Position paper
Optimaal gebruik ammoniakemissie-arme stal voor 'oogsten' grondstof voor groengas

Opdrachtgever: Host Biogas

Datum: oktober 2021

Voorbereid door: Monteny Milieu Advies
Wilhelminalaan 38
3238 AR Zwartewaal
06 533 46 228

Inhoud

Samenvatting ... 3
1 Inleiding ... 4
2. Gasvormige emissies dierlijke mest: achtergronden ... 5
2.1. Ammoniak ... 5
2.1.1. Theorie ... 5
2.1.2. Reductie stalemissie melkveehouderij ... 6
2.1.3. Aanpak stalemissie overige diersoorten ... 8
2.2 Methaan uit mest ... 8
3. Integrale aanpak ammoniak en methaan ... 11
3.1 De stal als mest-productiemiddel ... 11
3.2 Van stal- naar bedrijfsniveau ... 12
4. Scenario's en invloed op ammoniak- en methaanemissie ... 13
4.1 Scenario's ... 13
4.2 Rekenregels en uitgangspunten ... 14
4.3 Resultaten ammoniak ... 15
4.4 Resultaten methaan ... 15
4.5. Economische verkenningen ... 17
5. Conclusies ... 20
Literatuur ... 21
Bijlage 1: Excel-berekeningen NH_3 per scenario ... 22

Samenvatting

In opdracht van Host Biogas BV heeft Monteny Milieu Advies verkenningen uitgevoerd naar de kansen voor integrale vermindering van de ammoniak- en methaanemissie op melkveebedrijven. Monteny Milieu Advies heeft een lange staat van dienst in onderzoek en advisering op het gebied van emissie en veehouderij.
Uitgangspunt daarbij is geweest dat emissies van ammoniak en methaan op bedrijfsniveau vergaand kunnen worden gereduceerd wanneer de stal gaat worden gezien als plaats waar mest of meststromen worden geproduceerd ('geoogst') voor verdere verwaarding.

Drie scenario's zijn verkend ten opzichte van de traditionele melkveehouderij (scenario 1):

- Vergisten van mengmest en strippen van het digestaat (scenario 2a)
- Primaire scheiding in de stal, vergisten van beide fracties en strippen van digestaat (scenario 2b)
- Primaire scheiding in de stal, vergisten van de dikke fractie en strippen van urine-fractie (scenario 3)

De ammoniakemissie van een traditioneel melkveebedrijf was ca. 33 kg NH_3 per dier per jaar. Deze nam voor scenario 2a af met ca. 55% tot 15 kg NH_3 per dier per jaar, voor scenario 2b met ca. 65% tot ca. 11,5 kg NH_3 per dier per jaar en voor scenario 3 met ca. 60% tot 13,6 kg NH_3 per dier per jaar. Voor de scenario's 2a en 2b werd de stalemissie van methaan vergaand gereduceerd (-90%, ofwel 40,5 kg CH_4 per dier per jaar minder dan uit de traditionele ligboxenstal) en tegelijkertijd groen gas geproduceerd (375 kg CH_4 per dier per jaar). Bij scenario 3 was dat iets minder, omdat daar de urine-fractie nog organische stof bevatte en dus CH_4 emitteerde.

Scenario 2b, met primaire scheiding in de stal met een nog te ontwikkelen 'Plus'-vloer, vergisten van beide fracties en strippen van het digestaat blijkt de hoogste NH_3-emissiereductie en de meeste klimaatwinst op te leveren. Bij het gescheiden houden van de urine-fractie en de faeces-fractie (scenario 3) wordt de CH_4-productie van de organische stof in de urinefractie niet benut en is het klimaat-rendement lager dan bij scenario 2a/2b.

Primaire scheiding van urine en faeces biedt mogelijkheden voor verdere verwaarding van beide fracties, bijvoorbeeld tot kunstmestvervanger (urine) en organische bodemverbeteraar (faeces). Echter, om de groengas-productie per koe te maximaliseren, is ook de urine fractie nodig. Dit wordt bereikt door primaire scheiding in de stal (bij de bron) en vervolgens bij elkaar brengen van de dunne fractie en faeces buiten de stal voor groen gas-productie. Hierbij wordt ook de hoogste emissiereductie van NH_3 bereikt.

De economische haalbaarheid van de scenario's is in sterke mate afhankelijk van de schaalgrootte. De huidige ontwikkelingen in de markt voor carbon-credits en stikstof bieden mogelijkheden voor een toekomstig verdienmodel. Voorwaarde daarbij is dat de melkveehouderij schema's aangereikt krijgt om de milieuwinst in termen van reductie van NH_3 en CH_4 en de productie van een energiedrager ter vervanging van fossiele brandstoffen te kapitaliseren.

1 Inleiding

De grootschalige uitrol en de daarmee samenhangende emissiereductie en productie van groen gas kent een aantal uitdagingen.

In de eerste plaats is monomestvergisting op een gemiddeld melkveebedrijf, ondanks de SDE+-vergoeding, vooral vanwege de schaalgrootte nauwelijks rendabel.

Ten tweede zijn de huidige traditionele stalsystemen met betonnen roosters niet geschikt om dagelijks mest te 'oogsten' voor vergisting, terwijl de vergisting van verse mest meer groen gas oplevert dan de vergisting van oude mest. Een aantal emissie-arme vloeren is wel geschikt om verse mest te oogsten. Echter, vanwege de relatief hoge kosten van de benodigde stalaanpassing staat het verdienmodel daarvan onder druk.

In de derde plaats is de SDE-vergoeding slechts toereikend bij zeer grote installaties, echter is hierbij het vergunningstraject problematisch (duur: > 5 jaar). Dit blijkt met name uit het geringe aantal verleende vergunningen (circa 4).

Tenslotte staan alle veehouderijsectoren voor een grote uitdaging als het gaat om milieu (stikstof) en klimaat (methaan).

Binnen deze context heeft Host Biogas aan Monteny Milieu Advies gevraagd om een analyse uit te voeren met als doel het geven van inzicht in de impact van het vergisten (en verwerken) van dagverse mest. Mestvergisting als basis voor het behalen van de klimaatdoelstellingen en het komen uit de stikstofcrisis.

Bij de opdracht formuleerde Host Biogas dit als volgt:"Win(overheid)/Win(Milieu)/Win (landbouw), Win (woningbouw/infrastructuur/derde partijen)".

Deze *position paper* geeft hiervoor een basis en heeft betrekking op de melkveehouderij. Voor hokdieren (varkens, vleeskalveren) geldt een hoge mate van analogie, rekening houdend met verschillen zoals: een relatief grotere bijdrage van de mestkelder aan de stalemissie (ca. 70%), een relatief groter belang van vermindering van stalemissies ten opzichte van andere bronnen op het bedrijf en een relatief grotere bijdrage van mestmethaan ten opzichte van entherisch methaan.

In hoofdstuk 2 worden de theoretische achtergronden van de emissie van ammoniak en methaan vanuit de melkveehouderij gepresenteerd. Hoofdstuk 3 beschrijft de stal als productiemiddel voor mest (-fracties) en is de opmaat naar de scenariostudie die centraal staat in hoofdstuk 4. In dat hoofdstuk worden 3 scenario's voor de integrale aanpak van de ammoniak- en methaanproblematiek voor de bronnen stal, opslag en toediening beschreven en besproken ten opzichte van een traditioneel melkveebedrijf. De scenario's betreffen dagontmesting en primaire scheiding in de stal, in combinatie met monomestvergisting en primaire scheiding in de stal in combinatie met mineralenterugwinning uit de urinefractie en monomestvergisting van de dikke fractie. De analyse betreft vooral de emissies en in beperkte mate de economische aspecten.

2. Gasvormige emissies dierlijke mest: achtergronden

In dit hoofdstuk worden theoretische achtergronden gegeven van het ontstaan en de emissie van ammoniak (paragraaf 2.1) en mestgebonden methaan (paragraaf 2.2) op melkveebedrijven en in het bijzonder in melkveestallen. Tevens worden op literatuur gebaseerde emissiefactoren op 'per koe basis' geïnventariseerd, die in Hoofdstuk 4 worden gebruikt bij de scenariostudie.

2.1. Ammoniak

2.1.1. Theorie

Ureum-stikstof (NH_2NH_2CO) is de belangrijkste bron van ammoniak (NH_3) in de veehouderij. Het ontstaat overal waar urine met ureum in contact komt met oppervlakken die 'besmet' zijn met faeces ('met mest besmeurd oppervlak'). In deze faeces zitten bacteriën die het enzym 'urease' vormen. Deze enzymen zetten ureum razendsnel (binnen 2-3 uur) volledig om in ammoniak. Dat is een onomkeerbaar proces:

Ureum $\rightarrow$ $_{\text{urease}}$ $\rightarrow$ NH_3

Het gevormde gasvormige ammoniak is in urine (op de vloer) en mest (in de kelder) in evenwicht met de opgeloste vorm, ammonium (NH_4^+).

$NH_3 \leftarrow\rightarrow NH_4^+$

Dit evenwicht is vooral afhankelijk van de zuurgraad (pH) van de urine/mest, waarbij de pH van de urine wordt beïnvloed door de pH van de vloer. Omdat de meest vloeren van beton (cement) gemaakt zijn, is de pH van urine op de vloer hoger (pH 9) dan de pH van de mest (pH 7-8). Het totaal van ammoniak en ammonium wordt wel 'TAN' genoemd, of Totaal Ammoniacal Nitrogen.
De gasvormige ammoniak verdampt vanaf de vloer en vanaf het mestoppervlak in de kelder onder invloed van temperatuur en luchtsnelheid.

$NH_{3,\text{ urine/mest}} \rightarrow NH_{3,\text{lucht}}$

Dit laatste proces noemen we vaak de uitstoot of de emissie (of vervluchtiging, verdamping).

Hieronder wordt de ammoniakemissie in de melkveehouderij nader geduid.

Stikstofuitscheiding en ammoniakemissie melkvee
Van de ca. 130 kg stikstof die een koe 'onder de staart' uitscheidt, gaat 13 kg per jaar in de stal de lucht (emissie) in als ammoniak. Dit is (slechts) 10% van die uitscheiding.
Van die 130 kg stikstof is ca. 50% ureum-stikstof (minerale vorm) en ca. 50% onverteerd eiwit (organische vorm). Van de ca. 65 kg ureum-stikstof (totaal ammoniakale stikstof of TAN) die per dier per jaar (via de urine) wordt uitgescheiden, gaat in de stal derhalve ca. 20% als ammoniak de lucht in.
De rest blijft dus in de mest (ca. 65 kg N in organische vorm en 65 - 13 = 52 kg in minerale vorm, totaal 117 kg) en wordt buiten de stal opgeslagen en daarna uitgereden op grasland en bouwland.

2.1.2. Reductie stalemissie melkveehouderij

Vanaf 2008 (Besluit Huisvesting) is een groot aantal emissie-arme vloersystemen voor de melkveehouderij via proefstallen (Bijzondere Emissiefactoren), tijdelijke erkenning (Voorlopige EmissieFactoren) en metingen volgens meetprotocol (Definitieve EmissieFactoren) in de Regeling Ammoniak en Veehouderij (RAV) opgenomen. Van de 13 kg ammoniak die per koe per jaar in een traditionele melkveestal met betonnen roosters en mestkelder vervluchtigt, is ca. 40% (5,2 kg) afkomstig uit de mestkelder en ca. 60% (7,8 kg) vanaf de betonnen roosters.

Emissie-arme vloeren verminderen respectievelijk de emissie van NH_3 vanaf de vloer en vanuit de kelder door:

- snelle urine-afvoer door een helling naar de kelder;
- door het afsluiten van de mestkelder.

Ze zijn ruwweg in 3 categorieën in te delen (voorbeelden: zie Figuur 1 t/m 3):

- Emissie-arme roostervloeren (zie Figuur 1). Deze vloeren verminderen de NH_3-emissie vanuit de mestkelder en vanaf de stalvloer met ruwweg eenzelfde percentage, aangezien in vergelijking met open betonnen roosters urine sneller van de vloer afstroomt, hetgeen de vloeremissie vermindert, en door voorzieningen in de roosterspleten de kelderemissie wordt beperkt;
- Emissie-arme 'plaatvloeren' met regelmatige mestafstort. Bij deze vloeren zal de reductie van de kelderemissie relatief gezien hoger zijn dan de reductie van de vloeremissie, aangezien het oppervlak voor luchtuitwisseling tussen kelder en stal aanzienlijk wordt beperkt veelal door de aanwezigheid van een afdichtflap in de mestspleten (zie Figuur 2). Het vloeroppervlak wordt vergroot, maar het ontwerp ervan zorgt voor een goede afstroming van urine naar de kelder.
- Dichte (sleuf-)vloeren van beton en rubber, zonder en met zgn. giergaatjes. Deze vloeren hebben geen kelderemissie (Figuur 3), maar de vloerbijdrage neemt relatief gezien wel toe, omdat bij vloeren zonder giergaatjes mest en urine door schuiven uit de stal moeten worden afgevoerd (bij vloeren met giergaatjes betreft dat alleen de mest).



Figuur 1. Voorbeelden van een emissie-arme roostervloer (foto's: Proflex en Anders Beton).




Figuur 2. Voorbeelden van emissie-arme 'plaatvloeren' (foto's: HCI en Oost Beton).





Figuur 3. Voorbeelden van emissie-arme dichte vloeren (Foto's: V17 Agro, Swaans Agra en Proflex).

Op de website https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/emissiearme-stalsystemen/emissiefactoren-per/map-staltypen/hoofdcategorie/ wordt een actueel overzicht gegeven van alle emissie-arme systemen per diersoort met de emissiefactoren (kg NH_3 per dierplaats per jaar) per systeem. In tabel 1 wordt per vloertype de bandbreedte van de emissiefactor gegeven.

Tabel 1. Bandbreedte emissiefactoren vloertypen.

Vloertype	**Emissiefactor (kg NH_3 per dierplaats per jaar)**
Traditionele betonnen roostervloer	13
Emissie-arme roostervloeren	6 – 7
Plaatvloeren met regelmatige afstort	6 – 8
Dichte (sleuf-)vloeren zonder urine-gaatjes	7 – 10
Dichte (sleuf-)vloeren met urinegaatjes	6 – 8

De in tabel 1 genoemde emissiefactoren zijn tot stand gekomen op basis van metingen volgens het landelijke meetprotocol aan 4 zgn. proefstallen met dezelfde vloer en zijn derhalve een zgn. 'Definitieve EmissieFactor' onder Besluit Huisvesting. Met emissie-arme vloeren kan derhalve een forse NH_3-emissiereductie (38 – 54%) worden gerealiseerd ten opzichte van de emissiefactor van 13 kg NH_3 per dierplaats per jaar voor traditionele ligboxenstallen.

2.1.3. Aanpak stalemissie overige diersoorten

Voor varkens- en vleeskalverstallen gelden dezelfde processen en factoren, maar is de bijdrage vanuit de mestkelder hoger (60-70% van de stalemissie) dan de vloerbijdrage (30-40%). De reden hiervoor is een combinatie van het mestgedrag (varkens, stiertjes) en de houderijvorm (hokdieren). Voor deze diersoorten zijn de oplossingen derhalve meer op de kelder gericht, zoals:

- Primaire scheiding van urine en faeces onder de roosters (hellende keldervloer, geperforeerde mestbanden, hellende mestbanden);
- Frequente faecesverwijdering door schuiven putvloer, afdraaien mestbanden e.d.;
- Continue afstroming urine naar buiten de stal;
- Opvang mest in ammoniak-arme vloeistof;
- Koelen mest(-oppervlak).

Door die relatief hoge kelderbijdrage en de relatief hoge reductie-eisen voor de hokdierhouderij (incl. geur en fijnstof), in vergelijking met melkvee, worden in de varkens- en vleeskalverhouderij vooral bovengenoemde keldermaatregelen onderzocht in combinatie met vloervarianten.

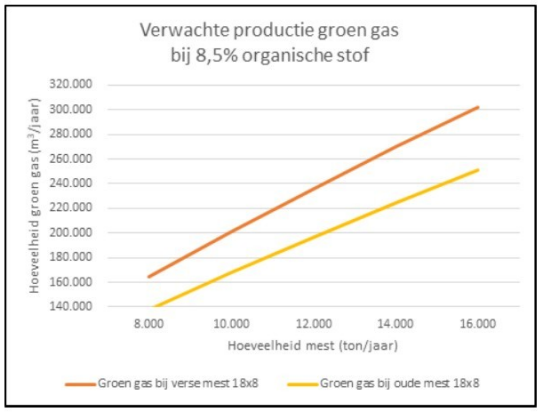
2.2 Methaan uit mest

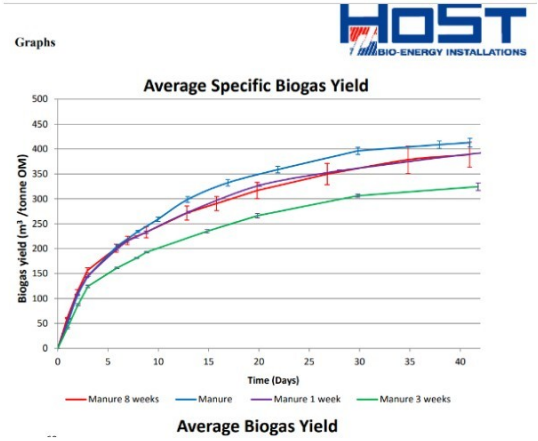
Naast ammoniak is voor de veehouderij ook de emissie van (overige) broeikasgassen lachgas (N_2O) en methaan (CH_4) een belangrijk thema; die spelen een rol in de klimaatverandering. In dit document wordt vooral aandacht besteed de mestgebonden methaan.
In het algemeen wordt aangenomen dat bij herkauwers (melkvee, vleeskalveren, geiten) het grootste deel (ca. 75%) van de CH_4 vrijkomt bij de spijsvertering (entherische methaan); de overige ca. 25% is afkomstig uit de mest, althans bij langdurige opslag, vooral in de stal (Sebec *et al*., 2014). Recente metingen doen overigens vermoeden dat deze verdeling anders (relatief meer uit de mest) kan zijn voor vleeskalveren en geiten. Voor varkens is mest de grootste bron van CH_4.

In het kader van deze studie is de biogasproductie van belang.

Van Lent en Van Dooren (2001) kwamen bij metingen in het kader van vergistingsonderzoek uit op gemiddeld 13,2 m^3 CH_4 per m^3 (= ton) melkveemest.

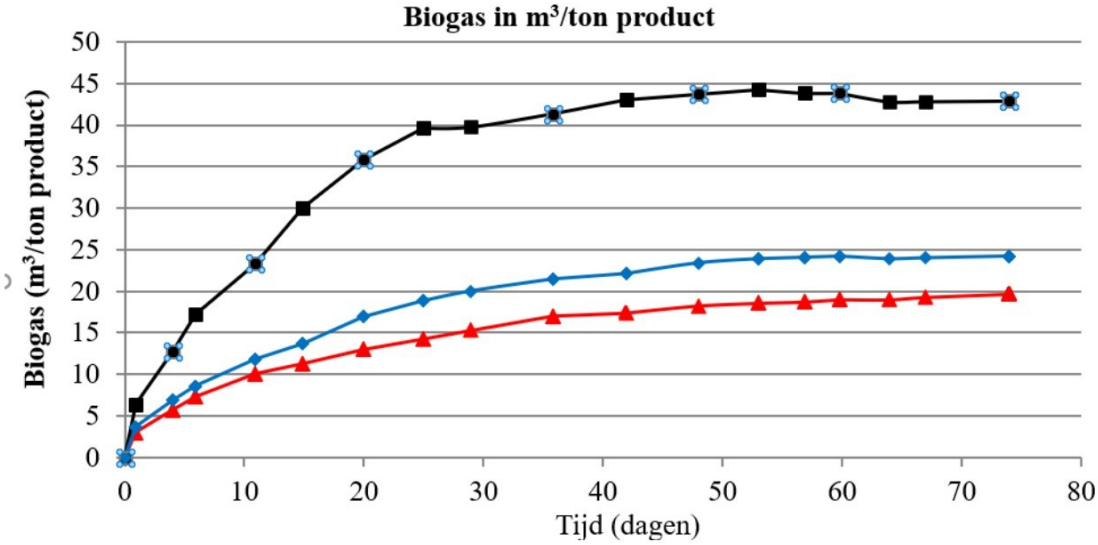
Host Biogas (eigen metingen; zie Figuur 4) heeft een ruime dataset met gegevens van metingen in de praktijk en meet biogasproducties van 20 tot 35 m^3 biogas per ton mest (vloeibaar product) voor respectievelijk mest van enkele maanden oud en dagverse mest, hetgeen uitgaande van 57% CH_4 neerkomt op resp. 11,5 en 20,0 m^3 CH_4 per ton mest.





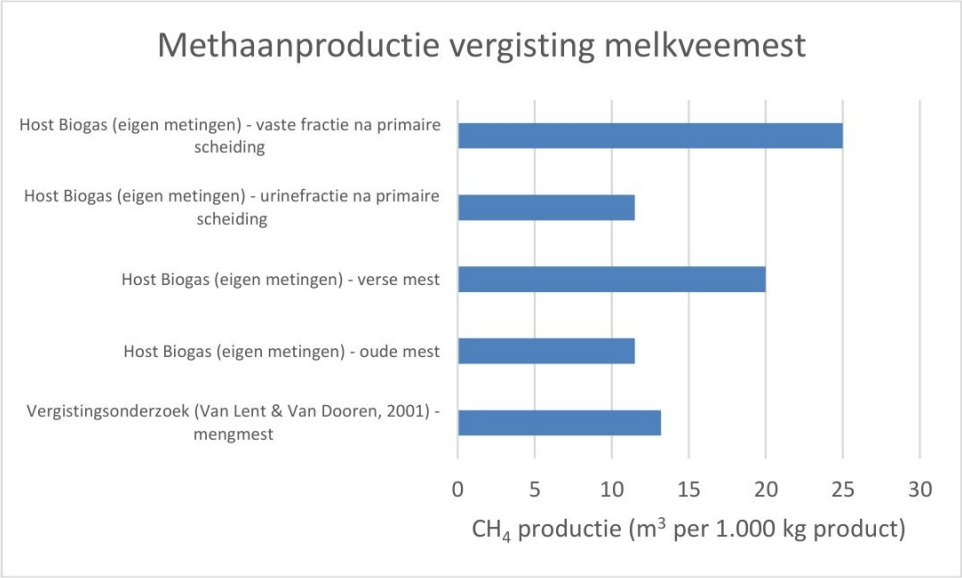
Figuur 4. Relatie tussen mesthoeveelheid en hoeveelheid groen gas bij verse en oude mest (bron: Host Biogas).

De eigen metingen van Host Biogas (zie Figuur 5) tonen ook aan dat bij primaire mestscheiding via de vloer in de melkveestal uit de urine-fractie ca. 20 m^3 biogas (ca. 11,5 m^3 CH_4 = 8,6 kg CH_4) per ton product wordt geproduceerd (de rode lijn), waarin ook wat dunne mest aanwezig is. De afgestorte dikke fractie (de zwarte lijn) levert per ton product ca. 45 m^3 biogas (ca. 25 m^3 CH_4 = 18,8 kg CH_4). De blauwe lijn toont de biogasproductie van mengmest onder de roostervloer in de doorsteken van de stal.



Figuur 5. Biogasproductie van de urine-fractie (inclusief dunne mest; rode lijn) en de faeces=-fractie (zwarte lijn) afkomstig van een primaire mestscheidingsvloer in de loopgangen van een melkveestal. De blauwe lijn toont de biogasproductie van de mengmest onder de roostervloer in de doorsteken van dezelfde stal.

Bovenstaande cijfers geven samengevat het volgende beeld (Figuur 6).



Figuur 6. Overzicht CH_4-productie bij vergisting van melkveemest volgens diverse literatuurbronnen.

De eigen metingen van Host Biogas geven duidelijk aan dat:

- vergisting van verse mest een aanzienlijk hogere methaanproductie (+8,5 m^3 CH_4 per ton product) dan vergisting van oude mest;
- vergisting van de vaste fractie na primaire scheiding een hoge methaanproductie geeft, maar dat de methaanproductie uit de urine-fractie niet kan worden verwaarloosd.

3. Integrale aanpak ammoniak en methaan

Na het begin van een innovatieperiode op het gebied van vermindering van de stalemissie van NH_3 in het vorige decennium, is de laatste jaren een meer integrale ontwikkeling aan de gang, waarbij ook de emissie van CH_4 belangrijk is. Dit hoofdstuk schetst deze ontwikkelingen op hoofdlijnen, met mogelijkheden voor een integrale aanpak als uitgangspunt.

3.1 De stal als plaats om de mest te 'oogsten'

In melkveestallen met traditionele roostervloer gaat veel gas uit de mestopslag onder de vloer verloren. Dit resulteert in een lagere gasproductie bij vergisting. Daarnaast is extra opslagcapaciteit nodig, omdat het digestaat na vergisting niet in dezelfde opslag kan worden opgeslagen.

Het verschil in gasproductie tussen verse mest en oude mest is ten minste 20% bij een zelfde drogestof-gehalte, maar aangezien het drogestofgehalte van oude mest lager is dan van verse mest, omdat tijdens veroudering organische stof omgezet wordt in biogas, wordt per ton product ca. 8,5 m^3 meer CH_4 geproduceerd (ca. +15 m^3 biogas).

Voor het 'oogsten' van verse mest is het nodig om de stalvloer aan te passen, zodat faeces en urine (samen: verse mest) frequent, dus 'vers' van de stalvloer kunnen worden verwijderd en verzameld voor de productie van groen gas. Hiervoor is een aantal stalvloeren geschikt/bedoeld; andere stalvloeren kunnen hiervoor geschikt gemaakt worden (zie Tabel 2).

Tabel 2. Emissiearme vloersystemen melkveehouderij in relatie tot vergisting.

Vloertype	**Eventuele aanpassingen t.b.v. dagvers 'oogsten'**	**Effect hiervan**
Traditionele betonnen roostervloer	Afdicht-element (evt. met gaatjes)	Alleen faeces verzameld (urine in de mestkelder)
Emissie-arme roostervloeren	Afdicht-element (evt. met gaatjes)	Alleen faeces verzameld (urine in de mestkelder)
Plaatvloeren met regelmatige afstort	Afdicht-element (evt. met gaatjes)	Alleen faeces verzameld (urine in de mestkelder)
Dichte (sleuf)vloeren zonder urine-gaatjes	n.v.t.	Mengmest verzameld
Dichte (sleuf)vloeren met urinegaatjes	n.v.t.	Alleen faeces verzameld (urine in de mestkelder)

Vers 'oogsten' van mest is van belang bij het voorkomen van CH_4-emissie en vanwege het grote verschil in biogasproductie tussen oude mest en verse mest.
Dichte vloeren hoeven daarvoor niet verder te worden aangepast; voor andere emissie-

arme vloeren zijn aanpassingen mogelijk in de vorm van afdichtelementen. Het effect hiervan op de NH_3-emissie dient nader te worden onderzocht. Mogelijk kan door het aanbrengen van gaatjes (afvoer van urine) de oorspronkelijke emissiereducerende eigenschap worden behouden of zelfs verbeterd.

Primaire scheiding van urine en faeces (bijv. door de genoemde gaatjes) biedt mogelijkheden voor verdere verwaarding van beide fracties, bijv. tot kunstmestvervanger (urine) en organische bodemverbeteraar (faeces). Echter, om de groengas-productie per koe te maximaliseren en boerderijvergisting rendabel te maken, is ook vergisting van de urine fractie nodig (zie Figuur 5).

Rationale achter primaire scheiding in de stal
Dierwelzijn, diergezondheid, emissies van geur/stank en fijnstof kunnen ook profiteren van primaire scheiding van faeces en urine in combinatie met verder opwerking van beide fracties buiten de stal. Deze ontwikkeling lijkt te gaan worden versterkt door de in 2020 verschenen Subsidieregeling Brongericht maatregelen Veehouderij (Sbv). Deze regeling vloeit voort uit de stikstofdiscussie en wordt 5-10 jaar opengesteld met als doel om emissies uit de veehouderij integraal en vergaand te reduceren, inclusief de circulariteitsgedachte.
De aard van de regeling vergt een reductie van de mestgebonden CH_4 met 50% ten opzichte van gangbaar (12,5% CH_4-reductie op 'stalniveau'), zonder verschuiving van de stal naar de opslag. Vergisten is hiervoor een voor de hand liggende techniek.

3.2 Van stal- naar bedrijfsniveau

Op een veehouderijbedrijf zijn meerdere bronnen van stikstofverlies door ammoniakemissie: stal (incl. opslag onder de vloer), buitenopslag (afdekken verplicht), toediening op gras- en/of bouwland en eventueel weidegang of uitloop.
De ammoniakemissie uit de stal valt onder verantwoordelijkheid van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W, voorheen VROM); alle overige bronnen onder het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). De stalemissies zijn gereguleerd via Besluit Huisvesting (incl. Regeling Ammoniak en Veehouderij), waarin eisen worden gesteld aan de maximale emissie in kg NH_3 per dierplaats per jaar. In de RAV is een lijst opgenomen met stalsystemen (incl. luchtwassers) die toegepast mogen worden met bijbehorende emissiefactoren. De ammoniakemissie van mestopslagen wordt gereguleerd door de plicht tot afdekking en bij mesttoediening zijn machines en methoden ('middelen') voorgeschreven. In alle gevallen betreft het 'middelvoorschriften'.
Voor een doelmatige aanpak van emissies op bedrijfsniveau is het, zeker bij grondgeboden bedrijven, van belang dat integraal wordt gekeken naar alle bronnen en alle relevante gassen.

4. Scenario's en invloed op ammoniak- en methaanemissie

Uitgaande van de in de voorgaande hoofdstukken geschetste ontwikkelingen, worden in dit hoofdstuk verkennende berekeningen gepresenteerd van de NH_3- en CH_4-emissies van de volgende scenario's:

- Scenario 1: het basis-scenario (scenario 1), zijnde een gangbaar melkveebedrijf met een roostervloer en mestkelder onder de stal
- Scenario 2a: vergisten mengmest + stikstofstrippen
- Scenario 2b: primaire scheiding in de stal + vergisten beide fracties + stikstofstrippen
- Scenario 3): energie + mineralen uit mest.

4.1 Scenario's

Op hoofdlijnen is de inhoud van de scenario's als volgt:

Scenario 1 (traditioneel melkveebedrijf)

- Traditionele ligboxenstal met roostervloer en opslag eronder
- Afgedekte buitenopslag (totale opslagcapaciteit stal en buiten 7 – 9 maanden)
- Emissie-arme mesttoediening op gras- en bouwland (zodebemester)

Scenario 2a (vergisten mengmest en stikstofstrippen):

- Ligboxenstal met emissie-arme, dichte vloer met regelmatige verwijdering mengmest door schuiven (elke 2 uur) – voldoet aan drempelwaarde RAV (8,6 kg NH_3 per dierplaats per jaar)
- Alle mengmest vergisten (mono-mestvergisten)
- Strippen stikstof (en opvangen in zuur tot stikstofconcentraat)
- Gasdichte opslag digestaat
- Emissie-arme toediening digestaat op gras- en bouwland (zodebemester)
- Toediening concentraat met spaakwielbemester

Scenario 2b is een variant hierop, waarbij een primaire mestscheidingsvloer wordt toegepast in de stal en beide fracties gezamenlijk worden vergist. Hierbij wordt een toekomstige primaire mestscheidingsvloer ('Plus'-vloer) toegepast met een emissieactor van 5 kg NH_3 per dierplaats per jaar.

Scenario 3 (energie en mineralen uit mest):

- Ligboxenstal met emissie-arme 'Plus'-vloer voor primaire scheiding urine en faeces, en regelmatige verwijdering faeces door schuiven (elke 2 uur)
- Urine-fractie strippen (kunstmestvervanger en water lozen/uitbrengen op eigen land)
- Faeces-fractie vergisten (mono-mestvergisten)
- Gasdichte opslag vergiste faeces
- Emissie-arme toediening digestaat op gras- en bouwland (zodebemester)
- Toediening concentraat met spaakwielbemester

4.2 Rekenregels en uitgangspunten

De belangrijkste rekenregels en uitgangspunten zijn in tabel 3 weergegeven. Details van de uitwerking hiervan voor de verschillende scenario's zijn opgenomen in Bijlage 1, als excel-werkblad per scenario.

Tabel 3. Overzicht gebruikte uitgangspunten en literatuurverwijzing.

Grootheid	**Waarde en eenheid**	**Literatuurverwijzing**
Ammoniak		
Stikstofexcretie	130,5 kg N per dier per jaar	Sebek *et al.*, 2017
TAN[1] -excretie	84,5 kg N per dier per jaar	Sebek *et al.*, 2017
Mestproductie	25 ton per dier per jaar	Expert-oordeel
Mineralisatie	10% van N-organisch	Van Bruggen *et al.*, 2011
Stalemissie NH_3	Tabel 1; 5 kg NH_3 per dierplaats per jaar voor een toekomstige 'Plus'-vloer	
NH_3-emissie afgedekte buitenopslag	0,7% van TAN	Van Bruggen *et al.*, 2011
NH_3-emissie zodebemester	19% van TAN	Van Bruggen *et al.*, 2011
NH_3-emissie kunstmest	5% van totale NH_3-emissie bedrijf (*alleen bij traditioneel*)	Aarts *et al.*, 2007
NH_3-verwijdering strippen	Theoretisch 90% van TAN Praktisch: 70%	Smit *et al.*, 2012 Host, persoonlijke mededelingen
NH_3-emissie toediening concentraat	1% van TAN	Expert-oordeel (spaakwielbemester)
Methaan		
Emissie CH_4 mest	45 kg per koe per jaar	Hoofdstuk 3
Reductie stalemissie CH_4	90% bij dichte vloer en primaire scheiding	Expert-oordeel
Rendement primaire scheiding (drogestof en volume)	40% urine-fractie (dunne fractie) en 60% dikke fractie	Gemiddelde van De Haan *et al.*, 2003 en De Boer *et al.*, 2008
Groengas-productie	20 m^3 CH_4 per ton	Hoofdstuk 2

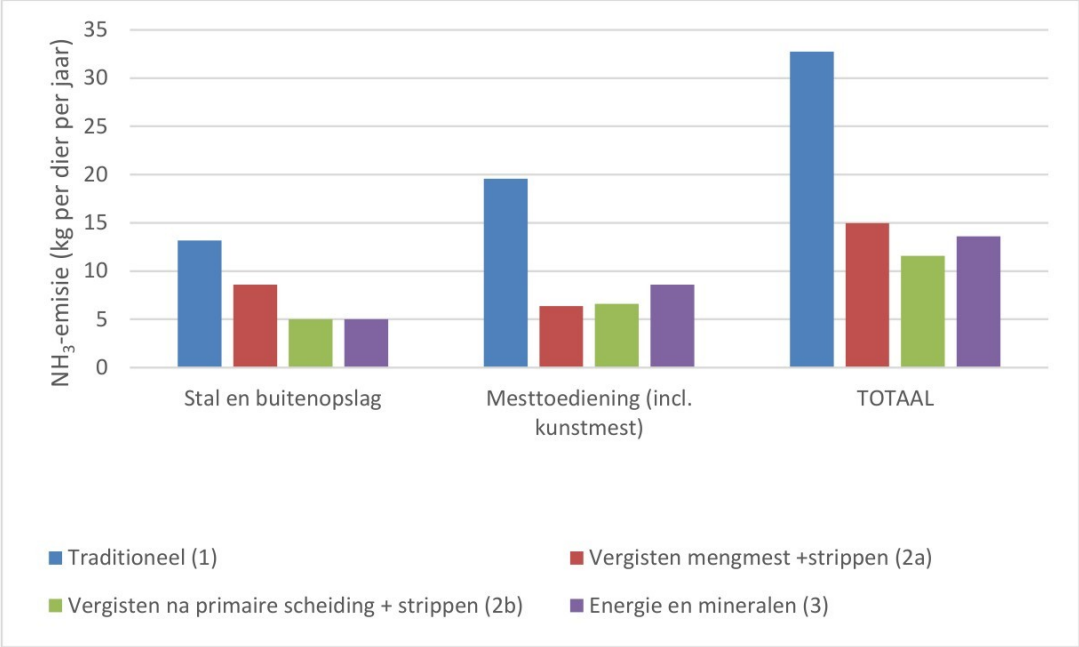
Bij de berekeningen is voorts aangenomen dat de opslag van digestaat 'gasdicht' is en dat geen CH_4-verliezen optreden bij vergisten (Groenestein et al., 2020: schatting 2%; ISCC International Sustainability & Carbon Certification Biograce: 1%).

Tenslotte wordt bij scenario 3 aangenomen dat primaire scheiding grondig plaatsvindt, zodat de dikke fractie nauwelijks TAN bevat (aanname: 10% van de TAN komt in de dikke fractie.

[1] Totaal Ammoniakaal stikstof

4.3 Resultaten ammoniak

Onderstaand (Figuur 7) zijn de resultaten weergegeven van de NH_3-emissieberekeningen per bron op het melkveebedrijf voor elk van de 3 scenario's. In Bijlage 1 zijn per scenario de Excel-berekeningen weergegeven.



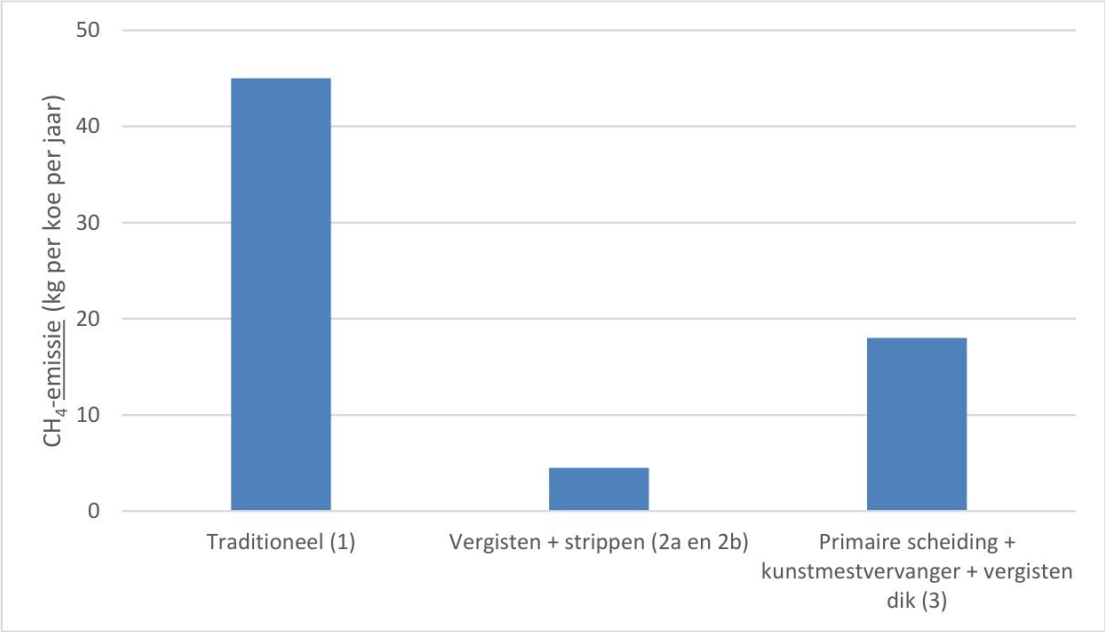
Figuur 7. Ammoniakemissie in de verschillende scenario's voor de melkveehouderij.

De stalemissie neemt af van 13 kg NH_3 per dier per jaar bij scenario 1 tot 8,6 kg bij scenario 2a en 5 kg voor de andere scenario's (2b en 3).
Ammoniakemissie tijdens de buitenopslag is alleen aan de orde voor het traditionele scenario; bij de andere scenario's wordt digestaat gasdicht opgeslagen.
Bij toediening van onbewerkte melkveemest emitteert 19% van de TAN. Daarnaast is sprake van emissie bij het gebruik van kunstmest. De emissie na mesttoediening bij de scenario's 2 neemt ten opzichte van traditioneel (scenario 1) sterk af, omdat de TAN uit het digestaat wordt gestript (70% efficiency in de praktijk). Voor scenario 3 wordt de urinefractie gestript (70% efficiency) na primaire mestscheiding in de stal; bij toediening emitteert NH_3 uit de waterfractie die overblijft na strippen en uit de dikke fractie.

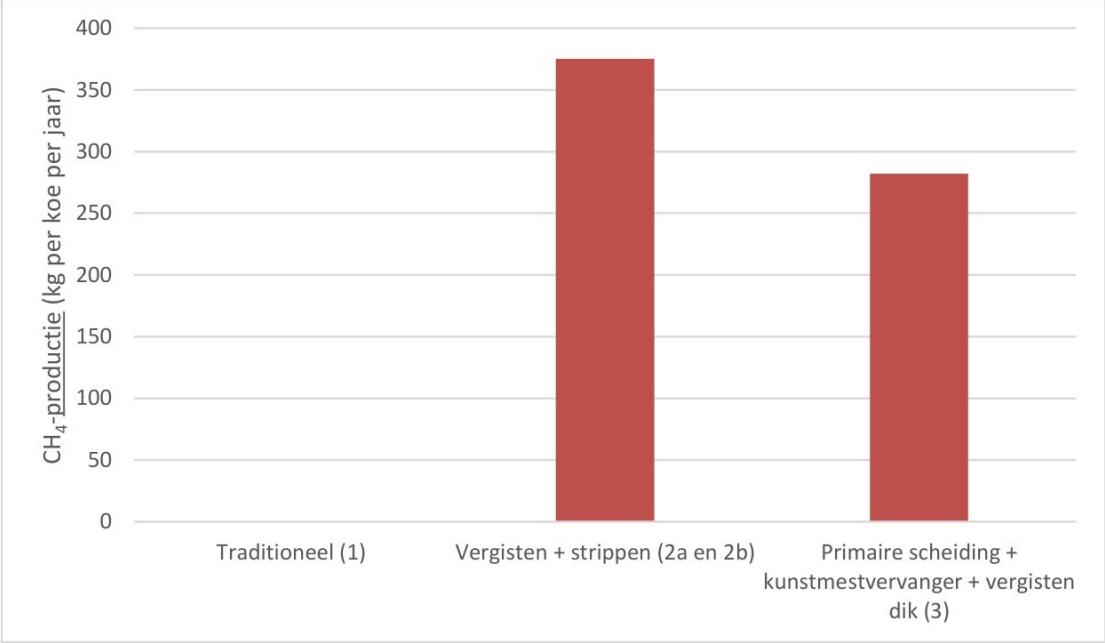
Uit deze analyse blijkt dat bij voor scenario's 2 (55% voor 2a en 65% voor 2b) en 3 (58%) een zeer aanzienlijke reductie van de NH_3-emissie op bedrijfsniveau wordt gerealiseerd. Het grootste deel wordt gerealiseerd door emissie-arme toediening van digestaat en concentraat; de reductie van de stalemissie is relatief iets minder zwaarwegend.

4.4 Resultaten methaan

De resultaten van de analyse voor CH_4 zijn weergegeven in figuren 8 (CH_4-emissie) en 9 (CH_4-productie). Voor CH_4 is geen verschil tussen scenario's 2a en 2b.



Figuur 8. Emissie van CH_4 per scenario.



Figuur 9. Productie van CH_4 per scenario.

In het traditionele scenario (1) emitteert vanuit de stal (naar de buitenlucht) per koe per jaar ca. 45 kg CH_4 per jaar die afkomstig is uit de mestopslag.

Bij een soortelijk gewicht van 0,75 kg/m^3 is dat ca. 60 m^3 CH_4 per dierplaats per jaar, wat bij gemiddeld 60% CH_4 in biogas neerkomt op ca. 100 m^3 biogas per dierplaats per jaar.

De emissie van mestgebonden CH_4 is voor scenario's 2a en 2b 90% lager dan voor het traditionele scenario als gevolg van de snelle mestverwijdering van uit de stal. Bij vergisting van alleen de faeces-fractie (scenario 3) is dit minder (meer emissie); in dit

scenario emitteert de CH_4 in de urine-fractie. Deze blijft derhalve onbenut.

In scenario 2a wordt de mengmest 'geoogst' middels een emissie-arme, dichte vloer en het mestgebonden CH_4 in de vorm van groen gas. In scenario 2b gebeurt dat via een primaire mestscheidingsvloer, waarna beide fracties gezamenlijk worden vergist. De methaanemissie is voor beide scenario's gelijk. Gasdichte opslag van het digestaat zorgt ervoor dat tijdens de opslag geen CH_4-emissie optreedt. Aangenomen wordt dat dit ook het geval is bij mesttoediening.

Bij scenario 3 wordt alleen de faeces-fractie vergist en wordt de urine-fractie op het bedrijf opgeslagen (in de mestkelders / afgedekte buitenopslag), met het oog op de productie van of gebruik als kunstmestvervanger. Daarmee wordt een voor het rendement van groengas-productie op boerderijniveau belangrijke bron gemist.

4.5. Economische verkenningen

In deze paragraaf wordt een economische verkenning op hoofdlijnen voor de 3 scenario's/ business-cases, waarbij uitgegaan wordt van een bedrijfsomvang van 400 stuks melkvee met bijbehorend jongvee.

Vergisting van mest van 400 melkkoeien met bijbehorend jongvee met de Microferm levert bij 'oude' mest ca. 225.000 m^3 groengas per jaar (ca. 250 kg CH_4 per koe per jaar; Host Biogas, persoonlijke mededelingen en Figuur 6); bij deze business-case is sprake van 'break even' (opbrengsten dekken de kosten).

Vergisting van vers 'geoogste' mest door stalaanpassingen (stalvloer) levert bij de genoemde bedrijfsomvang 313.000 m^3 groen gas per jaar (ca. 350 kg CH_4 per koe per jaar; zie Figuur 8). Daarbij is de winst na belasting € 80.000,- exclusief de kosten voor de stalaanpassingen. Dit bedrag is € 55.000,- inclusief de kosten voor stalaanpassingen (gerekend met € 275,- per koe aan investeringskosten). De genoemde € 275,- per koe is de gemiddelde meerprijs van een dichte stalvloer met een aangenomen maximale emissiefactor van 8,6 kg NH_3 per dierplaats per jaar (RAV-drempelwaarde; scenario 2a). Een – al dan niet voor groengas-productie aangepaste - emissie-arme stalvloer met primaire mestscheiding (scenario's 2b en 3) kost gemiddeld € 125,- per m^2, ofwel ca. € 600,- per koe aan investering, inclusief de mestschuif. Dit drukt de winst na belasting van deze scenario's.

Daarnaast wordt bij de scenario's gebruik gemaakt van het strippen van ammoniakstikstof met het doel om deze als kunstmestvervanger in te zetten. Voor een positieve economische haalbaarheid is het van belang dat een verdienmodel wordt ontwikkeld op basis van de klimaatimpact van de scenario's (zie Figuren 8 en 9) en de waarde van de vermeden ammoniakemissie op bedrijfsniveau (zie Figuur 7).

Klimaatimpact
In traditionele stallen gaat CH_4 uit mest verloren vanuit de stal en in beperktere mate tijdens de buitenopslag. In scenario's 2a en 2b wordt de CH_4-emissie nagenoeg geheel voorkomen; in scenario 3 is dat in iets mindere mate het geval. Tegelijkertijd CH_4 middels groengas wordt gewonnen als energiedrager.

Bij een Global Warming Potential (GWP) van CH_4 van 25 (IPCC) is de 'klimaat-voetafdruk' (bijdrage aan klimaatverandering) van de traditionele melkveehouderij (scenario 1) 45 * 25 = 1.125 kg CO_2-equivalenten ofwel 1,1 ton per jaar per koe.
In de andere scenario's wordt niet alleen deze emissie (grotendeels) voorkomen, maar wordt ook waarde toegevoegd doordat een energiedrager wordt geproduceerd die fossiele brandstof vervangt.

Figuur 9 toont de recente prijsontwikkeling van de zgn. 'Carbon-credits'.



Figuur 9. Prijs per 1.000 kg CO_2 (ton CO_2/CO_2-equivalenten) - "https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/".

De verwachting is dat dit prijsniveau de komende decennia verder zal oplopen. Het meeste recente IPCC-rapport geeft de noodzaak aan van een vergaande emissiereductie van m.n. CH_4. Derhalve wordt in de onderhavige studie uitgegaan van een bedrag van € 100,- per ton CO_2-equivalenten. Dit is bijvoorbeeld ook bij benadering (€ 97,-) het bedrag dat RVO aan SDE-subsidie heeft bepaald voor het afvangen en vloeibaar maken van CO_2 (Host, persoonlijke mededelingen en RVO; rekentool SDE).

Bij een prijsniveau van € 100,- per 1.000 kg CO_2-equivalenten vertegenwoordigen de scenario's de volgende waarde (Tabel 4).

Tabel 4. Vermeden en geproduceerde CH_4 per scenario ten opzichte van scenario 1 (= 0) uitgedrukt in kg CH_4, CO_2-equivalenten en Euro (bij € 100,- / ton CO_2-equivalenten), per koe per jaar.

Scenario	Vermeden CH_4- emissie (kg)	Geproduceerd CH_4 als groengas (kg)	Totaal (kg)	CO_2- eq. (* 1.000 kg)	€ (als carbon credits)
2a	40,5	375	415,5	10,4	1.040
2b	40,5	375	415,5	10,4	1.040
3	27,0	282	309,0	7,7	770

Stikstofimpact

Voor een toekomstig verdienmodel is het van belang dat ook gekeken wordt naar de mogelijkheden om de emissiereductie van stikstof (NH_3) te kapitaliseren, bijvoorbeeld via stalaanpassingen en/of kunstmestvervanging, NH_3-verleasen of intern salderen (groei). Momenteel is stikstof zeer actueel (50-75% reductie vanuit de veehouderij tussen 2030 en 2050). Gemiddeld is de economische waarde van NH_3 in de markt € 50,- per kg (Host, persoonlijke mededelingen), met een variatie tussen € 25,- en € 100,- per kg. Voor scenario 2, bijvoorbeeld, vertegenwoordigt de reductie van 17,8 kg NH_3 per dier (per jaar; zie Figuur 7) een economische waarde van € 890,- per koe bij ‘verkoop’ en € 89,- per koe (per jaar) bij lease’, op basis van een leaseprijs van 10% van de verkoopwaarde.

5. Conclusies

Uit de verkenning in opdracht van Host Biogas BV in het kader van toekomstige ontwikkelingen binnen de melkveehouderij blijkt dat de emissies van ammoniak en methaan aanzienlijk kunnen worden gereduceerd wanneer de stal gaat worden gezien als plaats waar mest of meststromen worden geproduceerd voor verdere verwaarding.

Drie scenario's zijn verkend ten opzichte van de traditionele melkveehouderij (scenario 1):

- Vergisten van mengmest en strippen van het digestaat (scenario 2a)
- Primaire scheiding in de stal, vergisten van beide fracties en strippen van digestaat (scenario 2b)
- Primaire scheiding in de stal, vergisten van de dikke fractie en strippen van urine-fractie (scenario 3)

De ammoniakemissie van een traditioneel melkveebedrijf was ca. 33 kg NH_3 per dier per jaar. Deze nam voor scenario 2a af met ca. 55% tot 15 kg NH_3 per dier per jaar, voor scenario 2b met ca. 65% tot ca. 11,5 kg NH_3 per dier per jaar en voor scenario 3 met ca. 60% tot 13,6 kg NH_3 per dier per jaar. Voor de scenario's 2a en 2b werd de stalemissie van methaan vergaand gereduceerd (-90%, ofwel 40,5 kg CH_4 per dier per jaar minder dan uit de traditionele ligboxenstal) en tegelijkertijd groen gas geproduceerd (375 kg CH_4 per dier per jaar). Bij scenario 3 was dat iets minder, omdat daar de urine-fractie nog organische stof bevatte en dus CH_4 emitteerde.

Primaire scheiding van urine en faeces biedt mogelijkheden voor verdere verwaarding van beide fracties, bijvoorbeeld tot kunstmestvervanger (urine) en organische bodemverbeteraar (faeces). Echter, om de groengas-productie per koe te maximaliseren, is ook de urine fractie nodig. Dit wordt bereikt door primaire scheiding in de stal (bij de bron) en vervolgens bij elkaar brengen van de dunne fractie en faeces buiten de stal voor groen gas-productie. Hierbij wordt ook de hoogste emissiereductie van NH_3 bereikt.

De economische haalbaarheid van de scenario's is in sterke mate afhankelijk van de schaalgrootte. De huidige ontwikkelingen in de markt voor carbon-credits en stikstof bieden mogelijkheden voor een toekomstig verdienmodel.

Literatuur

Aarts H.F.M., G.J. Hilhorst, L. Sebek, M.C.J Smits en J. Oenema, 2007. De ammoniakemissie van de Nederlandse melkveehouderij bij een management gelijk aan dat van de deelnemers aan 'Koeien & Kansen'. WUR/WOT Natuur en Milieu, rapport 63, 46 pp.

De Boer, D.J., T.A. van Dijk en H. van der Draai, 2008. Bewerken rundveemest tot kunstmestvervangers; perspectieven voor de melkveehouderij. NMI Wageningen, rapport 1211.06, 54 pp.

De Haan, M.H.A., A.G. Evers, G. Holshof en K. Blanken, 2003. Vier jaar primaire mestscheiding op het lagekostenbedrijf Praktijk. Rapport Rundvee 29, 63 pp.

Groenestein, K., R. Melse, J. Mosquera, M. Timmermans, 2020. Effect mestvergisting op de emissies van broeikasgassen uit mest van melkvee: een literatuur- en scenariostudie. Wageningen, WLR Rapport 1235.

Šebek, L.B., de Haan, M.H.A., Bannink, A., 2014. Methaanemissie op het melkveebedrijf Impactanalyse voor reductiemaatregelen en doorrekening daarvan in de Kringloopwijzer. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 796.

Šebek, L, G. Migchels en C. van Dijk, 2017. Het verlagen van de TAN-excretie als maatregel om de ammoniakemissie op het melkveebedrijf te verminderen. Methodiek voor het vaststellen van de TAN-excretie: module 'Bedrijfsspecifieke Emissie Ammoniak' (BEA) van de Kringloopwijzer. Wageningen UR – Livestock Research, rapport 1020, 33 pp.

Smit, A., W. Rulkens, J. Sanders, N. Verdoes, C. Teng en D. Brunt, 2012. Verwerking van digestaat van mestvergisting; Terreinverkenning van mogelijkheden tot kostenreductie. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2310, 96 pp.

Van Bruggen, C., C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen, J.F.M. Huijsmans, S.M. van der Sluis en G.L. Velthof, 2011. Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest, 1990-2008 Berekeningen met het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA). WUR/WOT Natuur en Milieu, werkdocument 250, 110 pp.

Van Lent, A.J.H. en H.J.C. van Dooren (2001) Perspectieven mestvergisting op Nederlandse melkvee- en varkensbedrijven, PV-Rapport 194, Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad, 74 p.

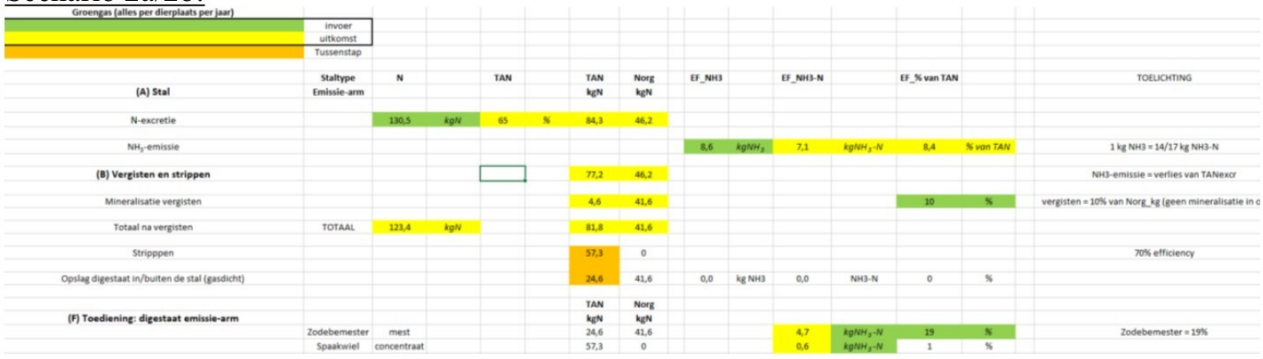
Bijlage 1: Excel-berekeningen NH_3 per scenario

Traditioneel (scenario 1):

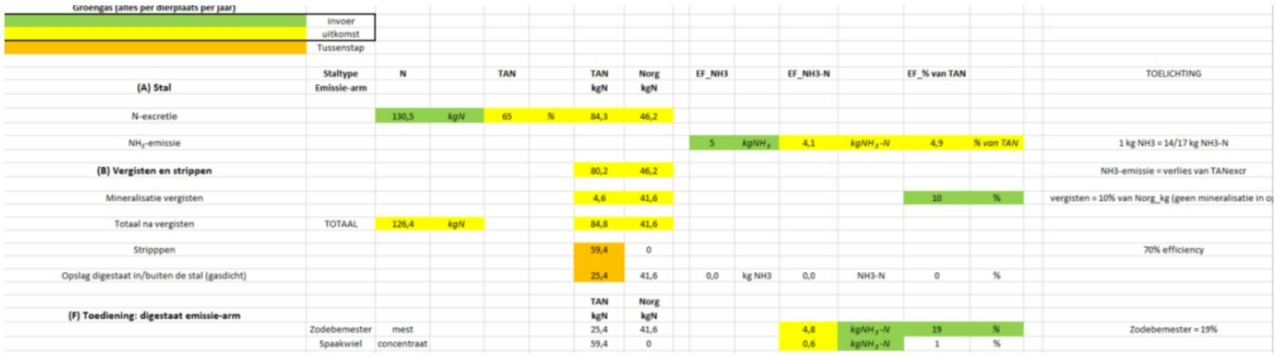


Traditioneel (alles per dierplaats per jaar)														
	invoer													
	uitkomst													
	Staltype	N		TAN_%		TANexcr kgN	Norg_excr kgN	EF_NH3		EF_NH3-N		EF		TOELICHTING
(1) Stal														
N-excretie	A 1.100	130,5	kgN	65	%	84,3	46,2							1 kg NH3 = 14/17 kg NH3-N
NH_3-emissie								13	kgNH3	10,7	kgNH3 -N	12,7	% van TAN	
N in kelder						55,2	34,7							75% van TAN onder de vloer
Mineralisatie in kelder						3,5								10% van Norg-kg in kelder
Totaal N in kelder						58,7	31,2							
(2) Buitenopslag														
N naar buitenopslag						18,4	11,6							25%van TAN in buitenopslag
Mineralisatie in buitenopslag						1,2								10% van Norg_kg in buitenopslag
Totaal N in buitenopslag						19,6	10,4							0,7 % afgedekte opslag
NH3-emissie buitenopslag						19,4		0,2	kgNH3	0,1	kgNH3 -N	0,7	%	
(3) Mesttoediening														
Hoeveelheid N		119,7	kgN			78,1	41,6							(Opslag - opslagverlies) + kelder
Toedieningstechniek grasland	Zodebemester							18,0	kgNH3	14,8	kgNH3 -N	19	%	Zodebemester EF = 19%

Scenario 2a/2b:

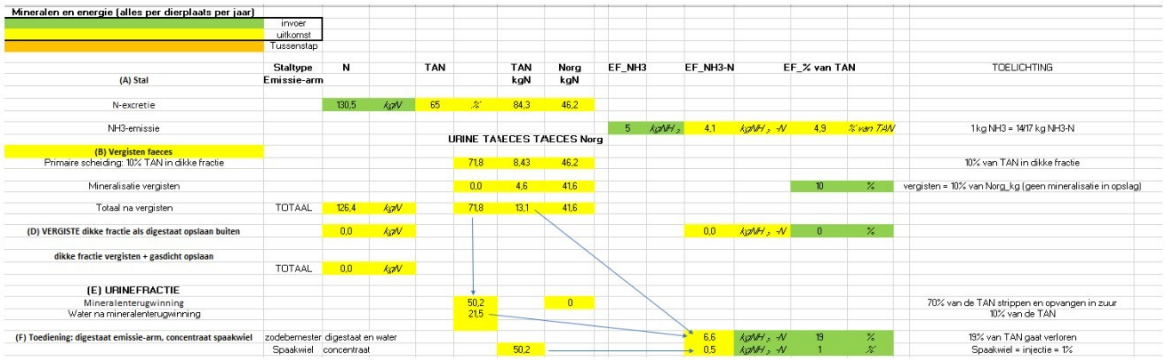


Groengas (alles per dierplaats per jaar)														
	invoer													
	uitkomst													
	Tussenstap													
	Staltype	N		TAN		TAN	Norg	EF_NH3		EF_NH3-N		EF_% van TAN		TOELICHTING
(A) Stal	Emissie-arm					kgN	kgN							
N-excretie		130,5	kgN	65	%	84,3	46,2							
NH_3-emissie								8,6	$kgNH_3$	7,1	$kgNH_3$-N	8,4	% van TAN	1 kg NH3 = 14/17 kg NH3-N
(B) Vergisten en strippen						77,2	46,2							NH3-emissie = verlies van TANexcr
Mineralisatie vergisten						4,6	41,6					10	%	vergisten = 10% van Norg_kg (geen mineralisatie in d
Totaal na vergisten	TOTAAL	123,4	kgN			81,8	41,6							
Stripppen						57,3	0							70% efficiency
Opslag digestaat in/buiten de stal (gasdicht)						24,6	41,6	0,0	kg NH3	0,0	NH3-N	0	%	
						TAN	Norg							
(F) Toediening: digestaat emissie-arm						kgN	kgN							
	Zodebemester	mest				24,6	41,6			4,7	$kgNH_3$-N	19	%	Zodebemester = 19%
	Spaakwiel	concentraat				57,3	0			0,6	$kgNH_3$-N	1	%	



Groengas (alles per dierplaats per jaar)														
	invoer													
	uitkomst													
	Tussenstap													
	Staltype	N		TAN		TAN	Norg	EF_NH3		EF_NH3-N		EF_% van TAN		TOELICHTING
(A) Stal	Emissie-arm					kgN	kgN							
N-excretie		130,5	kgN	65	%	84,3	46,2							
NH_3-emissie								5	$kgNH_3$	4,1	$kgNH_3$-N	4,9	% van TAN	1 kg NH3 = 14/17 kg NH3-N
(B) Vergisten en strippen						80,2	46,2							NH3-emissie = verlies van TANexcr
Mineralisatie vergisten						4,6	41,6					10	%	vergisten = 10% van Norg_kg (geen mineralisatie in d
Totaal na vergisten	TOTAAL	126,4	kgN			84,8	41,6							
Stripppen						59,4	0							70% efficiency
Opslag digestaat in/buiten de stal (gasdicht)						25,4	41,6	0,0	kg NH3	0,0	NH3-N	0	%	
						TAN	Norg							
(F) Toediening: digestaat emissie-arm						kgN	kgN							
	Zodebemester	mest				25,4	41,6			4,8	$kgNH_3$-N	19	%	Zodebemester = 19%
	Spaakwiel	concentraat				59,4	0			0,6	$kgNH_3$-N	1	%	

Scenario 3:



Mineralen en energie (alles per dierplaats per jaar)														
	invoer													
	uitkomst													
	Tussenstap													
	Staltype	N		TAN		TAN	Norg	EF_NH3		EF_NH3-N		EF_% van TAN		TOELICHTING
(A) Stal	Emissie-arm					kgN	kgN							
N-excretie		130,5	kgN/jr	65	%	84,3	46,2							
NH3-emissie								5	kgNH3	4,1	kgNH3 -N	4,9	% van TAN	1 kg NH3 = 14/17 kg NH3-N
						URINE TAECES TAECES Norg								
(B) Vergisten faeces														
Primaire scheiding: 10% TAN in dikke fractie					71,8	8,43	46,2							10% van TAN in dikke fractie
Mineralisatie vergisten					0,0	4,6	41,6					10	%	vergisten = 10% van Norg_kg (geen mineralisatie in opslag)
Totaal na vergisten	TOTAAL	126,4	kgN/jr		71,8	13,1	41,6							
(D) VERGISTE dikke fractie als digestaat opslaan buiten		0,0	kgN/jr							0,0	kgNH3 -N	0	%	
dikke fractie vergisten + gasdicht opslaan														
	TOTAAL	0,0	kgN/jr											
(E) URINEFRACTIE														
Mineralenterugwinning					50,2		0							70% van de TAN strippen en opvangen in zuur
Water na mineralenterugwinning					21,5									10% van de TAN
(F) Toediening: digestaat emissie-arm, concentraat spaakwiel	zodebemester	digestaat en water								6,6	kgNH3 -N	19	%	19% van TAN gaat verloren
	Spaakwiel	concentraat				50,2				0,5	kgNH3 -N	1	%	Spaakwiel = injectie = 1%