



Methaanemissies in de melkveehouderij in verleden en toekomst

Theun Vellinga, Karin Groenestein

Rapport 1384



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Methaanemissies in de melkveehouderij in verleden en toekomst

Theun Vellinga, Karin Groenestein

Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research in opdracht van de Duurzame Zuivelketen en gefinancierd door ZuivelNL en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van de PPS Toekomstbestendige en verantwoorde zuivelsector: Integrale realisatie duurzaamheidsdoelen 2030 Duurzame Zuivelketen (TKI-AF-19256) onderdeel van topsector Agri&Food

Wageningen Livestock Research

Wageningen, januari 2023

Rapport 1384

Samenvatting NL

Vanwege het grote belang van methaanemissies in de melkveehouderij is een reconstructie uitgevoerd van de methaanemissies sinds 1950 en is een verkenning uitgevoerd van de potentiële jaarlijkse emissiereductie in de periode tot 2050. Omdat de vermindering van methaanemissies op de lange termijn leidt tot lagere methaanhoeveelheid in de atmosfeer, is de ontwikkeling van die hoeveelheid berekend tot 2090.

Summary UK

Because methane emissions are important for the dairy sector, a reconstruction of annual methane emissions back to 1950 and an exploration of the mitigation potential up to 2050 have been carried out. To show the long term effect of reduced annual methane emissions, the development of the methane amount in the atmosphere has been calculated up to 2090.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/575030> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2022

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

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

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	6
Summary	9
1 Inleiding	13
2 Methaanemissie in het verleden	15
2.1 Werkwijze en invoerdata	15
2.2 Ontwikkelingen in de melkveehouderij	16
2.3 Jaarlijkse methaanemissie sinds 1950	17
2.4 Methaanhoeveelheid in de atmosfeer sinds 1950	18
2.5 Analyse van de methaanemissie	19
3 Methaanemissie in de toekomst	21
3.1 Klimaatbeleid en maatregelen	21
3.2 Scenario's en maatregelpakketten	23
3.3 Resultaten maatregelpakketten	27
3.3.1 Ontwikkeling van de jaarlijkse methaanemissies	27
3.3.2 Ontwikkeling van de totale hoeveelheid methaan	28
4 Discussie	29
5 Conclusies	31
Literatuur	32
Bijlagen:	36
6 Werkwijze	37
6.1 De gevolgde berekeningswijze	37
6.2 De data	38
6.3 Het model GLEAM en aanpassingen	39
6.4 Berekening van jaarlijkse emissies	41
7 Resultaten dataverzameling	43
7.1 Dieren	43
7.1.1 Aantal dieren	43
7.1.2 Gewichten van dieren	43
7.1.3 Melkproductie	44
7.1.4 Vervangingspercentage	44
7.1.5 Leeftijd bij eerste kalving	45
7.1.6 Tussenkalftijd	45
7.2 Stal	45
7.2.1 Lengte weideseizoen	45
7.2.2 Fractie mest in de stal bij beweiding	46
7.2.3 Staltype	46
7.3 Rantsoen	47
7.3.1 Berekeningswijze	47
7.3.2 Beweidingsystemen	48
7.3.3 Weidegras, verteerbaarheid en eiwit	49

7.3.4	Grasopname: kalfpatroon, seizoenlengte en bijvoeding	49
7.3.5	Hooi en kuilgras, hoeveelheden	50
7.3.6	Hooi en kuilgras, verteerbaarheid en eiwit	51
7.3.7	Snijmais, hoeveelheden	52
7.3.8	Snijmais, verteerbaarheid en eiwit	53
7.3.9	Krachtvoer, hoeveelheden	54
7.3.10	Krachtvoer, verteerbaarheid en eiwit	54
7.3.11	Bijproducten, hoeveelheden	55
7.3.12	Bijproducten, verteerbaarheid en eiwit	55
8	Data	56
8.1	Dieren	56
8.2	Stal en mestopslag	58
8.3	Rantsoen melkvee	60
8.4	Rantsoen jongvee	62
8.5	Verteerbaarheid voedermiddelen	64
9	Vergelijking GLEAM met NEMA	66

Woord vooraf

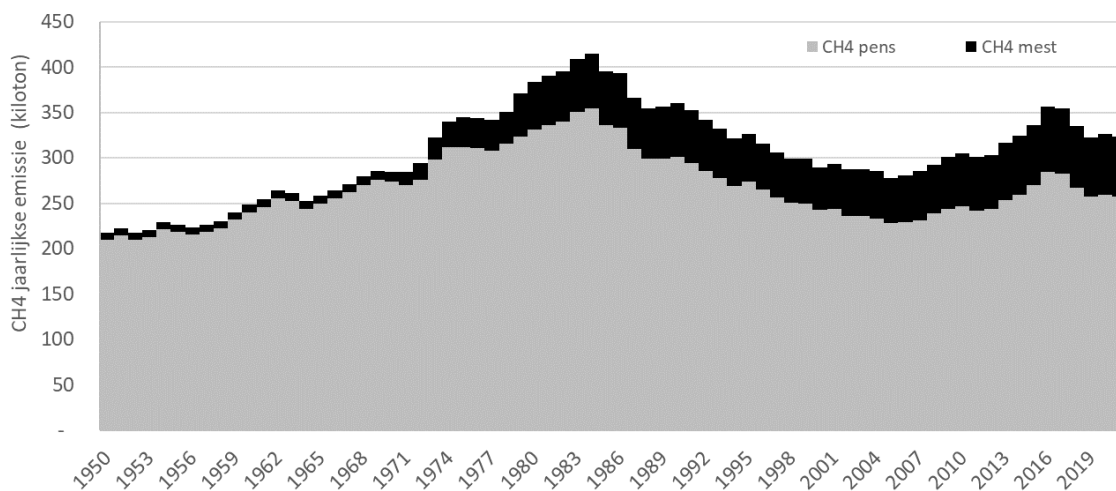
Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ZuivelNL programma Duurzame Zuivelketen voor het project: Toekomstbestendige en verantwoorde zuivelsector: Integrale realisatie duurzaamheidsdoelen 2030 Duurzame Zuivelketen, projectnummer TKI-AF-19256. Het rapport is tot stand gekomen met de hulp van vele collega's die allemaal hun steentje hebben bijgedragen: controle van de reconstructie en de bijbehorende data, aanleveren van de juiste gegevens voor de reductie van methaanemissies in pens en mest, suggesties voor de scenario's en heldere omschrijvingen. Hierbij willen we bedanken: André Bannink, Yvette de Haas, Rik Maasdam, Paria Sefeedpari, Daniel Puente, Alfons Beldman, Joan Reijs, Cor Wever (LNV) en Cor van Bruggen (CBS). Het rapport kon worden geschreven dankzij al het onderliggende detailonderzoek dat door hen en vele anderen is uitgevoerd en dankzij de brede kennis die zij in al hun werk hebben opgedaan.

De discussies met de begeleidingsgroep van Duurzame Zuivelketen zijn zeer nuttig geweest voor het schrijven van het rapport. Een rapport dat zicht biedt op de mogelijkheden om methaanemissies in de Nederlandse melkveehouderij te verminderen en dat de methaanemissies in een breder tijds kader plaatst. We hopen dat het bijdraagt aan een sterke afname van de methaanemissies in de praktijk.

Samenvatting

Methaan staat volop in de belangstelling. Het is een belangrijk broeikasgas bij herkauwers, bij de productie van melk en vlees vormt methaan ongeveer de helft van de totale emissies in de productieketen. In Nederland is de bijdrage van runderen uit de melkveehouderij de belangrijkste bron van methaan in de nationale emissies. Verminderen van die emissies kan een bijdrage leveren aan het verkleinen van het broeikasgaseffect. Dat besef is nog versterkt door de nieuwe inzichten over de levensduur van methaan en de gevolgen daarvan voor methaanconcentraties in de atmosfeer.

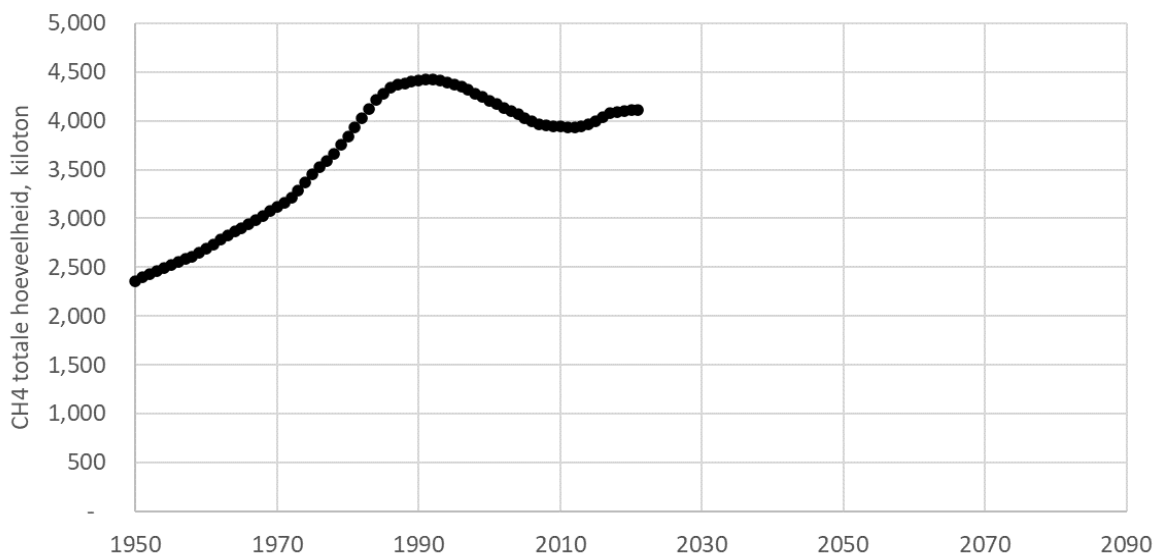
De belangrijke rol van de melkveehouderij bij de emissie van methaan is aanleiding geweest om te kijken naar de totale methaanhoeveelheid die in de afgelopen 70 jaar door de Nederlandse melkveehouderij in de atmosfeer is gebracht, hoe deze kan worden verminderd, en op basis van vrij globale scenario's tot welk niveau de totale methaanhoeveelheid in de atmosfeer teruggebracht kan worden op de lange termijn.



Figuur S.1 Reconstructie van de jaarlijkse emissie van methaan van de Nederlandse melkveehouderij (melkvee en bijbehorende jongvee) in de periode 1950 – 2021. Berekening met GLEAM. De grijze staven zijn methaan van pensfermentatie, de zwarte staven zijn methaan uit mest.

Figuur S.1 laat zien dat de jaarlijkse methaanemissie uit de melkveehouderij een vrij continu stijgende lijn vertoonde tot circa 1984. Vanaf 1984 vertoont de jaarlijkse methaanemissie een dalende lijn tot ongeveer 2007. De jaarlijkse emissie neemt daarna weer toe tot 2015 om in de laatste jaren weer af te nemen. Het broeikasgaseffect wordt niet zozeer door de jaarlijkse emissie bepaald maar door de hoeveelheid methaan die in de atmosfeer aanwezig is. Methaan breekt na verloop van tijd weer af.

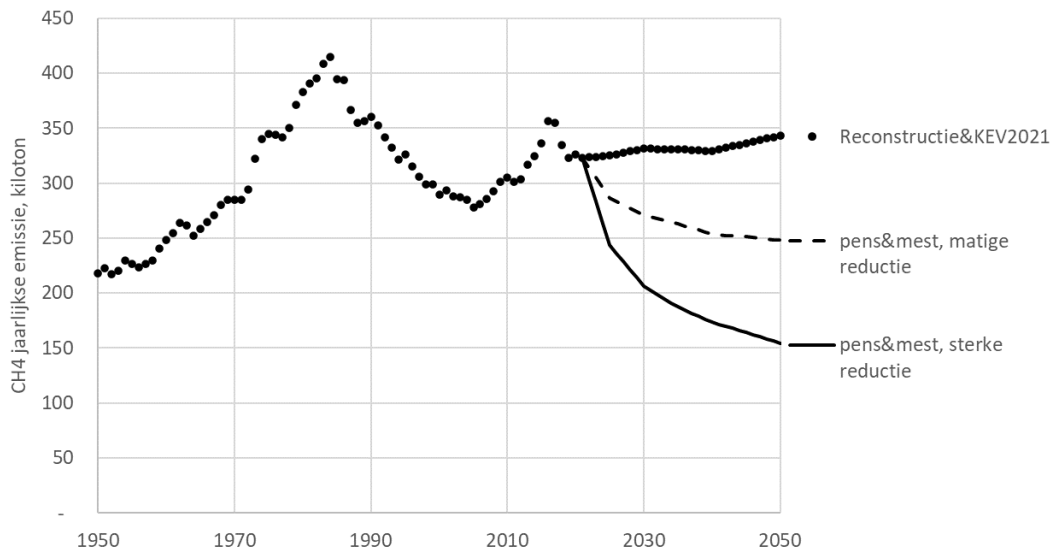
Door rekening te houden met deze afbraak kan het verloop van de hoeveelheid methaan in de atmosfeer afkomstig van de melkveehouderij in beeld worden gebracht (figuur S.2).



Figuur S.2 Reconstructie van de totale hoeveelheid methaan van de melkveehouderij in Nederland in de periode 1950 – 2021.

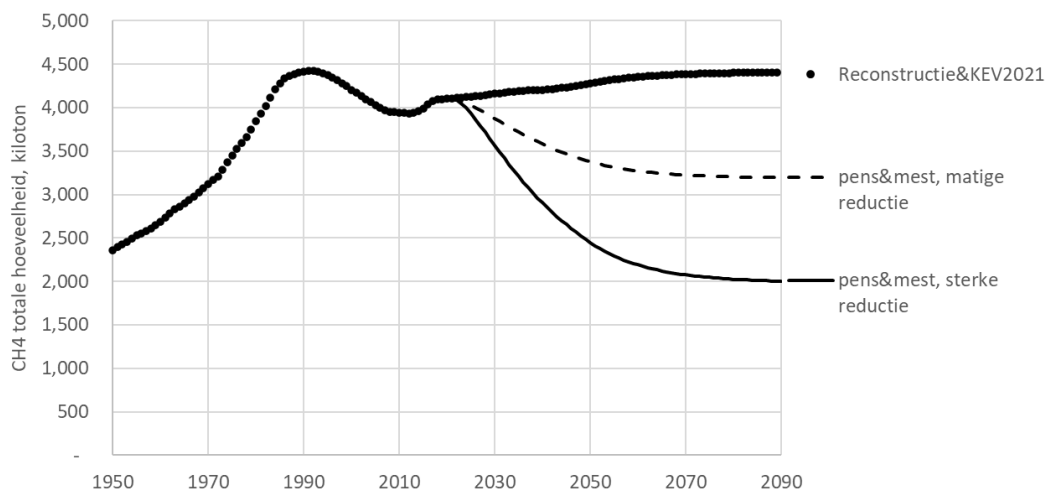
Figuur S.2 laat zien dat de totale methaanhoeveelheid een duidelijk stijgende lijn vertoont tot 1990. Vanaf 1990 daalt de lijn tot ongeveer 2010 om vervolgens weer iets toe te nemen. Door de stijging van de melkproductie per koe en de hogere verteerbaarheid van het voer was er over de gehele periode een halvering van de methaanemissie per kg geproduceerde melk.

In de 2^e stap van het onderzoek zijn scenario's met maatregelen om de methaanvorming in de pens en in de mest te reduceren verkend voor de periode 2023 - 2050. Maatregelen om methaan uit pensfermentatie te verminderen zijn a) fokken van dieren die minder methaan produceren per kg opgenomen voer; b) rantsoenaanpassing en -verbetering; en c) toevoegmiddelen om de vorming van methaan in de pens te verminderen. Maatregelen om methaan uit mest te verminderen zijn allemaal gebaseerd op stallen met dichte vloeren, een gesloten externe mestopslag en een dagverse ontmesting van de stal. Dat wordt gecombineerd met maatregelen om methaan in de mest te verminderen of te verwijderen via koelen, respectievelijk te oxideren of te benutten via vergisten van mest. Voor alle maatregelen is een bandbreedte gekozen waarbij maatregelen deels en volledig effectief zijn. Steeds is uitgegaan van een deelname door alle melkveehouders om aan te geven wat in potentie haalbaar is.



Figuur S.3 Reconstructie van de jaarlijkse emissie van methaan van de Nederlandse melkveehouderij voor 1950 – 2021 en de verkenning van de jaarlijkse emissie van methaan voor de periode 2023 – 2050.

Bij volledige toepassing van maatregelen voor methaanvorming in pens en mest samen kan de jaarlijkse uitstoot van methaan door melkveehouderij afnemen met 23 tot 54 % in 2050 (Figuur S3). Als deze lagere emissie na 2050 wordt voortgezet zal de totale hoeveelheid methaan in de atmosfeer door de Nederlandse melkveehouderij nog verder dalen, als gevolg van de combinatie van een lagere aanvoer en afbraak van aanwezige methaan. Op de lange termijn kan daardoor de totale methaanhoeveelheid in de atmosfeer door de Nederlandse melkveehouderij worden teruggebracht naar niveaus die lager liggen dan die in 1950 (Figuur S4).



Figuur S.4 Ontwikkeling van de totale hoeveelheid methaan van de melkveehouderij in de atmosfeer bij gecombineerde maatregelen om de emissie uit pens en mest te verminderen (de onderbroken en de doorgetrokken lijnen voor de twee scenario's lage en hoge reductie). De dikke zwarte lijn geeft het historisch verloop en de toekomstige methaanemissie zonder actieve maatregelen weer (Klimaat en Energie Verkenning, KEV, 2021).

Er ligt dus een grote potentie om de broeikasgasemissies in de melkveehouderij te verminderen bij een goede uitvoering van de maatregelen en een grote mate van deelname. Waar in het verleden de verbetering van de productiviteit en de verteerbaarheid van het voer de belangrijkste factoren waren die de methaanemissie deden dalen, zijn de maatregelen voor de toekomst vooral gericht op het beïnvloeden van de processen bij de vertering van het voer in het dier en op de processen bij de afbraak van mest in de stal en opslag. Daarbij dient niet alleen rekening te worden gehouden met methaan, maar ook met andere duurzaamheidsdoelen.

Summary

Methane has taken centre stage. It is an important greenhouse gas in ruminants as, owing to the production of milk and meat, around half of all emissions formed in the production chain are methane. In terms of the Netherlands' national emissions, the most important source of methane is cattle in the dairy sector. Decreasing these emissions can contribute to reducing the effects of greenhouse gases. This realisation has been heightened even further by new insights into the lifespan of methane and its consequences for methane concentrations in the atmosphere.

The role of the dairy sector in methane emissions was the impetus for researching the total amount of methane the Dutch dairy sector has emitted into the atmosphere over the past 70 years, for looking at how these emissions could be reduced, and examining the extent to which the total amount of methane in the atmosphere could be reduced in the long term based on reasonable global scenarios.

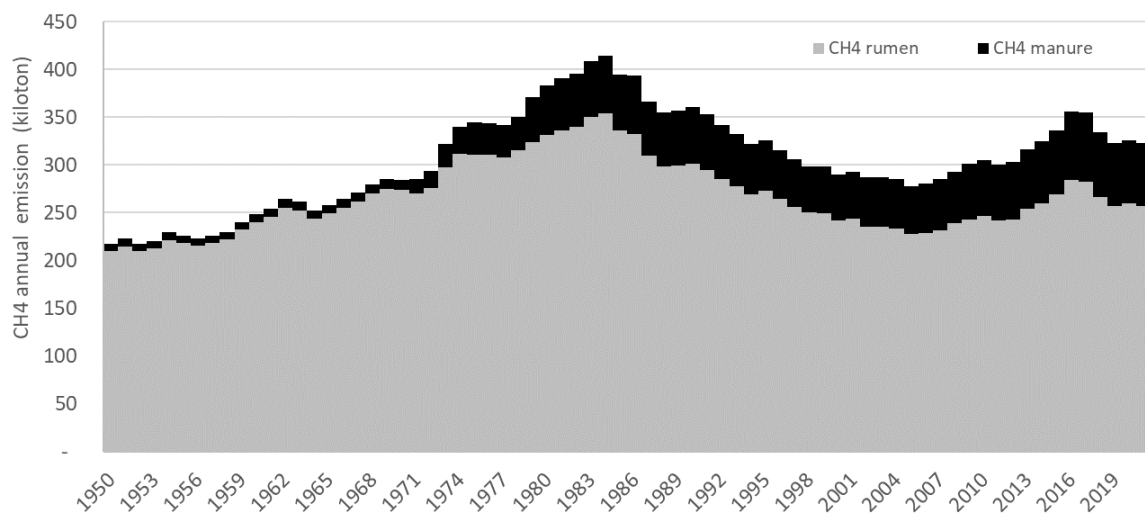


Figure S.1 Reconstruction of the annual methane emissions of Dutch dairy farms (dairy cattle plus young stock) in the period 1950–2021. Calculations were performed using GLEAM. The grey bars represent methane from rumen fermentation, the black bars represent methane from manure.

Figure S.1 shows a fairly constant upward trend in dairy farms' annual methane emissions until approximately 1984. From 1984 onwards, annual methane emissions show a downward trend until approximately 2007. After that, annual emissions increase until 2015, only to decline again in recent years. However, greenhouse gas effects are not determined by the annual emissions as much as they are by the amount of methane present in the atmosphere. Methane in the atmosphere degrades over time so, by taking this degradation into account, the course of the amount of methane in the atmosphere emitted by the dairy sector can be visualised (Figure S.2)

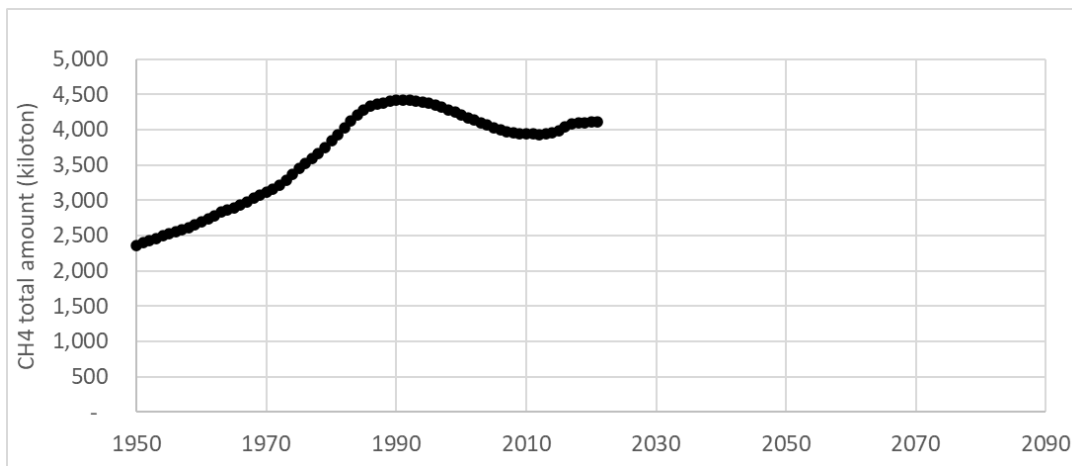


Figure S.2 Reconstruction of the total amount of methane emitted by dairy farming in the Netherlands during the period 1950–2021.

Figure S.2 shows that the total amount of methane shows a clear upward trend until 1990. There is a downward trend from 1990 until around 2010, but it increases again thereafter. However, owing to the increase of milk production per cow and greater feed digestibility, the total period shows a 50% decrease of methane emission per kilogram of milk produced.

In the second phase of this research, scenarios containing measures to reduce methane formation in the rumen and the manure are explored for the period 2023–2050. Measures to reduce methane from rumen fermentation include: a) breeding animals that produce less methane; b) adjusting and improving feed; and c) using additives to reduce methane formation in rumen. The measures to reduce methane from manure are all based on accommodation with water-tight floors, closed external manure storage and daily manure removal from the area. These measures are combined with other measures to reduce methane in three ways: reduction of production by cooling, removal by oxidation or utilisation by manure digestion. For each of the measures, a range has been chosen in which measures are partially and fully effective. It is assumed throughout the research that all dairy farmers participate, in order to show what is potentially feasible.

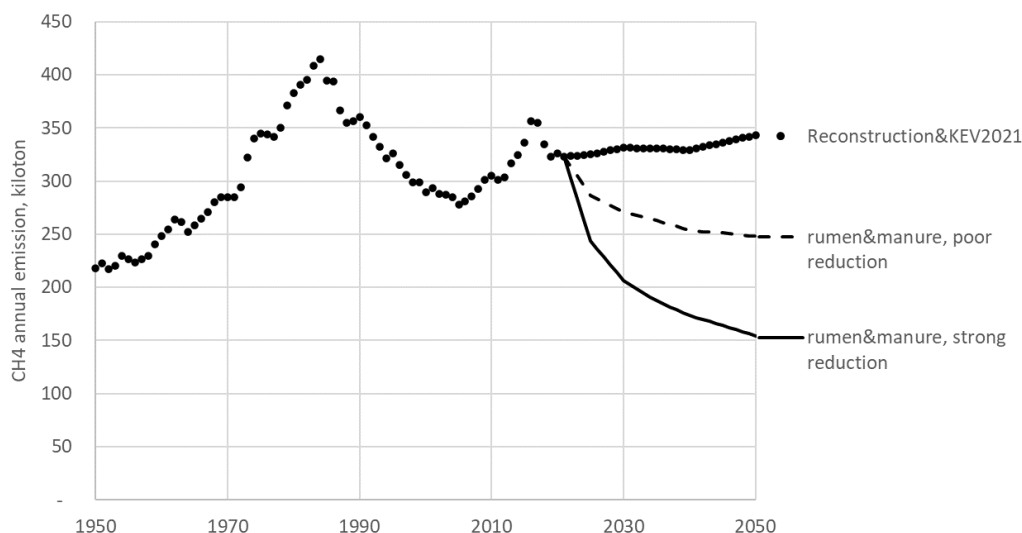


Figure S.3 Reconstruction of the annual methane emissions of Dutch dairy farms for the period 1950–2021 and the possible scenarios of annual methane emissions for the period 2023–2050.

If all measures for methane formation in rumen and manure are used together and applied in full, annual methane emissions by the dairy sector could be reduced by 23 to 54% by 2050 (Figure S3). If lower emission rates continue after 2050, the total amount of methane emitted into the atmosphere by Dutch dairy farming could decrease even further, owing to the combination of the lower supply of new methane and the degradation of present methane. In the long term, the total amount of methane

emitted into the atmosphere by the Dutch dairy sector could be reduced to levels lower than in 1950 (Figure S4).

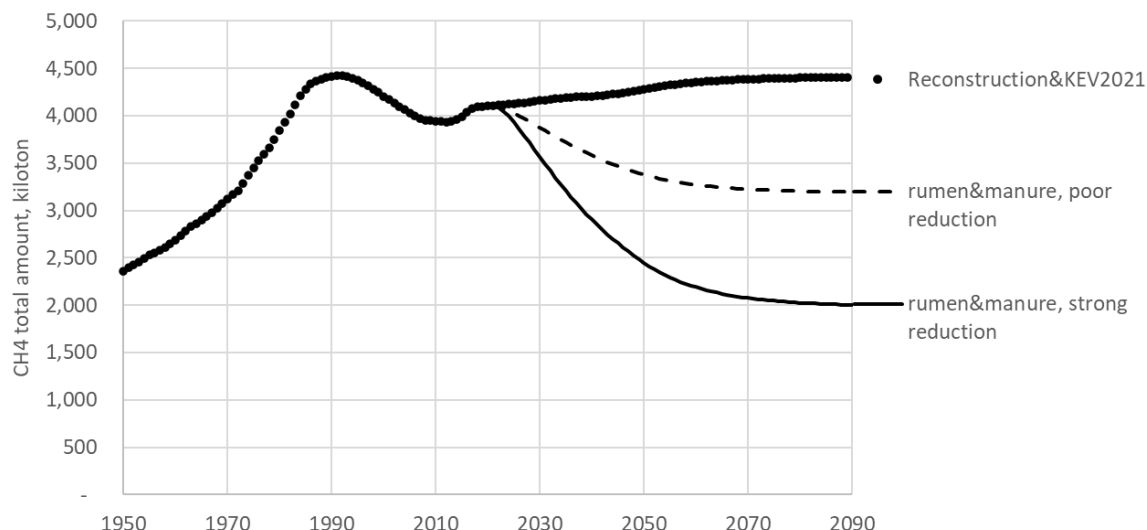


Figure S.4 Development of the total amount of methane emitted into the atmosphere by the Dutch dairy sector in case of combined measures to reduce emissions from rumen and manure (red line for scenarios with high and low reduction). The black line shows historical development and future methane emissions without active measures.

In short, there is a great deal of potential to reduce greenhouse gas emissions from the dairy farming industry if measures are executed well and there is a high level of participation. Previously, the improvement of productivity and the digestibility of the feed were the most important factors for reducing methane emissions, however, future measures mostly aim to influence animals' digestion of feed and processes involved in the breakdown of manure in barns and manure storage. These processes should not only take methane into account but other sustainability goals as well.

1 Inleiding

Methaan staat volop in de belangstelling. Het is een belangrijke bron van broeikasgassen bij de herkauwers, zoals runderen, schapen en geiten. Bij de productie van melk en vlees vormt methaan ongeveer de helft van de totale emissies in de productieketen van de melkveehouderij. In Nederland is de bijdrage van runderen uit de melkveehouderij de belangrijkste bron van methaan in de nationale emissies. Verminderen van die emissies kan een bijdrage leveren aan het verkleinen van het broeikasgaseffect. Dat besef is nog versterkt door de nieuwe inzichten over de levensduur van methaan en de gevolgen daarvan voor methaanhoeveelheden en -concentraties in de atmosfeer. De huidige rekenwijze van GWP100 (Global Warming Potential 100) "verdeelt" het opwarmend effect van methaan over een periode van 100 jaar en vergelijkt het met CO₂ (IPCC 5th Assessment Report, chapter 8: the physical background.). De levensduur van methaan is echter veel korter dan 100 jaar (IPCC 5th Assessment Report, chapter 8: the physical background.). Methaan wordt vrij snel afgebroken, waardoor na 8.6 jaar nog slechts de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid over is. Dat proces gaat door, waardoor er na 50 jaar nog slechts 1 % van de oorspronkelijke hoeveelheid over is. Vermindering van methaanemissie heeft dus sneller een daling van het broeikaseffect tot gevolg dan de vermindering van CO₂ dat een veel langere levensduur heeft. Daarmee kan reductie van de methaanemissie op korte termijn de opwarming enigszins afremmen. De methaan die door runderen wordt geproduceerd, uit de pens en uit de mest, is zogeheten biogene methaan. Het is afkomstig van de afbraak van plantaardig materiaal in de pens en in de mest. Het plantaardig materiaal is kort tevoren gemaakt uit CO₂ uit de atmosfeer. Als deze methaan weer wordt afgebroken tot CO₂ is er netto geen toevoeging van CO₂ aan de atmosfeer.

De belangrijke rol van methaan in de melkveehouderij is aanleiding geweest voor Duurzame Zuivelketen voor het verzoek om te kijken naar de methaanemissies uit de melkveehouderij in de afgelopen periode van 70 jaren en een globale verkenning van scenario's waarin maatregelen worden genomen om de methaanemissie te verlagen. Een analyse van het historische verloop van de methaanemissies kan inzicht geven in de bepalende factoren voor de emissies van methaan. Met die kennis kan een betere interpretatie worden gegeven aan de bijdrage van de Nederlandse melkveehouderij aan het broeikaseffect en aan mogelijke oplossingen om de bijdrage te verkleinen.

Het doel van dit rapport is tweeledig. Aan de ene kant dient dit rapport om inzicht te geven in het verloop van de emissie van methaan door de Nederlandse melkveehouderij sinds 1950 en de belangrijkste factoren die daarbij een rol speelden te benoemen. Anderzijds, en dat is veel belangrijker, om te schetsen wat de potentie is om de methaanemissie te reduceren. Die reductie kan tot uitdrukking komen in de jaarlijkse emissie en in de totale hoeveelheid die in de atmosfeer aanwezig is als gevolg van de Nederlandse melkveehouderij.

Hoofdstuk 2 beschrijft deze historische ontwikkeling van de methaanemissie uit de Nederlandse melkveehouderij en benoemt de belangrijkste factoren die daarbij een rol spelen. Alle details van die reconstructie zijn gegeven in de bijlagen.

De noodzaak tot vermindering van de emissie van broeikasgassen is algemeen geaccepteerd. Ook voor de landbouw ligt er een duidelijke opgave. Deze staat beschreven in de Farm to Fork strategie van de Europese Commissie (https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en) en in het ontwerp beleidsprogramma klimaat van de Nederlandse overheid (<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2022/06/02/ontwerp-beleidsprogramma-klimaat>). Vermindering van de methaanemissies uit de melkveehouderij kan een belangrijke bijdrage leveren aan die opgave. Het is daarom nuttig om te verkennen welke mogelijkheden er zijn om de emissies van methaan te verminderen. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van mogelijke maatregelen en schetst vier mogelijke pakketten van maatregelen om de uitstoot van methaan te reduceren. Alle berekeningen worden weergegeven als hoeveelheden geëmitteerde methaan per jaar en als totale hoeveelheid methaan in de atmosfeer als gevolg van de Nederlandse melkveehouderij. Bij de laatste

wordt rekening gehouden met de afbraak van methaan in de atmosfeer. Dat zijn de meest zuivere manieren om de methaanemissie in beeld te brengen. Er wordt bewust geen omrekening gemaakt naar CO₂-equivalenten op basis van GWP100

De berekeningen voor de methaanemissie in de melkveehouderij worden uitgevoerd met GLEAM (Global Livestock Environmental Assessment Model, MacLeod et al., 2018). Het model berekent de broeikasgasemissies in de gehele keten van de melkveehouderij op basis van de LCA methode en houdt rekening met diereigenschappen, rantsoen, beweiding en stal. In de bijlagen wordt de werkwijze verantwoord: a) hoe de ontwikkeling van de veehouderij in kaart werd gebracht en welke methodiek GLEAM hanteert om de vorming van methaan te berekenen; b) hoe data verzameld werd en de verantwoording van de data. Er zijn geen data gebruikt van individuele bedrijven. Het was niet mogelijk om van alle jaren gedetailleerde data te vinden en deels is de datareeks gebaseerd op interpolatie voor tussenliggende jaren. Soms is ook een extrapolatie gemaakt, als gegevens niet ver genoeg terug gingen in de tijd. Daarbij is ook gebruik gemaakt van inschattingen. Die inschatting komen voort uit een kwalitatief beeld van de landbouw in de jaren 1950 tot 1990. Om een goede inschatting te kunnen maken van het cumulatieve effect zijn in beperkte mate ook data verzameld over de periode 1900 – 1950; c) hoe de resultaten zijn vergeleken met de uitkomsten van het emissiemodel NEMA. Het model NEMA wordt gebruikt voor de berekening van de Nederlandse emissies uit de landbouw, zowel veehouderij als akker- en tuinbouw in de volle grond (Van Bruggen et al., 2021).

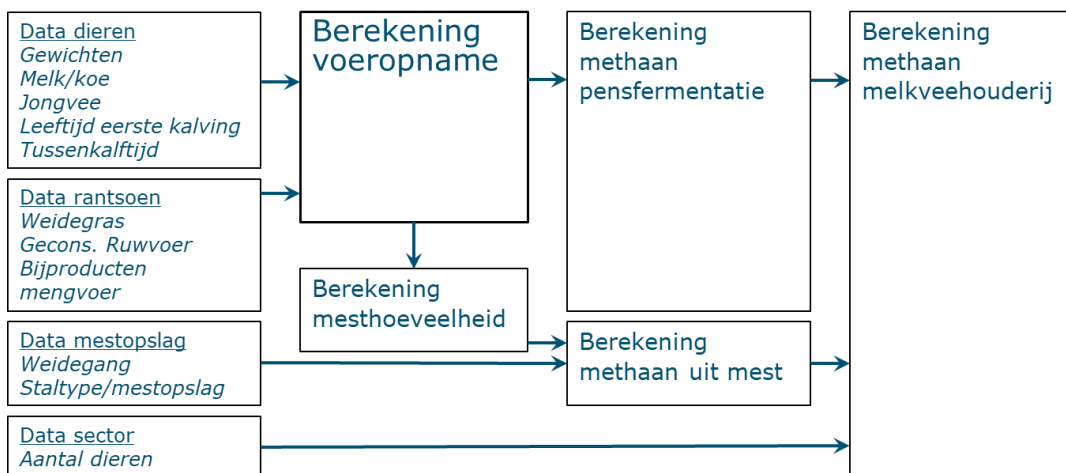
2 Methaanemissie in het verleden

2.1 Werkwijze en invoerdata

De melkveehouderij betreft in deze studie alle melk- en kalfkoeien en het bijbehorende jongvee dat voor vervanging wordt aangehouden, inclusief het jongvee dat voor de export is bedoeld. Koeien en jongvee die alleen voor de vleesproductie wordt gehouden, vallen hierbuiten.

De emissie van methaan uit de melkveehouderij is afhankelijk van twee processen:

- De pensfermentatie: deze wordt bepaald door de voeropname door de dieren en de vertering van het voer. Dit leidt tot enterische methaanproductie. Tegelijk bepaalt de voeropname (samen met de verteerbaarheid ervan) de hoeveelheid dierlijke mest.
- De afbraak van organische stof in de mestopslag: de hoeveelheid en de kwaliteit van de mest zijn afhankelijk van de voeropname. De wijze waarop de dierlijke mest wordt opgeslagen bepaalt op zijn beurt hoeveel methaan er uiteindelijk wordt gevormd.

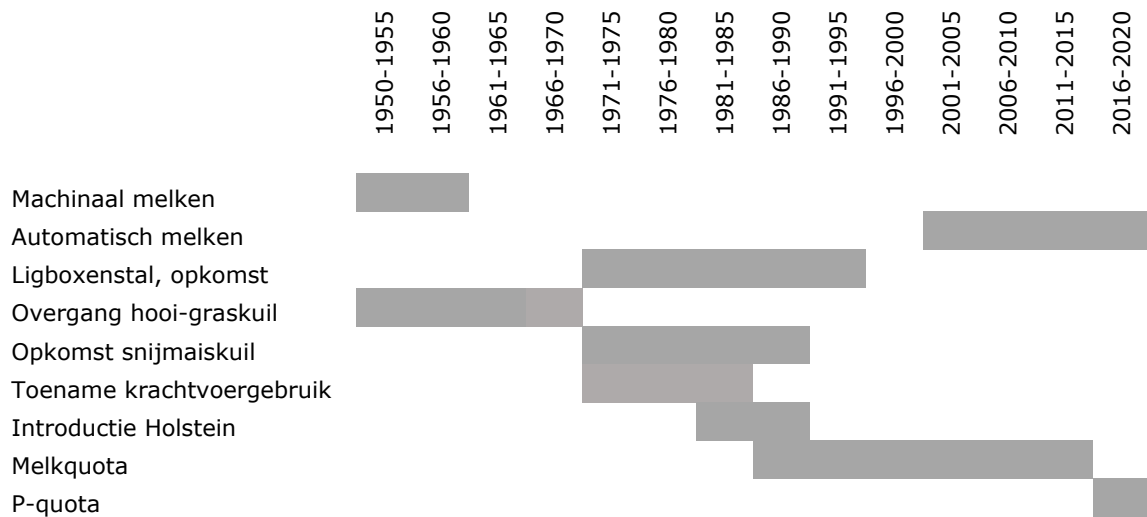


Figuur 1 De gebruikte data en de processtappen voor de berekening van de emissie van methaan uit pensfermentatie en mestopslag in de Nederlandse melkveehouderij.

De voeropname bepaalt in belangrijke mate de methaanvorming. De voeropname is sterk afhankelijk van 1) het type dier en met 2) het rantsoen (**Figuur 1**). De mesthoeveelheid is op zijn beurt weer afhankelijk van de voeropname. Methaanemissiefactoren, uitgedrukt als hoeveelheid methaan per organische stof die is opgenomen via het voer of die is geproduceerd als mest, zijn afhankelijk van het type voer, de hoeveelheid voer en het mestmanagement. Er worden in de berekening vier groepen dierhouderijgengetallen onderscheiden: dieren, rantsoen, stal/mestopslag en sector.

De veranderingen in de melkveehouderij in de afgelopen 70 jaren zijn enorm geweest. Van een zeer traditionele landbouw, met een begin van mechanisatie en met gebruik van beperkte hoeveelheden meststoffen en krachtvoer, heeft de veehouderij zich ontwikkeld tot een uiterst productieve sector, leunend op meer externe inputs, maar ook op verbeteringen in de ruwvoerproductie en op genetische vooruitgang. Al deze factoren hebben hun invloed op de voeropname en -verwerking door het melkvee, maar ook op de manier waarop wordt omgegaan met de mest van dieren. Om een goed beeld te schetsen van de methaanemissie is het dus nodig om eerst de belangrijke veranderingen die een rol spelen bij de methaanemissie in beeld te brengen en te kwantificeren. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van data op landelijk en sectoraal niveau, zoals verzameld in de statistiek. Voor gegevens over gewichten van dieren, verteerbaarheid van ruwvoer e.d. wordt gebruik gemaakt van data van onderzoeksinstituten. Er worden geen gegevens van individuele bedrijven gebruikt.

2.2 Ontwikkelingen in de melkveehouderij



Figuur 2 De belangrijkste ontwikkelingen in de melkveehouderij vanaf 1950. Bron: diverse literatuur en gesprekken.

In de afgelopen 70 jaren heeft de melkveehouderij zich sterk ontwikkeld. De mechanisatie is direct na de tweede Wereldoorlog sterk op gang gekomen. Naast het mechaniseren van landwerk, hoorde ook het machinaal melken daar bij. Het automatisch melken is vanaf 2000 een rol gaan spelen. Een aantal ontwikkelingen worden hier zeer kort beschreven en in **Figuur 2** samengevat (zonder de pretentie te hebben volledig te zijn).

Rantsoen:

Vanaf de jaren 50 zijn melkveehouders steeds meer overgeschakeld op de winning van graskuil in plaats van hooi. Hooi heeft tot in het begin van de jaren 70 nog wel een belangrijke plaats ingenomen in het ruwvoerrantsoen. De overgang van hooi naar graskuil heeft, met de bijbehorende korte veldperiode, samen met de hogere bemesting en het jonger oogsten van het gras (met name van de eerste snede) gezorgd voor een verbetering van het stalrantsoen: de verteerbaarheid en het eiwitgehalte stegen. Vanaf begin jaren 70 is de teelt van snijmais opgekomen, eerst in het zuiden van Nederland, maar in de loop van de jaren werd het overal geteeld met een maximum areaal van ongeveer 250 000 hectare in de jaren 90. Daarna is het licht afgenomen. Het krachtvoergebruik is in de afgelopen 70 jaren sterk toegenomen, met name in de periode van 1970 tot 1985. Deze ontwikkelingen hebben samen gezorgd voor een sterke verbetering van de kwaliteit van het rantsoen: de verteerbaarheid van het rantsoen is steeds gestegen, tegelijk zorgde de snijmais ervoor dat eiwitgehalten in het rantsoen niet te hoog werden.

Stal:

Een belangrijke stap is de introductie van de ligboxenstal. In de jaren 60 ontwikkeld door een Brabantse veehouder is het staltype daarna op nagenoeg alle veehouderijbedrijven gebouwd. Dat heeft grote gevolgen gehad. Men schakelde over van vaste mest en gier in de grupstal naar drijfmest onder de roosters en de koeien werden altijd in de stal gemolken. Met de introductie van de ligboxenstal werd ook bijvoeding tijdens de weideperiode eenvoudiger. Vanaf dat moment is er een gestage daling van de weidegang. Door het melken op stal en de afname van de weidegang nam de mesthoeveelheid in de kelders toe. Deze ontwikkeling heeft zich doorgezet tot in het tweede decennium van de eenentwintigste eeuw.

Productiviteit:

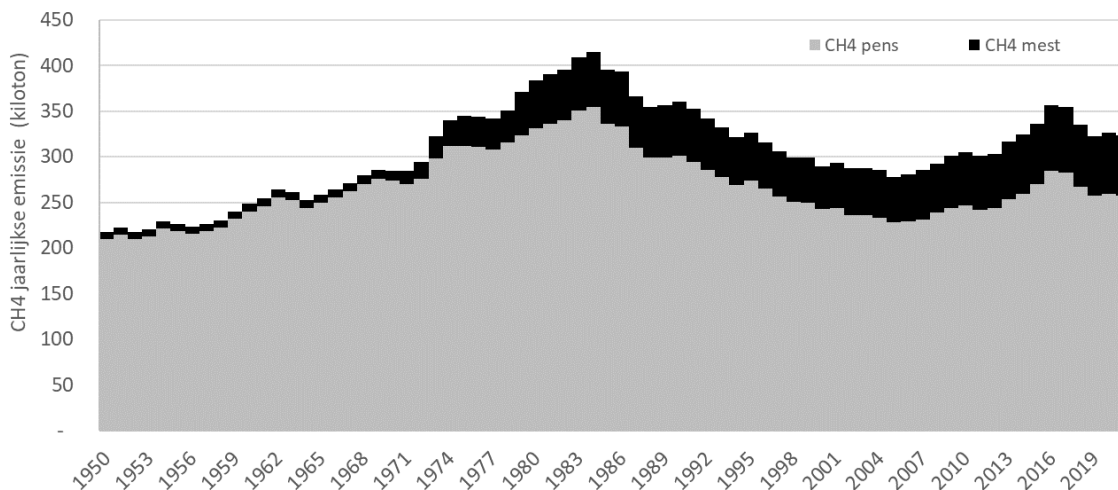
De veeverbetering, de fokkerij, heeft altijd veel aandacht gehad van de veehouders, maar heeft in de jaren 80 een enorme vlucht genomen door de introductie van hoogproductieve Holstein Friesian stieren. De traditionele Fries-Hollandse en Maas-Rijn-IJssel rassen werden in de loop van een paar jaren vervangen door Holstein Friesian. De totale melkproductie in Nederland nam daardoor sterk toe in de jaren 70, in combinatie met de uitbreiding van het aantal dieren. De groei van de melkproductie

werd een halt toegeroepen door de introductie van de melkquota. Die hebben een sterke invloed gehad op de bedrijfsvoering: het streven werd sterker gericht op de verhoging van de melkproductie per koe. Na het eind van de melkquota groeide het aantal koeien voor korte tijd. Daarna werd het ingeperkt door de fosfaatquota. In de laatste jaren is de aandacht door de quota weer sterk gericht op productieverhoging per koe. Dit heeft geleid tot grotere en zwaardere koeien, wat de mestproductie per koe deed toenemen, wat ook bijdroeg aan de grotere mesthoeveelheden in de kelders.

2.3 Jaarlijkse methaanemissie sinds 1950

De totale jaarlijkse emissie van methaan is in 1950 200 kiloton en neemt in de jaren 50 en 60 langzaam toe tot ongeveer 275 kiloton in 1970 (**Figuur 3**). Daarna is er een snelle stijging van de methaanemissie naar ruim 400 kiloton in 15 jaar tijd. In 1984 wordt de hoogste emissie bereikt met 415 kiloton. Daarna daalt de emissie naar ongeveer 280 kiloton per jaar in 2005, om daarna weer snel te stijgen naar een niveau van 350 kiloton in 2016. De laatste paar jaren is er weer een afname van de methaanemissie. De ontwikkeling vanaf 2005 verloopt synchroon met de ontwikkeling van het melkquotum en het aantal dieren. Vanaf 2007 is het melkquotum steeds verruimd met 0.5 % per jaar. Na de afschaffing van het melkquotum in 2015 bereikte het aantal koeien een top in 2016, om daarna weer af te nemen.

Het aandeel van methaan uit mest is vanaf 1970 beduidend groter dan daarvoor. Daarvoor zijn twee redenen aan te voeren. Ten eerste de opkomst van de ligboxenstallen met drijfmest, vooral in de periode van 1970 – 1990. De opslag van drijfmest is anaerob, anaerobe bacteriën die de organische stof in de mest afbreken vormen de methaan. Vaste mest is meer aerob en produceert daarom minder methaan. De tweede oorzaak van een toenemende methaanemissie uit mest is de afname van de beweiding. Mest die in de wei terecht komt ligt daar onder aerobe omstandigheden en produceert daardoor minder methaan. Vermindering van weidegang is een geleidelijk proces geweest maar heeft ook bijgedragen aan een toenemende hoeveelheid drijfmest in de opslag, en daaruit voorkomende methaanemissies.



Figuur 3 *Reconstructie van de jaarlijkse emissie van methaan van de Nederlandse melkveehouderij (melkvee en bijbehorend jongvee) in de periode 1950 – 2021. Berekening met GLEAM. De grijze staven zijn methaan van pensfermentatie, de zwarte staven zijn methaan uit mest.*

2.4 Methaanhoeveelheid in de atmosfeer sinds 1950

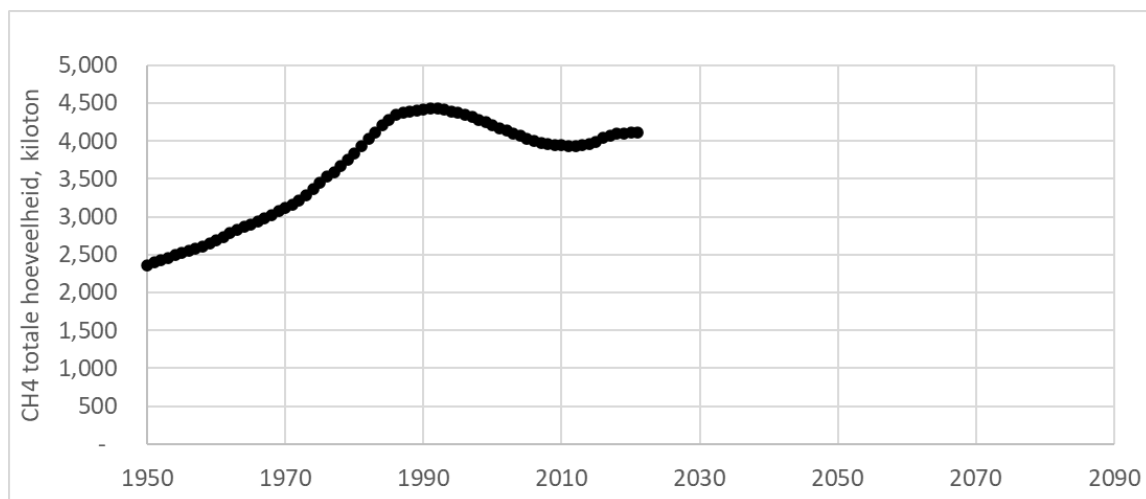
De jaarlijkse emissie van methaan zorgt voor een toename van de hoeveelheid in de atmosfeer. Door de korte levensduur van methaan wordt het ook weer relatief snel afgebroken (IPCC 5th Assessment Report, chapter 8: the physical background). De beste manier om het effect van jarenlange emissies van methaan en de bijbehorende afbraak in de atmosfeer weer te geven is door de totale hoeveelheid methaan jaarlijks te berekenen in plaats van een omrekening te maken naar CO₂-equivalenten.

Daarom wordt in dit rapport op basis van de jaarlijkse emissie uit hoofdstuk 2.3 en de kennis over de afbraak de totale hoeveelheid methaan in de atmosfeer als gevolg van de Nederlandse melkveehouderij berekend. Aangezien het hier om biogene methaan gaat, afkomstig uit vastgelegde CO₂ in plantaardig materiaal, hoeft het effect van extra CO₂ niet te worden meegenomen. De C is onderdeel van de korte koolstofkringloop.

Als de berekeningen van de totale methaanhoeveelheid begint in 1950, is het nodig om te weten wat hoeveel methaan aan het begin van 1950 in de lucht aanwezig was. Zonder deze startwaarde zou de berekening in 1950 uitgaan met een "schone" lucht, zonder enige methaan erin. Om de hoeveelheid methaan te bepalen die in de atmosfeer aanwezig was aan het begin van 1950, is een eenvoudige reconstructie gemaakt van de melkveehouderij over de periode 1900 – 1950. Een periode van 50 jaar is genoeg om een goede startwaarde te kunnen berekenen.

Met intervallen van steeds 5 jaar is de emissie van de melkveehouderij berekend op basis van de veehouderijgetallen (dierkenmerken, stal, beweiding, rantsoen, zoals beschreven in **Figuur 1**) van 1950 en de melkproducties en dieraantallen van de jaren 1900 – 1950. De veehouderij is ook de periode tussen 1900 en 1950 veranderd: de veestapel groeide langzaam en er was sprake van gestaag toenemende melkproducties per koe. Alleen rond de beide Wereldoorlogen is er sprake van een stagnatie of zelfs teruggang in melkproductie per koe.

In de berekening van totale methaanhoeveelheid door de Nederlandse melkveehouderij is rekening gehouden met de jaarlijkse afbraak van methaan. Een halfwaardetijd van 8.6 jaar betekent dat er van een hoeveelheid uitgestoten methaan jaarlijks ruim 8 % verdwijnt. Na een jaar is dan nog 92% over, na 2 jaar 85 %, na 3 jaar 78 % enzovoorts. Na 8.6 jaar is 50 % van de oorspronkelijke methaan nog over. In absolute zin verloopt dat proces steeds langzamer, want de afbraak betreft steeds 8 % van een kleinere hoeveelheid methaan.



Figuur 4 Reconstructie van de totale methaanhoeveelheid van de melkveehouderij in Nederland in de periode 1950 – 2021.

Op basis van de berekende jaarlijkse emissie van de periode van 1900 – 1950 en de jaarlijkse afbraak is de totale methaanhoeveelheid in 1950 berekend op ongeveer 2400 kiloton (**Figuur 4**) en groeide deze tot 1985 naar een hoeveelheid van bijna 4500 kiloton. Daarna bleef het korte tijd stabiel om daarna te gaan dalen naar een niveau van ongeveer 4000 kiloton. Vanaf 2014 is er weer sprake van een stijging naar 4100 kiloton.

2.5 Analyse van de methaanemissie

Welke factoren hebben nu de methaanemissie in het verleden bepaald en welke lessen zijn daaruit te trekken?



Figuur 5 Links: ontwikkeling van het aantal koeien, de totale melkproductie en de totale methaanhoeveelheid van 1950 tot en met 2021 in procenten t.o.v. 1950. Rechts: de ontwikkeling van de melkproductie per koe, de methaanemissie per koe (pens en mest), de methaanemissie per kg meetmelk (pens en mest) en de voerconversie (kg voer/kg meetmelk) van 1950 tot en met 2021 in procenten t.o.v. 1950.

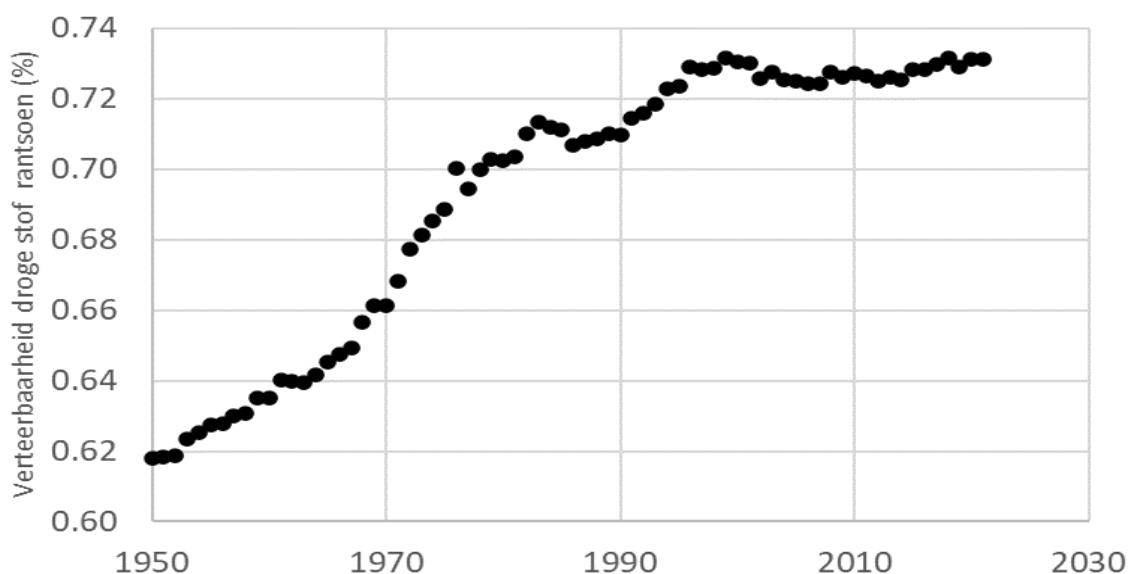
De linker grafiek van **Figuur 5** laat zien dat er op nationaal niveau een sterk verband is tussen het aantal dieren, de totale melkproductie en de totale methaanhoeveelheid. De drie lijnen van het aantal dieren, de hoeveelheid melk en de emissie van methaan kennen een vergelijkbaar verloop. Dat wekt de indruk dat de methaanemissie vooral wordt bepaald door het aantal dieren. De lijnen lopen echter wel uit elkaar, vooral in de periode vanaf 1970. Dat betekent dat het aantal dieren niet de enige factor is die een rol speelt. Het uit elkaar lopen van de lijnen van het aantal koeien en van de melkproductie is een gevolg van de stijgende productie per koe. Dat wordt getoond in de rechter grafiek van **Figuur 5**: de meetmelkproductie per koe in 2021 is 165 procentpunten hoger dan in 1950.

In de rechtergrafiek is te zien dat de methaanemissie per koe veel minder sterk is gestegen dan de melkproductie. Er is minder voer nodig per kg geproduceerde melk, deze bedraagt in 2021 ongeveer 50 % van de hoeveelheid in 1950. Als gevolg daarvan is ook de methaanemissie (uit pens en mest samen) per kg meetmelk sterk gedaald, bijna even sterk als de voerconversie. In 1950 bedroeg de methaanuitstoot nog 40 gram per kg meetmelk, in de periode van 70 jaar is het bijna gehalveerd tot een niveau van iets minder dan 22 gram per kg in 2021.

Er zijn twee oorzaken voor de daling van de voerconversie en daarmee van de daling van de hoeveelheid methaan per kg meetmelk:

- de stijging van de melkproductie per koe ging continu door vanaf 1950. De voeropnamecapaciteit speelde daarbij een belangrijke rol: in de loop van de tijd zijn de dieren groter geworden en is daarmee de voeropnamecapaciteit toegenomen. Waren koeien in 1950 nog ongeveer 500 kg, tegenwoordig is het gewicht rond de 650 kg. In de toekomstverkenningen van de KEV wordt uitgegaan van koeien van 700 kg. Door de hogere productie zijn er minder dieren nodig om een zelfde hoeveelheid melk te produceren.
- het rantsoen veranderde in de loop van de jaren waardoor de algehele verteerbaarheid van het rantsoen steeg (**Figuur 6**). Een stijging van de verteerbaarheid van het voer gaat

gepaard met een daling van de methaanemissie tijdens de pensfermentatie. De stijging van de verteerbaarheid van het rantsoen is vooral zichtbaar in de periode van 1950 tot 1985. Daarna vlakt het af, om vanaf 2000 te stagneren en rond de 73% te blijven hangen. De verteerbaarheid van losse voedingsproducten steeg nog wel, maar door het voeren van minder vers gras en meer geconserveerd ruwvoer steeg de algehele verteerbaarheid van het rantsoen niet of nauwelijks.



Figuur 6 De verteerbaarheid van de droge stof van het rantsoen van melkvee in de periode van 1950 tot en met 2021.

De belangrijkste reden voor de lagere emissie is dus vooral terug te voeren op verbetering van de productiviteit per dier: een resultaat van gerichte veeverbetering en verbetering van de verteerbaarheid van het voer. De negatieve effecten van meer mest in de stal en de hogere methaanemissie van drijfmest ten opzichte van vaste mest dempen deze trend van lagere emissies per kg melk een beetje, maar de positieve effecten van productiviteit en beter verteerbaar voer overheersen.

3 Methaanemissie in de toekomst

3.1 Klimaatbeleid en maatregelen

Vermindering van de methaanemissie van rundvee krijgt veel aandacht omdat het een belangrijke mogelijkheid is om de broeikasgasemissies uit de veehouderij terug te dringen. Er zijn diverse lijnen waarlangs de emissie verminderd kan worden. De emissies per kg melk konden worden verminderd door verbetering van de productiviteit van dieren en de betere verteerbaarheid van het voer. Maar aan de relaties tussen voeropname en methaanemissie uit de pens en de relatie tussen mestproductie en de methaanemissies in de opslag is in het verleden niets gedaan. De maatregelen die in het kader van vermindering van broeikasgassen worden genomen richten zich vooral op deze laatste twee relaties:

Verminderen van methaanemissie bij pensfermentatie

Rantsoenen:

De kwaliteit van het voer is essentieel op twee manieren. Ten eerste geldt dat, binnen een traject van ongeveer 45 tot 85 procent verteerbaarheid van de droge stof, hoe beter de verteerbaarheid van het voer, hoe meer de koe de aanwezige energie kan benutten en hoe minder organische stof er in de mest terecht komt (minder methaan uit de mest). Dat is ook al duidelijk gebleken uit de reconstructie van de emissies sinds 1950, waar onder meer de betere verteerbaarheid heeft geleid tot een daling van de totale methaanemissie per kg melk (**Figuur 5**). Het tweede aspect dat een rol speelt, is het feit dat de methaanemissie per kg opgenomen voer afhankelijk is van het type voer en de kwaliteit van het voer (Sebek et al., 2016; IPCC, 2019a). Mais staat bekend als een product met een lagere methaanemissie per kg opgenomen voer dan gras. Suikerrijke producten kennen weer een relatief hoge emissie per kg opgenomen voer. Door een gerichte keuze van de voedermiddelen in het rantsoen kan de methaanemissie worden verlaagd. Er is veel onderzoek gedaan naar de methaanemissie van opgenomen gras. Het blijkt dat jonger gras minder emissie per kg opgenomen voer geeft dan ouder gras (Warner et al., 2015) en recent onderzoek geeft een indicatie dat vers weidegras (bij opname in de weide zelf) een lagere methaanemissie geeft dan gras bij stalvoeren en geconserveerd gras (Klootwijk, pers. med.). De besparingen liggen rond de 10 % (Bannink, pers. med.).

In een aantal gevallen bestaat er wel een risico op afwentelingen: jong gras kan veel eiwit bevatten, waardoor de emissies van lachgas en ammoniak toenemen en ook de emissies voor de productie van het gras kunnen hoger worden (eigen berekeningen); meer snijmais in het rantsoen leidt tot meer methaan in de mest (Hellwing et al., 2014).

Aanpassing van het rantsoen kan relatief snel worden ingevoerd, het vergt beperkte investeringen en aanpassingen op basis van voortschrijdende inzichten zijn snel te maken.

Toevoegmiddelen:

Er is in de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar het gebruik van toevoegmiddelen om de methaanemissie te verminderen. Er zijn uit de veelheid aan middelen drie naar voren gekomen die een blijvend effect hebben en die veilig geacht worden voor gebruik. Het gaat om plantaardige olie (zonnebloemolie, raapolie, lijnolie e.d.), nitraat en 3NOP. Het gebruik van zeewier wordt hier buiten beschouwing gelaten, omdat onvoldoende is vastgesteld of zeewieren gebruikt kunnen worden zonder risico's voor de diergezondheid en de voedselveiligheid. Besparingen van 10 – 30 % van de methaanemissie door pensfermentatie zijn mogelijk. Combinatie van toevoegmiddelen kan mogelijk nog tot sterkere reducties leiden. Dijkstra et al. (2018) noemen een bovengrens van 39 %. Ook het gebruik van toevoegmiddelen is een maatregel die snel ingevoerd kan worden en geen lange termijn investeringen vergt. Er zijn eenvoudig aanpassingen te maken op basis van voortschrijdende inzichten.

Fokkerij:

Er zijn mogelijkheden om via fokkerij dieren te selecteren die een lagere methaanemissie per kg opgenomen voer realiseren. De verwachtingen daarvan variëren, maar op de langere termijn (2050) zijn besparingen van 5 - 15 % mogelijk (De Haas et al., 2021).

Er is ook een mogelijkheid om via fokkerij de productiviteit van de dieren te verhogen en daarmee de methaanemissie per kg melk verder te verminderen (De Haas et al., 2021). Dit vereist een stijging van de voeropname per koe en een goede regulering van het rantsoen. De keerzijde is dat de vleesproductie per kg geproduceerde melk afneemt, wat bij de huidige consumptie gecompenseerd moet worden via gespecialiseerde rundvleesproductie met een hoge footprint (Vellinga en de Vries, 2018). De optie van productiviteitsverbetering via fokkerij wordt impliciet meegenomen, omdat in alle scenario's een stijging van de productie per koe wordt verondersteld.

De maatregel vergt een langere aanlooptijd. Er zijn momenteel nog geen stieren geselecteerd die minder methaan produceren. Het onderzoek loopt nog volop. Als er geschikte stieren zijn, kan de introductie snel plaatsvinden.

Verminderen van methaanemissies bij opslag van mest

Stal en weide:

Toename van weidegang is hiervoor al genoemd, omdat weidegras een lagere enterische methaanemissie heeft per kg opgenomen voer. Ook is de methaanemissie uit weidemest veel lager dan uit stalmest (slechts 6 % ten opzichte van de stalemissie per eenheid uitgescheiden organische stof). Wel is er bij beweiding sprake van een toename van de emissie van lachgas uit urineplekken en meer kans op nitraatuitspoeling (Van Bruggen et al., 2021). Meer beweiden kan snel worden geïntroduceerd en vergt beperkte investeringen.

Naar stallen met externe mestopslagen:

Methaan ontstaat door anaerobe omzetting van organische stof in drijfmest. Door mest niet in de stal op te slaan kan methaanemissie in de stal vermeden worden. Echter, mest komt dan in een mestopslag elders. Omdat dit verplicht afgedekt moet zijn zal de emissie van ammoniak in opslag nog steeds beperkt zijn, maar dit zal niet de methaanvorming voorkomen. Als tijdens opslag geen methaanemissie-reducerende maatregelen getroffen worden, is het probleem verplaatst van stal naar opslag. Naast opslagtijd is temperatuur van belang, bij een lage temperatuur emitteert minder ammoniak en methaan. De reductie van koelen wordt op basis van de Arrheniusvergelijking ingeschat op 7% per graad Celsius koeling (Sommer et al., 2006). Bij een temperatuur van minder dan 8 graden Celsius is er niet of nauwelijks meer sprake van methaanvorming. De koeling van methaan vergt energie, door warmteterugwinning en gebruik van hernieuwbare energie kan op termijn de emissie daarvan geheel worden teruggebracht (Sefeedpari et al., 2021). De mogelijke reductie van methaan wordt ingeschat op 25 tot 75 procent ten opzichte van de huidige situatie.

Wanneer koelen niet kan, of te duur wordt ingeschat kan ook besloten worden het gevormde CH₄ te oxideren (zie hoofdstuk 3.1) tot CO₂. Er zijn op dit moment twee technieken om methaan te oxideren: bacteriële omzetting en verbranding. Bacteriële omzetting kan door de lucht door een biofilter of een veldfilter te leiden. Het verbranden gebeurt met een affakkelininstallatie. Afhankelijk van de toegepaste techniek kan dit een reductie opleveren van 60-90%. (Groenestein, pers. med.)

Mestvergisting in plaats van opslag is ook een goede methode om methaanemissie te voorkomen. Ook bij de vergisting van dierlijke mest is een snelle afvoer uit stal/opslag naar de vergister essentieel. In dat geval kan nagenoeg de volledige methaanemissie worden voorkomen. Er is dan alleen sprake van een gemiddelde methaanlekkage uit de vergister van 4 %. In het geval de mest langere tijd in de stal aanwezig blijft of in een tussenopslag, is de mate van voorkomen van methaanemissie veel geringer. Deze wordt ingeschat op de elft van de potentiële reductie. Bovendien kan de gevormde methaan als energiebron worden gebruikt. Deze maatregel is kostbaar en momenteel alleen aantrekkelijk met subsidies.

Het aanzuren van de mest is ook onderzocht. Aanzuren vereist grote hoeveelheden zuur, omdat de mest een sterk bufferende materie is. Gebruik van zwavelzuur wordt afgeraden (CDM, 2014), vanwege de toevoeging van zwavel, die bij het uitrijden van de mest weer op het land terecht komt en zwaveldioxidevorming tot gevolg heeft. Ook kost de productie van het zuur energie en is aanvullende bekalking nodig wanneer deze mest wordt uitgereden. Een andere methode om methaanverlies uit opslagen te voorkomen is het methaan afvangen en omzetten in CO₂ (methaanoxidatie).

Het aanleggen van externe mestopslagen vergt aanzienlijke investeringen die alleen haalbaar zijn als er sprake is van nieuwbouw of forse renovatie van rundveestallen. Deze maatregel kan daarom niet snel op grote schaal worden ingevoerd. Als de aanpassingen naar een externe opslag en de aanleg van een koeling of oxidatie-techniek eenmaal zijn gerealiseerd, kan deze niet snel weer worden veranderd, tenzij de investeringen versneld worden afgeschreven.

Verminderen methaanemissie via dieraantallen:

Het verminderen van het aantal dieren is een zeer directe maatregel die meteen kan werken: minder koeien betekent minder voeropname en minder mest. Bij gelijkblijvende consumptie in Nederland en de Europese Unie zal de productie van melk zich (deels) gaan verplaatsen naar andere landen, waardoor de methaanemissie uiteindelijk gelijk blijft.

Onbekend:

Er gebeurt veel onderzoek naar methaanemissie bij herkauwers. Er is onderzoek naar het microbiom en de invloed daarvan op de methaanemissie (<https://globalresearchalliance.org/research/livestock/networks/rumen-microbial-genomics-network/>). In Nieuw Zeeland wordt onderzoek gedaan naar vaccinering (<https://www.nzagrc.org.nz/domestic/methane-research-programme/methane-vaccine/>). Het is nu (nog) niet mogelijk om van deze nieuwe en onbekende zaken een inschatting te geven van de reductie. Het geeft aan dat er in de toekomst nog andere mogelijkheden kunnen zijn voor reductie van methaanemissies.

3.2 Scenario's en maatregelpakketten

Aan de hand van het overzicht van maatregelen uit hoofdstuk 3.1, zijn een aantal pakketten samengesteld die elk een bepaalde mate van reductie bereiken. De maatregelen concentreren zich op de twee bronnen van methaanvorming: de pensfermentatie en de vertering van organische stof in de mest.

Scenario 1: Geen actieve opstelling:

Dit "nul"-pakket gaat uit van de autonome ontwikkeling zoals deze ook wordt toegepast bij de Klimaat- en Energieverkenning 2021 (de KEV2021). In de KEV2021 is een autonome ontwikkeling geschetst op basis van vastgesteld en voorgenomen beleid tot 2040. Deze autonome ontwikkeling tot 2040 betreft een lichte daling van het aantal dieren, een autonome verhoging van de productiviteit per dier, geen aanpassingen van stallen en opslagen, beweiding blijft evenveel toegepast als nu en er wordt geen gebruik gemaakt van toevoegmiddelen aan het voer. Voor de periode na 2040 wordt de productiviteitsstijging voortgezet, maar worden geen aanpassingen gemaakt in dieraantallen. In feite is dit een pakket waarbij nauwelijks actie voor vermindering van broeikasgassen is vereist, iedereen doet wat hij vooraf ook al deed. Er wordt alleen verder gewerkt aan optimalisering van de bedrijfsvoering. Reducties van de methaanemissie zijn alleen een gevolg van een daling van het aantal dieren en van de iets hogere melkproductie per koe.

De ontwikkelingen door vastgesteld en voorgenomen beleid zijn het vertrekpunt voor de navolgende scenario's. De deelname van bedrijven aan het uitvoeren van maatregelen in de scenario's is een belangrijke factor die de mate van reductie zal bepalen. Zonder enige deelname is er geen sprake van reductie van emissies, bij volledige deelname is de reductie maximaal. In de hierna volgende scenario's is gewerkt met een deelname van 100 % aan de maatregelen. Soms duurt het een tijd voor alle veehouders deelnemen, zeker als het gaat om aanpassingen aan stallen en externe mestopslagen. Bij eenvoudige maatregelen is een periode van 4 tot 5 jaar aangehouden om te komen tot deelname van alle veehouders. Uiteraard zal dat geen werkelijke situatie zijn, maar het beschrijft de potentie van de maatregelen.

Ook zullen bij de introductie van maatregelen nog praktische bezwaren zijn te overwinnen en zal de introductie de nodige investering vergen in tijd, kennis en geld. Al deze overwegingen blijven hier buiten beschouwing.

Scenario 2: Intensief verminderen van methaan uit de pens door aanpassingen in rantsoen, gerichte fokkerij en gebruik van toevoegmiddelen

Dit scenario gebruikt de ontwikkeling van de melkproductie en van het aantal dieren, zoals in scenario 1 is gebruikt.

De vermindering van methaanemissie uit pensfermentatie vindt plaats langs drie sporen:

- Rantsoen: Zonder concrete wijzigingen aan te geven in het rantsoen wordt een bandbreedte van methaanreductie van 0 tot 10 % aangenomen. De aanpassingen beginnen in 2022 bij 25 % van de veehouders en worden in vier jaar tijd door alle bedrijven overgenomen.
- Fokkerij: de eerste effecten van minder methaan door fokkerij zijn merkbaar in 2027, hetgeen betekent dat in 2025 al stieren beschikbaar moeten zijn. Vanaf 2027 daalt de methaanemissie per kg opgenomen voer met 0.22 tot 0.68 % per jaar, resulterend in een daling van 5 tot 15 % in 2050.
- Toevoegmiddelen: het gebruik van een effectief toevoegmiddel begint in 2023 met 25 % van de veehouders, jaarlijks stijgt de deelname met 25 % en is volledig in 2026. De reductie van methaan is minimaal 20 % en maximaal 30 %.

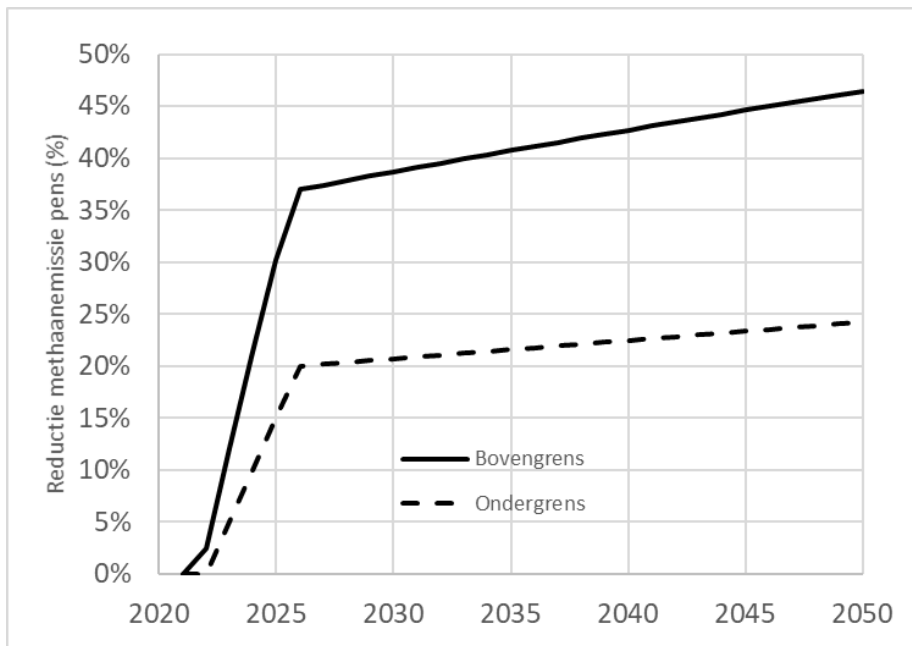
Een overzicht van de maatregelen staat in **Tabel 1**.

Tabel 1 De scenario's om de methaan uit pensfermentatie en mest te verminderen. Onder- en bovengrens van de reductie en uiteindelijke deelname aan maatregelen in procenten.

Reductie methaan in mest	Ondergrens	Bovengrens	Toepassing	Toelichting
Stallen met externe opslag van mest			100%	Beginnend in 2025, jaarlijks 4 %
Bij externe opslag worden de volgende maatregelen toegepast:				
Koelen	25%	75%	40%	
Oxideren	60%	90%	40%	
Vergisten	46%	96%	20%	Late aanvoer van mest naar vergister, verminderde reductie methaan
Weiden (fractie mest in weide)	11%	35%	100%	Start toename beweiding in 2023, 3% meer mest in weide per jaar, 35% bereikt in 2030.
Reductie methaan in pens				
Fokkerij	0.22%/jaar Totaal 5%	0.68%/jaar Totaal 15%	100%	Begin effect 2027, doorlopend tot 2050
Toevoegmiddelen	20%	30%	100%	Introductie 2023 met 25 %, 2026 deelname 100%
Rantsoen	0%	10%	100%	Introductie 2022 met 25 %, 2025 deelname 100 %

Aangezien rantsoenaanpassingen en de inzet van een toevoegmiddel snel ingevoerd kunnen worden is er in de eerste jaren sprake van een snelle reductie, die vanaf 2027 langzaam verder toeneemt door de resultaten van de fokkerij (**Figuur 7**). De ondergrens van de reductie in 2050 is dan 24 % en de bovengrens 46 %.

Deze maatregelen zijn namelijk niet additief, maar werken op elkaar in. Een verminderde emissie door fokkerij maakt het effect van een toevoegmiddel en rantsoenaanpassingen ook kleiner. De maximale reductie is daarom niet $10 + 30 + 15 = 55\%$, maar $(1 - 0.9 \cdot 0.7 \cdot 0.85) = 46\%$.



Figuur 7 De minimale en maximale reductie van methaan uit pensfermentatie bij een volledige deelname van veehouders in de periode van 2020 tot 2050 (Scenario 2).

Scenario 3: Intensief verminderen van methaan uit mest met maatregelenpakket verwijderen, koelen, afdekken, vergisten en weiden.

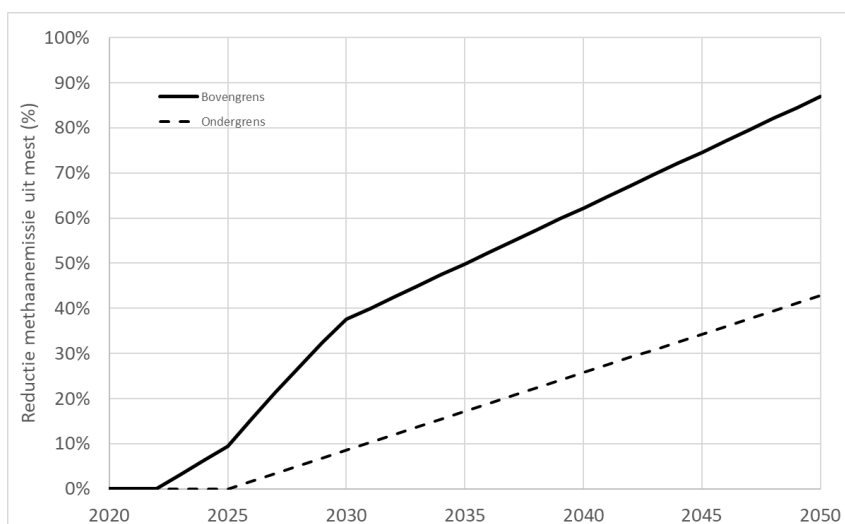
Dit scenario gebruikt de ontwikkeling van de melkproductie en van het aantal dieren, zoals in scenario 1 is gebruikt.

De meest effectieve manier om emissies uit mest in de stal te verminderen bestaat uit een combinatie van zeer frequente en schone afvoer (voor ammoniak om de 1 a 2 uur, voor methaan kan dat minder frequent en minder schoon) met een afgesloten externe mestopslag. De externe mestopslag is soms al kouder dan de opslag onder de vloer. Daarom staat bij methaan uit mest één maatregel centraal: alle stallen worden omgebouwd naar systemen met **een externe afgedekte/afgesloten opslag van mest**. Dat wordt gecombineerd met **dagverse ontmesting**.

In dit scenario is geen onderscheid gemaakt tussen stallen met vaste mest en gier en stallen met drijfmest. Ook de gier kan, door vermenging met enige mest, een bron van methaan vormen. Er wordt volop ingezet op de vermindering van methaan uit drijfmest door koelen en oxidatie of door mestvergisting. Deze stalaanpassing vindt plaats in het tempo van nieuwbouw/renovatie. De implementatieperiode is dan ook 25 jaar, met een groei van 4 % per jaar. De toepassing van de maatregelen koeling, oxidatie en mestvergisting worden gekoppeld aan de aanpassing van de stal en opslag. Mestvergisting is een dure methode om methaan te verminderen, het zal in beperkte mate worden toegepast. Van alle bedrijven met drijfmest is aangenomen dat 40 % gebruik zal maken van koelen, 40 % van oxideren en 20 % van mestvergisting.

Door beweiding zal de methaanemissie dalen. De hoeveelheid mest in de stal neemt af, de methaanemissie van weidend vee is lager dan van vee op stal. Wel is sprake van een hogere emissie van lachgas. Door beweiding kan ook de uitspoeling van nitraat toenemen, met name op de drogere zandgronden en beweiding tot laat in het groeiseizoen. De potentie van beweiding is relatief beperkt, omdat bij volledige weidegang (6 maanden, dag en nacht weiden, alleen mest in de wachtruimte) nog steeds 55 % van het mestvolume in de kelder terecht komt (ten opzichte van 85-90 % in de huidige situatie). De maatregel heeft dus betrekking op slechts een deel van de mest. In deze maatregel is uitgegaan van een groei van het mestvolume in de weide tot van 11 % in 2023 tot 35 % in 2030. Deze uitbreiding komt neer op ongeveer 2300 uur weidegang (120 dagen dag en nacht weiden, 180 dagen met gemiddeld 13 uur per dag weiden).

Een overzicht van de maatregelen staat in **Tabel 1**.



Figuur 8 De minimale en maximale reductie van methaan uit mestopslagen bij een volledige deelname van veehouders in de periode van 2020 tot 2050 (Scenario 3)

Door de snelle toename van weiden in het maximale scenario voor reductie van methaan uit mest, is sprake van een snelle toename van de reductie tot 2030 (**Figuur 8**). Deze gaat veel sneller dan wanneer alleen wordt gewerkt met het verminderen van methaan uit stalmest en de beweiding niet verandert. Een (niet getoond) scenario waarbij de beweiding niet toeneemt, maar de reductie van methaan uit mest maximaal is door koelen, oxideren en vergisten, komt in 2050 slechts 2 % lager uit dan het hier getoonde maximale scenario. De bovengrens van de methaanreductie is 87 % in 2050 en de ondergrens 43 %.

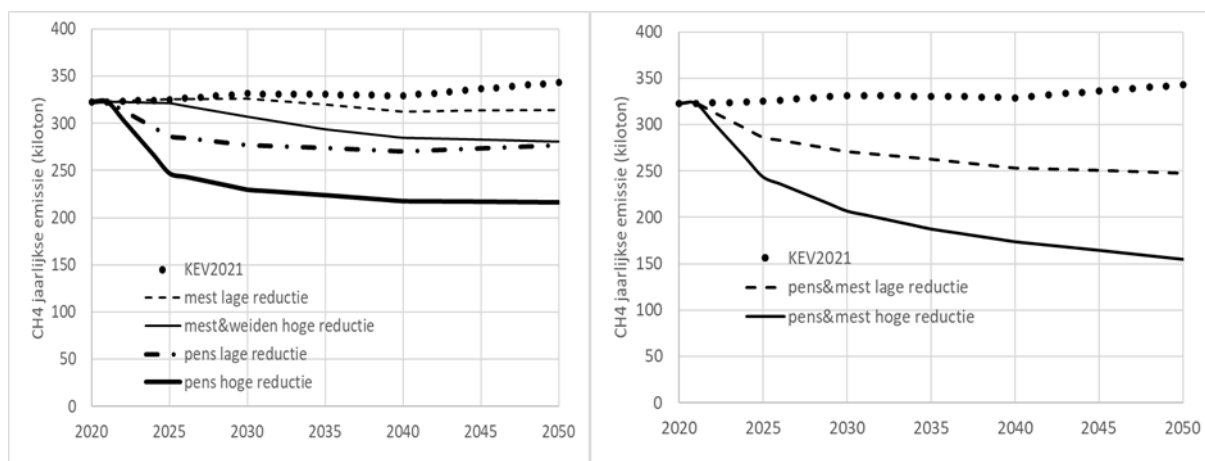
Scenario 4: Intensieve aanpak om zowel methaan uit de pens als uit de mest te verminderen.

Dit scenario gebruikt de ontwikkeling van de melkproductie en van het aantal dieren, zoals in scenario 1 is gebruikt.

De maatregelen uit de pakketten maatregelen van voer (Scenario 2) en stal/opslag (Scenario 3) worden gesommeerd. Er is een kleine interactie mogelijk in het geval van beweiding, omdat daardoor zowel het mestvolume als het rantsoen veranderen. In de berekeningen van de reductie van de methaanemissie zijn beide veranderingen doorgevoerd in het gecombineerde scenario.

3.3 Resultaten maatregelpakketten

3.3.1 Ontwikkeling van de jaarlijkse methaanemissies



Figuur 9 De jaarlijkse methaanemissie van de melkveehouderij in kiloton methaan in zes scenario's vanaf 2020 tot 2050. Links; de jaarlijkse emissies bij lage en hoge reductie bij maatregelen gericht op methaan uit de pens (Scenario 2) en uit mest (Scenario 3). Rechts: de jaarlijkse emissie bij gecombineerde maatregelen om de emissie uit pens en mest te verminderen (Scenario 4). In beide figuren is de methaanemissie zonder actieve maatregelen (Scenario 1: Klimaat en Energie Verkenning, KEV, 2021) weergegeven.

De resultaten van de doorrekening van de scenario's met GLEAM staan in **Figuur 9**. Het scenario 1, waarbij geen maatregelen worden genomen, leidt tot een lichte stijging van de methaanemissies. De lichte daling van het aantal koeien zorgt weliswaar voor een beperkte daling van de methaanemissie, maar dit wordt meer dan gecompenseerd door de hogere methaanproductie per koe door de hogere melkproductie, de daarbij behorende grotere, zwaardere koeien en daarmee de hogere voeropname per koe. De jaarlijkse methaanemissie stijgt nog met 20 kiloton tussen 2020 en 2050, een stijging van 6%. Er is wel sprake van een daling van de emissie per kg melk, maar door het grotere melkvolume stijgt de totale emissie.

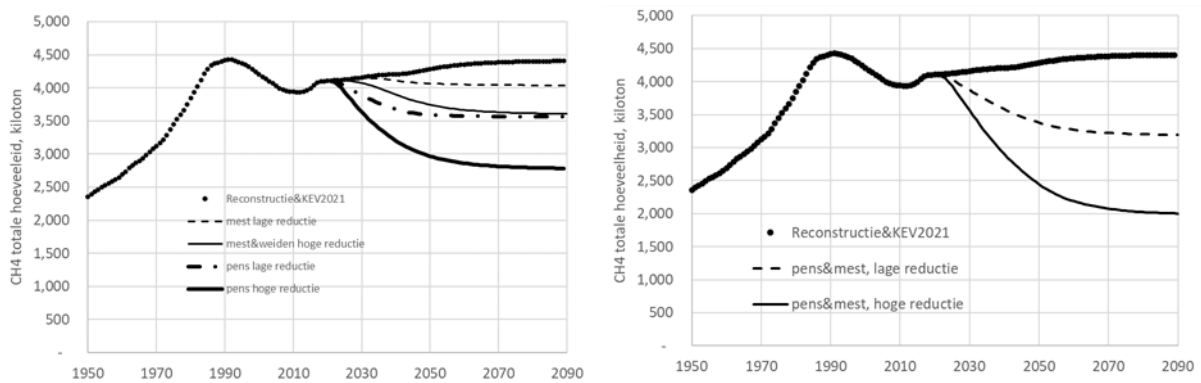
Het scenario 2, waarbij volop wordt ingezet op beperking van methaan uit de pens begint vanaf het jaar 2022 effectief te worden en zorgt vanaf dat moment voor een forse daling van de emissies. Dat wordt veroorzaakt door de snelle introductie van het toevoegmiddel en de aanpassingen in het rantsoen van de dieren. Daarna blijft de emissie nog gestaag dalen door de resultaten van de fokkerij, koeien produceren steeds minder methaan per kg opgenomen voer. Bij het scenario met de lage reductie daalt de jaarlijkse emissie van 326 naar 277 kiloton, in het geval van de hoge reductie, daalt de jaarlijkse emissie naar 216 kiloton. De uiteindelijke reductiepercentages zijn een combinatie van de ontwikkelingen in dieraantallen, melkproductie (zoals beschreven in de Klimaat en Energie Verkenning) en de reducties door het treffen van maatregelen.

Het scenario 3, dat gericht is op mest, begint pas vanaf 2026 te zorgen voor lagere emissies. De daling is minder sterk dan bij het pens-spoor. Hoewel het reductiepercentage van methaan uit mest veel groter is, is de methaanhoeveelheid uit mest nog geen kwart van die uit de pens. Het effect van de mestmaatregelen op de totale hoeveelheid methaan is daarom kleiner. De uiteindelijke jaarlijkse methaanemissie daalt naar 314 tot 280 bij de lage en de hoge reductie.

Het pens-mest-scenario combineert de maatregelen uit de beide voorgaande scenario's (**Figuur 9**, rechts) en zorgt voor een daling van de jaarlijkse emissies van 326 naar 248 tot 154 kiloton bij respectievelijk de lage en de hoge reductie. In het meest vergaande scenario is er een daling van 52 % van de jaarlijkse methaanemissie ten opzichte van de jaarlijkse emissie in 2021.

Als er geen maatregelen genomen zouden worden (scenario 1), zou de jaarlijkse methaanemissie uitkomen op 348 kiloton. Ten opzichte van scenario 1 zou de maximale reductie zelfs 56% bedragen.

3.3.2 Ontwikkeling van de totale hoeveelheid methaan



Figuur 10 De reconstructie van de totale hoeveelheid methaan van de melkveehouderij van 1950 tot en met 2020 in kiloton methaan en de vier scenario's vanaf 2020 tot 2090. Links; de cumulatieve emissies bij lage en hoge reductie bij maatregelen gericht op methaan uit de pens (dikke getrokken en stippellijn, scenario 2) en mest (dunne getrokken en stippellijn, scenario 3)) en. Rechts: de totale hoeveelheid methaan bij gecombineerde maatregelen om de emissie uit pens en mest te verminderen (getrokken en stippellijn, scenario 4). In beide figuren is het historisch verloop en de toekomstige methaanemissie zonder actieve maatregelen (scenario 1, *Klimaat en Energie Verkenning, KEV, 2021*) weergegeven (bovenste lijn, stippels).

In de scenarioberekeningen van de jaarlijkse emissies zijn de effecten tot en met 2050 in beeld gebracht. Omdat de effecten van die verlaagde emissie nog lang doorwerken is er bij de cumulatieve emissies voor gekozen om het effect tot en met het jaar 2090 te laten zien. Daarvoor zijn de jaarlijkse emissies van 2050 constant gehouden tot en met 2090. De totale methaan hoeveelheden, gecorrigeerd voor de afbraak van reeds aanwezige methaan in de atmosfeer, zijn weergegeven in **Figuur 10**. Het passieve scenario 1 zoals beschreven door de KEV2021 leidt tot een lichte stijging van de totale methaanhoeveelheid van 4104 naar ruim 4400 kiloton (**Figuur 10**), een stijging van 7%. Het pens-scenario 2 zorgt voor een daling met een bandbreedte van 3560 tot 2780 kiloton, een daling van 13 tot 32 %. Het mestscenario 3 zorgt voor een afname met een bandbreedte van 4040 tot 3560 kiloton, een daling van 2 tot 12 %. Als de maatregelen van pens en mest beide volop worden ingezet, kan de cumulatieve hoeveelheid methaan dalen tot een bandbreedte van 3200 tot 2000 kiloton, een daling van 22 tot 51 %. In het meest vergaande scenario is de cumulatieve eindhoeveelheid van 2000 kiloton methaan lager dan de hoeveelheid methaan uit 1950.

4 Discussie

De pakketten van maatregelen die in de scenario's gebruikt worden zijn relatief eenvoudig, maar het succes ervan hangt af van de mate waarin het zal worden toegepast. Van de voermaatregelen zijn de aanpassing van het rantsoen en de fokkerij relatief eenvoudig door te voeren. Daar zijn weinig kosten aan verbonden. Het gebruik van het een effectief toevoegmiddel zal leiden tot een stijging van de kostprijs, want er staat niet meer melk tegenover. De prijs van dergelijke producten is op het moment van schrijven nog niet bekend.

De maatregelen om de emissies van mest te verminderen zijn waarschijnlijk duurder t.o.v. maatregelen die gericht zijn op pensfermentatie. De aanpassingen van de stal kunnen dan mogelijk plaatsvinden wanneer een verbouwing of nieuwbouw aan de orde is, maar het is niet bekend wat de kosten zullen zijn van een externe opslag ten opzichte van kelders onder de stal. Het ruimtebeslag op het erf kan groter worden. Daar komen dan nog de kosten bij van het goed dicht maken van de opslagen en, in geval van drijfmest, de installaties om de mest te koelen en te oxideren. Daarnaast zijn er nog dagelijkse kosten om de installaties te laten draaien. Tegelijk is de emissiereductie door deze maatregelen beperkter dan die van de voermaatregelen.

Er is nog steeds sprake van verdere ontwikkeling van de genoemde technieken. Het is denkbaar dat ze goedkoper en effectiever worden. Ook kunnen andere, betere technieken nog worden ontwikkeld. Een ander vraagstuk is de handhaving van de toepassing. Zowel over de bedrijfseconomische aspecten als de aspecten van handhaving worden in dit rapport geen uitspraken gedaan. Het doel van dit rapport is om te laten zien hoe sterk methaanemissie kan worden verminderd bij een brede toepassing van een aantal maatregelen.

Door Lesschen et al. (2019) is een verkenning uitgevoerd van de vermindering van emissies in de Nederlandse landbouw. Zij hebben drie scenario's toegepast die verschillen in de mate waarin ingrijpende maatregelen werden toegepast. Voor stallen zijn zij in alle scenario's uitgegaan van externe mestopslagen, waarbij op grote schaal gebruik wordt gemaakt van oxidatie van methaan. In aanvulling noemen zij een maatregel als het mogelijk afvangen van methaan bij ligboxen en het volledig afsluiten van stallen om alle methaan af te vangen. Om de methaanemissie uit de pens te verminderen hanteren ze een bandbreedte voor stijging van de melkproductie per koe van 20 – 120 kg per jaar en het gebruik van toevoegmiddelen die tot 30 % methaan verminderen. Voor fokkerij schatten zij hogere effecten in dan in deze studie, maximaal 22 % minder methaan per kg opgenomen voer. De reductie van methaan in de melkveehouderij komt bij Lesschen et al. (2019) uit op 42 tot 82 %, waarbij het laatste scenario uitgaat van volledig afgesloten stallen. Het midden scenario komt uit op 56 % reductie. Dat is iets hoger dan in deze studie (52 % voor het gecombineerde pens-mest-scenario met de hoge waarden voor de emissiereducties. Dat kan worden verklaard uit de lagere inschatting van het effect van fokkerij en door het niet opnemen van de maatregel om stallucht boven de ligboxen af te zuigen.

Spreading en onzekerheid in acht nemend, komen beide studies erop uit dat een halvering van de methaanemissie uit de melkveehouderij tot de mogelijkheden behoort bij volledige deelname van alle melkveehouders.

Hoewel dit rapport niets zegt over ammoniak, zijn de maatregelen in een aantal gevallen ook effectief voor het verminderen van ammoniakemissie. Externe opslagen in combinatie met zeer frequente mestafvoer uit de stal kan de emissie van ammoniak verminderen. Een hoogfrequente afvoer is voor ammoniak veel belangrijker dan voor methaan. Ook beweiding kan bijdragen aan een vermindering van de ammoniakemissie.

Het rapport besteedt alleen aandacht aan methaan. In een aantal gevallen kan er sprake zijn van afwentelingen. Bij het gebruik van nitraat als toevoegmiddel kan het eiwitgehalte van het rantsoen stijgen, bij het oogsten van jong, bemest gras kan de emissie van het geproduceerde gras sterk

stijgen en daarmee de winst bij pensfermentatie teniet doen, bij beweiding wordt de lagere methaanemissie teniet gedaan door een hogere emissie van lachgas. Ook is er een groter risico op nitraatuitspoeling bij beweiding. Het betekent dat bij de uiteindelijke keuze van maatregelen zorgvuldig gekeken moet worden naar de mogelijke neveneffecten.

5 Conclusies

Reconstructie methaan-emissie over de laatste 70 jaar:

- De jaarlijkse methaanemissie uit de Nederlandse melkveehouderij vertoont een vrij continu stijgende lijn vanaf 1950 tot circa 1984. Vanaf 1984 vertoont de jaarlijkse methaanemissie een dalende lijn tot ongeveer 2007. De jaarlijkse emissie neemt daarna weer toe tot 2015 om in de laatste jaren weer af te nemen. Er is een sterk verband tussen de totale methaanemissie en het aantal melkkoeien en de geproduceerde hoeveelheid melk.
- De totale methaanhoeveelheid, welke bepalend is voor het broeikaseffect en waarbij rekening wordt gehouden met de afbraak, vertoont een duidelijk stijgende lijn tot 1990. Vanaf 1990 daalt de lijn tot ongeveer 2010 om vervolgens weer iets toe te nemen. De voornaamste oorzaak is de jaarlijkse verandering in methaanemissie als gevolg van de verandering in het aantal melkkoeien.
- De methaanemissie per kg geproduceerde melk is tussen 1950 en 2020 gehalveerd. Dat is vooral een gevolg van een hogere productiviteit van de koeien en een betere verteerbaarheid van het voer.

Verkenning scenario's met methaanemissie reducerende maatregelen:

- Een sterke reductie van methaan van ongeveer 50 % is op de langere termijn te realiseren door een combinatie van maatregelen die zijn gericht op methaanvorming in de pens en in de mest, en bij deelname van alle melkveehouders.
- De voermaatregelen zijn deels snel in te voeren en deels een kwestie van lange adem, de grootste reductie kan al op korte termijn worden gerealiseerd door de toepassing van middelen die methaanvorming in de pens voorkomen.
- De mestmaatregelen zijn een kwestie van lange adem, omdat ze zijn gebaseerd op aanpassingen in de stal; er moet een externe opslag komen.
- De maatregelen zullen bijna allemaal kostenverhogend werken, de mestmaatregelen meer dan de voermaatregelen.
- Bij enkele maatregelen is er een risico van afwenteling naar andere duurzaamheidsaspecten.

Literatuur

- Bie, R. van der, 2000. Druk op de grasmat. 200 Jaar statistiek in tijdreeksen. CBS/Rijksuniversiteit Groningen. (Amsterdam 2000)
- Beever D. E., D. J. Thomson, M. J. Ulyatt, S. B. Cammell And M. C. Spooner, 1985. The digestion of fresh perennial ryegrass (*Lolium perenne* L. cv. Melle) and white clover (*Trifolium repens* L. cv. Blanca) by growing cattle fed indoors. *British Journal of Nutrition* 54, 763 – 775.
- Boer, D.J. den, Bakker, R.F., 2005. Bemesting en kwaliteit graskuil. Koeien en Kansen 1997 – 2003. Nutriënten management Instituut NMI. Koeien & Kansen rapport 25.
- Breukelen, A.E. van, Doekes, H.P., Windig, J. en Oldenbroek, K., 2019. Characterization of Genetic Diversity Conserved in the Gene Bank for Dutch Cattle Breeds. *Diversity* 2019, 11, 229; doi:10.3390/d11120229.
- Bruggen, C. van, F. Faqiri, 2015. Trends in beweiden en opstallen van melkkoeien en het effect op emissies naar lucht. Centraal Bureau voor de Statistiek.
- Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, M.B.H. Ros, G.L. Velthof, J. Vonk en T. van der Zee (2021). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2019. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOT-technical report 203. 238 p.; 26 tab.; 8 figs.; 72 ref.; 32 bijl.
- Bruinenberg, M., 2003. Forages from intensively managed and semi-natural grasslands in the diet of dairy cows. PhD-thesis Wageningen Universiteit. 184 pp.
- CBS, 2009. Gestandaardiseerde berekeningsmethode voor dierlijke mest en mineralen. Standaardcijfers 1990 – 2008.
- CBS, 2019. Dierlijke mest en mineralen 1990 - 2018.
- CBS-Statline, website CBS,
- CBS/LEI, 1955. Landbouwcijfers 1955.
- CBS/LEI, 1965. Landbouwcijfers 1965.
- CBS/LEI, 1967. Landbouwcijfers 1967.
- CBS/LEI, 1968. Landbouwcijfers 1968.
- CBS/LEI, 1983. Landbouwcijfers 1983.
- CBS/LEI, 1988. Landbouwcijfers 1988.
- CBS/LEI, 1990. Landbouwcijfers 1990.
- CBS/LEI, 1991. Landbouwcijfers 1991.
- CBS/LEI, 2000. Land- en tuinbouwcijfers 2000.
- CBS/LEI, 2002. Land- en tuinbouwcijfers 2002.

-
- CBS/LEI, 2006. Land- en tuinbouwcijfers 2006.
- CBS/LEI, 2007. Land- en tuinbouwcijfers 2007.
- CBS/LEI, 2009. Land- en tuinbouwcijfers 2009.
- CBS/LEI, 2011. Land- en tuinbouwcijfers 2011.
- CBS/LEI, 2012. Land- en tuinbouwcijfers 2012.
- Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM), 2014. Advies "Bemesting met zwavelhoudende meststoffen", Wageningen, 9 oktober 2014
- Corporaal, J. en Steg, A., 1990. Bemonstering, kwaliteit en voederwaarde van graskuil. Rapport praktijkonderzoek Rundveehouderij 123. 67 pp.
- CRV, 2021. Jaarstatistieken 2020 voor Nederland. Publicatie CRV, 54 pp. <https://cooperatiecrv-be6.kxcdn.com/wp-content/uploads/2021/03/Jaarstatistieken-2020-NL-1.pdf>
- Dijk H. van, Schukking S. en Van der Berg R., 2015. Fifty years of forage supply on dairy farms in the Netherlands. In "Grassland and forages in high output dairy farming systems", Proceedings of the 18th Symposium of the EGF, 15-17 June 2015. P 3 – 11.
- Dijk, W. van, J.A. de Boer, M.H.A. de Haan, P. Mostert, J. Oenema & J. Verloop, 2020. Rekenregels van de KringloopWijzer 2020. Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2019-versie
- Dijkstra, N.D., 1952. What has the state agricultural experiment station at Hoorn contributed to research into the feeding value of roughage?. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 1954, 273 – 297.
- Dijkstra, N.D., 1957. De verteerbaarheid en voederwaarde van enkelvoudige grassoorten en van gras van Kunstweiden. Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen No 631, 1957. Staatsdrukkerij, Den Haag, 26 pp.
- Dijkstra, N. D., 1970. De voederwaarde van vers gras en de daaruit bereide silages. Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen, 1970.
- Dijkstra, J., A. Bannink, J. France, E. Kebreab, en S. van Gastelen. Short communication: Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. *Journal of Dairy Science* 101:9041–9047, <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14456>
- Eurofins, 2021. Jaaroverzicht snijmais ingekuuld. https://www.eurofins-agro.com/uploads/downloads/Jaaroverzicht_2019_Snijmais_ingekuuld_NED.pdf.
- Eurofins, 2021. Jaaroverzicht graskuil ingekuuld. https://www.eurofins-agro.com/uploads/downloads/Jaaroverzicht_graskuil_2019_NED_.pdf
- Ham A. van den en H.H. Luesink, 2010. Developments in mineral surpluses and water quality in the Dutch dairy sector, 1960-2010. Notitie Landbouw Economisch Instituut, 10 pp.
- Haas, M.J.G., A.M.D. Rotterdam-Los en D.W. Bussink, 2014. Ontwikkeling bodemvruchtbaarheid en ruwvoer kwaliteit van grasland in Nederland. NMI rapport 1526.N.13. 56 pp.

-
- Haas, Y.de, Veerkamp, R.F., Jong, G. de en Aldridge M.N., 2021. Selective breeding as a mitigation tool for methane emissions from dairy cattle. *Animal* 15 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100294>
- Hellwing, A.L.F., Weisbjerg, M.R., Moller, H.B., 2014. Enteric and manure-derived methane emissions and biogas yield of slurry from dairy cows fed grass silage or maize silage with and without supplementation of rapeseed. *Livestock Science* 165, pp 189 – 199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.011>.
- Hijink, J.W.F. en Tj. Boxem, 1975. Melkvee in nazomer en herfst op stal. Verslag van vergelijkende proeven op de proefboerderijen Wielzicht en Heino in 1970 en 1971. Praktijkonderzoek Rundveehouderij, rapport 13. 28 pp.
- Hijink, J.W.F. en A.B. Meijer, 1987, Het Koemodel. Publicatie praktijkonderzoek Rundveehouderij 50. 52 pp.
- Hijink, J.W.F. en G.J. Rimmelink, 1987. Invloed van verhoogd grasaanbod op melkproductie, ruwoeropname en graslandopbrengst. Praktijkonderzoek Rundveehouderij, rapport 104. 91 pp.
- Honing Y.van der, 1976. Vergelijking van de verteerbaarheid van weidegras door koeien en door hamels in 1976. Instituut voor Veevoedingsonderzoek, rapport nr. 108, 22 pp.
- Horne, P. van en H. Prins, 2002. Development of dairy farming in the Netherlands in the period 1960-2000. Landbouw Economisch instituut, rapport 2.02.07, 26 pp.
- IPCC, 2019a. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other land use. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management.
- IPCC, 2019b. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other land use. Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application
- Kleter, H.J., 1962. De samenstelling en het rendement van weidegras tijdens de beweiding. Centrum voor landbouwpublicaties en landbouwdocumentatie, 1962. 82 pp.
- Lagerwerf, L.A., A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof & J. Vonk. 2019. Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA) – update 2019. Wageningen, The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment. WOt-technical report 148.
- Lesschen, J.P., Reijs, J., Vellinga, T., Verhagen, J., Kros, H., Slier, T., Jongeneel, R., Gonzales Martinez, A., Vermeij, I., de Vries, M., Daatselaar, C., 2019. Scenariostudie perspectief voor ontwikkel-richtingen Nederlandse landbouw in 2050. Wageningen, Wageningen Environmental Research, ISSN 1566-7197.
- Luesink, H. (2004) Meer bewegingsvrijheid voor dieren. Landbouw Economisch Instituut, Agri-Monitor, juni 2005, 2 pp.
- MacLeod, M.J., Vellinga, T., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Henderson, B., Makkar, H., Mottet, A., Robinson, T., Steinfeld, H., 2018. Invited review: a position on the global livestock environmental assessment model (GLEAM). *animal* 12, 383-397.
- Muller, R. A., E.A. Muller, 2017. Fugitive methane and the role of atmospheric half-life. *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*. 5(2): 5-11.

Nevedi, 2021. <https://www.nevedi.nl/feiten-cijfers/nederlandse-mengvoerafzet>.

Oldenbroek, J.K., 1988. Feed intake and energy utilization in dairy cows of different breeds. PhD Thesis, Wageningen Universiteit, 151 pp.

Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B., Steinfeld, H., 2013. Greenhouse Gas Emissions from Ruminant Supply Chains – A Global Life Cycle Assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Pol, Van den -van Dasselaar A., Aarts H.F.M., De Caestecker E., De Vliegheer A., Elgersma A., Reheul D., Reijneveld J.A., Vaes R. and Verloop J., 2015. Grassland and forages in high output dairy farming systems in Flanders and the Netherlands. In "Grassland and forages in high output dairy farming systems", Proceedings of the 18th Symposium of the EGF, 15-17 June 2015. P 3 – 11.

Rompelberg, L.E.M., Wieling, H., Overvest, J., 1984. Normen voor de Voedervoorziening Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, publicatie 23, 59 pp.

Šebek, L.B., Mosquera, J., Bannink, A. 2016. Rekenregels voor de enterische methaanemissie op het melkveebedrijf en reductie van de methaanemissie via mest-handling; het handelingsperspectief van het voerspoor inzichtelijk maken met de Kringloopwijzer. Lelystad, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 976.

Sefeedpari, P., G. Migchels, 2021. Verdienmodel voor dakbedekking melkveebedrijf met zonnepanelen. Factsheet, 2021.

Sommer, S. G. , G. Q. Zhang, A. Bannink, D. Chadwick, T. Misselbrook, R. Harrison, N. J. Hutchings, H. Menzi, G. J. Monteny, J. Q. Ni, O. Oenema and J. Webb, 2006. Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. *Advances in Agronomy* Volume 89, 2006, Pages 261-335.

Vellinga, T.V. en de Vries, M., 2018. Effectiveness of climate change mitigation options considering the amount of meat produced in dairy systems. *Agricultural Systems* 162 (2018) 136–144

Warner, D., Podesta, S.C., Hatew, B., Klop, G., van Laar, H., Bannink, A., Dijkstra, J., 2015. Effect of nitrogen fertilization rate and regrowth interval of grass herbage on methane emission of zero-grazing lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98, pp 3383 -3393. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9068>

Werkgroep Handboek snijmaïs. Eindredactie: Herman van Schooten (Wageningen Livestock Research), Bert Philipsen (Wageningen Livestock Research), Jos Groten (Wageningen UR Open Teelten). Handboek snijmaïs; December 2019. Wageningen Livestock Research, Handboek snijmaïs 40.

Werkgroep Normen voor de Voedervoorziening, 1991. Normen voor de Voedervoorziening. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, publicatie 70, 62 pp.

Zee T. van der, A. Bannink, C. van Bruggen, K. Groenestein, J. Huijsmans, J. van der Kolk, L. Lagerwerf, H. Luesink, G. Velthof, J. Vonk, 2021. Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations for CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ using the National Emission Model for Agriculture (NEMA) –Update 2021. RIVM-report 2021-0008.

Zom, R.L.G. & C.M. Groenestein, 2015. Excretion of volatile solids by livestock to calculate methane production from manure. RAMIRAN 2015 – 16th International Conference, Rural-Urban Symbiosis, 8 - 10 September 2015, Hamburg, Duitsland.

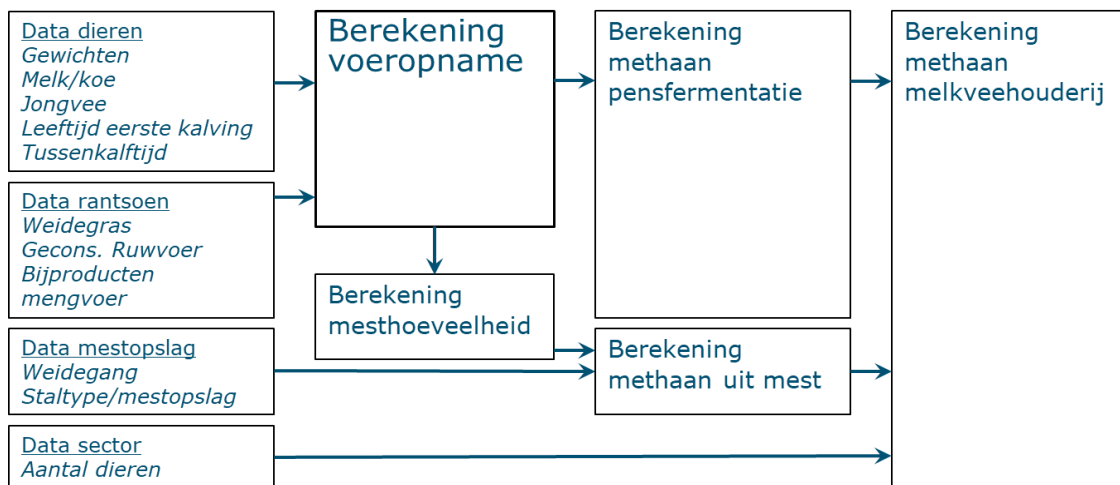
Bijlagen:

6 Werkwijze

6.1 De gevolgde berekeningswijze

De emissie van methaan uit de melkveehouderij is afhankelijk van twee processen:

- De pensfermentatie: deze wordt bepaald door de voeropname door de dieren en de vertering van het voer. Tegelijk bepaalt de voeropname (samen met de verteerbaarheid ervan) de hoeveelheid dierlijke mest.
- De verteringsprocessen in de stal en mestopslag: de hoeveelheid en het type mest zijn afhankelijk van de voeropname. De wijze waarop de dierlijke mest wordt opgeslagen bepaalt op zijn beurt hoeveel methaan er uiteindelijk wordt gevormd.



Figuur 11 De gebruikte data en de processtappen voor de berekening van de emissie van methaan uit pensfermentatie en mestopslag in de Nederlandse melkveehouderij.

De voeropname speelt dus een centrale rol in de berekeningen. Er zijn twee categorieën van factoren die daarbij een rol spelen: factoren die te maken hebben met het dier en met het rantsoen (**Figuur 11**). De mesthoeveelheid is op zijn beurt weer afhankelijk van de voeropname. De methaanvorming uit het

opgenomen voer en de uitgescheiden wordt bepaald door emissiefactoren. Deze zijn afhankelijk van het voer, de verteerbaarheid ervan, de voeropname en van het type mestopslag.

In de Nederlandse emissieberekeningen zoals deze voor de IPCC worden uitgevoerd (van der Zee et al., 2021) wordt gewerkt met een Tier 3 benadering voor de pensfermentatie. Voor dit project zal worden gewerkt met de Tier 2 benadering zoals de IPCC de heeft beschreven. De Tier 2 en Tier 3 berekeningen baseren zich beide op een berekende voeropname van de dieren, waarbij Tier 2 een emissiefactor gebruikt die alleen afhankelijk is van de verteerbaarheid (Opio et al. 2013) en Tier 3 een emissiefactor per voedermiddel gebruikt (Sebek et al., 2016). Voor methaanvorming uit mest wordt de zelfde methode toegepast als in de nationale emissieberekeningen wordt gedaan. Er worden in de berekening dus drie groepen data onderscheiden: dieren, rantsoen en stal/mestopslag. Deze worden achtereenvolgens besproken in hoofdstuk 6.2. Voor de reconstructie van de methaanemissies is er voor gekozen om de ontwikkeling van de veehouderij over de laatste 70 jaar in beeld te brengen. De veranderingen in de melkveehouderij in de afgelopen 70 jaren zijn enorm geweest. Van een zeer traditionele landbouw, met een begin van mechanisatie en van gebruik van meststoffen en krachtvoer heeft de veehouderij zich ontwikkeld tot een uiterst productieve productietak, leunend op meer externe inputs, maar ook op verbeteringen in de ruwvoerproductie en de genetische vooruitgang. Al deze factoren hebben hun invloed op de voeropname en -verwerking door het melkvee, maar ook op de manier waarop wordt omgegaan met de mest van dieren. Om een goed beeld te schetsen van de methaanemissie is het dus nodig om eerst de belangrijke veranderingen die een rol spelen bij de methaanemissie in beeld te brengen en te kwantificeren. De resultaten van de dataverzameling

worden kort weergegeven in hoofdstuk 7. Alle verzamelde data zijn geaggregeerde gegevens en afkomstig uit statische bronnen en onderzoeksrapporten. Er worden geen gegevens van individuele bedrijven gebruikt.

Het rekenmodel dat wordt gebruikt om de emissies te berekenen wordt beschreven in hoofdstuk 6.3. Hoofdstuk 6.4 beschrijft de werkwijze die wordt gevolgd om de jaarlijkse emissies om te rekenen naar een cumulatieve hoeveelheid.

6.2 De data

Dieren:

- Aantal melk- en kalfkoeien, zijnde het aantal dieren dat actief een rol speelt bij het melkproces. Dat zijn dus zowel melkgevende als droge koeien.
- Het bijbehorende jongvee dat dient ter vervanging van koeien die worden verkocht (vanwege ouderdom, ziekte of gebreken) en dat verkocht wordt als toekomstig melkvee aan anderen. Dat kan ook de export van drachtige vaarzen zijn. In de berekeningen zijn al deze dieren samengenomen en als product van de melkveehouderij beschouwd.
- De melkproductie van de koeien, uitgedrukt in kg melk, en de bijbehorende vet- en eiwitgehalten.
- De gewichten van de dieren, op volwassen leeftijd, op het moment van eerste kalving en van het kalf bij de geboorte. De groei van jongvee is lineair verondersteld.
- De tussenkalftijd, de tijd tussen de geboorte van twee kalveren
- De leeftijd van eerste kalving

Rantsoen:

- De verdeling van het rantsoen over vers gras, hooi, gras- en maiskuil, krachtvoer en vochtige bijproducten. Hierbij wordt nagenoeg dezelfde indeling aangehouden als voor de NEMA berekeningen. Het enige verschil is dat normaal en eiwitrijk krachtvoer in de berekening in dit rapport als één groep worden beschouwd.
- Het landgebruik. Dat is de onderlegger voor het rantsoen: welk deel van het gemaaid gras wordt geogst als hooi en welk deel als graskuil? Wat is het areaal snijmais?
- De beweiding. De mate van beweiding bepaalt welk deel van het rantsoen wordt opgenomen in de vorm van vers weidegras.
- De verteerbaarheid van het ruwvoer, krachtvoer en de vochtige bijproducten. De verteerbaarheid is afhankelijk van het gebruik, zoals hooien of kuilen, het oogststadium (vooral bij grassen), de botanische samenstelling en de veredeling van gras en snijmais. De verteerbaarheid is daarom niet constant in de tijd.

De stal:

- De beweiding. Deze is niet alleen belangrijk voor de verdeling van voeders in het rantsoen, maar ook om te bepalen welk deel van de mest en urine in de weide terecht komt en welk deel in de stal.
- Staltype: het staltype heeft vooral invloed op de manier waarop de mest wordt opgeslagen. In de grupstal wordt meestal gewerkt met vaste mest en wordt de gier gescheiden opgevangen. De vaste mest is gemengd met stro. Bij de overgang naar de ligboxenstal is de mestopslag overgegaan van vaste mest en gier naar drijfmest, een mengsel van mest en urine, zonder de toevoeging van stro. Ook is er een ontwikkeling geweest in de grupstal waarbij men overschakelde van vaste mest en gier naar drijfmest (Luesink, 2004)

De gegevens van de dieren en het voer bepalen de opname van voer en de bijbehorende emissie van methaan uit de pens. De voeropname is weer een belangrijke input voor de berekening van de hoeveelheid mest. Tezamen met informatie over het deel van de mest in de stal en de wijze van opslag kan de emissie van methaan worden berekend.

De verzamelde gegevens worden steeds op dezelfde manier besproken:

- Gebruikte bronnen en gevonden data. Deze data kunnen worden gevonden in oude rapporten, statistische jaarboeken websites, wetenschappelijke artikelen en onderzoeksrapporten. Een

belangrijke bron van de periode na 1990 zijn de cijfers van de Werkgroep Uniformering Mestcijfers, de zogeheten WUM-data. Daarnaast zijn vanaf 1990 veel data ontleend aan de brongegevens van de emissieberekeningen.

- Acties om ontbrekende data te verkrijgen. Soms zijn data alleen om de 5 jaar bekend, dan wordt geïnterpoleerd tussen jaren. Als een reeks niet ver genoeg terug gaat in de tijd kan voor extrapolatie worden gekozen. Extrapolatie is altijd een hachelijke zaak, omdat er dan veronderstellingen over voorgaande ontwikkelingen worden gedaan die moeilijk kwantitatief onderbouwd kunnen worden. Soms is er kwalitatieve informatie beschikbaar die helpt om de extrapolatie te onderbouwen.
- Correcties op bestaande data. Soms zijn gevonden data erg vreemd of passen ze niet een reeks. Dan wordt gekeken of deze data juist zijn of dat een correctie nodig is.

Data worden verzameld van de periode 1950 – 2021, zoals hiervoor is beschreven in de datastructuur. Om de cumulatieve emissies te berekenen, is het nodig om te weten wat de emissies in voorgaande jaren zijn geweest. Daarom zijn ook dieraantallen en melkproducties per koe verzameld in de periode 1900 – 1949. Om een volledige berekening van die jaren te maken wordt verder gebruik gemaakt van alle data van 1950 (verhouding jongvee/melkvee, rantsoen, weidegang e.d.)

6.3 Het model GLEAM en aanpassingen

Er zijn al berekeningen van de methaanemissie van de Nederlandse melkveehouderij sinds 1990. Deze berekeningen komen voort uit de verplichting om jaarlijks de broeikasgassen te rapporteren aan de UNFCCC. Voor die berekeningen zijn uitgebreide datasets gemaakt, die het mogelijk maken om de methaanemissie uit pensfermentatie met een Tier 3 benadering te berekenen. Er ligt dus een tijdreeks vanaf 1990. Het gaat er nu om de berekeningen verder terug in de tijd te maken. Voor zo'n berekening zou bij een ruim budget en een ruime doorlooptijd mogelijk de Tier 3 benadering en het gehele NEMA model gebruikt kunnen worden. Vanwege de beperkte tijd is de berekening eerst uitgevoerd met het GLEAM model (Global Livestock Environment Assessment Model). GLEAM is in 2009/2010 ontwikkeld bij de Food and Agriculture Organisation van de VN (FAO) om broeikasgasemissies van veehouderijsystemen te berekenen. Het is een relatief eenvoudig model, waarmee berekeningen gedaan kunnen worden voor landen en regio's waar minder gedetailleerde data beschikbaar zijn. GLEAM is gebouwd als een Life Cycle Assessment model, waarmee de broeikasgasemissies op ketenniveau kunnen worden berekend. GLEAM kent aparte versies voor rundvee, kleine herkauwers, varkens en pluimvee. Het model is beschreven door MacLeod et al. (2018).

De eerste versie van het model is geschreven in Excel, waarna het is ingebouwd in een GIS-omgeving om op mondiaal niveau snel berekeningen te kunnen uitvoeren. Het oorspronkelijke Excel-model is gebruikt in berekeningen voor zowel gespecialiseerde melkveehouderij (Vellinga en de Vries, 2018) als voor ontwikkelende veehouderij en voor kleinschalige veehouderij die gericht is op overleven in rurale gebieden (Opio et al., 2013).

Voor een goed beeld van GLEAM worden de belangrijkste onderdelen hieronder besproken, inclusief de aanpassingen ten opzichte van de GLEAM-versie, zoals beschreven door MacLeod et al (2018).

Veestapelopbouw

Het oorspronkelijke GLEAM moest gebruik maken van statistische data op nationaal niveau over totale veestapels, zonder enig onderscheid in volwassen productiedieren, dieren nodig voor vervanging van de productiedieren en dieren die werden grootgebracht voor de vleesproductie. Om deze geaggregeerde statistische data te kunnen omzetten naar diergroepen is veel informatie verzameld over de dynamiek in een veestapel: hoeveel kalveren komen er per koe per jaar, wat is de leeftijd van eerste kalving, hoeveel dieren gaan er dood, hoe lang blijven dieren productief? Met deze data over "populatie-dynamiek" heeft GLEAM genoeg aan het totaal aantal dieren in een gebied. De GLEAM versie is aangepast, zoals beschreven door Vellinga en de Vries (2018) om rekening te houden met de groei van jonge koeien in de eerste en tweede lactatie en met de bijbehorende lagere melkproductie van die dieren.

GLEAM baseert daarom het aantal stuks jongvee per melkkoe op het vervangingspercentage. Aangezien in de verzamelde data de gegevens over melkkoeien en jongvee wel gescheiden beschikbaar zijn, worden deze data gebruikt om een bijbehorend vervangingspercentage te berekenen. Dat percentage dient vervolgens als invoergegeven in GLEAM. De leeftijd van eerste kalving heeft een kleine invloed: een latere leeftijd van eerste kalving geeft bij een gelijke verhouding tussen jongvee en melkkoeien een iets lager vervangingspercentage. De verzamelde aantallen worden omgerekend naar een vervangingspercentage en later worden de resulterende jongvee/melkvee verhoudingen gecontroleerd met de statistische gegevens. Dat is een enigszins omslachtige methode, maar het heeft als voordeel dat de structuur van GLEAM gehandhaafd kan blijven.

Deze werkwijze lijkt enigszins gezocht, maar uit studies uit de VS en waarnemingen in Nederland blijkt dat het vervangingspercentage voortvloeit uit het aantal stuks jongvee dat wordt aangehouden en niet andersom. Veehouders houden vaak meer jongvee aan strikt nodig, deels als een vorm van verzekering tegen pech. Als er dan toch veel jongvee is, worden ze allemaal drachtig gemaakt en laten ze de dieren kalven en gaan ze deze melken. Daarna wordt er sterker geselecteerd in de aanwezige veestapel. Een korte productieve levensduur hoeft dus niet perse voort te komen uit een slechte gezondheid van de dieren. Een ander deel van het jongvee wordt verkocht als drachtige vaarzen.

Berekening van de voeropname

GLEAM baseert zich op de Tier 2 voeropname formules zoals deze door de IPCC zijn beschreven in hun richtlijnen voor de berekening van broeikasgasemissies (IPCC, 2019). De voeropname wordt berekend aan de hand van de energiebehoefte van dieren voor onderhoud, groei, dracht, melkproductie en activiteit. Deze berekening maakt gebruik van de verteerbare energie in een voedermiddel. Dat is een verschil met de Nederlandse berekeningen, waar gebruik wordt gemaakt van netto-energie. Het voordeel van de verteerbare energie is dat wereldwijd data bekend zijn van de verteerbaarheid van de meest voedermiddelen.

Berekening van de pensfermentatie

Voor de berekening van de vorming van methaan uit de pens maakt GLEAM gebruik van de Tier 2 benadering van de IPCC, met een aanpassing op basis van de verteerbaarheid van het voer. De standaard emissiefactor is 6.5 % van de bruto-energieopname. Deze is gedifferentieerd naar verteerbaarheid:

$$\text{MCF} = 9.75 - 0.05 * (\text{verteerbaarheid in } \%)$$

Bij een verteerbaarheid van 65 % komt deze uit op de standaardwaarde van 6.5, voor lagere verteerbare voedermiddelen is deze groter dan 6.5 voor beter verteerbare voedermiddelen is deze lager.

Berekening VS productie

De organische stof in de mest is de "grondstof" voor de vorming van methaan. Deze productie van organische stof in de mest (de Volatile Solids, VS) wordt ontleend aan NEMA, die op haar beurt weer gebruik maakt van Zom en Groenestein (2015). Een heldere beschrijving van de rekenwijze wordt gegeven in van Dijk et al (2021), de rekenregels van de KringloopWijzer. De voeropname wordt omgerekend naar de opname van organische stof:

$$\text{OS-opname} = \text{DS-opname} * (1000 - \text{ruw-as-gehalte})/1000 \text{ (ruw-as wordt uitgedrukt in grammen per kg ds)}$$

Vervolgens wordt met de verteringscoëfficiënt van de organische stof (VC-os, in procenten) berekend welke hoeveelheid organische stof wordt uitgescheiden via de mest:

$$\text{VS-OS} = \text{OS-opname} * (100 - \text{VC-os})/100$$

Ook via urine worden Volatile Solids uitgescheiden: de ureum is een bron van koolstof. NEMA en KLW gebruiken daarvoor de excretie van "Total Ammonia Nitrogen" (TAN) via de urine. Voor deze berekening is het nodig om het N-gehalte van het rantsoen te kennen. Voor dit doel zijn ook gegevens over het N-gehalte van de voedermiddelen verzameld. De TAN excretie wordt berekend volgens de methode die in de KringloopWijzer wordt toegepast (Dijk et al., 2020)

Behalve VS uit opgenomen voer is er ook sprake van voerverliezen. Daarbij worden dezelfde voerverliezen gerekend als in NEMA en de KringloopWijzer: 0 % voor weidegras, 5 % voor hooi, gras- en maiskuil, 3 % voor natte bijproducten en 2 % voor mengvoer.

Berekening van methaanemissie van mest

Voor de berekening van methaanemissie uit mest en voerresten wordt gebruik gemaakt van de emissiefactoren die NEMA en de KringloopWijzer hanteren. Ook het biologisch methaan potentieel (BMP, de theoretisch maximale methaanproductie) van NEMA wordt gebruikt (**Tabel 2**).

Tabel 2 Biologisch Methaan Potentieel en methaanemissiefactoren voor dunne mest, vaste mest en weidemest. Bron: Van der Zee et al. (2021)

Diercategorie	Biologisch Methaan Potentieel (m ³ VH ₄ /kg VS)	MCF dunne mest (% van BMP)	MCF vaste mest (% van BMP)	MCF weidemest (% van BMP)
Melkkoeien en jongvee	0.22	17	2	1

6.4 Berekening van jaarlijkse emissies

Berekening jaarlijkse emissies

De gegevens worden gebruikt om ieder jaar de emissie van methaan uit pensfermentatie en mestopslagen te berekenen. Deze worden weergegeven in een tabel en grafiek met jaarlijkse emissies.

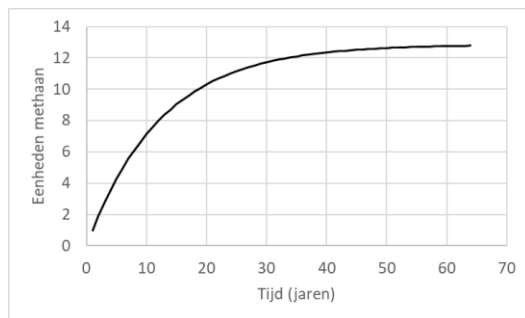
Het model GLEAM berekent de emissies voor pensfermentatie en mestopslag per melkkoe en per stuks jongvee. De melkkoe is een gewogen gemiddelde van de verschillende leeftijdsgroepen, het jongvee is een gewogen gemiddelde van jongvee jonger dan 1 jaar, 1 – 2 jaar en van ouder dan 2 jaar. Op basis van het aantal stuks jongvee per melkkoe wordt vervolgens de totale methaanemissie per "aangeklede" koe (dus inclusief jongvee voor vervanging) berekend. De emissie per aangeklede koe wordt vermenigvuldigd met het aantal melkkoeien.

Berekening totale hoeveelheid methaan

De methaan de in jaar x de lucht in is gegaan, wordt in de jaren erna afgebroken. Daarbij wordt de halfwaardetijd van 8.6 jaar gehanteerd (Muller en Muller, 2017). Om de halfwaardetijd van 8.6 jaar om te zetten naar een jaarlijkse afbraaksnelheid is een regressielijn ontwikkeld in Excel.

Deze lijn heeft de functie: $CH_{4, \text{jaar}(x+t)} = CH_{4, \text{jaar}(x)} * \exp(-0.081 * t)$.

Met deze functie is van de hoeveelheid methaan uit jaar x = 0 nog 92.2 % over in het jaar x=1. Vervolgens wordt in jaar x+1 weer een nieuwe emissie aan deze hoeveelheid toegevoegd.



Figuur 12 Het cumulatieve effect van een constante emissie van 1 kg methaan per jaar. Na een periode van 50 tot 60 jaar ontstaat een evenwicht van bijna 13 kg methaan in de atmosfeer.

Bij een jaarlijkse emissie van A kg, is er aan het eind van jaar 1 A kg, aan het eind van jaar 2 is er $0.922 \cdot A + 1 \cdot A = 1.922 \cdot A$ kg. Aan het eind van jaar 3 is er van deze hoeveelheid weer slechts 92.2 % over, maar is er ook weer A kg aan toegevoegd. Het totaal is dan: $0.922 \cdot 1.922 \cdot A + 1 \cdot A = 2.772 \cdot A$ kg. Dat gaat zo ieder jaar door. Bij een jarenlange emissie van A kg ontstaat er uiteindelijk een evenwicht. Dat komt neer op ongeveer $12.8 \cdot A$ kg.

In de reconstructie zal er geen sprake zijn van een constante emissie van methaan in de loop van de tijd. Maar de rekenwijze blijft hetzelfde. De aanwezige methaan in de atmosfeer wordt langzaam afgebroken met bijna 8 % per jaar en er komt steeds een nieuwe hoeveelheid bij.

7 Resultaten dataverzameling

7.1 Dieren

7.1.1 Aantal dieren

Bronnen:

- Compendium voor de leefomgeving: indexcijfers aantallen dieren vanaf 1950. Referentiejaar 2016 = 100, met 1.744.827 melk- en kalfkoeien. Deze reeks loopt tot 2016.
- De dieraantallen van CLO zijn vergeleken met die door NEMA worden gebruikt. Deze zijn bijna aan elkaar gelijk. Daarom wordt de CLO reeks gebruikt vanwege de continuïteit.
- Vanaf 2017 zijn de data van het CBS aangehouden.
- Bij de berekening van de cumulatieve methaanemissies moet een startwaarde voor 1950 worden ingesteld. Deze wordt gegenereerd door gebruik te maken van dieraantallen van de periode 1900 - 1950. Op de website van het CBS zijn aantallen melkkoeien te vinden vanaf 1910.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- In de reeks voor 1950 zijn de aantallen dieren steeds gebruikt voor de jaren die op een 0 of een 5 eindigen. De rest is geïnterpoleerd.
- Van de jaren 1900 en 1905 zijn geen aantallen koeien bekend. Daar is de waarde van 1910 aangehouden.

Correcties:

- Het jaar 1998 is een vreemde waarde, het indexcijfer in het jaar ervoor en erna is 91, het jaar zelf is 83. Dat is niet verklaarbaar. Voor 1998 is daarom ook het indexcijfer 91 aangehouden.

7.1.2 Gewichten van dieren

Bronnen gewicht volwassen koeien:

- NEMA data van 1990 tot en met 2020. Voor 2021 is dezelfde waarde als 2020 aangehouden.
- Hijink en Boxem (1973) beschrijven proeven met opstallen van koeien in de nazomer van 1970 en 1971. De gewichten daar liggen iets onder de 500 kg. Voor het jaar 1970 wordt een gewicht van 500 kg aangehouden.
- Oldenbroek (1986) noemt in zijn proefschrift gewichten van vaarzen boven de 500 kg (een combinatie van HF, MRIJ en FH). Het eindgewicht (hoofdstuk 3 in zijn proefschrift, zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) beschrijft nog een verdere gewichtstoename in de tweede lactatie van 60 – 70 kg.

Tabel 3 Gewichten van koeien in voerproeven van Oldenbroek (1986).

	HF	FH	MRIJ
Vaars	541	525	561
Jaar later	609	600	629

- Hijink en R Emmelink (1987) geven gewichten van koeien van 574 kg van koeien aan het einde van het weideseizoen. Het betreft proeven in 1982 en 1983. In de stal komen ze uit op een gewicht van 615 kg, dat is later in de lactatie als de dieren al een aantal maanden drachtig zijn.
- Hijink en Meijer (1987) gebruiken in het Koemodel gewichten van 468 kg na de eerste kalving en 537 na de eerste kalving. Dat is gebaseerd op metingen aan 247 dieren op de voormalige Waiboerhoeve. Ze hanteren een gewicht van 575 – 585 kg voor oudere koeien. Vaarzen 500 – 551 kg, tweede kalfs koeien 550 – 576 kg.

- De introductie van Holstein Friesian neemt een aanvang vanaf 1975 (Breukelen et al., 2019). Daarna neemt het aandeel HF sterk toe. (https://www.regionalcattlebreeds.eu/country_and_breed_information/netherlands/Geschiedenis%20van%20de%20Nederlandse%20Rundveehouderij.html). Een toename van het gewicht van de koeien vanaf 1975 is voor de hand liggend.
- De gegevens wijzen erop dat in de jaren 80 het gewicht van de koeien is toegenomen en aan het eind van de jaren 80 dicht in de buurt van de 600 kg komt die wordt aangenomen in NEMA.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Lineaire interpolatie tussen 1975 en 1990 om te komen van 500 kg in 1975 naar 600 kg in 1990.
- Extrapolatie van het gewicht van 500 kg van 1975 naar 1950.

Correcties/aanvullingen:

- Het gewicht van vaarzen is afgeleid van NEMA cijfers. Voor vaarzen is 75 tot 110 kg lager gewicht aangenomen. Zie ook de gegevens van Hijink en Meijer en van Oldenbroek.
- Kalveren: het gewicht van kalveren is vanaf 1990 ontleend aan de NEMA data. In de periode daarvoor is een kalfgewicht van 7 % van het volwassen gewicht aangehouden.

7.1.3 Melkproductie

Bronnen:

- Landbouwcijfers, deze boekwerken geven de totale melkleveranties en de aantallen melkkoeien. Deze worden op elkaar gedeeld om de jaarproductie vast te stellen. Vet- en eiwitgehalten worden vermeld.
- De CRV jaarstatistiek 2020 bevat gegevens die terug gaan tot 1950. Vòòr het jaar 2010 met intervallen van 5 jaar. De statistiek bevat gegevens over gehalten aan vet en eiwit. De CRV data betreffen afgesloten lijsten en laten een hogere melkproductie zien dan de Landbouwcijfers.
- NEMA baseert zich ook op de CBS/Landbouwcijfers methode. Daarom wordt de CBS reeks als uitgangspunt gekozen.
- Ook van de periode voor 1950 zijn data bekend van de totale melkproductie (CBS). Dat biedt de mogelijkheid om ook de jaarproductie per koe te kunnen berekenen.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Interpolatie van ontbrekende waarden uit de jaargangen van Landbouwcijfers..
- Melkproductie 2021 geschat door de stijging van de voorgaande jaren door te trekken
- Berekening van melkproducties voor 1950 op gelijke wijze als in de periode na 1950.

Correcties/aanvullingen:

- Geen

7.1.4 Vervangingspercentage

Bronnen:

- De berekening van het vervangingspercentage is gebaseerd op de aantal stuks jongvee en melkvee.
- Voor de periode na 1990 kan gebruik worden gemaakt van de data die door NEMA worden gehanteerd: de aantallen melkvee en jongvee uit de CBS statistiek.
- Voor de periode voor 1990 wordt dezelfde werkwijze gehanteerd: de Landbouwcijfers 19xx of later, de Land- en Tuinbouwcijfers 19xx/20xx geven inzicht in de dieraantallen. Voor de vroegere perioden gebeurt dat soms per 5 jaar.
- De CRV jaarstatistiek 2020 geeft data over productieve levensduur. Deze worden gebruikt ter vergelijking.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Interpolatie van dieraantallen wanneer deze ontbreken.
- Berekening van een relatie tussen vervangingspercentage en de verhouding jongvee/melkvee met behulp van GLEAM. Per jaar wordt daarna deze relatie gebruikt om het vervangingspercentage vast te stellen op basis van de in de statistiek gevonden aantallen melkkoeien en jongvee.
- Voor de periode 1990 – 2020 zijn de vervangingspercentages van de CBS datareeks “Dierlijke mest & Mineralen”, (CBS, 2018) gebruikt om de verhouding tussen jongvee en melkvee vast te stellen. Dat leidt tot de volgende relatie:
Verhouding jv/mk = 2.189 * vervangingspercentage
Omgerekend levert dat:
Vervangingspercentage = 0.4568 * verhouding jv/mk.

Correcties/aanvullingen:

geen

7.1.5 Leeftijd bij eerste kalving

Bronnen:

- CRV jaarstatistiek 2020 geeft data voor leeftijd bij eerste kalving vanaf 1995. Deze komt uit op een gemiddelde leeftijd van eerste kalving van 26 maanden.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Er zijn voor 1995 geen bronnen gevonden met data over de leeftijd bij eerste kalving. Er is veel literatuur beschikbaar over het belang van een goede jongvee opfok (onder meer Boxem, 1997, Boxem 1989). De opfok van jongvee heeft op bedrijven vaak (te) weinig aandacht gehad. Te lichte dieren hebben een lagere melkproductie dan volgroeide dieren.
- Tot 1975 is de tkt 366 dagen volgens de CRV jaarstatistiek 2020. Dat zijn voorjaarskalvende veestapels, waarbij de veehouder er alle moeite voor deed om dat zo te houden. Er zijn twee opties om een voorjaarskalvende veestapel te houden: a) de leeftijd van eerste kalving op 24 maanden zetten; b) een hogere leeftijd bij eerste kalving aanhouden en uitgaan van een combinatie van dieren die vroeg in het stalseizoen zijn geboren toch op 26 maanden of later te laten kalven, dieren die wel op 24 maanden kalven en “overlopers”, dieren die laat in het stalseizoen zijn geboren en die na een derde zomer pas een kalf ter wereld brengen. . Het meest aannemelijk is om de leeftijd bij eerste kalving op 26 maanden te houden.

Correcties/aanvullingen:

Geen

7.1.6 Tussenkalftijd

Bronnen:

- CRV jaarstatistiek 2020 geeft de lengte van de lactatieperiode tot 1950. Op basis daarvan is de tussenkalftijd bepaald: lactatie plus 60 dagen.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Interpolatie van tussenliggende jaren

Correcties/aanvullingen:

- Geen

7.2 Stal

7.2.1 Lengte weideseizoenen

De lengte van het weideseizoen is belangrijk omdat deze ook de lengte van het stalseizoen bepaalt (= 365- lengte weideseizoenen). De lengte van het stal- en weideseizoen bepalen (samen met andere factoren) op hun beurt weer welk deel van de mest in de stal en in de weide terecht komt.

Bronnen:

- Over de lengte van het weideseizoen zijn geen bronnen bekend.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- In de berekeningen voor Normen voor de Voederveorziening (Rompelberg et al., 1984; Werkgroep Normen voor de Voederveorziening, 1991) is steeds gerekend met een weideperiode van eind april tot eind oktober. Dat is vereenvoudigd tot een weideperiode van 180 dagen. Er werd steeds rekening gehouden met een week overgang van stal naar weide en omgekeerd. De waarde van 180 dagen is tot en met 1980 aangehouden.
- In de jaren vanaf 1980 zijn er steeds meer bedrijven die beweiding gaan verminderen door de introductie van de ligboxenstal; dieren werden steeds meer in de melkstal thuis gemolken in plaats van in de weide rond een mobiele melkwagen. Daardoor is ook de stap naar het 's nachts op stal houden en bijvoeren eenvoudiger geworden. In de laatste jaren (vanaf 2015/2016 ongeveer) is beweiding omschreven als minimaal 120 dagen met 6 uren per dag. Omdat er bedrijven zijn die meer weiden, is de gemiddelde lengte van de weideperiode op 150 dagen gezet vanaf het jaar 2001. Die waarde geldt uiteraard alleen voor die bedrijven waar wordt geweid. Het aantal weide-uren en de grasopname wordt later in dit hoofdstuk behandeld.
- De tussenliggende jaren zijn steeds met stappen van 10 dagen aangepast. 1981 – 1990: 170 dagen beweiding, 1991 – 2000: 160 dagen beweiding.

Correcties/aanvullingen:

- Geen

7.2.2 Fractie mest in de stal bij beweiding

Tijdens beweiding zijn de dieren soms/vaak nog een deel van de dag in de stal. Soms om te melken, soms om de nacht door te brengen en bijgevoerd te worden. Tijdens die perioden komt de mest in de stal/opslag terecht.

Bronnen:

- WUM data 1990 – 2018. Zij geven voor de periode vanaf 1990 welk percentage van de mest in het weideseizoen in de stal terecht komt, afhankelijk van het gekozen beweidingssysteem.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Extrapolatie terug in de tijd. Voor onbeperkt weiden wordt de 15 % mest-in-de-stal van NEMA in 1990 gebruikt tot en met 1980. Van 1979 tot en met 1975 is het 10 %, van 1974 tot en met 1970 is het 5 %. Daarvoor wordt het op 0 (nul) gezet. De reden hiervoor is dat de mest in de stal tijdens het weideseizoen het geval is bij de ligboxenstallen, waar de dieren in een wachtruimte staan tijdens het melken. Bij de grupstal wordt bijna altijd buiten gemolken, aan de weidewagen of een doorloopmelkstal. Dan komt er geen mest in de stal terecht.
- Bij beperkt weiden voor 1990 wordt aangehouden dat 60 % van alle mest tijdens het weideseizoen in de stal terecht komt.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

7.2.3 Staltype

Het staltype is van belang, omdat de opslag van mest erdoor wordt bepaald. De grupstal maakt in bijna alle gevallen gebruik van vaste mest (met stro) en gier, terwijl de ligboxenstal in bijna alle gevallen werkt met drijfmest, waarbij mest en urine gemengd worden opgevangen. Het stro is dan vervangen door (kleinere hoeveelheden) gehakseld stro of zaagsel. Ook is er vanaf de jaren 80 sprake van een toenemend gebruik van drijfmest in de grupstallen (Luesink, 2004).

Bronnen:

- Op internet is een beschrijving gevonden van de ontwikkeling van de eerste ligboxenstal in de jaren 60 in Noord Brabant. Op basis hiervan kan met zekerheid worden gesteld dat er voor 1965 geen ligboxenstallen aanwezig waren.
- Van Horne en Prins (2002) geven data voor het aandeel bedrijven met een ligboxenstal. In 1965 0%, 1980: 45 % en in 1999: 80%.
- Weekblad de Boerderij meldt in een artikel van 29 maart 2019 een aantal van 800 stallen in 1970 en 16700 in 2000. Daarmee wordt de razendsnelle groei van dit staltype bevestigd.
- Een interne notitie van Henk van Dijk (IKC-landbouw) bevat een notitie van het CBS met een landbouw enquête uit 1978/1979. Daar heeft 26 % van de bedrijven een ligboxenstal (15233 bedrijven), 74 % heeft een grupstal, het aantal koeien in een ligboxenstal bedraagt 42 %, in de grupstal 58 %. Het gemiddelde aantal koeien in de ligboxenstal is 62, in de grupstal 30. Het verschil tussen de waarden van Van Horne en Prins (2002) en de CBS notitie is wel groot.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Voor de periode van 1999 tot 2021 is uitgegaan van een gestage groei van het aantal dieren dat in een stal is gehuisvest met drijfmest met 1 procentpunt per jaar. Uiteindelijk wordt dan in 2018 de 100 % bereikt.
- De huisvesting wordt toegepast op alle dieren. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen melkkoeien en jongvee.

Correcties/aanvullingen:

- De aandelen van de staltypen grupstal en ligboxenstal zeggen nog niets over de aantallen dieren. Om daar een waarde voor te bepalen is gebruik gemaakt van de eerder genoemde notitie van het CBS. De bedrijven die een nieuwe stal bouwen breiden de veestapel vaak uit en de boeren die (nog) niet bouwen zijn deels bedrijven die (nog) klein zijn, of klein blijven en binnen afzienbare tijd stoppen. Uit de CBS notitie blijkt dat het aantal dieren in een ligboxenstal twee keer zo groot is als het aantal dieren in een grupstal. Voor het genoemde jaar 1978/1979 met een aandeel van 26 % ligboxenstallen betekent het dat 41 % van de dieren in zo'n stal met drijfmest zijn gehuisvest. Het betekent dat de overige 59 % van de dieren nog gehuisvest is in grupstallen met vaste mest. De uitkomst van die berekening is vergeleken met de verdeling van de mesttypen zoals die in NEMA zijn gebruikt. Deze komt goed overeen. Daarom is besloten om deze verdeling toe te passen op alle jaren. Omdat de berekening goed overeenkomt met de door NEMA gehanteerde waarden, wordt geen extra correctie toegepast voor het feit dat er grupstallen zijn overgeschakeld van vaste mest naar drijfmest.

7.3 Rantsoen

7.3.1 Berekeningswijze

De reconstructie van het rantsoen voor 1990 is ingewikkeld. Er zijn weinig exacte gegevens bekend over de aandelen van weidegras, geconserveerd voer, bijproducten en snijmais. Het rantsoen kan worden afgeleid van de beweidingssystemen (aantal dagen, uren per dag, bijvoeding e.d.) en van de hoeveelheden geoogste hooi, gras- en maiskuil en van de verkochte/gebruikte hoeveelheden bijproducten en krachtvoer in de melkveehouderij. Daarbij wordt de volgende werkwijze gevolgd: Eerst wordt het aandeel weidegras in het totale rantsoen bepaald. Dat gebeurt aan de hand van: a) het beweidingssysteem, welk deel van de energiebehoefte wordt gedekt via de opname van vers gras;

b) het kalfpatroon, voorjaarskalvende dieren realiseren verhoudingsgewijs een groter aandeel vers-gras-opname dan je op basis van het aantal dagen weidegang mag verwachten; c) de bijvoeding met geconserveerd ruwvoer, meer bijvoeding op stal (bij beperkt weiden) zorgt voor een lager aandeel vers gras dan op basis van het aantal dagen weiden verwacht mag worden; en d) de lengte van het weideseizoen, hoeveel dagen per jaar wordt gemiddeld geweid.

Zomerstalvoeren is vanuit het oogpunt van rantsoen beschouwd als een beweidingssysteem. Het gebruikt immers vers gras.

Het resterende deel van het rantsoen wordt "opgevuld" met hooi, kuilgras, snijmais, vochtrijke bijproducten en mengvoer. De verhoudingen tussen die voersoorten wordt bepaald aan de hand van hun hoeveelheden.

Naast de verhoudingen tussen de verschillende producten is het belangrijk te weten wat de verteerbaarheid van die producten is. Het model GLEAM werkt met verteerbaarheid van het voer. Om die te kunnen beschrijven is informatie nodig over de verteringscoëfficiënt van de organische stof (VC-os) en het ruw-as gehalte.

7.3.2 Beweidingsystemen

Bronnen:

- Het bepalende rapport is dat van de WUM data 1990-2018. Daarin wordt het percentage melkkoeien per beweidingssysteem gegeven. De data van NEMA zijn gegeven voor Zuid Oost en Noord West Nederland. Deze zijn eenvoudigweg gemiddeld tot één waarde voor heel Nederland.
- CBS: statistiek over weidegang melkgevende koeien. Gebruikt weideweken als eenheid om onbeperkt en beperkt weiden te verdelen. Dat is een lastige eenheid om een onderverdeling te maken. NEMA van 1990 tot 2018 gebruikt dezelfde methode.
- Interne notitie Henk van Dijk (toenmalig IKC landbouw), gegevens over 1978/79, 1986 en 1988
- Informatie over de dieren die niet worden geweid is afgeleid uit de gegevens van het gebruik van gras/ruwvoer. Verschillende jaargangen van Landbouwcijfers geven informatie over de aandelen hooi, graskuil en "overig" van het gemaaid grasland. De laatste categorie is tot en met 1981 een samenvoeging van zomerstalvoeren en maaien voor kunstmatig drogen. Vanaf 1982 wordt zomerstalvoeren apart geregistreerd. Het percentage "overig" is dan hoogstwaarschijnlijk alleen voor grasdrogen bedoeld.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Extrapolatie van data uit 2018 naar de jaren 2019-2021
- Interpolatie tussen 1979 en 1990.
- Het percentage dieren dat permanent op stal staat is afgeleid van het aandeel gras dat via zomerstalvoeren is gebruikt: het percentage gras dat voor zomerstalvoeren wordt gebruikt, is gelijk aan het percentage dieren dat niet wordt geweid. Voor de periode voor 1981 moet dat aandeel worden afgeleid uit het aandeel van de categorie "overig". Vanaf 1982 wordt naast zomerstalvoeren de categorie "overig" nog steeds geregistreerd en bedraagt in de periode 1981 - 2010 gemiddeld 2 %. Dat percentage wordt gebruikt om in de jaren voor 1982 het aandeel zomerstalvoeren te berekenen volgens de formule:
stalvoeren = overig (voor 1982) - 2%, met de restrictie dat het aandeel stalvoeren nooit kleiner dan nul mag zijn. Op deze wijze kan het aandeel zomerstalvoeren worden gereconstrueerd tot 1962. In dat jaar is het percentage koeien dat permanent op stal staat 2.8 %. Van 1956 - 1961 wordt 2 % gebruikt, voor 1955 wordt 1 % dieren met zomerstalvoeren aangehouden.
- Extrapolatie van de beweiding naar de periode voor 1979. Uitgangspunt is dat in 1950 slechts 1 % van de koeien permanent op stal stond en dat het aandeel langzaam is gegroeid naar de 10 % in 1979 uit de notitie van van Dijk/CBS. Het aandeel dieren dat dag en nacht weidt is gesteld op 85 % in 1950, stapsgewijs aflopend: 1950 - 1959 85%; 1960-1969, 80%, 1970-1978, 60%. Het aandeel dieren dat alleen overdag weidt is berekend: 100 % - (%op stal) - (% onbeperkt weiden).

-
- Kalveren worden in het eerste levensjaar gedurende een beperkte tijd geweid, in het tweede levensjaar worden deze dieren in de zomer geweid. Het grasaandeel in het totale rantsoen is daarom bij jongvee hoger dan bij melkkoeien.
 - Droge koeien worden niet apart behandeld. Het rantsoen is een gemiddelde voor de melk- en kalfkoeien.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

7.3.3 Weidegras, verteerbaarheid en eiwit

Verteerbaarheid:

Bronnen:

- De veevoedertabel van het Central Veevoeder Bureau (CVB, 2018) geeft een gemiddelde VC-os van 83.8 voor weidegras. Deze waarde wordt toegepast voor de periode 1999 – 2021.
- Beever et al (1985) beschrijven experimenten van eind jaren 70 met Engels raaigras en vinden een gemiddelde VC-os van 78 %.
- Van der Honing (1976) vindt voor experimenten in 1976 een gemiddelde verteerbaarheid van de organische stof van weidegras van 79.2 %. Het gemiddelde gehalte aan ruwe celstof bedraagt 22 %.
- Kleter (1962) beschrijft de voederwaarde van weidegras van een aantal praktijkbedrijven en komt op gemiddelde RC gehalten van weidegras van 23.5 en 25.4, met graslengtes bij inscharen van 14.0 en 15.4 cm. Op basis van Dijkstra (1954) passen deze RC waarden bij een VC-os van rond de 79 – 80 %.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- De VC-os van weidegras wordt voor 1980 op 79 % gezet en loopt vervolgens langzaam op naar de 83.8 % van 1999.
- Voor de periode voor 1980 wordt een VC-os van 79 aangehouden.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

Eiwit:

Bronnen:

- Kleter (1962) beschrijft de voederwaarde van weidegras van een aantal praktijkbedrijven en komt op gemiddelde RE gehalten van weidegras van 185 gram. Het RE gehalte van weidegras voor de periode 1950-1960 is gebaseerd op data van Kleter et al. (1962).
- Van der Honing (1976) vindt voor experimenten in 1976 een gemiddeld RE gehalte van 230 gram.
- Hijink en Rummelink (1985) vinden in beweidingsproeven in het begin van de jaren tachtig RE gehalten van 220 gram.
- De veevoedertabel van het Centraal Veevoeder Bureau (CVB, 2018) geeft een gemiddelde RE-gehalte van 227 gram voor weidegras. Deze waarde wordt toegepast voor de periode 1990 – 2021.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Het RE gehalte van weidegras tussen 1961 en 1975 wordt geleidelijk verhoogd van de waarde van Kleter et al. (1962) naar die van van der Honing (1976).
- De gegevens van van der Honing worden gebruikt tot en met 1979.
- Van 1980 tot en met 1989 worden de gegevens van Hijink en Rummelink (1985) gebruikt.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

7.3.4 Grasopname: kalfpatroon, seizoenlengte en bijvoeding

Bronnen:

- Bij de dierfactoren is al beschreven dat er voor 1975 wordt gerekend met voorjaarskalvende veestapels.
- Vanaf 1975 naar 1990 is er sprake van een verschuiving van voorjaarskalvende veestapels naar een gespreid kalfpatroon.
- De lengte van het weideseizoen is beschreven in hoofdstuk 7.2.1. Deze is 180 dagen in het begin en neemt vanaf 1981 af naar 150 dagen in 2010. Daarna blijft deze op 150 dagen.
- Tijdens de beweiding wordt in toenemende mate ruwvoer verstrekt op stal. Er werd een voorzichtig begin gemaakt met het bijvoeren van hooi in de herfst. In de jaren 70 en 80 werd bij beperkt weiden nog niet altijd extra ruwvoer op stal verstrekt. Er zijn in die periode experimenten geweest om het effect daarvan te onderzoeken (Hijink en Boxem, 1971) Er zijn geen exacte data bekend van de hoeveelheid bijvoeding in de stal.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Voorjaarskalvende koeien hebben de top van hun lactatie in het zomerseizoen. De grasopname is daarom hoger dan op basis van het aantal weidedagen verondersteld mag worden. Er is een waarde van 60 % opname in het weideseizoen als deel van de totale voeropname per jaar aangehouden voor de periode tot en met 1975, bij een weideseizoen van 180 dagen.
- Bij een gespreid kalfpatroon is de voeropname in de weide 50 % van de totale voeropname per jaar bij een weideperiode van 180 dagen, dit is gedaan vanaf 1990.
- Interpolatie van de factor grasopname vanwege het kalfpatroon voor tussenliggende jaren 1976 - 1989.
- De voorgaande drie punten gaan uit van een weideseizoen van 180 dagen. Voor andere lengtes van het weideseizoen moet worden gecorrigeerd volgens de formule correctie lengte weideseizoen = actuele lengte/180. De berekening van de grasopname in het weideseizoen als deel van functie van het kalfpatroon en de lengte van het weideseizoen samen is als volgt: fractie grasopname/totale voeropname = (correctiefactor voor kalfpatroon) * (correctie voor lengte weideseizoen)
- Voor de bijvoeding is aangenomen dat bij onbeperkt weiden geen bijvoeding is verstrekt in de periode voor 1980. In de periode 1981 – 1990 is dat afgebouwd naar een grasopname van 80 % ten opzichte van de maximale opname per dag. Voor de periode 1991 – 2000 is een percentage van 80 aangehouden, waarna het is verlaagd naar 75 % tot en met 2010 en vanaf 2010 naar 70 % van de maximale grasopname per dag.
- Bij beperkt weiden is de grasopname in de weide verminderd van 100 % in 1970 naar 80 % in 1980, steeds in stappen van 2 % per jaar. Vanaf 1980 is de grasopname verminderd met 1 % per jaar tot 60 % in het jaar 2000. Het percentage van 60 is aangehouden tot en met 2005, daarna is het teruggebracht naar 45 % van de maximale grasopname.
- De fractie grasopname in de weide als deel van het totale rantsoen is vervolgens berekend als: ((% onbeperkt weiden) * (% dagelijkse voeropname uit vers gras) + (% beperkt weiden) * (% dagelijkse voeropname uit vers gras)) * (correctiefactor voor kalfpatroon/lengte weideseizoen)

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

7.3.5 Hooi en kuilgras, hoeveelheden

Hoewel de Landbouwcijfers informatie geven over de verhouding tussen hooi en kuilgras (en "overig") in de verschillende jaren, is deze informatie niet bruikbaar om een complete reeks te maken van het geconserveerde ruwvoer dat wordt gebruikt als de dieren op stal staan. Vanaf 1970 wordt ook snijmais geteeld en in toenemende mate aan koeien gevoerd. Ook worden aanzienlijke hoeveelheden bijproducten en mengvoer gebruikt. De werkwijze om de verschillende aandelen ruwvoer, bijproducten

en mengvoer in het rantsoen vast te stellen wordt daarom gebaseerd op de nationale hoeveelheden zoals deze in de verschillende bronnen zijn gepubliceerd.

Bronnen:

- De website CBS/Statline geeft hoeveelheden ruwvoer, verhoudingen tussen graskuil en hooi vanaf 1985. De ruwvoerhoeveelheden worden weergegeven in miljoenen kg droge stof.
- Landbouwcijfers van diverse jaren geven de verhoudingen tussen kuilgras en hooi en de totale gemaaide oppervlakte grasland. De gemaaide oppervlakte grasland kan groter zijn dan de werkelijke oppervlakte grasland, omdat percelen vaker dan één keer per seizoen gemaaid kunnen worden. Het zijn dezelfde datareeksen die ook zijn gebruikt bij de bepaling van de hoeveelheid vers gras voor zomerstalvoeren. Deze reeks gaat terug tot 1966 voor de gemaaide oppervlakten en tot 1962 voor de verhouding tussen graskuil, hooi en overig.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- De totale hoeveelheden graskuil en hooi worden voor de periode 1966 – 1985 berekend op basis van een veronderstelde opbrengst per maaisnede van 3000 kg voor kuilen en 3500 kg voor hooien. De berekening gaat als volgt: a) voor graskuil: totale gemaaide oppervlakte * % verwerking tot graskuil * opbrengst graskuil per snede; en b) voor hooi: totale gemaaide oppervlakte * % verwerking tot hooi * opbrengst hooi per snede.
- In de periode voor 1966 zijn de hoeveelheden graskuil en hooi berekend als volgt: $\text{kg graskuil jaar } x = (\% \text{ graskuil jaar } x) / (\% \text{ graskuil } 1966) * (\text{kg graskuil } 1966)$. Voor hooi is een zelfde berekeningswijze toegepast.
- De aandelen hooi zijn in de periode voor 1962 ingeschat als volgt: 1959 – 1961: 71 %, 1956 – 1958: 73 %, 1963 – 1955: 75 % en 1950 – 1952: 76 %.
- De aandelen graskuil zijn voor diezelfde periodes ingeschat als volgt: 25, 23, 22 en 21 %.
- De aandelen zomerstalvoeren zijn voor 1956 – 1961 op 2 % gezet en in de periode daarvoor op 1 %.
- Het aandeel "overig" (hetgeen meestal neerkomt op gras kunstmatig drogen) is standaard op 2 % gezet.

Correcties/aanvullingen:

- Geen

7.3.6 Hooi en kuilgras, verteerbaarheid en eiwit

Verteerbaarheid

Bronnen:

- Den Boer en Bakker (2005) beschrijven voor de Koeien en kansen bedrijven de jaren 1997 – 2003 een gemiddelde VCos van graskuilen van 75.7 %.
- Corporaal en Steg (1990) beschrijven een groot aantal graskuilen uit de tweede helft van de jaren 80. Zij komen op een gemiddelde VCos van 73%.
- Bruinenberg (2003) en Korevaar (1986) hebben onderzoek gedaan naar graskuilen van semi-natuurlijke graslanden. Zij komen op een VC-os van 55 %. Deze lagere verteerbaarheid is een gevolg van een latere maaidatum (van met name de eerste snede) en een landbouwkundig minder goede botanische samenstelling. Het is van veel grassen bekend dat ze een lagere in-vitro verteerbaarheid hebben dan het tegenwoordig overheersende Engels raaigras.
- De analysecijfers van Eurofins over de periode van 2015 – 2020 geven een VC-os van 77 %.
- De CVB-tabel geeft een gemiddelde VC-os van graskuilen van 76%. Dat sluit goed aan bij de waarden van Den Boer en Bakker (2005).
- De verteerbaarheid van hooi wordt ontleend aan de CVB tabel. De VC-os van hooi ligt 6 procentpunten lager dan die van graskuil.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- De VC-os van 55% voor graskuilen is aangehouden voor de periode 1950 – 1965. Door de verbeterde inkuilmethoden (van natte kuilen naar voordroogkuilen, de grootschalige toepassing van afdekplastic en de verkorting van de veldperiode) is verondersteld dat de gemiddelde verteerbaarheid van de graskuilen vanaf 1965 steeds met 1 procentpunt omhoog gaat tot dat in 1983 het niveau van 73 % wordt bereikt. Dat is de waarde die Corporaal en Steg (1990) hebben vastgesteld voor graskuilen in de tweede helft van de jaren 80. In de periode daarna is de inkuilmethode ver verbeterd door snijden en hakselen en een betere verdichting van de graskuilen.
- Voor de periode 1991 – 1995 is een VCoS van 74 % aangehouden.
- Daarna wordt de waarde van 76 gehanteerd, op basis van Den Boer en Bakker (2005) en de CVB-tabel. Vanaf 2015 wordt de waarde van Eurofins gehanteerd.
- Voor hooi ontbreken waarden over de VC-os. Daarom is gedurende hele periode de VC-os van hooi afgeleid van die van graskuil. Vanaf 1965 tot nu is steeds een verschil van 6 procentpunten aangehouden. IN de periode voor 1965 is een verschil van 5 punten aangehouden.

Correcties/aanvullingen:

- geen

Eiwit

Bronnen:

- Corporaal en Steg (1990) beschrijven een groot aantal graskuilen uit de tweede helft van de jaren 80. Zij komen op een gemiddeld RE-gehalte van 188 gram.
- Reijneveld (200x) geeft een overzicht van analyses van de periode 1996 - 2009. Het gemiddelde RE gehalte was 165, maar aflopend van meer dan 190 in 1994 naar 160 in 2009..
- De analysecijfers van Eurofins over de periode van 2015 – 2020 geven RE-gehalten van 156 – 167 gram.
- De CVB-tabel geeft een gemiddelde RE-gehalte van 173 gram.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Het RE-gehalte van graskuilen in de periode 1975 – 1980 is ingeschat op 180 gram aan de hand van het kunstmestgebruik, zoals beschreven in van den Ham en Luesink.
- Het RE-gehalte van graskuilen voor 1975 is langzaam opgebouwd van 150 gram voor 1950 – 1954, 155 gram voor 1955 – 1959, 160 gram voor 1960 – 1964, 168 gram voor 1965 – 1969 en 175 gram voor 1970 – 1974.

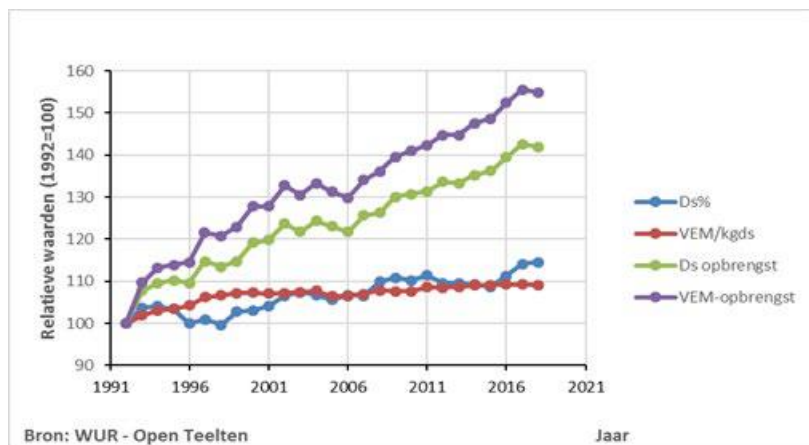
Correcties/aanvullingen:

- geen

7.3.7 Snijmais, hoeveelheden

Bronnen:

- Voor snijmais zijn goede gegevens bekend over de oppervlakten per jaar. Deze zijn afkomstig uit Landbouwcijfers, diverse jaargangen. Gegevens zijn bekend van de jaren 1970, 1975, 1980 – 1982, 1984 – 1987, 1990, 1995, 1998 – 2021.
- Gegevens over de totale opbrengsten van snijmais zijn bekend uit twee bronnen: Landbouwcijfers en CBS-Mest&Mineralen. Landbouwcijfers geeft soms data voor de kilotonnen product en soms voor de kilotonnen droge stof. CBS M&M geeft data vanaf 1990. Er zijn soms forse verschillen tussen de data van de beide bronnen, deze bedragen soms 500 tot 1000 kiloton op een totaal van 3500 kiloton.
- Gegevens over de droge stof opbrengst per hectare zijn indexcijfers bekend uit het handboek Snijmais (Werkgroep Handboek Snijmais, 2019). Zie ook **Figuur 13**. De opbrengst is in 2016/17 ruim 40 % hoger dan in 1992.



Figuur 13 Relatieve opbrengstgegevens van snijmais in rassenproeven zoals deze in de periode 1992 – 2017 zijn uitgevoerd. Bron: WUR-Open Teelten.

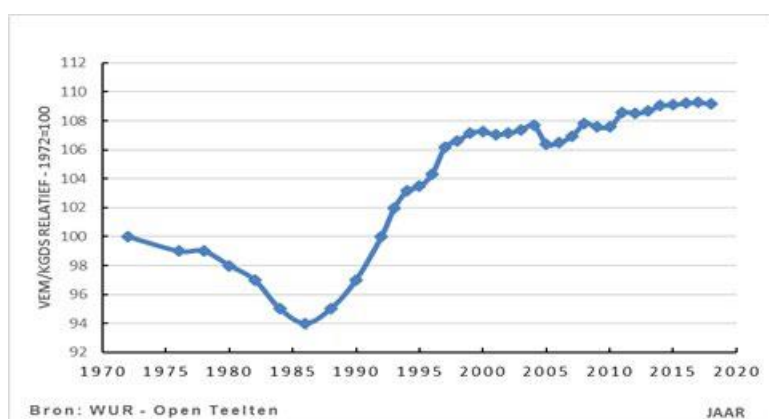
Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Om een consistente reeks te maken van de totale hoeveelheden snijmais zijn de gegevens van de Landbouwcijfers als uitgangspunt genomen. In de jaren waar areaal en totale droge stof opbrengst bekend zijn, is een opbrengst per hectare berekend. Voor de ontbrekende jaren tot 1985 is geïnterpoleerd. Voor de jaren voor 1985 is een constante droge stof opbrengst van 11000 kg per hectare aangehouden. Deze opbrengst is relevant tot 1966, als de eerste hectares met snijmais worden geteeld in Nederland (althans die terug zijn te vinden in de statistiek).
- Vervolgens is een nieuwe reeks met totale droge stof opbrengsten gegenereerd op basis van de arealen en de gemiddelde opbrengsten per hectare.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

7.3.8 Snijmais, verteerbaarheid en eiwit



Figuur 14 Relatieve verteerbaarheid van snijmais vanaf 1971. Bron: WUR – Open teelten.

Verteerbaarheid

Bronnen:

- Het Handboek Snijmais (**Figuur 14**) geeft een goede indicatie van het verloop van de verteerbaarheid van snijmais in de loop van de tijd. In de eerste jaren van de teelt van snijmais is er veel aandacht geweest voor de oogstzekerheid en de opbrengst en is er minder

aandacht geweest voor de verteerbaarheid. Vanaf begin jaren 80 is er dankzij een grotere aandacht voor verteerbaarheid een verbetering te zien vanaf 1986.

- De analysecijfers van Eurofins voor de periode 2015 – 2020 geven een verteerbaarheid van de organische stof (VC-os) van 76 %.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Op basis van de indexcijfers van het Handboek Snijmais (Werkgroep Handboek Snijmais 2019) en de uitslagen van Eurofins kan een reconstructie worden gemaakt van de VC-os van snijmais tot 1970. Het indexcijfer 109 voor de jaren 2016 en 2017 is gekoppeld aan de VC-os van 76 %.
- De berekende waarde van 1970 is ook toegepast voor de jaren ervoor.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

Eiwit

Bronnen:

- Mest en Mineralen 1990 – 2018 geeft jaarlijks N gehalten voor snijmais. Het gemiddelde N-gehalte voor die periode is 12 gram, wat overeenkomt met een gehalte van 75 gram RE. Dat is voor de gehele periode aangehouden.
- De analysecijfers van Eurofins voor de periode 2015 – 2020 geven RE gehalten van 72- 75 gram. Ook voor die periode is 75 gram RE aangehouden.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Voor de gehele periode van 1950 – 1989 is het RE gehalte van 75 gram aangehouden.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

7.3.9 Krachtvoer, hoeveelheden

Bronnen:

- CBS Dierlijke mest en mineralen 1990 – 2018 geven data voor de hoeveelheden eiwitarm en eiwitrijk mengvoer, ook geven ze data voor de hoeveelheid vochtrijke bijproducten.
- Landbouwcijfers, de jaargangen 1968, 1976, 1983, 1990, 2007 en 2012 geven een bijna volledige reeks van verbruik van mengvoer in de rundveehouderij vanaf 1950 tot en met 2011.
- De Nevedi website (bezocht 3 januari 2022) geeft een overzicht van het gebruik van rundvee mengvoeders van 2015 – 2020.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Interpolatie van de ontbrekende jaren in de reeks. Het betreft 2006 – 2008 en 2012 – 2014. Voor het jaar 2021 is dezelfde waarde als 2020 gebruikt.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

7.3.10 Krachtvoer, verteerbaarheid en eiwit

Verteerbaarheid

Bronnen:

- Van Dijk et al. (2020) geven een VC-os van 0.84 voor standaard mengvoer. Voor eiwitrijk mengvoer is en VC-os van 0.85 aangehouden.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- De gemiddelde gehalten van krachtvoer zijn voor de gehele periode gebruikt.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

Eiwit**Bronnen:**

- CBS Dierlijke mest en mineralen 1990 – 2018 geven RE gehalten voor eiwitarm en eiwitrijk mengvoer. Gemiddeld over de gehele periode is het RE-gehalte van standaard en eiwitrijk krachtvoer respectievelijk 171 en 240 gram. Het gewogen gemiddelde is bepaald op basis van driekwart standaard en een kwart eiwitrijk krachtvoer en komt uit op 188 gram.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- De gemiddelde gehalten van krachtvoer zijn voor de gehele periode gebruikt.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

7.3.11 Bijproducten, hoeveelheden

Bronnen:

- CBS Dierlijke mest en mineralen 1999 – 2018 geeft data voor de genoemde periode. Van de voorgaande jaren zijn geen data te vinden.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Gebruik van vochtige bijproducten in 1970 – 1989 is geschat op 200 kiloton, 1955 – 1969 op 150 kiloton en 1950 – 1954 op 100 kiloton.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

7.3.12 Bijproducten, verteerbaarheid en eiwit

Verteerbaarheid**Bronnen:**

- Van Dijk et al. (2020) geven de VC-os van bierbostel en bietenpulp. Het gemiddelde van beide waarden is gebruikt: 0.76.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Voor de gehele periode is de VC-os van 0.76 aangehouden..

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

Eiwit**Bronnen:**

- CBS Dierlijke mest en mineralen 1999 – 2018 geeft data voor de RE-gehalten genoemde periode. Gemiddeld 157 gram per kg. Van de voorgaande jaren zijn geen data te vinden.

Acties om ontbrekende data in te vullen:

- Het RE-gehalte van vochtige bijproducten is voor alle jaren op 157 gram gezet.

Correcties/aanvullingen:

- Geen.

8 Data

8.1 Dieren

Jaar	Melk/ Kalf koeien	Melk 305 dgn	Vet	Eiwit	Gewicht koe	Gewicht vaars	Gewicht kalf	Eerste kalving	Vervanging	Stier /mk	Tussen kalftijd
	-	Kg	%	%	Kg	Kg	Kg	Mnd	%	-	dgn
1950	1,517,999	3800	3.57	3.35	500	425	35	26	0.33	0.02	366
1951	1,535,448	3811	3.60	3.35	500	425	35	26	0.34	0.02	366
1952	1,483,103	3822	3.63	3.35	500	425	35	26	0.35	0.02	366
1953	1,500,551	3833	3.67	3.35	500	425	35	26	0.36	0.02	366
1954	1,552,896	3844	3.70	3.35	500	425	35	26	0.37	0.02	366
1955	1,517,999	3855	3.73	3.35	500	425	35	26	0.38	0.02	366
1956	1,483,103	3925	3.74	3.35	500	425	35	26	0.39	0.02	366
1957	1,500,551	3995	3.75	3.35	500	425	35	26	0.39	0.02	366
1958	1,517,999	4065	3.77	3.35	500	425	35	26	0.39	0.02	366
1959	1,570,344	4135	3.78	3.35	500	425	35	26	0.41	0.02	366
1960	1,622,689	4205	3.79	3.35	500	425	35	26	0.40	0.02	366
1961	1,675,034	4204	3.80	3.35	500	425	35	26	0.40	0.02	366
1962	1,744,827	4203	3.82	3.35	500	425	35	26	0.40	0.02	366
1963	1,744,827	4202	3.83	3.35	500	425	35	26	0.38	0.02	366
1964	1,692,482	4201	3.85	3.35	500	425	35	26	0.38	0.02	366
1965	1,727,379	4200	3.86	3.35	500	425	35	26	0.39	0.02	366
1966	1,762,275	4238	3.86	3.35	500	425	35	26	0.39	0.02	366
1967	1,797,172	4276	3.86	3.35	500	425	35	26	0.40	0.02	366
1968	1,866,965	4314	3.85	3.35	500	425	35	26	0.40	0.02	366
1969	1,901,861	4352	3.85	3.35	500	425	35	26	0.40	0.02	366
1970	1,901,861	4390	3.85	3.35	500	425	35	26	0.39	0.02	366
1971	1,919,310	4442	3.87	3.35	500	425	35	26	0.36	0.02	366
1972	1,971,655	4494	3.88	3.36	500	425	35	26	0.37	0.02	366
1973	2,111,241	4546	3.90	3.36	500	425	35	26	0.38	0.02	366
1974	2,198,482	4598	3.91	3.37	500	425	35	26	0.39	0.02	366
1975	2,215,930	4650	3.93	3.37	500	425	35	26	0.38	0.02	366
1976	2,233,379	4740	3.96	3.34	507	431	36	26	0.37	0.02	367
1977	2,198,482	4810	3.97	3.37	513	438	36	26	0.36	0.02	368
1978	2,250,827	5020	3.99	3.38	520	444	37	26	0.35	0.02	369
1979	2,320,620	5030	4.02	3.35	527	450	37	26	0.36	0.02	370
1980	2,355,516	5080	4.00	3.34	533	457	38	26	0.36	0.02	371
1981	2,390,413	5170	4.06	3.35	540	463	38	26	0.35	0.02	371
1982	2,442,758	5238	4.09	3.35	547	469	39	26	0.34	0.02	371
1983	2,529,999	5305	4.12	3.34	553	476	39	26	0.34	0.02	371
1984	2,547,447	5210	4.13	3.37	560	482	40	26	0.34	0.02	371
1985	2,372,965	5370	4.17	3.39	567	488	40	26	0.34	0.02	371
1986	2,285,723	5710	4.27	3.40	573	495	41	26	0.32	0.02	371
1987	2,093,792	5815	4.31	3.41	580	501	41	26	0.33	0.02	371
1988	1,971,655	5904	4.34	3.41	587	507	42	26	0.34	0.02	371

Jaar	Melk/ Kalf koeien	Melk 305 dgn	Vet	Eiwit	Gewicht koe	Gewicht vaars	Gewicht kalf	Eerste kalving	Vervanging	Stier /mk	Tussen kalftijd
1989	1,919,310	5996	4.36	3.41	593	514	42	26	0.37	0.02	371
1990	1,884,413	6003	4.37	3.46	600	520	43	26	0.40	0.02	372
1991	1,849,517	6007	4.43	3.47	600	520	43	26	0.41	0.02	375.2
1992	1,779,724	6136	4.41	3.45	600	520	43	26	0.42	0.02	378.4
1993	1,744,827	6325	4.41	3.45	600	520	43	26	0.40	0.02	381.6
1994	1,692,482	6443	4.45	3.47	600	520	43	26	0.40	0.02	384.8
1995	1,709,930	6580	4.40	3.48	600	520	43	26	0.40	0.02	388
1996	1,675,034	6626	4.44	3.48	600	520	43	26	0.42	0.02	389.6
1997	1,587,793	6803	4.41	3.46	600	520	43	26	0.42	0.02	391.2
1998	1,448,206	6810	4.40	3.46	600	530	43	26	0.39	0.02	392.8
1999	1,587,793	7056	4.32	3.44	600	530	43	26	0.38	0.02	394.4
2000	1,500,551	7416	4.38	3.47	600	530	43	26	0.38	0.02	396
2001	1,552,896	7127	4.44	3.46	600	530	43	26	0.36	0.02	398
2002	1,483,103	7187	4.43	3.46	600	530	43	26	0.36	0.02	400
2003	1,483,103	7494	4.40	3.47	600	525	44	26	0.35	0.02	402
2004	1,465,655	7415	4.42	3.48	600	525	44	26	0.34	0.02	404
2005	1,430,758	7568	4.39	3.49	600	525	44	26	0.35	0.02	405
2006	1,413,310	7744	4.39	3.48	600	525	44	26	0.34	0.02	406
2007	1,413,310	7858	4.41	3.48	600	525	44	26	0.35	0.02	408
2008	1,465,655	7901	4.37	3.50	600	525	44	26	0.35	0.02	409
2009	1,483,103	7892	4.36	3.47	600	525	44	26	0.37	0.02	411
2010	1,483,103	8053	4.42	3.52	600	525	44	26	0.37	0.02	413
2011	1,465,655	8040	4.40	3.51	600	525	44	26	0.36	0.02	414
2012	1,483,103	7970	4.40	3.53	600	525	44	26	0.35	0.02	415
2013	1,552,896	7966	4.40	3.53	600	525	44	26	0.35	0.02	415
2014	1,570,344	8030	4.34	3.51	600	525	44	26	0.36	0.02	413
2015	1,622,689	8308	4.38	3.53	600	525	44	26	0.36	0.02	412
2016	1,744,827	8292	4.40	3.54	600	525	44	26	0.33	0.02	411
2017	1,693,804	8639	4.37	3.56	650	540	44	26	0.31	0.02	411
2018	1,621,914	8817	4.37	3.56	650	540	44	26	0.28	0.02	411
2019	1,577,964	8900	4.34	3.57	650	540	44	26	0.25	0.02	413
2020	1,593,071	8900	4.37	3.59	650	540	44	26	0.25	0.02	416
2021	1,571,313	8900	4.37	3.59	650	540	44	26	0.25	0.02	416

8.2 Stal en mestopslag

Jaar	Weidemest	Vaste mest	Drijfmest
	%	%	%
1950	0.45	0.55	0.00
1951	0.45	0.55	0.00
1952	0.45	0.55	0.00
1953	0.45	0.55	0.00
1954	0.45	0.55	0.00
1955	0.45	0.55	0.00
1956	0.44	0.56	0.00
1957	0.44	0.56	0.00
1958	0.44	0.56	0.00
1959	0.44	0.56	0.00
1960	0.43	0.57	0.00
1961	0.43	0.57	0.00
1962	0.43	0.57	0.00
1963	0.43	0.57	0.00
1964	0.43	0.57	0.00
1965	0.43	0.57	0.00
1966	0.43	0.57	0.00
1967	0.42	0.58	0.00
1968	0.42	0.58	0.00
1969	0.42	0.58	0.00
1970	0.38	0.61	0.01
1971	0.38	0.56	0.06
1972	0.38	0.51	0.11
1973	0.37	0.47	0.16
1974	0.37	0.43	0.20
1975	0.33	0.42	0.25
1976	0.33	0.41	0.26
1977	0.33	0.40	0.27
1978	0.33	0.39	0.28
1979	0.30	0.29	0.40
1980	0.29	0.27	0.44
1981	0.28	0.26	0.47
1982	0.28	0.24	0.48
1983	0.28	0.22	0.50
1984	0.28	0.21	0.51
1985	0.28	0.19	0.53
1986	0.27	0.18	0.55
1987	0.28	0.16	0.56
1988	0.28	0.15	0.57
1989	0.28	0.13	0.59
1990	0.28	0.12	0.60
1991	0.26	0.12	0.62
1992	0.26	0.12	0.62
1993	0.26	0.12	0.62
1994	0.26	0.12	0.62
1995	0.26	0.13	0.61
1996	0.26	0.11	0.62
1997	0.26	0.10	0.63
1998	0.26	0.09	0.65

Jaar	Weidemest	Vaste mest	Drijfmest
1999	0.26	0.08	0.66
2000	0.26	0.08	0.66
2001	0.25	0.07	0.68
2002	0.18	0.08	0.74
2003	0.19	0.07	0.74
2004	0.19	0.07	0.74
2005	0.20	0.06	0.74
2006	0.18	0.06	0.76
2007	0.16	0.05	0.79
2008	0.20	0.05	0.76
2009	0.15	0.04	0.80
2010	0.15	0.04	0.81
2011	0.14	0.04	0.83
2012	0.13	0.03	0.83
2013	0.13	0.03	0.84
2014	0.13	0.02	0.85
2015	0.12	0.02	0.86
2016	0.11	0.01	0.88
2017	0.11	0.01	0.88
2018	0.11	0.00	0.89
2019	0.11	0.00	0.89
2020	0.11	0.00	0.89
2021	0.11	0.00	0.89

8.3 Rantsoen melkvee

Jaar	weidegras	Hooi	Kuilgras	Snijmais	Krachtvoer	Bijprod
	%	%	%	%	%	%
1950	0.59	0.30	0.07	0.00	0.03	0.01
1951	0.59	0.29	0.07	0.00	0.03	0.01
1952	0.59	0.29	0.07	0.00	0.03	0.01
1953	0.59	0.28	0.07	0.00	0.05	0.01
1954	0.59	0.27	0.07	0.00	0.05	0.01
1955	0.59	0.27	0.07	0.00	0.06	0.01
1956	0.59	0.27	0.07	0.00	0.06	0.01
1957	0.59	0.26	0.07	0.00	0.07	0.01
1958	0.59	0.26	0.07	0.00	0.07	0.01
1959	0.59	0.24	0.07	0.00	0.08	0.01
1960	0.59	0.24	0.07	0.00	0.08	0.01
1961	0.59	0.23	0.07	0.00	0.10	0.01
1962	0.58	0.23	0.07	0.00	0.11	0.01
1963	0.58	0.24	0.07	0.00	0.11	0.01
1964	0.58	0.23	0.06	0.00	0.11	0.01
1965	0.58	0.22	0.07	0.00	0.12	0.01
1966	0.58	0.21	0.07	0.00	0.13	0.01
1967	0.57	0.21	0.08	0.00	0.13	0.01
1968	0.57	0.20	0.08	0.00	0.14	0.01
1969	0.57	0.20	0.07	0.00	0.15	0.01
1970	0.57	0.20	0.08	0.00	0.14	0.01
1971	0.57	0.18	0.08	0.01	0.15	0.01
1972	0.56	0.13	0.10	0.02	0.17	0.01
1973	0.55	0.13	0.10	0.03	0.18	0.01
1974	0.55	0.10	0.11	0.04	0.18	0.01
1975	0.54	0.11	0.11	0.04	0.19	0.01
1976	0.53	0.08	0.09	0.06	0.24	0.01
1977	0.52	0.07	0.14	0.06	0.20	0.01
1978	0.51	0.06	0.14	0.06	0.22	0.01
1979	0.48	0.04	0.15	0.07	0.24	0.01
1980	0.47	0.04	0.17	0.08	0.23	0.01
1981	0.45	0.04	0.19	0.08	0.23	0.01
1982	0.44	0.03	0.18	0.08	0.26	0.01
1983	0.43	0.04	0.16	0.09	0.27	0.01
1984	0.41	0.03	0.18	0.09	0.26	0.01
1985	0.41	0.02	0.21	0.10	0.25	0.01
1986	0.39	0.03	0.20	0.14	0.24	0.01
1987	0.39	0.02	0.23	0.11	0.23	0.01
1988	0.37	0.02	0.23	0.13	0.23	0.01
1989	0.37	0.02	0.22	0.15	0.24	0.01
1990	0.35	0.03	0.25	0.13	0.23	0.02
1991	0.33	0.02	0.25	0.14	0.25	0.01
1992	0.32	0.02	0.26	0.15	0.24	0.01
1993	0.32	0.02	0.26	0.14	0.24	0.01
1994	0.31	0.02	0.23	0.16	0.26	0.01

Jaar	weidegras	Hooi	Kuilgras	Snijmais	Krachtvoer	Bijprod
1995	0.31	0.03	0.23	0.16	0.26	0.02
1996	0.30	0.02	0.23	0.18	0.26	0.01
1997	0.30	0.02	0.24	0.20	0.21	0.03
1998	0.30	0.02	0.27	0.18	0.22	0.02
1999	0.30	0.02	0.24	0.21	0.22	0.02
2000	0.30	0.02	0.26	0.18	0.22	0.03
2001	0.27	0.02	0.27	0.19	0.23	0.02
2002	0.22	0.02	0.31	0.20	0.22	0.02
2003	0.23	0.03	0.27	0.21	0.23	0.02
2004	0.23	0.03	0.32	0.20	0.21	0.02
2005	0.23	0.03	0.29	0.22	0.21	0.02
2006	0.19	0.03	0.31	0.23	0.23	0.02
2007	0.18	0.02	0.33	0.23	0.22	0.02
2008	0.20	0.01	0.31	0.25	0.21	0.02
2009	0.17	0.01	0.33	0.25	0.21	0.02
2010	0.17	0.01	0.33	0.23	0.23	0.03
2011	0.15	0.01	0.34	0.23	0.23	0.03
2012	0.15	0.01	0.35	0.23	0.23	0.03
2013	0.15	0.01	0.34	0.23	0.23	0.03
2014	0.15	0.01	0.37	0.22	0.22	0.03
2015	0.14	0.01	0.40	0.17	0.24	0.03
2016	0.10	0.01	0.41	0.18	0.26	0.03
2017	0.11	0.01	0.39	0.21	0.26	0.03
2018	0.11	0.01	0.37	0.19	0.28	0.04
2019	0.11	0.01	0.40	0.18	0.27	0.04
2020	0.11	0.01	0.36	0.20	0.28	0.04
2021	0.11	0.01	0.37	0.19	0.28	0.04

8.4 Rantsoen jongvee

Rantsoen Jongvee	weidegras	hooi	kuilgras	snijmais	krachtvoer	Bijprod.
	%	%	%	%	%	%
1950	0.45	0.44	0.11	0.00	0.01	0.00
1951	0.45	0.44	0.11	0.00	0.01	0.00
1952	0.45	0.44	0.10	0.00	0.01	0.00
1953	0.45	0.44	0.11	0.00	0.01	0.00
1954	0.45	0.44	0.11	0.00	0.01	0.00
1955	0.45	0.44	0.11	0.00	0.01	0.00
1956	0.44	0.43	0.12	0.00	0.01	0.00
1957	0.44	0.43	0.12	0.00	0.01	0.00
1958	0.44	0.43	0.12	0.00	0.01	0.00
1959	0.44	0.42	0.13	0.00	0.01	0.00
1960	0.44	0.42	0.13	0.00	0.01	0.00
1961	0.44	0.42	0.13	0.00	0.01	0.00
1962	0.43	0.42	0.13	0.00	0.01	0.00
1963	0.43	0.44	0.12	0.00	0.01	0.00
1964	0.43	0.44	0.12	0.00	0.01	0.00
1965	0.43	0.42	0.13	0.00	0.01	0.00
1966	0.43	0.41	0.14	0.00	0.01	0.00
1967	0.43	0.40	0.16	0.00	0.01	0.00
1968	0.43	0.40	0.16	0.00	0.02	0.00
1969	0.43	0.41	0.14	0.00	0.02	0.00
1970	0.43	0.40	0.16	0.00	0.02	0.00
1971	0.43	0.39	0.17	0.00	0.02	0.00
1972	0.43	0.32	0.23	0.00	0.02	0.00
1973	0.42	0.31	0.25	0.01	0.02	0.00
1974	0.42	0.26	0.29	0.01	0.02	0.00
1975	0.42	0.27	0.28	0.01	0.02	0.00
1976	0.41	0.25	0.30	0.01	0.02	0.00
1977	0.41	0.18	0.37	0.01	0.02	0.00
1978	0.41	0.16	0.40	0.01	0.02	0.00
1979	0.39	0.13	0.44	0.01	0.03	0.00
1980	0.39	0.12	0.45	0.02	0.02	0.00
1981	0.40	0.11	0.45	0.02	0.02	0.00
1982	0.40	0.09	0.47	0.02	0.03	0.00
1983	0.40	0.11	0.44	0.02	0.03	0.00
1984	0.39	0.09	0.47	0.02	0.03	0.00
1985	0.39	0.05	0.51	0.02	0.03	0.00
1986	0.39	0.07	0.49	0.03	0.02	0.00
1987	0.40	0.05	0.51	0.02	0.02	0.00
1988	0.40	0.05	0.51	0.03	0.02	0.00
1989	0.40	0.04	0.51	0.03	0.02	0.00
1990	0.40	0.05	0.50	0.03	0.02	0.00
1991	0.40	0.04	0.51	0.03	0.03	0.00
1992	0.40	0.04	0.51	0.03	0.03	0.00
1993	0.40	0.04	0.51	0.03	0.03	0.00
1994	0.40	0.04	0.50	0.03	0.03	0.00

Rantsoen Jongvee	weidegras	hooi	kuilgras	snijmais	krachtvoer	Bijprod.
1995	0.40	0.05	0.49	0.03	0.03	0.00
1996	0.40	0.04	0.50	0.04	0.03	0.00
1997	0.40	0.04	0.50	0.04	0.02	0.00
1998	0.40	0.03	0.52	0.04	0.02	0.00
1999	0.40	0.04	0.50	0.04	0.02	0.00
2000	0.40	0.04	0.51	0.04	0.02	0.00
2001	0.40	0.04	0.50	0.04	0.03	0.00
2002	0.35	0.04	0.55	0.04	0.02	0.00
2003	0.36	0.06	0.52	0.04	0.03	0.00
2004	0.34	0.05	0.54	0.04	0.02	0.00
2005	0.35	0.05	0.53	0.04	0.02	0.00
2006	0.33	0.05	0.55	0.05	0.02	0.00
2007	0.34	0.04	0.55	0.05	0.02	0.00
2008	0.33	0.02	0.58	0.05	0.02	0.00
2009	0.32	0.02	0.58	0.05	0.02	0.00
2010	0.31	0.02	0.59	0.05	0.03	0.00
2011	0.30	0.02	0.61	0.05	0.03	0.00
2012	0.29	0.02	0.61	0.05	0.02	0.00
2013	0.30	0.02	0.61	0.05	0.03	0.00
2014	0.29	0.02	0.63	0.05	0.02	0.00
2015	0.28	0.02	0.64	0.04	0.03	0.00
2016	0.28	0.02	0.64	0.04	0.03	0.00
2017	0.29	0.01	0.63	0.04	0.03	0.00
2018	0.29	0.02	0.62	0.04	0.03	0.00
2019	0.29	0.02	0.63	0.04	0.03	0.00
2020	0.29	0.02	0.62	0.04	0.03	0.00
2021	0.29	0.02	0.62	0.04	0.03	0.00

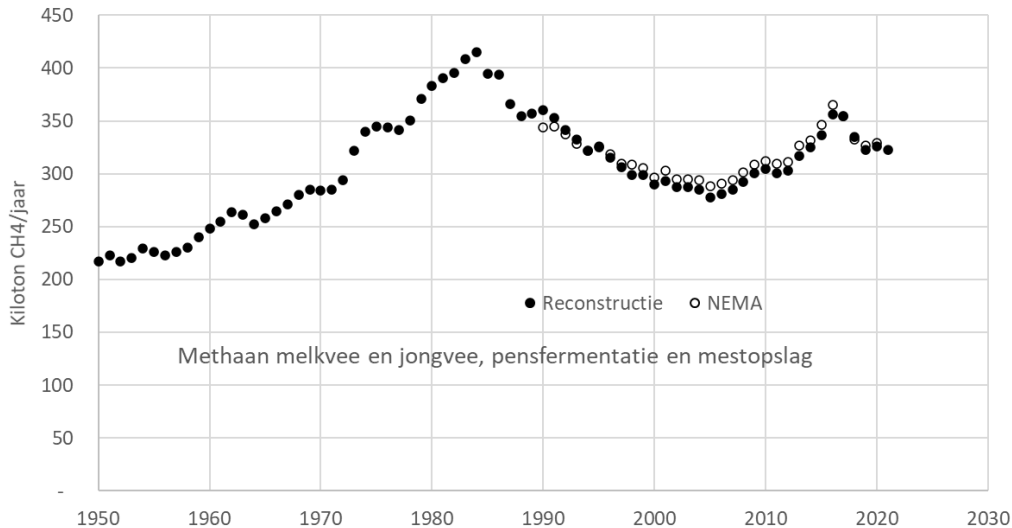
8.5 Verteerbaarheid voedermiddelen

Jaar	Vers gras	Hooi	Kuilgras	Snijmais	Krachtvoer	Bijprod
	%	%	%	%	%	%
1950	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1951	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1952	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1953	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1954	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1955	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1956	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1957	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1958	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1959	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1960	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1961	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1962	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1963	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1964	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1965	70.6	45.0	49.0	67.2	79.0	71.4
1966	70.6	45.0	49.8	67.2	79.0	71.4
1967	70.6	45.9	50.7	67.2	79.0	71.4
1968	70.6	46.8	51.6	67.2	79.0	71.4
1969	70.6	47.7	52.5	67.2	79.0	71.4
1970	70.6	48.6	53.4	67.2	79.0	71.4
1971	70.6	49.5	54.3	67.2	79.0	71.4
1972	70.6	50.4	55.2	67.2	79.0	71.4
1973	70.6	51.3	56.1	66.5	79.0	71.4
1974	70.6	52.2	57.0	66.5	79.0	71.4
1975	70.6	53.1	57.9	66.5	79.0	71.4
1976	70.6	54.0	58.7	66.5	79.0	71.4
1977	70.6	54.9	59.6	66.5	79.0	71.4
1978	70.6	55.8	60.5	66.5	79.0	71.4
1979	70.6	56.7	61.4	66.5	79.0	71.4
1980	70.6	57.6	62.3	65.9	79.0	71.4
1981	70.8	58.5	63.2	65.9	79.0	71.4
1982	71.1	59.4	64.1	65.2	79.0	71.4
1983	71.3	60.3	65.0	65.2	79.0	71.4
1984	71.5	60.3	65.0	64.5	79.0	71.4
1985	71.7	60.3	65.0	63.9	79.0	71.4
1986	72.0	60.3	65.0	63.9	79.0	71.4
1987	72.2	60.3	65.0	63.2	79.0	71.4
1988	72.4	60.3	65.0	63.2	79.0	71.4
1989	72.6	60.3	65.0	63.9	79.0	71.4
1990	72.9	60.3	65.0	64.5	79.0	71.4
1991	73.1	61.2	65.9	65.2	79.0	71.4
1992	73.3	61.2	65.9	65.9	79.0	71.4
1993	73.5	61.2	65.9	67.2	79.0	71.4
1994	73.8	61.2	65.9	68.6	79.0	71.4

Jaar	Vers gras	Hooi	Kuilgras	Snijmais	Krachtvoer	Bijprod
1995	74.0	61.2	65.9	69.2	79.0	71.4
1996	74.2	63.0	67.6	69.9	79.0	71.4
1997	74.4	63.0	67.6	69.9	79.0	71.4
1998	74.6	63.0	67.6	71.2	79.0	71.4
1999	74.9	63.0	67.6	71.2	79.0	71.4
2000	74.9	63.0	67.6	71.9	79.0	71.4
2001	74.9	63.0	67.6	71.9	79.0	71.4
2002	74.9	63.0	67.6	71.9	79.0	71.4
2003	74.9	63.0	67.6	71.9	79.0	71.4
2004	74.9	63.0	67.6	71.9	79.0	71.4
2005	74.9	63.0	67.6	72.6	79.0	71.4
2006	74.9	63.0	67.6	71.2	79.0	71.4
2007	74.9	63.0	67.6	71.2	79.0	71.4
2008	74.9	63.0	67.6	71.9	79.0	71.4
2009	74.9	63.0	67.6	72.6	79.0	71.4
2010	74.9	63.0	67.6	72.6	79.0	71.4
2011	74.9	63.0	67.6	72.6	79.0	71.4
2012	74.9	63.0	67.6	72.6	79.0	71.4
2013	74.9	63.0	67.6	72.6	79.0	71.4
2014	74.9	63.0	67.6	72.6	79.0	71.4
2015	74.9	63.9	68.5	73.3	79.0	71.4
2016	74.9	63.9	68.5	73.3	79.0	71.4
2017	74.9	63.9	68.5	73.3	79.0	71.4
2018	74.9	63.9	68.5	73.3	79.0	71.4
2019	74.9	63.9	68.5	73.3	79.0	71.4
2020	74.9	63.9	68.5	73.3	79.0	71.4
2021	74.9	63.9	68.5	73.3	79.0	71.4

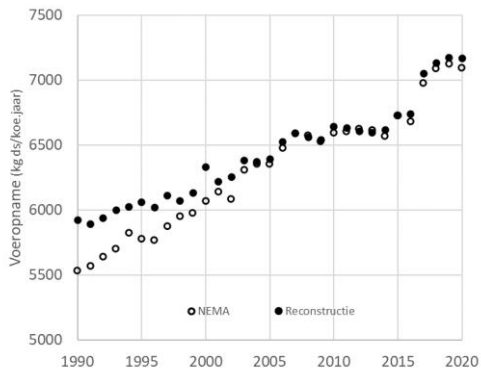
9 Vergelijking GLEAM met NEMA

Vanaf 1990 kan de jaarlijkse emissie zoals berekend met het GLEAM model worden vergeleken met de berekeningen zoals deze voor de nationale rapportage met het model NEMA worden gemaakt (**Figuur 15**). NEMA berekent de methaanemissies vanaf 1990. De open data-punten in de figuur geven de resultaten van NEMA weer. Gemiddeld is er een verschil van 1.5% tussen de resultaten van GLEAM en NEMA.



Figuur 15 De methaanemissie in kiloton per jaar van de Nederlandse melkveehouderij van 1950 – 2021, met het model GLEAM (●) en NEMA (○).

Het verschil tussen de reconstructie met GLEAM en de berekeningen met NEMA is verder onderzocht.

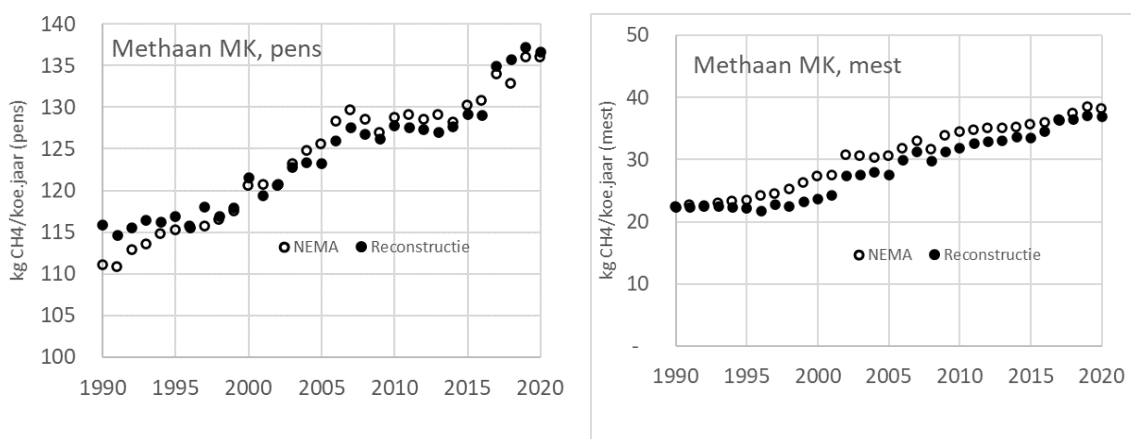


Figuur 16 Reconstructie van de voeropname van melkkoeien (●) en de berekende voeropname door NEMA(○) voor de periode 1990 – 2020.

De voeropname van melkkoeien staat in **Figuur 16**. In de periode 1990 – 2000 berekent GLEAM een hogere voeropname dan NEMA, in de periode erna is de voeropname nagenoeg gelijk voor beide methoden. Een zelfde verloop is te zien bij de methaan uit de pens (**Figuur 17**). De methaan uit de mest is bij de reconstructie lager dan de berekende waarden van NEMA. Dat is vooral een gevolg van de lagere waarden in GLEAM voor de excretie van organische stof in de mest (de Volatile Solids).

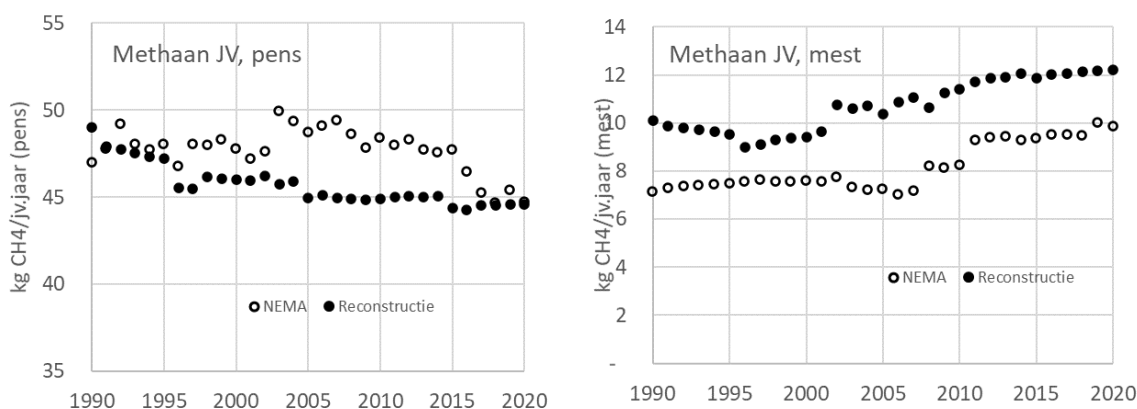
De verschillen kunnen mogelijk worden verklaard uit verschillen in de gebruikte voederwaarden. In de reconstructie is rekening gehouden met de lagere voederwaarde van snijmais in de jaren 90. Deze voederwaarde is vanaf die tijd gestegen dankzij gerichte veredeling. Ook bij vers gras en kuilgras zijn

verschillen gevonden tussen de waarden die NEMA hanteert en de waarden die ontleend zijn aan praktijkbedrijven en diverse analyses. De voederwaarden worden verantwoord in de bijlagen.



Figuur 17 Reconstructie van de methaan uit de pens (linker grafiek) en de mest (rechter grafiek) van melkkoeien (●) en de berekende waarden van NEMA (○).

Bij jongvee is juist het omgekeerde te zien, de methaanemissie uit de pens is lager in de reconstructie dan is berekend met NEMA, terwijl de emissie uit mest hoger is in de reconstructie dan wordt berekend door NEMA (**Figuur 18**). Dat kan worden veroorzaakt door kleine verschillen in de uitgangspunten. NEMA hanteert een benadering die is gebaseerd op de bruto energie opname van jongvee, terwijl GLEAM werkt met de verteerbaarheid van de organische stof. In de reconstructie wordt geen onderscheid gemaakt in mestopslag tussen volwassen dieren en jongvee, terwijl dat in de NEMA berekeningen wel wordt gedaan. Ook is er sprake van onzekerheid rondom de uitkomst van modelberekeningen. Lagerwerf et al. (2019) schatten de onzekerheid voor berekening van de ammoniakemissie op 25 % op nationaal niveau. Als een vergelijkbare onzekerheid van toepassing is op berekening van broeikasgassen, vallen de gevonden verschillen ruim binnen de onzekerheidsmarge.



Figuur 18 Reconstructie van de methaan uit de pens (linker grafiek) en de mest (rechter grafiek) van jongvee (●) en NEMA (○)

Over het algemeen kan worden geconstateerd dat de reconstructie van de emissies goed genoeg overeenkomt met de berekeningen van NEMA om gebruikt te kunnen worden voor een historische reconstructie en een vooruitblik van de methaanemissie in de toekomst.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

