomende kosten	10 %	325,800
onvoorzien	10 %	358,400
<hr/>		
investeringen		3,942,200
advieskosten	10 %	394,200
<hr/>		
subtotaal (excl. BTW)		4,336,400
BTW	17.5 %	758,900
<hr/>		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		5,095,300
AFGEROND		<u>5,100,000</u>

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	0 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	116,900 f/jaar	stripperinstallatie	100 kWh/d
		diversen	20 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.14 f/kWh
totaal (incl. BTW)	1,349,600 f/jaar	jaarkosten	6,100 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
benodigd	419 ton/jaar	aantal mensen	1.00
zuiverheid	33 %	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
prijs per ton	270 f/ton	jaarkosten	80,000 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	343,200 f/jaar	<u>kapitaalslasten</u>	
<u>magnesiumoxide</u>		levensduur civiel	30 jaar
benodigd	478 ton/jaar	levensduur mech./el.	15 jaar
zuiverheid	96 %	rentevoet	8.0 %
prijs per ton	450 f/ton	annuïteit civiel	8.9 %
jaarkosten (excl. BTW)	224,100 f/jaar	annuïteit mech./el.	11.7 %
		jaarkosten	568,100 f/jaar
<u>fosforzuur</u>		<u>TOTAAL</u>	
benodigd	1163 ton/jaar	bedrijfsvoeringskosten	1,403,166 f/jaar
zuiverheid	96 %	kapitaalslasten	568,100 f/jaar
prijs per ton	500 f/ton	<hr/>	
jaarkosten (excl. BTW)	581,300 f/jaar	exploitatiekosten	1,971,266 f/jaar
		AFGEROND	1,970,000 f/jaar
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP – slib	149,468 f/jaar		

## BIJLAGE 5 – CAFR-PROCES RWZI UTRECHT

### RAMING STICHTINGSKOSTEN

voorbehandeling		604,000
CAFR–installatie		3,670,000
<hr/>		
bouwkosten (incl. onvoll.)		4,274,000
bijkomende kosten	10 %	427,400
onvoorzien	10 %	470,100
<hr/>		
investeringen		5,171,500
advieskosten	10 %	517,200
<hr/>		
subtotaal (excl. BTW)		5,688,700
BTW	17.5 %	995,500
<hr/>		
totaal stichtingskosten (incl. BTW)		6,684,200
AFGEROND		6,680,000

### BEREKENING EXPLOITATIEKOSTEN

<u>onderhoudskosten</u>		<u>energie</u>	
percentage civiel	0.5 %	stoom	14,784 kg/d
percentage mech./el.	3.0 %	stoomprijs	50 f/ton
jaarkosten	160,200 f/jaar	stripperinstallatie	100 kWh/d
		diversen	20 kWh/d
<u>kosten chemicalien</u>		prijs per kWh	0.15 f/kWh
totaal (incl. BTW)	993,000 f/jaar	jaarkosten	276,400 f/jaar
<u>natriumhydroxyde</u>		<u>bediening</u>	
<hr/>		aantal mensen	1,00
benodigd	738 ton/jaar	jaarprijs per mens	80,000 f/mens/jaar
zuiverheid	33 %	jaarkosten	80,000 f/jaar
prijs per ton	270 f/ton	<u>kapitaalslasten</u>	
jaarkosten (excl. BTW)	603,500 f/jaar	levensduur civiel	30 jaar
<u>magnesiumoxyde</u>		levensduur mech./el.	15 jaar
<hr/>		rentevoet	8.0 %
benodigd	143 ton/jaar	annuïteit civiel	8.9 %
zuiverheid	96 %	annuïteit mech./el.	11.7 %
prijs per ton	450 f/ton	jaarkosten	753,700 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	67,200 f/jaar	<u>TOTAAL</u>	
<u>fosforzuur</u>		bedrijfsvoeringskosten	1,426,604 f/jaar
<hr/>		kapitaalslasten	753,700 f/jaar
benodigd	349 ton/jaar	<hr/>	
zuiverheid	75 %	exploitatiekosten	2,180,304 f/jaar
prijs per ton	500 f/ton	AFGEROND	2,180,000 f/jaar
jaarkosten (excl. BTW)	174,400 f/jaar		
<u>opbrengst restprodukten</u>			
MAP–slib	44,840 f/jaar		
ammoniakaal water	38,189		

## **BIJLAGE 6**

**Specificatie van de installatie met het MAP- en het CAFR-proces**



De dimensionering van de verschillende onderscheiden varianten van de rwzi's is samengevat in tabel 6.1.

**Tabel 6.1**  
**Dimensionering van de hoofdonderdelen voor de rwzi's**

		1	2	3	4	5	6	Utrecht
pompinstallatie	m <sup>3</sup> /h	2,1	4,2	8,3	8,3	16,7	33,3	40
influentbuffer	m <sup>3</sup>	10	20	40	40	80	160	180
pompinstallatie	m <sup>3</sup> /h	2,1	4,2	8,3	8,3	16,7	33,3	40
flocculator/lamellenseparator	m <sup>3</sup> /h	2,1	4,2	8,3	8,3	16,7	33,3	40
pompinstallatie	m <sup>3</sup> /h	2,1	4,2	8,3	8,3	16,7	33,3	40
reactor	m <sup>3</sup>	0,7	1,4	2,8	2,8	5,6	11,2	13,3
bezinktank	m <sup>2</sup>	7	7	7	28	28	28	35
loogopslag	m <sup>3</sup>	30	30	30	30	30	30	30
fosforzuuropslag	m <sup>3</sup>	10	10	10	25	25	25	30
magnesiumoxydeopslag	m <sup>3</sup>	10	10	10	25	25	25	30
zeefbandpers MAP-proces	m <sup>3</sup> /h	5	5	5	20	20	20	30
stoomstripper CAFR-proces								
- diameter	mm	200	200	200	300	300	300	400
- hoogte	m	12	12	12	12	12	12	12
zeefbandpers CAFR-proces	m <sup>3</sup> /h	-	-	-	5	5	5	5
ontwateringscontainer								
CAFR-proces	m <sup>3</sup> /h	2x20	2x20	2x20	-	-	-	-
natronloogverbruik MAP	ton/d	0,21	0,22	0,22	0,84	0,87	0,89	1,15
magnesiumoxydeverbruik MAP	ton/d	0,26	0,26	0,26	1,04	1,04	1,04	1,31
fosforzuurverbruik MAP	ton/d	0,63	0,63	0,63	2,52	2,52	2,52	3,19
natronloogverbruik CAFR	ton/d	0,39	0,40	0,41	1,56	1,59	1,62	2,02
magnesiumoxydeverbruik CAFR	ton/d	0,08	0,08	0,08	0,31	0,31	0,31	0,39
fosforzuurverbruik CAFR	ton/d	0,19	0,19	0,19	0,76	0,76	0,76	0,96
energieverbruik MAP	kW	2,1	2,5	2,9	4,0	4,2	4,4	5,0
energieverbruik CAFR	kW	2,1	2,5	2,9	4,0	4,2	4,4	5,0
stoomverbruik CAFR	ton/d	3,0	3,0	3,0	11,6	11,6	11,6	14,8