

**Behandeling van stikstofrijke  
retourstromen  
op rioolwaterzuiveringsinrichtingen**

Afzetmogelijkheden voor de reststoffen  
van stripper- en MAP-proces

## Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen

Afzetmogelijkheden voor de reststoffen  
van stripper- en MAP-proces

95-14

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. 90.74476.28.7

Inhoud	i
Ten geleide	ii
1 INLEIDING	1
2 LUCHTSTRIPPEN	2
2.1 Inleiding	2
2.2 Afzetmogelijkheden	2
2.2.1 <i>Buitenland</i>	2
2.2.2 <i>Nederland</i>	2
2.3 Katalytische oxydatie van ammoniak tot stikstof	3
3 STOOMSTRIPPEN	4
3.1 Inleiding	4
3.2 Afzetmogelijkheden	4
3.2.1 <i>Verbrandingsinstallaties</i>	4
3.2.2 <i>Industriële toepassingen</i>	6
4 MAP-PRECIPITATIE	8
4.1 Inleiding	8
4.2 Afzetmogelijkheden	8
5 KWALITEITS- EN KWANTITEITSASPECTEN	9
5.1 Kwaliteit	9
5.2 Kwantiteit	12
6 AFZET IN NEDERLAND	13
6.1 Inleiding	13
6.2 Oplossingen van ammoniumzouten	13
6.3 Ammonia bij DeNO <sub>x</sub> -installaties	14
6.4 MAP	16
7 WETGEVING	18
7.1 Overzicht	18
7.2 Regelgeving	18
7.3 Bedrijfsafvalstoffen of grondstoffen?	19
8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	21
9 LITERATUUR	22
BIJLAGEN	
1. Eigenschappen van ammoniumnitraat	24
2. Kwaliteit van de ammoniumsulfaatoplossing uit ander onderzoek	26

## Ten geleide

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

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

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

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

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

Het onderhavige rapport beschrijft de afzetmogelijkheden van de reststoffen, die met name bij de fysisch/chemische behandelingsmethoden vrijkomen. Deze studie werd uitgevoerd door DHV Water B.V. (projectteam ir. L.M.M. de Bruin en ir. R.J. van der Kuij).

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

In het kader van het STOWA-project "Behandeling stikstofrijke retourstromen" is een aantal methoden voor de verwijdering van stikstof op pilot-schaal onderzocht [1]:

- hooggesuspendeerd actief-slibstelsysteem met membraanfiltratie (MBR);
- $\text{NH}_3$ -strippen;
- precipitatie van magnesiumammoniumfosfaat (MAP);
- airlift-reactor.

De eerste methode is onderzocht op de slibverwerkingsinstallatie Sluisjesdijk bij de rwzi Dokhaven. De overige methoden zijn beproefd op de rwzi Utrecht. Daarnaast is het stoomstrippen ook getest op de locatie van de rwzi Amsterdam-Oost.

De haalbaarheid van deze methoden hangt niet alleen samen met de technische en financiële facetten, maar is met name ook afhankelijk van de mogelijkheden tot afzet van eventuele reststoffen.

Bij het hooggesuspendeerd actief-slibstelsysteem met membraanfiltratie en bij de airlift-reactor worden naast biologisch slib geen reststoffen geproduceerd waarvoor afzetmogelijkheden moeten worden gezocht. Omdat de reststoffenaspecten de haalbaarheid van deze biologische systemen niet bepalen, zijn alleen de afzetmogelijkheden beschouwd van reststoffen die ontstaan bij het  $\text{NH}_3$ -strippen en bij de MAP-precipitatie. Bij het  $\text{NH}_3$ -strippen is onderscheid gemaakt tussen luchtstrippen en stoomstrippen, omdat hierbij verschillende eindprodukten ontstaan.

Voorts zijn in het onderzoek op de rwzi Utrecht de mogelijkheden onderzocht om ammoniak katalytisch te verbranden tot stikstofgas en water. Bij deze werkwijze ontstaan geen reststoffen.

In de hoofdstukken 2, 3 en 4 is een korte procesbeschrijving gegeven van respectievelijk luchtstrippen, stoomstrippen en MAP-precipitatie. Verder is een beschrijving gegeven van de toepassingsmogelijkheden voor de reststoffen die bij de verschillende stikstofverwijderingsmethoden worden gevormd en zijn de ervaringen behandeld die in vergelijkbare onderzoeken of praktijksituaties zijn verkregen. In hoofdstuk 5 zijn de kwaliteit en de kwantiteit van de restprodukten geëvalueerd, waarna in hoofdstuk 6 de waarde van de restprodukten en de (on)mogelijkheden tot afzet in Nederland worden geëvalueerd.

Hoofdstuk 7 is gewijd aan de wetgeving in Nederland met betrekking tot de afvalstoffenproblematiek. In hoofdstuk 8 zijn de conclusies en de aanbevelingen geformuleerd.

## 2 LUCHTSTRIPPEN

### 2.1 Inleiding

Luchtstrippen is een eenvoudig proces waarbij, door lucht in contact te brengen met ammoniakrijk water, het ammoniak in de luchtfase wordt gebracht. Het luchtstripproces bestaat uit twee stappen. In de eerste stap wordt kalk of natronloog gedoseerd waardoor de pH oploopt tot circa 11,5. In een bezinktank wordt het gevormde neerslag van calciumcarbonaat verwijderd. Deze bezinking heeft tot gevolg dat tevens CZV en zwevende stoffen worden verwijderd. Het daarbij gevormde slib wordt afgevoerd naar de slibverwerking van de rwzi.

Door de hoge pH is het overgrote deel van de stikstof aanwezig in de vorm van ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). Dit wordt in de tweede stap in één of meer strippertoren(s) uit het afvalwater gestript. Vervolgens wordt de ammoniakrijke lucht gewassen in een zure oplossing.

### 2.2 Afzetmogelijkheden

#### 2.2.1 Buitenland

In Zweden en Denemarken wordt de behandeling van stikstofrijke retourstromen met behulp van luchtstrippen op praktijkschaal toegepast. Hierbij wordt de ammoniakrijke lucht gewassen in een geconcentreerde zwavelzuuroplossing.

In Eslöv (Zweden) wordt de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -oplossing opgeslagen in een buffertank. Agrarische ondernemers halen de meststof op en verspreiden het op hun land [2].

De productie van ammoniumsulfaat is daarbij zodanig geoptimaliseerd, dat stikstofgehalten van 10-11 gew.% worden bereikt. Dit komt overeen met een  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -concentratie van ongeveer 500 g/l. De hoeveelheid benodigd zuur is geminimaliseerd, zodat toevoeging van kalk ter neutralisatie van de bodem niet nodig is.

In Frederikshavn (Denemarken) [3] wordt de verkregen  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -oplossing gemengd met het vergiste en ontwaterde slib van de rwzi, waarna het mengsel wordt verspreid over landbouwgrond. In verband hiermee is met iedere afnemer een contract opgesteld, waarin voorwaarden zijn geformuleerd met betrekking tot slibvolumina, concentraties, kwaliteit, en ook eisen met betrekking tot maximale concentraties van zware metalen.

Met het oog op het cadmiumgehalte van het slib wordt per jaar en per hectare een slibvolume equivalent met 1.120 kg droge stof verspreid. Het stikstof- en fosforgehalte van het slib bedraagt respectievelijk 36,6 en 35,7 g/kg d.s.

Waarschijnlijk zal voor de centrale behandeling van de stikstofrijke retourstromen (12.580 m<sup>3</sup>/d) op de rwzi in Keighley (UK) eenzelfde installatie worden gebouwd als die nu in Scandinavië bestaan. Hierbij wordt per dag ongeveer 20 ton ammoniumsulfaatoplossing geproduceerd, welke zou kunnen worden afgezet in de kunstmestindustrie [4].

#### 2.2.2 Nederland

In Nederland lijken door de enorme mestoverschotten van de bio-industrie de kansen voor directe afzet van ammoniumrijke oplossingen zoals ammoniumnitraat, ammoniumfosfaat en ammoniumsulfaat in de landbouw klein.

Voor ammoniumrijke oplossingen bestaan betere afzetmogelijkheden als grondstof in de kunstmestindustrie. Hierbij lijkt voor N- en P-houdende vloeistoffen zoals ammoniumnitraat en ammoniumfosfaat de grootste belangstelling te bestaan.

Het gebruik van fosforzuur heeft in vergelijking met salpeterzuur en zwavelzuur de volgende nadelen:

- de verzadigingsconcentratie van ammonium in fosforzuur is lager;
- fosforzuur is kostentechnisch minder interessant.

Salpeterzuur heeft in vergelijking met zwavelzuur en fosforzuur als nadeel dat bij de scrubber strengere veiligheidseisen in acht moeten worden genomen in verband met mogelijk explosiegevaar (zie bijlage 1).

Mono-ammoniumfosfaat wordt gebruikt als vuurvertragend middel. Papier, hout en stof dat niet blootstaat aan wasprocessen, wordt geïmpregneerd met een ammoniumfosfaatoplossing en daarna gedroogd.

Ammoniumsulfaat wordt toegepast in de lederindustrie bij het ontkalken en het beitsen van huiden.

Een andere optie is het gebruik van ammoniumhoudende oplossingen als nutriënt bij industriële afvalwaterzuiveringsinrichtingen waar een tekort is aan N-houdende nutriënten. De vuilvracht van het te zuiveren industrieel afvalwater in Nederland bedraagt circa 10.000.000 i.e. (à 136 g TZV), waarvan ongeveer 40% in eigen beheer wordt gezuiverd. Indien wordt aangenomen dat bij ongeveer de helft van de (veelal kleine) industriële afvalwaterzuiveringsinrichtingen sprake is van nutriëntentekorten, is hiervoor 2.200 - 4.000 ton N/jaar benodigd.

Met nadruk wordt vermeld dat de aangegeven opties nog niet nader zijn onderzocht.

### 2.3 Katalytische oxydatie van ammoniak tot stikstof

Ammoniak kan (katalytisch) worden geoxideerd tot stikstofgas en water. Het voordeel van naverbranding is dat er milieuvriendelijke eindprodukten ontstaan, waarvoor geen nazorg nodig is in de vorm van opslag en afzet.

De ammoniakhoudende lucht moet worden opgewarmd tot circa 800 °C voordat de gewenste reactie verloopt. Indien een katalysator wordt toegepast, kan worden volstaan met het opwarmen tot circa 300 °C. De oxidatie verloopt volgens onderstaande reactievergelijking:



Bij concentraties van enkele grammen  $NH_3$  per  $m^3$  is de reactie exotherm, dat wil zeggen dat de verbranding zonder energietoevoer verloopt. Ook eventueel aanwezige vluchtige organische verontreinigingen worden geoxideerd. Factoren die geoptimaliseerd/geregeld moeten worden, zijn de hoeveelheid lucht en de temperatuur.

In een onderzoek van Gajewski et al [5] is de fysisch/chemische verwijdering van ammoniak uit afvalwater (ingangconcentraties tot 1000 mg/l) van een destructiebedrijf getest. Ammoniak werd daarbij uit het afvalwater verwijderd door middel van een luchtstripinstallatie, waarna deze ammoniakrijke lucht katalytisch werd verbrand. In de pilot-plant konden ammoniakomzettingsgraden boven 99% worden gehaald bij een restconcentratie < 2 ppm. Vluchtige organische verbindingen werden meeverbrand.

## 3 STOOMSTRIPPEN

### 3.1 Inleiding

Bij het stoomstrippen wordt stoom toegepast om ammoniak te verwijderen uit de stikstofrijke retourstromen. Het ammoniak-waterdampmengsel wordt gecondenseerd en kan worden geconcentreerd tot elk gewenst niveau, tot 99% toe. Ammonia (ammoniak opgelost in water) is een produkt waarvoor in Nederland vermoedelijk betere afzetmogelijkheden kunnen worden gevonden dan voor oplossingen van ammoniumzouten.

Stoomstrippen heeft door de hogere temperatuur ten opzichte van luchtstrippen de volgende voordelen:

- de affiniteit van ammoniak voor waterdamp is groter dan voor lucht. Hierdoor is de stoomhoeveelheid slechts een fractie van de hoeveelheid lucht, benodigd voor het strippen van eenzelfde hoeveelheid ammoniak;
- er is geen (sterk) zuur nodig om ammoniak in op te lossen;
- de installatie kan compacter worden uitgevoerd in vergelijking met een luchtstripinstallatie.

Energie kan worden bespaard door het terugwinnen van warmte met behulp van warmtewisselaars.

Nadelen van stoomstrippen zijn de stoomgeneratie en de complexiteit van de installatie.

### 3.2 Afzetmogelijkheden

#### 3.2.1 Verbrandingsinstallaties

Bij hogetemperatuur-verbrandingsprocessen zoals die in elektriciteitscentrales en vuilverbrandingsinstallaties plaatsvinden, worden stikstofoxyden ( $\text{NO}_x$ ) gevormd. De stikstofoxyden leveren een bijdrage aan de verzuring van de regen, waardoor de verwijdering van stikstofoxyden uit rookgassen aan steeds scherpere eisen wordt onderworpen.

De verwijdering van stikstofoxyden uit rookgassen kan volgens de huidige stand der techniek op twee manieren geschieden, namelijk via:

- selectieve niet-katalytische reductie (SNCR);
- selectieve katalytische reductie (SCR).

Bij deze methoden wordt  $\text{NO}_x$  door middel van ammoniak omgezet in stikstofgas ( $\text{N}_2$ ) en water. De genoemde processen worden op de markt aangeboden en worden hierna kort beschreven:

- *Selectieve niet-katalytische reductie (SNCR);*  
De reductie vindt plaats in een temperatuurgebied van 850 - 1000 °C. Er kan alleen een hoge  $\text{NO}_x$ -afscheidingsgraad worden bereikt wanneer  $\text{NH}_3$  boven de stoechiometrische waarde wordt toegevoegd.  $\text{NH}_3$  wordt als 25 gew.% oplossing ingespoten. Het grootste gedeelte van het  $\text{NH}_3$ -overschot komt als gasvormige ammoniak in een wastrap, waar het wordt uitgewassen. Hierna wordt het zure waswater weer op hoge pH (9-11) gebracht zodat ammoniak weer als  $\text{NH}_3$  aanwezig is. Vervolgens wordt de ammoniak in een stripkolom met stoom verdreven. In een luchtkoeler wordt het condensaat gekoeld en wordt daarna naar de ammonia-inspuiting gevoerd.
- *Selectieve katalytische reductie (SCR).*  
De SCR-methode komt overeen met de SNCR-methode. Door toepassing van een katalysator kunnen echter lagere temperaturen worden gehanteerd, namelijk tussen 320 en 350 °C.  
De katalysator, een keramische drager van titaanoxide waarin als actieve componenten vanadiumoxiden en wolframoxiden zijn opgenomen, heeft een bewezen levensduur van



ongeveer drie jaar. Regenereren van de katalysator is tot op heden economisch niet verantwoord.

De katalysator is gevoelig voor "vergiftiging", bijvoorbeeld door zware metalen en zwaveloxyden ( $\text{SO}_x$ ). De levensduur wordt hierdoor aanzienlijk verkort.

### **DeNO<sub>x</sub> bij afvalverbrandingsinstallaties (AVI's)**

In augustus 1989 is door de minister van VROM de "Richtlijn Verbranden 1989" vastgesteld voor verbrandingsinstallaties van huishoudelijk afval en daarmee vergelijkbaar bedrijfsafval. In de richtlijn zijn de grenswaarden voor de emissies naar de lucht zodanig aangescherpt, dat die alleen met behulp van de best beschikbare technieken haalbaar zijn. Voor NO<sub>x</sub> wordt in de richtlijn een maximale emissiewaarde van 70 mg N/m<sup>3</sup> genoemd.

In het kader van het "DeNO<sub>x</sub>-programma", dat door de VVAV (Vereniging Van Afvalverwerkers) in nauwe samenwerking met het RIVM (Rijks Instituut Voor Milieuhygiëne) en de NOVEM (Nederlandse maatschappij voor energie en milieu) wordt uitgevoerd, zijn er bij vier AVI's in Nederland demonstratie-DeNO<sub>x</sub>-systemen gerealiseerd:

- twee SNCR-systemen bij AVI West en AVIRA Duiven;
- twee SCR-systemen bij AVR en ROTEB.

Indien de demonstratieprojecten succesvol worden afgesloten, hetgeen mag worden verwacht op grond van ervaringen met deze techniek in het buitenland, is het de bedoeling dat bij alle AVI's DeNO<sub>x</sub>-installaties worden gerealiseerd.

De gemiddelde concentratie van NO<sub>x</sub> in de rookgassen bedraagt 350 mg/Nm<sup>3</sup>. Bij een grenswaarde van 70 mg/Nm<sup>3</sup> betekent dit dat ongeveer 80% van de stikstofoxyden moet worden omgezet in elementaire stikstof.

Op dit moment wordt in Nederland op jaarbasis drie miljoen ton afval verbrand. Bij de in de vuurhaard heersende energetische condities worden uit één ton afval circa 2 kg stikstofoxyden gevormd [6]. Op basis hiervan kan worden berekend dat op dit moment per jaar door de AVI's in totaal 6.000 ton NO<sub>x</sub> wordt geëmitteerd. Grofweg betekent dit dat voor neutralisatie ongeveer 11.500 ton ammonia (25 gew. %) nodig is.

Door de toename van afval wordt verwacht dat binnen vijf jaar de verbrandingscapaciteit met 1 - 1,5 miljoen ton afval zal worden uitgebreid, waardoor de potentiële vraag naar ammonia (25 gew. %) met 3.800 - 5.800 ton zal toenemen [7].

Het hierboven geschatte ammoniaverbruik bij AVI's lijkt aan de lage kant omdat uit contacten met AVI West is gebleken dat daar naar verwachting op jaarbasis 8.000 ton ammonia (25%) zal worden verbruikt. De verwerkingscapaciteit van AVI West bedraagt 700.000 ton afval per jaar. De verschillen in ammoniaverbruik worden waarschijnlijk veroorzaakt door verschillende bedrijfsvoeringscondities.

### **DeNO<sub>x</sub> bij elektriciteitscentrales**

De conventionele energiebronnen die in Nederland bij de elektriciteitscentrales worden gebruikt, zijn aardgas en kolen. Ongeveer 40% van de elektriciteit wordt opgewekt met kolen, een proces dat bijna 70% van de totale NO<sub>x</sub>-uitstoot door elektriciteitscentrales representeert.

De verbrandingstechnieken bij gasgestookte centrales zijn tegenwoordig dermate hoogwaardig, dat de benodigde reductie van NO<sub>x</sub> zonder DeNO<sub>x</sub>-installaties kan worden gerealiseerd. Ook met de nieuwste verbrandingstechnieken bij kolengestookte centrales is men (met veel moeite) in staat om de grenswaarde voor NO<sub>x</sub> te bereiken. Een voorbeeld hiervan is de nieuwe installatie bij Amsterdam (Hemweg 8).

In de zomer van 1990 is door het ministerie van VROM, de provincies en de Samenwerkende Elektriciteits Productiebedrijven (SEP) een convenant gesloten, waarin de elektriciteitsproducenten zich tot een reductie van de emissie van stikstofoxyden en zwaveldioxide verplichten. Voor de emissie van stikstofoxyden geldt dat de uitstoot in 2000 met zo'n 60% zal zijn afgenomen.

In de meeste gevallen zal bij nieuw te bouwen centrales en bij grote renovaties van bestaande centrales, de reductie van de NO<sub>x</sub>-emissie worden bewerkstelligd door betere verbrandingsprocessen in te voeren. Bij bestaande centrales zonder geplande, ingrijpende veranderingen is de verwachting dat voor 2000 de centrales CG-12/13 in Gelderland en de Amer 8 bij Geertruidenberg voorzien zullen zijn van een DeNO<sub>x</sub>-installatie [8]. In beide gevallen gaat het hierbij om SCR-systemen. De DeNO<sub>x</sub>-installatie bij de centrale in Gelderland is momenteel in de opstartfase en zal naar verwachting medio 1995 voluit draaien, waarbij op jaarbasis circa 7.500 ton 25 gew.% ammonia zal worden verbruikt. Dit betekent dat in 2000 naar verwachting in totaal 15.000 ton ammonia (25 gew.%) per jaar zal worden verbruikt (zie tabel 1).

Tabel 1

Schatting van benodigde hoeveelheid ammonia bij elektriciteitscentrales door toepassing van het DeNO<sub>x</sub>-proces

Centrale	elek. prod. (MW)	NH <sub>3</sub> -verbruik (25%) (ton/j)
G-12/13	600	7.500
Amer 8	600	7.500
<b>TOTAAL</b>		15.000

Waarschijnlijk zullen de verbrandingstechnieken in de toekomst alleen maar 'schoner' worden, zodat het aantal DeNO<sub>x</sub>-installaties bij elektriciteitscentrales zich vermoedelijk zal beperken tot de hierboven beschreven centrales.

De nieuwe DeNO<sub>x</sub>-installatie in Gelderland zal minimaal tot het jaar 2007 operationeel zijn.

### 3.2.2 Industriële toepassingen

Ammonia is een produkt dat in Nederland op grote schaal wordt geproduceerd. In 1992 werd circa 3,2 miljoen ton aan ammoniak en ammonia geproduceerd [9]. Hieronder zijn de meest voorkomende industriële toepassingen van ammonia opgesomd.

Belangrijkste toepassing:

- grondstof in de kunstmestindustrie: voor de produktie van ureum (NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub>), (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, ammoniumfosfaten

Andere mogelijke toepassingen:

- grondstof bij de produktie van salpeterzuur. Ammonia wordt geoxideerd tot stikstofdioxide, dat daarna met water verder reageert;
- stikstofbron bij de produktie van caprolactam. Caprolactam is een grondstof voor de produktie van nylon-6;
- dispersiestof voor caseïne bij de coating van papier;
- in de metaalindustrie als ontanner van afvalmetaal; bij de extractie van bepaalde metalen;
- ammonia heeft een remmende werking op corrosieprocessen bij raffinaderijen, aardgasfabrieken; verder wordt ammonia toegepast bij de neutralisatie van zuren in olie;
- bij de stabilisatie van synthetisch en natuurrubber latex ter voorkoming van coagulatie tijdens transport en opslag;
- bij de produktie van stikstofhoudende farmaceutische produkten;
- als curing agent bij het verwerken van leer ter voorkoming van slijm en schimmels in looivloeistoffen;
- produktie van huishoudelijke schoonmaakartikelen;

- produktie van zwavelzuur;
- produktie van alkalische stoffen industrie;
- produktie van stikstofhoudende organische stoffen.

Met nadruk wordt vermeld dat de aangegeven opties nog niet zijn onderzocht.

## 4 MAP-PRECIPITATIE

### 4.1 Inleiding

Naast nitrificatie/denitrificatie en ammoniakstrippen kan ammoniumstikstof ook via MAP-precipitatie uit afvalwaterstromen worden verwijderd. Onder geschikte condities kan door toevoegen van MgO en fosforzuur ammonium neerslaan als het onoplosbare magnesiumammoniumfosfaat (MAP, struviet).

Het MAP wordt via bezinking gescheiden van de behandelde vloeistof. MAP is niet hygroscopisch en droogt goed aan lucht. Daardoor kunnen in ontwateringscontainers drogestofgehaltes van 30-40% worden gehaald. Met mechanische ontwateringsapparatuur zijn hogere drogestofpercentages tot circa 60% haalbaar.

Voordelen van MAP-precipitatie zijn:

- het precipitatieproces is eenvoudig en snel. Hierdoor kan met een eenvoudige en kleine installatie worden volstaan;
- er vindt slechts een geringe toename plaats van de saliniteit van het water;
- over het algemeen verlopen precipitatieprocessen beter bij lagere temperatuur door een lagere oplosbaarheid van het kristal.

Hier tegenover staan ook nadelen:

- de kosten van chemicaliën bepalen voor het grootste deel de bedrijfsvoeringskosten (70-80%);
- zwevende stoffen en zouten van zware metalen worden in de kristallen ingevangen. Hierdoor wordt de zuiverheid van het restprodukt beïnvloed.

### 4.2 Afzetmogelijkheden

MAP is door de aanwezigheid van zowel N,P als Mg een waardevolle meststof en zou kunnen worden toegepast in de kunstmest-, mestverwerkings- en veevoederindustrie. Verontreinigingen als calcium- en magnesiumfosfaat binnen het MAP-kristal worden niet als nadeel gezien. De formule van het MAP-kristal is  $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ . De stoichiometrische gehalten van de verschillende bestanddelen zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2  
Samenstelling van MAP

Bestanddeel	Gehalte (g/kg)
PO <sub>4</sub>	387
Mg	99
NH <sub>4</sub>	74
H <sub>2</sub> O	440

## 5 KWALITEITS- EN KWANTITEITSASPECTEN

### 5.1 Kwaliteit

De samenstellingen van de produkten zoals die zijn verkregen tijdens het onderzoek in Utrecht zijn weergegeven in tabel 3. De stikstof- en fosforconcentraties zijn gedurende het onderzoek veelvuldig bepaald ( $n > 15$ ) en in tabel 3 als gemiddelde waarden weergegeven. De concentraties aan zware metalen in ammoniumsulfaat en MAP zijn één keer gemeten (steekmonster). De concentraties aan zware metalen in ammonia en ammoniumfosfaat zijn twee keer gemeten (steekmonsters), waarbij in tabel 3 de hoogste waarden zijn weergegeven.

Tabel 3  
Samenstelling van de restprodukten

Parameter	lucht- en stoomstrippen				MAP-proces	
	Eenheid	$(\text{NH}_4)_{2-x}\text{H}_x\text{SO}_4$	$(\text{NH}_4)_{3-x}\text{H}_x\text{PO}_4$	$\text{NH}_3$	Eenheid	MAP
$\text{NH}_4$	g N/l	$65 \pm 6$	$46 \pm 5$	10-30	g/kg	60
$\text{PO}_4$	-	n.v.t.	-	n.v.t.	g/kg	380
CZV	mg $\text{O}_2$ /l	103	67	21	-	n.v.t.
Cadmium	$\mu\text{g/l}$	0,8	2,4	< 10	mg/kg	0,9
Chroom	$\mu\text{g/l}$	7,5	75	< 10	mg/kg	4,5
Koper	$\mu\text{g/l}$	1050	80	370	mg/kg	29
Lood	$\mu\text{g/l}$	65	75	< 200	mg/kg	0
Nikkel	$\mu\text{g/l}$	< 25	65	< 50	mg/kg	2,6
Zink	$\mu\text{g/l}$	990	510	510	mg/kg	< 1,3
Calcium	mg/l	10,2	0,04	0,3	-	-
Kalium	mg/l	3,0	1,3	0,1	-	-
Magnesium	mg/l	3,8	0,8	0,06	g/kg	96
VI. vetzuren	mg/l	n.v.t.	n.v.t.	0	-	n.v.t.
Indamprest	%	-	38	0,0027	-	n.v.t.
Geleidbaarh.	mS/cm	> 1000	128	4	-	n.v.t.

De samenstelling van ammonia geproduceerd tijdens het stoomstriponderzoek op de rwzi Amsterdam-Oost is weergegeven in tabel 4. De gehalten aan  $\text{NH}_3$ , drogestof en CZV zijn veelvuldig bepaald tijdens het onderzoek ( $n > 20$ ) en in tabel 4 weergegeven als gemiddelde waarden. De concentraties aan zware metalen zijn circa tien maal bepaald en eveneens als gemiddelde waarden (met uitzondering van verklaarbare uitbijters) vermeld.

Voorts zijn de concentraties aan zware metalen in ammonia van technische kwaliteit experimenteel bepaald (gemiddelde waarde van twee steekmonsters). Gegevens van ammonia voor analysedoeleinden (Merck catalogus) zijn ter vergelijking ook in tabel 4 opgenomen.

Tabel 4

Vergelijking van ammonia geproduceerd op de rwzi Amsterdam-Oost en commercieel aangeboden ammonia [10].

Parameter	Eenheid	Ammonia stoomstripper	Ammonia (technisch)	Ammonia (analyse)
NH <sub>3</sub>	(%)	24,8 ; 25,8 ; 27,1	26,7	≥ 25
drogestof	mg/l	18 ; 11 ; 4	3,3	-
CZV	mg O <sub>2</sub> /l	330 ; 266 ; 175	53	-
Arseen	µg/l	5,5	< 1,5	-
Cadmium	µg/l	0,10	0,10	≤ 91
Chroom	µg/l	3,9	< 1,5	≤ 46
Koper	µg/l	1,4	33	≤ 91
Lood	µg/l	1,2	1,8	≤ 46
Nikkel	µg/l	5,4	3,0	≤ 46
Zink	µg/l	18	15	≤ 182

### Luchtstrippen

Tijdens het onderzoek is de ammoniakrijke lucht gewassen in zwavelzuur en fosforzuur.

Theoretisch kunnen zwavelzuur en fosforzuur respectievelijk volledig en voor de helft met ammoniak worden verzadigd, resulterend in de molaire verhoudingen (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en (NH<sub>4</sub>)<sub>1,5</sub>H<sub>1,5</sub>PO<sub>4</sub>. Uit tabel 3 is af te lezen dat de NH<sub>4</sub>-concentraties in zwavelzuur en fosforzuur respectievelijk 4,6 mol/l (65 g N/l) en 3,3 mol/l (46 g N/l) bedragen.

In tabel 5 zijn de gegevens van zwavel- en fosforzuur weergegeven. De theoretische verzadigingsconcentraties van ammonium in zwavelzuur en fosforzuur bedragen respectievelijk 9,8 mol/l en 14,4 mol/l. Bij een concentratie van 8,8 mol N/l zal ammoniumfosfaat echter neerslaan (zie tabel 6).

Uit het bovenstaande blijkt dat de oplossingen uit het onderzoek in Utrecht niet waren verzadigd.

Tabel 5

Gegevens van zwavelzuur en fosforzuur

	Eenheid	Zwavelzuur	Fosforzuur
Sterkte	gew. %	37	59
Relatieve dichtheid (water = 1)	-	1,3	1,6
Sulfaatconcentratie	mol/l	4,9	-
Fosfaatconcentratie	mol/l	-	9,6

**Tabel 6**  
**Oplosbaarheden van ammoniumsulfaat en ammoniumfosfaat**

Component	Oplosbaarheid (mol N/l)*
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (bij 25 °C)	11,6
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (bij 10 °C)	8,8
* bron: Chemiekaarten, negende editie 1993/1994	

Uit de ervaringen in Eslöv en Frederikshavn is gebleken dat de optimale NH<sub>4</sub>-concentratie 80-100 g N/l bedraagt. Tevens blijkt dat de verontreinigingen in ammoniumsulfaat en ammoniumfosfaat in vergelijking met de restprodukten verkregen in Eslöv en Frederikshavn vergelijkbaar of lager zijn (zie bijlage 2).

Indien de ammoniakrijke lucht in salpeterzuur zou worden gewassen, zullen de verontreinigingen in het produkt naar verwachting vergelijkbaar zijn met die in ammoniumsulfaat en -fosfaat.

### **Stoomstrippen**

De lage N-concentraties in het condensaat op de rwzi Utrecht werden veroorzaakt doordat het uitgaande ammoniak-stoommengsel na condensatie niet over de stripper werd gerecirculeerd. Dit was op semi-technische schaal niet realiseerbaar. In een goed ontworpen striptoren met recirculatie van gecondenseerde stoom kunnen ammoniacconcentraties van 25 gew.% worden bereikt.

Uit tabel 3 blijkt dat de verontreinigingen aan zware metalen vergelijkbaar zijn met die in de produkten verkregen met luchtstrippen. Bij een concentrering van het condensaat tot 25 gew.% ammonia zullen de concentraties van de verontreinigingen naar alle waarschijnlijkheid toenemen. In tegenstelling tot de verwachting bleek uit een laboratoriumproef, waarbij condensaat is opgewerkt tot 25 gew.% ammonia, dat de concentraties van de verontreinigingen niet toenamen.

Bij vergelijking van de samenstelling van de ammonia geproduceerd op de rwzi's Utrecht en Amsterdam-Oost blijkt dat, ondanks de aanmerkelijke hogere NH<sub>3</sub>-concentratie, de concentraties aan zware metalen in de ammonia geproduceerd op de rwzi Amsterdam-Oost aanzienlijk lager te zijn. De CZV van de ammonia geproduceerd op de rwzi Amsterdam-Oost blijkt wel hoger te zijn in vergelijking met de CZV van de ammonia geproduceerd in Utrecht.

Voorts blijkt uit tabel 4 dat bij vergelijking van de ammonia van de stoomstripper en technische ammonia dat de concentraties aan zware metalen in dezelfde orde van grootte liggen. Van beide oplossingen liggen de concentraties ruim onder de maximumwaarden van ammonia voor analysedoeleinden.

De concentraties CZV en drogestof uit de stoomstripper liggen hoger dan die in technische ammonia (zie tabel 4).

### **MAP**

De gemiddelde stikstof- en fosforgehalten van het MAP-slib bedragen respectievelijk circa 60 g N/kg en 380 g PO<sub>4</sub>/kg. Deze concentraties benaderen de gehalten in zuiver MAP (zie tabel 2).

Recent is in Duitsland een onderzoek uitgevoerd naar de stikstofverwijdering uit overloopwater van gistingstanks door middel van MAP-precipitatie [11]. De verontreinigingen van MAP met zware metalen zijn weergegeven in tabel 7. Door het gebruik van fosforzuur van mindere

kwaliteit zijn de concentraties aan cadmium, zink en chroom aanzienlijk verhoogd. Deze resultaten zijn in overeenstemming met de kwaliteit van MAP verkregen tijdens het onderzoek in Utrecht (zie tabel 3).

Tabel 7  
Verontreinigingen in MAP, gevonden door Siegrist [11]

Component	Concentratie (mg/kg d.s.)
Cadmium	5
Chroom	200
Koper	10
Molybdeen	10
Nikkel	50
Lood	< 10
Zink	150
Kwik	< 1

## 5.2 Kwantiteit

Belangrijk is niet alleen de kwaliteit van de reststoffen maar zeker ook de hoeveelheden die kunnen worden geleverd.

In het geval dat één van de processen op de rwzi's van Beverwijk, Utrecht, Amsterdam Oost of Dokhaven/Sluisjesdijk zou worden geïmplementeerd, zou dit resulteren in hoeveelheden restprodukten, zoals in tabel 8 zijn weergegeven. Om snel inzicht te krijgen in de orde van grootte van de reststoffenstromen, is hierbij voor het gemak uitgegaan van 100% recovery.

Tabel 8  
Hoeveelheden reststoffen die worden gevormd bij de behandeling van stikstofrijke retourstromen op enkele locaties

RWZI	N-vracht (ton/j)	MAP (ton ds/j)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ton ds/j)	NH <sub>3</sub> (25%) (ton/j)
AMSTERDAM-OOST filtr. + centr. condensaat	285-380 60-80	5000-6600 1050-1400	1340-1790 280-375	1385-1845 290-390
BEVERWIJK centraat condensaat	84 146	1470 2560	395 690	410 710
DOKHAVEN/SL.DIJK centraat	438	7675	2060	2125
UTRECHT centraat	175	3070	825	850
<b>TOTAAL</b>	<b>1190-1305</b>	<b>20825-22775</b>	<b>5590-6135</b>	<b>5770-6330</b>



## 6 AFZET IN NEDERLAND

### 6.1 Inleiding

Bij de inventarisatie van de potentiële afnemers uit de industrie (voor het merendeel kunstmestfabrikanten) kwam naar voren dat op basis van de toegezonden monsters zeker belangstelling bestaat. Men is hierbij enigszins voorzichtig, omdat de restprodukten verder op fabrieksschaal moeten worden getest. Factoren als N-gehalte, P-gehalte, watergehalte, zware metalen concentraties, verwerkbaarheid spelen hierbij een doorslaggevende rol. Men is in het algemeen meer geïnteresseerd in vaste reststoffen dan in oplossingen, omdat:

- de concentratie aan N en P hoger is;
- vaste stoffen in de productieprocessen beter en goedkoper verwerkbaar zijn;
- hoeveelheden kleiner zijn waardoor transport en opslag goedkoper zijn.

Indien wordt overwogen om oplossingen in te dampen, moet rekening worden gehouden met indampkosten van ongeveer  $f$  25,- per  $m^3$  verdampt water [12].

Vastomlijnde eisen waaraan grondstoffen moeten voldoen, zijn niet aanwezig. Belangrijk wordt wel gevonden dat de bandbreedte in zowel de samenstelling als de hoeveelheden van de restprodukten, zo klein mogelijk moet zijn. De aanpassingen die een bedrijf moet doorvoeren voordat het restprodukt kan worden ingezet als grondstof in een productieproces en in logistiek en infrastructuur (vooral opslagcapaciteit) zullen voor een groot deel de economische waarde van het restprodukt bepalen.

Duidelijk moet worden gesteld dat de industrie reststoffen meer ziet als afvalprodukten dan waardevolle grondstoffen en zal ze daar ook naar waarderen. Daarnaast wordt de afname van reststoffen pas economisch interessant indien grote hoeveelheden (orde- grootte van duizenden tonnen per jaar) beschikbaar zijn.

De kunstmestindustrie wordt regelmatig benaderd met verzoeken om reststoffen af te nemen. Door het grote aanbod van de 'normale grondstoffen', die vaak zelf door de kunstmestproducenten worden geproduceerd, in combinatie met het grote aanbod van reststoffen, zal de marktprijs voor reststoffen laag zijn.

Tijdens de inventarisatie van de afzetmogelijkheden zijn in totaal circa 20 bedrijven en (branche)organisaties benaderd. Deze contacten hebben geleid tot vijf bedrijven die concreet interesse tonen in de afname van één of meerdere restprodukten. De bereidwilligheid van deze bedrijven om te worden genoemd in voorliggende rapportage waren wisselend, hetgeen omwille van concurrentieoverwegingen dan ook achterwege is gelaten.

### 6.2 Oplossingen van ammoniumzouten

In Zweden en Denemarken is het mogelijk gebleken om op praktijkschaal ammoniumsulfaat rechtstreeks af te zetten in de landbouw. In Nederland lijken de kansen daarop klein. Beter kunnen de restprodukten worden verkocht aan bedrijven die hier een toepassing voor hebben. Uit verschillende contacten is gebleken dat ammoniumfosfaat en -sulfaat tegen nulkosten kunnen worden afgezet.

Vanuit de kunstmestindustrie bestaat de grootste belangstelling voor ammoniumnitraat en in mindere mate voor ammoniumfosfaat. Ammoniumsulfaat is het minst in trek omdat sulfaat geen toegevoegde waarde vertegenwoordigt.

Onder de voorwaarde dat de kunstmestindustrie het zuur levert (en misschien meer chemicaliën), kan het restprodukt worden afgenomen. In de tabel 9 is de waarde van ammoniumnitraat en -fosfaat weergegeven zoals die door een kunstmestleverancier worden ingeschat. De prijzen

zijn inclusief vervoerskosten, gebaseerd op de afstand Utrecht-Rotterdam. De waarde van de restprodukten is gebaseerd op de prijzen en verbruiken van zuren zoals weergegeven in tabel 10. Bij het zuurverbruik is uitgegaan van met  $\text{NH}_3$ -verzadigde oplossingen.

Uit de tabellen 9 en 10 blijkt dat indien wordt uitgegaan van de productie van ammoniumnitraat de chemicaliënkosten (met uitzondering van NaOH) per ton  $\text{N}_{\text{KJ, verwijderd}}$  f 930,- bedragen. Bij de productie van ammoniumfosfaat bedragen de chemicaliënkosten (met uitzondering van NaOH) f 1780,- per ton  $\text{N}_{\text{KJ, verwijderd}}$ .

Indien salpeterzuur als wasvloeistof wordt toegepast, dienen in verband met de veiligheidsmaatregelen (zie bijlage 1) aanvullende voorzieningen te worden genomen. De hiermee verbonden extra kosten (in vergelijking met fosforzuur of zwavelzuur als wasvloeistof) per ton  $\text{N}_{\text{KJ, verwijderd}}$  zijn echter laag ten opzichte van de totale investeringssom voor een complete luchtstripinstallatie [13].

**Tabel 9**  
**Prijzen**

Produkt	Technische kwaliteit (f/ton)	Restprodukt (f/ton) <sup>3)</sup>	Opbrengst (f/ton $\text{N}_{\text{KJ, verwijderd}}$ )
Ammoniumnitraat (50%)	350,- <sup>1)</sup>	50,-	570,-
Ammoniumfosfaat (45%)	2000,- <sup>2)</sup>	85,-	1.320,-
<sup>1)</sup> 92 gew.% oplossing, prijs inclusief BTW <sup>2)</sup> Poedervormig diammoniumfosfaat (100%), prijs inclusief transport en BTW <sup>3)</sup> Prijzen inclusief transport			

**Tabel 10**  
**Prijzen en verbruiken van zuren**

Zuur	Prijs (f/ton)	Verbruik (ton/ton $\text{N}_{\text{KJ, verwijderd}}$ )	Kosten (f/ton $\text{N}_{\text{KJ, verwijderd}}$ )
Salpeterzuur (60%)	200,-	7,5	1.500,-
Fosforzuur (75%)	500,-	6,2	3.100,-

Bij het verwerken van huiden tot leder wordt ook ammoniumsulfaat toegepast. De Federatie van Lederfabrikanten heeft grote reserves ten aanzien van het gebruik van nieuwe of herbruikbare chemicaliën. Men wil er absoluut zeker van zijn dat het nieuwe produkt geen enkele (negatieve) invloed heeft op het productieproces en het uiteindelijke produkt.

De lederindustrie is niet bij machte om dit soort onderzoeken zelf uit te voeren, vooral omdat het meestal gaat om relatief kleine productievestigingen.

Indien nieuwe produkten worden ingevoerd, betekent dit dat de leverancier het daarvoor benodigde onderzoek zelf moet uitvoeren en begeleiden.

### 6.3 Ammonia bij DeNO<sub>x</sub>-installaties

#### SNCR-systemen

Bij DeNO<sub>x</sub>-installaties met SNCR lijken de mogelijkheden tot afzet van ammonia groot. Lage concentraties van organische componenten zijn geen probleem, omdat deze verbindingen volledig worden geoxideerd in het verbrandingsproces. Bovendien wordt de in overmaat gedoseerde ammonia teruggewonnen in een wasrap die gekoppeld is aan een stoomstripper. De kwaliteit van ammonia die wordt verkregen is dus voldoende voor het gebruik in DeNO<sub>x</sub>-installaties met het SNCR-proces.

Lage concentraties van zware metalen hebben geen invloed op het SNCR-proces.

Bij AVI West in Amsterdam is een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van alternatieve ammoniakbronnen. Hiervoor is een studie uitgevoerd naar hergebruiksmogelijkheden van N-rijke afvalstromen uit de industrie. Behalve ammoniakale stromen zijn ook stromen met amides en amines als alternatief onderzocht. Tevens is de mogelijkheid nagegaan om drijfmest als stikstofbron te injecteren. Op kleine schaal is met deze alternatieve bronnen geëxperimenteerd. Het is gebleken dat de verwijdering van  $\text{NO}_x$  door injectie van drijfmest technisch mogelijk is, maar als alternatief voor AVI West te duur is.

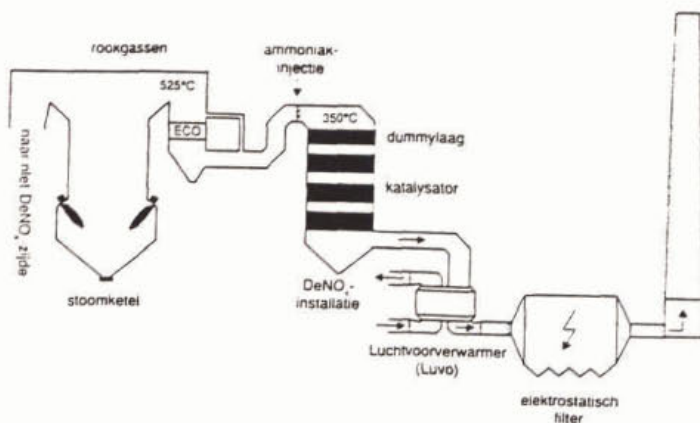
Verder is vastgesteld dat de respons uit de industrie, vooral de kunstmestindustrie, niet groot is. De industrie heeft over het algemeen zelf al veel gedaan om lozing en emissies van verontreinigingen terug te dringen. Wat overblijft zijn stromen met over het algemeen lage concentraties, waardoor de opwerkingskosten hoog worden.

Er kan worden geconcludeerd dat afzet van 25 gew. % ammonia verkregen uit de behandeling van stikstofrijke retourstromen een goed alternatief is als stikstofbron bij SNCR  $\text{DeNO}_x$ -installaties. De prijs van ammonia bedraagt f 150,- tot f 200,- per ton en AVI West lijkt bereid om voor de "rest" ammonia de helft van de prijs van commerciële aangeboden ammonia te betalen, op voorwaarde dat een aantal testen succesvol kan worden uitgevoerd.

Per ton verwijderde stikstof is 4,9 ton ammonia nodig; deze brengt ongeveer f 70,- per ton op.

### SCR-systemen

Hergebruik van ammonia bij de katalytische omzetting van  $\text{NO}_x$  ligt wat gecompliceerder in verband met de mogelijke deactivering van de katalysator. In het SCR-systeem dat bij de CG-12 centrale van de EPON is geïnstalleerd (zie figuur 1), worden de rookgassen vanuit de stoomketel naar een reactor met de katalysatorbedden gevoerd [8]. Na de reactor volgen de verbrandingsluchtvoorverwarmer en het elektrostatisch filter, waarin de vlieg-as en andere stofdeeltjes worden ingevangen. De reactor is dus voor het stoffilter geplaatst (high-dust configuratie). Teneinde vlieg-asafzetting op de katalysator te voorkomen is iedere katalysator uitgerust met mobiele luchtblazers.



**Figuur 1**  
Schematische weergave van het SCR-systeem bij de CG-12 centrale in Gelderland

Bij dit systeem kan de vlieg-as, die veel zware metalen bevat, probleemloos door het katalysatorbed worden gevoerd. Dit zou betekenen dat bij een high-dust configuratie er zeer zeker kansen zijn voor hergebruik van ammonia, ook als het verontreinigd is met lage concentraties zware metalen. De zware metalen kunnen neerslaan op het vlieg-as, dat vervolgens na de

reactor wordt afgevangen in het elektrostatisch filter. Om dit aan te tonen is echter nader onderzoek nodig.

Ondanks de lagere temperatuur in de reactor zullen vluchtige organische verontreinigingen volledig worden verbrand.

Uit contacten met EPON is gebleken dat zeker interesse bestaat voor afname van 25 gew. % ammonia. Op basis van de kwaliteit van het condensaat zoals weergegeven in tabel 3, verwacht EPON mogelijke problemen met zink en koper; deze kunnen de katalysator deaktiveren.

Indien na een uitgebreid testprogramma zou blijken dat de "rest" ammonia bruikbaar is, lijkt ook de EPON bereid ongeveer de helft van de prijs van commercieel aangeboden ammonia te betalen.

### **Conclusie**

De kansen om ammonia af te zetten bij DeNO<sub>x</sub>-installaties lijken gunstig. In vergelijking met SCR- zal de afzet van ammonia bij SNCR-systemen in de praktijk tot minder technische problemen leiden, omdat geen rekening hoeft te worden gehouden met de mogelijk negatieve invloed op de katalysator.

Omdat de reductie van NO<sub>x</sub>-emissies een speerpunt is van het milieubeleid van de overheid, worden omvangrijke onderzoeksprogramma's uitgevoerd om tot technisch en economische haalbare methoden te komen.

In dit kader wordt ook door de VVAV, NOVEM en RIVM in nauwe samenwerking het "DeNO<sub>x</sub>-programma" uitgevoerd. Ook wordt bij elektriciteitscentrales een soortgelijk programma uitgevoerd.

## **6.4 MAP**

In Duitsland zijn verschillende onderzoeken met het MAP-proces uitgevoerd om stikstof uit waterstromen te verwijderen. De kansen om MAP in Duitsland als eindproduct af te zetten zijn klein [9]. De mogelijkheden om MAP te vermengen met andere zouten en vervolgens af te zetten lijken ook niet groot in verband met het hoge gehalte aan kristalwater (44%). MAP kan wel als grondstof in de kunstmestindustrie worden ingezet als N- en P-bron.

Door de tegenvallende afzetmogelijkheden in combinatie met de hoge chemicaliënkosten is in Duitsland het CAFR-proces ontwikkeld. Hierbij wordt MAP thermisch behandeld, waarbij het uiteen valt in MgHPO<sub>4</sub> en NH<sub>3</sub>. Het MgHPO<sub>4</sub> wordt gerecycled en kan opnieuw worden gebruikt om ammonium te precipiteren. Afhankelijk van de thermische behandeling wordt als restproduct een ammoniakale oplossing of een oplossing van een ammoniumzout verkregen. De afzetmogelijkheden van deze stoffen zijn in de vorige paragrafen besproken. Door de vervuiling van het produkt met zwevende stoffen en zouten is volledige recirculatie van het teruggewonnen MgHPO<sub>4</sub> niet mogelijk. Er dient een hoeveelheid MAP te worden gespuid, waarvoor ook afzet moet worden gevonden.

In de literatuur wordt de opbrengst van MAP geschat op ongeveer  $f$  4,40/kg N ([14], [15]). De belangstelling in Nederland voor MAP is redelijk. Bij twee bedrijven kan MAP in principe tegen nulkosten worden afgezet. Indien een proeflevering van 30-50 ton MAP succesvol kan worden afgesloten is een kunstmestleverancier bereid om jaarlijks 3000-5000 ton MAP af te nemen. Het tweede bedrijf kan niet aangeven hoeveel MAP men kan afnemen.

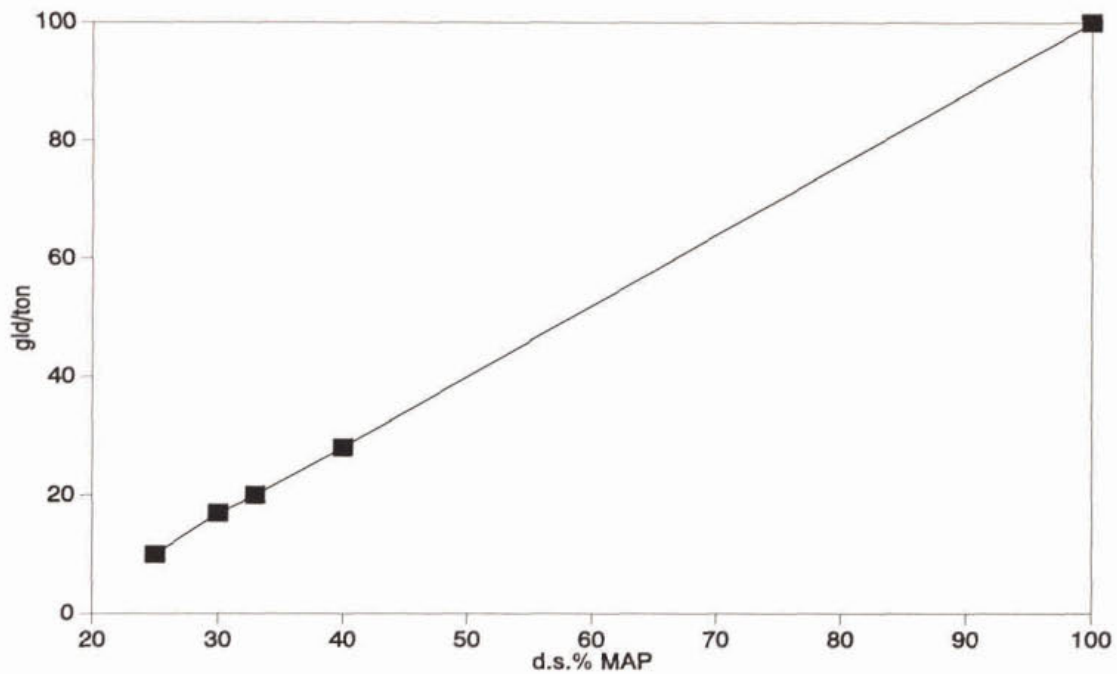
Een derde bedrijf uit Nederland, dat minerale grondstoffen produceert voor bemestingsdoeleinden en voor de veevoederindustrie, is bereid om meer dan alleen de transportkosten voor MAP te betalen. De waarde is inclusief transportkosten (binnen Nederland) en afhankelijk van het drogestofpercentage (zie figuur 2).

De gestelde voorwaarden zijn:

- P- en Mg gehalten komen overeen met de stoichiometrische waarden van zuiver MAP (zie tabel 2);
- de gehalten aan zware metalen zijn lager dan 1 à 2 mg/kg.

Indien aan deze voorwaarden kan worden voldaan, worden afnamemogelijkheden voorzien van enkele duizenden tonnen per jaar.

Als in dit geval wordt uitgegaan van 30 gew.% MAP bedraagt de opbrengst van 58,4 ton MAP per ton verwijderde stikstof bijna *f* 1.000,-.



Figuur 2  
Waarde van MAP

## 7 WETGEVING

### 7.1 Overzicht

In dit hoofdstuk zijn enige passages overgenomen uit het STOWA/VEWIN-rapport over "Toepassing van drinkwaterslib op rioolwaterzuiveringsinrichtingen" [16].

Voor afvalstoffen was vóór 1 maart 1993 de relevante wetgeving te vinden in de Afvalstoffenwet en/of de Wet chemische afvalstoffen. Beide wetten zijn per die datum gedeeltelijk opgegaan in de Wet Milieubeheer. Met ingang van 1 januari 1994 is het hoofdstuk Afvalstoffen van de Wet Milieubeheer in werking getreden. Tegelijkertijd zijn hiermee de eerder genoemde wetten vervallen.

Het rijksbeleid met betrekking tot de verwijdering van afvalstoffen is verwoord in de Notitie Preventie en Hergebruik van Afvalstoffen, het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP), NMP+, NMP 2 en het Meerjarenplan verwijdering gevaarlijke afvalstoffen. In artikel 10.1 van de Wet milieubeheer heeft de zogenaamde "ladder van Lansink" een wettelijke basis gekregen. De ladder van Lansink geeft een voorkeursvolgorde als het gaat om de verwerking van afval. De volgorde is:

- a. kwantitatieve preventie;
- b. kwalitatieve preventie;
- c. produkthergebruik;
- d. materiaalhergebruik;
- e. verwijdering onder energiebenutting;
- f. verwijdering zonder energiebenutting;
- g. storten.

Uit de "ladder van Lansink" blijkt dat produkthergebruik, op preventieve maatregelen na, de hoogste prioriteit heeft.

### 7.2 Regelgeving

Een opvallend verschil van de Wet Milieubeheer met de Afvalstoffenwet en de Wet chemische afvalstoffen is dat het begrip afvalstof wordt gedefinieerd. De wetgever behandelt het begrip "afvalstoffen" samen met het begrip "zich ontdoen van" en probeert aldus duidelijkheid te scheppen over het bereik van de wet. Onder afvalstoffen vallen alle stoffen, preparaten of andere producten, waarvan de houder zich - met het oog op de verwijdering daarvan - ontdoet, voornemens is zich te ontdoen of moet ontdoen. Toch is het ondanks deze definitie niet mogelijk het begrip afvalstoffen voor alle situaties eenduidig af te bakenen. Evenals tot dusverre zullen subjectieve factoren (intentie van de ontdoener, intentie van de ontvanger van de stof) en objectieve factoren (bijv. wie betaalt hoeveel, wat doet de ontvanger met de stof) een belangrijke rol spelen bij de beantwoording van de vraag of een stof in een concreet geval een afvalstof is.

Bij de verwijdering van afvalstoffen wordt onderscheid gemaakt in categorieën afval: huishoudelijk afval, bedrijfsafvalstoffen, autowrakken, gevaarlijke afvalstoffen en afvalwater.

Het Besluit Aanwijzing Gevaarlijke Afvalstoffen (BAGA), een Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) op grond van artikel 1.1 Wet milieubeheer, geeft aan wat als gevaarlijk afval dient te worden beschouwd. Het BAGA bestaat uit een processenlijst, een stoffenlijst en een uitzonderingenlijst. De processenlijst staat centraal. Als een genoemde afvalstof vrijkomt in een op de lijst genoemd proces, is sprake van een gevaarlijke afvalstof. Het strip- en MAP-proces voor de behandeling van stikstofrijke retourstromen op rwzi's komen **niet** voor op de processenlijst.

Pas als een bepaalde afvalstof niet voorkomt op de lijst van processen, wordt in het BAGA de vraag van belang of in de afvalstof stoffen voorkomen die in de stoffenlijst zijn genoemd. De stoffenlijst bevat een opsomming van stoffen, waarbij de stoffen in vijf klassen zijn ingedeeld. Voor de klassen A, B, C en D geldt een - voor ieder van deze klassen verschillende - concentratiegrenswaarde. Voor de klasse E geldt geen concentratiegrenswaarde. Afvalstoffen die geheel of gedeeltelijk bestaan uit stoffen, vermeld in de klassen A, B, C en D worden als gevaarlijke stoffen aangemerkt, tenzij de concentratie van de stoffen in die afvalstoffen kleiner is dan de toepasselijke concentratiegrenswaarde.

In het BAGA is tevens een anti-mengclausule opgenomen. Daarin staat dat bij de bepaling van de concentratie de gevolgen van verdamping, verdunning, vermenging of uitloging van de afvalstoffen niet in aanmerking worden genomen.

De restprodukten die vrijkomen bij het strip- en MAP-proces voor de behandeling van stikstofrijke retourstromen op rwzi's kunnen op basis van de samenstellingen weergegeven in tabel 3 **niet** worden beschouwd als gevaarlijk afval, omdat de concentratiegrenswaarden vermeld in de klassen A, B, C en D niet worden overschreden en omdat de restprodukten niet onder de klasse E vallen.

De restprodukten worden in eerste instantie aangemerkt als bedrijfsafvalstoffen.

### 7.3 Bedrijfsafvalstoffen of grondstoffen?

De vraag rijst in hoeverre de restprodukten moeten worden beschouwd als bedrijfsafvalstoffen of als grondstoffen. Uit jurisprudentie komt het volgende naar voren.

Met name de elementen nuttige aanwending, niet bewerken (geen tussenbewerkingen), bruikbaarheid en betaling zijn bepalend voor het feit of een afvalstof als grondstof wordt aangemerkt. Hierbij is op de eerste plaats artikel 1.1 elfde lid Wet milieubeheer van belang. In dit artikel wordt de mogelijkheid geboden een regeling te treffen om het karakter van afvalstof te ontnemen. Artikel 1.1 elfde lid luidt als volgt: "Bij AMvB kan in het belang van het bevorderen van het meer dan één maal gebruiken van stoffen, preparaten of andere produkten of het verwerken van produkten met het oog op gebruik voor hetzelfde of voor een ander doel dan waarvoor zij oorspronkelijk waren bestemd, worden bepaald dat **niet** van het zich ontdoen van afvalstoffen sprake is, indien bij die maatregel aangewezen stoffen, preparaten of andere produkten:

- a. door de houder rechtstreeks worden afgegeven aan een persoon die deze stoffen, preparaten of andere produkten geheel toepast op een bij die maatregel aangegeven wijze;
- b. voldoen aan bij die maatregel te stellen eisen."

De bedoeling is dat deze AMvB een lijst met afvalstoffen oplevert die, indien ze op een bepaalde wijze worden verwerkt, niet meer als afvalstoffen worden aangemerkt. Aangezien deze lijst met afvalstoffen nooit helemaal volledig zal zijn, blijft de Niet-van-Toepassing-verklaring voor individuele gevallen bestaan. Deze AMvB wordt naar verwachting eind 1994/begin 1995 ingevuld en zal volgens de huidige planning begin 1996 in werking treden.

Indien de toepassing "rechtstreekse afgifte van ammonia, geconcentreerde ammoniumoplossingen en MAP-slib" niet onder de werking van deze AMvB valt, wordt aangeraden een Niet-van-Toepassing-verklaring (N-v-T-verklaring) aan te vragen. Een N-v-T-verklaring heeft geen absolute betekenis omdat het juridisch "slechts" gaat om een uitleg van de wet. De rwzi is ook niet verplicht een dergelijke verklaring aan te vragen. Toch wordt aangeraden deze verklaring aan te vragen uit oogpunt van zekerheid.

Volgens een N-v-T-verklaring worden sommige stoffen niet of niet langer als afvalstoffen gezien, indien degene bij wie ze zijn ontstaan de stoffen rechtstreeks afgeeft aan een ander. Die past de stoffen zonder enige voorbewerking voor honderd procent toe in een productie-,

verwerkings- of zuiveringsproces. Aard, eigenschappen of samenstelling van de stoffen worden daarbij niet gewijzigd. Deze toepassing mag niet vergelijkbaar zijn met enige gangbare wijze van afvalverwijdering.

De N-v-T-verklaring houdt in dat de behandeling die de vraagsteller verricht met de bedrijfsafvalstoffen, niet wordt gezien als het verwijderen van deze afvalstoffen volgens de wet. Het gaat meestal om het gebruik van de stoffen (als grondstoffen) tijdens het productieproces. De gebruikte afvalstof heeft niet langer het karakter van een afvalstof. Met de inwerkingtreding van de Wet milieubeheer op 1 maart 1993 is de afgifte van deze Niet-van-Toepassing-verklaringen van het Ministerie van VROM gedelegeerd aan de provincies.



*Conclusies:*

- Voor de restprodukten die ontstaan bij luchtstrippen, met name ammoniumnitraat en in mindere mate ammoniumfosfaat, lijken de beste afzetmogelijkheden aanwezig in de kunstmestindustrie.  
Het produceren van ammoniumnitraat is het aantrekkelijkst omdat de waarde van het restprodukt in relatie tot het verbruik en de prijs van het toe te passen zuur het aantrekkelijkst is. Voorwaarde is dat aan strengere veiligheidseisen wordt voldaan bij het produceren van ammoniumnitraat.
- Afzet van ammonia, dat wordt geproduceerd bij stoomstrippen, is kansrijk bij DeNO<sub>x</sub>-installaties. Afzet van "rest"ammonia bij SNCR-installaties stuit vooralsnog op weinig technische problemen. Bij SCR-installaties moet de invloed van zink en koper op de katalysator nader worden onderzocht.  
Als de "rest"ammonia bij DeNO<sub>x</sub>-installaties kan worden afgezet, brengt dit ongeveer de helft van de prijs van commerciële ammonia op.
- De belangstelling voor MAP vanuit de industrie is redelijk. De economische waarde van MAP is echter sterk wisselend. Als uitgangspunt kan worden genomen dat de afzet van MAP minimaal kostenneutraal kan geschieden.
- Bij (katalytische) naverbranding van ammoniak ontstaan geen restprodukten. Met deze methode is echter tot dusver weinig praktijkervaring opgedaan.
- De restprodukten die ontstaan bij het strip- en MAP-proces bij de behandeling van stikstofrijke retourstromen worden niet aangemerkt als gevaarlijk afval;
- Indien kan worden aangetoond dat de restprodukten een (zo hoog mogelijke) economische waarde vertegenwoordigen en zonder voorbehandeling als grondstof in een productie-, verwerkings- of zuiveringsproces kunnen worden ingezet, is geen sprake meer van afvalstoffen. Indien men meer zekerheid van de overheid wil hebben, kan een Niet-van-Toepassing-verklaring daartoe een goed hulpmiddel zijn.

*Aanbevelingen:*

Op basis van de resultaten van de studie worden de volgende aanbevelingen geformuleerd:

- In de systeemkeuzefase dient voor de specifieke lokaties overleg met potentiële afnemers te worden gevoerd om te komen tot principeafspraken, zodat zekerheid kan worden verkregen over de kwaliteits- en kwantiteitseisen waaraan de reststoffen dienen te voldoen en over de opbrengsten of kosten. In principe zou kunnen worden overwogen om hierover op het niveau van branchevertegenwoordiging te overleggen.
- Indien met een kunstmestfabrikant afspraken worden gemaakt, kan er naar worden gestreeft om meer chemicaliën door de kunstmestleverancier te laten leveren. Hierdoor neemt de opbrengst van de restprodukt(en) naar verwachting toe.


- [1] **STOWA**  
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.  
Evaluatie van Nederlandse praktijkonderzoeken.  
Utrecht, 1995-08
- [2] **Naturvårdsverket Rapport 3872 (Report 3872 from the Swedish Agency of Environmental Protection).**  
Kvävereduktion vid kommunala avloppsreningsverk. 14. Rejektvattenbehandling  
(Nitrogen reduction in municipal sewage treatment plants. 14. Reject water treatment.  
1990/12  
ISBN 91-620-3872-9. IssN 0282-7298.
- [3] **Thogersen, T.**  
Stickstoffentfernung aus Schlammwässern der Zentralkläranlage Frederikshavn/Dänemark.  
G.W.F. Wasser-Abwasser, 133 (1992) Nr.8, pp. 384-388.
- [4] **Eric Garner & Parnters Limited (UK)**  
Schriftelijke mededeling
- [5] **Gajewski, W. et al.**  
Physikalisch-chemische Ammoniumeliminierung aus dem Abwasser einer Tierkörperbeseitigungsanlage.  
Korrespondenz Abwasser, 4/93, 40. Jahrgang, p. 526-534
- [6] **VEABRIN**  
Handboek 1990 kwaliteitsbeheersing afvalverbranding.  
ISBN 90-73573-01-7
- [7] **Mevr. van Egmond**  
Medewerkster VVAV  
Persoonlijke mededeling, november 1993
- [8] **Groeneveld, L.**  
Pilotproject levert hoopvolle resultaten (tot tachtig procent reductie stikstofoxyden).  
Proces Technologie, oktober 1992, p. 30-34
- [9] **Vereniging van de Nederlandse Industrie (VNCI)**  
Jaarverslag 1992
- [10] **STOWA**  
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.  
Praktijkonderzoek aan stoomstrippen met dampverdichting bij de rwzi Amsterdam-Oost.  
Utrecht, 1995-11
- [11] **Siegrist, H., et al**  
Nitrogen elimination from digester supernatant with magnesium-ammonium-phosphate precipitation.  
Paper presented at the 6<sup>th</sup> Gothenburg Symposium, June 1994, Sweden (Gothenburg)

- [12] **RIZA**  
Inventarisatie en evaluatie van technieken voor de polijsting van rwzi-effluent (januari 1995)
- [13] **STOWA**  
Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Praktijkonderzoek aan lucht- en stoomstripinstallaties bij de rwzi Utrecht. Utrecht, 1995-12
- [14] **Schulze-Rettmer, R. Yawari, T.**  
Eliminierung von Ammonium aus Deponiesickerwasser durch chemische Fällung als Magnesium Ammonium Phosphat.  
MULL und ABFALL, 10/88, p. 469-472
- [15] **Schulze-Rettmer, R.**  
The simultaneous chemical precipitation of ammonium and phosphate in the form of magnesium-ammonium-phosphate.  
Wat. Sci. Tech., Vol. 23, Kyoto, p. 659-667, 1991
- [16] **STOWA/VEWIN**  
Toepassing van drinkwaterslib op rioolwaterzuiveringsinrichtingen  
Utrecht, december 1994
- [17] **Wetter, C., Pöppinghaus, K.**  
Physikalisch-chemische Ammoniumelimination aus Zentratwasser.  
Korrespondenz Abwasser, 2/92, p. 205-210, 39. Jahrgang.

## **BIJLAGE 1**

### **Eigenschappen van ammoniumnitraat**

## AMMONIUMNITRAAT

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN		BELANGRIJKE GEGEVENS	
Ontleedt beneden het kookpunt, °C	210	<b>WITTE HYGROSCOPISCHE KRISTALLEN</b>	
Smeltpunt, °C	170	Vormt met verontreinigingen slaggevoelige mengsels. De stof ontleedt bij verhitting onder vorming van giftige dampen ( <i>stikstofdioxide</i> , zie aldaar) en <i>lachgas</i> (zie aldaar). De stof is een sterk oxidatiemiddel en reageert heftig met brandbare en reducerende stoffen met kans op brand en explosie. Reageert heftig met metaalpoeders met kans op brand en explosie.	
Relatieve dichtheid (water = 1)	1,7	MAC-waarde niet vastgesteld	
Oplosbaarheid in water, g/100 ml bij 20 °C	190	<b>Wijze van opname:</b> De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing en inslikken.	
Relatieve molecuulmassa	80,0	<b>Directe gevolgen:</b> De stof werkt prikkelend op de ogen, de huid en de ademhalingsorganen. In ernstige gevallen kans op bewusteloosheid.	
Brutoformule:	H <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>Gevolgen bij langdurige, herhaaldelijke blootstelling:</b> De stof kan aanleiding geven tot bloedveranderingen. Vorming van methaemoglobine.	
DIRECTE GEVAREN/ VERSCHIJNSELEN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN/EERSTE HULP	
<b>Brand:</b> niet brandbaar, doch bevordert brand van andere stoffen.		zeer veel water.	
<b>Explosie:</b> kans op explosie door vermenging met brandbare stoffen.		bij brand: tanks/vaten koel houden door spuiten met water.	
	VERSPREIDEN VAN STOF VOORKOMEN		
<b>Inademen:</b> keelpijn, hoesten, kortademigheid	ventilatie (indien niet in poedervorm), plaatselijke afzuiging of ademhalingsbescherming (filtertype P2)	frisse lucht, rust, en arts waarschuwen.	
<b>Huid:</b> roodheid, pijn.	handschoenen.	verontreinigde kleding uittrekken, huid spoelen met veel water of douchen.	
<b>Ogen:</b> roodheid, pijn.	stofbril.	eerst langdurig spoelen met veel water (contactlenzen verwijderen mits makkelijk mogelijk), dan naar arts brengen.	
<b>Inslikken:</b> buikkrampen, misselijkheid, blauwe huid, zwaktegevoel.		mond laten spoelen, en arts waarschuwen of naar ziekenhuis vervoeren.	
OPRUIMING	OPSLAG / AFVALCODES	ETIKETTERING / NFPA ( door leverancier aan te geven)	
gemorste stof opscheppen, restant wegspoelen met veel water, niet opnemen in zaagsel of andere brandbare stoffen, (extra persoonlijke bescherming: zie Inademen/Preventie).	brandveilig, gescheiden van brandbare stoffen en reductiemiddelen, koel, droog.  WCA: C 12      KCA: VI/I		
OPMERKINGEN			
<p>Bij vergiftiging door ammoniumnitraat is specifieke eerste hulp noodzakelijk. De benodigde middelen (Methyleenblauw) met gebruiksaanwijzing moeten beschikbaar zijn.</p> <p>Indien ammoniumnitraat verontreinigd is met organische stoffen, wordt deze slag- en stootgevoelig. In een gesloten ruimte kan explosieve verbranding in een detonatie overgaan.</p> <p>Verontreinigde kleding uitspoelen met veel water (brandgevaar). In PUBLIKATIEBLAD CPR 1 van de Arbeidsinspectie: 'Nitraathoudende meststoffen' staan uitgebreide veiligheidsmaatregelen vermeld.</p>			
Transport Emergency Card TEC(R)-51G09		GEVI: 50 ; VN-nummer: 1942	

## **BIJLAGE 2**

**Kwaliteit van de ammoniumsulfaatoplossing uit ander onderzoek**

Tabel 11

Samenstelling van de ammoniumsulfaatoplossing van de luchtstripinstallatie op praktijkschaal in Eslöv (zie paragraaf 2.2 en hoofdstuk 5).

Component	Eenheid	Concentratie
N <sub> totaal</sub>	g N/l	81
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	g N/l	81
Zink	mg/l	< 1
Koper	mg/l	< 1
Nikkel	mg/l	< 4
Lood	mg/l	< 10
Cadmium	mg/l	0,23

Tabel 12

Samenstelling van de ammoniumsulfaatoplossing van de luchtstripinstallatie op praktijkschaal in Frederikshavn (zie paragraaf 2.2 en hoofdstuk 5).

Datum	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N g/l	Sulfaat g/l	BZV <sup>o)</sup> mg/l
16-07-92	91	380	-
28-07-92	140	420	-
29-07-92	109	340	<1
04-08-92	95	348	<1
05-08-92	142	348	<1
06-08-92	133	356	-
07-08-92	88	356	-
10-08-92	49	184	-
<b>GEMIDDELD</b>	106	342	<1
o) Biologisch Zuurstof Verbruik			

Tabel 13

Samenstelling van de ammoniumsulfaatoplossing uit het onderzoek van Wetter en Pöppinghaus [17].

Parameter	Conc. (mg/l)	Zware metalen	Conc. (mg/l)
CZV <sup>)</sup>	73	Pb	<0,008
Cl <sup>-</sup>	2000	Cd	<0,002
Fe	177	Hg	0,006
Cu	0,5	Cr	40,3
AOX <sup>**)</sup>	0,042	Ni	26,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	56800		
P <sub>tot</sub>	4		
<sup>)</sup>	Chemisch Zuurstof Verbruik		
<sup>**)</sup>	Aromatische Organische Halogenen		



