

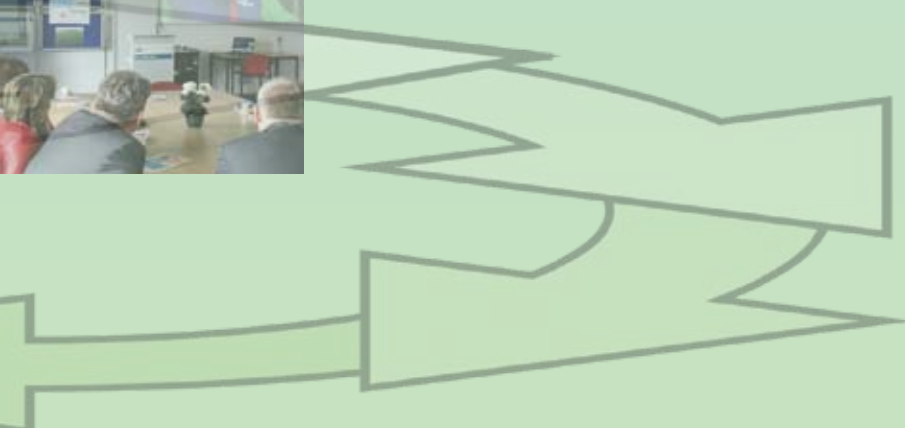
# Klimaatneutrale melkveehouderij op proefbedrijf De Marke

## Stappenplan om broeikasgasemissie te minimaliseren



September 2012

Rapport nr.66





## Colofon

### Uitgever

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 – 238 238  
Fax 0320 – 238 022  
E-mail: [info@koeienenkansen.nl](mailto:info@koeienenkansen.nl)  
Internet: <http://www.koeienenkansen.nl>

### Redactie

Koeien & Kansen

### Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

### Bestellen

ISSN 0169-3689  
Eerste druk 2009/oplage 80  
Prijs € 15

De rapporten zijn op de website te bekijken en te downloaden.

## Koeien & Kansen werkt aan een toekomst voor 'schone melkers'.

Het project is een samenwerkingsverband van 16 melkveehouders, proefbedrijf De Marke, Wageningen UR en adviesdiensten. Op verzoek van het ministerie van EL&I en PZ toetst, evalueert en verbetert het project de effectiviteit en uitvoerbaarheid van (voorgenomen) mest- en milieuwetgeving onder praktijkomstandigheden en ondersteunt het de Nederlandse melkveehouderijsector bij de implementatie ervan. Koeien & Kansen is onderdeel van het noordwest Europese Interreg IVB-project DAIRYMAN. De resultaten van Koeien & Kansen vindt u op: [www.koeienenkansen.nl](http://www.koeienenkansen.nl).

Voor vragen kunt u mailen naar: [info@koeienenkansen.nl](mailto:info@koeienenkansen.nl).

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het Beleidsondersteunend onderzoek in het kader van het EL&I-programma Verduurzaming Veehouderijketen, BO-12.02-009-002

# Klimaatneutrale melkveehouderij op proefbedrijf De Marke

## Reducing the footprint of experimental dairyfarm De Marke

L. Šebek<sup>1</sup>, J. Verloop<sup>2</sup>, G. Hilhorst<sup>1</sup>, Z. van der Vegte<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wageningen UR Livestock Research

<sup>2</sup> Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR



## Voorwoord

De Marke staat voor het ontwikkelen en testen van innovaties die bijdragen aan de duurzaamheid van het melkveebedrijf. Veelbelovende innovaties worden niet zomaar toegepast. Eerst worden ze conceptueel beoordeeld op de mogelijke bijdrage aan de duurzaamheidsdoelen en vervolgens getest in het bedrijfssysteem. Uiteindelijk worden alleen geschikte innovaties opgenomen in de bedrijfsvoering van De Marke.

In de afgelopen jaren zijn diverse innovaties getest via implementatie in het systeem, zoals:

1. het gebruiken van toevoegmiddelen aan graskuil om de verteerbaarheid te vergroten,
2. het toepassen van precisie N voorziening in gras (zitten we 'op of onder de rand'),
3. het kneuzen van gras om de verteerbaarheid te verhogen,
4. het verhogen van de N werking van drijfmest door bioraffinage.

De zoektocht naar innovaties is een continu proces en dient de ontwikkeling van een productiesysteem met een zo laag mogelijke footprint. Daarmee is De Marke een voorbeeld en inspiratiebron voor (pioniers in) de Nederlandse melkveehouderij.

Dit rapport geeft het kader aan waarin De Marke innovaties onderzoekt, geeft aan hoe de effectiviteit van innovaties in bedrijfsverband wordt bepaald en het dwingt tot oriënteren op nieuwe kansen.

Team De Marke



## Samenvatting

Dit rapport geeft de stappen weer die De Marke heeft genomen om de uitstoot van broeikasgassen zo veel als mogelijk te beperken. Het stappenplan geeft aan hoe uit alle beschikbare maatregelen de maatregelen worden geselecteerd die opgenomen kunnen worden in de bedrijfsvoering. Het geeft zo richting aan systeemontwikkeling op De Marke met als doel de uitstoot van broeikasgassen maximaal te reduceren.

Hiermee wordt bedoeld:

1. Minimale emissie van lachgas, methaan (eerste prioriteit) en kooldioxide (tweede prioriteit).
2. Productie van groene energie (echter niet in te zetten om vermijdbare emissies van broeikasgassen te compenseren).

Deze doelen worden nagestreefd in een bedrijfsvoering die blijvend voldoet aan de milieudoelen voor stikstof en fosfaat die al langer als randvoorwaarden voor de bedrijfsontwikkeling gelden.

Na een inventarisatie van de bekende maatregelen, zijn de maatregelen geselecteerd voor implementatie die: *i)* naar verwachting effectief zijn en dus substantieel bijdragen aan het doel, en *ii)* niet zijn belast met nadelige neveneffecten op andere milieudoelen dan de klimaatdoelen. Het betreft de volgende maatregelen (tussen haakjes de emissie die verminderd wordt):

1. Kunstmestgift voor beter verteerbaar gras (CH<sub>4</sub>)
2. Afvangen van methaan tussen stal en opslag (CH<sub>4</sub>)
3. Nitraat/sulfaat toevoegen aan voer (CH<sub>4</sub>)
4. Toevoegmiddelen aan kuilgras (N<sub>2</sub>O)
5. Optimaliseren van mestvergisting (N<sub>2</sub>O)
6. Kneuzen kuilgras (CH<sub>4</sub> + N<sub>2</sub>O)
7. Langere levensduur melkvee met robuustere koe (CH<sub>4</sub> + N<sub>2</sub>O)
8. Optimaliseren van mestscheiding (CH<sub>4</sub> + N<sub>2</sub>O)

De maatregelen grijpen aan op verschillende plaatsen in de bedrijfskringloop en hebben een gecombineerd, integraal effect op de emissies. Het is daarom van belang om inzicht te krijgen in de effectiviteit van afzonderlijke maatregelen in de context van een bedrijfssysteem. Dat gebeurt op De Marke en wordt inzichtelijk gemaakt door met behulp van meetprotocollen de N-, P- en C kringloop gedetailleerd op te stellen.





## Summary

This report presents an inventory of measures to reduce on farm greenhouse gas emissions on dairy farms and the procedure to select the most promising measures for experimental dairy farm De Marke.

The measures selected for De Marke contribute to reduction of methane emissions, nitrous oxide emissions and/or production of bioenergy without swapping or violating the achievements concerning the losses of nitrogen and phosphorus to the local environment.

The selected measures fit within two restrictions:

1. they are effective and substantially contribute to the reduction of greenhouse gas emissions and
2. they do not put pressure on the realization of other targets (mentioned above).

This procedure resulted in the following measures (the target greenhouse gas is indicated):

1. Use of chemical fertilizer N to enhance the digestibility of silage grass ( $\text{CH}_4$ )
2. Capture methane that might be released in between stable and storage ( $\text{CH}_4$ )
3. Addition of nitrate/sulphate to the ration to change digestion in the cows ( $\text{CH}_4$ )
4. Use of supplements to enhance the digestibility of silage grass ( $\text{N}_2\text{O}$ )
5. Further breakdown of organic N in farm slurry by optimisation of manure digestion ( $\text{N}_2\text{O}$ )
6. Bruising of silage grass to enhance digestibility of silage grass ( $\text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$ )
7. Increase the lifetime production of the cattle by breeding robust cows ( $\text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$ )
8. Improving slurry separation ( $\text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$ )

The measures are introduced into different components of the farm N, P and C cycle, but they will have an integral effect on the whole farming system. It is important to have a better understanding of the interactions between separate measures. Therefore the effectiveness of both separate measures and their combined impact are explored on De Marke by comparing N, P and C cycles before and after implementation of measures.



# Inhoudsopgave

## Voorwoord

## Samenvatting

## Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
1.1	Dit plan .....	1
1.2	Broeikasgasemissies .....	1
1.3	Taak van De Marke .....	1
1.4	Werkwijze, stapsgewijs beslissen .....	2
<b>2</b>	<b>Doelen en randvoorwaarden</b> .....	<b>3</b>
2.1	Maximale reductie van broeikasgasemissies .....	3
2.2	Relatie met andere milieudoelen.....	3
2.3	Afrekenbaarheid van ROB doelen en relatie met het doel klimaatneutrale bedrijfsvoering .....	3
2.4	Selectiecriteria.....	4
2.5	Prioritering.....	4
<b>3</b>	<b>Uitgangssituatie</b> .....	<b>5</b>
3.1	Mineralenmanagement .....	5
3.2	Bedrijfskenmerken .....	5
3.3	Milieuprestaties .....	6
3.3.1	Broeikasgassen .....	6
3.3.2	Stikstof en fosfaatverliezen.....	6
<b>4</b>	<b>Lachgas emissie; inventarisatie van reducerende maatregelen</b> .....	<b>8</b>
4.1	Lachgas emissie op het bedrijf.....	8
4.1.1	Waar komt lachgas vrij? .....	8
4.1.2	Hoe wordt lachgas gevormd en hoe komt het vrij? .....	9
4.2	Strategieën voor een lagere uitstoot van lachgas .....	9
4.3	Maatregelen .....	10
4.3.1	Bodemmaatregelen .....	11
<b>5</b>	<b>Methaan emissie; inventarisatie van reducerende maatregelen</b> .....	<b>13</b>
5.1	Bronnen van emissie.....	13
5.1.1	Waar komt methaan vrij?.....	13
5.1.2	Hoe wordt methaan gevormd en hoe komt het vrij? .....	14
5.2	Mogelijke maatregelen .....	14
5.2.1	Voermaatregelen .....	15
5.2.2	Veemaatregelen .....	15
5.2.3	Mestmaatregelen.....	15
<b>6</b>	<b>Beperken lachgasemissie op De Marke</b> .....	<b>16</b>
6.1	Perspectieven van maatregelen.....	16
6.1.1	Voermaatregelen .....	17
6.1.2	Veemaatregelen .....	17
6.1.3	Mestmaatregelen.....	18
6.1.4	Bodemmaatregelen .....	19
6.2	Selectie van relevante maatregelen.....	19
<b>7</b>	<b>Beperken methaanemissie op De Marke</b> .....	<b>20</b>
7.1	Perspectieven van maatregelen.....	20
7.2	Selectie van relevante maatregelen.....	21

<b>8</b>	<b>Recapitulatie.....</b>	<b>22</b>
	<b>Literatuur .....</b>	<b>23</b>
	<b>Bijlagen.....</b>	<b>24</b>
	Bijlage 1: Teelt en bemesting op De Marke .....	24
	Bijlage 2: Werkplan voor implementeren van maatregelen .....	26

# 1 Inleiding

## 1.1 Dit plan

Dit plan omvat een aanpak, inclusief selectie van maatregelen, waarmee De Marke de uitstoot van broeikasgassen kan verlagen. Het doel is om de uitstoot op termijn zo ver terug te dringen dat het bedrijf klimaatneutraal is. Het is onduidelijk tot hoe ver deze ambitie realiseerbaar is, maar uitvoering van het stappenplan verkent de mogelijkheden daartoe en de resultaten van implementatie in het bedrijfssysteem worden in vervolgrapporten beschreven.

Dit plan is bedoeld: i) als basis voor systeemontwikkeling op De Marke, ii) als bijdrage aan de gedachtevorming over het beperken van broeikasgasemissies in de melkveehouderij en iii) als onderbouwing van de aanpak van De Marke in de ontwikkeling tot 'klimaatneutraal bedrijf'.

## 1.2 Broeikasgasemissies

De melkveehouderij draagt bij aan de emissie van kooldioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). Dit zijn gassen die bijdragen aan de opwarming van de atmosfeer.

Met de EU heeft Nederland zich verplicht om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen met 6% ten opzichte van het referentiejaar 1990, te realiseren in 2008-2012. Maar er zijn verdergaande intenties over doelen voor 2012-2020 (Convenant Schone en zuinige Agrosectoren, 2008 ): De EU heeft aangegeven maatregelen te willen nemen om de uitstoot in 2020 met 20% te reduceren ten opzichte van 1990 en Nederland heeft aangegeven de uitstoot met 30% te willen reduceren. Alle reductiedoelstellingen worden direct doorberekend naar sectoren. Het reductiedoel voor 2020 van 30% nationaal geldt ook voor de landbouw en vervolgens ook voor de (melk)veehouderij.

Het belangrijkste broeikasgas, kooldioxide, heeft een duidelijke relatie met het gebruik van energie. De uitstoot van kooldioxide door verbranden van fossiele energiebronnen kan worden teruggedrongen door in plaats van fossiele brandstof andere, vernieuwbare energiebronnen te gebruiken (in dit rapport verder genoemd: groene energie). De melkveehouderij kan groene energie maken uit mest en andere biomassa en zo het gebruik van fossiele energie verminderen. Door de mest te vergisten kan energie gegenereerd worden die de melkveehouder zelf kan benutten of die geleverd kan worden aan andere partijen. Daarnaast kan vergiste en bewerkte mest voordelen geven in de nutriëntenkringloop van het melkveebedrijf. Beide voordelen van vergisten van mest maken het voor De Marke tot een interessante stap in de ontwikkeling.

## 1.3 Taak van De Marke

Koeien & Kansen heeft de opdracht om te onderzoeken hoe melkveebedrijven door gerichte maatregelen kunnen bijgedragen aan het verminderen van broeikasgasemissies.

Koeien & Kansen beschikt over 16 voorloperbedrijven en proefbedrijf 'De Marke'. De voorloperbedrijven en De Marke hebben verschillende doelen:

- Op de voorloperbedrijven worden maatregelen ingevoerd met als doel de broeikasgasemissie te reduceren met behoud van praktische uitvoerbaarheid en betaalbaarheid. Het doel is voldoen aan de 30% emissiereductie t.o.v. 1990 die voor 2020 als taakstellend is aangenomen in het convenant 'Schone en zuinige agrosectoren'.
- Op De Marke is het doel een maximale emissiereductie te realiseren. Hierbij gelden andere randvoorwaarden dan op de voorloperbedrijven: het realiseren van lagere broeikasgasemissies mag geen andere milieuproblemen veroorzaken en kosteneffectiviteit is minder belangrijk.

Hiermee levert De Marke:

- Een in de praktijk gebracht voorbeeld van vergaande reductie van broeikasgassenuitstoot
- Kennis van risico's en knelpunten die ontstaan bij verdergaande reductie van broeikasgassen
- Kennis van de invloed op andere bedrijfsonderdelen dan het onderdeel waar een maatregel direct op aangrijpt
- Gegevens op basis waarvan vuistregels en tools gemaakt kunnen worden
- Een aanpak voor meetbaar maken van emissies met behulp van eenvoudige indicatoren.

#### **1.4 Werkwijze, stapsgewijs beslissen**

In het stappenplan worden maatregelen geselecteerd aan de hand van de volgende vragen:

- Welke concrete, kwantitatieve doelen moeten worden gerealiseerd?
- Op welke plek in het systeem en hoe ontstaan emissies van broeikasgassen (methaan, lachgas en kooldioxide)?
- Welke maatregelen zijn bekend?
- Welke maatregelen bieden perspectief op De Marke?
  - Rekening houdend met nadelige neveneffecten en
  - Rekening houdend met de ruimte voor (verdergaande) inzet van die maatregel
- Hoe kunnen geselecteerde maatregelen in het bedrijfssysteem worden geïntegreerd?
- Hoe kan implementatie van maatregelen in het systeem gepland worden?
- Hoe kan gemeten worden of het functioneren van het aangepaste bedrijfssysteem is verbeterd?

## 2 Doelen en randvoorwaarden

### 2.1 Maximale reductie van broeikasgasemissies

Dit stappenplan selecteert maatregelen die bijdragen aan een maximale reductie van broeikasgassenuitstoot. Hiermee wordt bedoeld:

1. Minimale emissie van lachgas, methaan en kooldioxide.
2. Productie van groene energie

Ad 1. Het gaat primair om maximale reductie van de verliezen aan lachgas en methaan en in tweede instantie ook om de verliezen van kooldioxide. Sterke voorwaarde hierbij is het voorkomen van afwenteling waarmee wordt bedoeld dat De Marke de broeikasgasverliezen vermindert zonder toename van de verliezen aan ammoniak, nitraat en fosfaat.

Ad 2. Het is nadrukkelijk **niet** de bedoeling om groene energieproductie of kooldioxide vastlegging in te zetten om vermijdbare emissies van broeikasgassen te compenseren. Compensatie van N en C verliezen (uitgedrukt in CO<sub>2</sub> equivalenten) doet dan ook niets af aan de ambitie om de emissie zoveel mogelijk te verlagen.

### 2.2 Relatie met andere milieudoelen

Het milieudoel 'maximale reductie van overige broeikasgasemissies' (ROB) is sinds 2010 van kracht en is toegevoegd aan al eerder geformuleerde milieudoelen (Tabel 2.1). De ROB doelen hebben betrekking op het nationale of mondiale milieu. Het ligt voor de hand om ROB uit te drukken in kg per eenheid voedsel (per liter melk). De eerder gehanteerde doelen uit Tabel 2.1 hebben betrekking op de lokale kwaliteit: de kwaliteit van het milieu in de omgeving van het bedrijf. De meest relevante eenheid voor doelen en prestaties met betrekking tot het lokale milieu is kg per ha. Lokale en mondiale doelen worden samen richtinggevend voor de bedrijfsontwikkeling. ROB doelen worden dus nagestreefd in een bedrijfsvoering waarin lokale doelen worden gerealiseerd.

### 2.3 Afrekenbaarheid van ROB doelen en relatie met het doel klimaatneutrale bedrijfsvoering

De procedure van systeemontwikkeling (Biewinga et al., 1992; Verloop et al., 2007) die op De Marke wordt toegepast, begint bij het formuleren van concrete afrekenbare doelen en het vertalen hiervan in een ontwerp. Kenmerkend voor de doelen uit Tabel 2.1 is dat ze te vertalen zijn in meetbare criteria waarop het bedrijf kan sturen. Ook kan de prestatie van het bedrijf vergeleken worden met de criteria en dus met de doelen, zodat vastgesteld kan worden of het bedrijfsontwerp voldoet. Het ROB doel maximale reductie is niet op dezelfde manier afrekenbaar. In evaluaties zal moeilijk objectief vastgesteld kunnen worden of het maximale is ingezet en is bereikt; maximaal is een gradueel begrip en afhankelijk van context en randvoorwaarden. Het laat bijvoorbeeld onbeantwoord hoeveel de reductie mag kosten.

Het doel 'klimaatneutrale melkveehouderij' is in dit opzicht geschikter als vertrekpunt voor systeemontwikkeling. Het is immers duidelijk of het bedrijf voldoet of niet. Het doel van De Marke in deze onderzoeksfase is dan ook een klimaatneutraal bedrijf te realiseren per 2014. Het gaat echter niet alleen om klimaatneutraal, maar juist ook om het zoveel mogelijk reduceren van de broeikasgasuitstoot. Daarom moet de ongreepbaarheid van het begrip 'maximaal' in 'maximale emissiereductie' worden opgelost door in de verkenning van maatregelen i) in beginsel alle denkbare maatregelen in beschouwing te nemen en ii) heldere criteria te hanteren voor het beoordelen van maatregelen.

**Tabel 2.1** Randvoorwaarden van De Marke (Verloop et al., 2007)

Onderwerp	Maximale waarde
<b>Stikstof</b>	
Vervluchting ammoniak	30 kg N ha <sup>-1</sup> , uit dierlijke mest
Uitspoeling nitraat	50 mg nitraat l <sup>-1</sup> , in het bovenste grondwater
Vervluchting stikstofoxiden	3 kg N ha <sup>-1</sup>
Overschot op bodembalans	79 kg N ha <sup>-1</sup> , inclusief depositie en binding
<b>Fosfor</b>	
Uitspoeling	0,15 mg P l <sup>-1</sup> , in het bovenste grondwater
Overschot op bedrijfsbalans	0 kg P ha <sup>-1</sup> , inclusief depositie
Percelen met P toestand hoog	-7 kg P ha <sup>-1</sup>
Percelen met P toestand voldoende	0 kg P ha <sup>-1</sup>
Percelen met P toestand laag	7 kg P ha <sup>-1</sup>
Mest	Mest wordt op het eigen bedrijf geplaatst
Jongvee	Jongvee dat nodig is voor de vervanging van het melkvee wordt op eigen bedrijf opgefokt
Bodemkwaliteit	De bodemkwaliteit blijft of wordt zodanig dat het ook op lange termijn mogelijk is de doelen te realiseren

## 2.4 Selectiecriteria

In beginsel worden alle denkbare maatregel toegepast, tenzij er goede redenen voor zijn om dat niet te doen. Redenen om een maatregel niet toe te passen, zijn:

1. De maatregel is strijdig met lokale milieudoelen
2. De maatregel leidt tot een groter grondstoffengebruik (kg per liter melk) van buiten het bedrijf en leidt daardoor tot afwenteling van milieulasten.
3. De maatregel is naar verwachting nauwelijks effectief
4. De maatregel wordt al toegepast en er is geen ruimte voor verdere verbetering
5. De maatregel is nog onvoldoende praktijkrijp

## 2.5 Prioritering

De hoeveelheid geselecteerde maatregelen kan te groot zijn om in één keer op het bedrijf te implementeren. In dat geval wordt een prioritering aangebracht. De prioritering wordt bepaald door bedrijfsmatige inpasbaarheid of door het moment dat de benodigde kennis en technieken beschikbaar zijn.



### 3 Uitgangssituatie

Maatregelen worden toegepast om het bestaande systeem aan te passen aan de nieuwe doelen. In dit hoofdstuk worden het milieumanagement, de kenmerken en de milieuprestaties van het huidige systeem beschreven.

#### 3.1 Mineralenmanagement

De Marke wordt gekenmerkt door een nauwgezet nutriënten (N en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) management. Dit management is gebaseerd op een stroomschema van N en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> door het bedrijf en zijn onderdelen. In het bedrijf worden de onderdelen voer, vee, mest, bodem en gewas onderscheiden. N en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in veevoer dat wordt aangeboden aan vee verlaat het bedrijf voor een deel direct als product (melk en vlees). De N en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> die niet direct via deze route wordt afgevoerd, komt terecht in mest en kan vervolgens via de bodem worden opgenomen door gewas, waarna het weer als veevoer wordt opgenomen door het vee. Om verliezen te beperken wordt ernaar gestreefd deze overdracht zo volledig mogelijk te laten plaatsvinden. Tabel 2.1 geeft de maatregelen weer die hiervoor ingezet worden.

**Tabel 3.1** Maatregelen in bedrijfsonderdelen van De Marke (bron: Verloop *et al.*, 2007)

Vee	Mest	Bodem	Gewas
Scherp voeren naar behoefte	Bemesten vanaf half maart tot uiterlijk eind juli	Vruchtwisseling gras en maïs	Een hoog aandeel maïs
Niet meer jongvee dan nodig	Mestvergisten	Omweiden van vee	Beperken beweidings- en veldverliezen
Een hoge (levens)productie per koe	Mestscheiden	Niet meer bodembewerking dan nodig	Toepassen vanggewas
Zoveel mogelijk voer van eigen bedrijf	Optimale verdeling producten over percelen Beperkt weiden		N-binden met klaver

#### 3.2 Bedrijfskenmerken

Tabel 3.2 geeft een overzicht van bedrijfskenmerken voor de periode 2004 tot en met 2010. Bij de opzet van De Marke is gekozen voor een melkproductie van 12.000 kg per ha. Dat was het gemiddelde in de zandgebieden in de jaren negentig (Biewinga *et al.*, 1992). Gedurende de hele onderzoeksperiode werd van dit productieniveau uitgegaan. Het melkvee wordt een beperkt aantal dagen per jaar en een beperkt aantal uren per dag geweid. Hierdoor wordt een relatief groot deel van de uitgescheiden mest opgevangen in de mestput. De beweidingduur per perceel is slechts enkele dagen. Nadat een perceel is afgeweid, wordt de beweiding naar een ander perceel verplaatst (omweiden). Meer gedetailleerde informatie over het teeltplan en de bemesting is te vinden in rapportages van Verloop *et al.* (2007) en Rimmelink en Hilhorst (2011).

**Tabel 3.2** Bedrijfskenmerken De Marke (2004 tot en met 2010)

Onderdeel	kenmerk	waarde
Veestapel	melkkoeien	75.9
	jongvee > 1 jaar	28.4
	jongvee < 1 jaar	28.9
	jongvee/10 mk	7.5
	melkkoeien/ha	1.4
Productie	kg melk/ha	11657
	kg melk/koe	8447
	vetgehalte (%)	4.50
	eiwitgehalte (%)	3.45
Beweiding	begindatum	half april
	einddatum	1-sep
	dagen per jaar	125
	uren per dag	4.5
Teeltplan	blijvend grasland (ha)	11
	tijdelijk grasland (ha)	22
	snijmaïs (ha)	12
	MKS (ha)	3
	graan/gras (ha)	7

### 3.3 Milieuprestaties

#### 3.3.1 Broeikasgassen

In 2009 bedroeg de lachgasemissie ca 2.000 kg CO<sub>2</sub> equivalenten per hectare (ha) en de methaanemissie ca 10.500 kg CO<sub>2</sub> equivalenten per ha. De bronnen voor methaanemissie zijn de veestapel (ca 80% van de totale emissie) en de mestopslag in de stal. De bronnen voor lachgasemissie zijn het toedienen van drijfmest en de bodememissie als gevolg van (onvolledige) nitrificatie en denitrificatie.

#### 3.3.2 Stikstof en fosfaatverliezen

Tabel 3.3 toont de milieuresultaten voor stikstof en fosfor voor 2004 tot en met 2009. Het overschot van P op de bedrijfsbalans is hoger dan de norm. Verder voldoet De Marke aan alle milieudoelen. Het beginniveau van nitraatuitspoeling was 194 mg per liter in het bovenste grondwater (niet weergegeven Tabel 3.3). Dit nam snel af na invoering van de bedrijfsvoering van De Marke in 1992, maar de nitraatuitspoeling bleef daarna lang schommelen op een niveau hoger dan de norm. Na voortdurend aanpassen van de bedrijfsvoering, waarbij vooral werd gestuurd op een laag N overschot op de bodembalans, werd de nitraatuitspoeling beperkt tot een niveau dat niet hoger is dan de norm. De belangrijkste aanpassingen in de bedrijfsvoering waren: minder beweiding, scherper voeren, minder jongvee aanhouden, minder kunstmest gebruiken, mestvergisting.

**Tabel 3.3** Verliezen van stikstof en fosfaat op proefbedrijf 'De Marke' in 2004 tot heden en in twee voorafgaande periodes, afgezet tegen de norm

	Maximale waarde	2004 t/m 2009
<b>Stikstof</b>		
Vervluchting ammoniak (kg N ha <sup>-1</sup> )	44	35
Uitspoeling nitraat (mg l <sup>-1</sup> )	50	49
Vervluchting stikstofoxiden (kg N ha <sup>-1</sup> )	3	Nb.
Overschot bedrijfsbalans (kg N ha <sup>-1</sup> )	128	101
Overschot op de bodembalans (kg N ha <sup>-1</sup> )	79	51
<b>Fosfor</b>		
Uitspoeling (mg l <sup>-1</sup> )	0,15	0,01
Overschot bedrijfsbalans (kg P ha <sup>-1</sup> )	0,45	3,0
Overschot op de bodembalans (kg P ha <sup>-1</sup> )	0,45	51

## 4 Lachgas emissie; inventarisatie van reducerende maatregelen

Paragraaf 4.1 bevat een beknopte beschrijving van het vrijkomen van lachgas op het bedrijf.

In paragraaf 4.2 zijn strategieën beschreven die toegepast kunnen worden om de lachgasemissie te beperken. In paragraaf 4.3 zijn denkbare, praktisch uitvoerbare maatregelen beschreven, inclusief hun werkingsmechanisme.

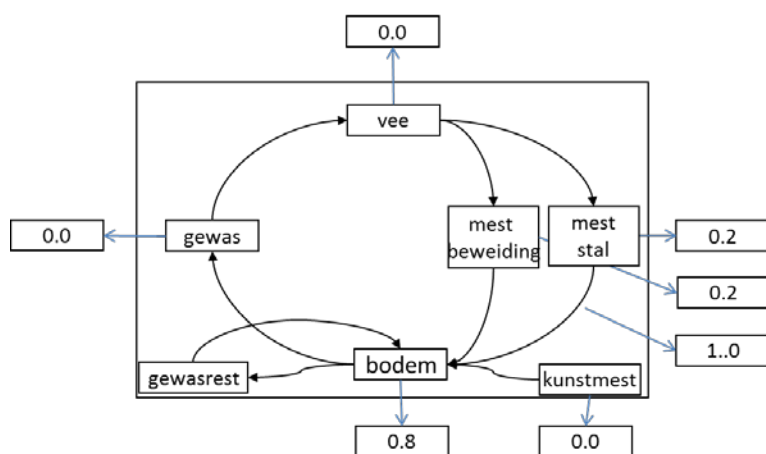
### 4.1 Lachgas emissie op het bedrijf

#### 4.1.1 Waar komt lachgas vrij?

De lachgasemissie zoals berekend voor De Marke met de rekenregels van het IPCC ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)) vindt grotendeels plaats bij mestaanwending en uit de bodem *na* mestaanwending (Tabel 4.1 en Figuur 4.1). Een relatief klein deel van de emissie vindt plaats na uitscheiding in de stal. Met een totale uitstoot van 2,3 kg per ha draagt de lachgasemissie voor ongeveer 2-3% bij aan het totaal aan N verliezen (in 2005-2010: ca. 100 kg N per ha). Let op: de resultaten van De Marke zijn niet zomaar van toepassing op andere bedrijven. De Marke gebruikte in 2009 bijvoorbeeld geen kunstmest. Daardoor is de emissie uit kunstmest gelijk aan nul. Op bedrijven die kunstmest N gebruiken, kan de emissie uit kunstmest substantieel zijn.

**Tabel 4.1** Emissie van N<sub>2</sub>O uit De Marke in 2009 (kg per ha) en de emissie uit specifieke bronnen als percentage van de totale bedrijfsemissie

Bron	kg per ha	%
Veestapel	0.0	0%
Stal	0.2	9%
Mestaanwending	1.0	45%
Weidemest	0.2	11%
Kunstmest	0.0	0%
Bodem	0.8	35%
Gewasresten op veld	0.0	0%
Gewasresten in de kuil	0.0	0%
<b>Bedrijf</b>	<b>2.3</b>	<b>100%</b>



**Figuur 4.1** Verliezen van N<sub>2</sub>O (kg N per ha) uit De Marke.

#### 4.1.2 Hoe wordt lachgas gevormd en hoe komt het vrij?

Lachgas kan gevormd worden uit door de microbiële processen nitrificatie en denitrificatie.

- Nitrificatie is de omzetting van ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) in nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ). Nitrificatie vindt plaats onder zuurstofrijke omstandigheden en tussen pH 6 en 8. Bij nitrificatie komt minder dan 1% van de omgezette N vrij als lachgas. Als de omstandigheden optimaal zijn voor nitrificatie, wordt praktisch alle ammonium omgezet in nitraat en ontsnapt bijna geen  $\text{N}_2\text{O}$ . Lachgasvorming wordt dus versterkt als het nitrificatieproces hapert doordat niet voldoende zuurstof beschikbaar is of door een lage pH. Een lage temperatuur remt de nitrificatie.
- Denitrificatie is de omzetting van  $\text{NO}_3^-$  in  $\text{N}_2$ . Denitrificatie vindt plaats onder zuurstofarme omstandigheden en aanwezigheid van koolstofverbindingen (organische stof).  $\text{N}_2\text{O}$  is een tussenproduct van denitrificatie. Lachgasvorming bij denitrificatie wordt versterkt als het denitrificatieproces hapert door aanwezigheid van te veel zuurstof voor een volledig verlopende denitrificatie en een lage pH. Een lage temperatuur remt de nitrificatie.

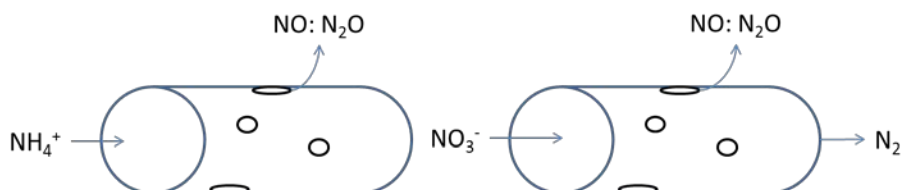
Waarschijnlijk komt meer lachgas vrij bij denitrificatie dan bij nitrificatie (per mol omgezette N), maar er zijn ook onderzoeksresultaten die aanleiding geven daaraan te twijfelen (Whitehead, 1995). Bovendien kan op het ene bedrijf denitrificatie belangrijker zijn vergeleken met nitrificatie dan op het andere, afhankelijk van bijvoorbeeld de waterverzadiging van de bodem.

Vertalen we deze informatie naar het bedrijf dan ontstaat het volgende beeld:

- N in mest is organisch gebonden of mineraal. Minerale N is bijna volledig in ammoniakale vorm,  $\text{NH}_4^+$ .
- Als de mest opgevangen wordt in een opslag, zijn de omstandigheden meestal zuurstofarm. Ammonium in de put onder de stal nitrificeert niet of nauwelijks omdat er te weinig zuurstof is.
- Waar dierlijke mest in contact komt met lucht (de grensvlakken met lucht) ontstaat een overgangsgebied met matig zuurstofrijke omstandigheden, gunstig voor nitrificatie en dus voor lachgasemissie. N in mest die op de roostervloer blijft liggen, zal dus op deze wijze tot lachgasemissie leiden. Mixen van mest in een put onder een roostervloer kan ook tot lachgasemissie leiden.
- Bij aanwending op droge zandgrond zijn de omstandigheden zo zuurstofrijk dat nitrificatie snel volledig verloopt: verwaarloosbare lachgasemissie.
- Nitraat in de bodem dat niet wordt opgenomen door het gewas kan vervolgens onder zuurstofarme omstandigheden worden gedenitrificeerd, bijvoorbeeld in natte plekken.  $\text{N}_2\text{O}$  ontstaat hierbij als de denitrificatie onvolledig is, dus op grensvlakken van zuurstofrijk en zuurstofarm. Die plekken zijn er altijd wel in de bodem.

#### 4.2 Strategieën voor een lagere uitstoot van lachgas

Lachgasemissie wordt wel beschreven aan de hand van het zogenaamde 'Hole in the pipe model' (Schils en Šebek, 2006; Davidson *et al.*, 2000), Figuur 4.2. Er gaat een hoeveelheid N door het systeem (de pijp). Die N stroom is ook nodig voor productie. En er gaat ook altijd wel wat verloren (de gaatjes). De gaatjes kunnen niet helemaal afgedicht worden (vergelijk met een poreuze band).



**Figuur 4.2** Het hole in the pipe model (naar Davidson *et al.*, 2000).

Er zijn verschillende strategieën om lachgasemissie te beperken:

1. *Verlagen van de N stroom door het bedrijfssysteem*  
De emissie wordt volgens deze strategie beperkt door zo min mogelijk N door het productiesysteem, de pijp in het 'hole in the pipe model', te laten stromen per ha of per eenheid product (melk en vlees).
2. *Dichten van lekken*  
Deze strategie is gericht op het verkleinen van de gaatjes in het 'hole in the pipe model' door specifieke maatregelen. Denkbaar is:
  - A. *Afvangen* van lachgas daar waar het wordt gevormd;
  - B. *Beperken van vorming* van lachgas door activiteiten en omstandigheden die emissie veroorzaken aan te passen.

Beide strategieën kunnen worden uitgewerkt tot reductiemaatregelen.

### **4.3 Maatregelen**

Tabel 4.2 geeft een overzicht van reductiemaatregelen. Enkele daarvan werden in een expertpanel aangeduid als kansrijk (Schils en Šebek, 2006). In de tabel is de strategie, zoals hierboven beschreven, aangegeven.

**Tabel 4.2** Mogelijke maatregelen voor reductie van lachgasemissie (de nummers bij 'Strategie' verwijzen naar de nummers gebruikt in de tekst)

Nr.	Maatregel	Strategie	Mechanisme	Bedrijfs- onderdeel
1	Minder eiwit in het rantsoen	1	Minder mest, dus emissie per liter melk	Voer
2	Kneuzen kuilgras	1	Verhogen verteerbaarheid betere N benutting dier	Voer
3	Toevoegmiddelen aan graskuil	1	Verhogen verteerbaarheid betere N benutting dier	Voer
4	Minder jongvee	1	Minder mest, dus emissie per liter melk	Vee
5	Verhogen levensproductievee	1	Efficiëntere veestapel, dus minder mest en emissie per liter melk	Vee
6	Mestscheiding	1 2A	Minder kunstmest, dus emissie	Mest
7	Mestvergisting	1	Verhogen N werking mest, minder kunstmest, dus emissie	Mest
8	Lagere N jaargift	1	Minder kunstmest, dus emissie	Mest
9	Ammonium kunstmest	2A	Andere N-verbinding minder nitrificatie, minder emissie	Mest
10	Minder beweiden (najaar)	2A 1	Beperken hoge nitraatniveaus Verhogen N werking mest, minder kunstmest nodig, dus emissie	Mest Mest
11	Geen drijfmest en kunstmest op zelfde perceel	2A 1	Beperken denitrificatie door samenbrengen koolstof (in mest) en nitraat Verhogen N werking mest, minder kunstmest nodig, dus emissie	Mest
12	Meer mest naar gras, minder naar bouwland	1	Minder kunstmest, dus emissie	Bodem
13	Vermijden natte plekken	2A	Beperken denitrificatie in natte plekken	Bodem
14	Beperken van scheuren	1	Beperken N verlies, minder (kunst)mest nodig, dus emissie	Bodem
15	N binding met vlinderbloemigen	2A	Minder kunstmest nodig	Bodem
16	In rotatie korter gras, langer bouwland	2A	Beperken opbouw N voorraad -> minder denitrificatie	Bodem
17	Berekening afstemmen op bemesting	1	Verhogen N werking mest, minder kunstmest nodig, dus emissie	Bodem

#### 4.3.1 Bodemmaatregelen

Bij vruchtwisseling wordt het verkorten van de graslandfase en verlengen van de bouwlandfase als een maatregel beschouwd (maatregel 16). In de graslandfase neemt de N voorraad in de bodem toe. Bij een lange graslandfase kan de N voorraad zo hoog worden, dat het akkerbouwmatige volggewas het niet meer op zal kunnen nemen. Dit werkt hoge verliezen in de hand en gaat ten koste van de benutting.

Door de gift van dierlijke mest N in grasland te verhogen ten koste van die in bouwland (maatregel 12) kan dierlijke mest voorzien in een groot deel van de N behoefte van gras. Deels wordt de gegeven N opgeslagen in de bodem. Deze voorraad komt weer vrij in de bouwlandfase na onderploegen van de zode. Zonder deze hoge gift zou veel meer kunstmest N nodig zijn.

Het zoveel mogelijk beperken van graslandvernieuwing (maatregel 14) wordt genoemd als een maatregel omdat bij graslandvernieuwing N verloren kan gaan. Deze verliezen moeten weer aangevuld worden wat de N stroom in het productiesysteem verhoogt.

Natte plekken in de wortelzone leveren een combinatie op van relatieve zuurstofloosheid en hoge nitraatgehaltes. Dit bevordert denitrificatie en daarmee lachgasemissie. Door tegengaan van bodemverdichting of grondwaterpeilbeheer kunnen natte plekken aan maaiveld of vlak daaronder, in de wortelzone bestreden worden (maatregel 13). Het afstemmen van beregening en bemesting in ruimte en tijd (maatregel 17) is gericht op het verhogen van de N benutting door ervoor te zorgen dat beschikbaarheid van nutriënten na bemesting en beschikbaarheid van water samengaan.

Bij N binding door vlinderbloemingen zoals klover, treedt ook lachgasemissie op. Toch kan het bevorderen van N binding (maatregel 15) effectief zijn doordat de lachgasemissie per kg N die door binding in het productiesysteem is opgenomen, veel lager is dan bij gebruik van kunstmest, mits N binding gepaard gaat met een lagere kunstmest N gift.



## 5 Methaan emissie; inventarisatie van reducerende maatregelen

Dit hoofdstuk gaat in op het beperken van de methaanemissie. Paragraaf 5.1 bevat een beknopte beschrijving van het vrijkomen van lachgas op het bedrijf. In paragraaf 5.2 zijn denkbare, praktisch uitvoerbare maatregelen beschreven, inclusief hun werkingsmechanisme.

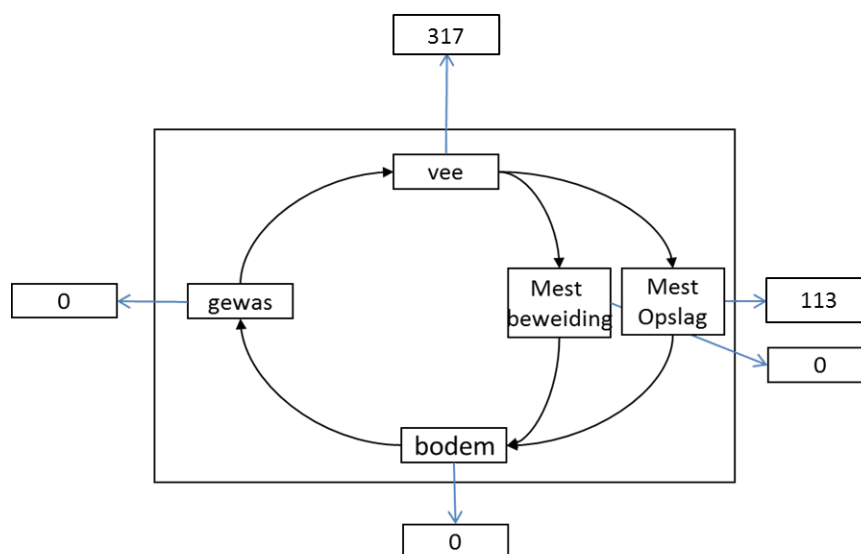
### 5.1 Bronnen van emissie

#### 5.1.1 Waar komt methaan vrij?

Methaan komt vrij bij de fermentatie van voer in de koe en tijdens fermentatie van mest. De emissie in 2009 berekend voor De Marke volgens de IPCC rekenregels is weergegeven in Tabel 5.1 en Figuur 5.1. De meeste emissie vindt plaats vanuit de veestapel, maar ook de emissie vanuit de mestopslag is van betekenis. Let wel de emissie is geschat met rekenregels die geen onderscheid maken tussen 'standaard mestmanagement' en de aanpak op De Marke. De emissie uit Tabel 5.1 kan dus een overschatting zijn. Maar er kan zeker emissie optreden na uitscheiding in de stal gedurende opslag in de mestkelder, dus voordat de mest in de mestsilo is gepompt. De emissie bij mestaanwending, bij beweiding en uit voorvoorraden is verwaarloosbaar klein (Tabel 5.1).

**Tabel 5.1** Emissie van methaan uit De Marke in 2009 (kg per ha) en de emissie uit specifieke bronnen als percentage van de totale bedrijfsemissie

Bron	kg per ha	%
Veestapel	317	74
Mestopslag	113	26
Mestaanwending	0	0
Beweiding	0	0
Bodem	0	0
Voorvoorraden	0	0
Bedrijf	430	100



**Figuur 5.1** Methaanemissie uit de bedrijfsonderdelen op De Marke (kg per ha in 2009).

### 5.1.2 Hoe wordt methaan gevormd en hoe komt het vrij?

Methaan wordt gevormd door anaerobe omzetting (fermentatie) van de koolhydraten (celwanden, zetmeel en suikers) in voer en mest. Daar waar fermentatie optreedt, komt waterstof vrij. Methanogene bacteriën gebruiken waterstof in de pens van de koe als energiebron en zetten dat om in methaan.

Waar zuurstof is, vindt geen fermentatie plaats maar compostering. Onder zuurstofrijke omstandigheden wordt dus geen methaan gevormd. Dit is met name van belang voor mest. In mest wordt methaan gevormd onder zuurstofarme omstandigheden. De fermentatie en methaanvorming in de mestopslag verloopt met een zekere snelheid en gaat in koude mest langzamer dan in warme mest. De gevormde methaan kan ontsnappen uit een opslag die in open verbinding staat met de lucht.

## 5.2 Mogelijke maatregelen

Ten aanzien van methaan zijn de strategieën die leidend zijn voor maatregelen gelijk aan die bij lachgas (hoofdstuk 4.2), maar er is een verschil. Bij methaan heeft het verlagen van de doorstroom door het productiesysteem niet betrekking op N maar op C (koolstofverbindingen in biomassa). Praktisch komt het beperken van de doorstroom dan neer op het beperken van de voerbehoefte (uitgedrukt als droge stof) van de veestapel, de mestproductie (uitgedrukt in organische stof) door de veestapel en de aanvoer ervan naar de bodem. Deze stroom vormt de basis voor emissies en is ook voor C voor te stellen met het 'hole in the pipe' model.

Tabel 5.2 geeft een overzicht van de mogelijkheden. De aanduiding in 'Strategie' (kolom 3) verwijst naar de strategieën die zijn genoemd in hoofdstuk 4.2.

**Tabel 5.2** Mogelijke maatregelen voor reductie van methaanemissie

Nr.	Maatregel	Strategie <sup>*)</sup>	Mechanisme	Bedrijfsonderdeel
0	Verhogen verteerbaarheid kuilgras via N bemesting	1	Minder mest dus emissie per liter melk	Voer
		2A	Minder methaanvorming in pens door hogere propionzuurproductie	Voer
1	Toevoegen nitraat en sulfaat aan voer	2A	Minder methaanvorming in pens door afvangen waterstof	Voer
2	Kneuzen kuilgras	1	Minder mest dus emissie per liter melk	Voer
		2A	Minder methaanvorming in pens door hogere propionzuurproductie	Voer
3	Toevoegmiddelen aan graskuil	1	Minder mest dus emissie per liter melk	Voer
		2A	Minder methaanvorming in pens door hogere propionzuurproductie	Voer
4	Verlagen jongveestapel	1	Minder mest dus emissie per liter melk	Vee
5	Selecteren vee met een hoge levensproductie	1	Minder mest dus emissie per liter melk	Vee
6	Koelen van mest in niet afgesloten opslag	2A	Tragere methaanvorming in de opslag onder de roostervloer	Mest
7	Mestvergisting en afvangen van methaan	2B	Methaanvorming bevorderen in afgesloten opslag en afvangen	Mest
8	Hogere beweidingsduur	2A	Benutten lagere methaanemissie uit weidemest	Mest

<sup>\*)</sup> 1 = Verlagen doorstroom, in dit geval van C per liter melk, 2A = Specifiek verlagen vorming van methaan, 2B = Isoleren en afvangen.

### 5.2.1 Voermaatregelen

Daar waar fermentatie optreedt, komt waterstof vrij. De productie van voeding voor de mens is bij de koe gebaseerd op fermentatie. Dit proces 'uitzetten' is dus een onmogelijke maatregel. Ook het wegvangen van waterstof door methanogene bacteriën in de pens van de koe is onontbeerlijk. 'Uitzetten' van de methanogenese is dus evenmin denkbaar. De emissie uit vee kan *wel* beperkt worden door het fermentatieproces in de koe te beïnvloeden. Door toevoegen van nitraat en sulfaat (maatregel 1) kan de waterstof die aan de basis ligt van de methaanvorming afgevangen worden.

Dit kan door nitraat in het rantsoen op te nemen. Uit nitraat en waterstof worden dan aminozuren gemaakt die de koe vervolgens weer kan benutten. Sulfaat heeft hetzelfde effect. Vermeden moet worden dat door te hoge nitraatdosering nitrietvergiftiging optreedt. Maar nitraat kan ook een nuttige bijdrage leveren als voerbestanddeel en als stikstofbron.

Een andere route is het bevorderen van de vorming van propionzuur door het verhogen van de verteerbaarheid van voer (maatregel 2). De vorming van propionzuur wordt versterkt door ervoor te zorgen dat voer goed verteerbaar is. Veel maïs en zetmeel in het rantsoen verhoogt de propionzuurproductie, maar een overmaat aan propionzuur kan tot pensverzuring leiden. Ook hier is dus sprake van een balans. Grassen met een hoger eiwitgehalte (maatregel 0) hebben meestal ook een hogere celwandverteerbaarheid (Valk *et al.*, 1996; Bruinenberg *et al.*, 2002). Dit heeft hetzelfde effect als maatregel 2. Beide maatregelen (2 en 3) resulteren ook in een hogere melkproductie bij een gegeven hoeveelheid voer. Hierdoor wordt een lagere voeropname en mestproductie per liter melk gerealiseerd (strategie 1).

### 5.2.2 Veemaatregelen

Bij een hoge melkproductie per koe (levensproductie) is de voeropname per liter geproduceerde melk relatief laag. Daardoor wordt per liter geproduceerde melk ook minder voer gefermenteerd en is de methaanproductie ook laag. Bovendien wordt op rantsoenen voor hoogproductieve dieren relatief veel propionzuur gevormd. Een hoge melkproductie per koe kan bereikt worden door maatregelen met betrekking tot diermanagement (4 en 5). De maatregelen zijn in hoofdstuk 4.2 al beschreven.

### 5.2.3 Mestmaatregelen

Mestmaatregelen zijn gericht op beperken van de methaanvorming in de mestopslag en afvangen van methaan uit de mestopslag. Methaanvorming verloopt langzamer bij een lagere temperatuur (minder actieve bacteriën). Koelen van de mest is dus een mogelijkheid (maatregel 6). In de varkenssector wordt deze maatregel toegepast om ammoniakemissie te reduceren. Een korte verblijftijd in opslag onder de roostervloer zorgt ervoor dat de methaanvorming niet lang kan doorgaan in niet of slecht afgesloten opslag (maatregel 7). Snel verplaatsen van de mest naar een vergistingsinstallatie (dagverse mest invoeren in de vergister), waar de vrijkomende methaan wordt afgevangen, voorkomt de emissie.

## 6 Beperken lachgasemissie op De Marke

Dit hoofdstuk betreft de perspectieven van maatregelen voor verlaging van de lachgasemissie op 'De Marke'. Deze perspectieven worden in paragraaf 6.1 bepaald op grond van de criteria die zijn beschreven in hoofdstuk 2.4. In paragraaf 6.2 zijn de geselecteerde maatregelen weergegeven.

### 6.1 Perspectieven van maatregelen

De perspectieven van maatregelen op De Marke worden bepaald door:

1. Neveneffect: het (onbedoelde/ongewenste) effect op andere milieudoelen
2. Progressie: De mate waarin een maatregel tot verbetering van de huidige situatie leidt.

In Tabel 6.1 zijn de maatregelen gericht op beperken van de lachgasemissie gescoord op basis van beide criteria, waarbij de score 3 + 3 goed toepasbaar en de score 1 + 1 slecht toepasbaar betekent. De neveneffecten worden aangeduid in de tabel met enkele steekwoorden. Onder de tabel volgt een uitvoeriger toelichting. **De scores zijn niet algemeen geldig, maar hebben uitsluitend betrekking op De Marke.**

**Tabel 6.1** Mogelijke maatregelen, neveneffecten en de daarvoor toegekende score (1 tot en met 3)\* en verbetermogelijkheid (gescoord van 1 tot en met 3)\*\*; uitsluitend geldig voor De Marke

Nr	Maatregel	Neveneffecten	Neven effect	Progressie
1	Minder eiwit in het rantsoen		3	2
2	Kneuzen kuilgras		3	3
3	Toevoegmiddelen aan graskuil		3	3
4	Verlagen jongveestapel		3	1
5	Selecteren vee met een hoge levensproductie		3	2
6	Mestscheiding		3	2
7	Mestvergisting	Organische stof onder druk	2	2
8	Lagere N jaargift	Slechtere verteerbaarheid gras	1	1
9	Ammonium kunstmest	Hogere emissie ammoniak	1	1
10	Lage beweidingsduur	Aantrekkelijkheid gebied	1	2
		Strijdig met beperken methaan emissie	2	2
11	Geen drijfmest en kunstmest op zelfde perceel in ruimte en tijd		3	1
12	Meer mest naar gras, minder naar bouwland		3	1
13	Vermijden natte plekken		3	1
14	Beperken van scheuren	Bij achteruitgang zodekwaliteit lagere N benutting	1	1
15	N binding met vlinderbloemigen		3	1
16	In rotatie korter gras, langer bouwland	Zet organische stof onder druk	1	1
17	Berekening afstemmen op bemesting	Meer gebruik grondwater voor berekening?	1	2

\*) 1 = onoverkomelijk en bezwaarlijk, 2 = oplosbaar, 3 = geen neveneffect van praktische betekenis.

\*\*) 1 = geen ruimte voor progressie, 2 = enige progressie mogelijk, 3 = veel progressie mogelijk.

### 6.1.1 Voermaatregelen

De ondergrens van eiwitvoorziening (maatregel 1) is op De Marke herhaaldelijk verkend (Verloop et al., 2006). Het rantsoen wordt zo goed mogelijk op de behoefte afgestemd en door gebruik van DLM wordt de krachtvoergift afgestemd op het niveau van individuele koeien. Maar hierbij wordt gebruik gemaakt van informatie over de voederwaarde van gras- en maïskuilen volgens standaardbepalingen. Er is de nodige onzekerheid over of die standaardbepalingen voor de omstandigheden op De Marke wel adequaat zijn. Daarom is voortdurende aandacht voor het verder optimaliseren van de eiwitvoorziening nodig. De vraag of er nog veel winst op dit punt te halen valt, hangt sterk samen met de verteerbaarheid (zie maatregelen 1 en 2).

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat de verteerbaarheid van graskuil voor verbetering vatbaar is (Šebek en Bannink, ongepubliceerde gegevens). De lagere verteerbaarheid hangt waarschijnlijk samen met het lage N bemestingsniveau. Maatregelen 1, 2 en 3 kunnen bijdragen aan een betere verteerbaarheid met als indirect effect een lager voerverbruik en een betere N benutting en daardoor een lagere N excretie per liter melk. De rantsoenoptimalisatie van maatregel 1 kan gerealiseerd worden door een hogere maaifrequentie of door een iets ruimere N voorziening in gras en resulteert waarschijnlijk in iets hogere eiwitgehalten in graskuil. Voor een hogere N bemesting is de ruimte binnen de randvoorwaarden van De Marke cruciaal. Het N overschot van 79 kg N per ha mag niet worden overschreden. Een ruimere N voorziening zal niet tot een absolute lage N stroom leiden, maar het is denkbaar dat de N stroom per liter melk wel afneemt door een hogere melkproductie. Als dit binnen de randvoorwaarde van het bodemoverschot gerealiseerd kan worden, is dat winst. De wenselijkheid en mogelijkheid van ruimere N voorziening voor de grasproductie wordt verkend in een analyse van de N en P stromen op De Marke (Verloop *et al.*, in voorbereiding). Voordat deze analyse afgerond is, kan een ruimere N voorziening niet als voor de hand liggende maatregel beschouwd worden.

Maatregelen 2 en 3 kunnen bijdragen aan de N benutting door de veestapel door het verhogen van de verteerbaarheid van gras, zonder meer N te bemesten. Het is nog niet duidelijk in welke mate de verteerbaarheid door toevoegmiddelen aan de kuil of graskneuzen verbeterd kan worden. Echter, de relevantie van deze maatregelen voor De Marke is groot.

### 6.1.2 Veemaatregelen

Verlagen van de jongveestapel (maatregel 4) is effectief en behoort tot de standaardmaatregelen op De Marke. Wat zonder enig voorbehoud mogelijk is en ook wordt gedaan is: niet meer jongvee aanhouden dan nodig voor vervanging van melkvee. Het mag dus niet voorkomen dat jongvee laat in de jeugdfase wordt afgevoerd of dat melkvee wordt afgevoerd omdat de instroom van vaarzen ruim is. Vervolgens is de vraag hoeveel jongvee nodig is om de melkveestapel te vervangen. Dit is afhankelijk van het aantal lactaties dat de gemiddelde koe bereikt. De jongveestapel op Marke is ongeveer 7,5 stuks per 10 melkkoeien, gangbaar bij eigen jongvee opfok is 6,5 tot 8,5. De Marke zit hiermee aan de hoge kant wat veroorzaakt is doordat de laatste jaren relatief veel melkkoeien vervroegd moesten worden afgevoerd. Het is verstandig de jongveestapel te verlagen, naar 5,5 stuks per 10 melkkoeien. Het traject daarna toe hangt samen met de ontwikkeling van de leeftijd (het aantal lactaties) van het melkvee (maatregel 5, zie ook hieronder). Overigens vervult jongvee een functie door het verwerken van het kwalitatief slechtere voer. Als dit niet aan jongvee gevoerd zou kunnen worden, zou dat voer aan melkvee gegeven moeten worden, wat tot meer methaan emissie zou leiden (zie ook hoofdstuk 5 over methaan). Samenvattend: het verlagen van de jongveestapel met uiteindelijk 2 stuks per 10 melkkoeien is van belang en zou in samenhang met maatregel 5 aangepakt en gepland moeten worden.

Maatregel 5 is gericht op het selecteren op geschikte genetische eigenschappen voor een hoge productie per hoeveelheid opgenomen voer en uitgescheiden mest. Het optimum wordt bepaald door een combinatie van de productie per lactatie en de productie per leven. Het vinden van de balans tussen beide is op

De Marke erg belangrijk. Een laag productieve koe (productie per lactatie) besteedt relatief veel energie en voedingsstoffen voor onderhoud van het lichaam. Een hoog productieve koe is dan te prefereren (Biewing *et al.*, 1992). Een hoge productiviteit kan echter ten koste gaan van het aantal haalbare lactaties per koeleven. Een hoge productiviteit gedurende weinig (1 of 2) lactaties is ongunstig omdat dan de onderhoudsbehoefte uit de jeugdfase zwaar meetelt. Een hoog productieve maar kort producerende veestapel is dus niet efficiënt. Het zou dan ook gunstig zijn dat de frequentie van afvoer van relatief jong melkvee afneemt. Verbetering op De Marke is wenselijk en kan door het selecteren op een combinatie van robuustheid en productiviteit per lactatie. Deze strategie is sinds 2002 gevolgd door binnen de HF populatie te kiezen voor stieren met een hoge duurzaamheidsindex. De resultaten zijn echter wisselend. Ongeveer de helft van de veestapel laat geen duidelijke verbetering van duurzaamheidskenmerken zien. Om het proces voor dat deel van de veestapel te versnellen kunnen stieren buiten de HF populatie ingezet worden. Een praktische invulling hiervan is het inkruisen van Montbéliarde en Zweeds roodbont vee (3-weg kruising), waarmee in 2011 begonnen is.

### 6.1.3 Mestmaatregelen

Momenteel wordt vee 6 uur per dag geweid van half april tot 1 september. Ongeveer 7% van de mest N wordt in de wei uitgescheiden, de rest op stal. Verder beperken van de beweiding is mogelijk evenals permanent opstallen. Deze maatregel staat echter op gespannen voet met het streven om de duurzaamheid van het melkveebedrijf te onderzoeken, zo mogelijk, bij in standhouding van beweiding. Een bijkomend nadeel is dat minder beweiden leidt tot een hogere methaanemissie (dit wordt in hoofdstuk 7 uitgegezet). Al met al ligt minder beweiden niet voor de hand (in de praktijk zal dat betekenen: stoppen met beweiden).

De vergiste mest op De Marke heeft een N mineraal gehalte van 62% (De Marke 2004 tot en met 2009) wat niet heel veel hoger is dan die van drijfmest, 50%. Het moet echter mogelijk zijn een N mineraal aandeel van 80% te bereiken. Daarvoor zijn verbeteringen nodig aan de technische uitvoering van de mestvergister, waardoor de vergisting vollediger zal verlopen. Een mogelijk nadelig neveneffect is een lagere aanvoer van organische stof naar de bodem. Dit kan het organisch stofgehalte in de bodem onder druk zetten en de bodem daardoor gevoeliger maken voor nitraatuitspoeling. Kwantificering van dit effect is nodig om het vergistingsproces te optimaliseren.

Door de vergisting te verbeteren (maatregel 7) en het werken met mestscheidingsproducten te perfectioneren (maatregel 6) is verhoging in de N werking mogelijk. Dit kan van belang zijn voor het verminderen van broeikasgasuitstoot als gevolg van verminderde gewasproductie en gewaskwaliteit. Verkenningen van de gewasproductie op De Marke doen vermoeden dat met name de graskwaliteit onder druk staat als gevolg van een te krappe N voorziening. Door een hogere N werking kan de N aanvoer naar grasland (288 kg per ha (drijfmest + weidemest in 2004 t/m 2009) zonder aanvullend kunstmest op lange termijn gehandhaafd worden, zonder dat de gewasproductie en kwaliteit daar veel onder leidt. Met de huidige N werking van mest is het de vraag of een bemesting zonder kunstmest N op lange termijn realiseerbaar is. Verbetering van de vergisting is dan ook een passende maatregel. Maatregel 8, verminderen van de N jaargift is mogelijk via minder kunstmestgebruik door een hogere N werking van mest. Deze maatregel behoort tot de standaardpraktijk van De Marke. Sinds 2002 wordt er helemaal geen kunstmest meer gebruikt en hier is voor De Marke geen winst te behalen.

Er is twijfel over de effectiviteit van het gebruik van ammonium kunstmest (maatregel 9) in plaats van nitraatkunstmest. Bovendien is een toename van de ammoniakemissie te verwachten en wordt kunstmest op De Marke sinds 2004 alleen in een experimentele opzet gebruikt. Deze maatregel is dus niet relevant voor De Marke.

#### 6.1.4 Bodemmaatregelen

Het inkorten van de graslandfase en verlengen van de bouwlandfase (maatregel 16) is logisch in een situatie waarin de graslandfase langer dan 3 jaar duurt en de bouwlandfase slechts kort, bijvoorbeeld 2 jaar. Op De Marke worden twee vruchtwisselingsystemen in praktijk gebracht: één met een graslandfase van 3 jaar en een bouwlandfase van 3 jaar en één met een graslandfase van 2 jaar en een bouwlandfase van 2 jaar. Verlagen van de graslandfase in dit schema is niet effectief en heeft als bezwaar dat het organisch stofgehalte op de percelen waar vruchtwisseling van toepassing is, teveel onder druk komt te staan.

De drijfmest N gift in grasland is op De Marke 253 kg/ha per jaar en die op bouwland gemiddeld 41 kg per ha. Er is daarom geen ruimte voor het verhogen van de gift in grasland ten koste van die in bouwland (maatregel 12).

Het zoveel mogelijk beperken van herinzaai van gras (maatregel 14) kan de N verliezen die gepaard gaan met graslandvernieuwing beperken. Deze verliezen moeten weer aangevuld worden wat de N stroom in het productiesysteem verhoogt. Deze maatregel wordt op De Marke zoveel mogelijk toegepast in blijvend grasland. Herinzaai vindt pas plaats als de botanische samenstelling van een perceel te ver achteruitgelopen is en de productiviteit en de voederkwaliteit geschaad worden. De herinzaaifrequentie varieert per perceel tussen 6 en 12 jaar. Verbetering is niet te verwachten bij de huidige bemestingsaanpak.

Natte plekken voorkomen (maatregel 13) is op De Marke niet relevant omdat deze problematiek niet op De Marke speelt. Het afstemmen van beregening en bemesting in ruimte en tijd (maatregel 17) kan in gras effectief zijn, omdat gras regelmatig en in sommige seizoenen bijna voortdurend te maken heeft met droogtestress. Echter, het opheffen hiervan door beregening leidt tot een zeer inefficiënt gebruik van water. Veel van het voor beregening opgepompte water verdampst bij beregening nog voor het op het gewas neerdaalt. De Marke streeft naar een terughoudende beregeningen. Door beregening wordt immers de grondwateraanvulling lager. Door deze maatregel worden N doelen dus gerealiseerd ten koste van waterverspilling en deze afwenteling is strijdig met de randvoorwaarden op De Marke.

Het bevorderen van N binding (maatregel 15) is een effectieve maatregel om gebruik van kunstmest te beperken. Op De Marke wordt N hoofdzakelijk gebonden door klaver. De N binding bedraagt gemiddeld 30 kg N per ha, wat overeenkomt met ruim 40 kg N in gras ofwel iets minder dan 1 ton droge stof per ha (ruwweg 9-10%) aan oogstbare klaver. Toename tot bijvoorbeeld 15% klaver zou gunstig zijn, maar op dit moment zijn geen aanvullende maatregelen bekend om dit te realiseren. Een heroriëntatie op de mogelijkheden is aan te bevelen.

## 6.2 Selectie van relevante maatregelen

De volgende maatregelen komen op De Marke in aanmerking voor uitvoering of verkenning van de mogelijkheden voor uitvoering:

- Kneuzen kuilgras
- Toevoegmiddelen aan graskuil
- Fokken vee met een hoge levensproductie
- Mestscheiding en mestvergisting doorontwikkelen en perfectioneren

De selectie is uitgevoerd op grond van de waardering van nadelige neveneffecten en verbetermogelijkheden. Alle maatregelen met score 1 voor neveneffect of progressie (= onoverkomelijke en bezwaarlijke neveneffecten en geen progressie mogelijk) zijn buiten de selectie gehouden.

## 7 Beperken methaanemissie op De Marke

### 7.1 Perspectieven van maatregelen

De perspectieven van maatregelen op De Marke worden bepaald door:

1. Neveneffect: het (onbedoelde/ongewenste) effect op andere milieudoelen.
2. Progressie: De mate waarin een maatregel nog tot verbetering leidt, ten opzichte van de huidige situatie.

In Tabel 7.1 zijn de maatregelen gericht op beperken van de methaanemissie gescoord op basis van beide criteria, waarbij de score 3 + 3 goed toepasbaar en de score 1 + 1 slecht toepasbaar betekent.

**Tabel 7.1** Mogelijke maatregelen, neveneffecten en de daarvoor toegekende score (1 tot en met 3)\* en verbetermogelijkheid (gescoord van 1 tot en met 3)\*\*. De score is niet algemeen geldig, maar heeft alleen betrekking op De Marke

Nr.	Maatregel	Neveneffect	Neven effect	Progressie
0	Verhogen verteerbaarheid kuilgras via N bemesting	Kans op hoger N overschot in bodem	2	3
1	Toevoegen nitraat en sulfaat aan voer	Diergezondheidsproblemen bij slechte uitvoering	2	3
2	Kneuzen kuilgras		3	3
3	Toevoegmiddelen aan graskuil		3	3
4	Verlagen jongveestapel		3	1
5	Selecteren vee met een hoge levensproductie		3	2
6	Koelen van mest in niet afgesloten opslag	Kost veel energie	1	?
7	Mest vergisten en afvangen van methaan	Zet organische stof onder druk	3	2
8	Hogere beweidingsduur	Hogere nitraatuitspoeling Strijdig met beperken lachgasemissie	1	3

\*) 1 = onoverkomelijk en bezwaarlijk, 2 = oplosbaar, 3 = geen neveneffect van praktische betekenis.

\*\*) 1 = geen ruimte voor progressie, 2 = enige progressie mogelijk, 3 = veel progressie mogelijk.

Het perspectief voor maatregel 0 op De Marke is voor wat betreft het effect op methaanemissie groot, maar voor toepasbaarheid in het systeem klein. De verminderde verteerbaarheid van het gras is immers het gevolg van de geringe N input waar het systeem op draait. Toepassing van maatregel 0 kan daarom alleen binnen de ruimte die de randvoorwaarden bieden. Dit geldt ook voor de optie om nitraat toe te voegen (maatregel 1). Voor de efficiëntie van de N benutting is het niet bezwaarlijk om sulfaat toe te voegen aanvoer (maatregel 1). De perspectieven van de voermaatregelen (maatregelen 2, 3) zijn al besproken in het hoofdstuk 3 over beperken van lachgasemissie. Wat daar naar voren is gebracht met betrekking tot de perspectieven bij inzet voor beperken van de lachgasemissie geldt ook bij de inzet voor beperking van methaanemissie. Dit is ook zo voor de veemaatregelen (maatregelen 4 en 5).

Het koelen van mest (maatregel 6) is wellicht mogelijk en effectief, maar is niet zinvol in combinatie met snelle mestafvoer naar de vergister. De mogelijkheden en uitvoerbaarheid zouden onderzocht kunnen worden in ander onderzoek. Het ligt echter niet voor de hand om dit onderzoek uit te voeren in het kader van het systeemonderzoek op De Marke.

Op De Marke wordt drijfmest sinds 2003 vergist. Mest uit de stal wordt binnen enkele dagen vanuit de kelder onder de stal in de vergister ingelaten. Mogelijkheden om de mest nog sneller af te voeren naar een vergistingsinstallatie (maatregel 7) zijn heel beperkt. Een verkenning van de mogelijkheden om methaan uit



stallucht te filteren is onlangs gestaakt omdat de tests uitwezen dat de besparing op methaanemissie niet in verhouding staan tot de kosten (Courage, nieuwsbrief december 2011). Wel relevant is het verbeteren van de technische uitvoering van de vergister. In de huidige vergistingsinstallatie vindt de vergisting plaats in de voormalige mestopslag. Deze is niet perfect luchtdicht, zodat vermoedelijk nog methaan kan ontsnappen. Dus een versnelde inlaat van de mest in de vergister en het goed afdichten zijn relevante maatregelen. Er dient dan wel nagedacht te worden over het meetbaar maken van de effecten. De rekenregels van IPCC voorzien hier niet in.

In hoofdstuk 3 werd aangegeven dat een volledige vergisting mogelijk is. Bij een perfect afgesloten vergistingsinstallatie heeft dat waarschijnlijk geen effect op de methaanemissie, omdat methaan toch wordt afgevangen. Onvolledige vergisting resulteert in een relatief grote hoeveelheid resterende afbreekbare koolwaterstoffen. Dit zal na aanwenden echter niet meer tot meer methaanemissie leiden omdat de omstandigheden zuurstofrijk zijn. Een volledige vergisting zal dan ook niet tot een beperktere methaanemissie leiden.

Door beperkt weiden wordt 93% van de excretie in de stal opgevangen. Methaanemissie uit de stalopslag zou beperkt kunnen worden door minder excretie in de stal en minder opslag als drijfmest (maatregel 8). Nadelig neveneffect hiervan is de toename van de nitraatuitspoeling. Het feit dat de nitraatnorm moeilijk te realiseren bleek te zijn, is zelfs reden geweest om de beweidingsintensiteit in 2000 te beperken. Bovendien komt door weiden de benutting van stikstof uit dierlijke mest meer onder druk te staan, wat tot een hoger N overschot zou leiden en op gespannen voet staat met verlagen van de lachgasemissie. Daarom is verhogen van de beweidingsduur voor De Marke niet relevant.

## **7.2 Selectie van relevante maatregelen**

De maatregelen die in aanmerking komen voor uitvoering of verkenning van de mogelijkheden voor uitvoering zijn:

- Verbeteren verteerbaarheid van kuilgras
- Toevoegen nitraat en sulfaat aan voer
- Kneuzen van kuilgras
- Toevoegmiddelen aan graskuil
- Fokken van vee gericht op verhogen levensproductie (oriëntatie nodig van meest relevante kengetal)
- Door ontwikkelen en optimaliseren van de mestvergisting
- Afvangen van methaan door mest zo snel mogelijk van stal naar vergister te verplaatsen (haalbaarheidsstudie is een eerste stap, voorafgaand aan implementatie)

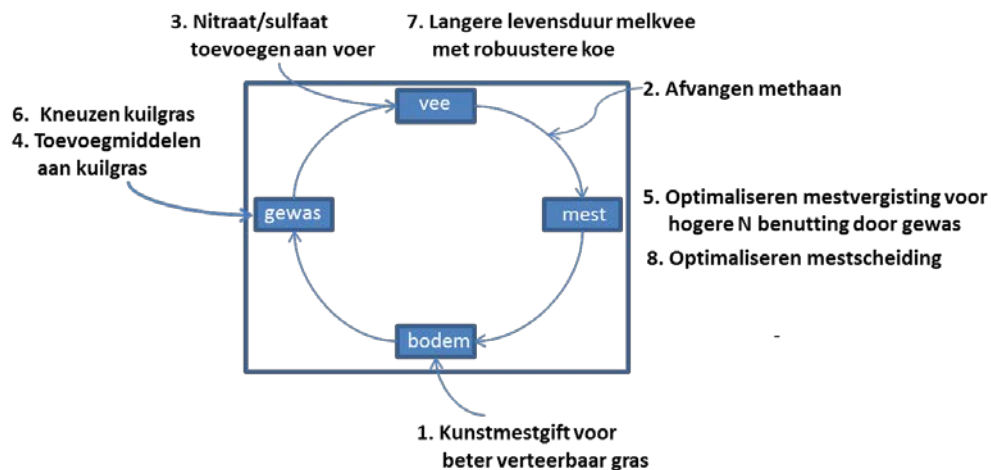
De selectieprocedure is gelijk aan die bij lachgas (hoofdstuk 6).

## 8 Recapitulatie

In de vorige hoofdstukken zijn maatregelen om de emissie van lachgas en methaan te reduceren beschreven en geselecteerd op relevantie voor het bedrijfssysteem op De Marke. De maatregelen kunnen gerangschikt worden naar de emissiebron waarop ze gericht zijn (methaan, lachgas of beide) en het betreft de volgende maatregelen (tussen haakjes de emissie die verminderd wordt):

1. Kunstmestgift voor beter verteerbaar gras ( $\text{CH}_4$ )
2. Afvangen van methaan tussen stal en opslag ( $\text{CH}_4$ )
3. Nitraat/sulfaat toevoegen aan voer ( $\text{CH}_4$ )
4. Toevoegmiddelen aan kuilgras ( $\text{N}_2\text{O}$ )
5. Optimaliseren van mestvergisting ( $\text{N}_2\text{O}$ )
6. Kneuzen kuilgras ( $\text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$ )
7. Langere levensduur melkvee met robuustere koe ( $\text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$ )
8. Optimaliseren van mestscheiding ( $\text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$ )

De maatregelen grijpen aan op verschillende plaatsen in de bedrijfskringloop (Figuur 8.1) en hebben een gecombineerd of integraal effect op de kringloop. Het is daarom van belang om inzicht te krijgen in de effectiviteit van afzonderlijke maatregelen in de context van het bedrijfssysteem. Op De Marke worden dan ook de N-, P- en C kringloop gedetailleerd opgesteld.



**Figuur 8.1** De aangrijpingspunten van de maatregelen in het bedrijf en de onderdelen daarvan.

De op De Marke gemeten benuttingen en de fluxen in het bedrijfssysteem zijn relevant voor alle maatregelen die gericht zijn op het verlagen van de N-, P- en C stroom in de keten voer, mest en bodem. Het verbeteren van de benutting en/of de fluxen in het bedrijfssysteem wordt echter via maatregelen gerealiseerd die gericht zijn op andere zaken zoals bijvoorbeeld een hogere verteerbaarheid van voer, een efficiëntere veestapel, een hogere N werking van mest, etc. Ook over die aangrijpingspunten is informatie nodig zodat relaties gelegd kunnen worden (bijvoorbeeld tussen een hogere N verteerbaarheid van het voer en een betere N benutting en/of een veranderde N flux op bedrijfsniveau. Voor de genoemde 8 maatregelen is daarom vastgelegd (zie Bijlage 2) welke waarnemingen nodig zijn om na implementatie te kunnen analyseren wat het effect is geweest op de verschillende aspect en onderdelen van het bedrijfssysteem. Bijlage 2 geeft tevens korte informatie over doel en achtergrond van de maatregel, alsook aandachtspunten voor het werkplan 2012.

## Literatuur

- Bruinenberg, M.H., Valk, H., Korevaar, H., 2002. Factors affecting digestibility of temperate forages from seminatural grasslands: a review. *Grass and Forage Science*, 57 (3), 292-301.
- Davidson E.A., M. Keller, E. Heather, E. Erickson, L.V. Verchot en E. Veldkamp, 2000. Testing a Conceptual Model of Soil Emissions of Nitrous and Nitric Oxides. *BioScience*, Vol. 50 No. 8., p. 667-680.
- Convenant Schone en zuinige agrosectoren, 2008. Convenant, gesloten tussen de Rijksoverheid en vertegenwoordigers van de agrosector, met afspraken over milieudoelstellingen zoals emissiegrenzen (<http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/convenanten/2008/12/03/convenant-schone-en-zuinige-agrosectoren.html>)
- Remmelink G.J., en Hilhorst G.J. (2011). Voeding, voer De Marke: stalperiode 2005/06 t/m 2008/09. Koeien & Kansen rapport nr. 61. Wageningen UR Livestock Research.
- Schils, R. en L.B.J. Šebek, 2007. Verlaging van methaan- en lachgasemissie uit de Nederlandse melkveehouderij, Implementatie van reductiemaatregelen op praktijkbedrijven binnen project Koeien & Kansen, ASG Wageningen universiteit en Research Centre, rapport nr. 16.
- Schröder, J.J., J.C. van Middelkoop, W. van Dijk en G.L. Velthof, 2008. Quick scan stikstofwerking van dierlijke mest; actualisering van kennis en de mogelijke gevolgen van aangepast forfaits, WOT rapport 85.
- Schröder, J. J.; Uenk, D.; Hilhorst, G. J. 2007. Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland *Plant and Soil* vol. 299 issue 1-2.
- Stehfest, E. en Bouwman L, 2006. N<sub>2</sub>O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions *Nutrient Cycling in Agroecosystems* Volume 74, Number 3 (2006), 207-228, DOI: 10.1007/s10705-006-9000-7.
- Verloop J. en G.J. Hilhorst, 2011. Stikstofwerking van dunne en dikke fractie van rundveemest ; resultaten, 2008, 2009, 2010. PRI rapport 396.
- Mosquera J., R. Schils, K. Groenestein, P. Hoeksma, G. Velthof, E. Hummelink 2010 Emissies van lachgas, methaan en ammoniak uit mest na scheiding, Rapport 427.
- Valk, H., Kappers, I.E. and Tamminga, S., 1996. In sacco degradation characteristics of organic matter, neutral detergent fibre and crude protein of fresh grass fertilized with different amounts of nitrogen. *Animal Feed Science and Technology*, 63 (1/4), 63-87.
- Verloop J., J. Oenema L.B.J. Šebek, 2007. Mineralen goed geregeld; verslag themadag melkveehouderij 2006, 'Koeien & Kansen' rapport nr. 40 .
- Whitehead D.C., 1995. *Grassland Nitrogen*, University of Reading UK, 416 p.

## Bijlagen

### Bijlage 1: Teelt en bemesting op De Marke

#### Teeltplan

Het bedrijfsareaal met een totale oppervlakte van 55 ha is verdeeld in een deel blijvend grasland (rond de stallen) en twee delen met wisselbouw (ook wel gewasrotatie). Er zijn twee wisselbouwsystemen. Het wisselbouwsysteem dat het meest 'strak' wordt uitgevoerd, bestaat uit een graslandfase van 3 jaar (tg1, tg2, tg3), gevolgd door een akkerbouwfase van 3 jaar (ab1, ab2 en ab3). Ab1 en ab2 wordt steeds ingevuld met maïs en ab3 met graan/gras. Graan/gras staat voor graan met grasonderzaai. Na de oogst van graan (in juli) wordt de graslandfase al in het laatste akkerbouwjaar ingeleid door een snelle ontwikkeling van de grasonderzaai. Het tweede wisselbouwsysteem bestond tot 2000 uit een graslandfase van 3 jaar gevolgd door een akkerbouwfase van 5 jaar (4 jaar maïs en 1 jaar graan). In de loop der jaren is het wisselbouwschema af en toe aangepast. De laatste jaren is het schema twee jaar gras (tg1 en tg2) gevolgd door twee jaar akkerbouw (ab1, ingevuld door maïs en ab2, ingevuld door graan/gras). Tabel 1 geeft een overzicht van het teeltplan op De Marke. Een graslandfase in wisselbouw die langer duurt dan 3 jaar is uitzonderlijk. Gemakshalve wordt het laatste graslandjaar aangeduid als tg3>. Een akkerbouwfase van langer dan 3 jaar komt de laatste jaren niet vaak meer voor. Gemakshalve wordt het laatste akkerbouwjaar aangeduid als ab3>.

**Tabel 1** Teeltplan van De Marke (ha)

Onderdeel	Ha
Blijvend grasland	11
Tijdelijk gras	20
Maïs	17
Graan/gras	7
<b>Bedrijfsareaal</b>	<b>55</b>

#### Bemesting

Tabel 2 geeft de verdeling van drijfmest weer over de gewassen. Tabel 3 geeft het gebruik van kunstmest weer gemiddeld over de periode '93-'99 en per jaar in 2000-2006. Sinds de start van het bedrijf wordt geen kunstmest P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gebruikt en sinds 2004 wordt op De Marke geen kunstmest N gebruikt (Tabel 2). Er wordt dus alleen dierlijke mest gebruikt die geproduceerd is door het eigen vee.

**Tabel 2** Bemesting met drijfmest (per ha)

	m <sup>3</sup>	N (kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)
Gras	74	260	77
Blijvend gras	64	225	65
Tijdelijk gras	79	280	83
Maïs	14	50	16
Graan/gras <sup>1</sup>	53	181	51
<b>Gemiddeld</b>	<b>54</b>	<b>190</b>	<b>56</b>

<sup>1</sup> Graan gevolgd door gras

**Tabel 3** Bemesting met kunstmest (kg N per ha), gemiddeld over de jaren '93-'99 en per jaar vanaf 2000-2006 (bron: Hilhorst, 2007)

	'93-'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05-'06
Gras	126	107	93	60	27	3	0
Blijvend gras	133	120	105	52	32	0	0
Tijdelijk gras	123	99	87	65	25	5	0
Maïs	0	0	0	0	0	0	0
Graan/gras <sup>1</sup>	-	0	0	0	0	0	0
Gemiddeld	74	60	51	35	17	2	0

<sup>1</sup> Graan gevolgd door gras.

## **Bijlage 2: Werkplan voor implementeren van maatregelen**

### **1. Kunstmest N in systeem brengen**

*Waarnemingen:* Hele N cyclus d.w.z. N overschot bodem, N opname gewas, N opname veestapel, N vastlegging in melk, N excretie veestapel, ammoniakvervluchtiging, Nmineraal, Norganisch, N werking inclusief efficiëntie van de benutting in hele kringloop. Tevens wisselwerking met P en C kringloop.

*Doel:* verbeteren verteerbaarheid (kuil)gras

*Achtergrond:* Analyses hebben aangetoond dat de veestapefficiëntie onder druk staat door een slechtere verteerbaarheid van de graskuil (met name NDF). De oorzaak ligt waarschijnlijk in de verminderde N bemesting als gevolg van het sturen op een laag N bodemoverschot. Hiermee wordt weliswaar de efficiëntie in de component 'Bodem' aanzienlijk verhoogd (en daarmee emissies verminderd), maar in de component 'Veestapel' wordt weer ingeleverd. Is het mogelijk om met een geringe extra N bemesting (kunstmest) de veestapefficiëntie zo veel te verbeteren dat het N bodemoverschot toch gelijk blijft? Zo ja, dan is de melkproductie toegenomen en/of de voeraankoop verminderd! Wellicht ook effect op N excretie en/of N vervluchtiging (minder ammoniak) en dus meer N bemesting mogelijk want er wordt geen mest afgevoerd.

*Werkplan:* N kunstmest inzetten tot N overschot bodem is 79 kg N/ha. Het effect van deze extra N op (NDF) verteerbaarheid wordt ingeschat door in vitro analyse. Met deze inschatting wordt het effect in kringloop De Marke doorgerekend.

### **2. Reduceren methaanemissie tussen stal en opslag**

*Waarnemingen:* Vaststellen van de gemiddelde verblijfsduur van mest in de mestkelder

*Doel:* Dagverse mest in de vergister invoeren.

*Achtergrond:* Vanuit de mestkelder komt ongeveer 20% tot 25% van de bedrijfsemisatie aan methaan. Omdat De Marke een mestvergistingsinstallatie heeft kan deze emissie verminderd worden door de geproduceerde mest zo snel mogelijk in de vergister te brengen. Bij gebruik van dagverse mest in de vergister moet de emissiereductie het grootst zijn

*Werkplan:* Technische oplossingen verkennen en mogelijkheden voor financiering onderzoeken. Tevens de effectiviteit van de maatregel aangeven in procentuele reductie van de methaanemissie vanuit de kelder en vanuit het gehele bedrijfssysteem.

### **3. Additieven in rantsoen (melk)vee: nitraat en sulfaat**

*Waarnemingen:* Effect aanvoer nitraat op efficiëntie en flux van de N kringloop, diergezondheid, N overschot, S overschot, N efficiëntie melkvee, melkproductie en vruchtbaarheid.

*Doel:* Verminderen van de methaanemissie.

*Achtergrond:* Vanuit wetenschappelijke publicaties is bekend dat additieven effectief kunnen zijn (10% tot 20% reductie) in het terugdringen van de methaanemissie uit het maagdkanaal van de veestapel. De meeste additieven werken echter slechts gedurende enkele weken tot maanden omdat de pensflora zich aanpast aan de veranderende omstandigheden. Het is onduidelijk of een afwisseling van additieven kan leiden tot een permanente vermindering van de methaanemissie. Van nitraat en sulfaat is bekend dat ze wel langdurig werken (geen adaptatie door pensflora), maar ze worden vanwege mogelijke diergezondheidsproblemen nauwelijks gebruikt.

*Werkplan:* Vaststellen van de theoretische benodigde hoeveelheden toe te voegen nitraat en/of sulfaat voor 10% emissiereductie op dierniveau. Bij start stalseizoen introduceren nitraat en/of sulfaat in melkveerantsoen en geleidelijk dosering opvoeren, waarbij extra aandacht voor het functioneren van de dieren. Daarnaast informatie verzamelen over de doseerbaarheid, maximale (belasting kringloop), minimale (effect op methaanemissie) dosering en kosteneffectiviteit.

#### **4. Additieven bij inkuilen ruwvoer (gras)**

*Waarnemingen:* Effect op verteerbaarheid graskuil (N, os, NDF) en voederwaarde (VEM, DVE en OEB). De gegevens worden via *in-situ incubaties* verzameld en betreffen de W, D en S en Kd voor organische stof, eiwit en NDF.

*Doel:* Verminderen van de methaanemissie via verbeteren van de verteerbaarheid en benutbaarheid van grassilage.

*Achtergrond:* Het is uit eerder onderzoek gebleken dat de NDF verteerbaarheid van het kuilgras op De Marke dusdanig laag is dat de veestapelefficiëntie vermindert (zie ook maatregel 1). Hierdoor is de methaanemissie uit de veestapel hoger en neemt de voeraankoop (N en P) toe, wat kan bijdragen aan een hogere lachgasemissie (toename N flux en afname N benutting). Is het mogelijk de NDF verteerbaarheid met een additief te verhogen?

*Werkplan:* Vaststellen of het product 11GFT van Pioneer het gewenste effect geeft. Vanuit het bereikte effect de kringloop doorrekenen: Aankoop N met voer, N efficiëntie vee, TAN productie (ammoniak), N excretie en efficiëntie van de benutting in hele kringloop. Tevens wisselwerking met P en C kringloop.

#### **5. Optimaliseren mestvergisting**

Dit onderdeel is niet los te zien van mestscheiding. Bij 8 wordt op mestvergisting en mestscheiding ingegaan.

#### **6. Mechanische bewerking ruwvoer (gras)**

*Waarnemingen:* voeropname en diergezondheid

*Doel:* Verminderen van de methaanemissie via verbeteren van de verteerbaarheid en benutbaarheid van grassilage.

*Achtergrond:* Het is uit eerder onderzoek gebleken dat de NDF verteerbaarheid van het kuilgras op De Marke dusdanig laag is dat de veestapelefficiëntie vermindert (zie ook maatregel 1). Hierdoor is de methaanemissie uit de veestapel hoger en neemt de voeraankoop (N en P) toe, wat kan bijdragen aan een hogere lachgasemissie (toename N flux en afname N benutting). Is het mogelijk de NDF verteerbaarheid te verhogen via mechanische bewerking van de graskuil?

*Werkplan:* Haalbaarheidsstudie naar verschillende aspecten van deze maatregel. Betreft effect op performance melkvee, mestscore, biogasproductie, voederwaarde (VEM, DVE en OEB), melkproductie, aankoop voer(eiwit) en voerefficiëntie (kg FPCM/kg voer). Daarnaast simuleren van het effect op de kringloop: aankoop N met voer, N efficiëntie vee, TAN productie (ammoniak), N excretie, inclusief efficiëntie van de benutting in hele kringloop). Tevens wisselwerking met P en C kringloop.

In kaart brengen wat deze insteek betekent voor energieverbruik, haalbaarheidsstudie, kosteneffectiviteit, ruwvoederveorziening etc.

Op basis van de resultaten van de haalbaarheidsstudie beslissen over voortgang in situ tests.

#### **7. Langere levensduur melkvee en robuustere koe**

*Waarnemingen:* gemiddelde leeftijd, diergezondheid, N- en P-efficiëntie (%), VEM- en DVE dekking (%), voerefficiëntie (kg FPCM/kg voer), kg krachtvoer per koe/jaar, kg voeraankoop per koe/jaar, aantal stuks jongvee per 10 melkkoeien.

*Doel:* Goede diergezondheid en duurzaamheid. Het gaat om een hoge gemiddelde levensproductie, hoge gemiddelde leeftijd veestapel en weinig stuks jongvee per 10 melkkoeien.

Belangrijk is dat het veeslag een goede ruwvoerverwerker is en dat ook kan bij een hoog percentage (snij)mais in het rantsoen. Gaat primair om efficiënte melkproductie (kg FPCM per kg voer) en niet om hoge melkproductie.

*Achtergrond:* De HF veestapel op De Marke presteert al jaren suboptimaal op diergezondheid en duurzaamheid. Dit staat een langere levensduur in de weg. Een gemiddeld oudere koe is efficiënter omdat het deel onderhoudsbehoefte relatief kleiner wordt (per kg FPCM minder emissies methaan, ammoniak, N en P excretie, hogere VEM- en DVE dekking). Bovendien is er minder jongvee nodig en dat betekent minder opfokkosten (in termen van nutriënten en emissies) omdat jongvee inefficiënt is en omdat de niet-productieve periode relatief korter wordt. Fokken op duurzaamheid binnen de HF populatie heeft geen verbetering gebracht. Ongeveer de helft van de veestapel reageerde goed, maar de ander helft niet.

*Werkplan:* a. Inzetten op inkruisen duurzame rassen en b. Doorrekenen met koemodel wat het potentiële effect is van deze aanpak. Tevens effect op emissies methaan en ammoniak doorrekenen (inclusief verkorten c.q. verlengen tussenkalftijd).

De slecht presenterende helft van de veestapel krijgt via een driewegkruising een 'boost' in duurzaamheid. In de Nederlandse veehouderijpraktijk is dat inmiddels een normale fokkerij aanpak. Alle HF dieren in de 'slechte' groep worden geïnsemineerd met MontBeliarde stieren. Beide groepen zullen apart gehouden worden, maar er is geen mogelijkheid voor het uitvoeren van een experimentele vergelijking tussen de groepen.

*Vervolg:* De F1 nakomelingen (uit HF x Montbeliarde) worden geïnsemineerd met Zweeds Roodbonte stieren. De F2 nakomelingen (uit F1 x Zweeds Roodbont) worden geïnsemineerd met HF stieren. De kruising wordt herhaald totdat alle melkgevende dieren in deze groep deze bloedvoering hebben (o.a. afhankelijk van het aantal geboren en grootgebrachte vaarskalveren). Daarna worden in principe weer continu HF stieren (minimaal 3 generaties) gebruikt, zodat de veestapel weer als 100% HF geregistreerd staat.

## **8. Optimaliseren mestscheiding en mestvergisting in een bioraffinage lijn**

*Waarnemingen:* Samenstelling (N, P, Nmin en OS-gehalte) verschillende meststromen, efficiëntie scheiding/raffinage, efficiëntie toepassing scheidings- en raffinageproducten, werkingscoëfficiënt, organische stofgehalte bodem. Hele N cyclus (zie maatregel 1).

*Doelen:*

1. Hogere N- en P werking mest
2. Bemesten op maat naar N-en P behoefte zonder afhankelijk te zijn van kunstmest
3. Produceren groene stroom

*Achtergrond:*

De emissies van lachgas kan teruggebracht worden door een efficiëntere N benutting in het bodem/gewas systeem. Om de N benutting te verhogen wordt mest vergist (meer minerale N in mest). Uiteindelijk kan dat leiden tot een bedrijfsvoering zonder gebruik van kunstmest N. In zo'n systeem is dierlijke mest met een normaliter vaste N/P verhouding de enig beschikbare meststof. Mestscheiding is ingezet om verschillende mestproducten te maken met verschillende N/P verhoudingen die op maat naar behoefte op percelen en gewassen kunnen worden ingezet. Bovendien was een doel om door mestscheiding de N benutting uit mest te verhogen.

De eerste ervaringen op De Marke met mestvergisting en met mestscheiding zijn wisselend. De toename van het aandeel minerale N door vergisting is minder dan gehoopt en de N/P verhoudingen in de scheidingsproducten liggen minder ver uit elkaar dan nodig voor bemesting op maat. Kan de verder gaande vergisting tot een verdere verhoging van het aandeel mineraal N in mest leiden? Kunnen we met nieuwe scheidingstechnieken de N/P voorziening nog verder ontkoppelen? Tegen die achtergrond oriënteren we ons op de mogelijkheden van bioraffinage. De vragen ten aanzien van het functioneren van bioraffinage hebben betrekking op:

1. De kwaliteit van de producten van bioraffinage
2. Mogelijke verliezen in de mestketen op het bedrijf
3. De uiteindelijke effecten in bodem en gewas en het hele bedrijf.



De energieopbrengst van vergisting zou verhoogd kunnen worden door het vergistingsproces te verbeteren. De verwachting is dat dit door bioraffinage mogelijk wordt. Op deze wijze kan bioraffinage bijdragen aan een hogere productie van groene stroom uit mest.

*Werkplan:*

1. Vervolg ingezet onderzoek met bestaande scheidingsmethode (lopend)
2. Opstarten van een nieuwe installatie (bioraffinage met daaraan gekoppeld struviet kristallisator)
3. Testen producten bioraffinage
4. Bepalen van de energieopbrengst van de bioraffinage
5. Bepalen van de minimale OS aanvoer uit mest die nodig is om het OS gehalte in de bodem op een goed peil te houden.



Secretariaat Koeien & Kansen  
Postbus 65  
8200 AB Lelystad  
tel. 0320-293302 /238238  
fax. 0320 - 238022  
info@koeienenkansen.nl  
www.koeienenkansen.nl

