

TNO-rapport

**Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als
reagens voor SNCR, fase 1**

Referentienummer 93-231
Dossiernummer 112326-24440
Datum oktober 1993
NP

Auteur
Ir. L.P.M. Rijpkema
TNO Instituut voor Milieu- en Ergietechnologie
Afdeling Afgas- en Verbrandingstechnologie

Met medewerking van
Ing. F. van Voorneburg
Dr.Ir. J.A. Zeevalkink

Projectcoördinator
Ing. H.W. Holtring

Contactpersoon
Ir. K.J. Braber
Novem Utrecht
Novem project nummer 360130/0410

Opdrachtgever
VROM/DGM
Directie Lucht en Energie
Ter attentie van Ing. L. de Jonge, code 640

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Nederlandse organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek

TNO-Milieu en Energie stelt zich ten doel om, gebaseerd op
de noodzaak van een duurzame ontwikkeling van de
maatschappij, door middel van onderzoek en advisering bij te
dragen aan een goed milieubeheer, een verantwoord
energiegebruik en een doelmatig beheer en gebruik van de
ondergrondse natuurlijke hulpbronnen.

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO
zoals gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank en de
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Samenvatting

Bij de verbranding van huishoudelijk afval worden stikstofoxyden gevormd in concentraties die groter zijn dan toegestaan door de wettelijke eisen aan de emissies van afvalverbrandingsinstallaties. Een van de technieken om deze emissies te verlagen is reductie van NO_x middels injectie van een NH_3 bevattend reagens in de rookgassen, in de vuurhaard bij temperaturen tussen 750 en 1000 °C. Deze techniek, waarbij NO_x tot N_2 en water wordt gereduceerd, wordt aangeduid met Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR).

Uit experimenten bij een krachtcentrale in Duitsland is gebleken dat ook een afvalstof als mest als reagens zou kunnen dienen. Dit zou het voordeel hebben dat een schadelijke emissie (NO_x) bestreden kan worden met een afvalstof (mest): in Nederland kampt men immers met een mestoverschotprobleem. Een bijkomend voordeel van gebruik van mest als reagens, volgt uit het relatief brede temperatuurvenster, waarbij mest reactief is, hetgeen de bedrijfsvoering ten aanzien van de injectie flexibeler maakt dan voor reagentia met een relatief smal temperatuurvenster (zoals bijvoorbeeld NH_3 -oplossing).

Om de mogelijkheden voor het gebruik van mest als reagens voor SNCR na te gaan is een onderzoekprogramma opgezet. Dit programma is in verschillende fasen opgedeeld. De eerste fase bestaat uit een haalbaarheidsstudie op basis van de op dit moment beschikbare informatie. In dit rapport worden de resultaten van deze eerste fase weergegeven. De opdracht voor deze eerste fase is verleend door het ministerie van VROM, en is uitgevoerd onder begeleiding van Novem, met medewerking van het Institut für Umweltverfahrenstechnik (TU Essen). De studie is voor een deel gebaseerd op de nieuwe AVI-Amsterdam. De gegevens die hiervoor benodigd waren, zijn door AVI-Amsterdam ter beschikking gesteld, en betreffen gegevens uit de ontwerp-fase.

In dit onderzoek zijn in eerste instantie de mestsoorten waarvan in Nederland een overschot geproduceerd wordt, geïnventariseerd. Gekeken is welke mestsoort het meest geschikt is voor gebruik als reagens bij SNCR, op basis van de samenstelling. Verder is kort gekeken naar de mogelijkheden om via voorbewerking van de mest een stroom te verkrijgen die beter geschikt is voor gebruik als reagens voor SNCR dan de oorspronkelijke mest.

Voor de geselecteerde mestsoort is vervolgens een inschatting gegeven van de mogelijkheden en gevolgen van gebruik als reagens bij SNCR. Daarbij zijn zoveel mogelijk de randvoorwaarden van de nieuwe AVI-Amsterdam aangehouden, aangezien dit momenteel een van de twee AVIs in Nederland is, die de SNCR techniek toepassen. De resultaten van het gebruik van mest als reagens zijn daarbij gerelateerd aan de resultaten wanneer NH_3 -oplossing (25 gew%) als reagens gebruikt wordt, zoals in de huidige situatie bij AVI-Amsterdam het geval is.

Van de in Nederland geproduceerde mestsoorten, blijkt varkensdrijfmest het best geschikt om gebruikt te worden als reagens voor SNCR, zowel qua eigenschappen als beschikbaarheid (grootste overschotten). Voordat de mest gedoseerd kan worden, moet deze worden gezeefd, waarbij deeltjes groter dan 3 mm moeten worden afgescheiden. Verdere voorbewerking van de mest is in principe voor het gebruik als rea-

gens niet noodzakelijk en lijkt vooralsnog niet rendabel. Voor de toekomst lijkt vergisten van de mest een aantal aantrekkelijke aspecten te bieden, die echter nog nader onderzocht dienen te worden.

Op basis van ervaringen met mestinjectie bij een krachtcentrale in Duitsland is geëxtrapoleerd dat voor de benodigde reductie van NO_x bij een AVI, varkensdrijfmest met een stoëchiometrie van 1,8 gedoseerd moet worden. Het temperatuurtraject waarbij de injectie dient te geschieden is vrij breed: tussen 750 en 1050 °C.

Dosering kan plaatsvinden middels tongvormige nozzles met een diameter van 6 mm. Het doseersysteem bestaat verder uit een geroerde opslagtank en een ringleiding waardoor de mest rondgepompt wordt. Vanuit deze ringleiding vindt de toevoer naar de nozzles plaats.

Wanneer aangenomen wordt dat alle AVI's in Nederland, die nog niet gekozen hebben voor een andere techniek om NO_x te reduceren, voor SNCR kiezen, dan kan uitgerekend worden hoeveel mest er maximaal via SNCR verwerkt zou kunnen worden. Uitgaande van de door het Tienjarenprogramma (Afval Overleg Orgaan) geprognosticeerde afvalverbrandingscapaciteit in het jaar 2000, zou aldus 0,44 miljoen ton mest per jaar verwerkt kunnen worden. Dit is ruim 13% van het huidige overschot aan varkensdrijfmest, oftewel 8% van het totale mestoverschot in Nederland.

Aan de hand van procesgegevens van AVI-Amsterdam is uitgerekend dat bij gebruik van varkensdrijfmest als reagens voor SNCR per verbrandingslijn per uur 4,1 m³ mest geïnjecteerd moet worden. Voor de hele installatie (4 lijnen, 765.000 ton per jaar) betekent dit een mestverbruik van 111.000 m³ per jaar.

Berekend is dat de temperatuur van de rookgassen nauwelijks extra daalt door de injectie van mest (ten opzichte van de injectie van NH_3 -oplossing). Ook de toename van de reststoffen is berekend en vergeleken met de hoeveelheid die geproduceerd wordt, wanneer NH_3 -oplossing als reagens gebruikt wordt: per ton afval wordt bij injectie van 0,145 m³ varkensdrijfmest 4 kg vliegias, 0,9 kg rookgasreinigingsresidu en 0,05 kg filterkoek **extra** geproduceerd (ten opzichte van injectie van NH_3 -oplossing).

Door de injectie van mest treedt een daling van de energieproductie op van circa 1,9%. Dit verlies is kleiner dan wanneer NH_3 -oplossing als reagens wordt gebruikt (3,4% daling in produktie).

Bij gebruik van alleen mest als reagens voor SNCR wordt weliswaar een kleinere NH_3 -overmaat geïnjecteerd dan bij gebruik van NH_3 -oplossing (1,8 ten opzichte van 5), toch moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat nog een aanzienlijke NH_3 -slip optreedt. Dit NH_3 moet worden afgevangen in de wassersectie, waarna het vervolgens uit het waswater verwijderd moet worden door het waswater te strippen met stoom. De teruggewonnen hoeveelheid NH_3 kan dan opgemengd worden met de te doseren mest. Het is echter niet bekend hoeveel NH_3 teruggewonnen kan worden door het afvalwater te strippen.

Voor een nieuw te bouwen AVI blijkt mestgebruik bij SNCR financieel aantrekkelijk. Op basis van gegevens uit de ontwerpfasen van AVI-Amsterdam en een kostenberekening van de TU Essen, is berekend dat voor een nieuw te bouwen AVI met een capaciteit van 765.000 ton per jaar, de kosten voor SNCR met NH_3 -oplossing neerkomen op ruim f 13,- per ton afval. Indien alleen varkensdrijfmest gebruikt zou worden zouden deze kosten dalen tot ruim f 11,- per ton afval. Een combinatie van de additieven

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

NH₃ en mest, waarbij het teruggewonnen NH₃ opnieuw gebruikt zou kunnen worden in de SNCR installatie, kost ruim f 13,50,- per ton.

Voor AVI-Amsterdam, waar de investeringen voor de dosering van NH₃-oplossing reeds gedaan zijn, is gebruik van varkensdrijfmest financieel alleen aantrekkelijk, wanneer er bij de mest een bedrag van minimaal f 40,- extra ontvangen kan worden.

In deze eerste fase is gebleken dat er een aantal onzekerheden en gebreken aan kennis zijn die nader onderzoek vereisen. Allereerst is het van belang dat de relatie tussen de hoeveelheid te injecteren mest en de gerealiseerde NO_x-reductie geverifieerd wordt. Aangezien deze relatie gebaseerd is op andere omstandigheden dan die, welke gelden in de afvalverbranding, is op voorhand niet te zeggen in hoeverre deze relatie overeenkomt met de werkelijkheid. Om dit vast te stellen dient er een grootschalig experiment uitgevoerd te worden in een AVI.

Voorafgaand aan dit experiment dient er eerst een geschikt lijkende mestsoort verkregen te worden, waarvan dan na afzeven van de grove deeltjes, middels een uitgebreide analyse de relevante parameters vastgesteld kunnen worden. Belangrijk daarbij is, dat de levering van dezelfde mestsoort met dezelfde samenstelling ook later nog mogelijk is, zodat alle experimenten met dezelfde mest uitgevoerd kunnen worden. Opslaan van een grote voorraad mest is vanwege veroudering van de mest (verandering van de samenstelling) niet mogelijk.

Na testen van de nozzles en aanbrengen van de benodigde doseerinstallatie kan dan direct een experiment opgezet en uitgevoerd worden.

Bij dit experiment dient dan als eerste uitgezocht te worden hoe het verband tussen toegepaste stoëchiometrie van de varkensdrijfmest en de gerealiseerde NO_x-reductie is. Bij een instelling die qua reductie van NO_x voldoet aan de eisen, kan dan de invloed van mestinjectie op parameters als de hoeveelheid en samenstelling van de reststoffen, de temperatuurdaling van de rookgassen, de vervuiling van de ketel en de daling van de energieproductie worden vastgesteld.

Summary

Combustion of municipal solid waste causes the formation of NO_x (nitrogen oxides) in concentrations which exceed the emission limits set for municipal waste combustion (MWC) facilities. One technique to lower these emissions is the reduction of NO_x through the injection of an NH_3 containing additive which is sprayed in the furnace at temperatures between 750 and 1000 °C. This technique (which reduces NO_x to N_2 and water) is referred to as Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR).

Experiments in a power plant in Germany have shown that waste manure can be used as such an additive. This would have the advantage of reducing the emission of a pollutant (NO_x) by using a waste material (manure); in the Netherlands, an excess of manure is being produced and the treatment of this excess is a problem. An additional advantage of using manure as an additive for SNCR is the relatively wide temperature range in which the manure can reduce NO_x . This makes process control much more flexible, compared to additives with a relatively narrow temperature range (such as NH_3 solution).

In order to determine the possibilities of using manure as an additive for SNCR, a research programme was defined. The programme was divided into several phases. The first phase consisted of a feasibility study on the basis of currently available knowledge. This report presents the results of this feasibility study as commissioned to TNO by the Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. The study was executed in collaboration with the Institut für Umweltverfahrenstechnik (University of Essen) and supervised by Novem. The study was partly based on the new MWC facility at Amsterdam (AVI-Amsterdam) which kindly contributed the required data. (The data used originate from the design stage.)

First of all, an investigation was made into what types of manure are being produced in excess in the Netherlands. On the basis of the composition of the manure it was determined what type was best suited for usage as an additive for SNCR. Furthermore, an assessment was made of the possibilities of pre-treatment processes to improve the quality of the manure as an additive for SNCR.

For each of the selected manure species, an assessment is given of their possibilities and consequences when used as an additive for SNCR. This assessment has been based on the conditions of the new Amsterdam MWC facility, as this is the one of the two waste combustion facilities in The Netherlands, which apply SNCR at present. The results of this assessment have been judged upon the use of a 25% NH_3 solution as an additive for SNCR, which at present is the case in the MWC facility in Amsterdam.

Considering both composition and availability (largest surplus produced), semi-liquid pig manure (pig slurry: water content 90%) appears to be best suited as an additive for SNCR. Before this manure can be used, the large particles (> 3 mm) have to be sieved. Further pre-treatment of the pig slurry is, in principle, not necessary and does not seem to be profitable at this time. For the future digestion of the manure seems to be beneficial.

On the basis of experience with injection of manure in a power plant in Germany, a required stoichiometry of 1.8 was calculated in order to reach the required NO_x reduction in an MWC plant. Injection can take place within a relatively wide temperature range of 750-1050 °C.

The manure can be best spread in the flue gases by using tongue-shaped nozzles with a diameter of 6 mm. The dosage equipment furthermore consists of a stirred storage tank and a ring pipe through which the manure is pumped around continuously. From this ring pipe, the manure is being fed to the nozzles.

Assuming that all MWC facilities in the Netherlands, which have not yet chosen for an NO_x reduction technique, will apply SNCR with pig slurry, the total need of pig slurry can be calculated. On the basis of the waste capacity preview of the Afval Overleg Orgaan (for the next ten years) 0.44 million m^3 (or tonnes) of pig slurry per year can be used as an additive for SNCR in the year 2000, equalling over 13% of the present production surplus of pig slurry or 8% of the total manure surplus in The Netherlands per year.

Using process data of the MWC Amsterdam, it was calculated that by using pig slurry as an additive for SNCR for every unit 4.1 m^3 of pig slurry have to be injected per hour. For the complete installation (4 units, 765,000 tonnes per year), this means a pig slurry use of 111,000 m^3 per year.

Rough calculations showed that the flue gas temperature hardly decreased through the injection of pig slurry, compared to the use of NH_3 solution. Again compared to the usage of NH_3 solution, the use of pig slurry resulted in an additional production of residues: per tonne of waste, an injection of 0.145 m^3 resulted in additional amounts of 4 kg of fly-ash, 0.9 kg of flue gas cleaning residue (mainly gypsum and salts) and 0.05 kg of filtercake (from wastewater cleaning).

By injecting pig slurry, the energy production of the boiler decreased by 1.9%. Injection of NH_3 solution, however, caused a slightly higher energy loss (3.4%).

Reduction of the NO_x with just pig slurry, despite the lower stoichiometry compared to NH_3 solution (1.8 instead of 5), might result in a considerable slip-through of unreacted NH_3 . This must be captured in a scrubber and subsequently be removed from the waste water by stripping with steam. The best use for this recovered NH_3 is re-usage in the SNCR. However, it is not known how much NH_3 can be recovered.

The use of pig slurry as an additive for SNCR appears to be economically profitable for a new MWC facility.

On the basis of design data of the MWC Amsterdam and cost calculations by the University of Essen it was calculated that the cost for NO_x reduction with NH_3 solution amounted to just over Dfl 13.00 per tonne of waste for a plant with an annual capacity of 765,000 tonnes. By using only pig slurry as additive, these costs decrease to just over Dfl 11.00 per tonne of waste. The combination of both additives as described cost Dfl 13.50 per tonne of waste.

For the MWC Amsterdam, which has already done the investments for the use of NH_3 solution, using pig slurry as an additive can be feasible only, from an economic

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

point of view, if an additional fee of Dfl 40.00 is received for every tonne of pig slurry used.

This study has brought up some uncertainties and gaps in knowledge. The principal uncertainty is the validity of the used relation between the amount of manure injected and the realised NO_x reduction. This relation has been obtained under different circumstances than what is relevant for MWC and it needs to be verified whether this relation still represents what is actually happening.

This verification can only be obtained by executing a full-scale trial in a MWC facility.

Before this trial can be carried out, it is necessary to execute some preliminary research. First of all, a manure species, which appears to be suitable for usage in SNCR (based on what is found in this report), has to be obtained. It is important that this species can be obtained in the future as well in order to make sure that all experiments can be executed with the same manure (with the same composition). Storage of manure is not a solution for this problem, since the composition of manure will change rapidly during storage.

This manure species has to be sieved and analysed on all relevant parameters (composition including heavy metals, combustion heat, etc.).

After testing of the nozzles (type and diameter) and installation of the required dosage equipment, the full-scale trial can be set up and run.

Firstly, this full-scale trial needs to clarify the relation between the amount of manure (stoichiometry) injected and the realized NO_x reduction. Secondly, with a setup which fulfils the requirements for the NO_x reduction, it can be determined how the injection of manure affects parameters such as the amount, composition and quality of the residues, the temperature drop in the boiler, the energy production loss, and the fouling of the boiler surfaces.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	3
	Summary	7
1	Inleiding	13
2	Benodigde mesteigenschappen	15
2.1	Korte beschrijving SNCR	15
2.2	Eisen en wensen met betrekking tot mesteigenschappen	20
2.2.1	Stikstofgehalte	20
2.2.2	Organischestofgehalte	21
2.2.3	Energetische effecten van mestinjectie	21
2.2.4	Asgehalte	21
2.2.5	Deeltjesgrootte en viscositeit	22
2.2.6	Voorbewerking van de mest	22
2.2.7	Locatie mest	22
2.2.8	Conclusie mesteigenschappen	22
2.3	Mestsamenstelling in Nederland	22
2.4	Mogelijke voorbewerkingen	24
2.4.1	Bespreking van de verschillende mogelijkheden	24
2.4.2	Invloed van de voorbewerking op het gebruik van mest als reagens	26
2.4.3	Conclusie voorbewerking van mest	28
3	Vraag en aanbod van mest	29
3.1	Hoeveelheid reagens benodigd voor SNCR	29
3.2	Mestaanbod in Nederland	35
3.2.1	Mestproduktie en mestoverschot	35
3.2.2	Mestafzet (aanbod)	38
3.3	Mestlevering aan afvalverbrandingsinstallaties	40
4	Invloed mest op afvalverbranding (AVI-Amsterdam)	45
4.1	Beschrijving AVI-Amsterdam	45
4.2	Meest geschikte mestsoort	51
4.3	Benodigde installatie voor mest als reagens	53
4.4	Bijwerkingen van mestinjectie	57
4.5	Alternatieve mogelijkheid	61
5	Economische aspecten	63
6	Leemten in kennis op het gebied van mest als reagens voor SNCR	67
7	Conclusies en aanbevelingen	69
7.1	Aanbevelingen	71
8	Literatuur	73
9	Verantwoording	77

Literatuur
Bijlagen

1 Inleiding

Bij de verbranding van huishoudelijk afval worden stikstofoxyden (NO_x : een mengsel van NO en NO_2) gevormd in concentraties die groter zijn dan toegestaan door de wettelijke eisen aan de emissies van afvalverbrandingsinstallaties [Besluit luchtemissies afvalverbranding, 1993]. Daarom is het noodzakelijk de emissie van NO_x te verlagen door middel van zogenaamde De NO_x -technieken.

Naast diverse primaire maatregelen (voorkomen/verminderen van NO_x -vorming) zijn er ook secundaire technologieën (omzetting gevormd NO_x) nodig om te voldoen aan de strenge emissie-eisen. Een van deze secundaire De NO_x -technologieën is Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR). Bij deze techniek wordt in de vuurhaard bij de juiste temperatuur een additief geïnjecteerd dat reageert met NO_x tot stikstof en water [onder andere Lyon, 1987; Krager, Schulz, 1990; Thomé, 1991; Semmler, Weyer, 1992; Dransfeld et al., 1992].

Als additief kunnen verschillende stoffen worden gebruikt zoals ammoniak, ureum of organische verbindingen die over een N-H groep (bijvoorbeeld amines) beschikken. Dergelijke verbindingen komen ook voor in een afvalprodukt als drijfmest. Toepassing van mest als additief in het SNCR proces zou behalve een bijdrage aan de oplossing van de problematiek van de mestoverschotten in Nederland ook een besparing op de additiefkosten kunnen betekenen.

Om de mogelijkheden voor het gebruik van mest als reagens voor SNCR na te gaan is een onderzoekprogramma opgezet. Dit programma is in verschillende fasen opgedeeld. De eerste fase bestaat uit een haalbaarheidsstudie op basis van de op dit moment beschikbare informatie. In volgende fasen wordt extra benodigde informatie verzameld door middel van gerichte experimenten.

In dit rapport worden de resultaten van fase 1 weergegeven. Hierbij worden alle aspecten van de injectie van mest voor NO_x -reductie besproken, zodat een beeld kan worden gevormd van de technische en economische haalbaarheid hiervan. Verder wordt aangegeven op welke gebieden nog kennis ontbreekt en worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek. Alle informatie is zoveel mogelijk geconcretiseerd aan de hand van de dit jaar gestarte afvalverbrandingsinstallatie (AVI) te Amsterdam (AVI-Amsterdam).

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 kort beschreven welke fysische en chemische eigenschappen van de mest van belang zijn voor de toepassing als additief in SNCR. Ook de mogelijke voorbehandelingstechnieken worden besproken. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van vraag en aanbod van relevante mestsoorten in Nederland in relatie tot bestaande of toekomstige AVI's die mogelijk van de SNCR-techniek gebruik kunnen maken. Ook wordt kort geschetst in hoeverre de toepassing een bijdrage kan leveren aan de vermindering van de mestproblematiek in Nederland. Hoofdstuk 4 behandelt de invloed van het gebruik van mest als additief op de procesvoering van een AVI, met AVI-Amsterdam als voorbeeld. Ook worden de benodigde aanpassingen aan de installatie, zoals mestopslag en toevoersysteem, besproken. In hoofdstuk 5 wordt de economische haalbaarheid behandeld, waarna in hoofdstuk 6 tenslotte de conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek worden gepresenteerd.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie voor Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) onder begeleiding van Novem, en maakt deel uit van het onderzoekprogramma 'NO_x-verwijdering bij afvalverbranding'.

Een deel van het hier gerapporteerde onderzoek is uitbesteed aan het Institut für Umweltverfahrenstechnik, Universität Essen GHS. Bij dit instituut bestaan reeds ervaringen met de toepassing van mest als additief voor SNCR bij krachtcentrales. Deze ervaringen zijn, voor zover mogelijk, vertaald naar toepassing van mestinjectie voor SNCR bij afvalverbranding. De bevindingen staan weergegeven in een rapport [Weber, Gillmann, 1993]. In bijlage A is een vertaling van de inhoudsopgave, de inleiding en de samenvatting van dit rapport opgenomen. Waar dit rapport gebruik maakt van de informatie uit het Duitse rapport zal ernaar verwezen worden.

2 Benodigde mesteigenschappen

2.1 Korte beschrijving SNCR

Alvorens te kunnen beschrijven welke eigenschappen van de mest van belang zijn voor de toepassing als additief bij SNCR, is inzicht in de SNCR technologie van belang. Hieronder wordt deze techniek daarom eerst kort omschreven.

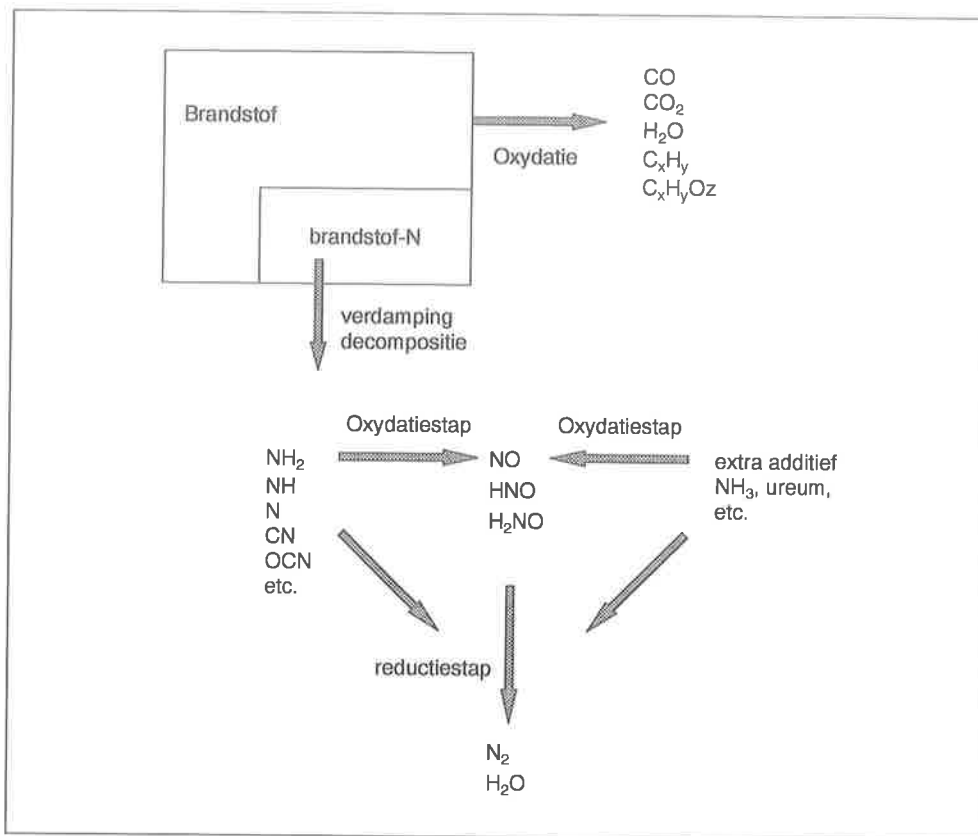
Globaal gesteld omvat de techniek van SNCR het in de rookgasstroom versproeien van een additief in het begin van de ketel, waar de rookgassen nog een hoge temperatuur hebben. Dit additief reduceert het in het rookgas aanwezige NO_x tot N_2 . De hoogte in de ketel waar de injectie plaats moet vinden wordt bepaald door de daar heersende rookgastemperatuur (zie voor toelichting hieronder).

Allereerst dient iets gezegd te worden over de vorming van NO_x . In principe zijn er 3 routes waarop NO_x gevormd kan worden.

- Thermische- NO_x : ontstaat uit atmosferisch N_2 (uit verbrandingslucht) bij temperaturen vanaf 1500 °C. Bij afvalverbranding wordt thermische- NO_x alleen lokaal in de vlammen gevormd.
- Prompt- NO_x : ontstaat eveneens uit atmosferisch N_2 via reactie met C-radicalen uit de brandstof tot een C-N-verbinding, die met O_2 in NO_x wordt omgezet. In het algemeen speelt prompt- NO_x een ondergeschikte rol ten opzichte van thermische- NO_x .
- Brandstof- NO_x : ontstaat uit chemische gebonden NO_x -stikstof uit de brandstof, via intermediairen als C-N en CNO-verbindingen, die met O_2 in NO_x worden omgezet.

Bij afvalverbranding bestaat het grootste deel van de NO_x uit Brandstof- NO_x .

De reductie van NO_x bij hoge temperaturen komt tot stand via een zeer ingewikkeld reactiemechanisme van vele deelreacties. Dit mechanisme is (nog) niet volledig doorgrond, hoewel de belangrijkste principes wel bekend zijn. Afbeelding 1 toont een schematische weergave van het mechanisme.



Afbeelding 1 Reactieschema niet-katalytische reductie van NO_x [Dransfeld et al., 1992]

Brandstof valt bij hoge temperaturen uiteen in kleinere koolwaterstofeenheden. De stikstof in de brandstof komt voornamelijk vrij als radicalen afgeleid van ammoniak (NH, NH₂, etc.) of cyaniden (CN, OCN, etc.): verder N-radicalen genoemd. Oxydatie van deze componenten leidt tot stikstofoxyden of verbindingen die uiteindelijk daarin overgaan.

De oxydatie- en reductiestap (zie afbeelding 1) vertonen verschillende temperatuursafhankelijkheden. Bij temperaturen van 900 -1000 °C zijn de reacties ongeveer even snel zodat een groot deel omgezet wordt in N₂: er wordt even snel NO gevormd als NO gereduceerd tot N₂ (het evenwicht ligt naar de kant van N₂). Bij hogere temperaturen is de oxydatiereactie sneller: er wordt dan meer NO gevormd dan er gereduceerd kan worden.

Bij lagere temperaturen verlopen de reacties niet snel genoeg en treedt onvolledige oxydatie (verbranding) van de brandstof op.

Behalve de temperatuur is er nog een belangrijke voorwaarde voor verloop van het reactieschema richting het gewenste N₂. Voor de vorming van N₂ moet er een N-N-binding ontstaan. In de brandstof komt de N-N binding nauwelijks voor (vrijwel altijd N-C of N-H) zodat het voor de vorming van N₂ altijd noodzakelijk is dat twee N-bevattende componenten met elkaar reageren. Gezien de lage concentratie van de radicalen levert de reactie van twee N-radicalen tot N₂ echter geen significante bijdrage tot de omzetting van brandstof-N tot N₂. De reactie van NO met N-radicalen leidt

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

echter ook tot de gewenste N-N binding. Gebleken is dat de omzetting van brandstof-N tot N₂ hoofdzakelijk verloopt via NO [Dransfeld et al., 1992].

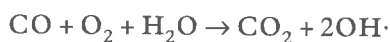
Hierbij is ook de O₂-concentratie van belang: een hogere O₂-concentratie betekent een grotere kans op ontmoeting (en reactie) van N-radicalen met zuurstof met als gevolg een toename in NO-vorming.

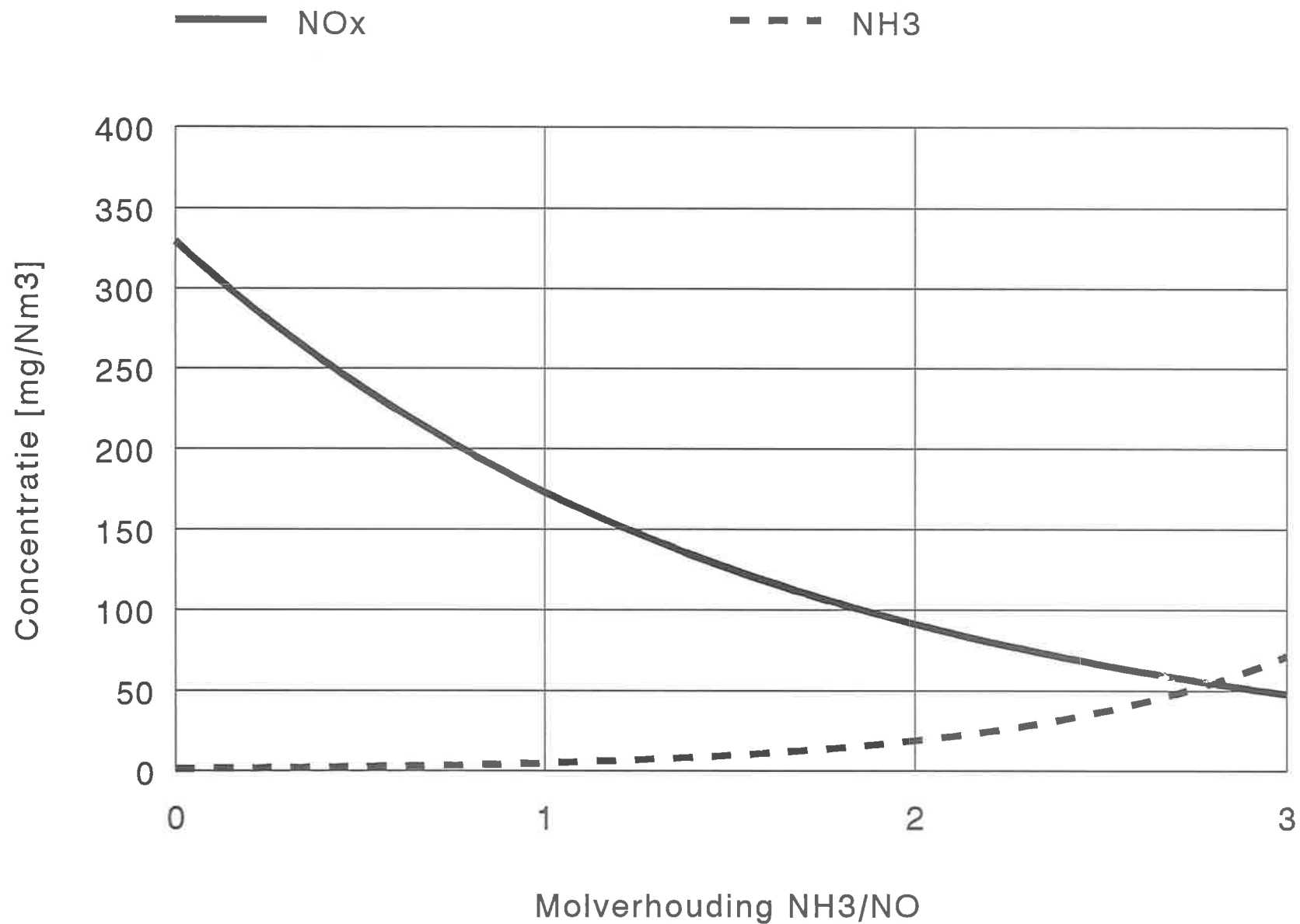
Bij NO_x-reductie technieken wordt extra reductiemiddel toegevoegd om het gevormde NO om te zetten tot N₂. In feite wordt aldus geprobeerd de evenwichtsreacties zoveel mogelijk richting N₂ te sturen. Dit principe wordt behalve bij SNCR ook toegepast bij SCR (Selective Catalytic Reduction) waarbij de reactietemperatuur relatief laag is (250 - 400 °C), maar de reacties dankzij het gebruik van een katalysator toch richting N₂ verlopen.

Afhankelijk van de gewenste NO_x-emissie reductie dient meer of minder van het additief te worden geïnjecteerd. Hoge reductiegraden (> 60 - 70%) vereisen overstoëchiometrisch gebruik van additief, waarbij een doorslippen van niet omgezet additief (of van daarvan afgeleid NH₃) op kan treden. Dit betekent dat of met lagere reductiegraden moet worden volstaan, of maatregelen genomen moeten worden die de emissie van niet omgezet additief beperken. Bij AVI-Amsterdam bijvoorbeeld is een overstoëchiometrisch gebruik van NH₃ (25 gew.% oplossing in water) voorzien als reagens voor SNCR. De resulterende NH₃-slip wordt afgevangen in een wasser waarna de ammoniak teruggewonnen wordt door het waswater te strippen met stoom. Figuur 1 geeft een beeld van de NO_x-reductie en NH₃-slip afhankelijk van de molverhouding NH₃/NO_x bij injectie van een 25% NH₃-oplossing in een temperatuurvenster van 900 - 1000 °C. Uit deze figuur valt af te lezen dat om te voldoen aan de emissie-eis van 70 mg/Nm³ voor NO_x, zoals opgelegd door het Besluit Luchtemissies Afvalverbranding, een molverhouding van minimaal 2,6 noodzakelijk is. Voor andere reductiemiddelen en injectietemperaturen kunnen deze curves verschuiven, tengevolge van andere evenwichtsliggingen in het reactieschema. Ook de menging tussen rookgas en reductiemiddel is van invloed op dergelijke curves.

Zoals reeds genoemd verloopt de reductie van NO in een beperkt temperatuurvenster optimaal. Dit temperatuurvenster wordt in hoge mate bepaald door de vorming van het werkzame N-radicaal. In de meeste gevallen moet het werkzame radicaal (NH₂) gevormd worden door H-abstractie van het additief (NH₃). Dit kan gebeuren onder invloed van de temperatuur, die daarvoor echter bij NH₃ wel hoog moet zijn (900 - 1000 °C). Bij andere verbindingen (onder andere amines), waarbij het H-atoom minder sterk gebonden is, kan de H-abstractie al bij lagere temperaturen optreden.

De H-abstractie kan ook versneld worden, bijvoorbeeld door OH-radicalen, zodat de reductie van NO_x bij lagere temperaturen kan verlopen. OH-radicalen kunnen onder andere gevormd worden via de oxydatie van CO. De bruto-reactie hiervoor luidt:

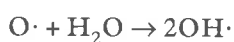
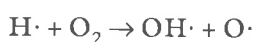
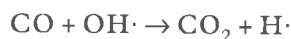




Figuur 1 NO_x-reductie en NH₃-slip als functie van de molverhouding NH₃/NO bij gebruik van NH₃-oplossing als reductiemiddel [Lautenschlager, 1991]

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

met de volgende deelreacties:



Hieruit blijkt dat door de gelijktijdige aanwezigheid van CO, O₂ en H₂O in bepaalde concentraties het temperatuurvenster voor de reductie van NO_x kan worden beïnvloed.

Op deze manier kan het temperatuurvenster voor de reactie verlaagd worden door reagentia te injecteren, die behalve N-radicalen ook OH-radicalen leveren, al dan niet via onverbrande koolwaterstoffen en CO. Bij verlaging van de temperatuur voor reductie middels onverbrande koolwaterstoffen en CO, bestaat wel het gevaar dat door de lage temperaturen de emissies aan CO en C_xH_y de norm overschrijden. Dit moet natuurlijk vermeden worden.

De boventemperatuur van het venster voor optimale reductie van NO_x wordt, zoals reeds vermeld, bepaald door de snelheid van de oxydatiereactie ten opzichte van de reductiereactie. Door de aanwezigheid van reagentia die de ondertemperatuur van het venster verlagen, blijkt ook de boventemperatuur in ongeveer gelijke mate te worden verlaagd, zodat het temperatuurvenster wel verschuift maar niet beduidend breder of smaller wordt.

Als reductiemiddel worden verschillende verbindingen gebruikt die bij de gebruikte omstandigheden via voorloperverbindingen als NH₃ en HNCO de gewenste N-radicalen geven. Bekend als reductiemiddel zijn:

- NH₃-oplossing in water, zoals ook (tot nu toe) gebruikt bij AVI-Amsterdam [onder andere Kubisa, 1991; Reimann, 1991];
- Organische aminen: splitsen NH_x radicalen af [Keller-Reinspach, Fritz, 1991; Heide, Pachaly, 1990];
- Ureum: splitst in NH_x en HNCO [Heide, Pachaly, 1990; Kubisa, 1991; Reimann, 1991];
- Organische nitrilverbindingen: splitsen via HCN HCNO af [Dransfeld et al., 1992].

In tabel 1 is voor een paar stoffen het temperatuurvenster voor niet-katalytische NO_x-reductie gegeven. Ook mest blijkt in een breed temperatuurvenster als additief ingezet te kunnen worden [Weber, Gillmann, 1993]. Een verklaring daarvoor zou kunnen zitten in het feit dat in mest allerlei verschillende N-bevattende verbindingen voorkomen, die bij verschillende temperaturen werkzaam zijn en elkaar aldus aanvullen en niet of nauwelijks tegenwerken.

Tabel 1 *Temperatuurvenster voor SNCR van verschillende additieven.*
 [Keller-Reinspach, Fritz, 1991; Reimann, 1991; Weber,
 Gillmann, 1993; Dransfeld et al., 1992]

Additief	Chemische formule	Temperatuurvenster °C
ammoniak	NH ₃	900 - 1.000
ammoniumhydroxide	NH ₄ OH	930 - 980
ureum	(NH ₂) ₂ CO	830 - 1.000
methylamine	CH ₃ NH ₂	750 - 850
mest	-	750 - 1.050

Behalve de hoeveelheid reductiemiddel en de temperatuur waarbij het geïnjecteerd wordt, is ook de verdeling van het reductiemiddel over de rookgassen van groot belang: een volledig contact tussen reductiemiddel en NO_x in de rookgassen is nodig voor een goede omzettingsgraad. Injectie is mogelijk met verschillende typen nozzles. Het type nozzle, dat uiteindelijk voor gebruik in aanmerking komt, hangt af van het gebruikte reductiemiddel (stromingseigenschappen, hoeveelheid) en van de benodigde indringdiepte in de rookgassen van de spuitkegel (dus van de geometrie van de ketel ter plaatse van de injectie).

2.2 Eisen en wensen met betrekking tot mesteigenschappen

2.2.1 Stikstofgehalte

In de mest komt de stikstof globaal gesteld in twee vormen voor: in de vaste bestanddelen is de stikstof voornamelijk organisch gebonden in biologisch vaak moeilijk afbreekbare verbindingen, terwijl in de vloeistof de stikstof voornamelijk als ureum en ammoniak voorkomt [Weber, Gillmann, 1993]. Door micro-organismen in de mest worden de stikstofverbindingen in de vloeibare fase in een tijdsbestek van een paar dagen bijna geheel omgezet in ammoniak. De hoeveelheid stikstof die aldus tot NH₃ omgezet wordt, wordt hier betiteld als NH₄-N, uitgedrukt in grammen N per kg.

Bij gebruik van mest als additief voor SNCR is het gehalte aan NH₄-N van groot belang daar dit de voornaamste bijdrage levert aan het reduceren van NO_x [Weber, Gillmann, 1993]. De mestsoort met het hoogste gehalte NH₄-N is daarbij het meest gunstig voor toepassing als reagens, aangezien er bij een hoog NH₄-N-gehalte minder mest nodig is om een bepaalde molverhouding te realiseren, dan bij een laag NH₄-N-gehalte. Dit betekent minder opslag-, transport- en doseervolume. Daarbij komt dat er tegelijk met de mest een aantal stoffen (onder andere water, vaste stof) ingespoten worden, die op zich geen bijdrage leveren aan het reductieproces, maar wel de procesgang van de AVI beïnvloeden. Hoe minder van deze stoffen geïnjecteerd hoeft te worden des te beter het is.

Op de effecten die deze stoffen hebben op het proces wordt ingegaan in hoofdstuk 4.

2.2.2 Organischestofgehalte

Het organischestofgehalte van de mest heeft, zoals reeds gezegd, invloed op de ligging van het temperatuurvenster waarbinnen de reductie van NO_x optreedt. Als criterium is het gehalte aan organische stof echter niet eenduidig hanteerbaar aangezien niet bekend is hoeveel van welke verbindingen nodig is, om een relatief breed venster te verkrijgen. Zeker gezien het feit dat in alle mestsoorten organische stof voorkomt, is dit criterium niet geschikt. Daar komt bij dat voor de haalbaarheid van NO_x -reductie met mest een breed temperatuurvenster geen vereiste is: het resulteert slechts in een flexibelere bedrijfsvoering ten aanzien van het inspuitsniveau.

2.2.3 Energetische effecten van mestinjectie

Energetisch gezien heeft de injectie van mest twee tegengestelde effecten. Aan de ene kant zorgt het water dat met de mest mee geïnjecteerd wordt (drijfmest bevat 90 - 95% water) voor een temperatuurdaling van de rookgassen. Daarbij leidt de benutting van warmte van rookgassen voor de opwarming en verdamping van geïnjecteerde vloeistof tot een verlies in energieproductie van de AVI. Aan de andere kant komt er door de verbranding van de brandbare bestanddelen van de mest warmte vrij, hoewel dit niet genoeg is om het eerder beschreven warmteverlies goed te maken. Omdat de temperatuur van de rookgassen belangrijk is voor SNCR (zie 2.1) en voor het volledig uitbranden van brandbare stoffen, moet de temperatuur van de rookgassen zorgvuldig in het oog gehouden worden. Deze zorgvuldigheid ten aanzien van de temperatuur in relatie tot het volledig verbranden komt ook voort uit de wetgeving, die vereist dat de rookgassen gedurende tenminste 2 seconden verblijven bij temperaturen boven $850\text{ }^\circ\text{C}$ [Besluit Luchtemissies Afvalverbranding, 1993], alvorens in de ketel afgekoeld te worden. Om de temperatuurdaling door het water zoveel mogelijk te compenseren zou dus een zo hoog mogelijke verbrandingswaarde van de mest wenselijk zijn. Daarvoor, en voor de beperking van CO - en C_xH_y -emissies, moet de mest natuurlijk wel volledig verbrand worden.

2.2.4 Asgehalte

Behalve het watergehalte van de mest is ook het asgehalte en de samenstelling van de as van belang. Deze as komt terecht in de vlieg-as en de rookgasreinigingsresiduen van de AVI en kan door een andere samenstelling invloed hebben op de mogelijkheden voor gebruik en/of hergebruik hiervan. Vanuit dit oogpunt is een zo laag mogelijk asgehalte met zo weinig mogelijk zware metalen het meest voordelig in de afweging van de bruikbaarheid van de verschillende mestsoorten. Doordat echter het zware metalen gehalte van mest in het algemeen lager is dan van gemiddeld vlieg-as van AVI's [Weber, Gillmann, 1993] is dit criterium naar verwachting niet zo belangrijk.

2.2.5 Deeltjesgrootte en viscositeit

Vervolgens is het van groot belang dat de mest goed gedoseerd en verdeeld kan worden over de rookgasstroom. Dit betekent dat de mest alleen kleine (< 3-4 mm doorsnee) vaste deeltjes mag bevatten zodat de dosering van de mest bedrijfszeker (zonder verstoppingen) uitgevoerd kan worden. Verder moet de mest voldoende water bevatten om de viscositeit laag te houden, zodat verstopping van het doseersysteem (leidingen, nozzles) zoveel mogelijk voorkomen wordt. In het algemeen betekent dit dat het watergehalte hoger dan 90% moet zijn.

2.2.6 Voorbewerking van de mest

Wanneer de mest niet of niet zo goed aan de eisen of wensen voldoet, kan een voorbewerking uitkomst bieden. Dit zal echter vrijwel altijd ten koste gaan van de economische aantrekkelijkheid van het proces, aangezien het kostenverhogend werkt. In paragraaf 2.4 worden de verschillende mogelijkheden ten aanzien van voorbewerking en de gevolgen daarvan voor de relevante mesteigenschappen nader toegelicht.

2.2.7 Locatie mest

Tenslotte is het van belang dat de gewenste mestsoort in de buurt (afhankelijk van transportkosten) van de betreffende AVI in voldoende hoeveelheid beschikbaar is. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de potentiële afzet van de mest voor SNCR en van het aanbod van de diverse mestsoorten in Nederland.

2.2.8 Conclusie mesteigenschappen

Samenvattend kan gesteld worden dat de mestsoort die optimaal geschikt is voor toepassing als reagens voor SNCR:

- Een viscositeit heeft, die laag genoeg is, om verpompen van de mest goed mogelijk te maken (watergehalte minimaal ca. 90%),
- Een zo hoog mogelijk $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte heeft,
- Een zo laag mogelijk asgehalte heeft, met een zo laag mogelijke concentratie aan zware metalen,
- Zo weinig mogelijk en zo klein (qua afmeting) mogelijke vaste deeltjes bevat,
- Tegen zo laag mogelijke transportkosten bij de AVI af te leveren is.

2.3 Mestsamenstelling in Nederland

In Nederland komen diverse soorten mest vrij. Onderscheid wordt gemaakt naar diersoort en naar vochtgehalte. De belangrijkste soorten mest die in Nederland worden geproduceerd zijn gegeven in tabel 2. Per mestsoort zijn ten behoeve van een

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

eerste selectie zowel het gehalte $\text{NH}_4\text{-N}$ als het vochtgehalte per m^3 mest weergegeven.

Tabel 2 $\text{NH}_4\text{-N}$ - en watergehalte van diverse mestsoorten

Mestsoort ¹⁾	$\text{NH}_4\text{-N}$ (g/kg totaal)	watergehalte (gew%)
varkensdrijfmest	6,6	91,0
runderdrijfmest	2,9	90,5
pluimveedrijfmest	5,6	85,0
kalvergier	2,0	98,5
zeugenmest	3,9	95,0
ammonia ²⁾	206	75,0

¹⁾ In verband met het hoge watergehalte vereist voor doseereigenschappen (zie paragraaf 2.2) zijn in dit overzicht alleen de drijfmestsoorten genoemd.

²⁾ Ter referentie.

Ten aanzien van de samenstelling (watergehalte, $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte, asgehalte, etc.) van mest worden veel cijfers gepubliceerd, die vaak aanzienlijke verschillen vertonen. Voor deze verschillen is een aantal oorzaken aan te wijzen. Allereerst is de samenstelling van de mest afhankelijk van het gehanteerde stalsysteem: wordt de mest rechtstreeks apart opgevangen of vindt er menging plaats met regenwater, spoelwater of stro. Verder is de samenstelling van de mest sterk afhankelijk van de samenstelling van het veevoer (ruwvoer, krachtvoer, additieven) en van het waterverbruik. Tenslotte is ook het mestopslagsysteem (open, overdekt) van belang evenals de processen die tijdens opslag kunnen plaatsvinden afhankelijk van omstandigheden als verblijftijd en temperatuur. Te denken valt in dit verband aan ontmenging, hydrolyse, vergisting, beluchting en ontwatering. De getallen in tabel 2 zijn gemiddelde waarden van mest zoals die getransporteerd wordt vanuit overschotgebieden (zie hoofdstuk 3).

Op dit moment wordt er een standaard rekenmethode ontwikkeld, die vastlegt op welke uitgangspunten getallen gebaseerd moeten zijn zodat eenduidige vergelijking mogelijk wordt. Een tussenrapportage hiervan is wel gereed maar geeft slechts getallen voor varkensmest [Eerdt, 1993]. Deze getallen zijn in deze tabel verwerkt. Voor de overige diersoorten worden de getallen eind 1993 verwacht.

Van de in tabel 2 genoemde mestsoorten is de pluimveedrijfmest minder geschikt om gebruikt te worden als additief vanwege het hoge drogestofgehalte. Daardoor is de viscositeit van deze mest te hoog om een goede dosering makkelijk en bedrijfszeker (weinig verstoppingen) te realiseren.

Vanwege het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte heeft varkensdrijfmest de voorkeur boven respectievelijk zeugenmest, runderdrijfmest en kalvergier.

2.4 Mogelijke voorbereidingen

Het is mogelijk en misschien zelfs noodzakelijk dat de (drijf)mest, alvorens als ammoniakhoudend reagens in de verbrandingsoven wordt ingespoten, een voorbereiding ondergaat. In het eenvoudigste geval betreft deze voorbereiding een grove zieving om te voorkomen dat door de aanwezigheid van grove deeltjes de nozzles verstoppen. In het meest vergaande geval wordt de mest vooraf gedeeltelijk ingedampt, waarbij het schone, ammoniakhoudende condensaat als reagens wordt gebruikt. In dit hoofdstuk worden enkele voorbereidingen en hun effecten beschreven. Daarbij kan worden opgemerkt dat de diverse technieken in principe niet bedoeld zijn om de mest geschikt te maken voor gebruik als additief bij SNCR. Het bespreken van de diverse technieken is hier bedoeld om na te gaan of bij de diverse voorbereidingen stromen ontstaan, die beter geschikt zouden zijn voor gebruik als additief bij SNCR dan mest.

2.4.1 Bespreking van de verschillende mogelijkheden

Als voorbereiding van de mest komen de volgende bewerkingen in aanmerking:

- Vergisten;
- Zeven;
- Scheiden;
- Indampen.

Vergisten

De aangevoerde mest wordt gedurende lange tijd bij verhoogde temperatuur afgesloten van de lucht (anaeroob) opgeslagen in een vergistingstank. De verblijftijd in deze tank bedraagt 15 tot 20 dagen; de temperatuur 30 à 35 °C. De inhoud van de tank wordt geroerd, bijvoorbeeld door rondpompen of gasinblazing.

Tijdens de vergisting vindt er afbraak van organische stof plaats. Als gevolg hiervan wordt er biogas (circa 20 m³ per m³ mest; circa 65% methaan) gevormd en wordt een klein deel van de organische stikstof (aanwezig in de vorm van eiwitten, aminozuren en dergelijke) in ammonium-stikstof (NH₄-N) omgezet. Hierdoor neemt het NH₄-N-gehalte in de mest toe. Behalve de gemakkelijk afbreekbare organische stof (voornamelijk lagere vetzuren zoals azijnzuur, propionzuur, boterzuur en dergelijke) bevat de vergiste mest nog steeds de belangrijkste componenten uit de oorspronkelijke mest. Dit geldt met name voor de anorganische verbindingen te weten nutriënten (N, P en K) en zouten (Na, Mg, Ca, Cl). Doordat de vergisting in een reducerend dat wil zeggen zuurstofloos milieu verloopt, wordt uit geoxydeerde zwavelverbindingen (bijvoorbeeld sulfaat) zwavelwaterstofgas gevormd, waarvan een gedeelte naar het biogas verdwijnt. Aanwezige stankcomponenten worden bij de vergisting eveneens afgebroken, waardoor de vergiste mest in vergelijking met de ruwe, onvergiste mest minder stinkt. Door de afbraak van organische stof is vergiste mest over het algemeen beter te scheiden (in vloeistof en vaste stof) dan de ruwe (niet vergiste) mest. Bovendien neemt de viscositeit 5-10% af en het watergehalte enigszins toe. Zware deeltjes in de mest (bijvoorbeeld zand) kunnen in de vergister bezinken.

Vergisting vraagt weinig energie: alleen voor roeren en op temperatuur houden. Daarentegen kan het vrijkomende biogas verbrand worden en een deel van de vrijkomende

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

warmte kan dan gebruikt worden voor het op temperatuur houden van de vergistingstank. Exclusief het elektriciteitsverbruik levert vergisting een netto energieproductie van ca. 350-400 MJ/m³ mest.

Zeven

Met behulp van een zeefmachine is het mogelijk om een deel van de deeltjes uit de mest te verwijderen. De mate van afscheiding, de toe te passen zeefbelasting en het drogestofgehalte van het residu worden in sterke mate bepaald door de maaswijdte van het zeefgaas. Naarmate de maaswijdte groter is, neemt het scheidingsrendement van de deeltjes af en de vloeistofbelasting op de zeef en het drogestofgehalte van het zeefresidu toe. Dit laatste heeft te maken met het feit dat de grove deeltjes minder water bevatten dan de kleine deeltjes. Bij een grove voorscheiding (bijvoorbeeld >180 µm) worden voornamelijk de ruwe vezels uit de mest afgescheiden. Hierbij ontstaat een stapelbare mestkoek. Een klein deel van de opgeloste verbindingen, waaronder ammoniumstikstof en zouten gaat met het aanhangende water van het zeefresidu verloren. Er treedt dus bij de voorscheiding enig verlies (in absolute zin: concentratie blijft gelijk) van ammoniak op. Het zeefresidu wordt immers niet als reagens gebruikt. Zeefmachines die in het verleden met diverse maaswijdten zijn beproefd, zijn onder andere de zeefbocht, de trilzeef en de zeefrommel. Over het algemeen varieerde de maaswijdte tussen de 60 en 500 µm.

De voor zeven benodigde hoeveelheid energie is relatief klein: slechts de drukval over de zeef moet overwonnen worden. Dit kost aan elektrische energie ca. 0,5 kWh per m³ mest, oftewel ca. 1,8 MJ/m³ mest.

Scheiden

Voor het scheiden c.q. ontwateren van mest komen in principe uitsluitend zeefbandpersen en decanteercentrifuges in aanmerking. Filterpersen zijn niet geschikt voor het filtreren van mest op grote schaal vanwege de discontinue werking en de gevoeligheid voor verstopping van het filtermedium.

Ten behoeve van een betere scheiding kunnen toeslagstoffen, conditioneringsmiddelen genaamd, worden gebruikt. In dit verband worden veelal ijzerchloride (Fe³⁺) en organische polymeren (polyelectrolyten) gebruikt.

Voor het scheiden van ruwe of vergiste mest wordt bij centrale mestverwerking de voorkeur aan decanteercentrifuges gegeven. De decanteercentrifuge is gesloten uitgevoerd (minder stankemissie), kan in principe zonder conditioneringsmiddel werken, verbruikt geen spoelwater en vereist minder toezicht. Daartegenover staat dat het scheidingspercentage over het algemeen wat lager is dan bij een zeefbandpers. Dit houdt verband met het verschil in scheidingsprincipe: centrifugaalkracht versus zeefwerking.

Wat voor het zeven geldt, geldt evenzeer voor het scheiden. Zeven is immers ook een scheidingstechniek. Ook bij het scheiden met centrifuges of zeefbandpersen gaat een deel van de mest en daarmee een deel van de ammoniak uit de mest verloren. Immers de natte mestkoek met de daarin nog aanwezige ammoniak moet worden afgevoerd. Uitsluitend de vloeistoffase (centrifugaat, eventueel filtraat van de zeefbandpers) met de daarin aanwezige ammoniumstikstof wordt als reagens voor de SNCR gebruikt. Het scheiden van mest brengt een elektrisch energieverbruik met zich mee van 1 tot 2,5 kWh per m³ mest, oftewel 3,6 - 9 MJ/m³ mest.

Indampen

Het indampen verschilt essentieel van de hiervoor genoemde scheidingsprocessen, zeven, centrifugeren of filtreren met behulp van zeefbandpersen. Bij het indampproces wordt water uit de mest verdampt en na afkoeling gecondenseerd. Het gevormde condensaat bevat in principe uitsluitend de vluchtige condenseerbare verbindingen uit de mest, zoals ammoniumstikstof en een deel van de vluchtige vetzuren, hoofdzakelijk azijnzuur, propionzuur. De niet vluchtige stoffen zoals zouten blijven in het mestconcentraat achter. Welke verbindingen en hoeveel van die verbindingen er in het condensaat terecht komen is onder andere afhankelijk van de samenstelling van de mest, de zuurgraad van de mest en de toegepaste indamponcondities (temperatuur en druk). Het condensaat met de daarin opgeloste verbindingen is helder dat wil zeggen vrij van deeltjes. Ook bij het indampproces wordt weer een deel van de mest, namelijk het concentraat niet als ammoniakhoudend reagens gebruikt. Immers alleen het 'schone', zoutarme ammoniakhoudende condensaat wordt in dit geval voor de SCNR gebruikt. Er treedt bij het indampen slechts een gering ammoniakverlies op.

Nadeel van indampen is het hoge verbruik aan energie (warmte): ca. 800 - 1000 MJ per m³ mest, uitgaande van een 2-traps verdamper (meer trappen besparen energie, maar vergen hogere investeringen). Het is mogelijk dat hiervoor restwarmte van een AVI kan worden gebruikt.

Combinaties van voorbereidingen

Vanzelfsprekend zijn ook combinaties van de genoemde voorbereidingstechnieken denkbaar. Bijvoorbeeld de combinatie vergisten en indampen, waardoor het resulterende condensaat meer NH₃ bevat dan wanneer de mest zonder vergisting is ingedampt. Daarbij zou het bij de vergisting geproduceerde biogas benut kunnen worden als warmtebron voor het indampen. Op dit moment voeren dit soort combinaties echter nog te ver om hier al in de beschouwing mee te nemen.

2.4.2 Invloed van de voorbereiding op het gebruik van mest als reagens

Uit het voorgaande is duidelijk dat er, met uitzondering van vergisting sprake is van verlies aan mest – een deel van de mest wordt niet gebruikt als gewenst product, maar afgevoerd als reststroom – en aan ammoniak, namelijk dat deel dat met de niet gebruikte mest wordt afgevoerd. Behalve aan ammoniak zal er bij scheiding ook altijd een deel van de organische stof verloren gaan. Dit verlies aan organische stof, dat een zekere energieinhoud vertegenwoordigt, is het grootst bij het indampproces. Bij vergisting verdwijnt ook een deel van de organische stof maar deze organische stof wordt nuttig in een brandbaar gas omgezet. Van een verlies aan energiewaarde hoeft in dit verband dus geen sprake te zijn.

Het verlies aan mest, ammoniak en organische stof is behalve van de mestsoort afhankelijk van de gekozen voorbereiding, van de daarbij toegepaste procescondities en van het al dan niet gebruiken van hulpstoffen. Om een indruk te geven van de verliezen die bij voorbereiding kunnen optreden, is er voor varkensdrijfmest een globale schatting hiervan gemaakt. De resultaten zijn indicatief. Ze zijn vermeld in tabel 3.

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

Tabel 3 Taxatie van mest-, ammoniak- en organische stofverliezen in gewichtsprocenten van de oorspronkelijke gehalten in mest

Vorbewerking	Mestverlies	Ammoniak verlies	Org. stofverlies
vergisten	< 5%	geen ¹⁾	25 à 40% ²⁾
zeven	20% à 30%	10%	50% à 60%
centrifugeren	30% à 35%	30% à 40%	60% à 70%
indampen	30%	<5%	>95%

- 1) De concentratie NH₄-N is de vloeistoffase neemt toe, door het verdampen van water en de afbraak van organische stikstofverbindingen bij vergisting.
- 2) Wordt omgezet in biogas.

Vergisting is goed te combineren met mestopslag. Mestopslag bij de verbrandingsinstallatie is toch al noodzakelijk. De consequentie van vergisting is dat het volume van de opslagtank annex vergister aanzienlijk groter moet worden. De inhoud moet gebaseerd zijn op een verblijftijd van minimaal 15 dagen. Voor het vrijkomende biogas dient bij voorkeur direct ter plaatse een toepassing worden gevonden, zodat gasopslag niet nodig is. De hoeveelheid ammoniak in de mest neemt toe (circa 10%), wat op zich gunstig is, terwijl bij het vergisten geen (of een kleine) reststroom ontstaat. Het mestverlies is in hoofdzaak een gevolg van het verdwijnen van droge stof door de afbraak van organische stof ten gunste van de biogasproductie. Het voordeel van de vergisting is dat de mest homogener, minder viskeus en meer constant van samenstelling is. Om verstopping van nozzles tegen te gaan zal ook vergiste mest een grove vooraf-scheiding moeten passeren. Wellicht is het in dit geval mogelijk om leidingfilters (strainers) toe te passen.

Afhankelijk van de gekozen maaswijdte ontstaat er bij zeven een min of meer rul, stapelbaar zeefresidu. Dit residu kan als organische meststof, eventueel na compostering, worden gebruikt. Een andere mogelijkheid is om dit residu samen met het huishoudelijke afval te verbranden.

Bij het scheiden met een decanteercentrifuge (eventueel zeefbandpers) ontstaat er een mestkoek die moet worden afgevoerd. Mogelijk kan dit residu op termijn naar een mestverwerkingsfabriek worden getransporteerd om daar tot mestprodukt te worden verwerkt.

Bij het indampen van mest moet het concentraat worden afgevoerd. Ook dit residu kan het best in een mestverwerkingsfabriek worden verwerkt. Koppeling van voorindamping aan een vuilverbrandingsinstallatie heeft synergetische voordelen. Waarschijnlijk kan goedkope afvalwarmte van de AVI voor het indamproces worden gebruikt, terwijl de stankrijke, niet condenseerbare afgassen in de verbrandingsinstallatie kunnen worden verbrand door ze als verbrandingslucht in te zetten. Omdat het ammoniakbevattende deel geen vaste deeltjes bevat, kan het condensaat zonder problemen in de oven worden geïnjecteerd. Het verlies aan organische stof kan een deel van deze optie zijn.

Tot zover was er sprake van voorbereiding bij centrale 'verwerking' op de verbrandingslocatie. Bij scheiding van drijfmest op de boerderij ontstaat een dikke en een dunne fractie. Hoewel deze dunne fractie aanzienlijk minder fosfaat bevat, mag deze vloeistof volgens de geldende mestregels toch maar beperkt op het land worden gebracht. Afzet van dunne mest op decentraal niveau vormt derhalve een belemmering voor mestscheiding op de boerderij. Derhalve kan het interessant zijn om deze dunne vloeistof als ammoniakhoudend reagens voor SNCR te gebruiken. Hierbij moet worden opgemerkt dat het verzamelen, opslaan en transporteren van deze vloeistof qua organisatie en logistiek nog steeds een grote inspanning vergt. Voor de mestscheiding op de boerderij vormt het mogelijk een stimulans.

In de toekomst ontstaan er misschien ook mogelijkheden om bepaalde voor SNCR geschikte, reststromen bij centrale mestverwerkingsbedrijven (zoals Promest te Helmond) te verkrijgen. Op dit moment is daar echter onvoldoende zicht op.

2.4.3 Conclusie voorbereiding van mest

Uit het voorgaande komt duidelijk naar voren dat er verschillende mogelijkheden zijn, waarbij voorbereiding voordelig blijkt te zijn voor het produceren van een NH_3 bevattende stroom, die als reagens voor SNCR ingezet kan worden. Deze opties zijn afhankelijk van allerlei randvoorwaarden als lokaal energietekort of -aanbod, integratie met andere lokaal uitgevoerde processen en afzetmogelijkheden van de reststoffen.

Voor directe toepassing lijkt het echter het meest voordelig om de mest enkel te zeven op grove deeltjes alvorens deze in de ketel van een AVI wordt geïnjecteerd. Voornamelijk vanwege het feit dat aldus met zo min mogelijk inspanning zoveel mogelijk van de mest verwerkt kan worden, zonder dat dit aparte reststromen oplevert.

Bij de berekeningen in dit rapport is daarom uitgegaan van het zeven van de mest op een maaswijdte van 3 mm, zodat zonder bedrijfsstoringen gedoseerd kan worden met nozzles met een diameter van 6 mm.

3 Vraag en aanbod van mest

In dit hoofdstuk wordt een beeld geschetst van de hoeveelheid mest die mogelijk via gebruik als additief in SNCR verwerkt kan worden in de Nederlandse afvalverbrandingsinstallaties. Deze hoeveelheid wordt vergeleken met de hoeveelheid mest die in Nederland vrij komt.

3.1 Hoeveelheid reagens benodigd voor SNCR

Zoals reeds besproken in hoofdstuk 2.1 is voor de reductie van NO_x een overmaat aan reagens nodig. Deze overmaat wordt weergegeven in een molverhouding NH_3/NO , ook wel DeNO_x -factor genoemd. In figuur 1 is de NO_x -reductie als functie van de DeNO_x -factor gegeven voor injectie van een NH_3 -oplossing in een temperatuurvenster van 900 - 1000 °C. Voor de injectie van mest is de afhankelijkheid tussen DeNO_x -factor en NO_x -emissie reductie af te leiden uit het onderzoek van de TU Essen naar SNCR met mest bij krachtcentrales [Weber, Gillmann, 1993].

Uit dit onderzoek komt het volgende naar voren.

De NO_x -emissie reductie in afhankelijkheid van de DeNO_x -factor is gegeven in figuur 2. Deze grafiek geldt echter onder omstandigheden die typisch zijn voor een krachtcentrale:

- Laag O_2 -gehalte rookgassen (circa 3%);
- Ruwe rookgasconcentratie van NO_x is circa 600 mg/Nm³;
- Verblijftijd van de reactanten bij de gewenste temperaturen is circa 0,5 seconden.

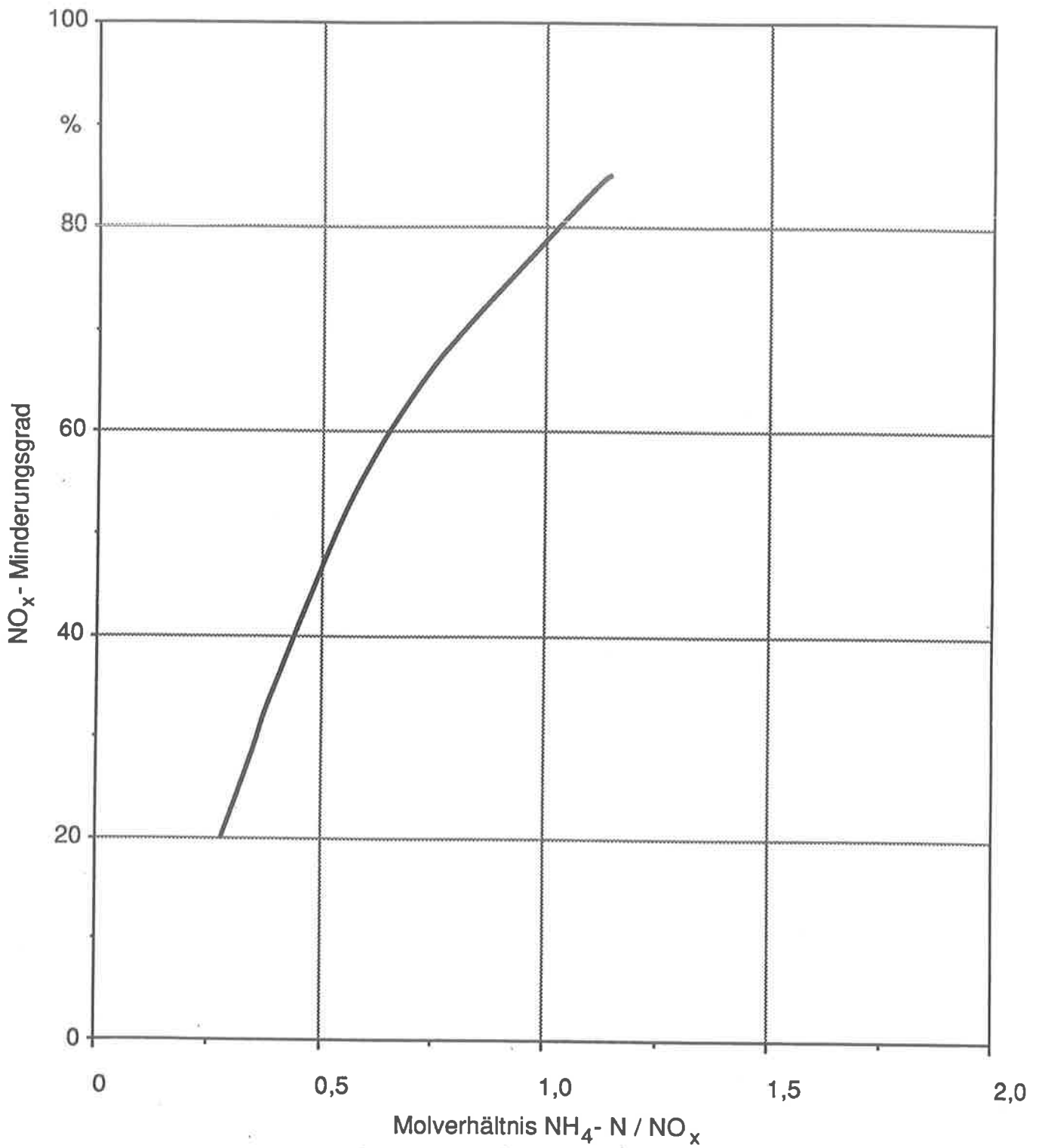
Voor de vertaling naar omstandigheden zoals die voorkomen bij AVI's, wordt AVI-Amsterdam als voorbeeld genomen. Een meer uitgebreide beschrijving van AVI-Amsterdam is gegeven in hoofdstuk 4.2. Hier wordt volstaan met het volgende:

- O_2 -gehalte rookgassen 7 - 8%;
- Ruwe rookgasconcentratie van NO_x circa 350 mg/Nm³ (betrokken op 11% O_2);
- Concentratie NO_x in de rookgassen na SNCR 70 mg/Nm³ (betrokken op 11% O_2): NO_x -reductie van 80%;
- Verblijftijd van de reactanten bij de gewenste temperaturen is circa 4 seconden.

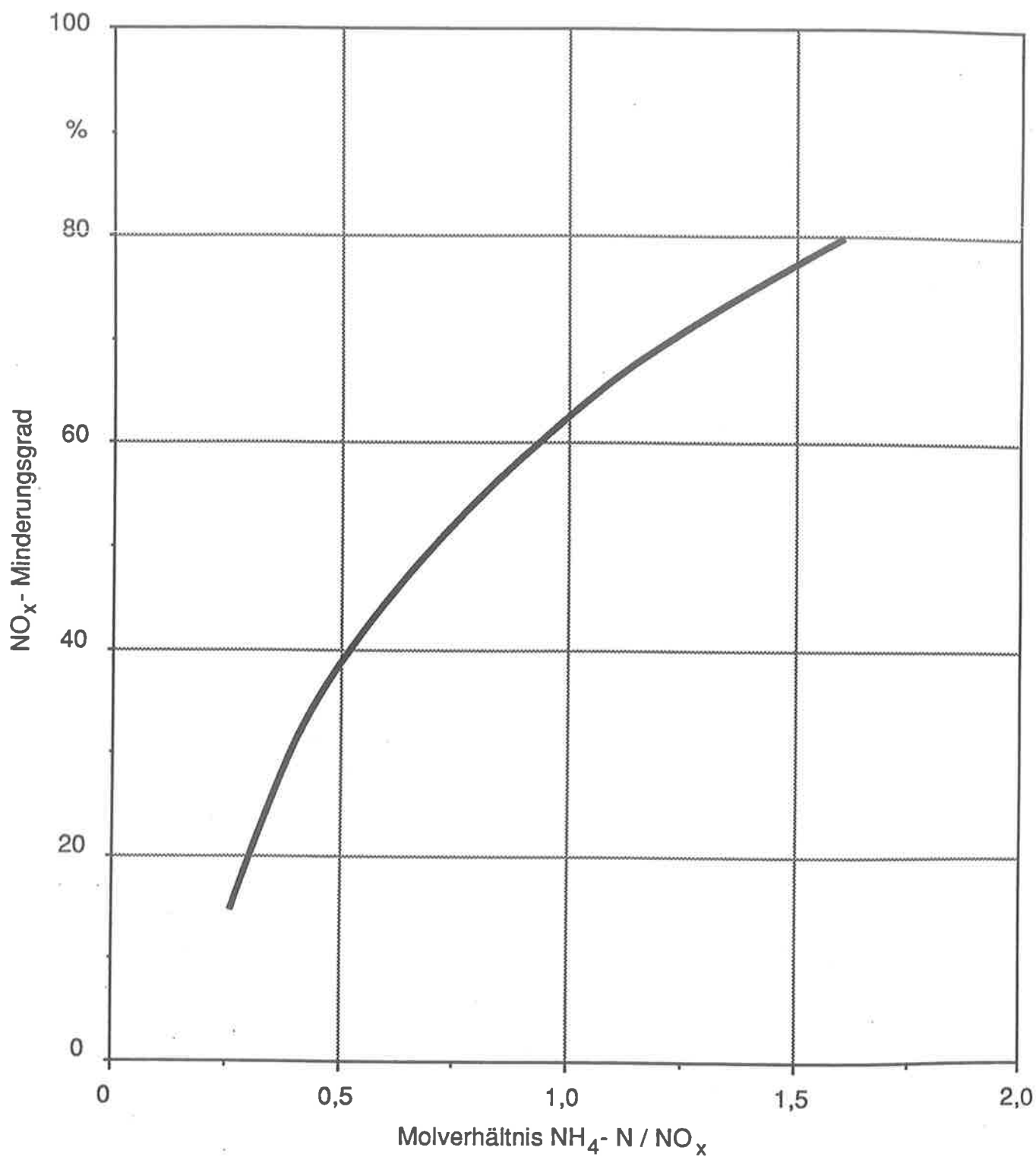
Figuur 2 laat zien dat voor de vereiste NO_x -reductie (80%) een DeNO_x -factor (molverhouding $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}$) van 1,1 nodig zou zijn onder krachtcentrale-condities.

Uit het Duitse onderzoek [Weber, Gillmann, 1993] wordt duidelijk dat de invloed van de zuurstofconcentratie behoorlijk groot is. In figuur 3 is gecorrigeerd voor deze invloed. Om een reductie van 80% te bereiken, wordt dan een DeNO_x -factor van 1,6 noodzakelijk.

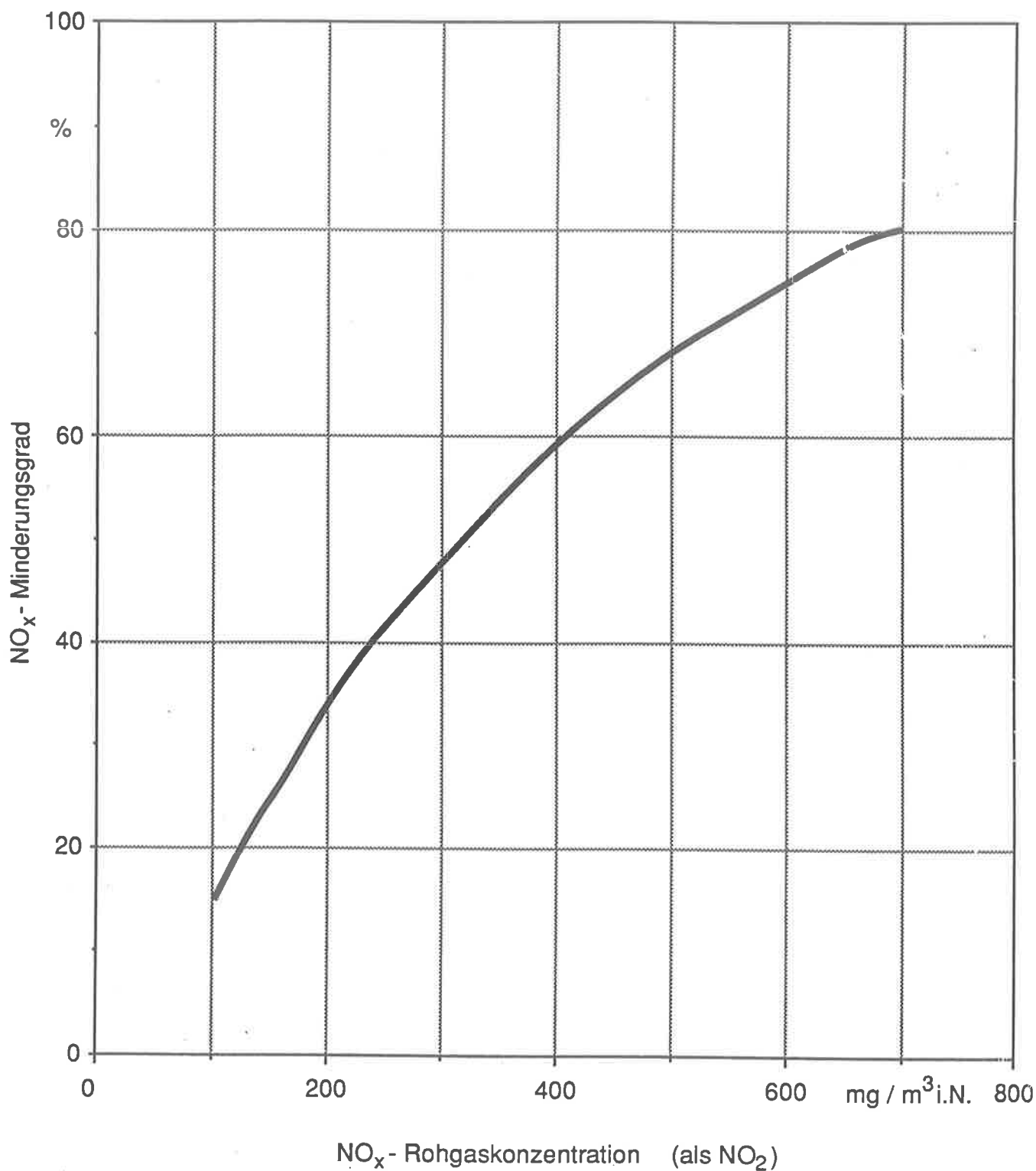
Ook het lagere niveau van de NO_x -concentratie bij AVI's ten opzichte van krachtcentrales werkt verhogend op de benodigde DeNO_x -factor: in figuur 4 is te zien dat een DeNO_x -factor van 1,2 bij een ruwe rookgasconcentratie van 700 mg NO_x per Nm³ een NO_x -reductie realiseert van 80%, terwijl bij een concentratie van 350 mg/Nm³ nog slechts een reductie van 55% gehaald wordt. Met behulp van figuur 5 kan bepaald worden dat de benodigde DeNO_x -factor 2,2 bedraagt.



Figuur 2 NO_x-reductie als functie van de molverhouding NH₄-N/NO bij gebruik van varkensdrijfmest (O₂-concentratie rookgas circa 3%)
[Weber, Gillmann, 1993]

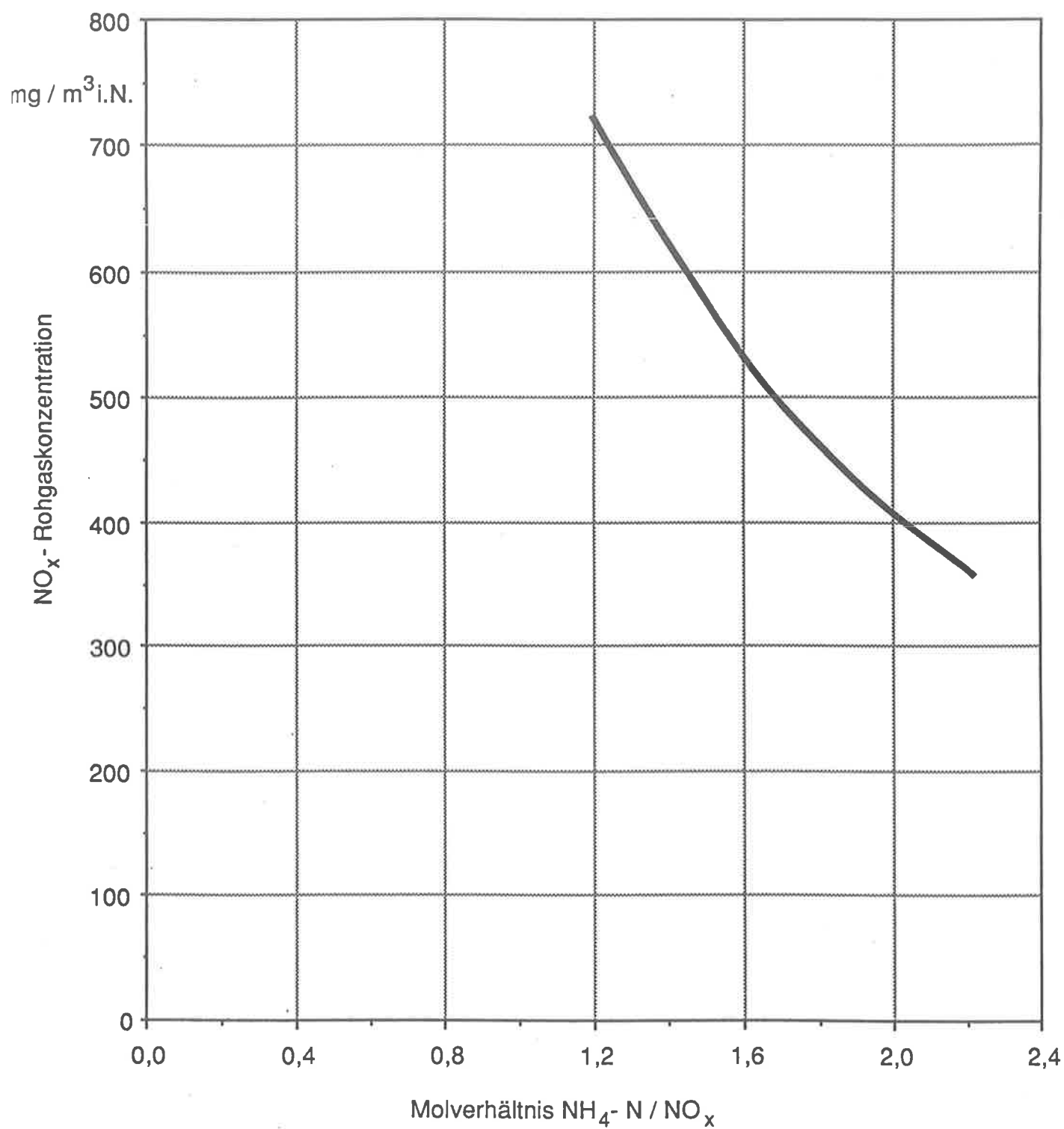
Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

Figuur 3 NO_x-reductie als functie van de molverhouding NH₄-N/NO bij gebruik van varkensdrijfmest (O₂-concentratie rookgas circa 7%) [Weber, Gillmann]



Figuur 4 NO_x-reductie als functie van de ruwe rookgasconcentratie van NO_x bij constante molverhouding (NH₄-N/NO = 1,2) [Weber, Gillmann, 1993]

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1



Figuur 5 Relatie tussen de ruwe rookgasconcentratie van NO_x en de benodigde molverhouding $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}$ bij een constante NO_x -reductie (80%)
[Weber, Gillmann, 1993]

Tenslotte heeft de langere verblijftijd van de componenten bij de gewenste temperaturen een positief effect op de efficiëntie van de reactie. Uit onderzoek [Weber, Gillmann, 1993] blijkt dat door de relatief lange verblijftijden in een AVI de DeNO_x-factor met gemiddeld 10% (maximaal 15%) verlaagd kan worden.

Uiteindelijk betekent dit dat voor de reductie van de NO_x-emissie van een AVI van 350 mg/Nm³ naar 70 mg/Nm³ een DeNO_x-factor van 2,0 nodig is.

Tot nu toe is gerekend met gegevens uit de ontwerpfase van AVI-Amsterdam. Op dit moment blijken een aantal waarden in de praktijk anders te liggen, hetgeen een behoorlijk effect op de hier getoonde berekening heeft. Zo blijkt in de praktijk het zuurstofgehalte in de rookgassen niet 7-8 vol% maar 9-11 vol%, en de NO_x-concentratie bedraagt geen 350 mg/Nm³, maar 400-500 mg/Nm³. De benodigde NO_x-emissie reductie bedraagt dan geen 80%, maar 82-86%.

Wanneer de vertaling van de ervaringen bij de krachtcentrale naar de afvalverbranding herhaald wordt met deze gegevens, dan blijkt de benodigde DeNO_x-factor ca. 2,5 te bedragen.

(Hiervoor zijn enkele afschattingen gemaakt, aangezien de figuren 3, 4 en 5 gebaseerd zijn op 7% O₂, 80% reductie en 350 mg/Nm³ ruwe rookgasconcentratie NO_x in plaats van respectievelijk 9-11%, 82-86% en 400-500 mg/Nm³.)

Aangezien echter het proces bij AVI-Amsterdam op dit moment nog niet geheel geoptimaliseerd is, wordt in dit rapport verder met een DeNO_x-factor van 2,0 gerekend op basis van de ontwerpgegevens.

Deze DeNO_x-factor geeft aan hoeveel NH₃-oplossing nodig is voor de injectie. Doordat bij AVI-Amsterdam echter het NH₃ dat ongereageerd doorslipt, afgevangen en teruggevoerd wordt, is overall voor het proces minder nodig. De hoeveelheid NH₃ die teruggewonnen kan worden is niet bekend. Uit metingen tot nu toe blijkt dat een behoorlijk deel van de overmaat verbrand of omgezet wordt. Daarom wordt hier aangenomen dat 20% van de overmaat teruggewonnen kan worden. Dit betekent dat overall een hoeveelheid mest nodig is die overeenkomt met een DeNO_x-factor van 1,8.

Met behulp van een DeNO_x-factor van 1,8 kan met de aanname over de hoeveelheid geproduceerd rookgas uitgerekend worden hoeveel additief voor SNCR nodig is per ton verbrand afval. Als aangenomen mag worden dat er per ton verbrand afval 5000 Nm³ rookgas (droog) geproduceerd wordt, betekent dit dat de hoeveelheid NO_x in de rookgassen per ton afval 1,75 kg, oftewel 38 mol (NO₂) bedraagt. De hoeveelheid benodigd NH₄-N is dan 68,4 mol per ton verbrand afval. Gerekend met de atoommassa van N betekent dit 0,96 kg NH₄-N per ton verbrand afval.

Om een indruk te krijgen van de hoeveelheid mest die aldus maximaal toegepast kan worden in Nederland zijn in tabel 4 de Nederlandse AVI's weergegeven met de afvalverwerkingscapaciteit die ze naar verwachting (Tienjarenprogramma Afval Overleg Orgaan, AOO 92-01) in het jaar 2000 zullen hebben. Behalve bestaande AVI's, die ook dan nog operationeel zullen zijn, zijn ook de geplande nieuwe AVI's weergegeven. Niet weergegeven zijn die AVI's die naar verwachting nooit SNCR toe zullen passen, omdat ze de SCR techniek (katalytische reductie) gebruiken (AVR, ROTEB) of gaan gebruiken (Alkmaar), of omdat ze in 2000 niet meer operationeel zullen zijn (Roosendaal, Den Haag). Natuurlijk is het niet op voorhand te stellen, dat al deze

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

AVI's de SNCR-techniek zullen gaan toepassen. Tabel 4 dient dan ook slechts ter indicatie van het maximale potentieel voor mestafzet via de SNCR techniek.

Tabel 4 Afvalverbrandingsinstallaties in het jaar 2000 en hun potentiële, maximale verwerkingscapaciteit van varkensdrijfmest (met SNCR)

AVI	Capaciteit voor afval in 2000 [1.000 ton/jaar] ¹⁾	Potentieel mestgebruik [1.000 m ³ /jaar] ²⁾
AVIRA Arnhem	420	61
PNEM Eindhoven	25	4
AVI-Amsterdam	700	111
Boeldershoek	180	26
Moerdijk	600	87
Maasbracht	600	87
Friesland ³⁾	65	9
Zuid-Holland ³⁾	400	58
Totaal ⁴⁾	2.990	443

- ¹⁾ Capaciteitsopgave volgens het Tienjarenprogramma Afval Overleg Orgaan (AOO 92-01). Deze capaciteitsopgave houdt rekening met enige terugval in capaciteit van bestaande installaties in verband met een verwachte toename van de calorische waarde van het huishoudelijk afval (thermische limitatie).
- ²⁾ Gerekend is met varkensdrijfmest met een NH₄-N-gehalte van 6,6 kg/m³ (dichtheid mest = circa 1.000 kg/m³) en met een DeNO_x-factor van 1,8 voor de mest (zie tekst).
- ³⁾ De locatie voor deze AVI is nog niet bekend.
- ⁴⁾ Dit is niet de totale capaciteit voor afvalverbranding in Nederland in het jaar 2000, maar de totale capaciteit die in aanmerking zou kunnen komen voor toepassingen van de SNCR techniek (met als mogelijk additief mest). De totale geplande capaciteit voor Nederland in 2000 bedraagt 5.300 kton/jaar volgens het bovengenoemde Tienjarenprogramma.

De maximale afzet van varkensdrijfmest als reagens voor SNCR in Nederland bedraagt dus voor het jaar 2000 circa 0,44 miljoen m³ per jaar. In werkelijkheid zal deze hoeveelheid natuurlijk lager liggen aangezien niet alle in tabel 4 genoemde AVI's de SNCR-techniek zullen installeren.

3.2 Mestaanbod in Nederland

3.2.1 Mestproductie en mestoverschot

De landelijke mestproductie bedroeg in 1992 volgens becijferingen van het Landbouw Economische Instituut (LEI) 82 miljoen ton, waarvan 60 miljoen ton rundermest afkomstig van melk- en mestvee. Het bruto mestoverschot, dit is het mestoverschot op bedrijfsniveau (sommatie van de mestoverschotten van alle overschotbedrijven) werd berekend op 15 miljoen ton, waarvan ruim 10 miljoen ton varkensdrijfmest, te weten mest van mestvarkens, zeugen en opfokvarkens. Dit overschot

is gebaseerd op de gebruiksnorm 200 kg fosfaat op grasland, 250 kg op maisland en 125 kg per hectare per jaar op bouwland. Het overschot zit voornamelijk in 11 concentratiegebieden (zie figuur 6).

Deze concentratiegebieden komen overeen met 11 zogenaamde LEI gebieden (indeling volgens het LEI) in Oost-, Midden-, en Zuid-Nederland.

Voor de mestaanvoer naar de afvalverbrandingsinstallaties is het netto-mestoverschot van belang. Dit is het overschot dat gegeven de gehanteerde uitgangspunten niet meer in het concentratiegebied plaatsbaar is en dus elders afgezet, danwel verwerkt en/of geëxporteerd moet worden. In de tabellen 5 en 6, ontleend aan een notitie van de Stichting Landelijke Mestbank [SLM; 1991] zijn de mestproductiecijfers uit de 11 concentratiegebieden per regio en per mestsoort vermeld.

Door samenvoeging van de netto-overschotten van de verschillende LEI-gebieden wordt per regio en per diersoort een indruk verkregen van de overschotmest die uit deze gebieden moet worden afgevoerd. Dit is in tabel 6 vermeld.

De eerste vijf gebieden in tabel 5 zijn samengevat onder Regio Oost in tabel 6, terwijl de overige gebieden Regio Zuid vormen.

Tabel 5 De mestproductie, het bruto-overschot en het netto-overschot per concentratiegebied voor 1992 (x 1.000 ton)

Gebied	Mestproductie (* 1.000 ton)	Mestoverschot	
		Bruto (* 1.000 ton)	Netto (* 1.000 ton)
Salland-Twente	8.085	1.280	87
Noordoost Veluwe	2.006	320	13
West Veluwe	3.509	1.533	1.264
Achterhoek	7.104	1.215	226
Oost Utrecht	1.313	202	79
West Kempen	2.836	723	144
Maaskant Meyerei	5.646	1.952	833
Oost Kempen	2.715	859	285
Peel/Land v Cuyk	5.979	2.567	1.647
West Nrd-Limburg	3.343	1.598	932
Nrd-Lb Maasoever	1.484	457	76
totaal	44.020	12.706	5.586

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

Figuur 6 Concentratiegebieden mestoverschot

Tabel 6 De netto-mestoverschotten per diersoort, per regio en totaal voor 1992 (x 1.000 ton)

Diersoort	Regio Zuid	Regio Oost	Totaal
runderdrijfmest	0	87	87
kalvergier	0	76	76
kalvergier (kgbi) ¹⁾	0	360	360
varkensdrijfmest	2.734	535	3.269
zeugenmest	199	188	387
pluimveedrijfmest (nat)	583	260	843
pluimveemest (droog) ²⁾	362	163	525
Totaal	3.878	1.669	5.547

¹⁾ Kalvergierbewerkingsinstallaties.

²⁾ Inclusief moederdieren, slachtkuikens en kalkoenen.

Uit de gegevens blijkt dat het hier om een netto-overschot van circa 5,5 miljoen ton mest gaat, waarvan ruim 70% uit de regio Zuid afkomstig is. Opgemerkt wordt dat het hier om berekende mestoverschotten gaat. De uitkomst is sterk afhankelijk van de gebruikte uitgangspunten. De cijfers zijn derhalve indicatief. De werkelijke overschotten die veehouders afvoeren kunnen ontleend worden aan de registratie van de afleveringsbewijzen bij de Stichting Landelijke Mestbank. Voor 1992 is de uitkomst hiervan nog niet beschikbaar.

3.2.2 Mestafzet (aanbod)

Zoals reeds is opgemerkt moet het mestoverschot dat niet in de regio's kan worden afgezet (netto-overschot) buiten deze regio's een bestemming krijgen. Een belangrijke oplossing voor de overschotmest is de distributie van mest naar (meestal veraf gelegen) akkerbouwgebieden (bijvoorbeeld Groningen en ZW-Nederland). Een deel van de mest (met name de drogere, zogenaamde stapelbare mest) wordt geëxporteerd, terwijl een ander deel wordt verwerkt tot exporteerbare mestprodukten [Zeevalkink et al; 1992].

In een recente publikatie [SLM; 1993a] van de Stichting Landelijke Mestbank is de afvoer van mest uit de 11 concentratiegebieden per mestsoort naar de verschillende bestemmingen in 1991 vermeld. Deze gegevens zijn in tabel 7 opgenomen.

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

Tabel 7 Uitvoer vanuit elf concentratiegebieden per mestsoort naar bestemming in 1991 [SLM; 1993a]

Mestsoort	Totaal geleverd door veehouders in concentratiegebieden	Uitvoer uit concentratiegebieden	Naar verwerking	Naar buitenland	Naar binnenland
	(ton/jaar)	(ton/jaar)	(ton/jaar)	(ton/jaar)	(ton/Jaar)
Vaste rundermest	72.863	5.430	0	1.865	3.565
Runderdrijfmest	1.619.079	256.475	2.255	8.445	245.775
Kalvergier ¹⁾	716.248	384.762	249.180	5.497	130.085
Pluimveemest (droog)	725.056	559.730	98.860	93.176	367.694
Pluimveedrijfmest	870.270	612.181	166	7.182	604.833
Vaste varkensmest	28.661	4.424	504	115	3.805
Varkendrijfmest	3.961.217	1.550.563	45.582	35.628	1.469.353
Fokzeugenmest	2.305.838	427.897	108	23.846	403.943
Totaal (ton mest)	11.514.038	3.830.970	400.435	189.435	3.241.100

¹⁾ De hoeveelheid kalvergierslib, die is afgezet in de concentratiegebieden, is verrekend met de kalvergier, die uit deze gebieden is afgevoerd.

De in deze tabel gegeven hoeveelheden zijn werkelijke hoeveelheden, verkregen op basis van de geregistreerde afleveringsbewijzen. De tabel laat zien dat er door de veehouders in de concentratiegebieden 11,5 miljoen ton mest is aangeleverd. Uit dezelfde publikatie blijkt dat door de veehouders in geheel Nederland in datzelfde jaar 14,2 miljoen ton mest is afgevoerd voor toepassing elders. Opgemerkt wordt dat niet alle afgevoerde mest geschikt is om als ammoniakbron bij de SNCR te worden gebruikt (zie hoofdstuk 2.3). Met name de vaste en stapelbare mestsoorten, alsmede de hele dunne mest (bijvoorbeeld kalvergier) zijn niet geschikt. Dit laatste vooral omdat het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte laag is. (Voor dit mesttype bestaat overigens een goede verwerkingsmogelijkheid). Er resteert derhalve vooral drijfmest van varkens, runderen en kippen. Hiervan is ruim 2,4 miljoen ton uit de concentratiegebieden afgevoerd.

De hoeveelheid varkendrijfmest die afgevoerd is uit de concentratiegebieden en elders in Nederland afgezet wordt, bedraagt 1,5 miljoen ton per jaar. Dit betreft echter alleen de mest die geregistreerd is bij uitvoer uit de regio. Een beter beeld van het netto-overschot aan varkendrijfmest wordt gegeven door tabel 6; 3,27 miljoen ton. Gerelateerd aan de schatting van het maximale potentieel voor gebruik als reagens in AVT's (0,44 miljoen ton) leert dat toepassing als reagens voor SNCR voor deze mestsoort een belangrijke afzetmarkt kan zijn.

De komende jaren gaan de gebruiksnormen voor bemesting van akkerland sterk omhoog (mestakkoord, 13 mei 1993) waardoor de hoeveelheid mest op de mestmarkt aanzienlijk toeneemt. De voorgestelde normen van 110 kg fosfaat voor bouw- en maisland en 150 kg per hectare per jaar voor grasland met ingang van 1995 zijn aanzienlijk lager dan de normen van 1992. (Middels een maximale gewichtsverhouding $\text{N/P}_2\text{O}_5$ van 2 in de mest is ook de hoeveelheid N-verbindingen die op het land terecht mag komen gelimiteerd).

3.3 Mestlevering aan afvalverbrandingsinstallaties

De levering van mest aan afvalverbrandingsinstallaties als ammoniakbron voor de SNCR kent een aantal aspecten, die in deze paragraaf worden besproken. Dit betreft de organisatie van de mestaanlevering, de logistieke gevolgen en de bijdrage van deze gebruiksoptie aan de oplossing van het mestoverschottenprobleem.

Logistiek

Mest moet van het dichtstbij gelegen overschotgebied naar de afvalverbrandingsinstallatie worden getransporteerd en daar worden opgeslagen. De opslagcapaciteit zal minimaal gelijk moeten zijn aan de verwerkingscapaciteit van drie dagen (bij voorkeur langer). De mest wordt met tankauto's aangevoerd. Deze wagens hebben een laadruimte van 36 m³. Voor het transporteren van mest is voldoende transportmaterieel beschikbaar. Er zijn in Nederland 138 door de mestbank geautoriseerde bedrijven (mestdistributeurs) die mesttransporten uitvoeren in het kader van de kwaliteitspremieregeling van de mestbank. Samen beschikken deze bedrijven over circa 360 tankauto's. Na aflevering van de mest, rijden de auto's leeg terug. Als er een voorbewerking van de mest op de verbrandingslocatie plaatsvindt, moet er rekening worden gehouden met retourvracht. Immers uit tabel 3, paragraaf 2.4.2 blijkt dat in het slechtste geval ruim een derde deel van de mest op gewichtsbasis als residu moet worden afgevoerd. Een probleem hierbij is dat door de voorbewerking het stromingsgedrag van de mest sterk is veranderd, waardoor het transport van het residu waarschijnlijk niet met hetzelfde type transportauto kan worden afgevoerd. Dit speelt niet wanneer het restant na voorbewerking van de mest meeverbrand wordt in de AVI. Dat gaat dan weer ten koste van de capaciteit voor afvalverbranding, hoewel het kleine hoeveelheden betreft. Deze aspecten pleiten er voor om de voorbewerking van de mest tot het absolute minimum te beperken. In het geval dat in de toekomst de verbrandingsinstallatie en de mestverwerkingsfabriek aan elkaar zouden zijn gekoppeld, zou het probleem van residu-afvoer uiteraard in veel mindere mate spelen. De logistieke consequenties zijn dan uiteraard gering. In een aantal gevallen wordt de koppeling van een mestverwerkingsfabriek aan een verbrandingsinstallatie overwogen, zoals in Duiven, Boeldershoek en Maasbracht.

Van de in tabel 4 genoemde verbrandingsinstallaties kan worden gezegd dat zij binnen de huidige mestafzetgebieden liggen; met andere woorden wanneer de mest naar de AVI gebracht moet worden, verandert er weinig in de transportroutes. Dit impliceert dat voor de aanvoer van de mest naar de verbrandingsinstallaties bij benadering dezelfde afstanden moeten worden afgelegd. Op dit moment bedraagt de gemiddelde transportafstand voor varkensdrijfmest, die via de kwaliteitspremieregeling is afgezet vanuit het overschotgebied, 165 km (enkele reis). De locatie van de diverse AVI's ten opzichte van deze overschotgebieden is dusdanig dat voor de afzet van mest aan de AVI's deze transportafstand zeker niet zal toenemen, maar naar verwachting lager zal worden.

De Stichting Landelijke Mestbank beschikt over een tariefstelsel voor transportvergoedingen in het kader van het kwaliteitspremiëringssysteem (KPS). De tarieven zijn afhankelijk van transportafstand en mestsoort. Het drogestofgehalte van de mest is belangrijk voor het vaststellen van de premie in het kader van het kwaliteitspremiëringssysteem. Dit systeem is bedoeld om het lange afstand transport van kwalitatief goede drijfmest (mest met een hoog drogestofgehalte) naar de akkerbouwgebieden te

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

bevorderen. Het KPS-systeem komt met ingang van 1995 te vervallen. Verwacht wordt dat daarvoor een soortgelijk systeem in de vorm van verevening via een mestbureau in de plaats komt, dat wil zeggen dat bij korte afstanden een klein bedrag moet worden afgedragen, terwijl bij lange afstanden een toeslag wordt verstrekt. Komt dit collectief er niet dan zal mestaanlevering via individuele distributeurs en mestcoöperaties kunnen plaatsvinden. Het omslagpunt bijbetaling/vergoeding komt bij 170 km (enkele reis) te liggen.

De onderstaande gegevens geven een indruk van de transportkosten per ton mest (exclusief BTW) als functie van de transportafstand (enkele reis, leeg terug):

- 75 - 80 km *f* 11,-
- 150 - 160 km *f* 18,75
- >240 km *f* 23,25

Verwacht wordt dat de veehouder bereid zal zijn deze transportkosten voor zijn rekening te nemen. Gezien de kosten van andere mestverwerkingsroutes (die in sommige gevallen geraamd worden op *f* 30,- tot *f* 40,-) is bijbetaling van *f* 10,- tot *f* 30,- afhankelijk van de transportafstand, niet uitgesloten.

Organisatie

Uit het voorgaande is duidelijk dat er op elke locatie met een verbrandingsinstallatie over voldoende mest kan worden beschikt.

Voor de aanlevering van mest is de opzet van een goede organisatie vereist. De aanvoer van voldoende mest van de goede samenstelling op het juiste tijdstip moet immers worden gegarandeerd. Met name in het voorjaar is de vraag naar mest groot (zie figuur 7). Ook in deze periode moeten de verbrandingsinstallaties over voldoende mest kunnen beschikken.

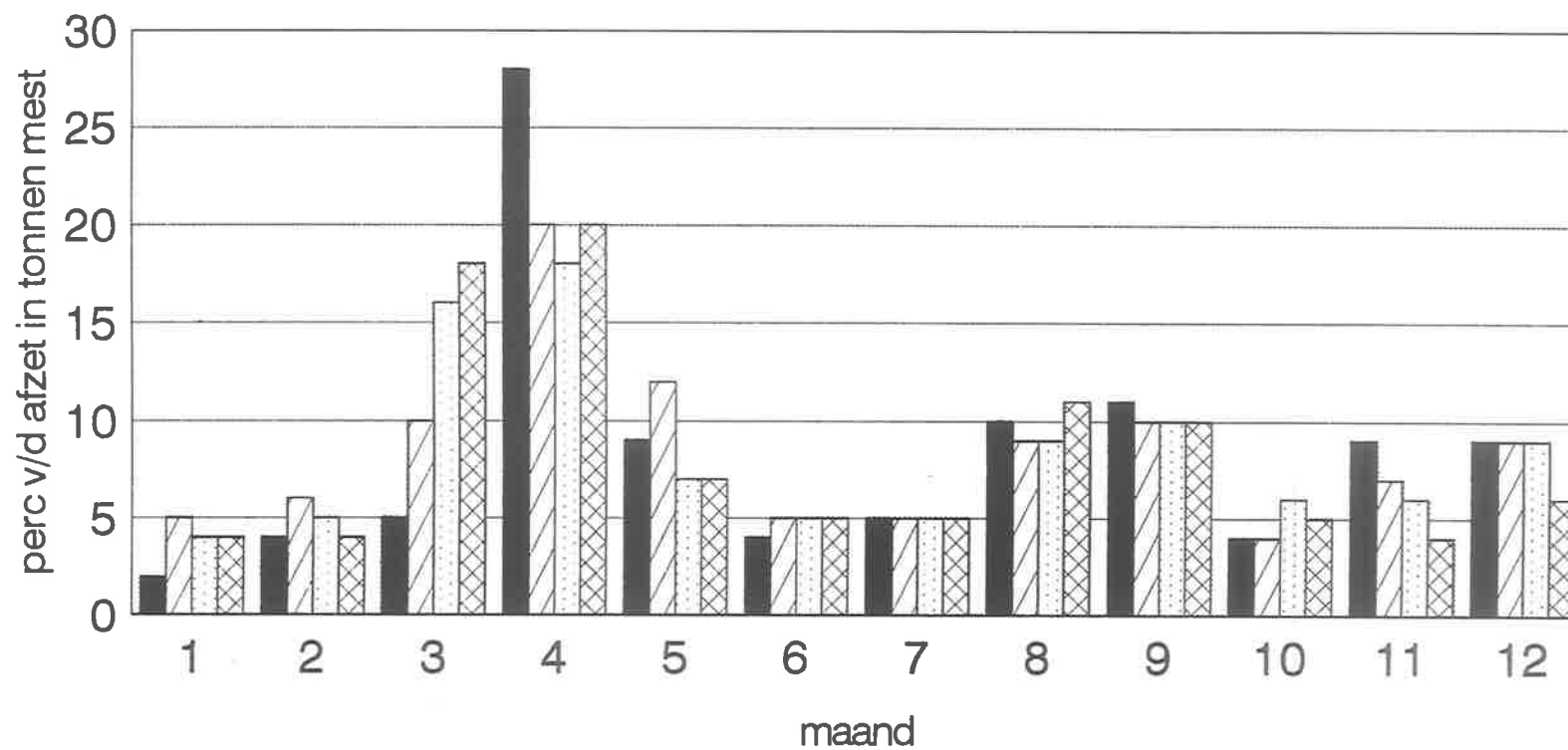
Voor een goed georganiseerde aanvoer is het noodzakelijk dat er leveringscontracten met een mestorganisatie worden afgesloten. Dit kan zijn de (regionale) mestbank of een mestcoöperatie annex mestbureau. De mestorganisatie sluit op haar beurt contracten af met de veehouder, waarin de mestafvoer wordt geregeld.

In een contract tussen mestorganisatie en afvalverbrander moeten afspraken worden gemaakt over de prijs, de hoeveelheid en de kwaliteit van de mest en de leveringstijdstippen. Een voorbeeld van een dergelijke overeenkomst is te vinden in een publikatie van de Stichting Landelijke Mestbank [SLM; 1993b].

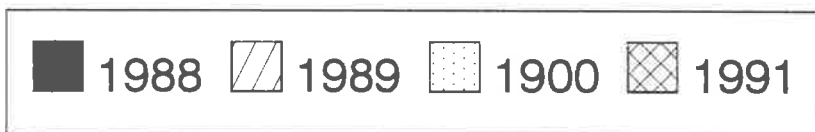
Ook in het kader van centrale mestverwerking moeten dergelijke contracten voor de aanlevering van mest worden afgesloten. Mestverwerkingsfabrieken moeten immers ook gedurende minimaal tien jaar over een gegarandeerde mestaanvoer kunnen beschikken. Vanwege de hoge kosten van mestverwerking moet de mestaanvoer worden veiliggesteld door middel van een contract met een collectief (mestbureau, mestcoöperatie, distributeurs). Het garanderen van langdurige mestaanvoer is derhalve een belangrijk aandachtspunt als wordt overwogen om mest als ammoniakbron voor de SNCR te gebruiken. Op dit punt kan gebruik worden gemaakt van de ervaring die in het kader van centrale mestverwerking is en nog wordt verkregen. Met deze centrale mestverwerking zou in de toekomst wat dit betreft samengewerkt kunnen worden, zeker als zou blijken dat een van de deelstromen die hierbij ontstaan, geschikt is voor gebruik als additief voor SNCR.

AFZET PER MAAND

alle gronden



Figuur 7 Seizoensinvloed mestafzet



Bijdrage aan de mestoverschottenproblematiek

In paragraaf 3.1 is berekend dat er uitgaande van een ammoniakgehalte van 6,6 kg per m³ mest 440.000 m³ per jaar in het jaar 2000 als ammoniakbron voor SNCR nodig is. Bij een lager gehalte aan ammoniak en/of verlies van ammoniak bij de eventuele voorbereiding van de mest is uiteraard meer mest nodig.

Op basis van een netto-mestoverschot van 5,5 miljoen ton in 1992 kan dit een bijdrage (tot 8%) aan het wegwerken van het overschot betekenen.

Hoe dit beeld er in het jaar 2000 uit komt te zien is nog onzeker. Verwacht wordt dat door het aanscherpen van de gebruiksnormen het bruto-overschot zal stijgen. Op te merken valt in dit verband dat het aandeel aan runderdrijfmest zal toenemen. Uit een analyse van TNO-Heidemij [Zeevalkink, e.a.; 1992] volgt voor 1995 een berekend overschot van ruim 2 miljoen ton rundermest. Voor 2000 geeft het scenario met de gebruiksnormen 90, 75 en 70 kg fosfaat (P₂O₅) per hectare voor respectievelijk gras-mais- en bouwland een overschot van bijna 9 miljoen ton rundermest op een geraamd totaal bruto-overschot van 24 miljoen ton. Door de toenemende druk op de mestmarkt zal het steeds moeilijker worden om deze overschotten af te zetten. De positie van rundermest op de distributiemarkt is bovendien onzeker. Er moet dan ook rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat in de toekomst ook rundermest moet worden verwerkt [Anonymus; 1993].

Welk werkelijk netto-overschot uiteindelijk resulteert is afhankelijk van diverse factoren zoals verlaging van het mineralengehalte in het veevoer en mogelijk inkrimping van de veestapel. Het netto-overschot zal via distributie, verwerking en export moeten worden afgevoerd. De mogelijkheden hiervan zijn nog onzeker. De optie om de mest te distribueren over Nederland biedt weinig extra ruimte; de export is beperkt tot de drogere mestsoorten (minder volume en gewicht: lagere transportkosten) en mestverwerking komt moeilijk tot zeer moeilijk van de grond. Bovendien blijkt mestverwerking een relatief hoog kostenniveau te hebben. Mede gelet daarop kan dan ook worden gesteld dat de afzet van dierlijke mest als ammoniakbron voor SNCR, mits technisch haalbaar, in de toekomst een belangrijk verwerkingsproces voor mest kan zijn. Dit ondanks het feit dat door de groter wordende mestoverschotten en het beperkte potentieel van de AVI's het relatieve aandeel in de verwerking van de mestoverschotten zal afnemen.

4 Invloed mest op afvalverbranding (AVI-Amsterdam)

4.1 Beschrijving AVI-Amsterdam

In december 1986 werd besloten tot de bouw van deze afvalverbrandingsinstallatie (AVI) bij Amsterdam, met als streven de in-bedrijf-stelling per 1 januari 1993 te realiseren. Gestart werd met de voorwaarde dat de emissies zouden voldoen aan de eisen van de TA-Luft 1986 en dat geen afvalwater zou worden geloosd. Halverwege de realisatie (1989) werd besloten de rookgasreiniging uit te breiden zodat voldaan kan worden aan de inmiddels door de overheid opgestelde eisen van de Richtlijn Verbranden 1989 (nu vastgelegd in het Besluit Luchtemissies Afvalverbranding (BLA)). In tabel 8 worden de emissiewaarden van de TA-Luft 1986 vergeleken met de BLA en de te verwachten bedrijfswaarden.

Tabel 8 *Vergelijking emissiegrenswaarden TA Luft 1986 en BLA (Besluit Luchtemissies Afvalverbranding) met de verwachte bedrijfswaarden van AVI-Amsterdam [Wandschneider, 1992]*

Component	TA-Luft 1986	BLA 1993	verwachte bedrijfs- waarden
Emissies in mg/Nm ³ , droog, bij 11% O ₂	1)	2)	2)
stof	30	5	< 2
HCl	50	10	< 3
HF	2	1	< 0,5
SO ₂	100	40	< 20
NO _x (als NO ₂)	500	70	< 70
CO	100	50	< 30
C _x H _y (als C)	20	10	< 5
Zware metalen:			
- Hg		0,05 ³⁾	< 0,03
- Cd		0,05 ³⁾	< 0,03
- Hg+Cd+Pb	0,2		
- Pb+Sb+Cr+Cu+Mn+V+Sn	5		
- As+Co+Ni+Se+Te	1		
- som As t/m V ⁴⁾		1	< 0,5
PCDD/F in ngTEQ/Nm ³ 4)	-	0,1	< 0,1

1) Daggemiddelde.

2) Uurgemiddelde.

3) Gemiddelde over monsternametijd.

4) TEQ = toxiciteits equivalent van 2,3,7,8-tetrachloor-dibenzo-paradioxine.

Hieronder wordt een kort beschrijving van de installatie-onderdelen gegeven. Een processchema van AVI-Amsterdam is gegeven in figuur 8.

Oven

De oven van de installatie is van het type roosteroven en is voorzien van een tegenloop-overschuifrooster van de firma W+E uit Zwitserland. Dit is een horizontaal rooster, opgebouwd uit roosterstaven die om en om met elkaar verbonden zijn. Deze roosterstaven bewegen tegen elkaar in zodat het afval, terwijl het door de oven getransporteerd wordt, goed gemengd wordt. Door het rooster wordt van de onderkant de primaire verbrandingslucht geblazen (zie figuur 9). Afval of slakken, die door het rooster vallen, worden opgevangen en afgevoerd met de overige slakken. Na uitbranden op het rooster worden de slakken gekoeld en gewassen waarna ijzer en non-ferro metalen afgescheiden worden. Per ton verbrand afval worden zo ongeveer 280 kg slak, 30 kg schroot en 2,5 kg non-ferro metalen geproduceerd. Al deze stoffen worden hergebruikt (slakken voornamelijk in de wegenbouw).

De vuurhaard heeft een zogenaamde middenstroomgeometrie. In de vuurhaard wordt ervoor gezorgd dat de verbrandingsgassen goed gemengd worden met lucht (zuurstof) zodat een goede uitbrand (in de oven en het eerste deel van de ketel) mogelijk wordt.

Ketel

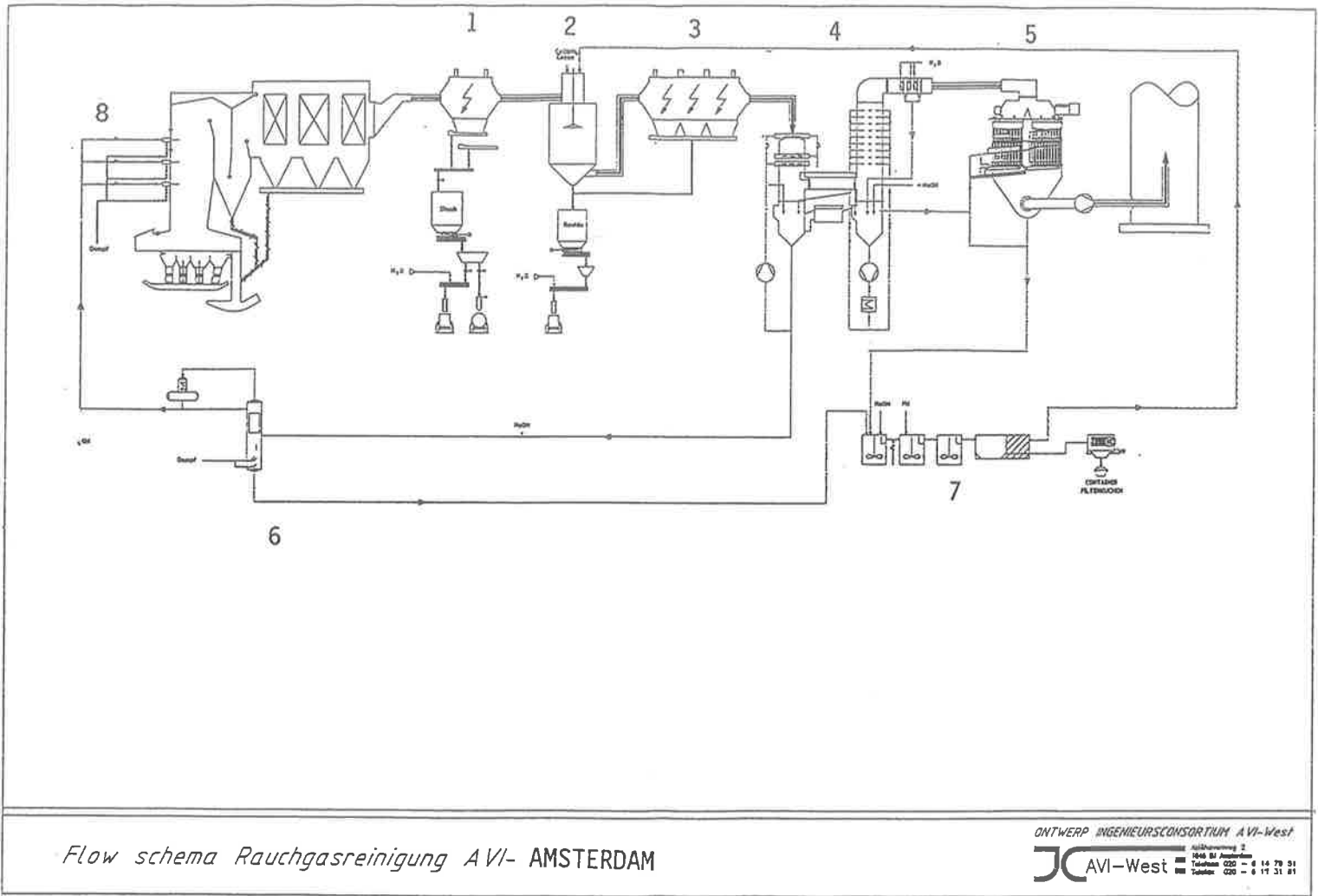
In de ketel worden de rookgassen afgekoeld en wordt stoom geproduceerd van 43 bar en 415 °C. Het stralingsgedeelte van de ketel (met warmte-overdracht naar de membraanwanden door straling) bestaat uit 3 lege trekken. Het convectieve deel van de ketel (waar de rookgassen om de ketelpijpen heen stromen en de warmteoverdracht door convectie plaatsvindt) is horizontaal uitgevoerd, dat wil zeggen dat de stroomrichting van de rookgassen horizontaal is. De ketelpijpen (waar de stoom doorstroomt) zijn vertikaal geplaatst. Deze configuratie heeft als voordeel dat reiniging van de ketelpijpen door deze automatisch te kloppen, goed en goedkoop kan gebeuren.

De vuurhaard is dermate ruim bemeten dat lage rookgassnelheden gehanteerd kunnen worden. Dit heeft een relatief lange verblijftijd (4-5 seconden) tot gevolg hetgeen een goede uitbrand van de gassen bevordert. Door de lage gassnelheden wordt ook de hoeveelheid stof die door de rookgassen meegevoerd wordt, beperkt.

In het stralingsdeel van de ketel (warmteoverdracht door straling naar de wand) worden de rookgassen afgekoeld tot 650 °C alvorens de gassen in het convectiedeel arriveren. In dit convectiedeel daalt de temperatuur verder tot circa 200 - 230 °C. De gassnelheden in dit deel van de ketel zijn een stuk hoger om een korte verblijftijd (< 2 seconden) te realiseren in het temperatuurtraject 400 - 250 °C. Dit omdat bekend is, dat een lange verblijftijd in dit temperatuurtraject de vorming van dioxinen (PCDD/F: polychloor-dibenzo-para-dioxinen en -furanen) bevordert [onder andere Karasek, Dickson, 1987; Vogg, Merz, 1990].

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

PROCESSHEMA AVI-WEST



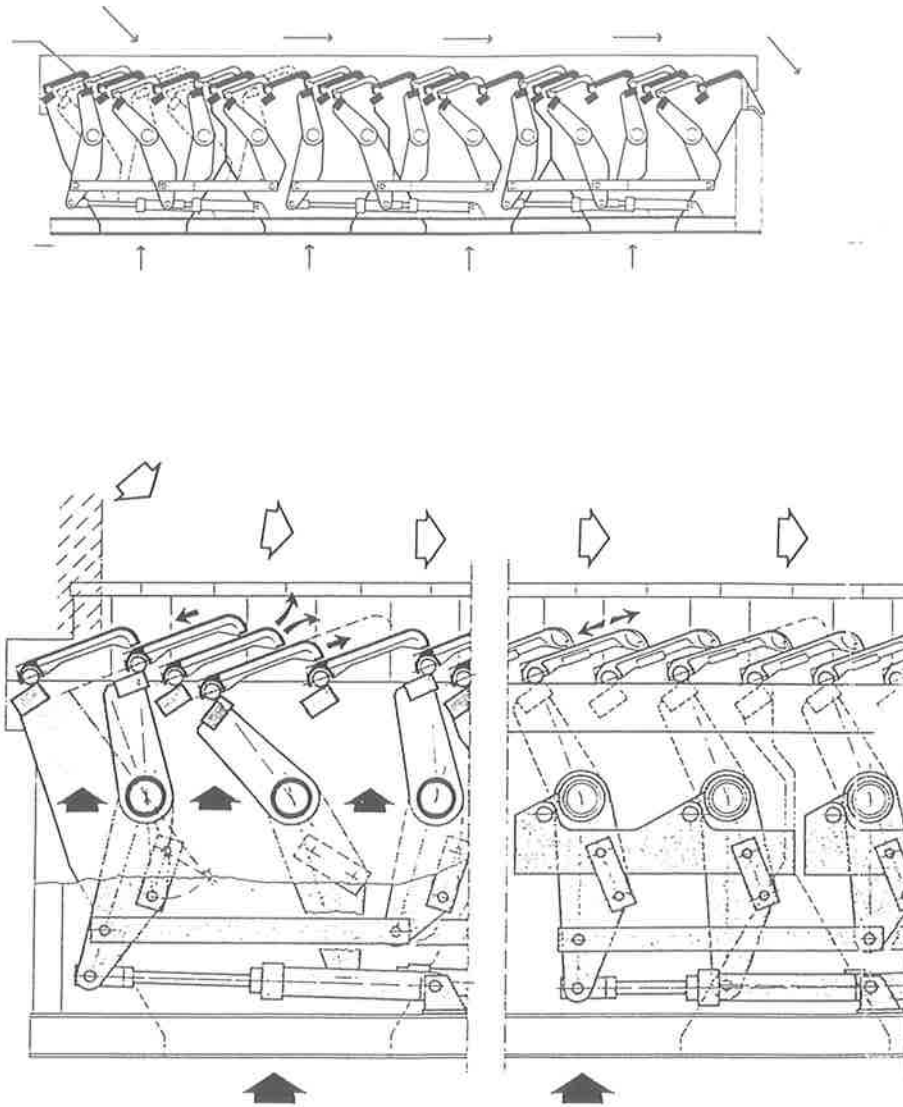
Flow schema Rauchgasreinigung AVI- AMSTERDAM

ONTWERP INGENIEURSCONSORTIUM AVI-West
 1046 SA Amsterdam
 Telefoon 020 - 6 14 79 51
 Telefax 020 - 6 11 31 81

Verklaring

1. Voorafscheider (E-filter)
2. Sproeiabsorber
3. 3-velde E-filter
4. 2-traps natte wassing
5. Electro-dynamische venturi
6. Stripper
7. Afvalwaterzuivering
8. SNCR-Ammoniakinspuiting

Figuur 8 Processchema AVI-Amsterdam



Figuur 9 Schema roosteropbouw AVI-Amsterdam

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

In de eerste trek van de boiler zijn op drie hoogtes inspuitniveaus aangebracht waar NH_3 geïnjecteerd kan worden. Deze niveaus bevinden zich ongeveer op 10, 15 en 17 meter boven het rooster. De totale hoeveelheid die geïnjecteerd wordt is afhankelijk van de hoeveelheid rookgassen, waarbij een rookgasconcentratie van 350 mg/Nm^3 voor NO_x aangenomen wordt. De toegepaste stoichiometrie voor de bepaling van de hoeveelheid NH_3 bedraagt ca. 5 (ontwerpgegevens). Dit komt bij een nominale capaciteit van 4 maal 28 ton afval per uur (4 units) neer op $1,4 \text{ m}^3$ (25 gew%) NH_3 per uur, oftewel 9800 m^3 per jaar. De verdeling over de niveaus is afhankelijk van de temperatuur ter plaatse, waarbij zoveel mogelijk gestuurd wordt op injectie in een temperatuurtraject van $900 - 1000 \text{ }^\circ\text{C}$. In principe is 1 inspuitniveau voldoende om de benodigde NO_x -emissie reductie te bereiken. Bij normaal bedrijf wordt in hoofdzaak het middelste inspuitniveau gebruikt. Bij toplast of deellast kan de injectie (deels) naar respectievelijk het bovenste of onderste niveau verschuiven.

Per inspuitniveau zijn 12 nozzles aangebracht via welke de ammoniakoplossing (25%) met behulp van 4 bar stoom geïnjecteerd wordt in de rookgasstroom. De opstelling van de nozzles (zie figuur 10) moet daarbij voor een homogene verdeling van de ammoniak over de rookgasstroom zorgen.

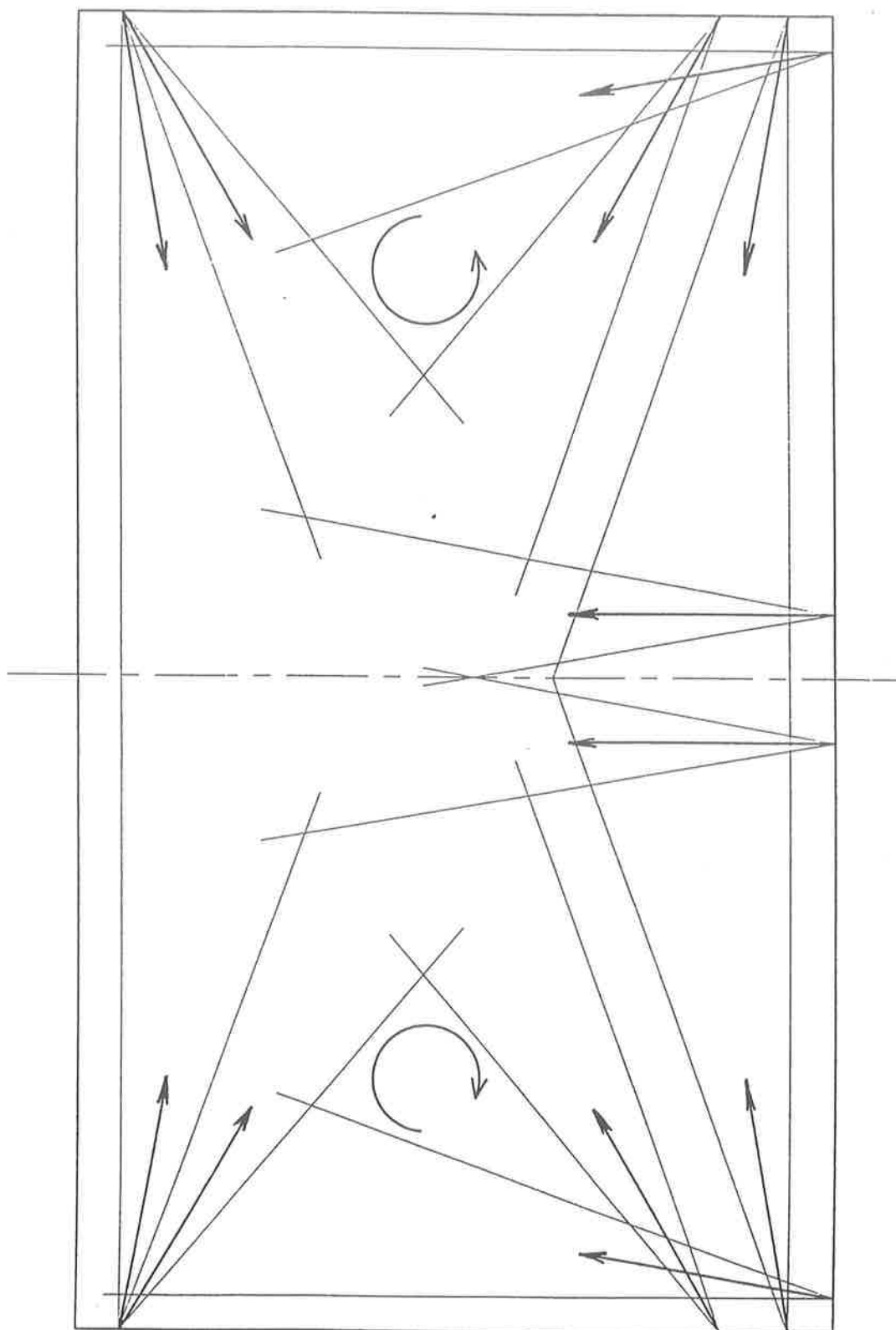
Als hulpstof voor de injectie van de ammoniakoplossing heeft stoom de voorkeur gekregen boven perslucht, omdat de stoom een hogere temperatuur heeft waardoor de kans op het ontstaan van koude plaatsen in de rookgasstroom kleiner is. Dergelijke koude plaatsen moeten vermeden worden, om te voorkomen dat op die plekken de verbranding niet volledig verloopt, met als gevolg een verhoogde emissie van CO en onverbrande koolwaterstoffen (C_xH_y).

Rookgasreinigingssysteem

Het rookgasreinigingssysteem bij AVI-Amsterdam bestaat in feite uit twee delen. Dit is een gevolg van de veranderde eisen aan de emissies tijdens de bouw- en ontwerpfasen (zie begin van dit hoofdstuk). Het eerste deel was oorspronkelijk bedoeld om te voldoen aan de TA-Luft uit 1986. Het bestaat achtereenvolgens uit een voorafscheider (1-velds elektro-filter), een sproei-adsorber, waarin kalkmelk gedoseerd wordt, een hoofdelektrofilter (3-velds), een zuig-trek ventilator en een schoorsteen. In dit ontwerp was al rekening gehouden met een eventuele toekomstige uitbreiding door tussen het hoofdelektrofilter en de ventilator voldoende ruimte open te laten voor extra rookgasreinigingselementen.

Door de komst van de Richtlijn Verbranden 1989 is het tweede deel van het huidige rookgasreinigingssysteem toegevoegd en zijn een paar wijzigingen aan het eerste deel doorgevoerd. Het tweede deel bestaat uit een 2-traps natte wasser (1^e trap zuur milieu: pH 1-2, 2^e trap neutraal milieu: pH 6-7) en een elektrodynamische venturiwasser. Daarbij is ook in de tweede stap de eerder beschreven SNCR-techniek toegevoegd alsmede de toevoeging van actieve kool (Herdofenkoks) aan de kalkmelk voor dosering in de sproei-adsorber.

Het afvalwater uit de wasser-sectie wordt geneutraliseerd, gereinigd van vaste bestanddelen en zware metalen en gestript met stoom om de geabsorbeerde ammoniak terug te winnen. Deze teruggewonnen ammoniak wordt weer gebruikt bij de SNCR techniek. Na het strippen wordt het afvalwater gebruikt voor de bereiding van de kalkmelk die in de sproei-adsorber gebruikt wordt. Aldus wordt het afvalwater verdampt, zodat bij dit rookgasreinigingssysteem geen afvalwater wordt geloosd.

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

Figuur 10 Verdeling nozzles over de keteldoorsnede per inspuitsniveau
[Wandschneider, 1992]

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

De reststoffen die per ton afval geproduceerd worden in dit rookgasreinigingssysteem zijn:

- 30 kg vliegias uit de voorafscheider,
- 20 kg rookgasreinigingsresidu uit het hoofdelektrofilter (na de sproei-adsorber), en
- 1 kg filterkoek uit de afvalwaterbehandeling.

Door de grove voorafscheiding van het vliegias in het 1-velde elektrofilter, bevat de 30 kg vliegias naar verwachting relatief lage gehalten zware metalen en zouten. Dit bevordert de mogelijkheden om deze vliegias te hergebruiken, bijvoorbeeld als vulstof in de (wegen)bouw. Het residu uit het hoofdelektrofilter alsmede de filterkoek uit de afvalwaterbehandeling moeten gestort worden.

4.2 Meest geschikte mestsoort

Uit paragraaf 2.2 en 2.3 blijkt dat qua samenstelling varkensdrijfmest als meest geschikte mestsoort voor gebruik als additief bij SNCR in aanmerking komt: deze mestsoort heeft het hoogste $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte en een vochtgehalte dat voldoende hoog is om een goede dosering als vloeistof mogelijk te maken. De keuze voor varkensmest wordt daarbij nog eens onderstreept door het feit dat van deze mestsoort het grootste overschot geproduceerd wordt (zie tabel 6, paragraaf 3.2.1). De afstand tot AVI-Amsterdam wordt verondersteld geen invloed te hebben op de keuze van de mestsoort doordat de transportafstand voor de mest naar AVI-Amsterdam bij benadering overeenkomt met het transport naar de huidige afzetgebieden (paragraaf 3.3). Bovendien is er geen aantoonbaar verschil in afstand tussen de plaats van productie en de plaats van afzet (AVI-Amsterdam) voor de verschillende mestsoorten. Voor de beoordeling van de haalbaarheid van het gebruik van mest als reagens en voor de inschatting van de bijwerkingen is informatie noodzakelijk over meer eigenschappen van de mest dan alleen het vochtgehalte en het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte, zoals genoemd in tabel 2, paragraaf 2.3. Daarvoor zijn in tabel 9 meer gedetailleerde gegevens omtrent de samenstelling van varkensdrijfmest gegeven.

Tabel 9 Samenstelling van varkensdrijfmest (gemiddelde waarden)

Component	Waarde	Eenheid ¹⁾
vochtgehalte	91,0	gew %
asgehalte	3,0	gew %
organisch stof gehalte	6,0	gew %
NH ₄ -N-gehalte	6,6	g/kg
Cl	1,9	g/kg
S	1,2	g/kg
P ₂ O ₅ in as	149	g/kg as
K ₂ O in as	246	g/kg as
zware metalen		
- Cd	0,05	mg/kg
- Cu	45	mg/kg
- Mn	25	mg/kg
- Zn	50	mg/kg
- Ni	0,45	mg/kg
- Pb	0,35	mg/kg
- Cr	0,6	mg/kg
- Hg	< 0,01	mg/kg
verbrandingswaarde (bovenste)	15,5	MJ/kg ²⁾

¹⁾ Alle waarden, behalve P₂O₅ en K₂O op basis totale mest.

²⁾ Bovenste verbrandingswaarde per kg droge stof. De verbrandingswarmte wordt geleverd door de organische stof. Deze heeft een (bovenste) verbrandingswaarde van 22,5 MJ/kg. De (bovenste) verbrandingswaarde van de totale mest (inclusief water) bedraagt 1,4 MJ/kg.

Voor wat betreft de voorbereiding van de mest kan worden opgemerkt dat gestreefd moet worden naar een minimale inspanning. Voorbereiding van de mest betekent dat naast de verbrandingsinstallatie een mestverwerkingsunit moet worden gebouwd. Dit werkt kostenverhogend en vraagt logistiek een grotere inspanning (denk aan afvoer en afzet van het mestresidu). De opties scheiden en indampen zoals besproken in paragraaf 2.4 worden om deze redenen hier niet verder meegenomen in de berekeningen voor AVI-Amsterdam. Voor de te bouwen AVI's in Maasbracht, Boeldershoek en Moerdijk kunnen deze technieken wel aantrekkelijk zijn, aangezien bij deze AVI's mestverwerkingsinstallaties gepland zijn. De eenvoudigste optie is om de drijfmest zonder enige vorm van voorbereiding in de vuurhaard te injecteren.

Afhankelijk van de afmetingen van de vaste deeltjes in de mest kan het echter noodzakelijk zijn dat de mest gezeefd wordt, voordat deze geschikt is voor gebruik als reagens voor SNCR, met name om verstopping van de doseerinrichting (toevoerleidingen en nozzles) te voorkomen. In het rapport van de TU Essen [Weber, Gillmann, 1993] is beschreven hoe proefondervindelijk is vastgesteld dat een tongvormige nozzle met een diameter van 6 mm de beste resultaten belooft. De bedrijfszekerheid vereist dan dat de mest vooraf wordt gezeefd op een 3 mm zeef. De aldus afgescheiden grove fractie kan dan op het rooster meeverbrand worden met het huishoudelijk afval of afgevoerd worden voor gebruik bij bodembemesting.

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

Een andere optie die aantrekkelijk lijkt op grond van paragraaf 2.4 is het vergisten van de mest tijdens opslag bij de afvalverbrandingsinstallatie. Dit geeft een verrijking aan $\text{NH}_4\text{-N}$ in dat deel van de mest dat geïnjecteerd wordt en daarbij wordt een hoeveelheid biogas geproduceerd. Voor de aantrekkelijkheid van deze optie is het echter van belang dat het geproduceerde biogas ter plekke nuttig gebruikt kan worden. Een mogelijkheid hiervoor, die echter nog uitgebreid onderzocht moet worden, is injectie van dit biogas in de AVI te zamen met de secundaire lucht als een soort van getrapte verbranding. Dit soort technieken is erop gericht de NO_x -productie bij de verbranding zo laag mogelijk te houden [Abbasi, Khinkis, 1991]. Deze techniek is echter nog niet voldoende ontwikkeld om al voor toepassing in aanmerking te komen. Andere toepassingen voor het geproduceerde biogas zijn op dit moment nog niet voorhanden. Vergisting wordt in dit hoofdstuk verder buiten beschouwing gelaten.

In dit rapport wordt voor het voorbeeld van AVI-Amsterdam gerekend met varkensdrijfmest die gezeefd is door een zeef met een maaswijdte van 3 mm. Aangenomen wordt dat door dit zeven de samenstelling van de varkensdrijfmest niet verandert. Weliswaar zijn in tabel 3 gegevens vermeld over het verlies aan mest, ammoniak en organische stof bij zeven van de mest, maar daar wordt uitgegaan van veel kleinere maaswijdtes (60 tot 500 μm ten opzichte van 3 mm).

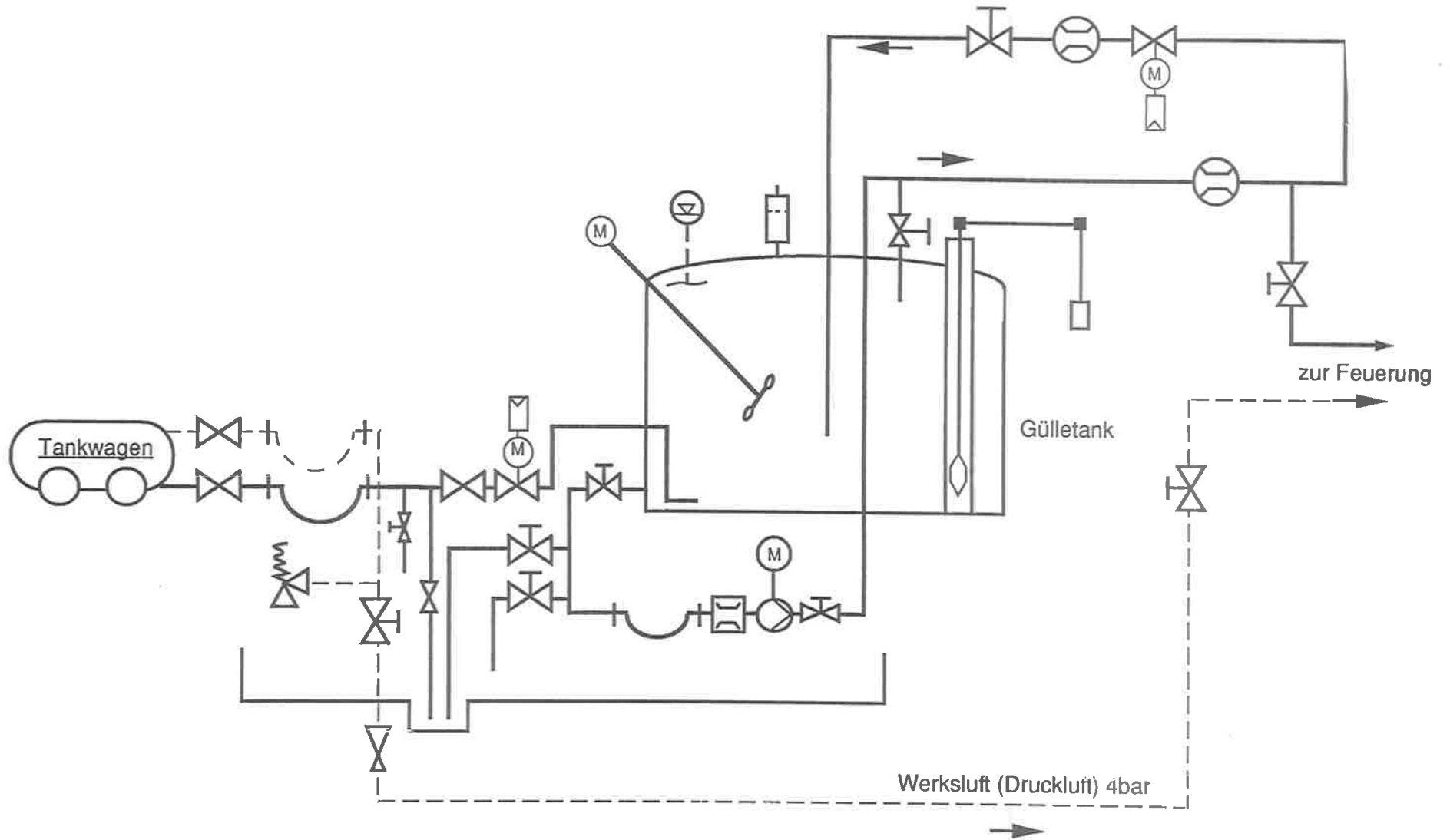
In tabel 4 is al een potentieel mestgebruik voor AVI-Amsterdam berekend voor het jaar 2000. Deze tabel gaat uit van een jaarlijkse capaciteit voor afvalverbranding van 700 kton. Op dit moment kan er echter van uitgegaan worden dat de ontwerpcapaciteit gehaald zal worden: 765 kton afval per jaar. Hiervoor is bij volledig gebruik van mest als reagens voor SNCR nodig:

- 0,145 m^3 varkensdrijfmest per ton afval, oftewel
- 16,2 m^3 varkensdrijfmest per uur (4 * 28 ton afval per uur), oftewel
- 390 m^3 varkensdrijfmest per dag (24 uur * 112 ton afval per uur).

4.3 Benodigde installatie voor mest als reagens

De mest wordt aangevoerd bij de AVI met tankwagens met een vervoerscapaciteit van 36 m^3 . Dit betekent dat indien de gehele installatie volledig op mest als reagens voor SNCR draait, ca. 11 tankwagens per dag de mest moeten aanvoeren. (Indien alleen op doordeweekse dagen mest geleverd wordt, betekent dit 15-16 tankwagens per dag.)

De mest wordt dan vanuit de tankwagen in een opslagtank gepompt van waaruit de mest gedoseerd gaat worden. In figuur 11 is het flowschema gegeven voor de doseerinrichting bij de verbrandingsinstallatie [Weber, Gillmann, 1993]. De mest wordt middels perslucht of een pomp uit de tankauto in de tank gepompt. Deze tank moet minimaal een capaciteit van 2.700 m^3 hebben, zodat voor (een week) vol bedrijf voorraad aangelegd kan worden.



Figuur 11 Schema mestdoseerinstallatie bij een AVI
[Weber, Gillmann, 1993]

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

Deze voorraadtank moet geroerd worden om bezinking en ontmenging van de mest te voorkomen. De mest wordt vanuit het vat rondgepompt in een ringleiding om de benodigde doseerdruk op te bouwen. Deze doseerdruk wordt geregeld door een drukventiel in de terugloopleiding. Vanuit de ringleiding wordt de mest via kleinere leidingen naar de nozzles gevoerd, via welke de verstuiving in de vuurhaard plaatsvindt. Onderzoek van de TU Essen [Weber, Gillmann, 1993] heeft aangetoond, dat een tongvormige nozzle het best geschikt is voor het homogeen versproeien van de mest in de rookgasstroom. Deze nozzle heeft een relatief lage gevoeligheid voor verstopping door vaste deeltjes, wat de bedrijfszekerheid ten goede komt. Ook heeft de sproeikegel van een tongvormige nozzle een grote indringdiepte, hetgeen nodig is om de gehele doorsnede van de vuurhaard te bereiken (gelijkmatige verdeling). Doordat in verband met kleine vaste deeltjes in de mest gekozen moet worden voor een relatief grote diameter van de nozzles (6 mm) zijn er slechts 4 nozzles nodig om de totale hoeveelheid mest per verbrandingslijn te injecteren (tegenover de 12 nozzles in de huidige situatie met inspuiting van NH_3). Indien voor 1 inspuitniveau wordt gekozen zouden de nozzles diagonaal in de 4 hoeken geplaatst kunnen worden. Bij meerdere inspuitniveaus zouden 2 nozzles per niveau volstaan. Deze kunnen dan tegenover elkaar aan de wanden worden geplaatst. In hoeverre de verdeling van de mest over de rookgassen aldus voldoet, dient nog te worden nagegaan.

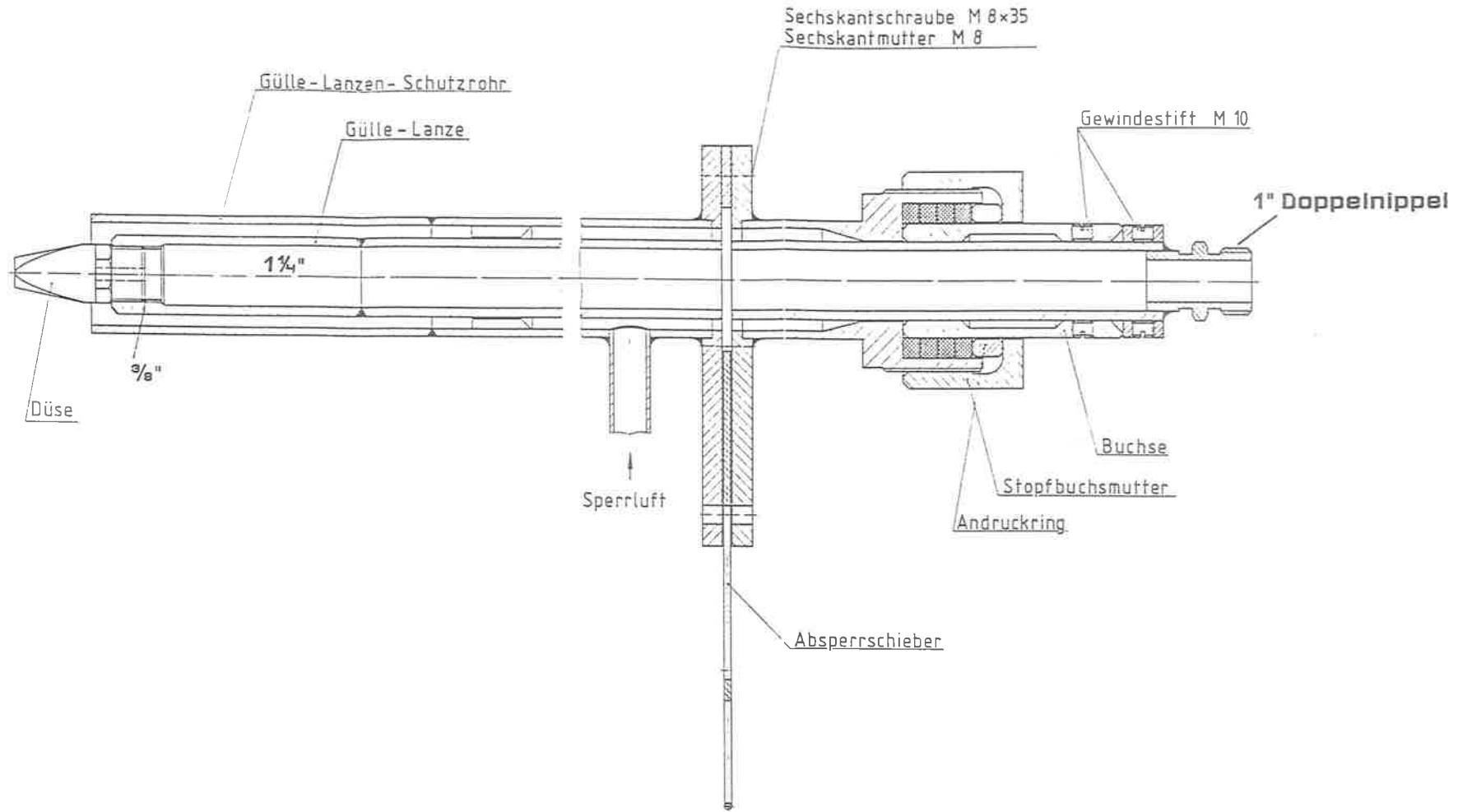
Doordat de onderzoeken van de TU Essen op een iets afwijkende situatie waren gebaseerd (andere mestsamenstelling, andere ketelgeometrie) zal de keuze van het type nozzle en de plaatsing van de nozzles in de ketel nog nader onderzocht moeten worden.

In figuur 12 is een schematische weergave van een tongvormige nozzle gegeven. De nozzles behoeven wanneer zij in gebruik zijn geen koeling; daarvoor zorgt de mest die er doorheen stroomt. Indien de nozzles niet gebruikt worden moeten ze of gekoeld of uit de vuurhaard teruggetrokken worden.

Naast tongvormige nozzles werden ook vlakstraal-, tangentiaal- en holle-kegel-nozzles onderzocht. Deze waren minder geschikt op basis van de gevoeligheid voor verstopping (vooral vlakstraalnozzle) of het minder gelijkmatig verdelen van de mest (tangentiaal- en holle-kegel-nozzle).

Behalve deze nozzles die slechts één stof versproeien is ook gekeken naar nozzles die werken met damp of perslucht als hulpstof voor het versproeien van de mest. Deze zijn qua werking en gelijkmatige verdeling wel geschikt voor het versproeien van mest, maar het verbruik aan hulpstof betekent niet alleen een kostenpost, maar ook een onnodige vergroting van de rookgashoeveelheid. Daar boven op komt dat de geïnjecteerde stoffen (mest + eventuele hulpstof) opgewarmd moeten worden tot de rookgastemperatuur wat leidt tot een verlaging van de rookgastemperatuur. Extra hulpstof leidt dan tot extra verlaging van die rookgastemperatuur (zie ook paragraaf 4.4).

Bij het versproeien van de NH_3 oplossing, zoals bij AVI-Amsterdam, is echter wel damp (of perslucht) nodig omdat anders de geïnjecteerde hoeveelheid te klein wordt om een gelijkmatige verdeling over de rookgassen mogelijk te maken.



Figuur 12 Schematische weergave van een tongvormige nozzle
 [Weber, Gillmann, 1993]

4.4 Bijwerkingen van mestinjectie

Met de injectie van de mest komen behalve het voor SNCR belangrijke bestanddeel ($\text{NH}_4\text{-N}$) ook andere bestanddelen in de rookgassen terecht. De invloed van deze bestanddelen op het proces wordt hieronder besproken en vergeleken met de huidige situatie waarbij NH_3 -oplossing als reagens wordt gebruikt. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat het gebruik van mest **niet** leidt tot een verandering in de hoeveelheid afval die op het rooster verbrand wordt, of tot een verandering van de condities waaronder het afval verbrand wordt.

Energiebalans

Een aspect dat ook speelt bij gebruik van NH_3 -oplossing als reagens is de opwarming van de geïnjecteerde stoffen. De energie hiervoor wordt geleverd door de rookgassen die daardoor in temperatuur dalen. Daarbij zorgt vooral de geïnjecteerde hoeveelheid water (en stoom) voor de grootste temperatuurdaling.

Bij de berekeningen zijn de volgende aannames gemaakt:

- Soortelijke warmte van de rookgassen is $1,5 \text{ kJ}\cdot\text{Nm}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$;
- Soortelijke warmte van waterdamp/ammoniak is $2 \text{ kJ}\cdot\text{Nm}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$;
- Verdampingswarmte van ammoniak is 1.370 kJ/kg ;
- Verdampingswarmte van water is 2.260 kJ/kg ;
- Temperatuur reagens voor injectie is $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Bij het gebruik van NH_3 -oplossing wordt geïnjecteerd:

- $0,352 \text{ m}^3 \text{ NH}_3$ -oplossing (25 gew% NH_3) per uur per lijn, en
- 5.000 kg/uur stoom, met een druk van 4 bar en een temperatuur van $145 \text{ }^\circ\text{C}$.

Verdamping en opwarming hiervan tot $900 \text{ }^\circ\text{C}$ vereist 8.880 MJ per uur. Te zamen met het gegeven dat de rookgashoeveelheid $148.000 \text{ Nm}^3/\text{uur}$ (nat) bedraagt, geeft dit een temperatuurdaling van ongeveer $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Bij het gebruik van mest als reagens wordt $4,1 \text{ m}^3$ mest per uur per verbrandingslijn geïnjecteerd. Verdamping en opwarming hiervan kost 15.600 MJ per uur. Door de verbranding van de organische stof in de mest komt echter 5.700 MJ per uur vrij, zodat de netto energiebehoefte 9.900 MJ/uur is. Dit resulteert in een temperatuurdaling van de rookgassen van ongeveer $45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ten opzichte van het gebruik van NH_3 -oplossing als reagens moet dus bij gebruik van mest als reagens rekening gehouden worden met een extra temperatuurdaling van $5 \text{ }^\circ\text{C}$, hetgeen verwaarloosbaar is.

De energie die nodig is om de hoeveelheid water in de mest te verdampen en op te warmen tot de keteluitlaattemperatuur kan niet teruggewonnen worden en resulteert dus in een energieverlies (schoorsteenverlies ca. 2% van de energieproductie). Een kleine invloed hierop heeft de verbrandingswaarde van de mest: naarmate de verbrandingswarmte groter is, neemt het energieverlies af. Voor de hier beschreven situatie van injectie van varkensdrijfmest, bedraagt het verlies aan elektriciteitsproductie 1,9%. Overigens is er ook bij de injectie van NH_3 -oplossing sprake van een energieverlies (in de situatie van AVI-Amsterdam 3,4%) tengevolge van de verdamping en opwarming van de met de NH_3 geïnjecteerd water en stoom. Wat dit betreft biedt injectie van mest dus een (klein) voordeel ten opzichte van ammonia.

As en rookgasreinigingsresidu

De mest die geïnjecteerd wordt bevat ongeveer 3 gew% as. Gezien het feit dat de mest geïnjecteerd wordt in de rookgassen, kan aangenomen worden dat deze as volledig meegenomen wordt met de rookgassen. Hierdoor wordt de stofbelasting van de rookgassen vóór reiniging verhoogd met circa $0,94 \text{ g/Nm}^3$ (alle in deze paragraaf genoemde concentraties zijn gerelateerd aan Nm^3 droge rookgassen: de hoeveelheid rookgassen waarmee hier gerekend wordt, blijft gelijk aangezien de hoeveelheid water die geïnjecteerd wordt op deze manier niet meegeteld wordt). Aangezien de rookgasreiniging uitgelegd is op een stofgehalte van 4 tot 10 g/Nm^3 , met een gemiddelde stoflast van 7 g/Nm^3 behoeft deze verhoging geen probleem op te leveren voor het stofgehalte van de rookgassen ná reiniging.

De afscheiding van stof vindt achtereenvolgens plaats in de voorafscheider, het hoofdelektrofilter en in de natte wassers. Het overgrote deel (90%) wordt in de voorafscheider afgevangen. Het zal duidelijk zijn dat de hoeveelheid afgevangen vliegias bij gebruik van mest als reagens voor SNCR zal toenemen. Aangenomen dat 90% in de voorafscheider wordt afgevangen, betekent dit dat de hoeveelheid vliegias toeneemt van 840 kg per verbrandingslijn per uur (bij gebruik NH_3 -oplossing) tot 950 kg per lijn per uur (bij gebruik mest).

De hoeveelheid residu wordt bepaald door het gehalte aan zure gassen (voornamelijk HCl , SO_2) dat geadsorbeerd moet worden. Daarnaast wordt van het nog in de rookgassen aanwezige stof het grootste deel afgevangen.

Met behulp van de volgende aannames, de gegevens over de samenstelling uit tabel 9 en een beperkte massabalans over de rookgasreiniging na de voorafscheider kan uitgerekend worden hoeveel residu er ontstaat wanneer mest als reagens gebruikt wordt:

- Ruwe rookgasconcentratie (zonder mestinjectie) aan HCl bedraagt 1.000 mg/Nm^3 en aan SO_2 250 mg/Nm^3 ;
- 20% van S en Cl in de mest wordt omgezet in SO_2 en HCl (grootste deel ligt vast in anorganische zouten);
- Het rookgasreinigingsresidu wordt verondersteld te bestaan uit alleen calciumzouten van SO_2 en HCl en afgescheiden vliegiasresten (volgens de berekening neemt dit 87% van de residuen in beslag);
- HCl en SO_2 worden afgevangen als $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- De stoechiometrie voor $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -verbruik bedraagt 1,1;
- Residu en filterkoek nemen in gelijke verhouding toe.

Uit de berekening blijkt dat de hoeveelheid rookgasreinigingsresidu stijgt van 588 kg (560 kg residu en 28 kg filterkoek) per verbrandingslijn per uur, naar ongeveer 613 kg (584 kg residu en 29,4 kg filterkoek). Per ton afval betekent dat een toename ten opzichte van het gebruik van NH_3 -oplossing als reagens voor SNCR van 0,86 kg residu en 0,05 kg filterkoek.

Wat betreft de samenstelling van de vliegias en het rookgasreinigingsresidu is met name het gehalte aan zouten en zware metalen van belang.

De zouten spelen een belangrijke rol in het aanbakken van vliegias op keteloppervlakken met als gevolg corrosiegevaar. De zware metalen daarentegen zijn voornamelijk van belang met betrekking tot de mogelijkheden voor verwerking en hergebruik van de reststoffen. In bijlage B is uitgerekend wat de toename in hoeveelheid en concentratie is voor een aantal zouten en zware metalen. Aangenomen is dat de berekende effecten voor vliegias ook gelden voor rookgasreinigingsresidu.

Het blijkt dat door mestinjectie zowel de hoeveelheid als de concentratie van de zouten in de geproduceerde vliegias toenemen. De vervuilingsgraad van de ketel dient dus

bij mestinjectie regelmatig gecontroleerd te worden en mogelijk dat de hogere zoutconcentratie in de vliegashouding tengevolge van mestinjectie leidt tot verhoogde onderhoudskosten. Op voorhand is dit echter niet met zekerheid te zeggen.

Voor de zware metalen neemt weliswaar de hoeveelheid die uiteindelijk per uur met de reststoffen vrij komt toe, maar de concentratie in de vliegashouding neemt af, met uitzondering van Cu. Belangrijk in dit verband is de katalyserende werking van Cu op de dioxinevorming. Dit kan een belangrijk nadeel zijn voor mestinjectie (zie ook onder Overige bijwerkingen). Afgezien van de toename in hoeveelheid worden voor wat de zware metalen betreft geen negatieve effecten van mestinjectie op het verwerken en hergebruiken van de reststoffen verwacht.

Concentraties CO, O₂ en C_xH_y

Bij de injectie van mest als reagens voor SNCR moet ervoor opgepast worden dat de meegeïnjecteerde koolwaterstoffen voldoende gelegenheid krijgen om uit te branden. Onvoldoende verblijftijd, te weinig (contact met) zuurstof of een te lage temperatuur kan ertoe leiden dat de mest niet volledig uitbrandt wat aanleiding geeft tot verhoogde emissies van CO en C_xH_y. Daarvoor is het van belang dat de mest goed verdeeld wordt over de rookgassen zodat:

- De reactie met O₂ goed kan verlopen;
- Geen koude plaatsen tengevolge van de mestinjectie optreden;
- Geen kortsluiting van delen van de rookgasstroom op kan treden die tot een lagere verblijftijd bij hoge temperatuur kan leiden.

Bij de experimenten in de krachtcentrale, uitgevoerd door de TU Essen [Weber, Gilman, 1993], bleek de dosering van mest tot kleine verhogingen in de concentratie onverbrande koolwaterstoffen te leiden. Bij dosering van een stoëchiometrie van 0,8 steeg het C_xH_y-gehalte van de rookgassen van circa 1 mg/Nm³ naar circa 5 mg/Nm³. Dit is nog ruim onder de toegestane emissie (10 mg/Nm³) maar geeft wel aan dat dit een punt van aandacht is, zeker aangezien bij AVI-Amsterdam hogere stoëchiometrieën toegepast zullen worden. Daar staat tegenover dat de verblijftijd van de rookgassen bij hogere temperaturen (> 700 °C) bij AVI-Amsterdam aanzienlijk groter is dan bij de betreffende krachtcentrale.

Interessant in dit verband is de wetgeving (BLA), die stelt dat de verbranding bij een temperatuur van tenminste 850 °C dient te geschieden [Besluit Luchtemissies Afvalverbranding, 1993]. Nu vindt bij AVI-Amsterdam de injectie van de NH₃-oplossing plaats bij temperaturen van ca. 800 °C. Wanneer nu de NH₃-oplossing wordt vervangen door mest, dan wordt voor het verbranden van de mest niet meer voldaan aan de eisen uit de BLA. In hoeverre dit een probleem is, is niet bekend.

De verbranding van mest heeft zuurstof nodig. Deze wordt uit de rookgassen gehaald. Berekening voor de situatie zoals hier besproken leert echter dat de verlaging van de zuurstofconcentratie, die hierdoor optreedt, geen rol van betekenis speelt: verbranding van de geïnjecteerde hoeveelheid mest verbruikt circa 0,25 vol% O₂.

N₂O-vorming

Uit de literatuur is bekend dat onder bepaald (niet-optimale) condities bij SNCR N₂O gevormd kan worden. Dit is met name het geval wanneer ureum als reactiemiddel gebruikt wordt [Kubisa, 1991]. Ook bij andere reagentia waarbij het reagerende N-atoom gebonden is aan koolstof treedt dit effect op, evenals wanneer de injectie van

reagens bij temperaturen onder 900 °C plaatsvindt.

N₂O wordt zowel gevormd uit de reactie van NO met NH₁-radicalen als met NCO-radicalen. Bij temperaturen boven 900 °C wordt N₂O weer zeer snel afgebroken onder vorming van N₂ en een OH-radicaal. Gezien de lage temperatuur (ca. 800 °C) waarbij de mest bij AVI-Amsterdam geïnjecteerd zal worden, en het feit dat bij injectie van mest als reagens zowel NH₁-radicalen als NCO-radicalen voldoende voorhanden zijn, dient er ernstig rekening te worden gehouden met vorming van N₂O.

Overige bijwerkingen

Behalve de invloed van de overige bestanddelen zijn er ook bijwerkingen van NH₃ bekend, zoals het doorslippen ervan en de vorming van corrosieve verbindingen als (NH₄)₂SO₄, (NH₄)HSO₄ en NH₄Cl. Aangezien echter de stoëchiometrie bij het gebruik van mest als reagens lager is dan bij gebruik van NH₃-oplossing (1,8 ten opzichte van 5), zoals bij AVI-Amsterdam, wordt er minder NH₃ gevormd en kan verwacht worden dat de problemen op dit gebied bij gebruik van mest als reagens kleiner zullen zijn dan bij gebruik van NH₃-oplossing. Overigens is ook bij de injectie van mest het strippen van de NH₃ uit het afvalwater van de wasser waarschijnlijk noodzakelijk om te voorkomen dat er teveel NH₃ in de filterkoek terecht komt of de ammoniak zich ophoopt in het systeem. Het afvalwater wordt namelijk versproeid en vervolgens verdampd in de sproeidroger. Eventueel NH₃ komt dan weer in de rookgassen terecht, waarna het weer afgescheiden wordt in de wasser. De NH₃ kan in principe wel gebruikt worden in de SNCR installatie, maar deze zal daar dan op aangepast moeten worden. Bij gebruik van de NH₃ in de SNCR vindt geen ophoping plaats aangezien (een deel van) de NH₃ dan omgezet wordt (naar N₂) (zie ook paragraaf 4.5).

Aan de andere kant geeft mestinjectie een verhoging van de vliegabelasting van de rookgassen (zie ook onder 'As en rookgasreinigingsresidu). Met name doordat deze vliegassen relatief hoge concentraties P₂O₅ en K₂O bevatten, wordt de kans op verweken en aanbakken van deze vliegag groter geacht dan voor de vliegag zonder mestinjectie. In hoever dit werkelijk een probleem is kan slechts na experimenten in een AVI bepaald worden, aangezien hiermee nog geen ervaringen beschikbaar zijn.

Ten aanzien van de dioxine-vorming, waarvan bekend is dat deze geremd wordt door de aanwezigheid van NH₃ [Wandschneider, 1992] kan geen voorspelling gedaan worden. Een verhoging van de hoeveelheid onverbrande koolwaterstoffen (mogelijke precursors voor dioxine) in de rookgassen zou de dioxinevorming kunnen bevorderen, maar zeker is dit allerminst, temeer aangezien het nog niet zeker is dat gebruik van mest perse leidt tot een verhoging van de concentratie onverbrande koolwaterstoffen. Ook het effect van de extra hoeveelheid Cu die tengevolge van de mestinjectie in de rookgassen terecht komt kan niet worden voorspeld.

Tenslotte is het bij gebruik van SNCR technieken altijd een zorg of de vliegag niet teveel NH₃ bevat, in verband met de mogelijkheden tot hergebruik. Bij hergebruik van vliegag kan dan geuroverlast en uitspoeling van de NH₃ optreden. Bij gebruik van varkensdrijfmest als reagens is dit gevaar echter kleiner dan bij gebruik van NH₃-oplossing, aangezien de toegepaste overmaat kleiner is. Dat houdt namelijk automatisch in dat de rookgassen minder NH₃ bevatten en de vliegag dus ook.

4.5 Alternatieve mogelijkheid

In het voorgaande is steeds uitgegaan van een geheel vervangen van de NH_3 -oplossing als reagens door varkensdrijfmest. Een andere mogelijkheid, die ook gesuggereerd wordt in het rapport van de TU Essen [Weber, Gillmann, 1993], is om deze twee reagentia in combinatie te gebruiken. Daarbij zou dan het eerste inspuitsniveau met mest bedreven kunnen worden terwijl in het tweede inspuitsniveau de NH_3 -oplossing gebruikt wordt. De hoofdafscheiding zou dan met mest kunnen gebeuren, terwijl de verdere afscheiding en fijnregeling met NH_3 -oplossing gerealiseerd kan worden. Dit alternatief biedt voordelen wanneer zou blijken dat het beperkte aantal nozzles, waarmee de rest geïnjecteerd moet worden, niet in staat is de mest voldoende homogeen over de rookgassen te verspreiden. Middels de injectie van NH_3 -oplossing op een hoger niveau (stroomafwaarts van de mestinjectie) kan dan alsnog doorgeslipt NO_x gereduceerd worden.

Uit de figuren 2 tot en met 5 kan afgeleid worden dat bij een stoëchiometrie van 1,2 voor de mest een reductie van de NO_x -concentratie van 60% verwacht mag worden. De resterende reductie (tot een totale NO_x -reductie van 80%) kan dan gerealiseerd worden met NH_3 -oplossing in een stoëchiometrie van circa 1,0 (zie figuur 1).

Voor de combinatie van NH_3 -oplossing en mest hoeft bij AVI-Amsterdam alleen het onderste inspuitsniveau aangepast te worden. Dit inspuitsniveau voor de mest kan dan met 2 nozzles uitgerust worden die tegenover elkaar geplaatst worden. Voor de mest moet verder eenzelfde type opslag- en doseersysteem gebouwd worden als eerder beschreven, waarbij vanzelfsprekend met een kleinere capaciteit (ca. 60%) volstaan kan worden.

Verdere voordelen van een gecombineerd gebruik van NH_3 -oplossing en mest als reagentia zijn te vinden in een vermindering van de eerder (paragraaf 4.4) genoemde nadelen van totaal mestgebruik: $\text{CO}/\text{C}_x\text{H}_y$ -vorming en reststofproductie: bij gecombineerd gebruik van NH_3 -oplossing en mest wordt per lijn per uur 906 kg vliegias, 592 kg rookgasreinigingsresidu en 28,8 kg filterkoek geproduceerd. Ten opzichte van het gebruik van NH_3 -oplossing betekent dit een toename per ton verbrand afval van 2,4 kg vliegias, 1,6 kg rookgasreinigingsresidu en 0,03 kg filterkoek.

5 Economische aspecten

Voor een beschouwing van de economische aspecten is het van belang de randvoorwaarden duidelijk vast te stellen: welke situaties worden met elkaar vergeleken. Allereerst moet een vergelijking van de kosten gemaakt worden tussen het gebruik van NH_3 -oplossing en varkensdrijfmest of een combinatie van beide voor een nieuw te bouwen AVI. Daarnaast moet een vergelijking gemaakt worden tussen de genoemde drie opties bij AVI-Amsterdam, waar de investeringen voor het gebruik van NH_3 -oplossing al zijn gemaakt.

De drie opties die vergeleken worden in beide gevallen zijn:

- Optie A: alleen NH_3 -oplossing als reagens voor SNCR, stoëchiometrie is 5.
- Optie B: alleen varkensdrijfmest als reagens voor SNCR, stoëchiometrie is 1,8.
- Optie C: een combinatie van NH_3 -oplossing en varkensdrijfmest als reagens voor SNCR, stoëchiometrie is respectievelijk 1,7 en 1,2.

De aannames, die daarbij gehanteerd zijn, luiden:

- Afschrijvingsduur machines en bouw: 25 jaar;
- Afschrijvingsduur elektrotechniek: 10 jaar;
- Rente 8%;
- 3 jaar voorfinanciering;
- Voor de alternatieve mogelijkheid, die voor gecombineerd mest- en NH_3 -gebruik per additief een lagere capaciteit heeft dan wanneer een van de twee volledig gebruikt wordt, zijn de investeringskosten teruggerekend met de schaalfactor (verhouding van de capaciteit) tot de macht 0,7:
 - voor mest is de capaciteit in dat geval 60% van puur mestgebruik: investeringen vermenigvuldigen met $(0,6)^{0,7} = 0,70$;
 - voor NH_3 -oplossing is de capaciteit in dat geval 33% van puur NH_3 gebruik: investeringen vermenigvuldigen met $(0,33)^{0,7} = 0,46$;
- Bij optie B (alleen mest) zijn wel kosten voor het strippen van het afvalwater op NH_3 in rekening gebracht, maar geen kosten voor het bijmengen van de aldus teruggewonnen NH_3 bij de te doseren mest. Aangenomen is dat de investeringen voor dosering van mest gelijk zijn aan die voor dosering van NH_3 -oplossing. Enkel een grotere investering voor de bouwkundige voorzieningen bij mestinjectie is voorzien in verband met de grotere benodigde opslagcapaciteit.
- Het verlies aan energieproductie is berekend uit de hoeveelheid warmte, die nodig is om het reagens (inclusief het bijbehorende water) te verdampen en op te warmen tot de keteluitlaattemperatuur (200 °C). Deze hoeveelheid warmte gaat namelijk verloren voor de stoomproductie. Op deze hoeveelheid wordt, in geval van mestinjectie, de verbrandingswarmte in mindering gebracht. Vervolgens wordt de resterende hoeveelheid warmte gerelateerd aan de hoeveelheid warmte die zonder SNCR benut wordt voor stoomproductie. Dit percentage kan dan via de elektriciteitsproductie (22% op basis van de stookwaarde van het afval, 8.760 MJ/kg) omgerekend worden naar een kostprijs (met behulp van f 0,07 per kWh).

In tabel 10 zijn de kosten en prijzen vermeld, die in de berekeningen opgenomen zijn. Alleen die componenten zijn meegenomen die een rol spelen bij de vergelijking tussen de drie situaties.

Tabel 10 *Kostprijs van diverse stoffen/produkten*

Produkt/stof	Prijs [fl]	Eenheid
NH ₃ -oplossing (25 gew%)	175	per ton
stoom (4 bar)	11	per ton
elektriciteit	0,07	per kWh
varkensdrijfmest	0,00	per ton
vliegias	500	per ton
rookgasreinigingsresidu	500	per ton
filterkoek (uit afvalwater)	1.000	per ton

In tabel 11 zijn de resultaten van de berekeningen samengevat voor het geval dat de AVI nog gebouwd moet worden. Een toelichting op de berekening wordt gegeven in bijlage C. De berekeningen zijn samengesteld met behulp van gegevens uit een rapport van het Ingenieursconsortium AVI-Amsterdam [Ingenieursconsortium, 1989] en het rapport van de TU Essen [Weber, Gillmann, 1993], aangevuld met gegevens uit eerdere hoofdstukken van dit rapport.

Tabel 11 *Kostenvergelijking tussen het gebruik van NH₃-oplossing en varkensdrijfmest als reagens voor SNCR voor een nieuwe AVI met een afvalverwerkingscapaciteit van 765.000 ton per jaar*

Omschrijving		Optie A ¹⁾	Optie B ¹⁾	Optie C ¹⁾
Investeringskosten	Mf	35,3	35,5	42,8
Vaste bedrijfskosten	Mf/jaar	5,89	5,93	7,14
Variabele bedrijfskosten	Mf/jaar	4,23	2,79	3,27
Totale bedrijfskosten	Mf/jaar	10,12	8,73	10,41
Totale kosten per ton afval	f/ton	13,23	11,41	13,61
Totale kosten per ton NO _x verwijderd	kf/ton NO _x	10,10	8,71	10,39

- ¹⁾ Optie A: alleen NH₃-oplossing als reagens voor SNCR, stoëchiometrie is 5
 Optie B: alleen varkensdrijfmest als reagens voor SNCR, stoëchiometrie is 1,8
 Optie C: een combinatie van NH₃-oplossing en varkensdrijfmest als reagens voor SNCR, stoëchiometrie is respectievelijk 1,7 en 1,2.

Op dit moment heeft AVI-Amsterdam al geïnvesteerd in het gebruik van NH₃-oplossing als reagens. Voor de kostenvergelijking voor AVI-Amsterdam worden dan ook voor de optie A alleen personeelskosten en variabele bedrijfskosten gerekend. Aldus kan uitgerekend worden welk bedrag AVI-Amsterdam extra moet krijgen bij de varkensdrijfmest in optie B en C om kostenneutraal ten opzichte van optie A uit te komen. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 12.

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

Tabel 12 Kostenvergelijking tussen het gebruik van NH_3 -oplossing en varkensdrijfmest als reagens voor SNCR voor AVI-Amsterdam

Omschrijving		Optie A ¹⁾	Optie B ¹⁾	Optie C ¹⁾
Investeringskosten	Mf	0	35,5	26,6
Vaste bedrijfskosten	Mf/jaar	0,083	5,93	4,47
Variabele bedrijfskosten	Mf/jaar	4,23	2,79	3,27
Totale bedrijfskosten	Mf/jaar	4,32	8,73	7,74
Totale kosten per ton afval	f/ton	5,64	11,41	10,12
Vergoeding mestafname	f/ton afval	-	39,76	46,31
Totale kosten per ton NO_x verwijderd	kf/ton NO_x	4,31	8,71	7,72

- ¹⁾ Optie A: alleen NH_3 -oplossing als reagens voor SNCR, stoëchiometrie is 5
 Optie B: alleen varkensdrijfmest als reagens voor SNCR, stoëchiometrie is 1,8
 Optie C: een combinatie van NH_3 -oplossing en varkensdrijfmest als reagens voor SNCR, stoëchiometrie is respectievelijk 1,7 en 1,2.

Uit deze kostenvergelijkingen blijkt dat onder de hier gestelde aannames voor nieuwe AVI's het gebruik van mest als reagens voor SNCR financieel aantrekkelijk kan zijn, temeer omdat nog geen rekening is gehouden met bijbetaling voor de mest door de veehouder. Voor AVI-Amsterdam is het alleen financieel aantrekkelijk als bij elke ton mest minimaal f 10,- extra ontvangen kan worden.

Afgezet tegen de verwachting dat de veehouder mogelijk bereid zal zijn om bij aflevering van de mest aan de poort van de AVI f 10,- tot f 30,- per ton mest bij te betalen (zie paragraaf 3.3), betekent voor AVI-Amsterdam dat gebruik van varkensdrijfmest als reagens voor SNCR nog niet rendabel is. Het is echter goed mogelijk dat het bedrag wat de veehouder bereid is bij te betalen in de toekomst verhoogd wordt, door de in paragraaf 3.3 kort aangeduide ontwikkelingen.

6 Leemten in kennis op het gebied van mest als reagens voor SNCR

Ten aanzien van het gebruik van (varkensdrijf)mest als reagens voor SNCR is op een aantal punten geconstateerd dat de benodigde kennis nog ontbreekt. Deze punten worden in dit hoofdstuk kort besproken.

De grootste onzekerheid voor de beoordeling van de technische haalbaarheid van het SNCR-proces met mest als reagens ligt in het feit dat de enige beschikbare ervaringen met mest als reagens voor SNCR verkregen zijn onder andere omstandigheden dan die welke gelden bij afvalverbranding (namelijk bij krachtcentrales) [Weber, Gillmann, 1993]. De rendementen die daar gerealiseerd moesten worden, zijn beduidend lager dan bij afvalverbranding noodzakelijk is (50% ten opzichte van 80%). Ook is een ander type mest gebruikt, met een lager $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte (2,4 kg/ton ten opzichte van 6,6 kg/ton). Het vertalen en extrapoleren van deze ervaringen, zoals dat in dit rapport gedaan is, is niet zonder risico. De resultaten van die extrapolatie dienen dan ook als eerste door nader onderzoek geverifieerd te worden. Met name de berekende overmaat en de daarbij gerealiseerde NO_x -reductie zijn van groot belang.

Voor wat betreft de technische uitvoering van SNCR met mest is er nog een aantal vragen, die eveneens door nader onderzoek beantwoord moeten worden:

- Voor de nozzles, die gebruikt moeten worden voor het injecteren van de mest, zal per installatie en per mestsoort vastgesteld moeten worden welk type nozzle het meest geschikt is en hoeveel er waar en hoe geïnstalleerd moeten worden.
- Onbekend is of het temperatuurvenster voor de reactie van mest met NO_x gevoelig is voor het type mest.
- De invloed van het injecteren van mest op de kwaliteit van de produceerde vliegashout moet vastgesteld worden. Van groot belang is bijvoorbeeld wat de invloed van het relatieve hoge gehalte van P_2O_5 en K_2O van de vliegashout is, op eventuele corrosie van de keteloppervlakken en op de bruikbaarheid van de reststoffen.
- Indien volledig gebruik van mest als additief overwogen wordt, dient een oplossing te worden gezocht voor de NH_3 die uit het afvalwater van de wassersectie verwijderd moet worden. Terug voeren naar de SNCR installatie en opnieuw injecteren ligt voor de hand maar hangt af van de mogelijkheden de NH_3 -injectie te combineren met de mestinjectie. Daarbij is de hoeveelheid NH_3 die aldus teruggewonnen kan worden onbekend.
- Het exacte effect van de diverse voorbereidingen op de mestsamenstelling, mocht er directe aanleiding zijn om een bepaalde voorbereiding op de mest uit te voeren. Met name de verrijking aan $\text{NH}_4\text{-N}$ die optreedt bij vergisting is in dit verband interessant.

De regelgeving zoals vastgelegd in de BLA zorgt ook voor een onzekere factor. In de BLA is vastgelegd dat de rookgassen van de verbranding na de laatste injectie van secundaire lucht, gedurende minimaal 2 seconden moeten verblijven bij een temperatuur boven $850\text{ }^\circ\text{C}$ en een O_2 -concentratie groter dan 6 vol%. Bij SNCR wordt in het eerste traject van de ketel waar aan die voorwaarde van de BLA voldaan moet worden een additief geïnjecteerd. Indien dit additief brandbare verbindingen bevat, zoals bij mest het geval is, moet mogelijk voor een goede uitbrand van de mest, na de injectie, nogmaals voldaan worden aan de voorwaarden voor temperatuur, zuurstofconcentratie en verblijftijd. In hoeverre dit gerealiseerd kan (en moet) worden is niet duidelijk.

Verder is het onbekend wat precies de samenstelling van de mestsoort is die gebruikt gaat worden. In dit rapport is op grond van de hier gegeven gemiddelde samenstelling en overschotten geconcludeerd dat varkensdrijfmest het best zou voldoen. In de toekomst kunnen er echter allerlei redenen ontstaan om andere mestsoorten te gebruiken. Te denken valt aan politieke maatregelen, zoals verplichte inkrimping van de veestapel of premies/sancties op bepaalde verwerkingsprocédés, maar ook aan andere ontwikkelingen, zoals andere systemen van opvang en verwerking van de mest op de boerderij of een andere voersamenstelling.

Ook op dit moment is er veel variatie in de samenstelling per mestsoort. Met name wat betreft het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte kan dit grote consequenties hebben voor de mogelijkheden voor gebruik van mest als reagens voor SNCR. Een lager $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte betekent direct dat er meer mest geïnjecteerd moet worden, met als gevolg een hogere waterbelasting, temperatuurdaling, verlies aan elektriciteitsproductie, etc.

Daarentegen is het niet uitgesloten dat door emissiebeperkende maatregelen (beperking van ammoniakverliezen) het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte van de mest in de toekomst toe zal nemen.

7 Conclusies en aanbevelingen

Van de in Nederland geproduceerde mestsoorten is varkensdrijfmest het meest geschikt om gebruikt te worden als reagens voor SNCR. Niet alleen vanwege de samenstelling (gehalte aan $\text{NH}_4\text{-N}$ zo hoog mogelijk en vochtgehalte > 90%), maar ook vanwege het feit dat op dit moment van deze mestsoort de grootste overschotten worden geproduceerd.

Wanneer varkensdrijfmest gebruikt zou gaan worden als reagens voor SNCR is de transportafstand van het gebied waar het als overschot geproduceerd wordt tot de poort van de AVI kleiner dan de afstand waarover de mest nu getransporteerd wordt. Zeer belangrijk is een goede organisatie en een contract waarmee de levering van de mest gegarandeerd is, ook in seizoenen dat de mestoverschotten kleiner zijn.

Om geschikt te zijn voor gebruik als reagens dient de mest waarschijnlijk alleen te worden gezeefd, waarbij deeltjes groter dan 3 mm moeten worden afgescheiden. Hoewel verdere verbewerking in sommige gevallen aantrekkelijk lijkt (dat wil zeggen een produkt levert, dat beter geschikt is voor gebruik als reagens in SNCR), betekent verbewerking altijd dat er afgewerkte reststromen ontstaan, waarvoor ook een toepassing moet worden gevonden. Bovendien zijn aan verbewerking extra kosten verbonden. De meeste perspectieven in dit verband biedt vergisting van de mest. De voordelen ten opzichte van niet vergiste mest bestaan uit:

- een toename van het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte;
- verlaging van de viscositeit;
- produktie van biogas dat als brandstof ingezet kan worden.

Op dit moment heeft vergisting ook een aantal nadelen:

- grotere benodigde opslagcapaciteit;
- voor het geproduceerde biogas moet een nuttige toepassing voorhanden zijn.

Het verdient dan ook aanbeveling de mogelijkheden te onderzoeken voor vergisten van de mest, alvorens deze te gebruiken als reagens voor SNCR.

Vertaling van de ervaringen van de TU Essen met injectie van mest in een ketel van een krachtcentrale, leidt tot de verwachting dat bij AVI's met mest een stoëchiometrie van 1,8 benodigd is voor de vereiste NO_x -reductie. Het temperatuurtraject waarbij de injectie dient te geschieden is vrij breed: tussen 750 en 1050 °C.

Voor een inschatting van het potentieel in Nederland voor mestgebruik bij SNCR is gekeken naar de hoeveelheid varkensdrijfmest die nodig zou zijn, indien alle AVI's die in 2000 operationeel zijn, en die nog niet voor een andere DeNO_x -techniek gekozen hebben, SNCR met mestinjectie zouden toepassen. Daaruit blijkt dat met een mestverwerkingscapaciteit van ruim 0,44 miljoen ton, SNCR met mest een redelijk aandeel (circa 13%) zou kunnen hebben in de verwerking van het (huidige) overschot aan varkensdrijfmest (3,27 miljoen ton per jaar). Op de totale (huidige) mestoverschotten (5,5 miljoen ton per jaar) is deze bijdrage dan circa 8%.

Volgens onderzoek van de TU Essen zijn tongvormige nozzles, met een diameter van 6 mm, geschikt om de (gezeefde) mest te doseren. Het doseersysteem bestaat verder uit een geroerde opslagtank en een ringleiding waardoor de mest rondgepompt wordt. Vanuit deze ringleiding vindt de toevoer naar de nozzles plaats.

Aan de hand van procesgegevens van AVI-Amsterdam is uitgerekend dat bij gebruik van varkensdrijfmest als reagens voor SNCR per verbrandingslijn per uur 4,1 m³ mest geïnjecteerd moet worden. Voor de hele installatie (4 lijnen, 765.000 ton per jaar) betekent dit een mestverbruik van 111.000 m³ per jaar.

Injectie van varkensdrijfmest heeft een aantal nadelige bijwerkingen:

- Door de injectie van mest (in het voorbeeld van AVI-Amsterdam) treedt een daling van de energieproductie op van 1,9%. Dit verlies is echter kleiner dan het verlies aan energieproductie, dat optreedt bij injectie van NH₃-oplossing. (De extra temperatuurdaling bij mestinjectie wordt gecompenseerd door de bij de verbranding van de mest vrijkomende warmte.)
- Ten opzichte van injectie van NH₃-oplossing levert injectie van varkensdrijfmest een verhoging van de hoeveelheid reststoffen op:
 - = vliegias van 30 naar 34 kg per ton afval,
 - = rookgasreinigingsresidu van 20 naar 20,9 kg per ton afval,
 - = filterkoek van 1 naar 1,05 kg per ton afval.
- De toename van de concentraties van met name K₂O en P₂O₅ in de vliegias wordt als nadelig gezien, aangezien dit de kans op aanbaking van de vliegias op keteloppervlakken, met als mogelijk gevolg corrosie, vergroot.
- Het injecteren van mest in de ketel betekent een risico ten aanzien van de CO- en C_xH_y-emissies. Het dient nagegaan te worden of de mest onder condities zoals bij AVI-Amsterdam volledig kan worden verbrand.

Het grote voordeel van mestinjectie zit in het feit dat een emissie van een schadelijke component bestreden kan worden met een afvalstof. Een bijkomend voordeel is het brede temperatuurtraject waarover mest ingezet kan worden als reagens voor SNCR, terwijl NH₃-oplossing slechts in een temperatuurvenster van 900 - 1000 °C de gewenste reductie van NO_x geeft, blijkt mest werkzaam over het traject van 750 - 1000 °C. Dit komt de flexibiliteit van de bedrijfsvoering voor SNCR ten goede.

Bij gebruik van alleen mest als reagens voor SNCR wordt weliswaar een kleinere overmaat geïnjecteerd dan bij gebruik van NH₃-oplossing (1,8 ten opzichte van 5), maar toch kan de NH₃-slip nog aanzienlijk zijn. Dit NH₃ moet worden afgevangen in de wassersectie, waarna het vervolgens uit het waswater verwijderd moet worden door het te strippen met stoom. Daarna kan het teruggewonnen NH₃ bijgemengd worden met de te doseren mest.

Voor een nieuw te bouwen AVI blijkt gebruik van mest als reagens bij SNCR financieel aantrekkelijk ten opzichte van gebruik van een NH₃-oplossing. Bij een capaciteit van 765.000 ton per jaar, bedragen de kosten voor SNCR met NH₃-oplossing ruim f 13,- per ton afval. Indien alleen varkensdrijfmest gebruikt zou worden, zouden deze kosten dalen tot ruim f 11,- per ton afval, indien de varkensdrijfmest kosteloos wordt aangeleverd. Een combinatie van de additieven NH₃ en mest kost ruim f 13,50 per ton afval.

Voor AVI-Amsterdam, waar de investeringen voor de dosering van NH₃-oplossing reeds gedaan zijn, is gebruik van varkensdrijfmest financieel alleen aantrekkelijk (ten opzichte van NH₃-dosering), wanneer er bij de mest een bedrag van minimaal f 40,- extra ontvangen kan worden: met andere woorden wanneer de mest een negatieve waarde van f 40,- per ton of meer heeft.

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

In deze studie naar de haalbaarheid van het gebruik van mest als reagens voor SNCR is gebleken dat er ten aanzien van een aantal factoren nog onzekerheid bestaat of een gebrek aan kennis is. Het meest belangrijke daarbij is de relatie tussen de hoeveelheid te injecteren mest en de gerealiseerde NO_x -reductie. Deze relatie is in dit rapport gebaseerd op de ervaringen van de TU Essen in een krachtcentrale bij reducties van NO_x tot circa 50% en uitgangskonzentraties van circa 200 mg/Nm^3 . Het dient geverifieerd te worden, of de hier uitgevoerde extrapolatie van deze ervaringen naar een NO_x -reductie van 80% met de werkelijkheid overeenkomt. Het voorgestelde alternatief om de reagentia mest en NH_3 -oplossing te combineren, steunt in mindere mate op deze extrapolatie, aangezien hier met mest slechts een reductie van 60% benodigd is. Toch is ook dit alternatief afhankelijk van een verificatie, aangezien de omstandigheden in de afvalverbranding duidelijk verschillend zijn van de omstandigheden in de krachtcentrale.

Een tweede belangrijk punt van onzekerheid betreft de samenstelling van de te gebruiken mestsoort: in dit rapport zijn gemiddelde samenstellingen van de laatste jaren gegeven uit diverse bronnen. In de praktijk kan de samenstelling tussen verschillende mestpartijen van dezelfde soort echter behoorlijk verschillen. Vooral het $\text{NH}_4\text{-N}$ -gehalte van de mest heeft een behoorlijke invloed op de hoeveelheid mest, die geïnjecteerd moet worden. Van de samenstelling van de mest is ook afhankelijk welk type nozzle het best geschikt is, en hoe de kwaliteit van de reststoffen zal worden bij gebruik van mest als reagens voor SNCR.

Verder gebrek aan kennis betreft de invloed van mestinjectie op de corrosie van keteloppervlakken, op het verlies aan energieproductie en op de mogelijkheden om te (blijven) voldoen aan de eisen van de emissiewetgeving, betreffende de uitbrand van de rookgassen (2 seconden, $850 \text{ }^\circ\text{C}$, 6 vol% O_2). Ook het realiseren van een goede verdeling van de mest over de rookgassen behoeft nog nader onderzoek.

7.1 Aanbevelingen

Om genoemde leemten in kennis op te vullen, wordt aanbevolen een reeks van onderzoeken op te zetten en uit te voeren.

Allereerst is het van belang dat de relatie tussen de hoeveelheid te injecteren mest (ook in combinatie met NH_3 -oplossing) en de gerealiseerde NO_x -reductie geverifieerd wordt. Dit kan echter alleen met zekerheid in een AVI vastgesteld worden, in een experiment op werkelijke schaalgrootte.

Om tot dit experiment te komen zullen eerst een aantal vooronderzoeken gedaan moeten worden.

Zo dient er eerst een hoeveelheid van een bepaalde mestsoort, die geschikt lijkt op basis van de in dit rapport genoemde criteria verkregen te worden. Belangrijk daarbij is dat later meer van dezelfde mestsoort van dezelfde bron (veehouderij) verkregen kan worden, zodat de gehele reeks van experimenten met dezelfde mest met dezelfde samenstelling uitgevoerd kan worden. Het inslaan van een grote voorraad biedt daarbij geen uitkomst aangezien de samenstelling van mest verandert tijdens opslag [zie bijvoorbeeld Weber, Gillmann, 1993].

Na afzeven van deeltjes groter dan 3 mm, dient dan de resterende stroom mest volledig geanalyseerd te worden op de van belang zijnde parameters: vochtgehalte, verbrandingswarmte, gehalte aan $\text{NH}_4\text{-N}$, viscositeit, afmeting vaste deeltjes en verder het gehalte van de droge stof aan C, H, O, N, S, P, Cl, F, as en zware metalen (Hg, Cd, As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, V en Zn).

Vervolgens moet er getest worden met welk type nozzle deze mest het beste versproeid kan worden. Belangrijk daarbij is het sproeibeeld gelet op de geometrie van de ketel, en de bedrijfszekerheid in verband met verstoppingen.

Na installatie van de gewenste nozzles (1 inspuitniveau) bij de AVI (AVI-Amsterdam) en de benodigde doseerinstallatie kunnen dan de experimenten uitgevoerd worden. Daarbij dient als eerste de nadruk te liggen op het verband tussen toegepaste stoëchiometrie van varkensdrijfmest en de gerealiseerde NO_x -reductie. Bij een instelling die qua NO_x -reductie voldoet aan de eisen, kan dan worden vastgesteld, wat de invloed van mestinjectie is op:

- De hoeveelheid en samenstelling van de reststoffen,
- De temperatuurdaling van de rookgassen,
- De daling van de energieproductie, en
- De vervuiling van de ketel.

8 Literatuur

- [1] Abbasi; Khinkis; 1991.
Development of natural gas injection technology for NO_x reduction from municipal waste combustors
Municipal Waste Combustion, Conference Papers,
15-19 April 1991, 165-181.
- [2] Anonymus; 1993.
Toekomstige mestoverschotten in de rundveehouderij. Omvang en oplossingen.
Rapportage van de Projektgroep Rundveemestoverschotten, 10 februari 1993.
- [3] Besluit Luchtemissies Afvalverbranding; 1993.
Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden.
Jaargang 1993, 36, januari 1993.
- [4] Dransfeld, P.; Hunsinger, H.; Vogg, H.; 1992.
Die thermischen NO_x-Emissionsminderungen mit Melamin und verwandten Verbindungen bei Müllverbrennungsanlagen.
VGB Kraftwerkstechnik, 72 (1992), Heft 11, 995-1001.
- [5] Eerdt, M. van (red.); 1993.
Uniformering berekening mest en mineralen. Standaardcijfers mest en mineralen varkens 1990.
Werkgroep uniformering mest en mineralen (CBS, IKC, LAMI, LEI, RIVM, SLM), maart 1993.
- [6] Heide, B. von der; Pachaly, R.; 1990.
Nichtkatalytische NO_x-Reduktion bei Feuerungs-, Grossfeuerungs- und Abfallverbrennungsanlagen nach dem NO_xOUT-Verfahren.
VDI-Seminar Dioxin- und NO_x-Minimierungstechnik, München,
20/21 September 1990.
- [7] Ingenieursconsortium; 1989.
Aanvulling studie rookgasreiniging (Richtlijn Verbranden 15-8-89).
- RGR II -.
Ingenieursconsortium Afvalverwerkingsinrichting Amsterdam West v.o.f., 15 september 1989.
- [8] Karasek, F.W.; Dickson, L.C.; 1987.
Model studies of polychlorinated dibenzi-para-dioxin formation during Municipal Refuse incineration.
Science, vol. 237, p. 754-6, 1987.
- [9] Keller-Reinspach, H.W.; Fritz, U.; 1991.
Reduktion von Stickoxiden in der Nachbrennkammer mit N-haltigem Abwasser.
Müllverbrennung und Umwelt 5, EF Verlag, Berlin, 1991, p. 261-271.

-
- [10] Krager, R.; Schulz, W.; 1990.
Entstickung von Müllheizkraftwerke - Erfahrungen der Kraftwirtschaft.
Abfallwirtschaftsjournal 2 (1990), nr. 2, p. 184-196.
- [11] Kubisa, R.; 1991.
SCR-SNCR-Verfahren zur NO_x-Minderung bei Kraftwerken/
Großfeuerungsanlagen und Abfallverbrennungsanlagen.
VDI-Seminar Dioxin- und NO_x-Minimierungstechniken, 17/18 Sept. 1991,
München, BW 964.
- [12] Künzli, M.; 1991.
W+E-Gegenlauf-Überschubrost.
Rostfeuerungen zur Abfallverbrennung, EF-Verlag für Energie- und
Umwelttechnik, Berlin, ISBN 3-924511-55-1, p. 399-415.
- [13] Lautenschlager, G.; 1991.
SNCR-Verfahren zur simultanen NO_x- un Dioxinminderung.
VDI-Seminar Dioxin- und NO_x-Minimierungstechniken, 17/18 Sept. 1991,
München, BW 793.
- [14] Lyon, R.K.; 1987.
Thermal DeNO_x, Controlling nitrogen oxides emissions by a non-catalytic
process.
Environmental Scientific Technology, vol.21, no.3, 1987.
- [15] Reimann, D.O.; 1991
NO_x-Emissionsminderung bei thermischen Restabfallbehandlungsanlagen.
Vergleich aus Betreibersicht.
VDI-Seminar Dioxin- und NO_x-Minimierungstechniken, 17/18 Sept. 1991,
München, BW 943
- [16] Semmler, R.; Weyer, H.; 1992.
Konzeptionierung von Rauchgasreinigungsanlagen unter Verfahrens- und
Sicherheitstechnischen Aspekten.
VDI-Seminar Zeitgemäße, zukunftsweisende Rauchgasreinigungstechniken,
Düsseldorf, 2&3 April 1992.
- [17] SLM; 1991.
Landelijk plan van aanpak mestoverschotten. Deel 1: Aanpak, Oplossingen en
Infrastructuur.
Anonymus, Uitgave: Stichting Landelijke Mestbank 02-12-1991.
- [18] SLM; 1993a.
Afzet van dierlijke mest in de periode 1988-1991. Rapportage op basis van de
geregistreerde afleveringsbewijzen.
Anonymus, Uitgave: Stichting Landelijke Mestbank, maart 1993.

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

- [19] SLM; 1993b.
Informeren over de besteding van de bestemmingsheffing tot 1995 door middel van het afsluiten van contracten door het intermediair met de Mestbank.
Anonymus, Uitgave: Stichting Landelijke Mestbank 15-04-1993.
- [20] Thomé, E.; 1991.
Rauchgasreinigung - Wertstoffrückgewinnung und Schadstoffminimierung Müllverbrennung und Umwelt 5, EF-Verlag, Berlin, 1991, p.197-225.
- [21] Tienjarenprogramma (Ontwerp) Afval 1992-2002; 1992.
Afval Overleg Orgaan, Utrecht.
Rapport nr. AOO 92-01, februari 1992.
- [22] Vogg, H.; Merz, A.; 1990.
Zur Rolle des Elektrofilters bei der Dioxin-Bildung in Abfallverbrennungsanlagen.
Abfallwirtschaftsjournal 2 (1990), no. 9, 529-536.
- [23] Wandschneider, J.; 1992.
'Ammoniakinspuiting in de vuurhaard' en 'Ontwerpconsequenties voor AVI-Amsterdam'.
Lezingen Symposium AVI-Amsterdam 'Van Richtlijn Verbranden '89 naar technisch ontwerp', 2 september 1992, RAI Amsterdam.
- [24] Weber, E.; Gillman, P.; 1993.
Stickoxidminderung mit Gülle bei Abfallverbrennungsanlagen.
Institut für Umweltverfahrenstechnik, Universität Essen GHS
Essen, März 1993.
- [25] Zeevalkink, J.A.; Tirion, H.B.; Voorneburg, F. van; 1992.
De mestoverschottenproblematiek in 1995 en 2000. Een studie ter ondersteuning van de evaluatie van het mestbeleid in 1992.
TNO rapport, ref.nr. 92-312, oktober 1992.

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

9 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu
Directoraat-Generaal Milieubeheer
Hoofddirectie Milieukwaliteit en Emissiebeleid
Directie Lucht en Energie
Afdeling Bedrijven

Namen en functies van de medewerkers

Ir. L.P.M. Rijpkema - onderzoeker
Ing. F. van Voorneburg - onderzoekmedewerker
Dr.Ir. J.A. Zeevalkink - onderzoekmedewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Institut für Umweltverfahrenstechnik
Universität Essen GHS

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
december 1992 - juni 1993

Ondertekening



Ir. L.P.M. Rijpkema
onderzoeker

Goedgekeurd door



Ir. J. de Koning
werkgroepvoorzitter

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

**Bijlage A Vertaling van het rapport:
Stickoxidminderung mit Gülle bei
Abfallverbrennungsanlagen**

Institut für Umweltverfahrenstechnik, Universität Essen GHS.
Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Weber, Dr.-Ing. Peter Gillmann.
Essen, März 1993.

Inhoudsopgave

Inleiding en doelstelling

Samenvatting

Inhoudsopgave

- 1 Inleiding en doelstelling
- 2 Hoeveelheid en samenstelling van mest in het voormalige West-Duitsland (Bondsrepubliek)
 - 2.1 Mestproductie
 - 2.2 Mestsamenstelling
 - 2.2.1 Stikstofgehalte
 - 2.2.2 Verbrandingswarmte
 - 2.2.3 Asgehalte en -samenstelling
 - 2.2.4 Veroudering van de mest
- 3 Installatie voor het doseren van de mest
- 4 NO_x-emissie reductie met mest bij krachtcentrales
 - 4.1 Grondbeginselen van selectieve niet-katalytische reductie
 - 4.2 De invloed van diverse parameters op de effectiviteit
 - 4.2.1 Mestdosering
 - 4.2.2 Verhouding reductiemiddel/NO_x-concentratie
 - 4.2.3 Bedrijfslast
 - 4.2.4 Rookgassamenstelling
 - 4.2.5 Mestsamenstelling
 - 4.2.6 Doorslippen van ongebruikt reductiemiddel
 - 4.3 Bij-effecten en energetische aspecten
 - 4.3.1 Energiebalans
 - 4.3.2 Vervuiling van keteloppervlakken
 - 4.3.3 De werking van het elektrofilter
 - 4.3.4 Mestopslag
- 5 NO_x-emissie reductie met mest bij afvalverbrandingsinstallaties
 - 5.1 Rendement en mestverbruik
 - 5.2 Basic engineering en mestverbruik
 - 5.3 Kostenschatting ten opzichte van NH₃ als reductiemiddel
- 6 Samenvatting
- 7 Literatuur

1 Inleiding en doelstelling

Sedert het midden van de 70-er jaren worden met name in Japan processen ontwikkeld ter reductie van NO_x in rookgassen. Naast primaire stooktechnische maatregelen ter voorkoming van NO_x vorming waren daarbij vooral secundaire processen voor de reductie van gevormd NO_x van belang.

In de bondsrepubliek Duitsland vereisten andere procesomstandigheden (bedrijf, installatieopbouw, brandstofsamenstelling) een aanpassing en verdere ontwikkeling van deze technieken. Aanvankelijk werden deze technieken gebruikt voor de krachtcentrales die gestookt werden met fossiele brandstoffen. Daarna vonden inspanningen plaats om de in de krachtcentrales bewezen technieken te vertalen naar de afvalverbrandingsinstallaties. Hoewel de toegestane NO_x -emissie volgens de geldende regelgeving voor zowel de verbranding van fossiele brandstoffen als voor afval met 200 mg/Nm^3 (droge rookgassen) praktisch gelijk zijn, bestaan er flinke verschillen tussen de beide toepassingsgebieden ten gevolge van de verschillende rookgasomstandigheden.

Bij krachtcentrales (met fossiele brandstoffen en meer dan 300 MW thermisch vermogen) wordt voornamelijk katalytische NO_x -reductie toegepast, welke techniek relatief hoge investeringskosten vereist. De toepassing van de bij krachtcentrales gebruikelijke katalytische techniek bij de afvalverbranding levert problemen op door de hogere zuurstofconcentratie en de hogere concentratie van stoffen die de katalysator kunnen vergiftigen in de rookgassen.

Voor de kleinere en middelgrote installaties (waartoe ook de meeste afvalverbrandingsinstallaties behoren) kan naast de stooktechnische, primaire maatregelen, het niet-katalytische reductieproces een kostentechnisch gunstig alternatief zijn. Het wegvallen van het grote katalysatorvolume (hoge investeringskosten), de bijbehorende benodigde plaats en de lagere energiekosten (katalysator heeft hoge stromingsweerstand voor de gassen), zijn belangrijke voordelen van de niet-katalytische techniek.

Belangrijke bedrijfskosten worden bij het niet-katalytische reductieproces veroorzaakt door het gebruik van reductiemiddel. Als reductiemiddel voor een homogene gasfase-reactie komt theoretisch een aantal stoffen in aanmerking. Voorbeelden van niet selectief werkende, NO_x reducerende verbindingen zijn methaan en andere koolwaterstoffen, maar ook koolmonoxyde en waterstof. Deze verbindingen hebben echter het nadeel dat ze niet alleen NO_x , maar ook andere rookgasbestanddelen ongewild reduceren. Dit betekent een verhoogd reductiemiddelverbruik tezamen met ongewenste bijprodukten.

Gunstiger zijn daarentegen de selectief werkende NO_x -reductiemiddelen, zoals ammoniak, of quasi-selectief werkende componenten zoals stikstof bevattende, organische verbindingen (bijvoorbeeld aminen). Van deze laatste verbindingen werkt dan het N-radicaal selectief en het organische restdeel niet-selectief reducerend.

Gezien het feit dat het reductiemiddelverbruik een belangrijke kostenpost is bij SNCR, is het aantrekkelijk het synthetische, kostbare reductiemiddel te vervangen door afvalstoffen. Een bijkomend voordeel ligt in de verminderde milieubelasting van deze afvalstof, doordat deze nuttig hergebruikt wordt. In principe komen als alterna-

Onderzoek toepasbaarheid van mest (gier) als reagens voor SNCR, fase 1

tieve reductiemiddelen ammoniak of amine bevattende reststoffen uit de chemische industrie, de levensmiddelenindustrie of de landbouw in aanmerking.

Onderzoekingen van het Institut für Umweltverfahrenstechnik der Universität Essen (INUVE) aan laboratorium- en industrie vuurhaarden hebben de geschiktheid van mest voor de reductie van NO_x aangetoond. De werkzaamheid van mest als reagens is vergelijkbaar met die van puur (synthetisch) reductiemiddel. Bovendien heeft het gebruik van mest als voordeel dat het temperatuurvenster waarin de reductie op kan treden aanzienlijk breder is dan bij gebruik van het pure reductiemiddel (werkzame temperatuurtraject $< 100\text{ }^\circ\text{C}$).

Op dit moment vindt de verwerking van mest bijna uitsluitend plaats door het uit te strooien of sproeien over benutbare akkergrond. Deze manier van mestverwerking wordt echter in Duitsland meer en meer ingeperkt door de wetgever middels wetgeving voor afvalverwerking en waterhuishouding. Daardoor moet in de nabije toekomst gezorgd worden voor verwerking van mest via andere wegen. Vanuit die optiek wordt onderzoek verricht naar alternatieve technieken en toepassingen van de mest die gericht zijn op een benutting of concentratie van de voedingsstoffen voor planten. Hiermee zijn naar verwachting aanzienlijke kosten gemoeid te zijn, die de mestproducerende veehouderij enorm zouden belasten. Daar tegenover staat, dat het gebruik van mest in vuurhaarden, zoals bijvoorbeeld voor de reductie van NO_x in de rookgasen bij afvalverbranding, voordelen lijkt te hebben. Tot nu toe zijn hiermee echter nog weinig ervaringen op het gebied van de afvalverbranding beschikbaar.

Het Institut für Umweltverfahrenstechnik der Universität Essen (INUVE) heeft middels omvangrijke experimenten de omstandigheden en het gebruik van ammoniak, ureum, aminen, mest en andere reagentia voor de reductie van NO_x onderzocht. Op grond van deze jarenlange ervaring op dit gebied heeft het INUVE van TNO opdracht gekregen voor het uitvoeren van de studie, die in dit rapport beschreven is. Daarbij lag de nadruk op het rapporteren van mesteigenschappen en -hoeveelheden die relevant waren voor de reductie van NO_x bij krachtcentrales. De overdraagbaarheid van deze ervaringen en kennis op de afvalverbranding moest daarbij aan de hand van het voorbeeld van AVI-Amsterdam onderzocht en beoordeeld worden.

6 Samenvatting

De selectieve niet-katalytische reductie van NO_x (SNCR) met mest als reductiemiddel is door het Institut für Umweltverfahrenstechnik der Universität Essen in omvangrijke onderzoeken, voornamelijk aan industriële vuurhaarden onderzocht en geoptimaliseerd. Met de omstandigheden en de randvoorwaarden zoals die gelden bij een afvalverbrandingsinstallatie (zoals de zeer lage-emissie-eisen) zijn geen nuttige, ervaringen uit de industrie voorhanden. Op basis van laboratoriumonderzoek en de overig beschikbare kennis is echter een NO_x -reductie proces te verwachten zoals in dit rapport omschreven aan de hand van het voorbeeld van AVI-Amsterdam.

Onder optimale procesomstandigheden kan met mest - onder voorwaarde van een hoog $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte (> 2 , maar bij voorkeur > 5 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ per m^3 mest) - zowel de geëiste lage rookgasconcentratie van NO_x (70 mg/Nm^3) als de hoge reductie-effectiviteit (tot 80%) gerealiseerd worden. Een optimaal temperatuurbereik voor de injectie van mest ligt bij ongeveer $1.000 \text{ }^\circ\text{C}$. Indien er grote verschillen in temperatuur over de keteldoorsnede optreden moet hiervoor gecorrigeerd worden door de inspuithoek van de nozzle (ten opzichte van de stromingsrichting van de rookgassen) aan te passen.

De verblijftijd van de reactanten in het voor NO_x -reductie relevante temperatuurtraject (tussen 850 en $1.000 \text{ }^\circ\text{C}$) is bij AVI-Amsterdam met 4 seconden voldoende lang zodat behalve de NO_x -reductie een volledige uitbrand van de meegeïnjecteerde componenten (koolwaterstoffen, CO) te verwachten is. Deze oxydatie wordt nog bevordert door de relatief hoge zuurstofconcentratie die bij afvalverbranding in de rookgassen aanwezig is. Een ongewenst bij-effect van deze hoge zuurstofconcentratie is het duidelijk hogere reductiemiddelverbruik, dat zich mogelijk negatief kan uiten in een duidelijke temperatuurdaling van de rookgassen op het punt van injectie. Om die reden lijkt voor AVI-Amsterdam variant B beter geschikt. Hierbij wordt behalve een relatief kleine hoeveelheid mest (68.5 ml per Nm^3 rookgas) een gereduceerde hoeveelheid ammoniak ($\lambda = 1.5\text{-}1.6$ ten opzichte van $\lambda = 3$ bij alleen ammoniak gebruik) geïnjecteerd.

Voor de bij AVI-Amsterdam in gebruik zijnde elektrofilters moet het voor beide varianten (alleen mest of een combinatie van mest en ammoniak als reductiemiddel) mogelijk zijn om zonder problemen te voldoen aan de emissie-eisen voor stof. Een negatieve invloed van de mestinjectie op het hergebruik van de reststoffen wordt niet verwacht aangezien de concentratie aan verontreinigingen (zoals zware metalen) in de vaste bestanddelen van de mest lager zijn dan (oorspronkelijk) in de vliegashouding.

Samenvattend kan gesteld worden dat de reductie van NO_x middels SNCR met mest als reagens een technisch en economisch aantrekkelijk alternatief voor de reductie van NO_x bij afvalverbrandingsinstallaties is. Dit geldt des te meer wanneer, zoals in het geval van AVI-Amsterdam, de installatie in een gebied gelokaliseerd is, waar de bodem een hoge nitraatbelasting door mest heeft, ten gevolge van intensief, agrarisch gebruik. Bovendien levert dit proces een belangrijke bijdrage aan de verwerking van de, ook in Nederland geproduceerde, mestoverschotten.

Bijlage B

- Toename van zouten en zware metalen in vliegashoudstof door mestinjectie.

Toename van zouten en zware metalen in vlieggas door mestinjectie

28 ton afval per uur

4.1 m3 mest per uur geïnjecteerd

	Vlieggas van afval	Vlieggas van mest	Vlieggas met mestinjectie	Toename concentratie %	Toename hoeveelheid %
Productie [kg/uur]	840	110	950	-	13.1%
Samenstelling [mg/kg]	1)				
Cl	38000	50667	39467	3.9%	17.5%
SO ₄ ²⁾	69266	96000	72362	4.5%	18.1%
P ₂ O ₅ ³⁾	4778	149000	21477	349.5%	408.4%
K ₂ O	-	246000	-		
Cd	302	1.67	267	-11.5%	0.1%
Cu	647	1500	746	15.3%	30.4%
Mn	-	833	-		
Zn	14864	1667	13336	-10.3%	1.5%
Ni	114	15	103	-10.1%	1.7%
Pb	5936	11.7	5250	-11.6%	0.0%
Cr	666	20	591	-11.2%	0.4%
Hg	10	0.33	8.9	-11.2%	0.4%

1) Informatiedocument slak en vlieggas verbranding huishoudelijk en bedrijfsafval
I.H. Antonissen
RIVM rapport nr. 738902017, november 1991
(getallen van AVI-Noord genomen)

2) Het gehalte aan S in de vlieggas van de mest is omgerekend naar SO₄

3) Het gehalte aan PO₄ in de vlieggas van het afval is omgerekend naar P₂O₅

Bijlage C

- Kostenvergelijking voor een nieuw te bouwen afvalverbrandings-installatie.
- Kostenvergelijking voor AVI-Amsterdam.

Kostenvergelijking voor een nieuw te bouwen AVI

- A alleen NH₃-injectie: lambda = 5
 B alleen varkensdrijfmest: lambda = 1.8
 C NH₃: lambda = 1.7, mest: lambda = 1.2

		A	B	C
afval	ton/jaar	765000	765000	765000
NH ₃	ton/jaar	9617	0	3206
stoom	ton/jaar	136607	0	45536
mest	m ³ /jaar	0	110925	73950
vliegasa extra	ton/jaar	0	3005	2004
rgr-residu extra	ton/jaar	0	656	437
filterkoek extra	ton/jaar	0	38	25
Investeringskosten				
machines/procestechniek	* 1000 Dfl	22000	22000	26620
elektro- en M&R-techniek	* 1000 Dfl	7300	7300	8833
bouwkundige voorzieninge	* 1000 Dfl	400	600	634
engineering	* 1000 Dfl	1782	1800	2170
voorfinanciering	* 1000 Dfl	3778	3800	4588
subtotaal	* 1000 Dfl	35260	35500	42845
Vaste bedrijfskosten				
kapitaalkosten	* 1000 Dfl/jaar	3783	3800	4590
personeelskosten	* 1000 Dfl/jaar	83	83	83
diverse kosten (belasting, verzekering, reserve-onderdelen)	* 1000 Dfl/jaar	2020	2050	2467
subtotaal	* 1000 Dfl/jaar	5886	5933	7140
Variabele bedrijfskosten				
NH ₃ -oplossing	* 1000 Dfl/jaar	1683	0	561
stoom	* 1000 Dfl/jaar	1503	0	501
elektriciteit	* 1000 Dfl/jaar	61	383	275
vermindering energieprodu	* 1000 Dfl/jaar	987	543	688
varkensdrijfmest	* 1000 Dfl/jaar	0	0	0
vliegasa	* 1000 Dfl/jaar	0	1503	1002
rgr residu	* 1000 Dfl/jaar	0	328	219
filterkoek	* 1000 Dfl/jaar	0	38	25
subtotaal	* 1000 Dfl/jaar	4234	2794	3271
Totale kosten	* 1000 Dfl/jaar	10120	8727	10411
Kosten per ton afval	Dfl/ton afval	13.23	11.41	13.61
Kosten per ton NO_x verwijderd	* 1000 Dfl/ton NO _x	10.10	8.71	10.39

Vergelijking kosten AVI-Amsterdam

- A alleen NH3-injectie: $\lambda = 5.2$
 B alleen varkensdrijfmest: $\lambda = 1.8$
 C NH3: $\lambda = 1.7$, mest: $\lambda = 1.2$

		A	B	C
Investeringskosten	* 1000 Dfl/jaar	0	35500	26625
Vaste bedrijfskosten				
kapitaalkosten	* 1000 Dfl/jaar	0	3800	2850
personeelskosten	* 1000 Dfl/jaar	83	83	83
diverse kosten (belasting, verzekering, reserve-onderdelen)	* 1000 Dfl/jaar	0	2050	1538
subtotaal	* 1000 Dfl/jaar	83	5933	4471
Variabele bedrijfskosten	* 1000 Dfl/jaar	4234	2794	3271
Totale kosten	* 1000 Dfl/jaar	4317	8727	7741
Kosten per ton afval	Dfl/ton afval	5.64	11.41	10.12
Kosten per ton NOx verwijderd	* 1000 Dfl/ton NOx	4.31	8.71	7.72
Vergoeding mest (zodat mestgebruik in gelijke kosten resulteert)	Dfl/ton mest	-	39.76	46.31