



Proefstation voor de
Rundveehouderij,
Schapenhouderij en
Paardenhouderij

Waiboer-
hoeve

ROC's

Regionale
Onderzoek
Centra

Publikatie nr. 108

Aanzuren rundermest kort voor toedienen

September 1995

Colofon



Uitgever:

Proefstation voor de Rundveehouderij,
Schapehouderij en Paardenhouderij (PR)
Runderweg 6, 8219 PK Lelystad.
Telefoonnr. 0320-293211, Fax. 0320-241584.

Redactie en fotografie:

Afdeling Voorlichting van het PR

Drukker:

Drukkerij Cabri bv
Lelystad

ISSN 0921-2291

Eerste druk 1995 / oplage 4000

De onderzoekcentra



Overname is toegestaan, mits van
uitdrukkelijke bronvermelding voorzien.

Losse nummers zijn uitsluitend verkrijgbaar door
f 12,50 over te maken op Postbanknr. 2307421
van het Proefstation PR, Runderweg 6,
8219 PK Lelystad met vermelding:
Publikatie PR nr. 108

Geïnteresseerden kunnen donateur van
het PR worden.

Informatie is verkrijgbaar bij het PR.

De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid
voor gevolgen bij gebruik van in deze publikatie
vermelde gegevens.

Aanzuren rundermest kort voor toedienen

A.J.H. van Lent

Voorwoord

Bij het Praktijkonderzoek Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij is de afgelopen jaren gewerkt aan een omvangrijk onderzoeksproject naar het aanzuren van dunne rundermest met salpeterzuur in de kelder en silo. In dat onderzoek zijn de meeste aspecten die met het aanzuren en de toepassing van aangezuurde mest samenhangen onderzocht. Gedurende dat onderzoek is door het DLO-Instituut voor Milieu en Agritechniek (IMAG-DLO) en DSM een nieuwe variant van aanzuren ontwikkeld. Hierbij wordt de mest niet in de opslag aangezuurd, maar kort voordat de mest wordt toegevoerd. Hierdoor is het een systeem dat alleen de emissie bij toedienen vermindert. Door het aanzuren in de stal wordt niet alleen de NH₃-emissie bij het toedienen verminderd maar ook in de stal en in de mestopslag. Aanzuren in de kelder en silo was reeds uitgebreid onderzocht (zie PR-rapport 156), daarom is het onderzoek naar het aanzuren kort voor toedienen beperkt gebleven. Alleen die vragen die nog niet beantwoord waren zijn onderzocht.

Het onderzoek is gedaan binnen een onderzoeksproject, onder leiding van de heer M.C. Verboon, dat in samenwerking met het IMAG-DLO (onder leiding van de heer J.F.M. Huijsmans) is uitgevoerd. Het doel van het project was de ontwikkeling van emissie-arme toedieningsmethoden met betrekking tot de dosering en verdeling van mest op minder draagkrachtige en moeilijk berijdbare gronden. Doordat de aangezuurde mest bovengronds met een spreidplaat kan worden toegediend is de methode ook minder schadelijk voor weidevogels dan de bestaande injectie- en sleepvoettechnieken.

Het onderzoek is mede mogelijk gemaakt door financiële steun van het FinancieringsOverleg Mest en Ammoniak (FOMA). Het onderzoek is ondersteund door DSM, die de installatie en het salpeterzuur heeft geleverd.

A.T.J. van Scheppingen
Hoofd afdeling Synthese, PR

Inhoudsopgave

Blz.

1 Inleiding	3
2 Proefopzet	4
3 Techniek van het aanzuren kort voor toedienen	5
3.1 Werkingsprincipe	5
3.2 Werking van de installatie	5
3.3 pH-meting	6
3.4 Toediening	7
4 Processen in de mest	8
4.1 Mestsamenstelling	8
4.2 Ammoniakemissie.....	9
4.3 Denitrificatie	9
4.4 Geuremissie	9
4.5 Gasvorming bij het aanzuren.....	10
5 Bemesting en graslandgebruik	11
5.1 Perceelsindeling.....	11
5.2 Bemesting	11
5.3 Graslandgebruik	12
6 Arbeidsbehoefte	13
6.1 Tijdsbesteding aanzuren	13
6.2 Tijdsbesteding toedienen	13
7 Toepassingsmogelijkheden en economische effecten	15
7.1 Stikstoftoevoeging aan mest bij aanzuren	15
7.2 Mogelijke veebezettingen bij aanzuren	15
7.3 Economische aspecten	17
8 Conclusies	20
Samenvatting	21
Literatuur	22
BIJLAGEN	23

1 Inleiding

Vooraf op zware klei en veengronden is emissiearme toediening met de zodebemester en mest-injecteur bezwaarlijk omdat de machines te zwaar zijn en/of de zode wordt doorgesneden. Inmiddels zijn de sleepvoetenmachine en de sproeiboom erkend als emissie-arme technieken. Met name de sproeiboom komt grotendeels tegemoet aan de bezwaren van zodebemesting of injectie. Een nadeel is dat de emissie bij deze techniek minder ver gereduceerd wordt (sleepvoet circa 65 %, sproeiboom ruim 50 %) dan andere emissie-arme technieken.

Het aanzuren van mest (met salpeterzuur) in de kelder is reeds enkele jaren beproefd, zowel in het onderzoek (PR-rapport 156) als in de praktijk. Het aanzuren kort voor het toedienen heeft enkele voordelen ten opzichte van het aanzuren in de stal. Het belangrijkste voordeel is dat geen denitrificatie optreedt. Daardoor hoeft de mest minder aangezuurd te worden en is minder zuur nodig.

Door de mest aan te zuren met salpeterzuur wordt de ammoniak in de mest gebonden. De ammoniakemissie wordt daardoor sterk vermin-

derd, en de aangezuurde mest kan bovengronds met een spreidplaat worden toegediend. Voor de veehouder kan het een voordeel zijn dat hij zelf de mest kan toedienen, met z'n eigen mesttank. Hij is daardoor minder afhankelijk van de loonwerker, die ook meestal zwaardere toedienings-apparatuur heeft.

Met name in de jaren 1991 en 1992 heeft DSM veel ervaring opgedaan met deze uitrijvariant. Voor de toepassing in de praktijk was er nog behoefte aan meer onderzoek over de praktische aspecten, het graslandgebruik, de bemesting van het grasland, de effecten op het vee, de kosten en opbrengsten, technische vragen en de arbeidsbehoefte. Aanzuren in de kelder en silo was reeds uitgebreid onderzocht, daarom zijn bij het aanzuren kort voor toedienen zoveel mogelijk de beschikbare gegevens gebruikt. Om een zo volledig mogelijk beeld te geven over het aanzuren kort voor toedienen zijn in deze publikatie ook resultaten van eerder onderzoek beschreven. Deze zijn afkomstig van diverse publikaties van het NMI, IMAG-DLO en AB-DLO.

2 Proefopzet

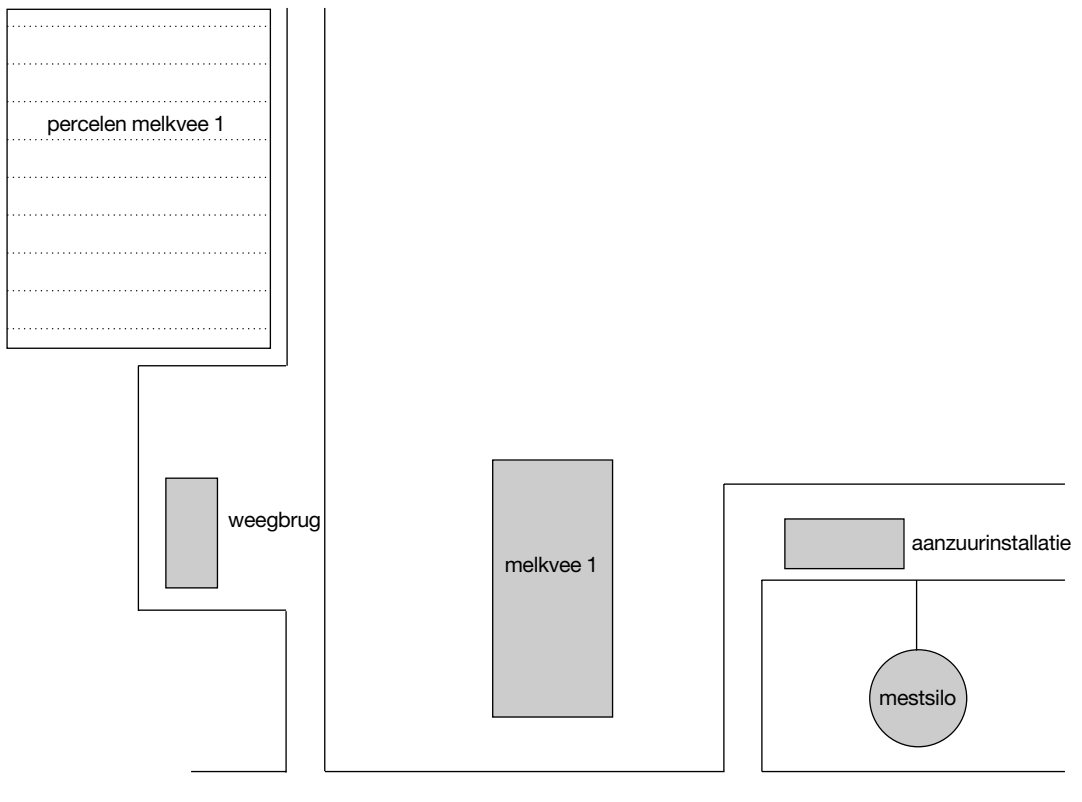
Zoals in de inleiding beschreven is was het aanzuren kort voor toedienen een vervolg op reeds eerder uitgevoerd onderzoek naar het aanzuren in de kelder en silo. Bij het onderzoek naar het aanzuren kort voor toedienen is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de beschikbare onderzoeksresultaten. Aanvullend zijn enkele aspecten nader onderzocht. Dit betreft vooral de praktische toepassing (in bedrijfsverband): de werking van de installatie, de samenstelling van de mest, de processen die optreden tijdens en na het aanzuren, de bemesting, het graslandgebruik en de arbeidsbehoefte.

Het aanzuren van mest kort voor toedienen is onderzocht op Melkvee 1 van de Waiboerhoeve.

Het is toegepast als bedrijfssysteem waarbij alle mest van het bedrijf op deze wijze is toegediend. De proef is uitgevoerd tijdens het groeiseizoen van 1993.

Het bedrijf beschikte over een grupstal voor het melkvee, met een beperkte mestopslagcapaciteit. De geproduceerde dunne rundermest werd grotendeels opgeslagen in een mestsilo naast de stal. Deze heeft een inhoud van 1.100 m³, de mest was afgedekt met een strokorst. In figuur 1 staat een situatieschets. Het bedrijf omvatte een oppervlakte van 23,8 ha grasland. De veestapel bestond uit circa 55 melkkoeien met bijbehorend jongvee. De melkproductie was gemiddeld 8.000 kg per koe.

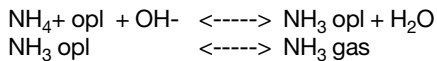
Figuur 1 Situatieschets op Waiboerhoeve



3 Techniek van het aanzuren kort voor toedienen

3.1 Werkingsprincipe

De in dunne rundermest aanwezige minerale stikstof komt in onbehandelde mest voor in de vorm van opgelost ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), opgelost ammoniak (NH_3) en (vrij) ammoniakgas. Hier-tussen bestaan evenwichten:



Tussen de NH_3 -moleculen in de vloeistof en de lucht boven de vloeistof ontstaat een evenwicht. De concentratie ammoniak in de mest is hoger dan in de lucht boven de mest, daardoor treedt vervluchtiging op van NH_3 aan het grensoppervlak van mest en lucht. Door H^+ -ionen (zuur) aan de mest toe te voegen verschuift het hierboven genoemde evenwicht naar het niet vluchtige ammonium. Daardoor zal er aanzienlijk minder ammoniak ontwijken.

In principe kan elk zuur gebruikt worden. Organische zuren zijn vaak duurder en worden in de mest afgebroken. Van anorganische zuren is fosforzuur niet geschikt omdat het de toch al vaak rijke fosfaatvoorziening op de bedrijven verder zou verhogen. Zwavelzuur geeft aanleiding tot de vorming van zwavelwaterstof. Dit gas is in hoge concentraties giftig voor mens en dier. Met zoutzuur wordt extra chloor toegevoegd, wat bezwaarlijk is voor enkele gewassen. Salpeterzuur bevat nitraat wat een belangrijk nutriënt is bij de groei van gewassen. De toe-gediende hoeveelheid kan in mindering worden gebracht op de kunstmestgift.

3.2 Werking van de installatie

Voor het toevoegen van het salpeterzuur is een speciale installatie nodig. De installatie bestaat uit:

- een mengtank waarin de mest wordt aan-gezuurd,
- een opslagtank voor het salpeterzuur,
- een procescomputer voor sturing en controle van het aanzuurproces,
- een aantal pompen (voor mest, zuur en anti-schuimmiddel).

De mengtank waarin de mest wordt aangezuurd is afgestemd op de grootte van de mesttank van de veehouder. Voor de toepassing in de praktijk wordt de mengtank van beton gemaakt. Voor dit onderzoek is een mobiele (proef)installatie ge-bruikt met een tank van roestvaststaal (8 m^3). De zuurtank is eveneens van roestvaststaal, de in-houd wordt afgestemd op de bedrijfssituatie. De opslagtank voor het zuur is in een roestvaststalen lekbak geplaatst.

Een procescomputer stuurt en controleert de installatie. Met een druk op de knop wordt het proces gestart en wordt volledig automatisch een tank mest aangezuurd. Het proces begint met het vullen van de mengtank met mest. Hiervoor wordt een elektrische aangedreven verdringer-pomp gebruikt (7,5 kW). Vervolgens wordt de mest gemengd met een electromixer (4,0 kW) en wordt anti-schuimmiddel en vervolgens zuur toegevoegd. Tijdens alle stappen worden diverse controles uitgevoerd om het proces te bewaken (of alle processen juist worden uitgevoerd) en te voorkomen dat onveilige situaties ontstaan. Indien in een bepaalde stap een storing optreedt stopt de installatie en geeft een zichtbaar en hoorbaar alarm. De gewenste pH van de mest is geprogrammeerd, in deze proef op pH 5,0. Om de emissie te verminderen is een bepaalde mini-mum pH nodig (paragraaf 4.2), een nog lagere pH kost meer zuur. De procescomputer verza-melt tevens een groot aantal gegevens over de begin- en eindwaarde van de pH, de hoeveelheid zuur die verbruikt is, eventuele storingen, enzovoort. Via een telefoonaansluiting kunnen de gegevens gelezen worden, zodat de zuurlever-ancier op tijd kan zien wanneer zuur geleverd moet worden. Ook kunnen zo storingen gemeld worden aan een storingsdienst.

Bij eerder onderzoek werd geconstateerd dat vervuiling van de pH-electrode optrad. Daarnaast bleek dat door de sturing van de installatie op pH, de hoeveelheid zuur die werd toegevoegd varieerde. Op grond van deze ervaringen en er-varingen op praktijkbedrijven van DSM is be-sloten een electromixer met een hoger vermogen (4,0 kW in plaats van 2,2) te monteren om de genoemde problemen te voorkomen. Dit bleek effectief. De installatie heeft gedurende het on-

Tabel 1 pH-controle metingen

Datum	pH installatie	Portable pH-meter
11/3/93	5,00	5,17
	5,00	5,14
	5,10	5,22
12/3/93	5,00	5,17
	5,06	5,22
	5,04	5,20
	5,00	5,16
	5,02	5,19
	4,99	5,15
	4,99	5,19
29/6/93	4,97	4,95
	4,96	4,95
	5,06	5,13
	5,04	5,03

derzoek storingsvrij gewerkt. De installatie heeft nagenoeg geen onderhoud. Om homogene mest te verkrijgen moet kort voor het aanzuren ook de mest in de opslag (in de kelder of silo) gemengd worden.

3.3 pH-meting

Het aanzuurproces is gestuurd op basis van de pH, deze was ingesteld op pH 5,0. De installatie voegt zuur toe totdat de ingestelde waarde bereikt is. De mest wordt in stappen aangezuurd. Na iedere stap (bepaald aantal seconden) is een mengtijd ingelast, waarin geen zuur gedoseerd wordt. Gedurende deze tijd wordt de pH gecontroleerd.

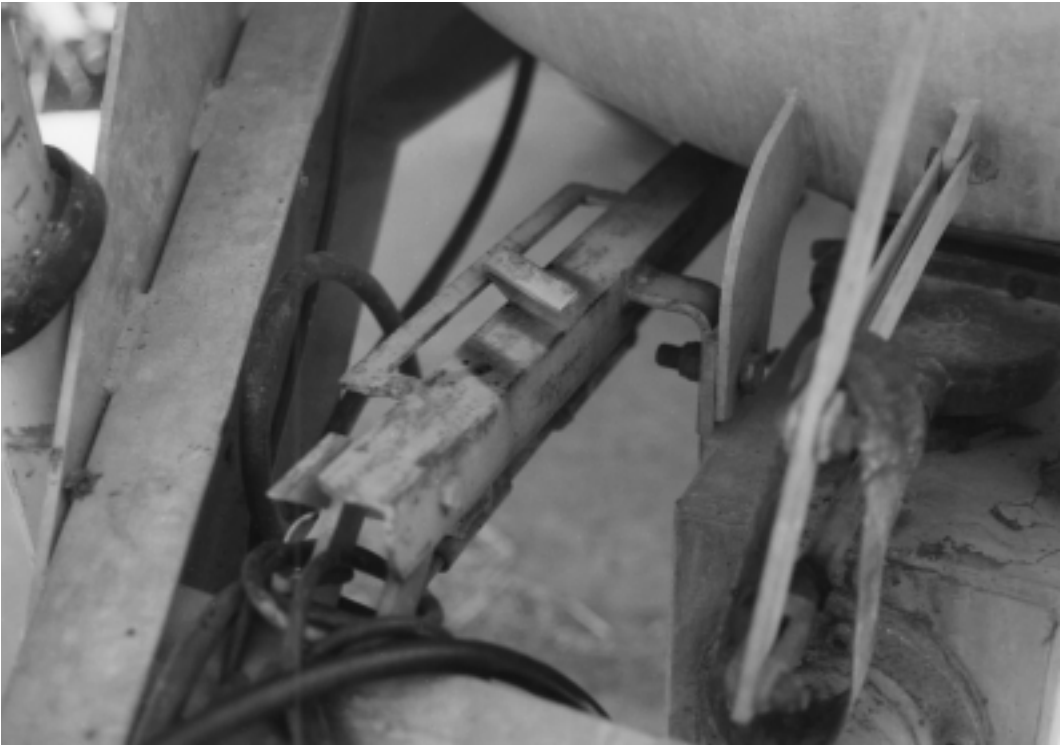
De pH-meter van de aanzuurinstallatie is maandelijks gecalibreerd, op grond van ervaringen die opgedaan zijn bij het aanzuren van mest in de kelder. In de tussenliggende periode traden slechts kleine afwijkingen (maximaal 0,2 eenheden) in de pH van de mest op.

Met een portable pH-meter zijn controle-metingen uitgevoerd om vast te stellen of de mest tot de juiste pH is aangezuurd. De gegevens staan vermeld in tabel 1.

Uit tabel 1 blijkt de uiteindelijke pH van de mest in de mengtank na aanzuren nagenoeg gelijk te zijn aan de ingestelde waarde. De hoeveelheid zuur die per ton mest werd toegevoegd varieerde



De aangezuurde mest werd met een speciale spreidplaat bovengronds toegediend.



Met een eenvoudige schaalverdeling is de stand van de smoorklep die de mesttoevoer regelt te zien.

nauwelijks tussen de afzonderlijke partijen aangezuurde mest. Uit de controlemetingen bleek dat de mest homogeen aangezuurd werd, alle mest in de mengtank had dezelfde pH.

3.4 Toediening

Alle aangezuurde mest is toegediend met een pomptankwagen (van 7 m³ inhoud) met een spreidplaat: de Eisele precisieverdeler. Deze spreidplaat heeft een gemiddelde werkbreedte van 10 tot 12 meter. De meeste percelen waren tussen de 38 en 40 meter breed. Dit was te breed voor drie banen en te smal voor vier banen. Daarom is met een hoger aftakstoerental geprobeerd dezelfde percelen met drie evenwijdige banen te bemesten. Bij sterke zijwind (dwars op de rijrichting) lukte dit niet. Vervolgens is geprobeerd met een lager motortoerental om de percelen in vier banen te bemesten. Dit was niet praktisch omdat met een te laag motortoerental gereden moest worden. De pomptankwagen is daarom aangepast. In de persleiding van de pomp was reeds een driewegkraan gemonteerd. Deze pompt de mest desgewenst naar de spreid-

plaat of terug in de tank (om te kunnen mengen in de tank). Normaal is er geen tussenstand. Door in de hydrauliekleiding naar de cilinder een verstelbare smoorklep te bouwen is de klep traploos verstelbaar gemaakt. Vanuit de trekkercabine is op een schaalverdeling de stand van de klep af te lezen. Hierdoor kan onafhankelijk van het aftakstoerental toch een variabele hoeveelheid mest naar de spreidplaat gepompt worden. Op deze manier bleek de werkbreedte van de spreidplaat eenvoudig verstelbaar.

Het toedienen met de spreidplaat bleek echter windgevoelig. Na toediening werd soms visueel een slechte verdeling van de mest waargenomen. In sommige gevallen waren zelfs bemestingsbanen zichtbaar (onder andere verschil in grashoogte). Met een sleepslangen- of sleepvoetenmachine is de verdeling van de mest niet windgevoelig. Uit ander onderzoek bleek dat door toediening met de sleepslangen- of sleepvoetenmachine ook minder geuremissie, en bedekking en verbranding van het gras optrad dan met een spreidplaat.

4 Processen in de mest

4.1 Mestsamenstelling

Voor het onderzoek is een 58 % salpeterzuuroplossing gebruikt. Het soortelijk gewicht was 1,35 kg per liter en het (nitraat)stikstofgehalte was 12,7 - 12,8 %. Om de bemestende waarde van aangezuurde mest te kunnen vaststellen zijn gedurende het groeiseizoen regelmatig mestmonsters genomen. In totaal zijn 18 monsters geanalyseerd. De monsters zijn genomen direct na aanzuren, uit de mengtank van de installatie. De monsters zijn direct in de diepvries gelegd en bewaard tot de analyse. De gehalten in de mest staan in tabel 2.

Uit de tabel blijkt dat de mestsamenstelling gedurende het seizoen verandert (doordat mest wordt bijgepompt, wijziging in rantsoen, veroudering van de mest, enzovoort). Voor een nauwkeurige bemesting moet de mest regelmatig bemonsterd worden.

Telkens voordat mest is toegediend is deze in de silo gemengd, aanvankelijk onder de strokorst. Op 1 juni is in de loop van de dag de strokorst door de mest gemengd. Het drogestof gehalte van de mest nam hierdoor toe (zie de stippellijn in tabel 2). Het (gewogen) gemiddelde ammoniumstikstof gehalte was 1,9 kg per ton, het gemiddelde nitraatstikstofgehalte was 2,1 kg per ton.

De mestsilo was eind juni leeg. Na die tijd is tot half augustus nog een beperkte hoeveelheid mest aangezuurd die uit de stal was overgepompt. Deze mest was sterk verdund met afvalwater (van de reiniging van de melkinstallatie en de stal). Deze verdunning is terug te vinden in de samenstelling van de mest. De hoeveelheid zuur die nodig was nam hierdoor eveneens af. Dit is zichtbaar aan het lagere nitraatgehalte van de mest in tabel 2.

Titratiecurves van de mest

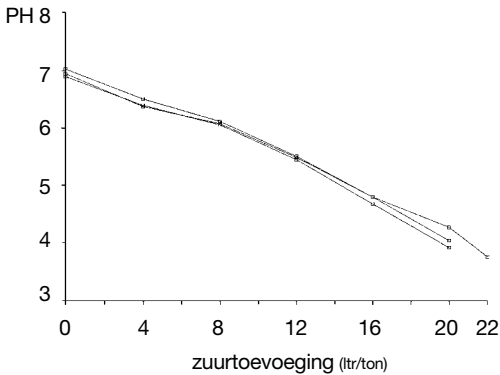
Om te bepalen hoeveel zuur nodig was om de mest op pH 5,0 te brengen is kort voor de start van de proef een titratiecurve van de mest gemaakt. Tevens is een monster van de (onbehandelde) mest genomen en geanalyseerd. Op basis van de titratiecurve en de mestanalyse kon de bemestende waarde van de, kort daarna aan te zuren, mest nauwkeurig worden ingeschat. Op 3 maart zijn nadat de mest in de silo gemengd was drie aparte monsters van de mest in de silo genomen. Van de afzonderlijke monsters zijn titratiecurves bepaald, zie figuur 2.

Uit figuur 2 blijkt dat er nauwelijks verschillen waren tussen de afzonderlijke monsters. Tevens

Tabel 2 Samenstelling aangezuurde mest (analyse Milieulab IMAG-DLO)

	NH ₄ -N (g/kg)	NO ₃ -N (g/kg)	N-tot (g/kg)	pH	P (g/kg)	K (g/kg)	ds (%)	as (% ds)
10/3/93	1,90	2,26	5,21	5,4	0,42	4,19	5,26	24,9
11/3/93	1,87	2,22	5,05	5,4	-	-	5,57	24,0
11/3/93	1,92	2,20	5,00	5,3	0,42	4,17	5,34	25,3
12/3/93	1,97	2,17	5,16	5,4	-	-	5,65	23,7
29/4/93	1,98	2,77	5,54	5,0	-	-	6,50	
6/5/93	2,00	2,68	5,76	4,9	-	-	6,32	
6/5/93	2,03	2,59	5,64	5,0	0,47	4,20	5,96	
17/5/93	2,03	2,47	5,57	4,9	-	-	6,09	
21/5/93	1,97	2,22	5,24	5,0	-	-	5,83	
1/6/93	1,90	2,10	4,96	5,1	-	-	5,55	
7/6/93	1,94	2,19	5,55	5,1	-	-	8,61	
9/6/93	1,97	2,27	5,56	5,1	0,64	2,81	9,04	
10/6/93	1,95	1,78	5,25	5,5	-	-	8,87	
15/6/93	1,87	2,17	5,36	5,1	-	-	8,96	
23/6/93	1,73	1,77	4,87	5,2	0,66	3,41	7,65	
29/6/93	1,61	1,64	4,54	5,3	-	-	6,99	
7/7/93	1,34	1,73	4,15	5,2	-	-	5,65	
10/8/93	0,70	1,01	2,02	5,1	-	-	1,85	

Figuur 2 Titratiecurves van de mest



blijkt dat voor het aanzuren tot pH 5,0 circa 14 à 15 liter zuur per ton nodig was. Vanaf het begin van de proef (maart 1993) is regelmatig verse mest uit de stal overgepompt naar de silo. De samenstelling van de mest is daardoor gaandeweg het onderzoek iets veranderd. In figuur 3 is het zuurverbruik tijdens de proef weergegeven.

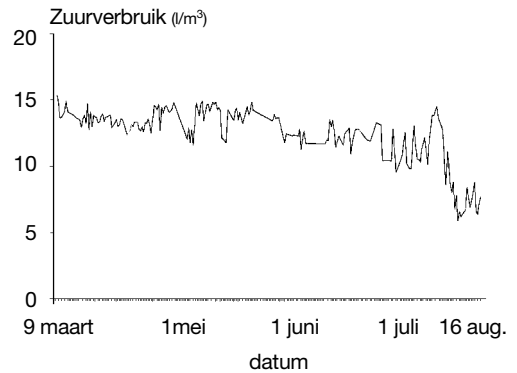
Uit figuur 3 blijkt dat het zuurverbruik tijdens de proef weinig varieert, het daalt enigszins aan het eind van de proef. Het gemiddelde zuurverbruik over het gehele seizoen was circa 12 liter per m^3 . Bij het aanzuren van mest in de kelder was het zuurverbruik 25 - 35 liter per m^3 . De oorzaak hiervan was dat de mest (bij het aanzuren kort voor toedienen) een lager droge-stofgehalte had, namelijk 5 - 8 %, bij het aanzuren in de kelder was dit 10 - 12 % (van Lent, et al., 1995). In de praktijk zal het zuurverbruik meestal hoger zijn dan in deze proef.

4.2 Ammoniakemissie

De doelstelling die geformuleerd is voor de emissie-reductie bij het toedienen van mest is gesteld op 80 %. Bij aanzuren van mest hangt de emissie-reductie af van de concentratie ammonium en de pH van de mest, de temperatuur van de lucht, verdamping en de grondsoort (Bussink, et al. 1995).

Wanneer de mest wordt aangezuurd kort voor het toedienen kan de pH ingesteld worden op de waarde die nodig is om een emissiereductie van 80 % te behalen. Voor de proef is, op basis van de destijds beschikbare informatie, alle mest tot pH 5,0 aangezuurd. Bij het aanzuren van mest in de kelder moet de mest tot een lagere pH aangezuurd worden. De mest wordt hierbij langere tijd opgeslagen, daardoor treedt nitraatverlies op door denitrificatie. Om denitrificatie te be-

Figuur 3 Zuurverbruik



perken moet de mest tot pH 4,0 aangezuurd worden.

Door Bussink et al. (1995) zijn alle emissiemetingen (volgens de micrometeorologische massabalansmethode) overzien. De conclusie was dat aangezuurde mest met een pH van respectievelijk 4,5, 5,0 en 6,0 een reductie van de NH_3 -emissie geeft van 85, 72 en 55 %.

4.3 Denitrificatie

Een nadeel van de toevoeging van salpeterzuur is dat in meer of mindere mate denitrificatie kan optreden. Dit is een microbiel proces waarbij HNO_3 wordt omgezet in vluchtige, niet oplosbare verbindingen NO , N_2O en N_2 . Ook ontstaan vluchtige verbindingen NO_2 en NH_3 die in de mest opgelost kunnen blijven. Omdat de mest echter direct na aanzuren wordt toegediend kan nauwelijks denitrificatie optreden.

Voor de proef is in totaal 24.952 kg salpeterzuur verbruikt (18.483 liter). Deze hoeveelheid bevatte 3.181 kg stikstof in de vorm van nitraat. In totaal is 1.550 ton mest aangezuurd. Het zuurverbruik was dus gemiddeld 12 liter per ton mest. Aan de hand van de toegevoegde hoeveelheid komt hieruit een berekend nitraatstikstofgehalte van 2,1 kg per ton. Het in het laboratorium vastgestelde nitraatstikstofgehalte was gemiddeld 2,1 kg per ton mest. Hiermee wordt bevestigd dat bij het aanzuren kort voor het toedienen (nagenoeg) geen denitrificatie optreedt.

4.4 Geuremissie

In het onderzoek zijn geen objectieve metingen gedaan naar de geuremissie. Wel werd door de medewerkers gesteld dat in aanzienlijke mate stank vrijkwam na het toedienen van de aangezuurde mest. Binnen andere proeven van diverse onderzoeksinstituten is wel de geuremissie

gemeten. Hierbij bleek de geuremissie van aangezuurde mest, net als die van onbehandelde mest, sterk te variëren. Gemiddeld was de geuremissie van aangezuurde mest niet hoger dan die van onbehandelde mest (beide toegediend met een spreidplaat). De geuremissie kon sterk verminderd worden door de aangezuurde mest toe te dienen met de sleepvoetenmachine (Steunenbergh en Roos, 1991).

4.5 Gasvorming bij het aanzuren

Tijdens het toevoegen van het zuur aan de mest wordt gas geëmitteerd.

Door de pH-verlaging wordt de CO_2 uitgestoten die in de mest is opgelost in de vorm van bicarbonaat (van Lent, 1994). Hierdoor ontstaat schuim, dit kan voorkomen worden door anti-schuimmiddel toe te voegen. Tijdens de proef is in totaal circa 150 liter anti-schuimmiddel (Akyo SPF25) gebruikt.

Verder treedt emissie op van H_2S , HCN en in beperkte mate NH_3 . Daarnaast kan een zeer beperkt deel van het salpeterzuur vervluchtigen

(nitreuze dampen). Tijdens het aanzuren zijn de concentraties gemeten in de mengtank, in de afvoerpijp van de ventilator en in de omgeving van de installatie. Deze metingen zijn samengevat in tabel 1.1 tot en met 1.3 in bijlage 1.

De concentraties bij een stilstaande ventilator in de mengtank zijn dermate hoog dat deze dodelijk zijn. De ventilator dient dus altijd te werken tijdens het aanzuren. Verder blijkt uit de metingen dat geen NH_3 , H_2S , HCN en $\text{NO} + \text{NO}_2$ detecteerbaar is op de installatie, boven de mengtank. In de afvoerpijp van de ventilator die de gassen uit de mengtank verdunt naar buiten blaast treden hoge concentraties van H_2S op, twee tot acht keer zo hoog als de MAC-waarde. De MAC-waarde is maximale concentratie op de arbeidsplek. De CO_2 -concentratie was circa vijf keer hoger dan de MAC-waarde. De HCN is ongeveer gelijk aan de MAC-waarde. Doordat de ventilator een vrij hoge afvoerpijp heeft en de gassen omhoog blaast treden op de arbeidsplek geen gevaarlijke concentraties op. De ventilator moet tijdens het aanzuren dan wel werken.



Op de voorgrond de mestpomp die de mest van de silo in de aanzuurinstallatie pompt.

5 Bemesting en graslandgebruik

5.1 Perceelsindeling

Voor het onderzoek zijn alle percelen van afdeling 1 (grupstal) van de Waiboerhoeve gebruikt. Perceel 4, 5 en 6 zijn samengevoegd, evenals 9 en 10. In totaal is een oppervlakte van 23,8 ha beschikbaar geweest voor de proef. De perceels-groottes staan vermeld in tabel 3.

5.2 Bemesting

In totaal is 1.550 ton mest aangezuurd en toegediend op de percelen van het bedrijf. De mestgift was gemiddeld 65 ton per ha. Het gemiddelde gehalte aan voor de plant snel opneembare stikstof bedroeg circa vier kg per ton. Door de mest aan te zuren is een stikstofgift gerealiseerd van 258 kg N per ha. Hiervan was 124 kg afkomstig van de reeds in de mest aanwezige $\text{NH}_4\text{-N}$. Daarnaast is gemiddeld 134 kg nitraatstikstof aangevoerd met het salpeterzuur. Alle snedes zijn zoveel mogelijk met aangezuurde mest van stikstof voorzien. Pas nadat alle mest op was, is kunstmeststikstof gebruikt. De stikstofbemesting is gemiddeld als volgt opgebouwd:

122 bemestingen op 20 percelen =	6,1 keer per perceel
waarvan 82 keer organische mest	4,1 keer
40 keer kunstmest	2,0 keer
	”

De toediening van de dunne rundermest geschiedde op basis van de gewenste stikstofbemesting. Op percelen met een lage fosfaattoestand (op basis van grondonderzoek) werd met de dunne mest te weinig fosfaat aangevoerd. Voor de eerste snede is daarom op die percelen een aanvullende bemesting met fosfaatkunstmest gegeven.

De drijfmestgiften varieerden tijdens het groeisei-

Tabel 3 Perceelsoppervlakte

Perceelsnummer	Oppervlakte (ha)
3	1,18
4, 5, 6	2,74
7	1,16
8	1,14
9, 10	1,55
11	1,14
12	1,14
13	1,14
14	1,14
15	1,14
16	1,14
17	1,15
18	1,20
19	1,34
20	0,64
21	1,22
22	1,15
23	1,23
24	1,22
Totaal	23,8 ha

zoen tussen 10 en 25 ton per ha, dit komt overeen met 40 tot 100 kg N per ha. De gerealiseerde bemesting staat samengevat in tabel 4.

Uit de tabel blijkt dat 77 % van de stikstof in de vorm van aangezuurde mest is verstrekt, 23 % is aangevuld met kunstmeststikstof. Voor een nauwkeurige bemesting (vooral N) moet de aangezuurde mest regelmatig bemonsterd worden (paragraaf 4.1). Daarnaast moet deze zo exact mogelijk gedoseerd worden.

In onderzoek van Schils et al. (1995) is de stikstofwerking van aangezuurde mest vastgesteld in maaiproeven. De werking, berekend op basis van de minerale N in de mest, bedroeg gemiddeld voor de eerste snede 110 % en voor de latere sneden 90 % (vergeleken met kunstmeststikstof). De verschillen tussen zandgrond en kleigrond zijn gering. Hierbij is uitgegaan van mest die in de

Tabel 4 N-min, P_2O_5 en K_2O -bemesting

	N-min (kg/ha)		P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)	Bemestingen per perceel
Aangezuurde mest	258	(77 %)	132	259	4,1
Kunstmest	78	(23 %)	22	0	2,0
Totaal	336	(100 %)	154	259	6,1

kelder was aangezuurd tot pH 4,5. Gezien het geringe verschil in ammoniakemissie mag worden verondersteld dat de stikstofwerking bij pH 5,0 bij benadering gelijk is aan die bij pH 4,5.

5.3 Graslandgebruik

In totaal zijn 40 maaisnedes geoogst. Dit komt overeen met 2,0 maaisnedes per perceel. Het maaipcentage was 200 %, in de voorgaande vier jaar (1989 - 1992) was dit respectievelijk 240, 184, 165 en 190 %. In totaal is circa 150 ton droge stof aan gras geoogst.

In totaal waren er 101 weidesnedes, gemiddeld 5,2 per perceel.

De percelen zijn meestal eerst geweid door de

melkkoeien en vervolgens nageweid door de droge koeien en/of het jongvee. De weidesnedes zijn achteraf, indien nodig was, gebloot. In totaal is 30 keer gebloot, gemiddeld 1,5 keer per perceel.

Door het relatief lage N-gehalte in de mest (vergeleken met in de kelder aangezuurde mest, van Lent 1994) zijn telkens vrij grote hoeveelheden mest per ha toegediend. Bij droog weer werd vaak bedekking van het gras met mest en verbranding geconstateerd. Dit was zichtbaar enkele dagen na toediening aan de witte punten van de grassprietten. Na 10 à 14 dagen was dit meestal weer verdwenen.



Overzicht van de mengtank, de bedieningsknoppen en de pH-meter.

6 Arbeidsbehoefte

De arbeidsbehoefte bij het aanzuren kort voor toedienen bestaat uit twee hoofdactiviteiten, het aanzuren van de mest in de installatie en het toedienen van de aangezuurde mest. Deze worden afzonderlijk besproken in dit hoofdstuk. De tijd voor het mengen van de mest in de opslag (stal of silo) wordt niet besproken, deze kost evenveel tijd als bij het toedienen van onbehandelde mest.

6.1 Tijdsbesteding aanzuren

De tijd die nodig is om de mest aan te zuren bestaat uit het tijdsbestek tussen de start van het proces (het indrukken van de startknop) en het moment dat de installatie meldt dat het proces klaar is. Deze tijd is inclusief het vullen van de mengtank, het mengen, toedienen van anti-schuimmiddel en salpeterzuur en het namengen van de mest. De benodigde tijd is afhankelijk van:

- de hoeveelheid mest die wordt aangezuurd en
- de pH waartoe de mest wordt aangezuurd (deze is instelbaar).

Tijdens dit onderzoek is de mest tot pH 5,0 aangezuurd. De gemiddelde hoeveelheid mest die is aangezuurd per tank was ruim 5.800 kg. Aan de hand van tijdmetingen (tabel 2.1 in bijlage 2) is vastgesteld dat het gehele proces gemiddeld ruim elf minuten in beslag neemt. De procescomputer van de aanzuurinstallatie houdt eveneens per tank bij wanneer het proces start en eindigt. Deze tijden worden op hele minuten afgerond en vastgelegd. Uit de metingen van alle tanks komt een gemiddelde tijd van $11\frac{1}{2}$ minuut. De tijd om de mest toe te dienen bleek voldoende om een volgende tank aan te zuren (paragraaf 6.2). Indien noodzakelijk kan de tijd die nodig is om de mest aan te zuren verkort worden. De helft van de tijd is nodig om de mengtank te vullen met mest. Door een pomp met een hogere capaciteit te gebruiken kan sneller gewerkt worden.

6.2 Tijdsbesteding toedienen

De tijdsbesteding bij het toedienen is afhankelijk van:

- de inhoud van de mesttank,
- de afstand van de installatie tot het perceel en
- de mestgift.

Bij twintig tanks is de tijdsbesteding gemeten. Deze was opgebouwd uit de volgende elemen-

ten:

- vultijd
tijd voor het vullen van de mesttank, vanaf aansluiten van de slang tot en met afkoppelen,
- naar weegbrug
tijd voor transport vanaf de installatie naar de weegbrug, vanaf wegrijden bij installatie tot stilstand op weegbrug,
- vol wegen
tijd voor het wegen van de volle tank (tussen stilstand op weegbrug en wegrijden),
- naar perceel
tijd voor transport vanaf de weegbrug naar het perceel (tot het inrijden van het perceel)
- toedienen
tijd die nodig is voor het toedienen, vanaf het binnenrijden perceel en weer verlaten van het perceel,
- terug naar weegbrug
tijd voor transport van het perceel naar de weegbrug,
- leeg wegen
tijd voor het wegen van de geleegde tank, tussen stilstand en wegrijden,
- terug naar installatie
tijd voor transport vanaf de weegbrug naar de installatie, tussen wegrijden weegbrug tot en met aankoppelen slang bij installatie.

De gemeten tijden zijn weergegeven in tabel 2.2 in bijlage 2. De gemiddelde vultijd van de mest-tank (met aangezuurde mest uit de installatie) vanaf het aansluiten van de zuigslang tot het wegrijden naar de weegbrug was 3 minuten en 32 seconden. De mesttank voorzien van een wormpomp, had een inhoud van circa 6 m^3 . Uit de wegingen bleek dat gemiddeld 5.800 kg mest in de tank zat.

De tijd die nodig was om van de installatie naar de weegbrug te rijden bedroeg 1 minuut en 6 seconden (299 meter). De gemiddelde snelheid was 15,7 km per uur. Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze route over het erf loopt, langs bedrijfsgebouwen. Daarnaast liggen er drie bochten in deze route. Hierdoor wordt de snelheid beperkt. De tijd om terug te rijden naar de installatie en te keren bedroeg gemiddeld 1 minuut en 40 seconden.

De gemiddelde afstand van de weegbrug tot de

Tabel 5 Tijdsbesteding bij het toedienen van aangezuurde mest

Activiteit	Tijd (min.sec)
Vultijd	3,32
Naar perceel	2,35
Toedienen	5,50
Terug naar installatie	2,56
Totaal	14,53

percelen was 508 meter (varierend tussen 73 en 944 meter). De percelen zijn gelegen in één rechthoekige kavel met daarlangs een kavelpad. De tijd die nodig was om van de weegbrug naar het perceel te rijden was gemiddeld 1 minuut en 29 seconden. Deze tijd is afhankelijk van de afstand. Voor het dichtsbij gelegen perceel (73 meter) kostte dit 20 seconden en voor het verst weggelegen perceel (944 meter) was dit 2 minuten en 46 seconden. De gemiddelde snelheid bedroeg 20,3 km per uur (5,7 m per sec) en varieerde tussen 13,1 en 26,9 km per uur. De tijd om dezelfde afstand terug te rijden was gemiddeld een fractie korter. De mesttank was dan meestal leeg, waardoor de gemiddelde snelheid een fractie hoger was.

De benodigde tijd om de combinatie te wegen bedroeg gemiddeld totaal 44 seconden voor vol en leeggewicht. Deze tijd is in de praktijk niet van toepassing en wordt dus verder buiten beschouwing gelaten. De benodigde tijd voor het rijden van de installatie naar de weegbrug en van de weegbrug naar het perceel is bij elkaar opgeteld. In tabel 5 staat de uiteindelijke tijdsbe-



De vultijd was gemiddeld 3,5 minuut per tank.

steding samengevat.

De conclusie is dat in dit geval de tijd die nodig was voor het toedienen van de mest langer was dan het aanzuren van een volgende partij. De capaciteit bij het aanzuren van mest in bedrijfsverband wordt dus bepaald door de capaciteit bij het toedienen. Deze was in deze proef circa 23 m³ per uur (circa 15 minuten per tank van bijna 6 m³).

7 Toepassingsmogelijkheden en economische effecten

Op basis van de resultaten van dit onderzoek en eerder uitgevoerd onderzoek is een studie gedaan naar de toepassingsmogelijkheden en de economische effecten van het aanzuren van mest kort voor het toedienen. Bij de toepassingsmogelijkheden is gelet op de toevoeging van extra stikstof en de benutbaarheid hiervan. Bij de economische effecten zijn de kosten van het aanzuren kort voor toedienen beschreven.

7.1 Stikstoftoevoeging aan mest bij aanzuren

Bij het toedienen van aangezuurde mest moet bij de kunstmestgift rekening worden gehouden met de stikstofverrijking van de mest. De stikstofverrijking wordt bepaald door de hoeveelheid zuur die nodig is om de mest op de gewenste zuurgraad (pH) te brengen. Om de emissie bij toedienen met minstens 80 % te verminderen is een pH van 4,5 nodig (paragraaf 4.2). Op ROC Bosma Zathe en de Waiboerhoeve was het zuurverbruik voor een pH van 4,5 tussen 25 en 35 liter per m³ mest. Op de praktijkbedrijven van Limafix werd een zuurverbruik gevonden van 20 tot 35 liter per m³ (gemiddeld 25). Er is geen duidelijke verklaring voor deze spreiding. Uitgegaan van een soortelijk gewicht van het zuur van 1,37 kg per ltr en een N-gehalte van 13,3 % wordt door aanzuren 3,64 (bij 20 liter zuur) tot 6,38 (bij 35 liter zuur) kg NO₃-N per m³ mest toegevoegd.

Per liter zuur wordt dus 0,18 kg NO₃-N toegevoegd. De spreiding in de hoeveelheid zuurtoevoeging is dus aanzienlijk. Per individueel bedrijf moet de hoeveelheid zuur die nodig is (per m³ mest) worden vastgesteld. Dit kan door een titratiecurve van de mest te maken (paragraaf 4.1). Een titratiecurve is nodig om per bedrijf te kunnen bepalen of met aanzuren teveel stikstof wordt aangevoerd (paragraaf 7.2) en vervolgens ieder jaar bij het begin van een nieuw bemestingsseizoen.

7.2 Mogelijke veebezettingen bij aanzuren

In een aantal situaties wordt, wanneer alle mest wordt aangezuurd, meer stikstof toegediend dan nodig is voor het gewenste stikstofregime. In dat geval moet een deel van de aangezuurde mest van het bedrijf worden afgevoerd. Dit veroorzaakt extra kosten en is daarom niet wenselijk. In die situaties is het beter om de mest niet aan te zuren.

Bij het berekenen van de maximale veebezettingen waarbij alle mest op het bedrijf kan worden aangezuurd zonder dat er teveel stikstof wordt toegediend is rekening gehouden met het N-leverend vermogen van de grond (NLV). In tabel 6 staan de maximale veebezettingen voor natte (Gt II, NLV 2) en droge (Gt III*, NLV 1) veengronden en een goed vochthoudende zandgrond

Tabel 6 Maximale veebezetting (melkkoeien/ha, incl jongvee), waarbij alle mest kan worden aangezuurd en op het eigen bedrijf kan worden benut bij een melkproductie van 7.000 kg per koe (bij pH 4,0).

		Zuurverbruik (ltr/m ³ mest)							
		20	25	30	35	20	25	30	35
Grondsoort	N-regime	Onbeperkt weiden				Beperkt weiden			
Veen	MAX	1,3	1,1	-	-	-	-	-	-
Gt III ^{a)} , NLV 1	MAX - 75	-	-	-	-	-	-	-	-
Veen	MAX	2,2 ^{a)}	2,2 ^{a)}	2,2 ^{a)}	1,5	1,8	1,5	1,3	1,1
Gt II, NLV 2	MAX - 75	1,8	1,3	1,0	-	-	-	-	-
Zand	MAX	3,0 ^{a)}	3,0 ^{a)}	3,0 ^{a)}	3,0 ^{a)}	3,5	2,7	2,3	2,0
Gt IV, NLV 4	MAX - 75	2,7	2,7	2,7	2,3	2,3	1,8	1,7	1,5

^{a)} in deze gevallen geeft stikstof geen beperking maar kan geen beweiding meer worden rondgezet



De proefinstallatie werd met een vrachtwagen aangevoerd.

(NLV 4). De veengronden hebben een (jaarlijkse) extra stikstoflevering door mineralisatie, 90 kg per ha op de natte veengrond en 160 kg op de droge veengrond. De berekeningen zijn uitgevoerd bij een stikstofregime volgens het huidige verfijnde N-advies (MAX) en een regime dat 75 kg lager is (MAX - 75).

Bij veebezettingen boven de aangegeven waarden is mestafzet noodzakelijk om niet boven het aangegeven stikstofregime te bemesten. Indien het zuurverbruik verminderd kan worden, is aanzuren van mest ook bij hogere veebezetting mogelijk zonder teveel stikstof toe te dienen. Bij een maximaal stikstofregime en geen mestafvoer is aanzuren op goed ontwaterde veen-

gronden (NLV 1) alleen bij lage veebezettingen (1 melkkoe per ha) en een laag zuurverbruik mogelijk. Op natte veengrond (NLV 2) is bij onbeperkt weiden de maximale veebezetting 1,5 tot 2,2 melkkoeien per ha, bij beperkt weiden maximaal 1,1 tot 1,8 melkkoeien per ha, afhankelijk van het zuurverbruik. Op de zandgrond (NLV 4) is de maximale veebezetting 3,0 bij onbeperkt weiden en bij beperkt weiden 1,5 tot 3,5, afhankelijk van het zuurverbruik. Bij een lager stikstofregime, MAX-75 is de maximale veebezetting bij aanzuren lager. In tabel 6 is bij onbeperkt weiden in sommige gevallen (bijvoorbeeld op zandgrond bij het maximale stikstofregime) niet de zuurtoevoeging de beperking maar kan de beweiding niet meer worden rondgezet.

Tabel 7 Aantal bedrijven waar de mest aangezuurd zou kunnen worden (gegevens metelling 1989)

Nutriënten Bemestingsniveau ^{a)}	1995				2000			
	N 400	P ₂ O ₅ 175	N 250	P ₂ O ₅ 175	N 400	P ₂ O ₅ 110	N 250	P ₂ O ₅ 110
Aantal bedrijven	28.470		18.416		27.759		20.558	
% van totaal aantal bedrijven	80		52		79		58 ^{b)}	

^{a)} max. fosfaatgift 1995: 175 kg/ha; voor 2000 is dit gesteld op 110 kg/ha (staat ter discussie)

^{b)} het aantal bedrijven neemt toe omdat op een aantal bedrijven met varkens door de aangescherpte fosfaatnorm de varkensdrijfmest moet worden afgevoerd, zodat alle rundermest kan worden aangezuurd

Tabel 8 Investering en jaarlijkse vaste kosten (*f*) voor aanzuren kort voor toedienen

Investering		75.000
Afschrijving	6 %	4.500
Rente*)	8,31 %	3.423
Onderhoud en verzekering	2,5 %	1.875
Totale jaarlijkse vaste kosten		9.803

*) Het rentepercentage is het gemiddelde van de afgelopen 5 jaar

Er zijn geen berekeningen uitgevoerd voor kleigrond. De verwachting is dat de maximale veebezettingen overeen zullen komen met die van de in de berekeningen meegenomen zandgrond. Door Den Boer en Gunnink (1991/a en b) zijn de mogelijkheden van het aanzuren van dunne rundermest verkend per bedrijfstype, veebezettingsniveau en N-bemesting. De berekeningen zijn gemaakt voor Nederland en per provincie met vier verschillende stikstofbemestingsniveaus en twee fosfaatbemestingsniveaus. In tabel 7 is een overzicht gegeven.

In de provincies Overijssel, Gelderland, Utrecht, Noord-Brabant en Limburg met vaak intensieve veehouderij kan bij respectievelijk 400 kg N/175 kg P₂O₅ per ha en 250 kg N/110 kg P₂O₅ per ha op 93 % en 27 % van het totaal aantal bedrijven de mest aangezuurd worden. In de provincies Groningen, Friesland, Drenthe en Noord-Holland kan volgens deze berekeningen op 99 % en 75 % van de bedrijven de mest aangezuurd worden. De veehouderij is daar vaak minder intensief dan in de eerder genoemde provincies.

7.3 Economische aspecten

Het aanzuren kort voor toedienen heeft alleen effect op de ammoniakemissie bij mesttoedienen. De kosten van deze aanzuurvariant kunnen dus vergeleken worden met andere emissie-arme toedieningsmethoden zoals de zodebemester of

de sleepvoetenmachine.

De aanschafprijs van de installatie bedraagt ongeveer *f* 75.000,-. Afgezien van een electriciteit (min 7,5 kW) en telefoonaansluiting hoeven geen speciale voorzieningen getroffen worden.

De economische levensduur van de aanzuurinstallatie is gesteld op vijftien jaar. De restwaarde is 10 %, zodat de afschrijving 6 % van de vervangingswaarde bedraagt. De jaarkosten voor onderhoud en verzekering zijn gesteld op 2,5 % van de vervangingswaarde. Dit is inclusief het regelmatig ijken van de pH-meters. De genoemde kosten staan in tabel 8.

De jaarlijkse kosten voor de installatie zijn onafhankelijk van de bedrijfsgrootte. De variabele kostenpost betreft het zuurverbruik, anti-schuimmiddel en de electriciteitskosten. Deze zijn gerelateerd aan het aantal m³ mest die worden aangezuurd. De electriciteitskosten zijn gering. Het verbruik is circa 0,25 kW per m³ mest, dit is 5 cent per m³ mest. Uit het onderzoek bleek dat slechts een zeer beperkte hoeveelheid anti-schuimmiddel nodig was. De kosten hiervoor zijn minimaal omdat slechts een kleine hoeveelheid nodig is. De kosten zijn niet exact bekend. De leverancier van het middel zoekt nog naar het meest geschikte middel, wat betreft werking en prijs. Het zuurverbruik hangt af van de specifieke mestsamenstelling en de gewenste pH. Voor een emissiereductie van minimaal 80 %, is gemiddeld een pH van ± 4,5 nodig. De hoeveelheid salpeterzuur die nodig is om pH 4,5 te bereiken was gemiddeld 25 liter per m³ mest (paragraaf 7.1). Het salpeterzuur kost *f* 250,- per ton, exclusief BTW. Inclusief BTW is dit omgerekend *f* 0,40 per liter of *f* 2,33 per kg N.

Verder is er vanuitgegaan dat de toegevoegde stikstof uit het zuur volledig werkzaam is. Doordat de emissie sterk verminderd wordt is rekening gehouden met een besparing op de kunstmestgift doordat de plant meer stikstof uit de

Tabel 9 Kosten en besparingen per m³ aangezuurde mest (bij een zuurverbruik van 25 liter per m³)

		Kosten	Besparingen
		<i>f</i> per m ³ mest)	
Salpeterzuur	25 ltr/m ³ mest	10,00	
Electriciteit	0,25 kW per m ³ mest	0,05	
Anti-schuimmiddel		pm	pm
Besparing kunstmeststikstof	5,81 kg N per m ³ mest		6,33
(door zuurtoevoeging	4,56 kg N)		
(door minder emissie	1,25 kg N)		
Totale variabele kosten per m³		3,72	

Tabel 10 Jaarlijkse meerkosten voor aanzuren kort voor toedienen (*f*), (tussen haakjes staan de kosten per m³), exclusief de kosten voor toedienen

	Hoeveelheid aan te zuren mest							
	500 m ³		1.000 m ³		1.500 m ³		2.000 m ³	
Vaste kosten	9.803	(19,60)	9.803	(9,80)	9.803	(6,53)	9.803	(4,90)
Variabele kosten	1.860	(3,72)	3.720	(3,72)	5.580	(3,72)	7.440	(3,72)
Totale kosten	11.663	(23,33)	13.523	(13,52)	15.383	(10,26)	17.243	(8,62)

mest kan opnemen. Uit berekeningen bleek dat dit ongeveer 1,25 kg per m³ is. De prijs van stikstof uit KAS is gesteld op *f* 1,09 per kg N (KWIN-V, 1994).

In tabel 9 zijn de variabele kosten (per m³ aangezuurde mest) weergegeven bij een zuurverbruik van 25 liter per m³.

Uit tabel 9 blijkt dat de variabele kosten circa *f* 3,72 per m³ mest bedragen bij een zuurverbruik van 25 liter per m³. De extra kosten voor het zuur worden voor een groot deel gecompenseerd door besparingen op kunstmeststikstof. Bij een zuurverbruik van respectievelijk 20, 30 en 35 liter per m³ bedragen de variabele kosten *f* 2,72, *f* 4,73 en *f* 5,74 per m³ mest.

Op ROC Bosma Zathe is vier jaar beweidingsonderzoek gedaan. Hierbij werd een systeem met toedienen van aangezuurde mest vergeleken met toedienen van onbehandelde mest met de zodebemester. De aangezuurde mest is in de eerste drie jaar met de spreidplaat toegediend. In het vierde jaar is de sleepvoetenmachine gebruikt. In twee van de drie jaren dat de spreidplaat werd gebruikt was de melkproductie circa 1 kg per koe per dag lager dan van koeien die werden geweid op gras dat met de zodebemester was bemest met onbehandelde mest. Het was niet duidelijk of deze verminderde melkproductie het gevolg was van het bovengronds toedienen van aangezuurde mest. In het vierde jaar was er geen verschil in melkproductie. In deze kostenberekeningen is geen rekening gehouden met deze eventuele daling van de melkproductie.

In de berekeningen is verondersteld dat de aangezuurde mest met de spreidplaat wordt toegediend en niet met de sleepvoetenmachine. Voordelen van het toedienen met de spreidplaat zijn dat de kosten hiervan laag zijn en dat de veehouder de eigen tank kan gebruiken. Nadeel van de spreidplaat is dat de verdeling van de mest windgevoelig is. Voordelen van de sleepvoetenmachine zijn dat deze wellicht een iets betere verdeling van de mest, minder besmeuring

van het gras en minder geuremissie tot gevolg heeft. Nadelen van de sleepvoetenmachine zijn de hogere kosten voor toediening (ten opzichte van met een spreidplaat) en de waarschijnlijk minder gunstige effecten voor de weidevogels.

Bij aanzuren kan bespaard worden op kunstmest, zodat in principe ook de kosten voor het strooien lager zijn. Voor de berekeningen is er vanuit gegaan dat de lagere kosten hiervan gecompenseerd worden door de extra kosten door het vaker toedienen van kleinere hoeveelheden aangezuurde mest.

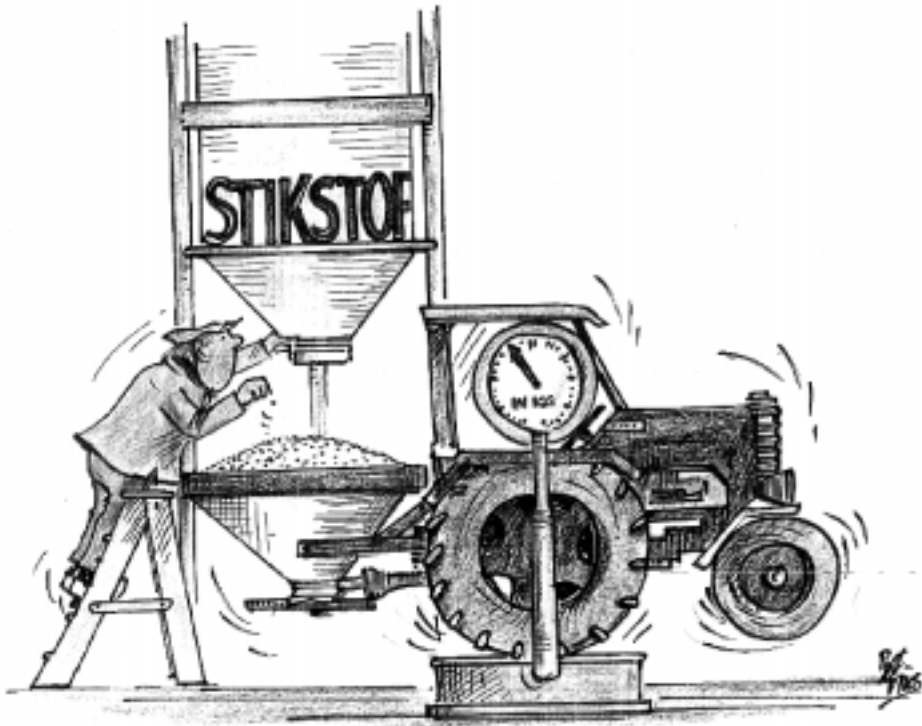
Wanneer de vaste en variabele kosten opgeteld worden kan voor iedere bedrijfssituatie een kostenberekening gemaakt worden. In tabel 10 staan enkele voorbeelden. Bij de berekening zijn de meerkosten voor het aanzuren berekend, deze zijn dus exclusief de kosten voor bovengronds aanwenden.

De jaarkosten voor aanzuren zijn schaalgevoelig, bij grotere bedrijven zijn de jaarkosten per m³ aanzienlijk lager dan op kleinere bedrijven. Dit komt omdat de vaste kosten voor de installatie niet afhangen van de bedrijfsgrootte. De extra kosten voor aanzuren liggen tussen ruim *f* 8,- per m³ mest bij 2.000 m³ en ± *f* 23,- per m³ mest bij 500 m³. Een eventuele daling van de kosten zou vooral bereikt kunnen worden door een goedkopere installatie. Verdere verlaging van de kosten is mogelijk door goedkoper zuur en/of een lager zuurverbruik.

De kosten voor het toedienen met de zodebemester bedragen gemiddeld circa *f* 2 à 3 per m³ extra ten opzichte van bovengrondse toediening. De kosten hangen af van de afstand van de mestopslag naar het perceel, de mestgift en de gebruikte apparatuur. Bij deze kosten moet rekening worden gehouden met een besparing op de kunstmestgift doordat door de lagere ammoniakemissie meer stikstof uit de mest door de plant opgenomen kan worden. Bij het toedienen met de zodebemester is dit circa 1,25 kg N per m³ mest, de helft van de meerkosten van

zodebemesten kan hiermee bespaard worden zodat per saldo zodebemesten gemiddeld f 1,50 duurder is dan bovengronds toedienen. De conclusie is dat het aanzuren van mest kort voor toedienen (vooral op kleine bedrijven) duurder is dan zodebemesten. Het aanzuren van mest in loonwerk is in de praktijk niet eenvoudig. Ten eerste

moet de installatie vervoerd kunnen worden. Dit stelt dusdanige eisen aan de installatie dat deze aanmerkelijk duurder wordt. Daarnaast moeten vaak kleine hoeveelheden mest worden aangezuurd, hierdoor worden de aan- en aflooptijden veel groter. De kosten per m^3 nemen hierdoor sterk toe.



Bij gebruik van aangezuurde mest moet de stikstofgift via kunstmest beperkt worden.

8 Conclusies

- De techniek van aanzuren kort voor toedienen is technisch geschikt voor toepassing in de praktijk. Het systeem werkt geheel automatisch. De installatie heeft gedurende het onderzoek storingsvrij gewerkt. De sturing van de installatie op pH bleek te voldoen. Er was weinig variatie in pH tussen de afzonderlijk aangezuurde tanks. De pH-meter moet eens per maand worden geijkt. Tijdens het bemestingsseizoen was de variatie in de hoeveelheid toegediend zuur (per m³ mest) gering.
- De installatie veroorzaakt wat betreft de uitstoot van giftige gassen geen risico voor mens en dier, mits de ventilator die de gassen afvoert in werking is.
- Voor een nauwkeurige stikstofbemesting is het gewenst af en toe mestmonsters te nemen van de aangezuurde mest. Daarnaast moet de aangezuurde mest zo exact mogelijk gedoseerd worden.
- De aangezuurde mest kan in principe, wat betreft de ammoniakemissie, bovengronds met een spreidplaat toegediend worden. De sleepvoetenmachine heeft echter een iets betere verdeling van de mest en geeft minder geuremissie. In verband met weidevogels heeft de spreidplaat de voorkeur.
- De capaciteit bij het aanzuren van mest in bedrijfsverband wordt bepaald door de capaciteit van het toedienen. De tijd die nodig is om de mest aan te zuren is korter dan de tijd die nodig is voor het toedienen. In de proef was de capaciteit bij het toedienen circa 23 m³ per uur.
- De kosten van het aanzuren kort voor toedienen zijn aanzienlijk hoger in vergelijking met het toedienen van onbehandelde mest met de zodebemester door de loonwerker.

Samenvatting

Het aanzuren van mest kort voor toedienen is onderzocht op Melkvee 1 van de Waiboerhoeve. Het is toegepast als bedrijfssysteem waarbij alle mest van het bedrijf op deze wijze is toegediend. Het onderzoek was een vervolg op het aanzuren van mest (met salpeterzuur) in de kelder dat reeds eerder was onderzocht. Voor de toepassing in de praktijk was er behoefte aan meer onderzoek over de praktische aspecten, graslandgebruik, bemesting van het grasland, de effecten op het vee, kosten en opbrengsten, technische vragen en de arbeidsbehoefte.

Voor het aanzuren kort voor het toedienen is een speciale installatie gebruikt. Deze werkt geheel automatisch, de werking kan via een telefoonlijn door b.v. een storingsdienst gecontroleerd worden. De installatie heeft gedurende het onderzoek storingsvrij gewerkt en bleek nagenoeg geen onderhoud te vragen. Wel moet de pH-meter van de installatie maandelijks gecalibreerd worden. Uit ander onderzoek is gebleken dat aangezuurde mest met een pH van respectievelijk 4,5, 5,0 en 6,0 een reductie van de NH_3 -emissie geeft van 85, 72 en 55 %. Daarom is de aangezuurde mest bovengronds, met een spreidplaat toegediend. De verdeling van de spreidplaat was windgevoelig, soms werd visueel een slechte verdeling van de mest waargenomen. Met een sleepslangen- of sleepvoetenmachine is de verdeling van de mest niet windgevoelig. Uit eerder onderzoek bleek dat door toediening met de sleepslangen- of sleepvoetenmachine ook minder geuremissie, bedekking en verbranding van het gras optrad dan met een spreidplaat.

Bij het aanzuren komen net als bij het mengen van onbehandelde mest giftige gassen vrij. Deze gassen worden door een ventilator sterk verdund en naar buiten geblazen. Op de arbeidsplek treden hierdoor geen gevaarlijke concentraties op van deze gassen.

In totaal is 1550 ton mest aangezuurd tot een pH

waarde van 5,0. De mestgift was gemiddeld 65 ton per ha. Het gemiddelde gehalte aan voor de plant snel opneembare stikstof bedroeg $\pm 4,0$ kg per ton mest, bestaande uit 1,9 kg ammoniumstikstof en 2,1 kg nitraatstikstof.

Door de mest aan te zuren is een stikstofgift gerealiseerd van 258 kg N per ha. Hiervan was 124 kg afkomstig van de reeds in de mest aanwezige $\text{NH}_4\text{-N}$ en 134 kg is toegevoegd als salpeterzuur (nitraatstikstof). Naast de aangezuurde mest is ook nog 78 kg stikstof als kunstmest gegeven. Voor een nauwkeurige stikstofbemesting is het gewenst af en toe mestmonsters te nemen van de aangezuurde mest. Daarnaast moet de aangezuurde mest zo exact mogelijk gedoseerd worden.

De tijd voor het toedienen van de mest was langer dan het aanzuren van een volgende partij. De capaciteit bij het aanzuren van mest wordt dus bepaald door de capaciteit bij het toedienen. Deze was in deze proef ± 23 m^3 per uur (circa 15 minuten per tank van bijna 6 m^3).

Door het aanzuren wordt stikstof aan de mest toegevoegd. Op sommige bedrijven kan hierdoor teveel stikstof worden aangevoerd. Dit is met name afhankelijk van de hoeveelheid zuur die per m^3 mest nodig is. Dit moet per individueel bedrijf worden vastgesteld door een titratiecurve van de mest te maken.

Uit een kostenberekening blijkt dat het aanzuren van mest kort voor toedienen (vooral op kleine bedrijven) duurder is dan bijvoorbeeld zodebemesten. Uitgaande van een bedrijf dat jaarlijks 1.000 m^3 mest aanzuurt bedragen de kosten circa f 13,50 per m^3 extra ten opzichte van bovengronds toedienen. De kosten voor het toedienen (van onbehandelde mest) met de zodebemester in loonwerk bedragen gemiddeld slechts circa f 1,50 per m^3 ten opzichte van bovengronds toedienen.

Literatuur

Anonymus, 1994 "Kwantitatieve informatie veehouderij 1994 - 1995", IKC Ede.

Den Boer, D.J. en H. Gunnink, 1991/a "Toepassingsmogelijkheden van Orgakem in Nederland en per provincie bij verschillende stikstof en fosfaatbemestingsniveaus, gebaseerd op de metelling 1989", NMI-rapport A 90.142-I, Den Haag.

Den Boer, D.J. en H. Gunnink, 1991/b "Toepassingsmogelijkheden van Orgakem in Nederland en per provincie bij verschillende stikstof en fosfaatbemestingsniveaus, bijlage 3 bij rapport A 90.142-I", NMI-rapport A 90.142-II, Den Haag.

Bussink, D.W., J.F.M. Huijsmans en J. Ketelaars, 1995 "Ammonia volatilization from nitric-acid-treated cattle slurry, surface applied to grassland", in voorbereiding.

Hendriks, J.G.L., E.M. Mulder, J.F.M. Huijsmans, 1994 "Aanzuren van rundermest", IMAG-DLO rapport 93-30, Wageningen.

Hendriks, J.G.L. en J.F.M. Huijsmans, 1992/a "Verdeelnauwkeurigheid bij gebruik van ketsplaat en mestpendel" Landbouwmechanisatie, jaargang 43, nr 3, p 10-12.

Hendriks, J.G.L. en J.F.M. Huijsmans, 1992/b "Nauwkeurigheid breedteverdeling mesttoedieningstechnieken", Landbouwmechanisatie, jaargang 43, nr 5, p 14-16.

Lent, A.J.H. van, R.L.M. Schils, Tj. Boxem, J. Zonderland en M.C. Verboon, 1995 "Aanzuren van rundermest in stal en silo", PR-rapport 156, Lelystad.

Schils, R.L.M., J.H. Geurink, H.G. van der Meer, A.P. Wouters & K. Sikkema, 1995 "Nitrogen utilization from nitric acid treated cattle slurry following surface application to grassland", in voorbereiding.

Steunenberg, C.F. en C. Roos, 1991 "Geuremissies bij de verspreiding van behandelde en onbehandelde mest", IMET-TNO rapport 91-365, Apeldoorn.

BIJLAGEN

Bijlage 1 Gasconcentratiemetingen

Gebruikte gasdetectiebuisjes (type Dräger)

NH₃ : 2/a
CO₂ : 0,01 vol %
H₂S : 2/a
HCN : 2/a
NO, NO₂ : 2/a

Tabel 1.1 Concentratiemetingen op het platform naast de mengtank, bovenop de installatie

Datum	NH ₃ (ppm)	CO ₂ (vol %)	H ₂ S (ppm)	HCN (ppm)	NO + NO ₂ (ppm)
29-6-'93		0,1	0		0
			0		0
	0		0	0	0
1-7-'93			0	0	
			0	0	

Tabel 1.2 Concentratiemetingen in de afvoerpijp van de ventilator, bovenop de installatie

Datum	NH ₃ (ppm)	CO ₂ (vol %)	H ₂ S (ppm)	HCN (ppm)	NO + NO ₂ (ppm)	
29-6-'93		2,5	50		20	
	0			80	5	2
	1				5	
1-7-'93		2,5	6	11		
			11,5	6		

Tabel 1.3 Concentratiemetingen bij stilstaande ventilator

Datum	NH ₃ (ppm)	CO ₂ (vol %)	H ₂ S (ppm)	HCN (ppm)	NO + NO ₂ (ppm)
10-3-'93	0 (5/a)	binnen 1 slag vol (0,01 %/a)	155 (2/a)	binnen 1 slag buis vol (2/a)	0 (2/a)

Tabel 1.4 MAC (maximale concentratie op de arbeidsplek) voor een aantal gassen

NH ₃	50 ppm
CO ₂	0,5 vol %
H ₂ S	10 ppm
HCN	10 ppm
NO + NO ₂	9 mg/m ³

Bijlage 2 Tijdregistratie

Tabel 2.1 Tijdsbesteding voor het aanzuren van de mest in de installatie (min.sec)

Tank	12-3-'93		29-6-'93				1-7-'93		
	1	2	3	4	5	6	1	2	
Mengtank vullen	4.47	-	3.40	4.49	5.00	5.00	5.12	-	5.05
Aanzuren	9.05	8.30	7.16	6.11	5.30	5.30	5.23	5.40	4.58
Totaal	13.52	-	10.56	11.00	10.30	10.30	10.35		10.03

Tabel 2.2 Tijdwaarnemingen bij het uitrijden van aangezuurde mest op de Waiboerhoeve op 01 juli 1993 (min.sec)

Tank nummer	13 maart 1993				29 juni					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
Vultijd	4.15	4.00	4.10	3.50	4.02	3.40	3.47	4.16	3.31	3.45
Naar weegbrug	1.05	1.10	1.05	1.20	1.36	1.16	0.59	1.24	1.06	1.13
Vol wegen	0.55	1.00	1.10	0.30		0.24	0.13	0.26	0.11	0.13
Naar perceel	2.45	2.42	3.00	2.30	1.58	0.34	0.27	2.23	0.49	0.51
Toedienen	5.00	6.15	3.50	6.40	12.35	10.38	6.08	8.34	7.06	3.04
Terug naar weegbrug	2.00	2.30	2.25	2.08	0.53	0.31	0.31	0.45	0.51	1.47
Leeg wegen	0.40	0.50	0.45	1.03		0.07	0.14	0.13	0.15	0.19
Terug naar installatie	2.25	2.30	2.50	2.30	1.31	1.31	1.14	2.22	1.24	1.17
Totaal tijd	19.05	20.57	19.15	20.31	23.06	18.41	13.33	19.57	15.13	12.29
Perceels nummer	23	23	24	24	4	4	4	8	8	8
Chauffeur	3	3	3	3	1	1	2	2	2	2

(vervolg tabel 2.2)

Tank nummer	1 juli		7 juli							
	1	2	1	2	3	4	5	5	6	7
Vultijd	3.36	3.17	2.04	2.54	3.11	2.49	3.16	-	2.50	3.49
Naar weegbrug	1.09	1.41	1.00	1.07	0.57	0.53	0.56	0.17	1.13	0.38
Vol wegen	0.16	0.13	0.15	0.09	0.09	0.13	0.11	0.17	0.19	0.07
Naar perceel	1.50	2.46	1.00	1.08	0.24	0.16	0.20	0.52	0.50	0.46
Toedienen	8.43	1.58*	5.28	5.14	5.28	4.16	1.01	4.49	5.07	4.55
Terug naar weegbrug	1.55	2.35	1.00	0.59	0.17	0.14	-	-	0.48	0.49
Leeg wegen	0.13	0.14	0.15	0.08	0.10	0.09	-	0.19	0.10	0.07
Terug naar installatie	1.48	2.16	1.21	1.11	1.01	1.02	-	1.04	1.10	1.03
Totaal tijd	19.03	14.59	12.23	12.50	11.37	9.52			12.27	12.14
Perceels nummer	20	20	13	13	3	3	3	10	10	10
Chauffeur	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

* Tweede tank 1 juli: Slechts een gedeelte van de tankinhoud toegediend. Na het verlaten van het perceel heeft de chauffeur de draad gesloten

Eerder verschenen publikaties

Nr.	Titel + jaar van uitgave	Prijs	Nr.	Titel + jaar van uitgave	Prijs
47.	Berekening van grasland op zandgrond en rivierklei. Resultaten van proefvelden te Heino en Bruchem 1977-1981. 1987.	10,—	75.	Kuilafdekking en kuilkwaliteit. 1992.	12,50
48.	Perspectieven voor de melkveehouderij. 1987.	12,50	76.	Gewichtscurve vleesstieren 1992	12,50
49.	Paardenhouderij, resultaten van onderzoek. 1987.	10,—	77.	Strokorst in mestlo's. 1992.	12,50
50.	Het koemodel. 1987.	10,—	78.	Nieuwe DVE-normen voor melkvee. 1993.	12,50
51.	Energiebewuste bedrijfsvoering op een melkveebedrijf. Resultaten en ervaringen van 4 jaar op de Waiboerhoeve 1982-1986. 1988.	10,—	79.	Veevoedkundige waarde gras- en luzernebrok. 1993.	12,50
52.	Invloed van verhoogd grasaanbod op melkproductie, ruwvoeropname en graslandopbrengst. 1988.	10,—	80.	Milieusparend reinigen melkwinnings-apparatuur. 1993.	12,50
53.	Effecten van overbezetting in bedrijfsverband. Verslag van een werkgroep. 1988.	10,—	81.	Inzaai mengsels gras en witte klaver. 1993.	12,50
54.	Rundvleesproductie met eenmaal gekalfde vaarzen. 1988.	10,—	82.	Melkveebedrijf met uitsluitend snijmais. 1993.	12,50
55.	Boeren met quotum. 1988.	10,—	83.	Vleesstierenvergelijking. 1993.	12,50
56.	Verslag van de Waiboerhoeve 1987. 1988.	15,—	84.	Invloed rijpheid snijmais op voeropname en groei vleesstieren. 1993.	12,50
57.	Vaste krachtvoergiften aan melkvee. 1988.	10,—	85.	Energie-efficiënt reinigen melkwinnings-apparatuur. 1993.	12,50
58.	Vetrijck krachtvoer voor hoogproductieve koeien. 1988.	12,50	86.	Model energieverbruik melkveebedrijf. 1993.	12,50
59.	Gebruikswaarde van vriesbranden voor identificatie van paarden. 1988.	12,50	87.	Energiegehalte rantsoen bij alternatieve vleeskalveren. 1994.	12,50
60.	Stikstofwerking van runderdrijfmest op grasland. 1988.	12,50	88.	Voederbieten voor melkvee. 1994	12,50
61.	Vergelijking Flevolander en Swifter schaaap. 1989.	12,50	89.	Rantsoenen bij vleeskalveren. 1994	12,50
62.	Invloed krachtvoerniveau op vleesproductiekenmerken van Piemontese met zwartbont kruislingstieren. 1989.	12,50	90.	Voederadditieven voor vleesstieren. 1994	12,50
63.	Beter werken met cijfers. 1989.	12,50	91.	Vergelijking Texelse vleeslamvaderdieren. 1994.	12,50
64.	Huisvesting vleesstieren van 0-6 maanden. 1989.	12,50	92.	Diergezondheid en management. 1994.	12,50
65.	Snijmais en natte bijprodukten in rantsoenen voor hoogproductieve melkkoeien. 1989.	12,50	93.	Scheren van oaien. 1994.	12,50
66.	Huisvesting vleesstieren vanaf 6 maanden. 1990.	12,50	94.	Voeren van Texelaar x Flevolander vleeslammeren. 1994.	12,50
67.	Inkuilen onder ongunstige omstandigheden. 1990.	12,50	95.	Gebruik vleesstieren op ondereind melkveestapel. 1994.	12,50
68.	Verlaging structuurwaarde in rantsoen vleesstieren. 1990.	12,50	96.	Verdunde rundermest uitrijden met sproeiboom. 1994.	12,50
69.	Vleesproductie met Piemontese x zwartbonte kruislingvaarzen. 1991.	12,50	97.	Opfok roze vleeskalveren. 1995.	12,50
70.	Normen voor de Voedervoorziening. 1991.	12,50	98.	Ammoniakemissie bij melkvee na spoelen roostervloer. 1995.	12,50
71.	Het Melkveemodel. 1991.	12,50	99.	Mineralenstroom milieumodule in BBPR. 1995.	12,50
72.	Modellen Rundveehouderij. 1991.	12,50	100.	Beperking ammoniakemissie rundveestal PROPRO-Deelproject gescheiden afvoer van gier en vaste mest met schuif. 1995.	12,50
73.	Bijprodukten voor vleesstieren. 1992.	12,50	101.	Reinigen melkwinningsapparatuur onder procesbewaking. 1995.	12,50
74.	Melkveehouderij en automatisch melken. 1992.	12,50	102.	Veenweidekaas. 1995.	12,50
			103.	Maiskolvensilage voor vleesstieren. 1995.	12,50
			104.	Model Water en Energieverbruik Melkwinning. 1995.	12,50
			105.	Energiesoort krachtvoer voor roze-vleeskalveren. 1995.	12,50
			106.	Verlaging stikstofbemesting en introductie witte klaver. 1995.	12,50
			107.	Verkaveling in de melkveehouderij. 1995.	12,50

Publikaties zijn verkrijgbaar door overmaking van het betreffende bedrag op Postbanknr. 2307421 van het PR te Lelystad met vermelding van het nummer van de publikatie.