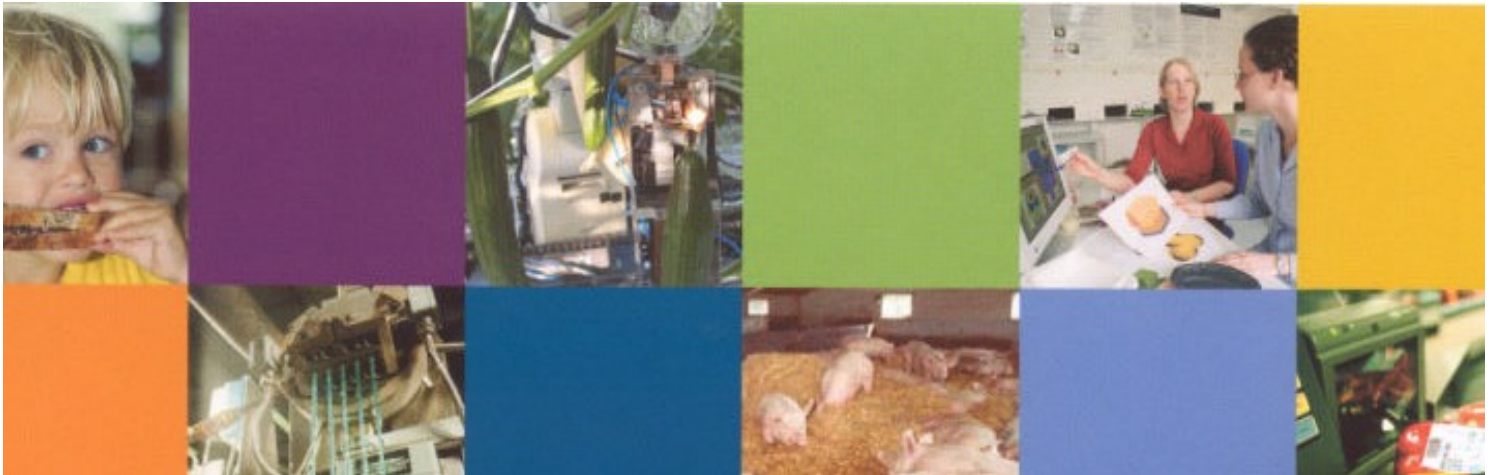


Emissiereductieopties voor methaan uit mestopslagen

R.M. de Mol & M.A. Hilhorst

Agrotechnology & Food Innovations B.V., rapportnummer: 165
Programma ROB: 0377-03-03-01-032 (4700006174)



Emissiereductieopties voor methaan uit mestopslagen

R.M. de Mol & M.A. Hilhorst

Agrotechnology & Food Innovations B.V., rapportnummer: 165
Programma ROB: 0377-03-03-01-032 (4700006174)

Colofon

Title Emissiereductieopties voor methaan uit mestopslagen
Auteurs R.M. de Mol & M.A. Hilhorst
A&F bestelnummer 165
ISBN-nummer 90-6754-780-8
ROB projectnummer 0377-03-03-01-032 (4700006174)
Datum van publicatie juni 2004; verbeterde versie november 2004

Agrotechnology and Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© 2003 Agrotechnology & Food Innovations B.V

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher.
The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.*

Samenvatting

De belangrijkste emissiebronnen van methaan uit de veehouderij zijn mest en pensvertering bij runderen. Deze studie is beperkt tot de mest. Deze emissiebronnen zijn door het voormalig IMAG (nu Agrotechnology & Food Innovations) gemodelleerd in het rekenmodel REM. Daartoe is een uitgebreide inventarisatie gemaakt van de emissies van broeikasgassen en ammoniak bij de opslag en transport van mest. REM omvat ook een nieuw dynamisch methaan-emissiemodel voor mestopslagen, waardoor emissies met een grotere nauwkeurigheid kunnen worden berekend. REM kan optimaliseren tussen diverse meststromen (bijvoorbeeld van stal naar buitenopslag of van stal naar buiten het bedrijf) om zo de methaanemissie te minimaliseren, waarbij bijvoorbeeld de kosten en ammoniakemissies worden bewaakt. Met REM zijn zes scenario's doorgerekend.

Berekeningen met het REM-model toonden aan dat vooral het opslagsysteem en het gebruik van de opslag veel invloed hebben op de methaanemissie. Tot nu toe is met REM niet bestudeerd wat de invloed is van het voer, zuurgraad (pH) en het totaal aan minerale stikstof (TAN). Op basis van literatuur is een inschatting gemaakt van de invloed van deze factoren die vervolgens zijn ingevoerd in het REM-model.

Bij de berekeningen is niet gekeken naar het effect op de ammoniakemissie of van andere broeikasgasemissies en er is geen vertaling gemaakt naar de landelijke emissiecijfers. Er is alleen gekeken naar de gevoeligheid van de methaanemissies voor variaties in enkele belangrijke parameters op bedrijfsniveau.

Voor deze studie zijn met REM berekeningen uitgevoerd waarbij het de bestaande versie van het dynamische methaanemissiemodel is gebruikt. Het effect van TAN, VS (volatile solids), pH en vergisting zijn in REM meegenomen. Er zijn nog weinig gegevens over de lekkage bij een mestvergiester bekend. In deze modelstudie is uitgegaan van een lekkage van 5% wat is meegenomen in door dit percentage op te tellen bij de methaanconversiefactor (MCF).

De conclusie is dat methaanemissies uit mest fors beperkt kunnen worden door mest zo snel mogelijk uit de stalopslag over te brengen naar een buitenopslag. Dat komt vooral omdat de temperatuur van de buitenopslag belangrijk lager is dan die van de binnenopslag en omdat de buitenopslag is afgedekt. Een mestvergiester zal de boer op een natuurlijke manier kunnen stimuleren de mest zo snel mogelijk uit de stal te halen. Hij wil immers proberen om gas verlies zoveel mogelijk te voorkomen.

Een betrouwbare monitoring is mogelijk door middel van enquêtes waarbij per bedrijf gevraagd wordt naar het type en de grootte van de binnen- en buitenopslag en de werkwijze bij het overpompen. Voorts zijn de tijdstippen en frequenties van mestafvoer en toepassing (uitrijden) belangrijke gegevens voor het vaststellen van de emissies.

Inhoud

Samenvatting	3
1 Inleiding	5
2 Achtergrond	7
2.1 Invloed van de TAN-concentratie in relatie tot de afdekking	7
2.2 Invloed van de zuurgraad	10
2.3 Invloed van voer	10
2.4 Samenvatting gevoeligheidsfactoren voor methaanemissies	10
3 Materiaal en methode	11
3.1 Selectie van bedrijfssystemen	11
3.1.1 Rundvee	12
3.1.2 Varkens	12
3.2 Specificatie bedrijfssystemen	12
3.2.1 Rundvee	13
3.2.2 Vleesvarkens en fokvarkens	13
3.3 Uitwerking voorbeeldbedrijven	14
4 Resultaten	16
5 Discussie en conclusies	21
Referenties	24
Appendix A. Overzicht van de mestlogistiek gedurende een jaar bij de verschillende varianten van een rundveebedrijf	25
Appendix B. Overzicht van de mestlogistiek gedurende een jaar bij de verschillende varianten van een vleesvarkensbedrijf	28
Appendix C. Overzicht van de mestlogistiek gedurende een jaar bij de verschillende varianten van een fokvarkensbedrijf	30

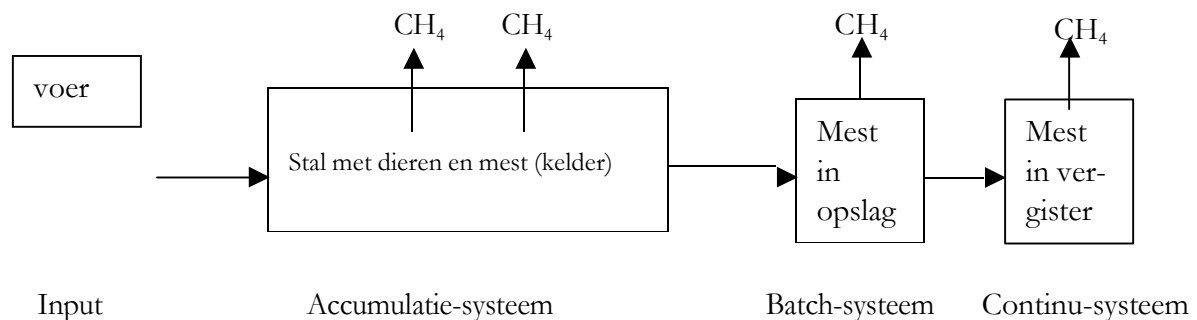
1 Inleiding

De emissie van methaan, een broeikasgas, uit de landbouw is hoofdzakelijk afkomstig van veehouderijbedrijven. Pensvergisting bij runderen draagt voor ruim 3% bij aan de totale emissies van broeikasgassen in Nederland en mest voor ruim 0,4%. Voor de schatting van mestgerelateerde emissie worden emissiefactoren (IPCC-methodiek) gebruikt waarbij rekening wordt gehouden met:

- hoeveelheid vluchtige organische stof;
- methaan-emissie-potentieel (afbreekbaarheid van de organische stof);
- methaan-conversie-factor (mate waarin de hoeveelheid afbreekbare vaste stof ook daadwerkelijk wordt omgezet in methaan).

Deze aanpak houdt maar in beperkte mate rekening met aspecten die door de boer, via maatregelen of via management, kunnen worden beïnvloed (d.w.z. de ‘knoppen’ van het systeem waaraan hij/zij kan draaien).

In het, door het voormalig IMAG in opdracht van Novem ontwikkelde, rekenmodel REM zijn de bovengenoemde emissiefactoren dynamisch gemaakt (dus afhankelijk van de tijd en van temperatuur) en gekoppeld aan de mestlogistiek op bedrijfsniveau (De Mol & Hilhorst, 2003). Op deze manier ontstaat een reëler beeld van de methaanuitstoot op bedrijfsniveau en kunnen nationale berekeningen worden verbeterd. Tevens worden reële handvatten voor de boer aangegeven waarmee hij/zij de methaanemissie kan beïnvloeden (reduceren) en kunnen reductie-scenario's op bedrijfsniveau worden doorgerekend, bijvoorbeeld door optimaal mestmanagement door de veehouderij. Dit betreft niet alleen technische maatregelen, maar ook voerregime en -soort (effect op mestsamenstelling).



Figuur 1.1 Meststromen en methaan-emissiepunten op boerderijniveau (opmerking: ook kan een buitenopslag vóór de vergister worden overwogen).

Het belangrijkste knelpunt op dit moment is de vraag of de met het REM-model berekende emissies en emissiefactoren, voor mestopslagen kunnen worden gebruikt als alternatief voor de IPCC-factoren. De vraag is of de met REM berekende emissies en reducties een betere beschrijving geven van de werkelijkheid en hoe dat helderder gemaakt kan worden. Verder moet verkend worden of door monitoring van relevante parameters kwantificering van de methaanemissie en de emissiereductie in de praktijk mogelijk is.

Hiertoe is een project uitgevoerd, bestaande uit twee hoofdonderdelen.

- 1) Ondersteunende berekeningen met REM van de methaanemissie uit mestopslagen als functie van opslagsysteem, bewaarduur (tijd) en specifieke bewaarcondities (temperatuur, mest-samenstelling, o.a. in relatie tot voersoort). Dit onderdeel resulteert in een tabel met berekende methaanemissies uit mestopslagen als functie van een aantal voorkomende bedrijfssystemen (opslag in de stal + buitenopslag) voor varkens en rundvee, alsmede als functie van de mestlogistiek (o.a. bewaarduur) en bewaarcondities van de mest in elk van de onderdelen. Duidelijk zal worden welke systemen en bijbehorend management tot de laagste emissies leiden.
- 2) Beschrijving van potentiële factoren die kunnen worden gemonitord (en de mate waarin dit ook daadwerkelijk kan en kan bijdragen aan verfijnde emissiefactoren of -berekeningen) op bedrijfsniveau voor een combinatie van mestopslag en vergistinginstallatie (zie figuur 1.1) om het effect van vergisting op de methaanemissie vast te stellen.

2 Achtergrond

2.1 Invloed van de TAN-concentratie in relatie tot de afdekking

Door een mestopslag af te dekken blijft de ammonium en/of ammoniakconcentratie, TAN (total ammonia nitrogen), in de mest hoger dan bij een niet afgedekte opslag. De verhoging van TAN wordt enerzijds veroorzaakt door de afbraak van eiwitten en anderzijds wordt vervluchtiging door de afdekking tegengegaan. Figuur 2.1 (een kopie uit Sommer [1997]) laat een verhoging van TAN zien van ongeveer 0,5 g-N per liter. Dit is in overeenstemming met [Martinez, 2002]. De methaanproductie is gevoelig voor hoge ammonium- en ammoniakconcentraties in de mest. Remming van de methaanproductie door verhoging van TAN in de mest is bekend uit de literatuur over anaërobe vergisting [bijvoorbeeld Koster *et al.*, 1988; Zeeman, 1991; Liu & Sung; 2002]. Figuur 2.2 is een gedigitaliseerde kopie uit Koster *et al.* [1988] bij 30 °C. In figuur 2.2 is duidelijk een verband te zien tussen de specifieke methanogene activiteit, A_{\max} , en TAN. Uit deze figuren kan worden afgeschat dat een verhoging van TAN met 0,5 g-N per liter een reductie van de methaanproductie geeft van ruim 10%. Deze verlaging is groter bij 30 °C dan bij 50 °C. Uit de figuur kan de volgende vergelijking worden afgeleid: $A_{\max} = 375 \cdot (N_{\min})^{-1.46}$. Daartoe zijn de bijzondere gevallen, een extreem afwijkende en de open cirkel weggelaten.

Tabel 2.1 (een kopie uit Amon *et al.* [2003]) illustreert dat de methaanemissie inderdaad vermindert door het aanbrengen van een afdekking, hier een surface-crust met een houten afdekking. De laatste drie regels gaan over het afdekken van mest dat actief vergist is in een biogasinstallatie. De afdekkingen zijn stro op de mest en stro plus een houten cover. Uit tabel 2.1 kan een emissiereductie van ruim 10% worden afgeleid tussen mest met een surface-crust die is opgeslagen in silo zonder en met een houten afdekking. Het is echter niet duidelijk of deze reductie komt door een efficiëntere oxidatie in de surface-crust (zie verderop), door de verhoging van het TAN-gehalte of door beiden.

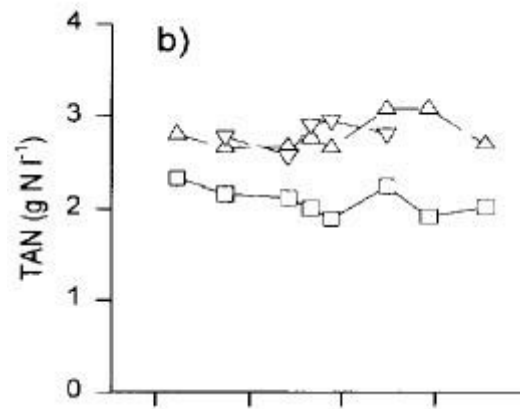
Tabel 2.2 geeft de gemiddelde samenstelling van mengmest door Hoeksma (1988). Het betreft hier een gemiddelde uit een zeer omvangrijke dataset verzameld in 1987 en 1988. Uit figuur 2.3 kan worden afgeleid dat bij een pH van circa 8, zoals gegeven in Tabel 2.2, de relatieve bijdrage van NH_4 aan het TAN-gehalte het grootst is. Het TAN-gehalte komt dus bij benadering overeen met de NH_4 -N-gehalten van Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Cumulatieve CH₄, NH₃, N₂O en totale emissies in CO₂-eq. gemeten in een winter en zomer experiment. Bron: Amon et al. [2003].

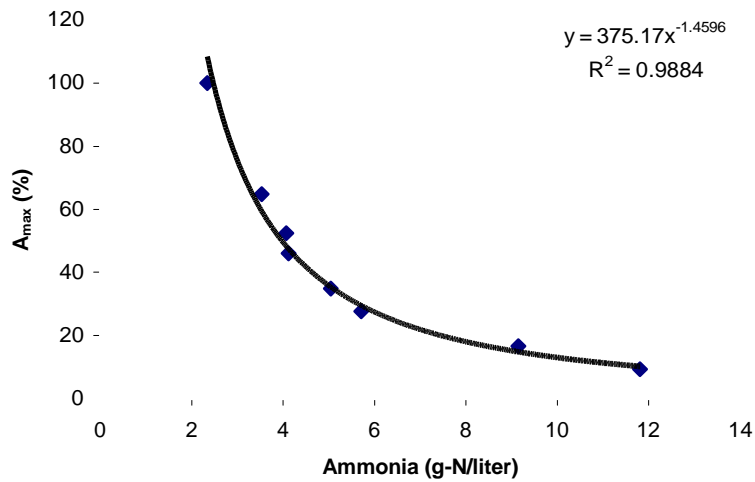
<i>treatment</i>	<i>winter experiment</i>				<i>summer experiment</i>			
	CH ₄	NH ₃	N ₂ O	GHG	CH ₄	NH ₃	N ₂ O	GHG
	[g m ⁻³]	[g m ⁻³]	[g m ⁻³]	[kg CO ₂ eq. m ⁻³]	[g m ⁻³]	[g m ⁻³]	[g m ⁻³]	[kg CO ₂ eq. m ⁻³]
untreated_crust	164.3	72.5	44.0	17.10	3591.2	110.5	48.7	90.52
untreated_cover	142.0	52.2	38.2	14.83	2999.0	60.0	58.6	81.13
biogas	111.3	62.0	40.1	14.76	1154.2	222.5	72.4	46.70
biogas_straw	114.5	49.6	39.9	14.79	1191.9	125.7	75.7	48.51
biogas_straw_cover	81.1	48.7	40.7	14.31	1021.4	78.1	61.4	40.50

a) Initial, uncovered and plastic film as cover.

	Initial (d 0)	Uncovered (d 0+15)	Plastic film (d 0+15)
Top	2108	1530	2100
Middle	2108	1499	2026
Bottom	2108	1924	2382



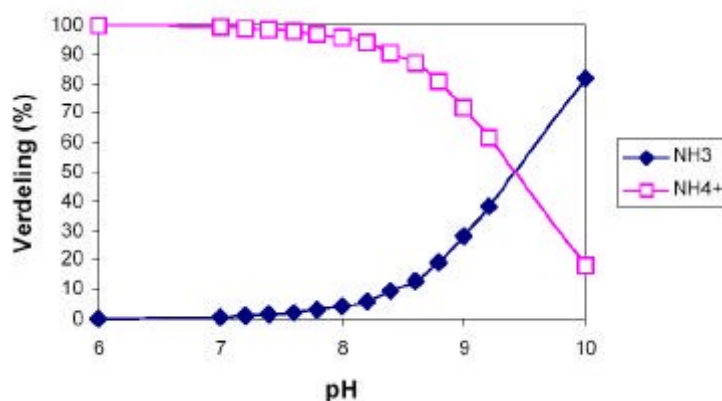
Figuur 2.1 Het totaal aan ammoniak- en ammoniumconcentraties in een mestilo wordt hoger door de mest af te dekken. a) TAN-distributie in een niet afgedekte mestilo en in een silo afgedekt met een plastic film over op de mest [Martinez, 2002]. b) TAN-concentratie in een mestilo zonder afdekking (○) en afgedekt met stro of kleibolletjes (Δ en ▽) als functie van de opslagtijd gedurende ongeveer een jaar. [Bron: Sommer, 1997].



Figuur 2.2 Relatieve afname van de maximale specifieke methanogene activiteit, A_{\max} , met toenemende ammonium concentratie in drijfmest. Bron: Koster et al. [1988].

Tabel 2.2 Samenstelling mengmest (Hoeksma 1988).

	Gemiddeld	standaarddeviatie
<i>Varkens:</i>		
pH	- 8,0	0,2
NH4-N	g/kg 3,6	0,8
<i>Runderen:</i>		
pH	- 8,2	0,2
NH4-N	g/kg 2,4	0,5



Figuur 2.3 Relatieve verdeling van NH_4 , NH_3 als functie van de zuurgraad. (Hoeksma, 1988).

2.2 Invloed van de zuurgraad

De methaanemissie is een functie van de zuurgraad van de mest. Uit Boopathy (1996), Besson et al. (1985), Derikx et al. (1989) en Conrad & Schütz (1988) mogen we concluderen dat CH₄-productie optimaal is bij pH 7. De CH₄-emissie halveert bij pH 6,5 en pH 8,3. Als we aannemen dat de pH afhankelijkheid van de emissie lineair is tussen pH 7 tot pH 8,3, dan is de CH₄-emissie -5% per 0,13 pH eenheid bij toenemende pH.

2.3 Invloed van voer

Verteerbaarheid van de diverse organische stoffen in de mest is een belangrijke parameter. Echter de modellen houden daar geen rekening mee. Een ruwe maar algemeen geaccepteerde aanpak is over OS (organisch-stofgehalte) te spreken zonder differentiatie. Het OS-gehalte van de mengmest wordt vooral door de wateropname van het dier, de watertoevoeging bij de mest in de stal en de verteerbaarheid van het voer bepaald. De wateropname is enigszins afhankelijk van het gehalte aan zouten in het voer. Een hoge wateropname geeft een lagere OS-gehalte en omgekeerd. Ruwe celstof in voer is een maat voor verteerbaarheid. Het lijkt niet zinnig om voermodellen in REM te verwerken. Het beste is met een voermodel (zoals ANIPRO) de samenstelling (OS, pH en TAN) van de excreties te bepalen en die te gebruiken in REM.

2.4 Samenvatting gevoeligheidsfactoren voor methaanemissies

In onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van de gevoeligheidscoëfficiënten voor methaan als functie van het TAN-gehalte en de pH voor varkens en runderen. Hier moet worden opgemerkt dat een verandering in TAN invloed heeft op de pH en omgekeerd. De effecten van TAN en pH op de methaanproductie kunnen dus niet gecumuleerd worden.

	pH	TAN	gevoeligheidscoëfficiënten CH ₄	
		g/kg	ΔCH_4 (%) / ΔpH	ΔCH_4 (%) / ΔTAN
varkens	8	3,6	-38	-4,1
runderen	8,2	2,4	-38	-6,1

3 Materiaal en methode

3.1 Selectie van bedrijfssystemen

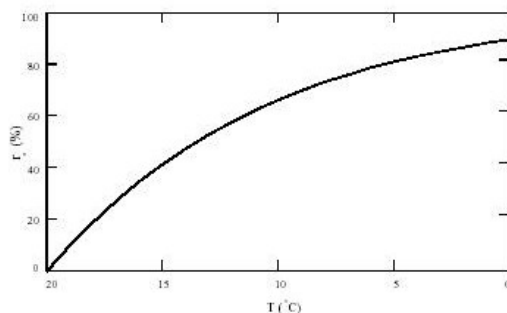
Met het computermodel REM (De Mol & Hilhorst, 2003) is het mogelijk om emissiefactoren per bedrijf te berekenen evenals de landelijke ammoniak- en broeikasgasemissies uit mest. De methaanemissiefactoren per bedrijf worden berekend met een dynamisch model rekening houdend met het mestmanagement en de temperatuureffecten. Voor de landelijke emissie worden de broeikasgasemissies geminimaliseerd rekening houdend met beperkingen voor de ammoniakemissie en de extra kosten.

Er is behoefte aan aanvullende berekeningen met REM van de methaanemissie uit mestopslagen voor varkens en rundvee, als functie van opslagsysteem, bewaarduur en bewaarcondities. Daartoe zullen met het dynamische methaanemissiemodel meer bedrijven doorgerekend worden. Hier zal eerst een selectie van bedrijfssystemen worden gemaakt.

Voor de emissiefactor (de methaan-conversie-factor, MCF, in %) is de bedrijfsomvang niet van belang, immers de emissie wordt berekend als het product van de mestproductie (van het bedrijf) en de emissiefactor. Wel belangrijk is de verhouding tussen binnenopslag (in de kelder) en de buitenopslag (silo, mestbassin, mestzak), immers de methaanemissie uit de afgedekte buitenopslag is klein (De Mol & Hilhorst, 2003). Ook de aanwezigheid van een vergister heeft uiteraard invloed op methaanemissie. Bij melkveebedrijven heeft ook het beweidingssysteem effect op de methaanemissie.

De berekeningen worden uitgevoerd met de bestaande versie van het dynamische methaan-emissiemodel. Zie hiervoor hoofdstuk 2 in IMAG Rapport 2003-03 "Methaan-, lachgas-, en ammoniakemissies bij productie, opslag en transport van mest" van R.M. de Mol en M.A. Hilhorst. Daarbij wordt rekening gehouden met de invloed de temperatuur op de emissies. Figuur 3.1 is een kopie van een grafiek uit Hilhorst et al. (2001) waarin kan worden gezien wat de relatieve afname is van de methaanproductie bij afname van de temperatuur. Deze theoretische curve bleek goed overeen te komen met de praktijk.

Het effect van Totaal Ammonium-N (TAN) en de zuurgraad (pH) wordt als factor meegenomen. Ook het effect van voersoort op het gehalte aan *Volatile Solids* (VS) is modelmatig meegenomen.



Figuur 3.1 Emissiereductie, r_c , bij afnemende temperatuur, T , van mest. (Hilhorst et al., 2001).

3.1.1 Rundvee

In 2000 waren er 29.467 melkveebedrijven (bedrijven met melk- en kalfkoeien; informatie van het CBS: www.cbs.nl/statline). Sommige bedrijven hebben meer dan één stalsysteem (bijv. voor jongvee een grupstal en voor melkvee een ligboxenstal). Er waren 21.684 bedrijven met een ligboxenstal (dus drijfmest), waarvan 20.540 met roostervloer. Er waren 9.163 bedrijven met een grupstal met vaste en drijfmest, 6.637 bedrijven met een grupstal met drijfmest en 3.435 bedrijven met een grupstal met vaste mest. Kortom de meeste bedrijven hebben een drijfmestsysteem, een minderheid heeft alleen vaste mest.

De productie van rundvee mengmest in 2001 was 53,27 miljoen ton, het totaal aan bedrijfsoverschotten van dunne rundveemest was 1,94 miljoen ton. Kortom de meeste melkveebedrijven kunnen alle mest op het eigen bedrijf plaatsen.

Bij beweiding zijn er drie systemen (Van der Hoek, 2002):

1. onbeperkt weiden: dag en nacht, koeien komen alleen in de stal voor het melken, 15% van de zomermest komt in de mestkelder;
2. beperkt weiden: 's nacht opstallen, 60% van de zomermest komt in de mestkelder;
3. zomerstalvoeding: geen beweiding, alle zomermest komt in de mestkelder.

Hierbij wordt uitgegaan van een beweidingperiode van 190 dagen.

3.1.2 Varkens

In 2001 waren er, op basis van CBS-gegevens, 14.524 bedrijven met varkens, waarvan een groot deel met varkens als neventak. Er waren 6.063 varkensbedrijven, waarvan 2.417 vleesvarkensbedrijven en 2.093 fokzeugenbedrijven. Bij zowel vlees- als fokvarkens hebben vrijwel alle bedrijven een drijfmestsysteem, de productie van vaste varkensmest is te verwaarlozen op landelijke schaal. In 2001 was de productie van dunne mestvarkensmest 7,46 miljoen ton, waarvan 5,97 miljoen ton (80%) werd afgevoerd als bedrijfsoverschot. De productie van dunne fokvarkensmest was 5,93 miljoen ton, waarvan 3,14 miljoen ton (53%) werd afgevoerd.

3.2 Specificatie bedrijfssystemen

Er worden eerste 'normale' bedrijfssystemen bepaald voor rundvee, vleesvarkens en fokvarkens. Vervolgens worden variaties bepaald op basis van verhouding binnen- en buitenopslag, wel of geen vergister, (bij rundvee) meer/minder beweiding, de pH van de mest en het TAN-gehalte van de mest.

Bij elke diersoort is verondersteld dat op een normaal bedrijf de totale opslag genoeg is voor 50% van de mestproductie (dit komt globaal overeen met de productie gedurende de periode met uitrijverbod) en dat de mestkelder groot genoeg is voor 25% van de mestproductie. Bij een normaal bedrijf is zowel de mestkelder als de buitenopslag voldoende voor 25% van de mestproductie, in die situatie is het ook zinvol om het moment van overpompen te bekijken: als de kelder vol raakt of zo snel mogelijk (zeg wekelijks). Bij een bedrijf met vergister wordt de mest altijd snel uit de mestkelder naar de vergister gepompt.

Een normaal rundveebedrijf werkt met beperkt weiden (in 2001 54% volgens CBS-cijfers), dan komt 60% van de zommest in de mestkelder; bij onbeperkt weiden is dat 15% en bij zomeststalvoeding 100%.

De varianten met vergister worden alleen meegenomen als ze zinvol zijn in relatie met de andere kenmerken: een vergister lijkt alleen zinvol als de buitenopslag voldoende is voor 50% van de mestproductie; een vergister lijkt niet zinvol op een rundveebedrijf met onbeperkt weiden en ook niet op een bedrijf met alleen een mestkelder als opslag.

Het aantal varianten is verder beperkt door in principe alleen varianten mee te nemen die in slechts één kenmerk verschillen van een normaal bedrijf.

3.2.1 Rundvee

De relevante situaties bij rundvee zijn opgenomen in tabel 3.1 (bedrijf 1 is 'normaal', overige bedrijven zijn variaties). Er is Rekening gehouden met een opslag temperatuur voor rundveemest in de mestkelder van 15 °C gedurende de maanden juni, juli, augustus en september en 10 °C in de overige maanden. Bij dit temperatuurverschil is de emissie uit de mest de helft lager (zie figuur 3.1). Voor de buitenopslag is gerekend met een gemiddelde mesttemperatuur van 10 °C gedurende het hele jaar.

Tabel 3.1 Relevante situaties bij rundveebedrijven.

	naam	inhoud mestkelder (% mestproductie)	inhoud buitenopslag (% mestproductie)	beweidings	vergister	overpompen
1	normaal	25	25	beperkt	nee	normaal
2	sneller overpompen	25	25	beperkt	nee	z.s.m.
3	zomeststalvoeding	25	25	zomeststal	nee	normaal
4	onbeperkt weiden	25	25	onbeperkt	nee	normaal
5	alleen mestkelder	50	0	beperkt	nee	n.v.t.
6	alleen buitenopslag	0	50	beperkt	nee	n.v.t.
7	vergister	0	50	beperkt	ja	n.v.t.
8	hogere pH	25	25	beperkt	nee	normaal
9	lagere pH	25	25	beperkt	nee	normaal
10	hoger TAN	25	25	beperkt	nee	normaal
11	lager TAN	25	25	beperkt	nee	normaal

3.2.2 Vleesvarkens en fokvarkens

Vleesvarkens- en fokvarkensbedrijven verschillen in de omvang van het bedrijfsoverschot (als percentage van de productie) en in het organisch-stofgehalte van de mest. De relevante situaties bij vlees- en fokvarkens zijn opgenomen in tabel 3.2 (bedrijf 1 is 'normaal', overige bedrijven zijn variaties). Voor varkens is gerekend met een gemiddelde temperatuur in de mestkelder van 17 °C en een gemiddelde temperatuur van een buitenopslag van 10 °C gedurende het hele jaar.

Tabel 3.2 Relevante situaties bij vlees- en fokvarkensbedrijven.

	naam	inhoud mestkelder (% mestproductie)	inhoud buitenopslag (% mestproductie)	vergister	overpompen
1	normaal	25	25	nee	normaal
2	sneller overpompen	25	25	nee	z.s.m.
3	alleen mestkelder	50	0	nee	n.v.t.
4	alleen buitenopslag	0	50	nee	n.v.t.
5	vergister	0	50	ja	n.v.t.
6	hogere pH	25	25	nee	normaal
7	lagere pH	25	25	nee	normaal
8	hoger TAN	25	25	nee	normaal
9	lager TAN	25	25	nee	normaal

3.3 Uitwerking voorbeeldbedrijven

Er wordt gewerkt met 12 maanden van 30 dagen (1 jaar = 360 dagen).

De mestproductie is 100 ton ($\approx 100 \text{ m}^3$) per maand, de mestproductie per jaar is 1200 m^3 .

Volgens Van Eerd (1999) komt dat overeen met: 52 melkkoeien (excl. jongvee) òf 1000 varkens òf 235 fokzeugen. De gemiddelde bedrijfsgrootte was in 2003 (volgens www.cbs.nl): 59 melk- en kalkkoeien òf 562 vleesvarkens òf 277 fokvarkens. Oftewel het voorbeeldbedrijf is iets kleiner dan een gemiddeld melkvee- of fokvarkensbedrijf en bijna het dubbele van een gemiddeld vleesvarkensbedrijf.

Bij een normaal bedrijf is de netto-inhoud van zowel de mestkelder als de buitenopslag 300 m^3 , de bruto-inhoud is 10% groter: 330 m^3 .

Bij vlees- en fokvarkensbedrijven valt de mestafvoer en het mestgebruik aan het begin en eind van het uitrijseizoen: in maart en in september (uitrijden op bouwland toegestaan).

Voor een normaal bedrijf is verondersteld dat er mest van de mestkelder naar de buitenopslag wordt overgepompt op het moment dat de mestkelder vol raakt.

Bij rundveebedrijven is de weideperiode van mei tot en met oktober (6 maanden is 180 dagen); bij beperkte beweiding komt in de weideperiode 60% van de mest in de mestkelder, bij onbeperkte beweiding is dit 15% en bij zomerstal 100%. Het mestgebruik van rundveebedrijven is als in tabel 2.4 van De Mol & Hilhorst (2003), d.w.z. februari 10%, maart 20%, april 15%, mei 20%, juni 15%, juli 10% en augustus 10% van de stalmest (mestproductie exclusief weidemest).

Bij de zuurgraad zijn varianten bekeken met een verhoging en een verlaging van de pH met 0,2, corresponderend met een 7,6% hogere of lagere methaanemissie bij zowel rundvee als varkens.

Bij het Totaal-Ammonium-gehalte (TAN) zijn bij rundvee varianten bekeken met een verhoging en een verlaging van 0,5, corresponderend met een 3,0% hogere en lagere methaanemissie; bij varkens is een verhoging en verlaging in TAN van 0,8 bekeken, corresponderend met een 3,3% hogere/lagere methaanemissie.

De mestlogistiek van alle geselecteerde bedrijven is uitgewerkt op basis van deze uitgangspunten (zie ook tabel 3.3 en 3.4), de vulling van de opslagen is bepaald gedurende een jaar evenals de

momenten van mestgebruik, mestafvoer en overpompen. De resultaten zijn gevisualiseerd in appendix A (voor de rundveebedrijven), appendix B (voor de mestvarkensbedrijven) en appendix C (voor de fokvarkensbedrijven). Deze gegevens zijn gebruikt als input voor het simulatiemodel voor de berekening van de methaanemissie.

Tabel 3.3 Overzicht uitgangspunten bij rundveebedrijven.

	naam	TAN (g/kg)	pH	mestkelder ¹⁾		buitenopslag ²⁾	
				bruto-inhoud (m ³)	gem. vulling ³⁾ (m ³)	bruto-inhoud (m ³)	gem. vulling ³⁾ (m ³)
1	normaal	2,4	8,2	330	141	330	123
2	sneller overpompen	2,4	8,2	330	55	330	209
3	zomerstalvoeding	2,4	8,2	330	150	330	140
4	onbeperkt weiden	2,4	8,2	330	124	330	111
5	alleen mestkelder	2,4	8,2	660	254	0	0
6	alleen buitenopslag	2,4	8,2	30	0	660	254
7	vergister	2,4	8,2	30	0	660	254
8	hogere pH	2,4	8,4	330	141	330	123
9	lagere pH	2,4	8,0	330	141	330	123
10	hoger TAN	2,9	8,2	330	141	330	123
11	lager TAN	1,9	8,2	330	141	330	123

¹⁾ Temperatuur in mestkelder is 15 °C gedurende de maanden juni, juli, augustus en september en 10 °C in de overige maanden.

²⁾ Temperatuur in de buitenopslag is 10 °C gedurende het hele jaar.

³⁾ Gemiddeld op het eind van de maand.

Tabel 3.4 Overzicht uitgangspunten bij vlees- en fokvarkensbedrijven.

	naam	TAN (g/kg)	pH	mestkelder ¹⁾		buitenopslag ²⁾	
				bruto-inhoud (m ³)	gem. vulling ³⁾ (m ³)	bruto-inhoud (m ³)	gem. vulling ³⁾ (m ³)
1	normaal	3,6	8,0	330	120	330	180
2	sneller overpompen	3,6	8,0	330	70	330	230
3	alleen mestkelder	3,6	8,0	660	290	0	0
4	alleen buitenopslag	3,6	8,0	30	30	660	290
5	vergister	3,6	8,0	30	30	660	290
6	hogere pH	3,6	8,2	330	120	330	180
7	lagere pH	3,6	7,8	330	120	330	180
8	hoger TAN	4,4	8,0	330	120	330	180
9	lager TAN	2,8	8,0	330	120	330	180

¹⁾ Temperatuur in mestkelder is 17 °C gedurende het hele jaar.

²⁾ Temperatuur in de buitenopslag is 10 °C gedurende het hele jaar.

³⁾ Gemiddeld op het eind van de maand.

4 Resultaten

De bedrijfssystemen zijn doorerekend, voor de meeste varianten is een run met het simulatie-model (De Mol & Hilhorst, 2003; p. 31) uitgevoerd. De resultaten bij een varianten met een afwijkende pH en TAN zijn gebaseerd op de resultaten van het 'normale' bedrijf. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.1. Berekende emissies bij de verschillende varianten voor rundvee, vleesvarkens en fokvarkens gaan uit van denkbeeldige situatie waarbij wordt uitgegaan van een denkbeeldige mestproductie van 100 ton ($\approx 100\text{m}^3$) per maand. De laatste kolom geeft de emissies relatief ten opzichte van de normale situatie zoals die nu in de praktijk is. De variaties op normaal zijn gegeven in de kolom "Bedrijf".

Om het effect van de bedrijfssystemen op de methaanemissie te visualiseren zijn de resultaten uit tabel 4.1 ook weergegeven in figuur 4.1 (voor rundvee), figuur 4.2 (voor mestvarkens) en figuur 4.3 (voor fokvarkens). Hierin zijn varianten voor hetzelfde aspect verbonden door een (stippel)lijn. In deze figuren is ook de variant 'mestvergister zonder lekkage' toegevoegd, deze variant is voor wat betreft de methaanemissie hetzelfde als de variant 'alleen buitenopslag'.

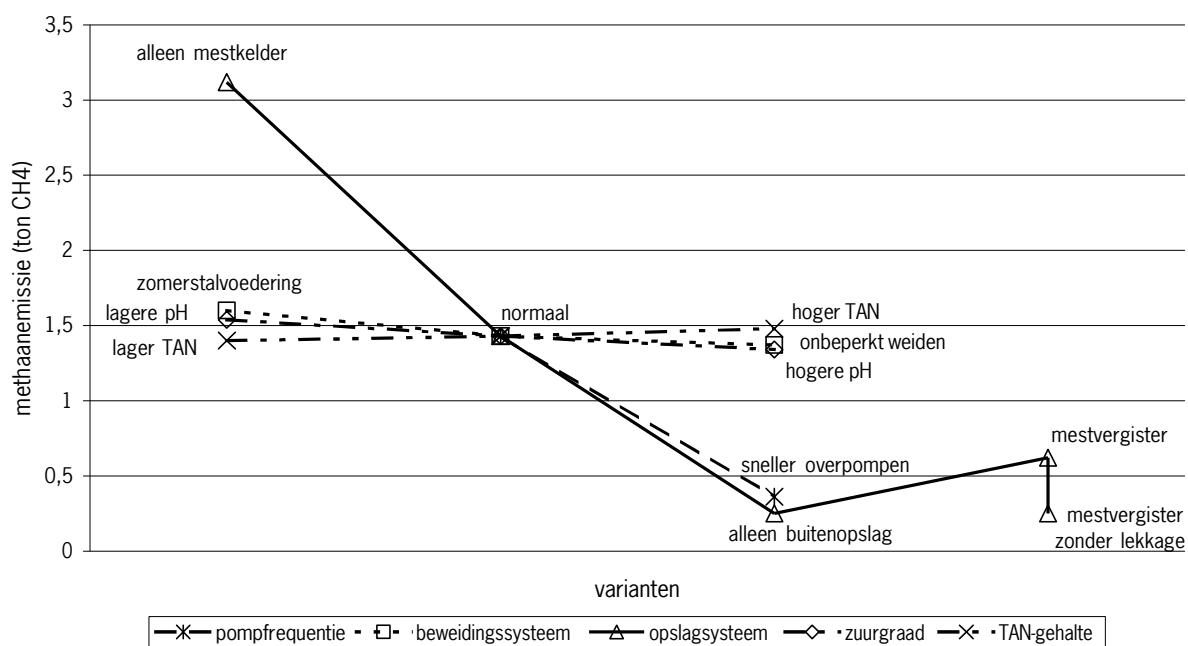
Bij rundvee (figuur 4.1) is het niveau van de methaanemissie bij de meeste varianten (voor pH, TAN en beweiding) vergelijkbaar bij het 'normale' bedrijf. De emissie is duidelijk hoger in het geval van 'alleen mestkelder'. De emissie is lager bij de varianten met 'sneller overpompen', 'alleen buitenopslag' en 'mestvergister'.

Bij mest- en fokvarkens (figuur 4.2 en 4.3) is het niveau van de methaanemissie bij de meeste varianten (pH en TAN) vergelijkbaar bij het 'normale' bedrijf. De emissie is duidelijk hoger in het geval van 'alleen mestkelder'. De emissie is lager bij de varianten met 'sneller overpompen', 'alleen buitenopslag' en 'mestvergister'.

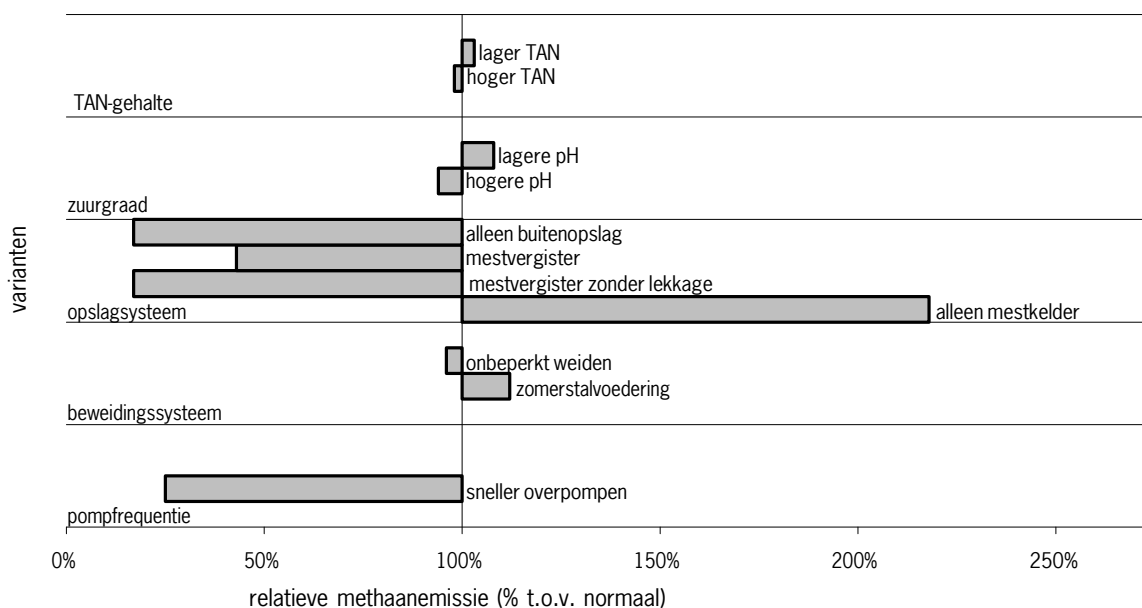
Tabel 4.1 Berekende emissiegegevens bij de verschillende varianten voor rundvee, vleesvarkens en fokvarkens. De laatste kolom geeft de emissies relatief ten opzichte van de normale situatie zoals die nu in de praktijk is. De variaties op normaal zijn gegeven in de kolom "Bedrijf" waarbij wordt uitgegaan van een denkbeeldige mestproductie van 100 ton ($\approx 100\text{m}^3$) per maand.

Bedrijf	Mestkelder				Buitenopslag	Totaal	
	mest (m ³)	MCF %	emissiefactor kg CH ₄ /ton mest	emissie (ton CH ₄)	emissie (ton CH ₄)	emissie (ton CH ₄)	emissie relatief
Rundvee							
1: normaal	960	8,9	1,420	1,37	0,07	1,43	1,00
2: sneller overpompen	960	2,9	0,215	0,21	0,15	0,36	0,25
3: zomerstalvoeding	1200	16,9	1,270	1,53	0,08	1,60	1,12
4: onbepakt weiden	690	25,2	1,892	1,31	0,07	1,37	0,96
5: alleen mestkelder	960	43,3	3,249	3,12	0,00	3,12	2,18
6: alleen buitenopslag	960	1,2	0,092	0,09	0,16	0,25	0,17
7: vergister	960	6,2	0,471	0,46	0,16	0,62	0,43
8: hogere pH	960	17,46	1,312	1,27	0,07	1,34	0,94
9: lagere pH	960	20,34	1,528	1,47	0,07	1,54	1,08
10: hoger TAN	960	18,33	1,377	1,33	0,07	1,40	0,98
11: lager TAN	960	19,47	1,463	1,41	0,07	1,48	1,03
Vleesvarkens							
1: normaal	1200	9,1	1,655	1,99	0,34	2,32	1,00
2: sneller overpompen	1200	2,9	0,529	0,64	0,49	1,12	0,48
3: alleen mestkelder	1200	28,8	5,218	6,27	0,00	6,27	2,70
4: alleen buitenopslag	1200	0,90	0,156	0,19	0,58	0,76	0,33
5: vergister	1200	5,90	1,247	1,30	0,24	1,54	0,66
6: hogere pH	1200	2,68	1,529	1,84	0,34	2,18	0,94
7: lagere pH	1200	9,79	1,781	2,14	0,34	2,48	1,07
8: hoger TAN	1200	8,80	1,600	1,92	0,34	2,26	0,97
9: lager TAN	1200	9,40	1,710	2,06	0,34	2,40	1,03
Fokvarkens							
1: normaal	1200	9,4	0,993	1,20	0,34	1,53	1,00
2: sneller overpompen	1200	3,2	0,336	0,41	0,49	0,89	0,58
3: alleen mestkelder	1200	29,4	3,098	3,72	0,00	3,72	2,43
4: alleen buitenopslag	1200	0,9	0,091	0,11	0,59	0,69	0,45
5: vergister	1200	5,9	0,621	0,75	0,59	1,34	0,88
6: hogere pH	1200	8,69	0,918	1,11	0,34	1,45	0,95
7: lagere pH	1200	10,11	1,068	1,29	0,34	1,63	1,07
8: hoger TAN	1200	9,09	0,960	1,16	0,34	1,50	0,98
9: lager TAN	1200	9,71	1,026	1,24	0,34	1,58	1,03

Rundvee: absolute verschillen

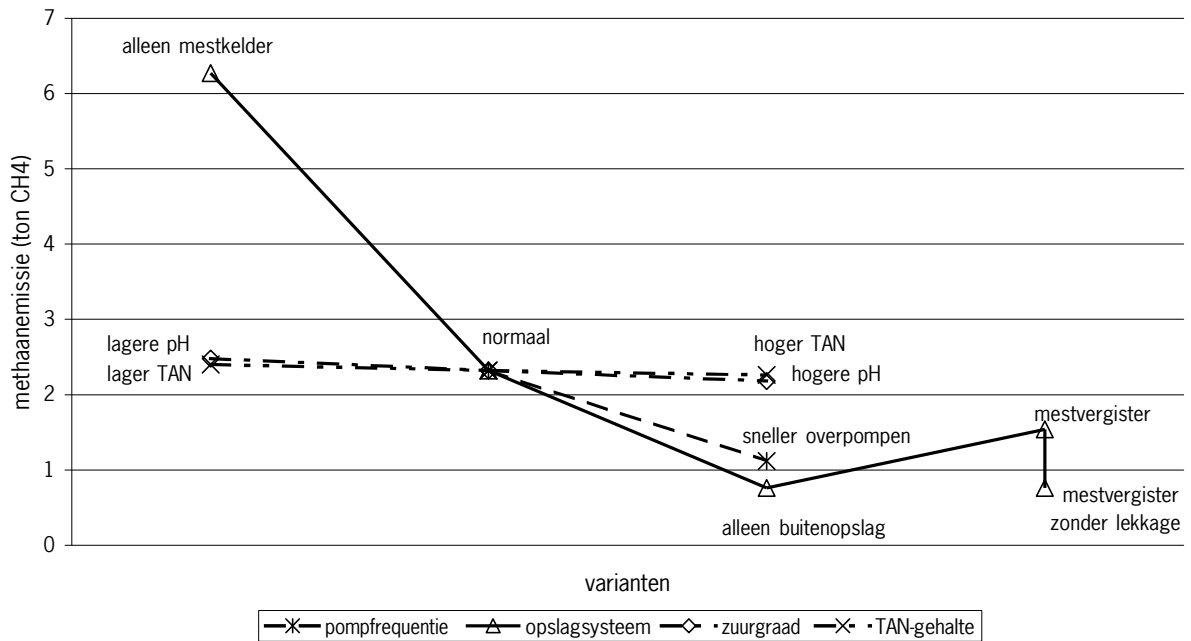


Rundvee: relatieve verschillen

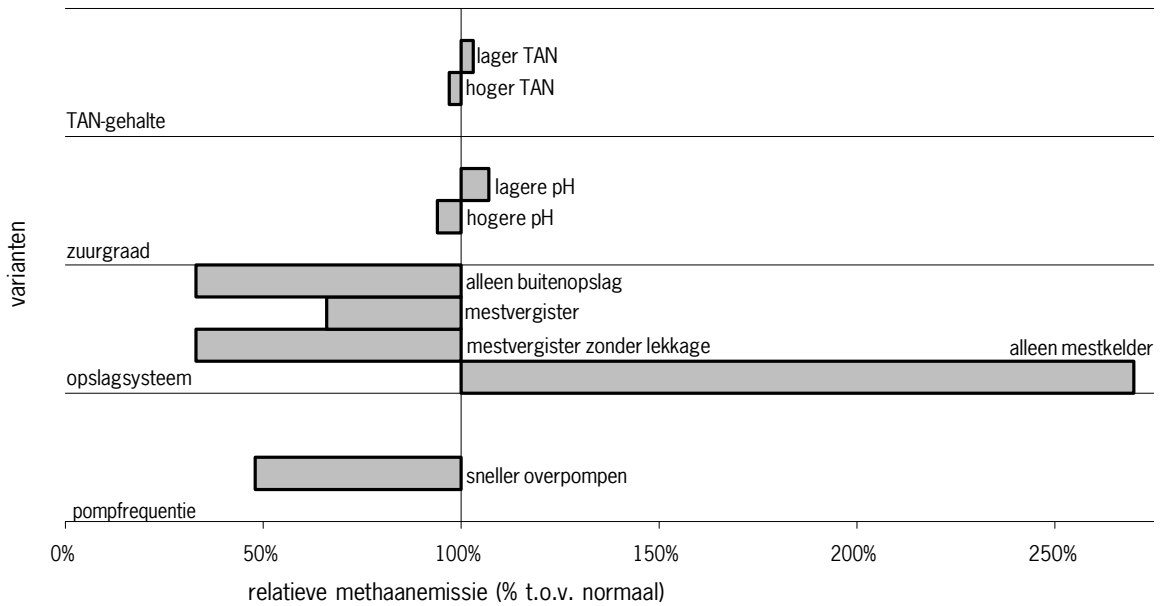


Figuur 4.1 Overzicht van de absolute (boven) en relatieve (onder) verschillen in methaanemissie bij de verschillende varianten voor pompfrequentie, beweidingssysteem, opslagsysteem, zuurgraad en TAN-gehalte bij rundvee (gegevens uit tabel 4.1).

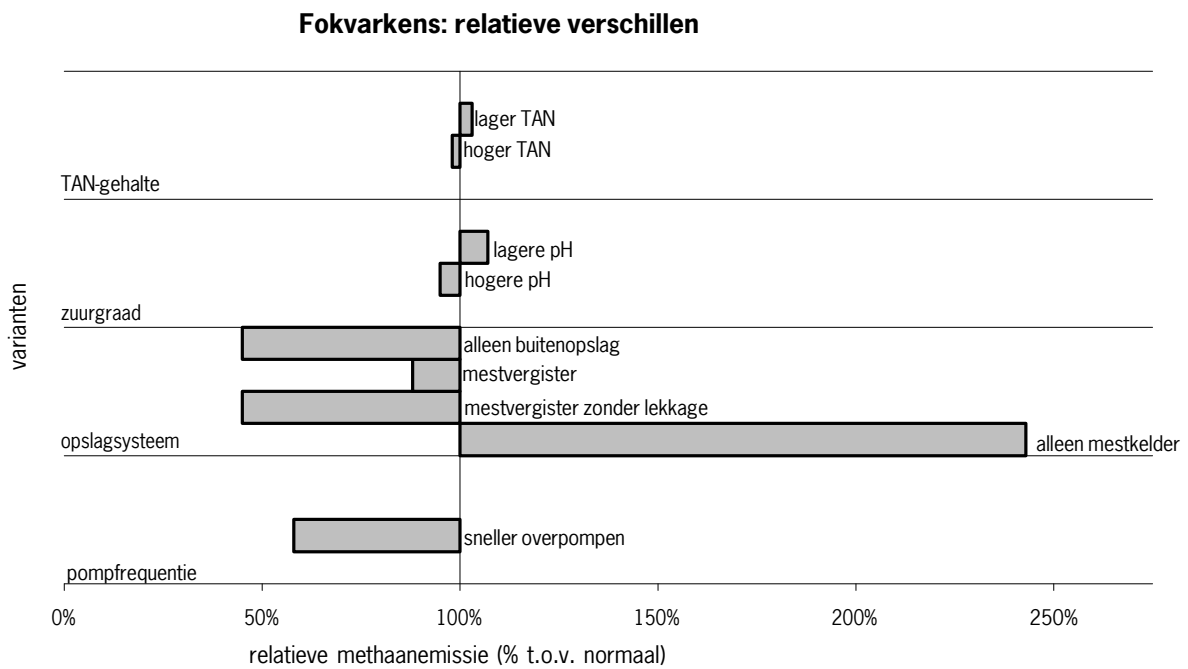
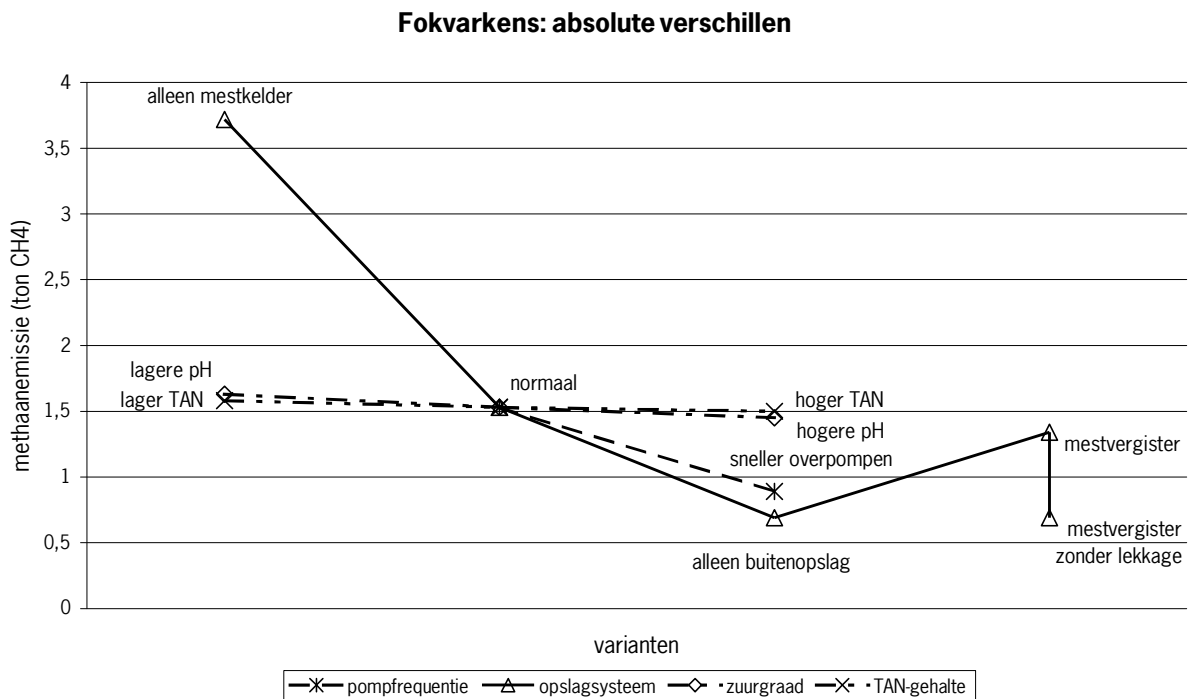
Vleesvarkens: absolute verschillen



Vleesvarkens: relatieve verschillen



Figuur 4.2 Overzicht van de absolute (boven) en relatieve (onder) verschillen in methaanemissie bij de verschillende varianten voor pompfrequentie, opslagsysteem, zuurgraad en TAN-gehalte bij vleesvarkens (gegevens uit tabel 4.1).



Figuur 4.3 Overzicht van de absolute (boven) en relatieve (onder) verschillen in methaanemissie bij de verschillende varianten voor pompfrequentie, opslagsysteem, zuurgraad en TAN-gehalte bij fokvarkens (gegevens uit tabel 4.1).

5 Discussie en conclusies

De met dynamisch-methaanemissiemodel van REM bepaalde emissies zijn geënt op de Nederlandse praktijk in tegenstelling tot de IPCC-factoren. REM houdt rekening met voor Nederland geldende organisch-stofgehalten, de opslag- en overslagcondities, de tijdstippen en hoeveelheden bij het gebruik van mest, de temperatuurverschillen tussen de binnenopslag en de buitenopslag, de beweiding bij rundvee etc. De factoren zijn gebaseerd op praktijkcijfers. Daarmee kan REM de werkelijke emissies beter benaderen dan door gebruik te maken van de emissieprotocollen waarmee de officiële Nederlandse emissiecijfers zijn bepaald. De emissiefactoren waar REM gebruik van maakt, moeten echter statisch (meetcampagnes op praktijkniveau) beter worden getoetst, om te kunnen worden verwerkt in de emissieprotocollen. Bovendien moet dan ook nog bestudeerd worden wat deze factoren waren in de voorgaande jaren, onder andere omstandigheden voor bijv. uitrijverboden voor mest en bij lagere bedrijfsoverschotten. Op bedrijfsniveau geeft REM een betere weergave van de werkelijkheid en kan een goed inzicht geven in mogelijk emissiereducties onder verschillende bedrijfsomstandigheden.

De berekeningen met het REM-model tonen aan dat vooral het opslagsysteem en het gebruik van de opslag veel invloed hebben op de methaanemissie. Het effect van de zuurgraad en het TAN-gehalte van de mest is veel beperkter, evenals het effect van het beweidingssysteem bij rundvee.

Globaal kan geconcludeerd worden dat methaanemissies uit mest fors beperkt kunnen worden door het gebruik van de mestkelder in de stal zoveel mogelijk te ontmoedigen. Mest opgeslagen buiten de stal heeft een gemiddelde temperatuur die veel lager is dan in de stal en ook de afdekking van de buitenopslag heeft een gunstig effect op de emissies. De mest uit de mestkelder moet daarom zo snel mogelijk worden overgeheveld naar een buitenopslag. Een mestvergister kan daarbij helpen: het motiveert de boer de mest zo snel mogelijk uit de mestkelder te halen om gasverlies te voorkomen.

Het type voer heeft invloed op het watergebruik, de pH en het TAN-gehalte. De bereikbare variaties in de zuurgraad en het TAN-gehalte zijn niet groot genoeg om een invloed van betekenis te hebben op de methaanemissies. Het watergebruik heeft invloed op het mestvolume, maar niet op het organisch-stofgehalte. Methaanemissies zijn een functie van het organisch-stofgehalte en zullen dus niet beïnvloed worden als het dier meer behoefte aan water heeft. Het effect van voertypen kan worden gezien als een effect op een of meerdere van de voornoemde factoren en is daarom niet expliciet verwerkt. Voor modelstudies naar de invloed van voer op de emissies uit mest, kan het beste eerst de samenstelling van mest worden berekend aan de hand van bestaande voermodellen. De mestsamenstelling kan dan in REM worden ingevoerd. Het type voer heeft vooral invloed op het watergebruik waardoor het VS-gehalte kan variëren. Echter omdat de absolute hoeveelheid VS weinig veranderd zal de methaanemissie ook niet veranderen. Wel verandert de pH en TAN, maar uit deze studie blijkt dat geen grote invloed op de methaanemissie te hebben.

Bij de berekeningen kunnen voor een deel dezelfde kanttekeningen worden gemaakt als in De Mol & Hilhorst (2003; p. 32 en 72), onder meer:

- Het dynamisch methaanemissiemodel is gebaseerd op experimenten met een vultijd van 100 dagen. Verdere validatie is gewenst.
- Het gebruik van de mestkelder vs. buitenopslag heeft een grote invloed op de methaanemissie, evenals de momenten van mestgebruik.
- Het temperatuureffect is vrij grof gemodelleerd, maar is wordt wel rekening gehouden met een hogere temperatuur (en dus hogere emissie) in de zomer en het verschil tussen rundvee en varkens bij de temperatuur in de mestkelder.

Evenals in De Mol & Hilhorst (2003) moet ook hier een kanttekening worden gemaakt bij de methaanlekkages die kunnen optreden bij mestvergistingsinstallaties en die de beoogde methaan emissie-reductie negatief kunnen beïnvloeden. Er zijn nog weinig gegevens over de lekkage bij een mestvergister. Volgens IPCC (1996) komt de lekkage overeen met een MCF van 5 tot 15%. Volgens IPCC (2001) kan de lekkage alles tussen 0-100% zijn (afhankelijk van het management). De IPCC-waarde is geënt op de vele kleine (huis)vergistingsinstallaties zoals die in China, Columbia of Nepal gebruikelijk zijn. Wij nemen aan dat een Nederlandse vergistingsinstallatie beter moet kunnen presteren. Cumby et al. (2000) en Sommer et al. (2001) laten de resultaten zien van metingen aan professionele installaties waarbij de lekkage hoger kan zijn dan 10% van de geproduceerde methaan. In theorie kan men met een vergistingsinstallatie alle emissies van methaan uit mest vermijden tussen de opvang van de excreties in de stal en het aanwenden. In de praktijk kunnen echter gaslekken ontstaan die tot een minimum moeten worden beperkt. Uit literatuur is bekend dat met een totale lek van ruim 3 tot 5% rekening moet worden gehouden. Voorbeelden van in het oog springende mogelijke lekken zijn:

1. De lek (methaanslip) van een gasmotor 1,8 meer als beoordeling op nemen).
2. Het effluent moet zorgvuldig worden opgeslagen tot de gasproductie is afgenomen tot op het normale niveau van een conventionele opslag. Daarbij bestaat het risico op gaslekken.
3. Na aanwenden kunnen de emissies lager zijn doordat efficiënter kan worden bemest. Of ook echt efficiënter wordt bemest is de vraag.

Het transporttraject van de mest van de opvang in de stal tot in de reactor en de eventuele voorbehandeling kunnen aanleiding zijn tot onbedoelde emissies.

Hier is uitgegaan van een lekkage van een 5%, op basis van de genoemde literatuur. Ook vanuit emissie-oogpunt is het interessant om de lekkage verder te verlagen omdat daarmee de minimale emissie beter wordt benaderd (zie variant 'mestvergister zonder lekkage' in figuur 4.1 t/m 4.3).

Bij de berekeningen is niet gekeken naar het effect van de variaties op de ammoniakemissie of de variatie van andere broeikasgasemissies. Er is alleen gekeken naar bedrijfsniveau, er is geen vertaling gemaakt naar de landelijke emissiecijfers.

Voor een betrouwbaardere monitoring van de landelijke methaanemissies zijn meer gegevens nodig dan momenteel beschikbaar zijn:

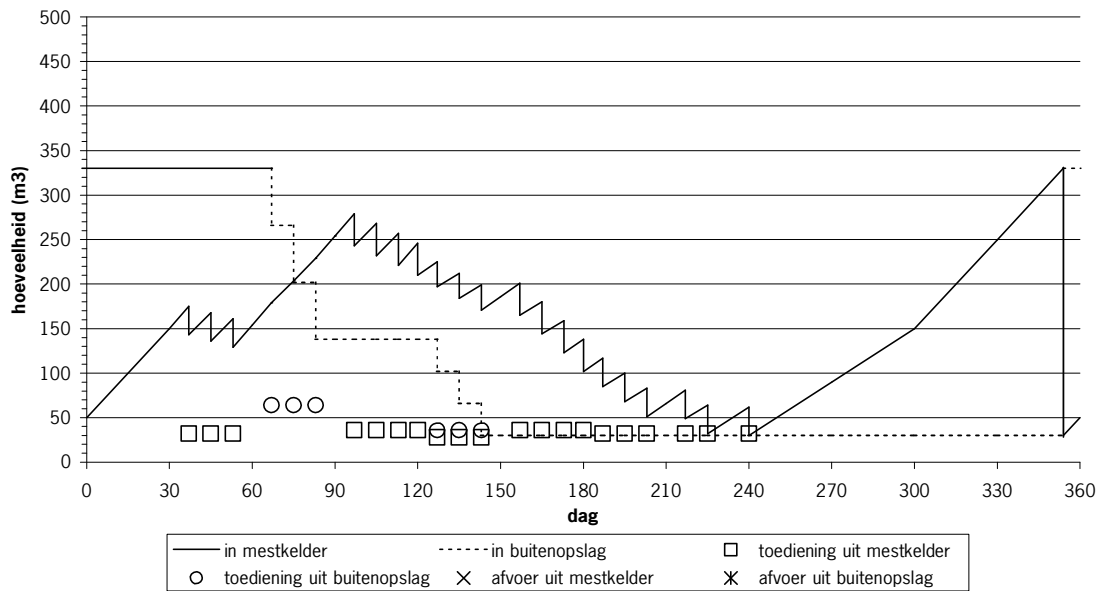
- Grootte en vorm van de opslag per bedrijf: inhoud mestkelder en aanwezige silo's, foliebassins, mestzakken e.a. (dit kan wellicht worden meegenomen bij de metelling).
- Werkwijze bij het overpompen van mest van de mestkelder naar de buitenopslag: bepaling tijdstip en frequentie (ook hiervoor lijkt een enquête geschikt).
- Werkwijze bij mestafvoer in het geval van een bedrijfsoverschot: tijdstip en frequentie (te bevragen in een enquête of wellicht af te leiden uit MINAS-gegevens).
- Werkwijze bij mesttoediening: moment en frequentie (ook hiervoor lijkt een enquête geschikt).

Referenties

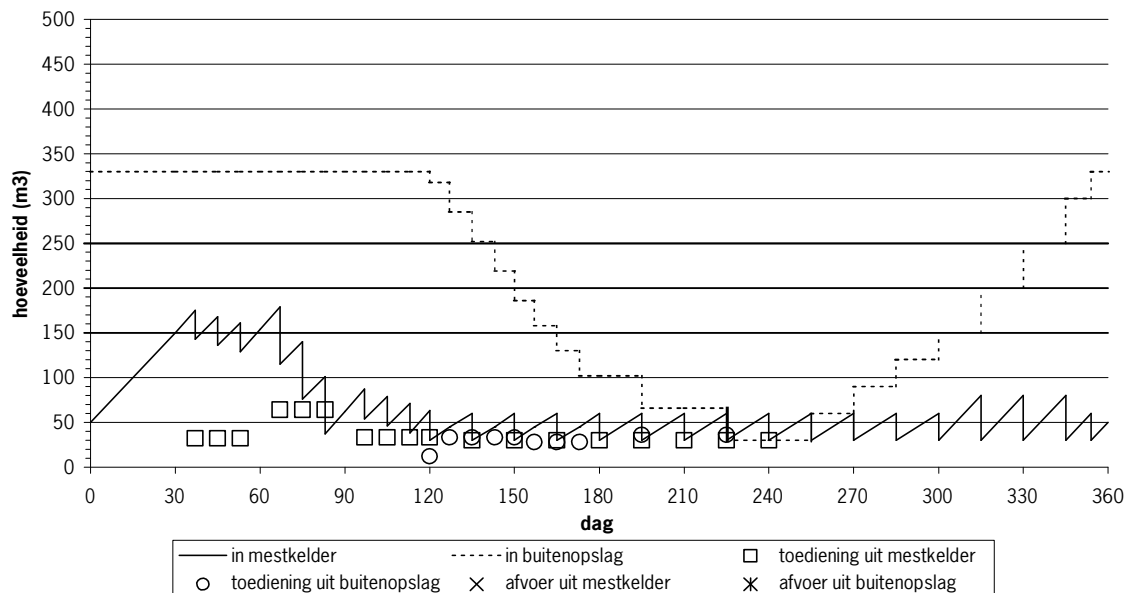
- Amon, B, V. Kryvoruchko, T. Amon, F. Béline, S.O. Petersen, 2003. Quantitative effects of storage conditions on GHG emissions from cattle slurry, and N₂O and CH₄ turnover inside natural surface crusts. Internal report of the MIDAIR project of the Vth Framework Programme. Publication in preparation.
- CBS, 2004. www.cbs.nl/statline.
- Cumby, T.R., E. Nigro, D.L. Sandars, C. Canete, A.G. Williams, I.M. Scotford, E. Audsley. 2000. Cleaning up natural waste on land. Anaerobic digestion of agricultural wastes. Congres paper 14.45; 8/9/2000. Silsoe Research Institute, UK.
- Eerd, M. van, 1999. Mestproductie en mineralenuitscheiding 1998. Kwartaalberichten Milieu 1999/4.
- Hilhorst, M.A., H.C. Willers, C.M. Groenestein, & G.J. Monteny, 2001. Effective Strategies to Reduce Methane Emissions from Livestock. Paper Number: 01-4070, 2001 ASAE Annual International Meeting.
- Hoek, K.W. van der, 2002. Uitgangspunten voor de mest- en ammoniakberekeningen 1997 tot en met 1999 zoals gebruikt in de Milieubalans 199 en 2000. RIVM, Bilthoven, rapport 773004012/2002
- Hoeksma, P., 1988. De samenstelling van drijfmest die naar akkerbouwbedrijven wordt afgezet. IMAG rapport, juni 1988.
- IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Greenhouse gas inventory reference manual. Volume 3. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D.J. Griggs and B.A. Callender (ed.).
- IPCC, 2001. Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. J. Penman, D. Kruger, I. Galbally, T. Hiraishi, B. Nyenzi, S. Emmanul, L. Buendia, R. Hoppaus, T. Martinsen, J. Meijer, K. Miwa and K. Tanabe (ed.).
- Koster, I.W., G. Lettinga, 1987. Anaerobic Digestion at Extreme Ammonia Concentrations. *Biological Wastes*, 25:51-59
- Kuikman, P.J., M. Buitter, & J. Dolfing, 2000. Perspectieven van co-vergisting voor beperking van emissies van broeikasgassen uit de landbouw in Nederland. Alterra-rapport 210, ISSN 1566-7197
- Liu, T, and S. Sung, 2002. Ammonia inhibition on thermophilic aceticlastic methanogens. *Water Science and Technology*, IWA Publishing, Vol 45, No 10:113-120
- Martinez, J, 2002. Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. FAO European Cooperative Research Network: RAMIRAN 2002, Proceedings of the 10 International Conference of the RAMIRAN Network: Hygiene Safety in Strbské, High Tatras, Slovak Republic.
- Mol, R.M. de & M.A. Hilhorst, 2003. Methaan-, lachgas- en ammoniakemissies bij productie, opslag en transport van mest. IMAG Rapport 2003-03.
- Sommer, S.G., 1997. Ammonia volatilization from farm tanks containing anaerobically digested animal slurry. *Atmospheric Environment*, Elsevier Science Ltd, Vol. 31. No. 6:pp 863-868
- Sommer, S.G., H.B. Moller, S.O. Petersen. 2001. Reduktion af drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved biogasbehandling. DJF report nr. 31. Danmarks Jordbrugsforskning, Denmark
- Zeeman, G., 1991. Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure. Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

Appendix A. Overzicht van de mestlogistiek gedurende een jaar bij de verschillende varianten van een rundveebedrijf

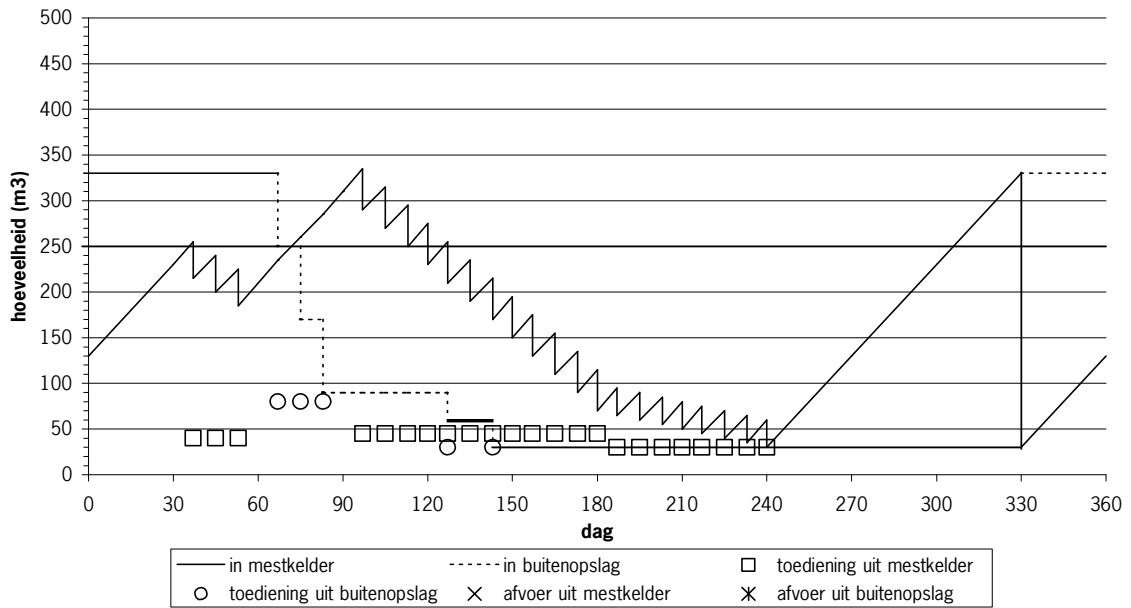
Rundvee 1: normaal



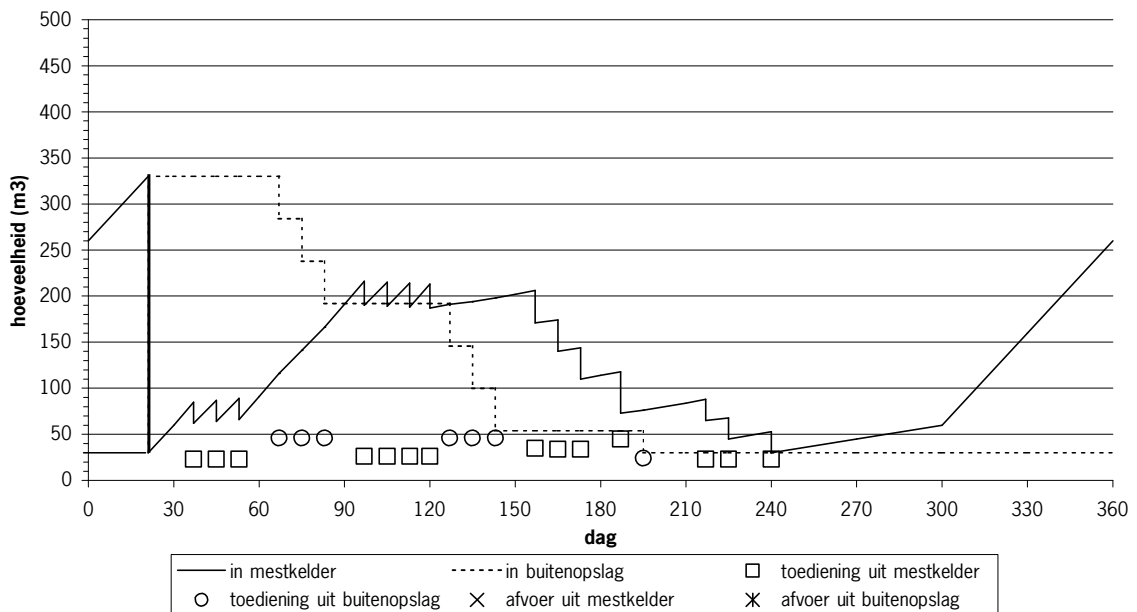
Rundvee 2: sneller overpompen



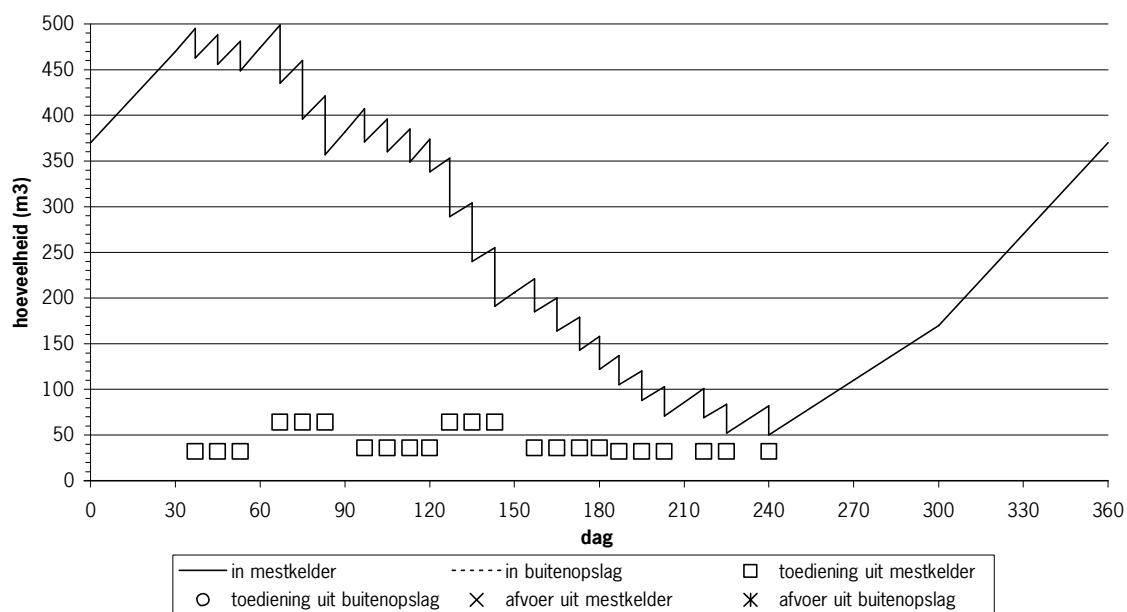
Rundvee 3: zomerstalvoeding



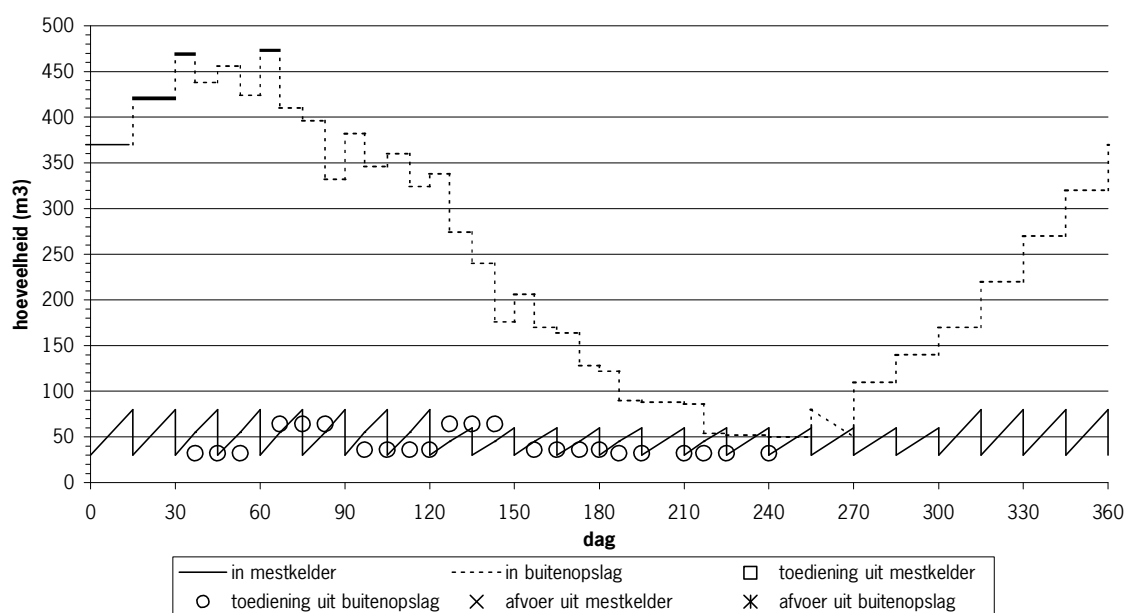
Rundvee 4: onbeperkt weiden



Rundvee 5: alleen mestkelder

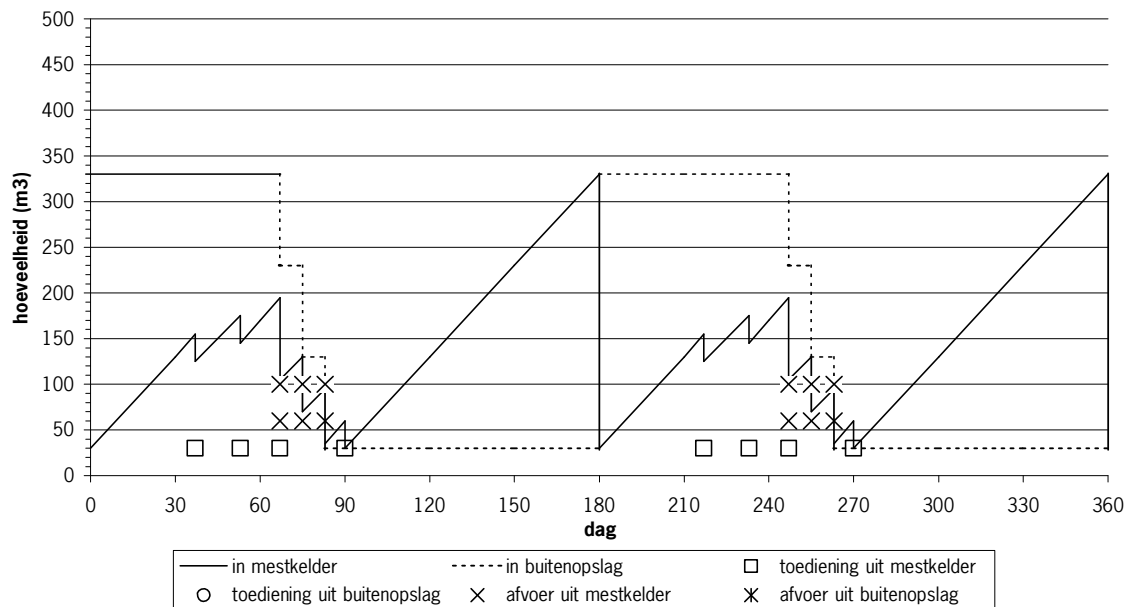


Rundvee 6: alleen buitenopslag

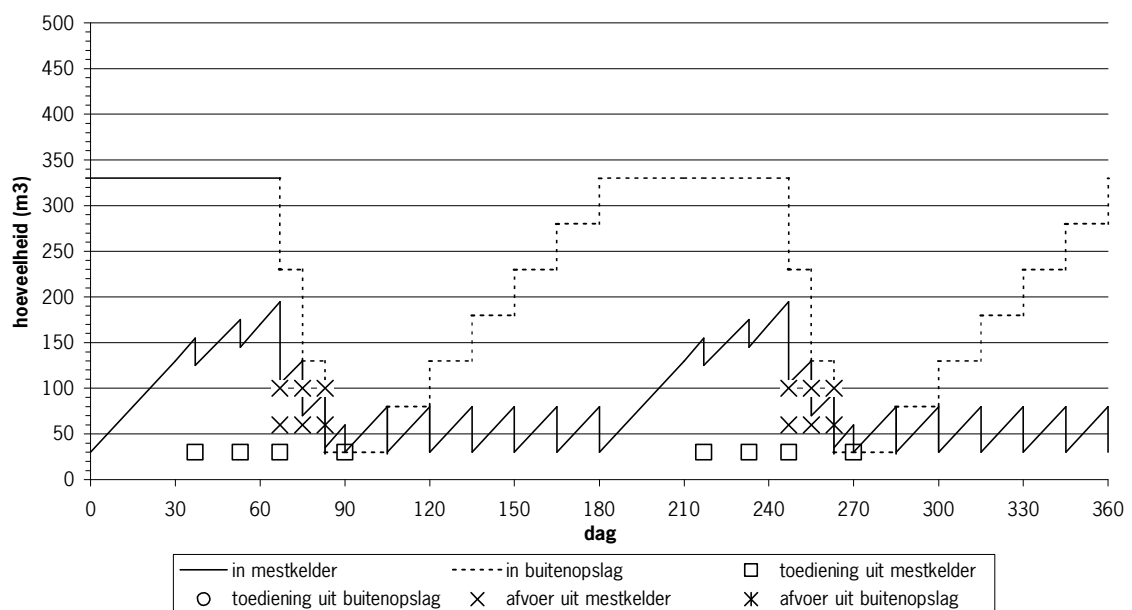


Appendix B. Overzicht van de mestlogistiek gedurende een jaar bij de verschillende varianten van een vleesvarkensbedrijf

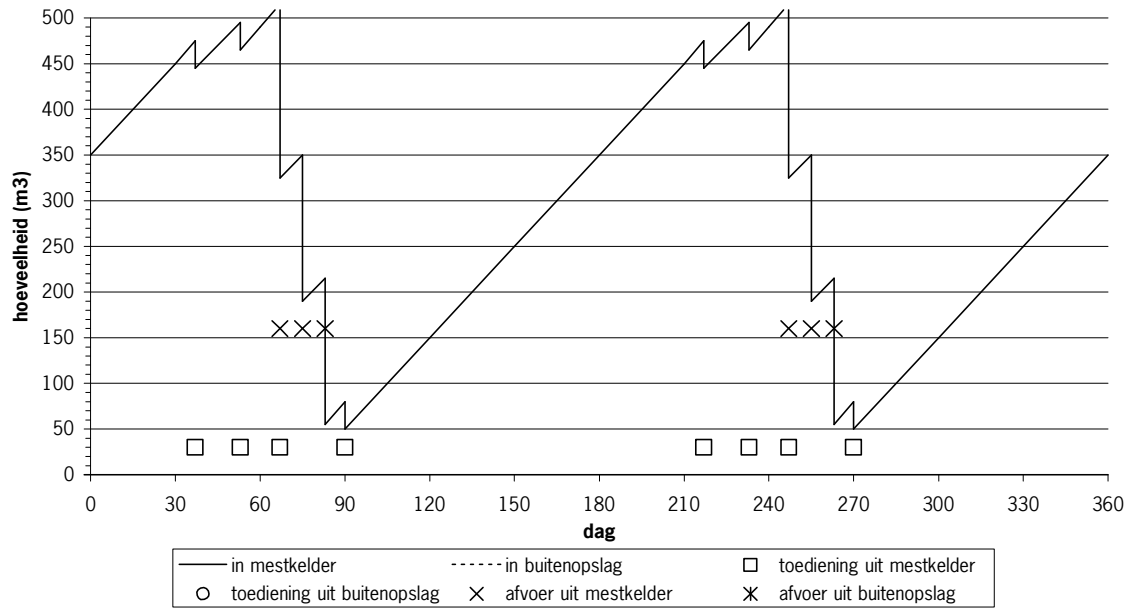
Vleesvarkens 1: normaal



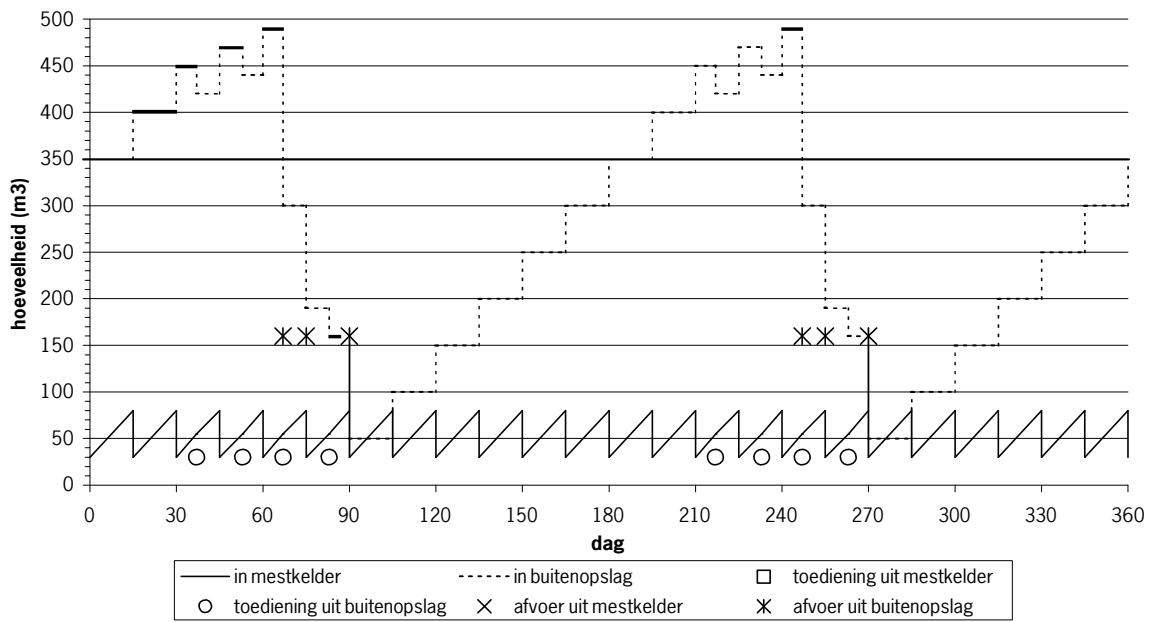
Vleesvarkens 2: sneller overpompen



Vleesvarkens 3: alleen mestkelder

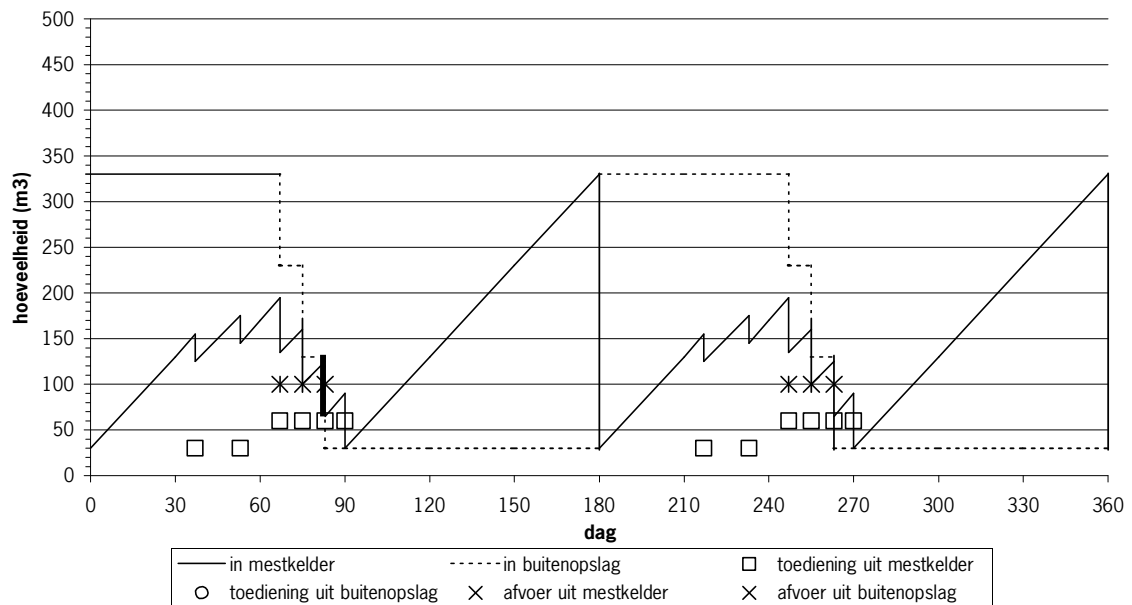


Vleesvarkens 4: alleen buitenopslag

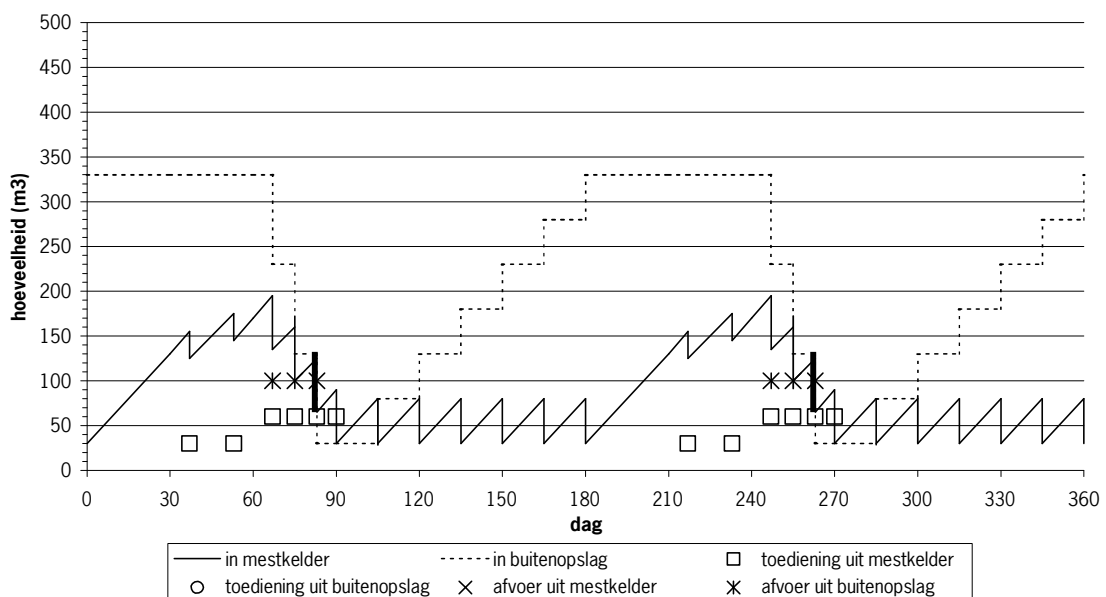


Appendix C. Overzicht van de mestlogistiek gedurende een jaar bij de verschillende varianten van een fokvarkensbedrijf

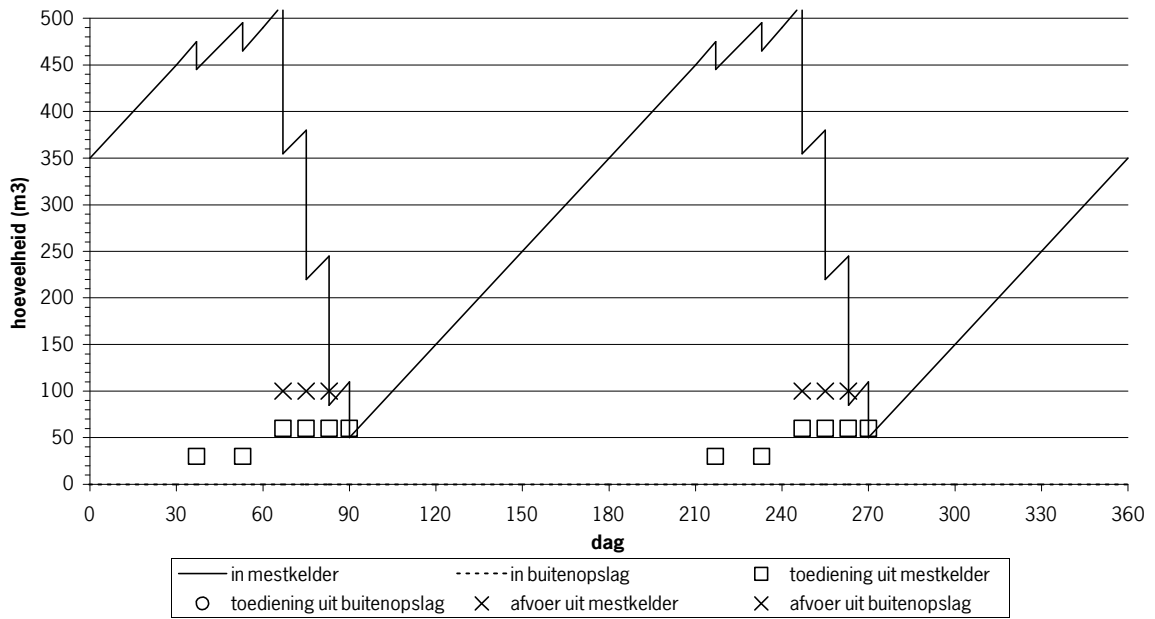
Fokvarkens 1: normaal



Fokvarkens 2: sneller overpompen



Fokvarkens 3: alleen mestkelder



Fokvarkens 4: alleen buitenopslag

