



Rekenregels van de KringloopWijzer 2023

Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2022-versie

W. van Dijk, J.A. de Boer, R.L.M.Schils, M.H.A. de Haan, P. Mostert, J. Oenema & J. Verloop



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Rekenregels van de KringloopWijzer 2023

Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2022-versie

W. van Dijk, J.A. de Boer, R.L.M. Schils, M.H.A. de Haan, P. Mostert, J. Oenema & J. Verloop

Dit onderzoek is in opdracht van ZuivelNL en het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business units Wageningen Livestock Research en Wageningen Plant Research, in het kader van de publiek private samenwerking (PPS) DZK2 (duurzame zuivelketen) TKI-AF-12123.

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, december 2023

Rapport WPR-1279

Van Dijk, W., J.A. de Boer, R.L.M. Schils, M.H.A. de Haan, P. Mostert, J. Oenema & J. Verloop, 2023. *Rekenregels van de KringloopWijzer 2023; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2022-versie*. Wageningen Research, Rapport WPR-1279. 173 blz.; 10 fig.; 56 tab.; 103 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/643089>

Trefwoorden: Broeikasgassen, Excretie, Koolstof, Kringloopwijzer, Melkveehouderij, Stikstof, Fosfaat

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosystems Research, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-1279

Foto omslag: Maaien van gras (eigendom van WUR-Livestock Research)

Inhoud

| | |
|--|---|
| Woord vooraf | 7 |
| 1 Inleiding | 9 |
| 1.1 | Waarom een KringloopWijzer? 9 |
| 1.2 | De kringlopen in meer detail 11 |
| 1.3 | Bronnen van N-verlies 14 |
| 1.4 | Benuttingen 15 |
| 1.4.1 | Algemeen 15 |
| 1.4.2 | Benutting op bedrijfsniveau 15 |
| 1.4.3 | Benutting op dierniveau 16 |
| 1.4.4 | Benutting op mestniveau 16 |
| 1.4.5 | Benutting op bodemniveau 16 |
| 1.4.6 | Benutting op (ruwvoer)gewasniveau 16 |
| 1.5 | Beperkingen en verbeteringen van de KringloopWijzer 16 |
| 1.6 | Leeswijzer 18 |
| 2 BEX, excreties door niet-melkvee en mestbewerking | 19 |
| 2.1 | Inleiding 19 |
| 2.2 | Berekeningswijze excreties 19 |
| 2.2.1 | Algemeen 19 |
| 2.2.2 | Berekening bruto N en P excretie 20 |
| 2.2.3 | Berekening opname N en P 20 |
| 2.2.4 | Berekening vastlegging N en P 20 |
| 2.2.5 | Berekening netto N excretie 20 |
| 2.2.6 | Opbouw veestapel 21 |
| 2.2.7 | Melkproductie en melksamenstelling 21 |
| 2.2.8 | Gewicht melkkoeien 21 |
| 2.2.9 | Beweiding 21 |
| 2.2.10 | Berekening VEM-opname en VEM-behoefte van de melkveestapel 22 |
| 2.2.11 | Bepaling van N- en P-opname door melkveestapel 24 |
| 2.2.12 | Bepaling VEM-opname uit snijmaïskuil, graskuil en vers gras 25 |
| 2.2.13 | Bepaling van de N/VEM en P/VEM verhouding in vers gras 25 |
| 2.2.14 | Correctie voor voeropname door overige graasdieren 25 |
| 2.2.15 | Overzicht rekenregels N en P opname 28 |
| 2.2.16 | Gasvormige N-verliezen 30 |
| 2.2.17 | Mestproductie door overige graasdieren 31 |
| 2.2.18 | Mestproductie door 'staldieren' 31 |
| 2.3 | Mestscheiding 35 |
| 2.4 | Mest vergisten 36 |
| 2.5 | Luchtwassers 36 |
| 2.6 | Kanttelingen bij BEX en de mestproductie van overige graasdieren en 'staldieren' 36 |
| 3 BEA | 39 |
| 3.1 | Inleiding 39 |
| 3.2 | Berekeningswijze 39 |
| 3.2.1 | Algemeen 39 |
| 3.2.2 | N-excretie en TAN productie door veestapel 41 |
| 3.2.3 | TAN-excretie in stal en weide door veestapel 44 |
| 3.2.4 | Ammoniakverlies en overige gasvormige N-verliezen vanuit de huisvesting 45 |
| 3.2.5 | Ammoniakverlies vanuit externe opslag 53 |

| | | |
|-------------------|--|------------|
| 3.2.6 | Gasvormige N-verliezen bij scheiden van drijfmest | 53 |
| 3.2.7 | Gasvormige N-verliezen bij vergisten van drijfmest | 54 |
| 3.2.8 | Ammoniakverlies bij beweiding | 55 |
| 3.2.9 | Ammoniakverlies bij mestaanwending | 55 |
| 3.2.10 | Ammoniakverlies bij kunstmesttoediening | 56 |
| 3.2.11 | Ammoniakverlies uit gewasresten | 57 |
| 3.3 | Kantttekeningen bij BEA | 59 |
| 4 | BEN: bedrijfsspecifieke N stromen | 61 |
| 4.1 | Inleiding | 61 |
| 4.2 | Berekeningswijzen | 61 |
| 4.2.1 | N-bodemoverschot en N-uitspoeling | 61 |
| 4.2.2 | Emissie van N ₂ O uit de bodem | 74 |
| 4.2.3 | Emissie van N ₂ O uit stal en mestopslagen | 79 |
| 4.2.4 | Overige gasvormige N-verliezen, anders dan NH ₃ -N en N ₂ O-N | 82 |
| 4.3 | Kantttekeningen bij BEN | 82 |
| 5 | BEP: bedrijfsspecifieke P-stromen | 85 |
| 5.1 | Inleiding | 85 |
| 5.2 | Berekeningswijze | 86 |
| 5.3 | Kantttekeningen bij BEP | 88 |
| 6 | BEC: bedrijfsspecifieke koolstofstromen en emissies van CO₂ equivalenten | 89 |
| 6.1 | Inleiding | 89 |
| 6.1.1 | Waar komen welke emissies tot stand? | 89 |
| 6.2 | Richtlijnen voor berekening emissies | 90 |
| 6.2.1 | Omrekening van methaan en lachgas naar CO ₂ -equivalenten | 91 |
| 6.2.2 | Berekening van de emissie van landgebruiksverandering | 91 |
| 6.2.3 | Allocatie van emissies naar melk en verkoop van dieren | 91 |
| 6.3 | Berekeningswijze CH ₄ -emissies | 92 |
| 6.3.1 | Emissie bij pensfermentatie uit dieren (enterisch methaan) | 92 |
| 6.3.2 | Emissie van methaan uit mest | 99 |
| 6.4 | Berekeningswijze CO ₂ -emissies | 103 |
| 6.4.1 | CO ₂ emissies op het bedrijf | 104 |
| 6.4.2 | Indirecte emissies bij aangevoerde producten | 111 |
| 6.5 | Aanvoer effectieve organische stof | 115 |
| 6.5.1 | Organische mest | 115 |
| 6.5.2 | Gewasresten | 117 |
| 6.6 | Koolstofbalans bodem | 119 |
| 6.6.1 | Koolstofbalans van minerale gronden | 119 |
| 6.6.2 | Koolstofverlies van veengronden | 124 |
| 6.6.3 | Invoerdata | 124 |
| 6.6.4 | Rekenregels | 124 |
| 6.7 | Kantttekeningen bij BEC | 125 |
| Literatuur | 127 | |
| Bijlagen | | 121 |

Woord vooraf

Het project KringloopWijzer heeft tot doel een instrument te ontwikkelen en te toetsen, waarmee voor melkveebedrijven of bedrijven met een melkveetak de kringloop en verliezen van stikstof, fosfaat en koolstof in beeld worden gebracht. Het instrument levert daarvoor diverse kengetallen op. Onder deze kengetallen liggen een groot aantal rekenregels. Dit rapport beschrijft deze rekenregels en op welke invoergegevens ze zijn gebaseerd. Ook is aangegeven waar nog beperkingen liggen voor gebruik van de KringloopWijzer.

Naast de auteurs van dit rapport hebben in het verleden ook andere collega's een bijdrage geleverd aan de onderbouwing van de rekenregels. Op deze plaats willen wij speciaal Jaap Schröder, Leon Šebek, Sjaak Conijn, Theun Vellinga, Frans Aarts en Joan Reijs hiervoor bedanken.

De auteurs

1 Inleiding

1.1 Waarom een KringloopWijzer?

In het pre-industriële tijdperk vonden de productie van gewassen, hun verwerking en consumptie in elkaars nabijheid plaats. Dat maakte het gemakkelijk om bijproducten die in de opeenvolgende stappen vrijkomen, te hergebruiken. Stikstof (N), fosfor (P) en koolstof (C) maken in dat geval een betrekkelijk korte kringloop vanuit mens en dier, via mest en bodem, naar gewas om uiteindelijk opnieuw door mens en dier gebruikt te worden. Onderweg kunnen N, P en C uit die kringloop verloren gaan naar de omgeving. Dat gebeurde vroeger net zo als nu. Verliezen zijn deels een logisch onderdeel van biologische processen. Zo wordt een groot deel van de C in voedsel niet vastgelegd in een dier (mens, vee, bodemleven) dat dat voedsel tot zich neemt, maar door dat dier verbrand en omgezet in warmte en beweging onder productie van koolzuur-C. De N die in de vorm van ammonium uit dode planten en dieren als meststof beschikbaar komt, wordt evenmin volledig door planten opgenomen. Een deel daarvan zal na omzetting in nitraat-N uiteindelijk in elementaire N worden omgezet. Deze vorm van N heeft voor de meeste planten geen bemestingswaarde en moet als zodanig als verloren worden aangemerkt. Verliezen in voornoemde zin zijn maar voor een deel een onvermijdelijk onderdeel van biologische processen. Verliezen zijn namelijk ook een gevolg van de manier waarop de mens N-, P- en C-stromen beheert. Dit is relevant omdat verliezen een schadelijk effect op de omgeving kunnen hebben. Zo verlagen verliezen van nitraat-N, ammoniak-N en fosfaat de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater en dragen verliezen van lachgas-N, methaan en koolzuur bij aan het broeikas-effect. Aanvankelijk werden deze verliezen met meer of minder succes gecompenseerd met biologische N-binding door vlinderbloemigen, met de aanvoer van N en P via begrazing overdag van 'woeste gronden' dan wel via de aanvoer van N en P met water en wind, via de verwerking van gesteenten waarbij onder meer P kan vrijkomen, en via de 'nieuwvorming' van organische C door fotosynthese. Tegenwoordig, echter, compenseren landbouwers verliezen met kunstmest of met kunstmest 'verpakt' in de vorm van geïmporteerd voer.

In tegenstelling tot akkerbouw- en 'staldier'-bedrijven (laatstgenoemd type bedrijven wordt in een andere context vaak 'hokdierbedrijven' of 'intensieve veehouderij' of 'bio-industrie' genoemd), komen we op melkveehouderijbedrijven de korte kringloop van N, P en C via dier, mest, bodem en gewas nog min of meer volledig tegen. Ook op melkveehouderijbedrijven zijn echter steeds meer relaties met de buitenwereld ontstaan en nemen kringlopen, voor zover nog bestaand, deels een grotere omweg. De verwerking van melk, jongvee en vlees, bijvoorbeeld, vindt veel sterker dan voorheen of thans zelfs volledig buiten het bedrijf plaats. Bovendien vinden de grondstoffen die nodig zijn voor de dierlijke productie en ter compensatie van verliezen (kunstmest, krachtvoer en andere voedermiddelen) hun oorsprong deels buiten het bedrijf of zijn die grondstoffen zelfs afkomstig uit voorraden die in het verleden zijn opgebouwd. Voorbeelden van dat laatste zijn fossiele brandstoffen, fosfaaterts en 'diep en oud' grondwater. Bij melkveehouders met een tak akkerbouw of een tak 'staldieren' zijn de relaties met de buitenwereld nog omvangrijker omdat sprake is van afgevoerde akkerbouwproducten, en/of omvangrijker voerimporten, en/of meer export van een teveel aan dierlijke mest.

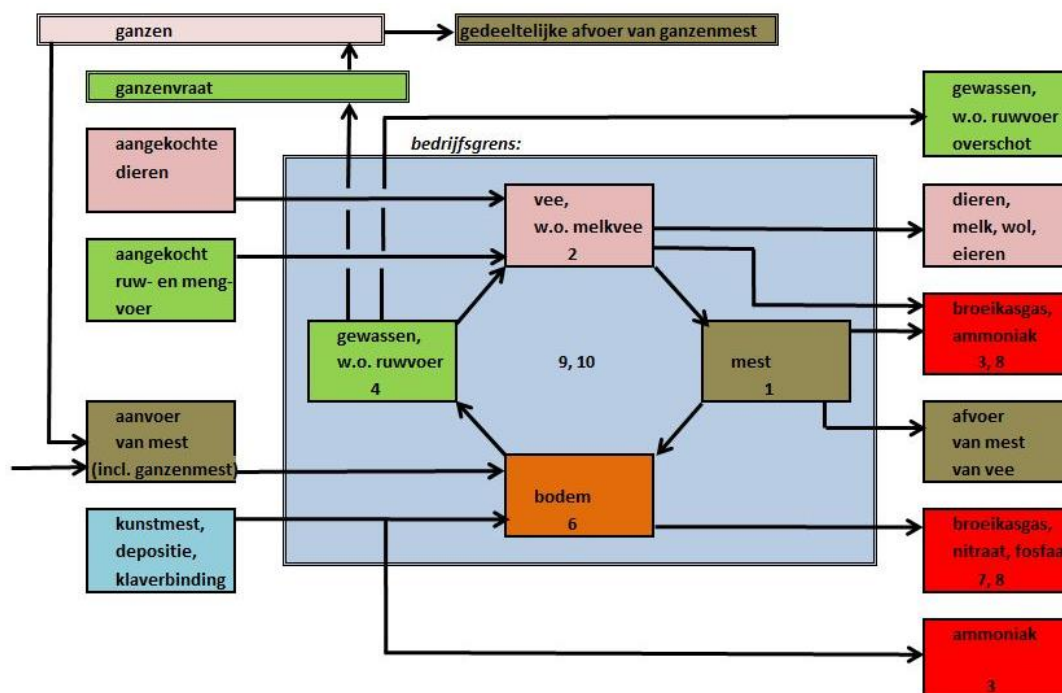
Het project 'KringloopWijzer' heeft tot doel een instrument te ontwikkelen, te toetsen en de introduceren die de kringloop en de verliezen van N, P en C wetenschappelijk, integraal, eenduidig en betrouwbaar in beeld brengt. Aanvankelijk gebeurde dit alleen voor gespecialiseerde melkveehouderijbedrijven, in de huidige versie is de KringloopWijzer ook bruikbaar gemaakt voor bedrijven met overige graasdieren (niet zijnde melkkoeien met jongvee), een tak akkerbouw of een tak 'staldieren'.

Gebruik van de KringloopWijzer resulteert in een aantal kengetallen waarmee agrarische ondernemers hun bedrijfsvoering kunnen verantwoorden naar overheden en verwerkers, en op basis waarvan zij ook hun management kunnen optimaliseren. Voor de overheid biedt de KringloopWijzer mogelijkheden om generieke wetgeving deels te vervangen door maatwerk. Voor de verwerkers van, bijvoorbeeld, melk is het bovendien mogelijk om het streven naar duurzaamheid meetbaar te maken ten behoeve van consumenten.

Het in beeld brengen van de kringlopen van het bedrijf gebeurt stap voor stap en leidt uiteindelijk tot onderstaande, berekende kengetallen op jaarbasis. In Figuur 1.1 is hun plek in de kringloop weergegeven.

1. Mestproductie: excretie stikstof (N) en fosfaat (P_2O_5) van melkvee met bijbehorend jongvee en daarnaast 'overige graasdieren' (fokstieren, weide- en zoogkoeien, roodvleesstieren, rosekalveren, schapen, geiten, paarden, pony's, ezels, waterbuffels) en de excretie door een eventuele tak 'staldieren' (varkens, kippen, vleeskalveren);
2. Efficiëntie van de veevoeding (= omzetting van voer in melk en vlees): benutting N en P_2O_5 ; (de berekening beperkt zich vooralsnog tot die van melkveestapel inclusief bijbehorend jongvee);
3. Emissie van ammoniak (NH_3), verdeeld over stal en mestopslag, beweiding, toediening van dierlijke mest en kunstmest;
4. Opbrengst grasland (inclusief ganzenvraat), snijmaïsland en overige akkerbouwgewassen (ruwvoer en niet-ruwvoer): droge stof, kVEM, N en P_2O_5 ;
5. Efficiëntie van de bemesting (=omzetting van meststoffen in gewasopbrengst, inclusief die van de niet-ruwvoer akkerbouwgewassen): benutting N en P_2O_5 aanwezig in dierlijke mest (inclusief excretie van ganzen) en kunstmest;
6. Bodemoverschot van N en P_2O_5 , toevoer van effectieve organische stof aan de bodem van het grasland, snijmaïsland en eventuele overige akkerbouwgewassen (ruwvoer en niet-ruwvoer) en C-opslag in de bodem;
7. Nitraat (NO_3) in grondwater; dit kengetal zal overigens pas in beeld gebracht worden na een toetsing aan een recente onafhankelijke dataset;
8. Emissie broeikasgassen methaan (CH_4), lachgas (N_2O) en kooldioxide (CO_2);
9. Bedrijfsoverschot N P_2O_5 ;
10. Efficiëntie van het bedrijf (= deel van aangevoerde mineralen dat in melk, vlees dan wel (af te voeren) niet-ruwvoer akkerbouwgewassen wordt omgezet): benutting N en P_2O_5 in aangekocht voer of aangekochte meststoffen.

Dit rapport heeft tot doel om te beschrijven hoe bovenstaande kengetallen berekend worden en op welke invoergegevens ze gebaseerd zijn. Deze kengetallen (en een aantal aanvullingen daarop zoals BEX-voordeel, BEP-voordeel, Eiwit van eigen land, Ammoniakuitstoot per GVE, Aandeel blijvend grasland) zien gebruikers van de KringloopWijzer terug in de Uitvoerpagina's. Bijlage 1 geeft aan naar welke paragraaf van dit rapport elk van die kengetallen teruggrijpt. Bijlage 2 geeft aan hoe de hiervoor genoemde 'aanvullende' kengetallen worden gedefinieerd en berekend.



Figuur 1.1 De plek van de kengetallen (zie nummers hierboven) in de stofstroom van bedrijven.

1.2 De kringlopen in meer detail

Om bedrijven onderling op basis van een kengetal te kunnen vergelijken zijn afspraken nodig over de berekeningswijze van het desbetreffende kengetal. Die berekeningswijze moet zo veel mogelijk recht doen aan het feit dat bedrijven van elkaar verschillen qua ingaande en uitgaande stromen. Figuur 1.2 geeft hiervan een eerste beeld. Uit die figuur wordt duidelijk dat de som van de posten waarmee N, P en C het bedrijf binnengaan (termen A t/m F) vanwege de wet van behoud van massa gelijk moet zijn aan de som van de posten die het bedrijf weer verlaten (termen G t/m M) en de eventuele voorraadwijzigingen binnen het bedrijf. Binnen het bedrijf blijken nog veel meer stromen te onderscheiden (Figuur 1.3). Nutriënten in de vorm van depositie, kunstmest, weidemest (inclusief de excretie van ganzen) en 'stalmest' (inclusief voerresten) en eventueel biologische N binding en mineraliserend veen, stellen de bodem in staat om gewassen te laten groeien. Die groei leidt naast een oogstbaar product ook tot een hoeveelheid onoogstbaar gewas in de vorm van wortels en stoppels welke vroeg of laat afsterven, verteren en als nutriënt naar de bodem terugkeren. Maar ook van het oogstbare deel van de groei is niet alles benutbaar. Omdat enige maa-, oogst- en beweidingsverliezen onvermijdelijk zijn, zal namelijk steeds iets minder daadwerkelijk geoogst of tijdens beweiding gegeten worden (inclusief ganzenvraat) dan er gegroeid is. Het verloren deel keert, net als de gewasresten, goeddeels terug naar de bodem. Maar zelfs van het deel van de oogst dat het veld 'over de dam' verlaat, zal niet alles vervolgens ook volledig door het vee kunnen worden opgenomen. Tijdens de conservering van gewassen zal een deel verloren gaan en ook tussen uitkuilen en opname treden nog verliezen op, de zogenaamde voerverliezen. Tabel 1.1 geeft een overzicht van de diverse verliespercentages die vooralsnog in de KringloopWijzer worden aangehouden. Deze verschillen per product en, binnen een product, per inhoudsstof. In werkelijkheid hebben deze verliezen geen vaste waarde en zullen zij variëren als gevolg van onder meer het management. Het is echter onmogelijk om de waarden op een eenvoudige en betrouwbare manier per bedrijf te specificeren.

Tabel 1.1 Door de KringloopWijzer gehanteerde procentuele veldverliezen (beweidingsverliezen bij weidegras, maaiverliezen bij gemaaid gras, oogstverliezen bij snijmaïs en overig ruwvoer), conserveringsverliezen en vervoederingsverliezen (Bron: tenzij anders vermeld KWIN 2019-2020 en Handboek Melkveehouderij 2020/2021).

| | Veldverlies ¹ | Conserveringsverlies ¹ | | | | Vervoederingsverlies |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------|----------------|---|----------------------|
| | DS, VEM, N, P | DS | VEM | N | P | DS, VEM, N en P |
| Weidegras, beperkt weiden koeien | 15 ² | | | | | 0 |
| Weidegras, onbeperkt weiden koeien | 20 ² | | | | | 0 |
| Weidegras, weiden pinken | 10 ² | | | | | 0 |
| Weidegras, weiden kalveren | 10 ² | | | | | 0 |
| Weidegras, stalvoeding | 7 | | | | | 0 |
| Gemaaid gras tbv inkuilen | 5 | 6 ³ | 9 ³ | 2 ⁴ | 0 | 5 |
| Snijmaïs | 2 | 3,2 ⁵ | 7,1 ⁵ | 1 | 0 | 5 |
| Luzerne/rode klaver | 5 | 4 | 6 | 1,5 | 0 | 3 |
| Overig ruwvoer | 0 | 4 | 6 | 1,5 | 0 | 3 |
| Vochtrijke (bij)producten | 0 | 4 | 6 | 1,5 | 0 | 3 |
| Enkelvoudige krachtvoerders | 0 | 4 | 6 | 1,5 | 0 | 2 |
| Mengvoer en melkproducten | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Mineralen (zouten) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |

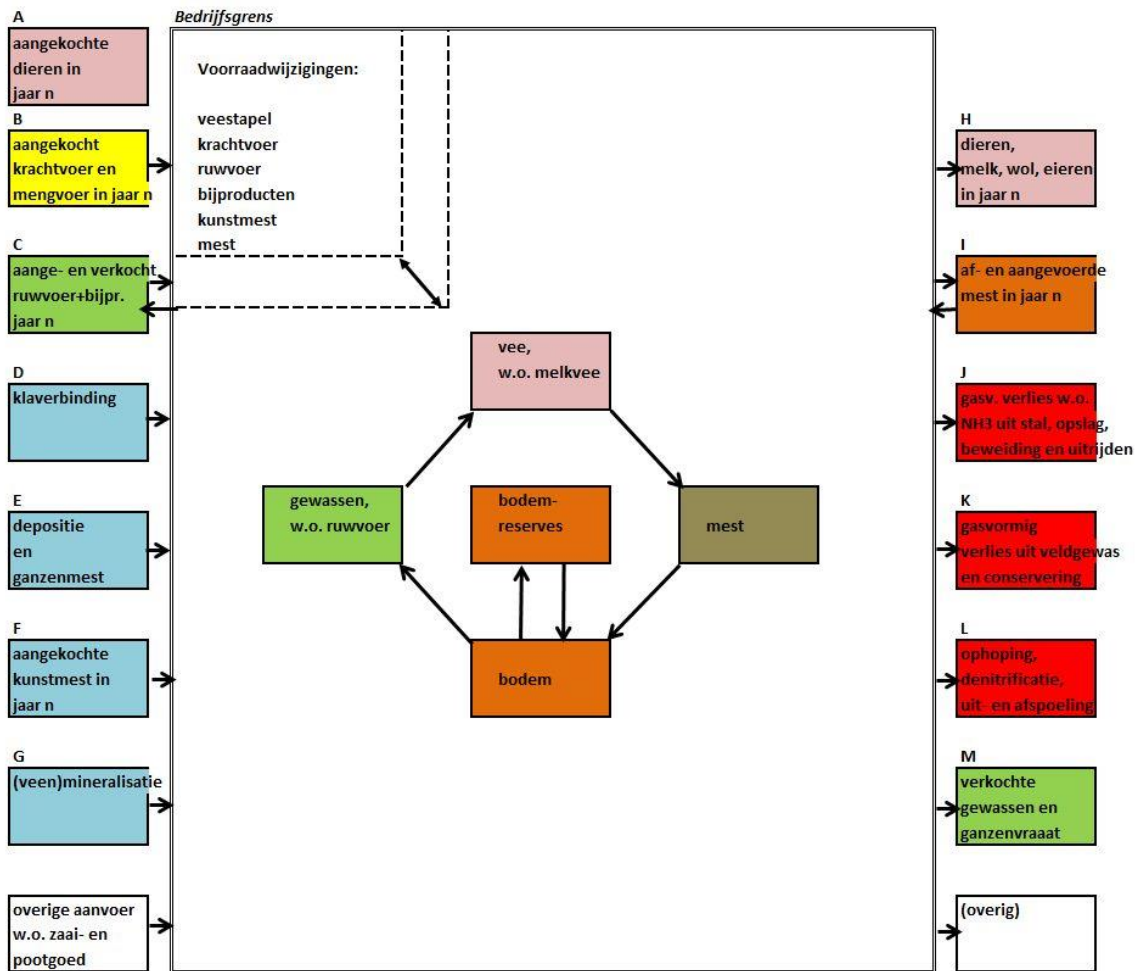
¹ Bij aanvoer van voer vinden eventuele veld- en conserveringsverliezen elders plaats.

² Inschattingen van Gertjan Holshof (persoonlijke mededeling). De waarden zijn gebaseerd op gemaaide resten via bloten bij twee weidesnedes na elkaar en het restant aan gras bij de laatste keer weiden in het seizoen.

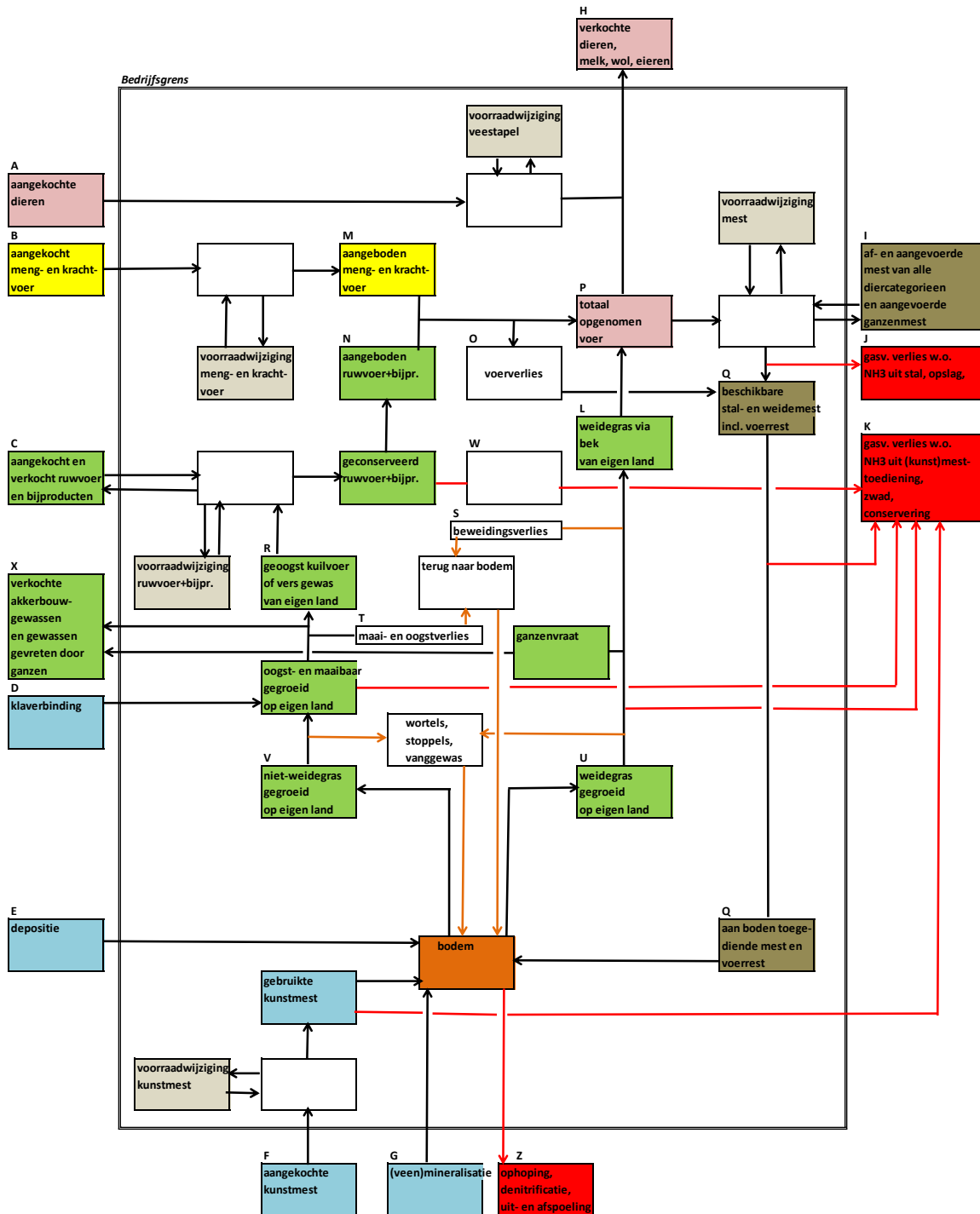
³ Inschatting van Van Schooten & Philipsen (persoonlijke mededeling). De waarden zijn gebaseerd op Van Schooten & Philipsen (2010) waarbij er rekening is gehouden dat de kuilen gemiddeld goed zijn geconserveerd (volgens goede landbouwpraktijk).

⁴ Inschatting van Van Schooten (persoonlijke mededeling). De waarden zijn gebaseerd op voorlopige onderzoeksresultaten.

⁵ Gebaseerd op een drogestofgehalte van 35% (www.handboeksnijmaïs.nl)



Figuur 1.2 In- en uitgaande stofstromen op een landbouwbedrijf: globaal.



Figuur 1.3 In- en uitgaande stofstromen op een landbouwbedrijf al dan niet met een tak akkerbouw of staldieren alsmede de interne stromen.

Naarmate bedrijven per grootvee-eenheid meer land beschikbaar hebben, ontstaat de mogelijkheid om binnen gebruiksnormen behalve de eigen mest ook mest van elders aan te wenden. In dat geval zijn gegevens nodig over de samenstelling over die geïmporteerde mest. Tabel 1.2 vermeldt de verstekwaarden die daarbij gehanteerd worden.

Tabel 1.2 Gemiddelde samenstelling (forfaits) organische mestsoorten (Bron: www.bemestingsadvies.nl).

| | N (kg/ton) | P ₂ O ₅ (kg/ton) | TAN (% van totaal N) | SG (ton/m ³) | OS/N - |
|--|---------------|---|----------------------------|-----------------------------|-----------|
| Graasdieren drijfmest (mestcode 14) | 4,0 | 1,5 | 48 | 1,005 | 13,5 |
| Weidemest graasdieren ¹ | 4,0 | 1,5 | 48 | 1,005 | 13,5 |
| Graasdieren vaste mest (mestcode 10) | 6,4 | 3,2 | 14 | 0,9 | 25,3 |
| Staldieren drijfmest (mestcode 50) ² | 6,4 | 3,8 | 53 ¹ | 1,04 | 6,3 |
| Staldieren vaste mest (mestcode 39) ³ | 31,1 | 15,4 | 25 ¹ | 0,605 | 15,8 |
| Compost ⁴ | 9,8 | 5,3 | 10 | 0,8 | 29,9 |
| Dunne fractie (mestcode 11) ⁵ | 4,7 | 1,8 | 62 | 1,02 | 10,4 |
| Dikke fractie (mestcode 13) ⁵ | 9,1 | 6,6 | 26 | 0,9 | 20,9 |
| Spuiwater (mestcode 115) | 45,0 | 0,0 | 100 | 1.100 | 0,0 |
| Mineralenconcentraat (mestcode 120) | 8,2 | 0,4 | 91 | 1,005 | 1,7 |
| Digestaat ⁶ | 5,5 | 2,7 | 69 | 1,005 | 5,7 |
| Overig ¹ | 4,0 | 1,5 | 48 | 1,005 | 13,5 |

¹ Als graasdieren drijfmest.

² Als vleesvarkens drijfmest.

³ Als vleeskuikens vaste mest.

⁴ Gemiddelde GFT en groencompost.

⁵ Gemiddelde van berekende waarden bij een P-scheidingsrendement van 30% en 60%.

⁶ Gemiddelde van rundvee en vleesvarkens en afbraak van Norg van 25-50%.

1.3 Bronnen van N-verlies

Met name N kan in vele vormen en uit meerdere bronnen, al dan niet definitief, verloren gaan uit de kringloop. De belangrijkste vormen van verlies zijn ammoniak (NH₃-N), lachgas (N₂O-N), nitraat (NO₃-N), elementaire stikstof (N₂), stikstofoxiden (NO_x-N) en organische N (Norg-N) die in de bodem wordt opgeslagen. Het bedrijfsoverschot wordt gelijkgesteld aan het totaal van de verliezen in één van de voornoemde vormen (de termen J, K en L in Figuur 1.2 en 1.3). Tabel 1.3 toont de bronnen van waaruit deze N-verbindingen voornamelijk verloren gaan en de KringloopWijzer-module waarmee het verlies getalsmatig berekend wordt. In het kader van de KringloopWijzer valt het totale berekende N-verlies (het bedrijfsoverschot volgens Figuur 1.2) daarmee uiteen in de posten:

- NH₃-N verlies uit (kunst)mest en afstervend gewas,
- N₂O-N verlies uit (kunst)mest, klaver, mineralisatie, bodem en kuil,
- NO₃-N verlies uit de bodem,
- de berekende overige gasvormige N-verliezen (N₂, NO_x) uit mestopslag en kuil,
- de niet-berekende overige N-verliezen bestaande uit ophoping van Norg in de bodem en/of fouten in de voorgaande berekeningen, volgens:

Niet-berekende overige N-verliezen =

N-bedrijfsoverschot - NH₃-N - N₂O-N - NO₃-N - berekende overige gasvormige N-verliezen.

Hierbij moet worden opgemerkt dat gemakshalve is aangenomen dat uit kuil en mestopslag geen uitspoelingsverliezen optreden maar slechts gasvormige verliezen. Dit zal niet geheel volgens de werkelijkheid zijn.

Tabel 1.3 Vormen van N-verlies en hun bron, alsmede de module (zie superscript) waarmee het verlies berekend wordt.

| Vorm | Bron: | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|
| | Stal en mestput | Externe mestopslag | Mesttoediening en beweiding | Kunstmest | Klaver | Mineralisatie | Bodem | Gewas (zaad) | Kuil |
| NH ₃ -N | X ¹ | X ¹ | X ¹ | X ¹ | | | | | X ² |
| N ₂ O-N | X ⁴ | | X ⁴ | X ⁴ | X ⁴ | X ⁴ | X ⁴ | | |
| NO ₃ -N | | | | | | | X ⁵ | | |
| N ₂ , NO _x | X ³ | | | | | | | | X ³ |
| Norg | | | | | | | X ⁶ | | |

¹ BEA basis.

² BEA plus.

³ BEN: niet-NH₃ gasvormige verliezen uit stal en mestopslag en kuilen.

⁴ BEN: lachgasemissie uit (kunst)mest, klaver, mineralisatie en bodem.

⁵ BEN: nitraatuitspoeling.

⁶ BEC: N ophoping als afgeleide uit BEC.

1.4 Benuttingen

1.4.1 Algemeen

Verliezen van nutriënten worden vaak niet alleen uitgedrukt als absolute hoeveelheid (kg) per eenheid oppervlakte (hectare) of per eenheid product (bijvoorbeeld per liter melk voor gespecialiseerde melkveehouderijbedrijven, per kg stikstof in de vorm van afgevoerde producten voor gemengde bedrijven, per kg graan-equivalent voor gespecialiseerde akkerbouwbedrijven), maar ook als het complement van de fractie van een ingaande nutriëntenstroom die niet nuttig gebruikt wordt, ofwel 1 minus de benutting. De benutting van een nutriënt kan gedefinieerd worden op het niveau van het bedrijf als geheel en op het niveau van de onderliggende, interne (sub)stromen. Daarbij zij opgemerkt dat elke definitie enigszins arbitrair is. Zo verandert de waarde van breuk van afvoer en aanvoer onder invloed van keuze of teller en noemer als bruto-stromen dan wel als netto-stromen worden uitgedrukt. De breuk 100/200 levert immers een ander getal op dan, bijvoorbeeld, de breuk (100+10)/(200+10).

De volgende benuttingspercentages worden in de KringloopWijzer berekend.

1.4.2 Benutting op bedrijfsniveau

De benutting op bedrijfsniveau wordt gedefinieerd als:

Geproduceerde 'nuttige' producten (melk, vlees, af te voeren akkerbouwproducten, door ganzen gevreten gewas) als fractie van gebruikte krachtvoer, ruwvoer, bijproducten, klaverbinding, depositie, kunstmest, mest (inclusief ganzenmest) en (veen)mineralisatie, ofwel (vergelijk Figuur 1.3):

$$\frac{(H - (A - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde omvang van veestapel}) + X)}{((B - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad krachtvoer}) + (C - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad ruwvoer}) + D + E + (F - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad kunstmest}) + (-I - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad mest}) + G)}$$
, met een positief getal voor de correcties als de voorraad is toegenomen.

1.4.3 Benutting op dierniveau

De benutting op dierniveau wordt gedefinieerd als:

Geproduceerde melk en vlees, als fractie van opgenomen krachtvoer, kuilvoer, bijproducten en weidegras (= aangeboden voer na aftrek van voerresten), ofwel (vergelijk Figuur 1.3):

$$(H - (A - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde omvang van de veestapel})) / (M+N+L - O)$$

1.4.4 Benutting op mestniveau

De benutting op mestniveau wordt gedefinieerd als:

Mest en voerrest die 'in' de bodem terechtkomt, als fractie van de excretie plus voerrest (= aangeboden voer - melk en vlees gecorrigeerd voor mutatie veestapel) vermindert met mutatie van mestvoorraad (bij toename van voorraad), vermeerderd met de (op een stalbalans gebaseerde) mestproductie van een eventuele intensieve veehouderijtak ('staldieren'), en vermindert met afgevoerde/vermeerderd met aangevoerde mest, ofwel (vergelijk Figuur 1.3):

$$(Q) / ((M + N + L) - (H - (A - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde omvang van de veestapel})) - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad mest} - I)$$

1.4.5 Benutting op bodemniveau

De benutting op bodemniveau wordt berekend als:

Geproduceerde nutriënten in gewas van eigen bodem inclusief weide-, maai- en oogstverliezen en inclusief af te voeren niet-ruwvoer akkerbouwgewassen en door ganzen gevreten gewas, als fractie van klaverbinding, depositie, kunstmest (na verrekening van voorraadwijzigingen), (veen)mineralisatie en beschikbare weide- en 'stalmest' (inclusief voerrest na aftrek van gasvormige verliezen uit mest en inclusief ganzenmest), ofwel (vergelijk Figuur 1.3):

$$((R + T + X) + (L + S)) / (Q + D + E + (F - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad kunstmest}) + G)$$

1.4.6 Benutting op (ruwvoer)gewasniveau

De benutting op (ruwvoer)gewasniveau, dat wil zeggen de benutting van ruwvoer tot de opname, wordt gedefinieerd als:

Opgenomen voer uit eigen geteelde (niet verkochte) en aangekochte ruwvoedergewassen (dus opname gecorrigeerd voor de opname uit meng- en krachtvoer), als fractie van het geteelde en aangekochte ruwvoer inclusief de weide-, oogst- en maaiverliezen, ofwel (vergelijk Figuur 1.3):

$$(P - ((B - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad meng- en krachtvoer}) - O_{\text{meng- en krachtvoer}})) / ((C - \text{gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad ruwvoer}) + (R + T) + (L + S))$$

1.5 Beperkingen en verbeteringen van de KringloopWijzer

De voorliggende versie van de KringloopWijzer kent meerdere beperkingen. Bij de bespreking van de diverse onderdelen wordt hier nader op ingegaan (zie ook Leeswijzer verderop op dit hoofdstuk). Daarnaast vindt er regelmatig een validatie plaats van de KringloopWijzer waarin de rekennuutkomsten worden vergeleken met meetdata van praktijkbedrijven die deelnemen aan het project Koeien & Kansen. Hierdoor komen de grenzen van het toepassingsbereik van de KLW in beeld.

Een aantal beperkingen/aandachtspunten bij het gebruik van de KLW zijn:

- De KLW levert minder betrouwbare resultaten op voor melkveebedrijven met een lage melkproductie, met veel overige graasdieren en met weinig melkkoeien t.o.v. jongvee. Daarom geeft de handreiking bedrijfsspecifieke excretie aan dat bedrijven met deze kenmerken bij bepaling van de mestafzet hiervan geen gebruik kunnen maken (RVO, 2021).
- Voor bedrijven met een staldierentak (o.a. varkens, kippen, witvlees kalveren) wordt de mest-N- en P-productie van deze tak niet berekend door de KLW, maar wordt deze extern bedrijfsspecifiek geschat via de stalbalans die vervolgens wordt ingevoerd in de KLW. De stalbalans geeft geen informatie over de verdeling van de N en P-productie per diergroep. Deze vindt in de KLW plaats op basis van het gemiddelde aantal aanwezige dieren per diergroep en de normatieve N- en P-productie per diergroep. Verder kan door het ontbreken van informatie over de aan- en afvoer van de staldierentak (voer en dieren) de N- en P-benutting van de staldierentak en die van het totale bedrijf niet worden berekend.
- Bij de berekening van de emissies van ammoniak per ton geproduceerde melk, worden ook de emissies betrokken die door een eventuele staldieren- en akkerbouwtak worden veroorzaakt. De ammoniakemissie uit stal en opslag van staldieren wordt in de KLW-uitvoer wel apart weergegeven. Voor de ammoniakemissie bij mesttoediening op bouwland wordt geen onderscheid gemaakt tussen akkerbouw en melkveehouderij-bouwlandgewassen.
- Deze versie van de KringloopWijzer kent vooralsnog geen mogelijkheid om de conserveringsverliezen van mengkuilen van ruwvoer en een droog bijproduct nauwkeurig te berekenen.

In de KringloopWijzer versie van 2023 zijn diverse aanpassingen doorgevoerd ten opzichte van de 2022-versie w.o.:

- *RAV-staltypen*
Er is een nieuwe RAV-staltype toegevoegd (A1.40) en enkele emissiefactoren van bestaande staltypes zijn aangepast (A1.13 en A1.39).
- *Overige graasdieren*
De lijst met overige graasdieren is uitgebreid met ezels en waterbuffels. De VEM-behoefte van pony's en paarden zijn herberekend.
- *Veestapel parameters in BEX*
Enkele veestapelparameters in de BEX, waaronder vervangingspercentage en droogstandfactor, zijn geactualiseerd.
- *Voedermiddelen*
De lijst met droge krachtvoerders is uitgebreid met 'erwtvezels', 'maïskiemenschilfers' en 'getoaste en onthulde veldbonen'.
- *Berekening NH₃ uit gewasresten*
De berekening van de NH₃-verliezen uit gewasresten is gewasspecifiek gemaakt conform NEMA.
- *Berekening N₂O veld*
Een aantal emissiefactoren voor N₂O-verliezen in het veld is aangepast conform NEMA.
- *CO₂-emissie getallen*
In de KLW zijn de CO₂-emissie getallen opgesplitst in 4 categorieën: biogeen, fossiel, veenoxidatie en landusechange (LUC).
- *GWP-factoren*
De Global Warming Potential (GWP) factoren voor methaan en lachgas zijn geactualiseerd. De GWP van biogene CH₄ is aangepast van 34 naar 27 kg CO₂-eq per kg CH₄, de GWP van fossiele CH₄ is aangepast van 36,7 naar 29,8 kg CO₂-eq per kg CH₄ en de GWP van N₂O is aangepast van 298 naar 273 kg CO₂-eq per kg N₂O.
- *Allocatie melk/vlees*
De allocatieformule voor melk- en vleesproductie is aangepast.
- *Mestadditieven*
Vanaf KLW 2023 kan het mestadditief Vizura worden ingevuld. Dit additief verlaagt de N₂O-emissie bij het uitrijden van drijfmest en digestaat.
- *Energieproductie opgewaardeerd biogas*
Er is nu de mogelijkheid om productie en teruglevering van biogas aan te geven. Het gaat hier wel om opgewaardeerd biogas uit een vergister van aardgaskwaliteit (dus o.a. ontdaan van CO₂).

- *Producten voor lagere footprint automatisch inlezen*

Verschillende producten voor een lagere carbon footprint zijn in een gerichte procedure van ZuivelNL beoordeeld. Het gaat om het additief silvair en bovaer om de methaanemissie te verminderen en Vizura om de lachgasemissie te verminderen. De databank en de datastromen zijn geschikt gemaakt om de benodigde data automatisch in te lezen, zodat de KringloopWijzer van 2023 deze producten kan meenemen bij het berekenen van de footprint.

1.6 Leeswijzer

Dit rapport behandelt achtereenvolgens de BEX (Bedrijfsspecifieke excretie, hoofdstuk 2), de BEA (Bedrijfsspecifieke emissie van ammoniak, hoofdstuk 3), de BEN (Bedrijfsspecifieke emissie van nitraat en lachgas, hoofdstuk 4), de BEP (Bedrijfsspecifieke fosfaatstromen, hoofdstuk 5) en de BEC (Bedrijfsspecifieke koolstofstromen en emissies van CO₂-equivalenten, hoofdstuk 6). Elk hoofdstuk begint met een inleiding waarna de berekeningswijze van de kengetallen wordt uitgelegd. Aan het eind van elk hoofdstuk volgen een aantal kanttekeningen. Daarbij wordt ingegaan op randvoorwaarden, beperkingen en aspecten die verfijning of nader onderzoek behoeven. Omdat de stromen van N, P en C alles met elkaar van doen hebben, valt niet te voorkomen dat de ene hoofdstuk teruggrijpt of vooruitloopt op een andere. Om het spoor niet bijster te raken is in Bijlage 3 een thematische en een alfabetische lijst van afkortingen opgenomen.

In het rapport komen op diverse plaatsen de woorden 'stalmest' en 'staldieren' voor. 'Stalmest' heeft betrekking op alle mest die binnenshuis door een veestapel uitgescheiden (opgevangen, bewaard) wordt, zulks in tegenstelling tot weidemest. Het gaat hierbij dus niet noodzakelijkerwijs om stalmest in de zin van vaste mest: 'stalmest' kan zowel drijfmest als vaste mest zijn. Het is anderzijds niet zo dat het begrip 'staldieren' betrekking heeft op alle dieren die op de één of andere manier (deels) binnen gehouden worden. In het kader van dit rapport zijn 'staldieren' namelijk alleen die dieren die deel uitmaken van een tak 'intensieve veehouderij' (varkens, kippen, vleeskalveren). Een melkveestapel zonder weidegang behoort in die zin niet tot de 'staldieren'.

2 BEX, excreties door niet-melkvee en mestbewerking

2.1 Inleiding

De BEX, zoals meest recent gedefinieerd in de Handreiking (2020), berekent voor een individueel melkveebedrijf de hoeveelheid stikstof (N) en fosfor (P) in de geproduceerde mest. De berekening is ontwikkeld voor bedrijven met overwegend melkvee en heeft betrekking op een kalenderjaar. 'Overwegend melkvee' houdt in dat naast de N en P excretie van de melkveestapel (melkvee plus jongvee), ook de excretie van eventueel aanwezige andere categorieën graasdieren (fokstieren, roodvleesstieren, weide- en zoogkoeien, vleeskalveren, schapen, geiten, paarden, pony's, ezels, waterbuffels) wordt berekend. Echter, de excretie van de melkveestapel wordt bedrijfsspecifiek berekend en de excretie van 'overige graasdieren' wordt berekend met behulp van excretieforfaits (Anonymus, 2015a). De BEX berekent niet de N en P excretie in mest die geproduceerd wordt door eventueel aanwezige staldieren zoals kippen of varkens. Op de bijdrage van deze diercategorieën wordt in paragraaf 2.1.3 ingegaan.

De N en P opname van de melkveestapel wordt berekend als de optelsom van de opname uit alle gevoerde voedermiddelen. De VEM-behoefte van de aanwezige dieren, gecorrigeerd voor een veronderstelde overschrijding van die dekking met 2%, vormt voor de opname het uitgangspunt. Daarom verplicht de BEX de deelnemende bedrijven om van alle voedermiddelen de aanwezige hoeveelheid vast te leggen en het VEM, N en P gehalte te analyseren en daarnaast voor grasland-snijmaïsproducten ook het RAS-gehalte te analyseren. De aanwezige hoeveelheden zijn voor aangekochte voedermiddelen via de bon van de leverancier beschikbaar en voor zelf geteeld ruwvoer wordt de hoeveelheid, voor zover ingekuild, vastgesteld via meting van de kuilinhoud (door een geaccrediteerde monsternemer) en een aanname van een constante dichtheid in kg per m³ op basis van onderzoek van Van Schooten & van Dongen (2007). Uit voornoemd onderzoek is gebleken dat deze 'best practice' voor de schatting van de hoeveelheid kuilvoer een grote variatie in resultaat kent. Daarmee is de geschatte hoeveelheid kuilvoer onvoldoende nauwkeurig om het verbruik van kuilvoer gelijk te stellen aan de voeropname ervan. In BEX is er daarom voor gekozen om de voeropname van vers gras, graskuil en snijmaïs te berekenen op basis van de VEM-behoefte (zie paragraaf 2.1.2.12), waarbij de benodigde VEM naar rato van de verhouding van de berekende vers grasopname en de aangelegde voorraden graslandproducten en snijmaïsproducten (zoals vastgesteld door een geaccrediteerd laboratorium) wordt verdeeld over de verschillende voedermiddelen. Dit principe wordt nader uitgelegd in Oenema *et al.* (2017).

2.2 Berekeningswijze excreties

2.2.1 Algemeen

De BEX berekent de hoeveelheid N en P in de geproduceerde mest. Voor N moet daarbij rekening gehouden worden met vervluchtiging. Daarom is in de BEX onderscheid gemaakt tussen bruto en netto excretie van N en P. De bruto excretie betreft de excretie 'onder de staart' en de netto excretie is de bruto excretie verminderd met de gasvormige N-verliezen. Voor P speelt vervluchtiging geen rol en is de bruto excretie gelijk aan de netto excretie.

2.2.2 Berekening bruto N en P excretie

De bruto of 'onder de staart' excretie van N en P wordt in de BEX met de balansmethode berekend:

$$\text{Excretie N (of P)} = \text{opname N (of P)} - \text{vastlegging N (of P)}$$

2.2.3 Berekening opname N en P

$$\text{Opname N} = \text{VEM-opname} \times \text{N/VEM}$$

$$\text{Opname P} = \text{VEM-opname} \times \text{P/VEM}$$

Waarin:

VEM-opname = VEM-behoefte x 102%. Dit betreft de totale VEM-behoefte van de melkveestapel, op basis van de samenstelling van de melkveestapel en de melkproductie.

N (of P)/VEM : VEM, N en P betreft het gewogen gemiddelde van de geanalyseerde gemiddelde VEM-, N- en P gehalten in ieder bestanddeel van het rantsoen.

2.2.4 Berekening vastlegging N en P

Het betreft vastlegging van N en P in melk en groeiende dieren (foetus + adnexa, kalf, pink, 1^e kalfskoe en 2^e kalfskoe).

$$\text{Vastlegging N (of P)} = \text{kg dierlijk product} \times \text{N (of P) gehalte van het dierlijk product}$$

De benodigde informatie bestaat uit een mix van bedrijfsspecifieke informatie en forfaits.

Bedrijfsspecifieke informatie is beschikbaar voor:

Geproduceerde melk, N gehalte in melk, P gehalte in melk (niet altijd beschikbaar, in dat geval wordt forfait gebruikt), aantallen dieren in de categorieën jongvee jonger dan 1 jaar (kalf), jongvee ouder dan 1 jaar (pink), dieren die afgekald hebben (melkkoeien) en ras van het melkvee.

Forfaits worden gebruikt voor:

P gehalte in melk (indien niet door een hiervoor geaccrediteerde instelling gemeten), vastlegging N en P in respectievelijk foetus + adnexa, kalf, pink, 1^e kalfskoe en 2^e kalfskoe. Daarnaast worden constanten gebruikt voor het percentage drachtige dieren (op jaarbasis) in de veestapel om de vastlegging in foetus + adnexa te kunnen berekenen, voor de leeftijdsopbouw van de melkveestapel om het aantal 1^e kalfskoeien, 2^e kalfskoeien en oudere koeien te kunnen berekenen, en voor de diergewichten bij een gekozen ras.

2.2.5 Berekening netto N excretie

De berekende bruto N excretie moet gecorrigeerd worden voor de bedrijfsspecifieke gasvormige N-verliezen. Deze N-verliezen worden berekend via de BEA (zie paragraaf 2.2).

$$\text{Netto N excretie} = \text{bruto N excretie} - \text{gasvormige N verliezen uit BEA}$$

De benodigde informatie bestaat uit een mix van bedrijfsspecifieke informatie en forfaits.

Bedrijfsspecifieke informatie is beschikbaar voor:

Bruto N excretie voor de veestapel en voor het aantal dieren in de categorieën jongvee jonger dan 1 jaar, jongvee ouder dan 1 jaar, aantal melkkoeien inclusief droogstaande koeien, aandeel drijfmest en het huisvestingstype van het melkvee.

Forfaits worden gebruikt voor het emissiepercentage voor N uit de mest van de veestapel:

Het emissiepercentage voor N uit de mest van de veestapel wordt berekend via de BEA. Voor de gebruikte forfaits zie de beschrijving van de BEA in de paragraaf 2.2.

2.2.6 Opbouw veestapel

De melkveestapel is opgebouwd uit diercategorieën. Per categorie worden de aantallen bepaald: melkkoeien, droogstaande koeien, stuks jongvee ouder dan 1 jaar (pinken), stuks jongvee jonger dan 1 jaar (kalveren). Het betreft de diercategorieën en telling zoals vastgesteld in het Uitvoeringsbesluit en de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Voor alle genoemde diercategorieën wordt het aantal berekend door het totaal van de dagtellingen te delen door 365. Voor zover van toepassing wordt onderscheid gemaakt tussen Jersey, kruisling Jersey en overige rassen. Een Jersey is een dier met minimaal 87,5 procent Jersey-bloed. Een kruisling Jersey heeft tussen de 50 en 87,5 procent Jersey-bloed.

2.2.7 Melkproductie en melksamenstelling

De melkproductie is gelijk aan de totaal geproduceerde melk in kilogrammen per jaar zoals aangegeven in Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, artikel 33, in Uitvoeringsregeling Meststoffenwet, artikel 42 (lid 3) en hoofdstuk 9 (artikelen 73 t/m 75e) en in Regeling dierlijke producten, paragraaf 2 (artikelen 2.10 t/m 2.59). Dit betreft de som van:

- de melk die aan de verwerker is geleverd,
- de melk die gebruikt wordt voor verwerking binnen het bedrijf (w.o. zelf zuivelen),
- de melk gevoerd aan kalveren
- overige melkproductie, dit is bijvoorbeeld biest, mastitismelk of melk voor eigen consumptie.

Het percentage vet, eiwit en fosfor in de melk is het voortschrijdend gemiddelde zoals vastgesteld door zuivelindustrie, berekend per kalenderjaar.

2.2.8 Gewicht melkkoeien

Het gemiddelde gewicht van de volwassen melkkoeien is bepalend voor de VEM-onderhoudsbehoefte van de melkkoeien, ook van die met een afwijkend gewicht, en van het bijbehorende jongvee. Daarvoor is in Tabel 2.1 een zogenaamde rasfactor opgenomen. Deze is gebaseerd op de VEM-onderhoudsbehoefte bij volwassen gewicht.

Tabel 2.1 Gemiddeld gewicht van de verschillende categorieën melkvee per rasgroep en de rasfactoren voor de VEM-behoefte en de diergewichten.

| Rasgroepen | Gewicht melkkoe (kg) | Rasfactor ¹ VEM-behoefte | Gewichten jongvee (kg) ² | | | GEW-factor ³ ras |
|---|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|--------------|-----------------------------|
| | Gemiddeld | | Geboorte | 1 jaar | Bij afkalven | |
| Jersey | 400 | 0,695 | 27 | 197 | 332 | 400/650 |
| Kruisling: Jersey x overig ras ⁴ | 525 | 0,852 | 36 | 258 | 436 | 525/650 |
| Overige rassen | 650 | 1,000 | 44 | 320 | 540 | 650/650 |

¹ In de rasfactor is gebaseerd op de verhoudingen van de metabolische gewichten (gewicht tot de macht 0,75; Het gewicht van de melkkoe uit 'overige rassen' is in deze Handreiking als uitgangspunt genomen: GEW = 650 kg.

^{2/3} De gewichten van 'Jersey' en 'Kruisling' kunnen worden berekend met behulp van de GEW-factor, uitgaande van gemiddelde gewichten van 'Overige rassen', en zijn afgerond.

⁴ De 'Kruisling' is een kruising van 'Jersey' x 'Overig ras' of van 'Overig ras' x 'Jersey'.

2.2.9 Beweiding

Onbeperkt weiden wil zeggen dat de koeien zowel overdag als 's nachts weiden (10-20 uur). Beperkt weiden houdt in dat de melkkoeien alleen overdag of alleen 's nachts in de weide zijn (2-10 uur). Voor de melkkoeien moet voor deze beide systemen het aantal weidedagen per jaar worden opgegeven en (indien toegepast) het gemiddeld aantal uren beweiding per etmaal voor het betreffende systeem. Als de melkkoeien vers weidegras op stal krijgen is er sprake van zomerstalvoeding. Ook dan moet worden vastgelegd om hoeveel dagen het gaat en hoe vaak er per etmaal vers gemaaid gras voor de

koeien wordt gebracht, zowel overdag als 's nachts ('onbeperkt') of alleen overdag dan wel alleen 's nachts ('beperkt').

Daarnaast kan nog een combinatie voorkomen van weiden en zomerstalvoeren. Hierbij moet naast het aantal dagen van het systeem ook het aantal uren weidegang per dag worden opgegeven en een keuze worden gemaakt of op stal alleen vers gras wordt gevoerd ('onbeperkt') of naast het verse gras ook nog ruwvoer wordt gevoerd ('beperkt').

Voor jongvee wordt uitgegaan van onbeperkt weiden waarbij het aantal dagen beweiding wordt geregistreerd.

In de BEX wordt niet geregistreerd of droge koeien geweid worden. In de berekening is aangenomen dat droge koeien het gehele jaar op stal staan en dat aan deze groep geen vers gras wordt verstrekt.

Van het opgenomen weidegras moet worden aangegeven welk deel daarvan afkomstig is van natuurgrasland. Voor koeien mag dit maximaal het aandeel natuurgrasland in het totale areaal grasland zijn. Voor jongvee geldt deze beperking niet.

2.2.10 Berekening VEM-opname en VEM-behoefte van de melkveestapel

De VEM-opname ligt twee procent hoger dan de berekende VEM-behoefte omdat aangenomen wordt dat de VEM-dekking 102% bedraagt. Deze aanname komt overeen met de grondslag van de forfaitaire excretie van melkvee (Tamminga *et al.*, 2004).

De VEM-behoefte wordt berekend volgens de algemene rekenregels van het CVB. Deze zijn ook gebruikt voor de onderbouwing van de excretieforfaits in de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. In de berekening van de VEM-behoefte wordt rekening gehouden met de opbouw van de veestapel, het productieniveau van de koeien, het volwassen gewicht van de melkkoeien en beweiding van de melkkoeien. De behoefteberekening voor melkvee is gebaseerd op dieren die aangebonden staan. Vrij lopende dieren in een ligboxenstal of tijdens beweiding hebben door de bewegingsactiviteit een hogere VEM-behoefte. Daarnaast is extra energie nodig voor eventuele jeugdgroei, voor dracht en voor compensatie van de Negatieve Energie Balans (NEB) in het begin van de lactatie. Deze extra energiebehoeften worden in de vorm van energietoelagen (zie Tabel 2.2) in de VEM-behoefte meegerekend.

De VEM-behoefte van melkvee wordt berekend als de optelsom van de VEM-behoefte voor melkproductie en voor onderhoud. Bij onderhoud wordt onderscheid gemaakt tussen 'lacterende koeien' en 'droogstaande koeien'. De berekening gaat uit van gemiddeld 326 lactatiedagen per kalenderjaar en 39 dagen droogstand per kalenderjaar per gemiddeld aanwezige koe. Een koe gebruikt naast energie voor onderhoud en melkproductie ook energie voor beweging, groei, dracht en mobilisatie van lichaamsreserves (zie Tabel 2.2). De VEM-behoefte van de totale melkveestapel (in kVEM/jaar) is de optelsom van de VEM-behoefte van de melkkoeien, de pinken en de kalveren.

Tabel 2.2 Energiebehoefte en -toeslagen in kVEM per gemiddeld aanwezige melk en kalfkoe voor koeien met een gemiddeld gewicht van 650 kg¹ en per gemiddeld aanwezig stuks jongvee jonger en ouder dan 1 jaar.

| | Melk- en kalfkoeien | | Jongvee | |
|---------------------------------|---|----------|----------|----------|
| | kVEM/jaar | kVEM/dag | ≥ 1 jaar | ≤ 1 jaar |
| | | | kVEM/dag | kVEM/dag |
| Onderhoud en melk | Zie overzicht rekenregels VEM-behoefte op pag 24 | | - | - |
| Onderhoud en groei ² | - | - | 2259/365 | 1323/365 |
| Toeslagen | | | | |
| Bewegingstoelage ³ | Niet weiden | 201 | | |
| | extra bij Beperkt weiden | | 0,419 | |
| | extra bij Combi weiden | | 0,419 | |
| | extra bij Onbeperkt weiden | | 0,560 | 0,346 |
| Jeugdtoelage ⁴ | 102 | | | |
| Dracht en NEB ⁵ | 194 | 0,5315 | 0,2819 | |

¹ Bij een ras met een ander volwassen gewicht dient de toeslag in deze tabel te worden vermenigvuldigd met de rasfactor VEM behoefte die in Tabel 2.1.1 bij het betreffende gewicht hoort.

² Slechts een deel van de kalveren blijft het gehele jaar (vanaf de geboorte) op het bedrijf. Daarvoor moet gecorrigeerd worden. De kVEM-behoefte is daarom geen 1.380 maar 1.324 kVEM per jaar. Er wordt van uitgegaan dat het vervangingspercentage 28% is, waarbij volgens Handboek Melkveehouderij er 0,3760 kalf per gemiddeld aanwezige melkkoe moet worden aangehouden. Per gemiddeld aanwezige melkkoe bedragen het aantal levend geboren kalveren 1,14 en het aantal te verkopen kalveren op de leeftijd van een halve maand (gemiddeld 30,4 dagen, dus 15,2 dagen) 0,7653. Omgerekend naar aantal kalveren per jaar, betekent dat $0,7653 \times 15,2/365 = 0,0319$ kalf per gemiddeld aanwezige melkkoe, zodat er $0,3760 + 0,0319 = 0,4079$ kalf in categorie 101 per gemiddeld aanwezige melkkoe is. De behoefte in de eerste maand bedraagt 54,4 kVEM. Teruggerekend naar een halve maand (15,2 dagen) is de behoefte $54,4/2 \times 24 = 653$ kVEM (afgerond) op jaarbasis (een jaar bestaat uit 24 keer een halve maand). De gecorrigeerde behoefte bedraagt dan $1.380 \times 0,3760/0,4079 + 653 \times 0,0319/0,4079 = 1.323,2$ kVEM per jaar. De gecorrigeerde behoefte in de eerste maand bedraagt dan: $(54,4 \times (0,3760 + (0,7653 \times 0,5)))/0,4079 = 101,2$ kVEM per gemiddeld aanwezig stuks jongvee categorie 101.

³ De bewegingstoelage voor 'Niet weiden' geldt voor niet-aangebonden dieren (10% van onderhoudsbehoefte, gesteld op 2010 kVEM/jaar (Tamminga *et al.*, 2004). De extra bewegingstoelagen in deze tabel voor melkkoeien bedragen 7,5% voor 'Beperkt weiden' en 10% voor 'Onbeperkt weiden' en voor jongvee zijn die gebaseerd op de uitgangspunten in de BEX jongvee; deze zijn weergegeven in kVEM per dier per weidedag. Bij kalveren staat de kVEM-toelage per gemiddeld aanwezig kalf; uitgaande van 0,375 kVEM per dag per kalf en $0,3760/0,4079 = 0,9218$ kalf van deze diercategorie die het gehele jaar aanwezig is, bedraagt de weidetoelage $0,375 \times 0,3760/0,4079 = 0,346$ kVEM per kalf per dag.

⁴ De jeugdtoelage per koe is berekend voor eerstekalfs- en tweedekalfskoeien en is gebaseerd op 660 VEM per dag in de eerste lactatie en 330 VEM in de tweede lactatie. Uitgaande van gemiddeld 30% koeien in 1^e lactatie en 25% van de koeien in 2^e lactatie bedraagt de totale toeslag per gemiddeld aanwezige koe: $(660 \times 0,30 + 330 \times 0,25) \times 365 = 102$ kVEM per jaar. Voor de berekening van de jeugdtoelage van melkkoeien is voor 'Overige rassen' uitgegaan van een gewicht van 540 kg op tweejarige leeftijd, 595 kg op driejarige leeftijd en 650 kg op vierjarige leeftijd.

⁵ De drachttoelage voor een melkkoe bedraagt afgerond 144,7 kVEM per jaar; die van een pink (vaars) is 90% van die van een melkkoe ($144,7 \times 0,90 = 130,2$ kVEM per jaar). Uitgaande van gemiddeld 0,70 kalf per koe (zie tabel 2.4) bedraagt de drachttoelage $144,7 \times 0,70 = 101,3$ kVEM per jaar. De VEM-behoefte voor de Negatieve Energie Balans (NEB) is de energie die gemiddeld nodig is om de tijdens de in de eerste maanden van de lactatie gemobiliseerde lichaamsreserves weer op te bouwen; die bedraagt 93 kVEM. Het totaal van dracht en NEB bedraagt dus $101,3 + 93 = 194,3$; afgerond 194. Voor een pink bedraagt de drachttoelage uitgaande van gemiddeld 0,89 kalf per pink (zie tabel 6 op pagina 24) dus $144,7 \times 0,9 \times 0,89 = 115,9$ kVEM per jaar (dat is 0,3175 kVEM per dag).

Overzicht rekenregels VEM behoefte

kVEM-behoefte jongvee per jaar

Jonger dan 1 jaar (kalveren (ka)) (per dier per kalenderjaar): $(1.323 + 0,346 \times \text{aantal weidedagen}) \times \text{aantal ka} \times \text{rasfactor VEM behoefte (kVEM)}$.

In de VEM behoefte is er rekening mee gehouden dat de kalveren niet allemaal vanaf de geboorte een jaar op het bedrijf blijven. Een groot deel daarvan wordt op een leeftijd van (gemiddeld) 15 dagen afgevoerd en hebben dus een aanzienlijk lagere VEM behoefte dan de dieren die een jaar op het bedrijf blijven. In de voetnoot onder Tabel 2.2 is beschreven hoe deze correctie is berekend.

Ouder dan 1 jaar (pinken (pi)) (per dier per kalenderjaar): $(2.259 + 130,2 \times 0,89 + 0,784 \times \text{aantal weidedagen}) \times \text{aantal pi} \times \text{rasfactor VEM behoefte (kVEM)}$.

kVEM-behoefte melkkoeien per jaar: melkproductie

Melkgift/koe = totaal geproduceerde melk (kg) / het aantal melkkoeien.

FPCM/dag = $(\text{melkgift/koe (kg)} \times (0,337 + 0,116 \times \% \text{vet} + 0,06 \times \% \text{eiwit})) / 326$ (dagen).

VEM melkproductie = $(442 \times \text{FPCM/dag} \times (1 + (\text{FPCM/dag} - 15) \times 0,00165)) \times 326$ (dagen).

kVEM melkproductie = VEM melkproductie/1000.

kVEM-behoefte melkkoeien per jaar: onderhoud

GEW (kg) = levend gewicht afhankelijk van type koe (zie forfait Tabel 2.1).

VEMonh tijdens lactatie = $(42,4 \times \text{GEW}^{0,75} \times (1 + (\text{FPCM/dag} - 15) \times 0,00165)) \times 326$ (dagen).

VEMonh tijdens droogstand = $42,4 \times \text{GEW}^{0,75} \times (1 + (-15 \times 0,00165)) \times 39$ (dagen).

VEM onderhoud melkvee = VEMonh tijdens lactatie + VEMonh tijdens droogstand.

kVEM onderhoud = VEM onderhoud melkvee/1000.

Toeslagen VEM-behoefte melkkoeien per jaar

kVEM-toeslag per koe = $(\text{bewegingstoeslag 'Niet weiden' uit Tabel 2.1.2} + (\text{aantal maanden weiden} \times \text{extra bewegingstoeslag voor 'Beperkt weiden' of 'Onbeperkt weiden' uit Tabel 2.1.2}) \times 326/365) + \text{jeugdtoeslag uit Tabel 2.1.2} + \text{dracht- en NEB-toeslag uit Tabel 2.1.2}$.

kVEM-behoefte melkveestapel per jaar

kVEM-behoefte van melkveestapel = $((\text{kVEM melkproductie} + \text{kVEM onderhoud} + \text{kVEM toeslag}) \times \text{aantal melkkoeien}) + (\text{kVEM jongvee} < 1 \text{ jaar} \times \text{aantal jongvee} < 1 \text{ jaar}) + (\text{kVEM jongvee} > 1 \text{ jaar} \times \text{aantal jongvee} > 1 \text{ jaar})$.

2.2.11 Bepaling van N- en P-opname door melkveestapel

De N en P opname wordt berekend door per voedermiddel de VEM-opname te vermenigvuldigen met respectievelijk de geanalyseerde N/VEM en P/VEM (zie paragraaf 2.2.3). Vervolgens wordt de totale VEM-opname berekend door het resultaat van alle voedermiddelen bij elkaar op te tellen. Echter, op praktijkbedrijven is niet van alle voedermiddelen bekend hoe groot de VEM-opname is. Van de aangekochte voedermiddelen wordt het verbruik berekend als de aankoop minus voorraadswijziging, maar van zelf geteeld ruwvoer ontbreken met name betrouwbare gegevens over het aandeel dat weidegras in de ruwvoervoorziening heeft gehad. In eerste instantie wordt de totale hoeveelheid energie uit zelf geteeld ruwvoer uit maïskuil, graskuil en vers (weide) gras bepaald als:

VEM-opname uit snijmaïskuil, graskuil en vers (weide)gras = berekende VEM opname veestapel – VEM verbruik uit overig ruwvoer en vochtrijke (bij)producten, krachtvoerders en melkproducten – vervoederingsverliezen uit overig ruwvoer en vochtrijke (bij)producten, krachtvoerders en melkproducten, met:

berekende VEM-opname veestapel = VEM behoefte veestapel \times 102%.

2.2.12 Bepaling VEM-opname uit snijmaïskuil, graskuil en vers gras

De verdeling van de berekende VEM opname uit snijmaïskuil, graskuil en vers (weide)gras over de afzonderlijke producten gebeurt door een verhouding te berekenen tussen een berekende VEM-opname uit vers gras, een gemeten vervoederde hoeveelheid graskuil en een gemeten vervoederde hoeveelheid snijmaïs.

Voor vers (weide)gras ontbreken zowel opnames als geanalyseerde gehalten. Voor de VEM-opname uit vers (weide)gras wordt, afhankelijk van het beweidingssysteem een drogestof-opname uit vers gras berekend (Oenema *et al.*, 2017). Bij de berekening worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De variatie in beweidingduur bij onbeperkt weiden bedraagt 10 tot 20 uren per etmaal. Die variatie bedraagt bij beperkt weiden 2 tot 10 uren per etmaal.
- In de praktijk krijgen weidende melkkoeien minstens twee uren weidegang. Bij 2 uur weidegang neemt een melkkoe 2 kg droge stof weidegras op (type 'Overige rassen' - zie Tabellen 2.1 en 2.2 - en bij een melkproductie van 9.500 kg FPCM/jaar). Per uur extra weiden komt daar 0,75 kg droge stof bij, met een maximum van 18 uren extra weiden (20 totaal) per etmaal. Voor elke 500 kg FPCM meer of minder moet de drogestof-opname uit weidegras met 2% worden verhoogd respectievelijk verlaagd.
- Bij zomerstalvoeding wordt ervan uitgegaan dat de drogestof-opname van een melkkoe bij 'onbeperkt' vers gras op stal 87% bedraagt van de opname bij onbeperkt weiden gedurende 20 uren per etmaal. Voor een melkkoe met 'beperkt' vers gras op stal wordt de drogestof-opname van vers gras gelijk gesteld aan 87% van de opname bij 9 uren weiden per etmaal.
- De drogestof-opname van Jerseys en van kruislingen bedraagt respectievelijk 70% en 85% van die van koeien van de overige rassen. Dezelfde percentages gelden ook voor het referentieniveau van de meetmelkproductie om de drogestof-opname te berekenen (respectievelijk 6650 en 8075 kg FPCM/jaar).
- Droge koeien krijgen geen vers gras.

2.2.13 Bepaling van de N/VEM en P/VEM verhouding in vers gras

De samenstelling van vers weidegras (droge stof, VEM, N en P) bij weiden en bij zomerstalvoeding is niet bekend. In de BEX wordt onderscheid gemaakt tussen vers gras van productiegrasland (productiegras) en vers gras van natuurgrasland (natuurgras). De verhouding van de gehalten VEM met N en P worden voor vers productiegras afgeleid van de N/VEM en P/VEM van de aangelegde graskuilen (gebaseerd op praktijkinformatie uit het project Koeien & Kansen). Daarbij moet de kwaliteit van de graskuil(en) representatief zijn voor de kwaliteit van het verse gras dat de melkkoeien via weiden of zomerstalvoeding krijgen. Daarom vormt de verhouding tussen het VEM, N- en P-gehalte in grasland producten (alleen graskuil, excl. aankoop en niet afkomstig van natuurgrasland), het uitgangspunt voor de geschatte samenstelling van het verse productiegras. Indien geen eigen aangelegde graskuilen aanwezig zijn wordt gerekend met standaarden (gebaseerd op praktijkinformatie uit het project Koeien & Kansen). Voor vers natuurgras wordt gerekend met standaarden afgeleid uit onderzoek (Vellinga, 1994; Korevaar *et al.*, 2006).

2.2.14 Correctie voor voeropname door overige graasdieren

Als op het bedrijf naast melkkoeien en bijbehorend jongvee ('melkvee') ook overige graasdieren aanwezig zijn en het voer voor deze graasdieren is niet duidelijk gescheiden van dat voor melkvee, dan wordt een forfaitaire hoeveelheid verbruik afgetrokken van de hoeveelheid die volgens de berekening op het bedrijf wordt gevoerd (Tabel 2.3). Hierbij is het verbruik de opname plus de vervoederingsverliezen.

Een ander aandachtspunt voor een zorgvuldige toepassing van Tabel 2.3 betreft de wijze van verdeling van de voercategorieën over de diercategorieën. Uitgangspunt is dat de per diercategorie vermelde totale kVEM-opname wordt opgenomen. Als echter op een bedrijf een bepaalde voercategorie of misschien wel meer voercategorieën niet of minder zijn vervoederd, dan moeten de kVEM-opnames uit andere voercategorieën komen, die per diercategorie zijn vermeld. Dat gaat als volgt, steeds in een bepaalde volgorde, zoals hieronder is vermeld:

-
- Bij geen vers (weide)gras: grasproducten, snijmaïskuil, overige producten, krachtvoerders, kunstmelkpoeder. Dit geldt bijvoorbeeld als de weidekoeien niet worden geweid als er geen grasland is. Dus bij geen vers weidegras wordt voor weidekoeien aangenomen dat de kVEM-behoefte van 1.792 kVEM uit weidegras uit grasproducten komt, zodat de opname daaruit alsnog 3.187 kVEM bedraagt;
 - Bij geen of onvoldoende kunstmelkpoeder: krachtvoerders, overige producten, snijmaïskuil, grasproducten, vers weidegras;
 - Bij geen of onvoldoende krachtvoerders: overige producten, snijmaïskuil, grasproducten, vers weidegras, kunstmelkpoeder;
 - Bij geen of onvoldoende overige producten: snijmaïskuil, grasproducten, vers weidegras, krachtvoerders, kunstmelkpoeder;
 - Bij geen of onvoldoende snijmaïskuil: overige producten, grasproducten, vers weidegras, krachtvoerders, kunstmelkpoeder;
 - Bij geen of onvoldoende grasproducten: overige producten, snijmaïskuil, vers weidegras, krachtvoerders, kunstmelkpoeder.

Tabel 2.3 Forfaitaire kVEM-opname per jaar voor een aantal categorieën 'overige graasdieren'.

| Voercategorie: Vervoederingsverliezen (%): Diercategorie ¹ | Kunst- melk- poeder 2 | Kracht- voeders ² 2 | Weide- gras (be- weiding) n.v.t. | Graspro- ducten ³ 5 | Snijmaïs -kuil 5 | Overige pro- ducten ⁴ 3 | Totale kVEM- opname |
|---|--------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|------------------------|---|---------------------------|
| 104 Fokstieren (≥1 jaar) | 0 | 274 | 0 | 2.466 | | | 2.740 |
| 115 Startkalveren voor rosé- of roodvlees (<ca. 3 mnd) | 222 | 406 | 0 | 0 | 140 | 0 | 768 |
| 116 Rosévleeskalveren (ca. 3 mnd tot ca. 8 mnd) | 0 | 1.122 | 0 | 0 | 655 | 355 | 2.132 |
| 117 Rosévleeskalveren (ca. 14 dgn tot 8 mnd) | 78 | 880 | 0 | 0 | 482 | 211 | 1.651 |
| 120 Weide- en zoogkoeien | 0 | 56 | 1.792 | 1.339 | 0 | 0 | 3.187 |
| 122 Roodvleesstieren (>ca. 3 mnd tot slacht) | 0 | 970 | 0 | 0 | 1.652 | 68 | 2.690 |
| 550 Fokschapen (ten minste eenmaal gelammerd incl. lammeren <ca. 4 mnd en rammen) | 0 | 56 | 328 | 65 | 0 | 0 | 449 |
| 551 Vleeschapen (<ca. 4 mnd, niet geboren op bedrijf) | 0 | 9 | 47 | 4 | 0 | 0 | 60 |
| 552 Opfokooien, weideschapen, vleeschapen (>ca. 4 mnd) | 0 | 11 | 266 | 22 | 0 | 0 | 299 |
| 600 Melkgeiten, gangbaar (ten minste eenmaal gelammerd incl. pasgeboren lammeren en geslachtsrijpe bokken) | 0 | 463 | 0 | 243 | 114 | 0 | 820 |
| 600 Melkgeiten, biologisch (ten minste eenmaal gelammerd incl. pasgeboren lammeren en geslachtsrijpe bokken) | 0 | 241 | 95 | 280 | 175 | 0 | 791 |
| 601 Opfokgeiten en vleesgeiten (<ca. 4 mnd) | 79 | 60 | 0 | 32 | 53 | 0 | 224 |
| 602 Opfokgeiten en vleesgeiten (>ca.4 mnd) | 0 | 203 | 0 | 107 | 179 | 0 | 489 |
| 941 Pony's (schofhoogte <1,56 m en incl. veulens <6 mnd) | 0 | 164 | 497 | 734 | 0 | 47 | 1.442 |
| 943 Paarden (schofhoogte ≥1,56 m en incl. veulens <6 mnd) | 0 | 517 | 909 | 1.452 | 0 | 49 | 2.927 |
| 961 Ezels (incl. veulens < 6 mnd) | 0 | 38 | 334 | 380 | 0 | 94 | 846 |
| 991 Waterbuffelkoeien (alle waterbuffelkoeien die ten minste éénmaal hebben gekalfd en die voor de melkproductie of de fokkerij worden gehouden; ook waterbuffelkoeien die droog gezet zijn of worden vetgemest en in de mesttijd worden gemolken) | 0 | 734 | 0 | 1608 | 1537 | 306 | 4.185 |
| 992 Waterbuffeljongvee (alle jongvee van waterbuffels tot een leeftijd van 2 jaar) | 0 | 194 | 0 | 474 | 814 | 219 | 1.701 |

¹ Zie voor exacte omschrijving bijlage D van Uitvoeringsregeling Meststoffenwet.

² Droge krachtvoerders: mengvoerders plus enkelvoudige droge krachtvoerders.

³ Grashooi, graskuil en/of grasbrok; eigenlijk zou deze categorie "overige grasproducten" moeten heten; in het voorgaande is al duidelijk gemaakt wat deze voercategorie behelst.

⁴ Vochtrijke krachtvoerders plus overige ruwvoerders. De vermelde waarden bij rosékalveren zijn gebaseerd op vochttrijke krachtvoerders.

2.2.15 Overzicht rekenregels N en P opname

VEM-waarde vers productiegas = 960 VEM/kg DS

N/VEM en P/VEM vers productiegas:

N/VEM weidegas = 1,12 x N/VEM ingekuild gras

P/VEM weidegas = 0,97 x P/VEM ingekuild gras

N/VEM zomerstalvoeding = 1,06 x N/VEM ingekuild gras

P/VEM zomerstalvoeding = 0,98 x P/VEM ingekuild gras

Gehaltes in vers productiegas indien er geen aangelegde kuilen aanwezig zijn:

VEM-waarde vers productiegas = 960 VEM/kg DS

N-gehalte vers productiegas = 213/6,25 g/kg

P-gehalte vers productiegas = 4,4 g/kg DS

VEM-waarde vers natuurgas = 860 VEM/kg DS

N-gehalte vers natuurgas = 189/6,25 g/kg DS

P-gehalte vers natuurgas = 4,0 g/kg DS

Berekening hoeveelheid opname uit weidegas

melkfactor = $1 + (\text{meetmelkproductie} - 9.500 * \text{rasfactor}) / 500 \times 0,02$

Bij weiden:

kVEM-opname melkveestapel uit vers gras =

$(\text{aantal weidedagen van melkkoeien}) \times ((2 + 0,75 \times (\text{weide-uren/dag} - 2)) \times \text{melkfactor}) \times \text{aantal melkkoeien} \times \text{VEM-waarde weidegas} / 1.000$

Hiervoor geldt:

- Aantal weide-uren/dag < 20

Bij zomerstalvoeding:

kVEM-opname melkveestapel uit vers gras =

kVEM-opname melkveestapel uit vers gras bij weiden x 0,87 =

$(\text{aantal dagen zomerstalvoeding van melkkoeien}) \times ((2 + 0,75 \times (\text{weide-uren/dag} - 2)) \times \text{melkfactor} \times 0,87) \times \text{aantal melkkoeien} \times \text{VEM-waarde weidegas} / 1.000$

Hiervoor geldt:

- Aantal weide-uren/dag = 20 bij 'onbeperkt' vers gras op stal.
- Aantal weide-uren/dag = 9 bij 'beperkt' vers gras op stal.

Vastlegging van N en P

De vastlegging van N en P wordt voor de hele melkveestapel berekend: alle melkgevende en droogstaande koeien, plus het jongvee. Voor de berekening van de vastlegging zijn geen extra gegevens nodig. Er wordt vrijwel volledig gewerkt met forfaits met uitzondering van de N en P vastlegging in melk en de aantallen dieren (Tabellen 2.4 en 2.5).

Tabel 2.4 Uitgangspunten voor vastlegging van N en P in melkveestapel.

| Gewichten van categorieën melkveestapel | | Afkorting |
|---|-----------------------------|-------------|
| Gewicht volwassen melkkoe* | = GEW | GEW |
| Gewicht kalf (kg)** | = GEW x 44/650 | GEWkalf |
| Gewicht pink (kg)** | = GEW x 320/650 | GEWpink |
| Gewicht vaars (kg)** | = GEW x 540/650 | GEWvaars |
| Vastlegging in melkkoeien | | |
| <i>Melkproductie</i> | | |
| Stikstof (N) gehalte in de melk (g/kg) | = eiwit% in melk x 10/6,38 | |
| Fosfor (P) gehalte in de melk (g/kg) | = fosforgehalte in melk/100 | |
| <i>Dracht</i> | | |
| Aantal geboren kalveren per koe per kalenderjaar | = 0,70 | aantalkalf |
| Stikstof (N) gehalte kalf (g/kg) | = 29,4 | Ngehkalf |
| Fosfor (P) gehalte kalf (g/kg) | = 8,0 | Pgehkalf |
| De gehalten voor het kalf betreffen de samenstelling bij de geboorte | | |
| <i>In groei van (melkgevende) vaarzen (vervanging)</i> | | |
| Aandeel vervanging per melkkoe | = 0,27 | Aandvervang |
| Stikstof (N) gehalte vaars (g/kg) | = 23,1 | Ngehvaars |
| Fosfor (P) gehalte vaars (g/kg) | = 7,4 | Pgehvaars |
| Stikstof (N) gehalte koe (g/kg) | = 22,5 | Ngehkoe |
| Fosfor (P) gehalte koe (g/kg) | = 7,4 | Pgehkoe |
| Gehalten van vaarzen betreffen de samenstelling bij de eerste keer afkalven | | |
| Vastlegging in jongvee | | |
| <i>Jongvee jonger dan een jaar</i> | | |
| Stikstof (N) gehalte kalf (g/kg) | = 29,4 | Ngehkalf |
| Fosfor (P) gehalte kalf (g/kg) | = 8,0 | Pgehkalf |
| Stikstof (N) gehalte pink (g/kg) | = 24,1 | Ngehpink |
| Fosfor (P) gehalte pink (g/kg) | = 7,4 | Pgehpink |
| Gehalten van pink betreffen de samenstelling op een leeftijd van 12 maanden | | |
| <i>Jongvee ouder dan een jaar</i> | | |
| Aantal geboren kalveren uit jongvee per kalenderjaar | = 0,89 | aantalkalf1 |
| Stikstof (N) gehalte kalf (g/kg) | = 29,4 | Ngehkalf |
| Fosfor (P) gehalte kalf (g/kg) | = 8,0 | Pgehkalf |
| Stikstof (N) gehalte pink (g/kg) | = 24,1 | Ngehpink |
| Fosfor (P) gehalte pink (g/kg) | = 7,4 | Pgehpink |
| Stikstof (N) gehalte vaars (g/kg) | = 23,1 | Ngehvaars |
| Fosfor (P) gehalte vaars (g/kg) | = 7,4 | Pgehvaars |

* Het gemiddelde lichaamsgewicht van een volwassen melkkoe is afhankelijk van het ras: zie Tabel 2.1.1. Voor 'overige rassen' is dat 650 kg.

** Voor 'overige rassen' (Tabel 2.1.1) is het gemiddelde gewicht van een kalf (bij geboorte) 44 kg, van een pink (op eenjarige leeftijd) 320 kg en van een vaars (pink bij afkalven op leeftijd van circa 26 maanden) 540 kg.

Tabel 2.5 Berekening vastlegging van N en P (in kg per jaar)*.

| Vastlegging in melkkoeien | |
|--|---|
| <i>Tijdens melkproductie</i> | |
| Nmelk | = (totaal geproduceerdemelk x (eiwitpercentage x 10/6,38)) / 1.000 |
| Pmelk | = (totaal geproduceerde melk x P-melk) / 1.000 |
| <i>Tijdens dracht</i> | |
| GEWkalf | = GEW x 44/650 |
| Nkalf | = ((GEWkalf x aantalkalf** x Ngehkalf) / 1.000) x aantal melkkoeien |
| Pkalf | = ((GEWkalf x aantalkalf** x Pgehkalf) / 1.000) x aantal melkkoeien |
| <i>In groei van (melkgevende) vaarzen (vervanging)</i> | |
| GEWvaars | = GEW x 540/650 |
| Nvaars | = (GEWvaars x aandvervang x Ngehvaars**) / 1.000 |
| Pvaars | = (GEWvaars x aandvervang x Pgehvaars**) / 1.000 |
| Nkoe | = (GEW x aandvervang x Ngehkoe**) / 1.000 |
| Pkoe | = (GEW x aandvervang x Pgehkoe**) / 1.000 |
| Nvervanging | = (Nkoe - Nvaars) x aantal melkkoeien |
| Pvervanging | = (Pkoe - Pvaars) x aantal melkkoeien |
| Vastlegging in jongvee | |
| <i>Jonger dan 1 jaar</i> | |
| GEWpink | = GEW x 320/650 |
| Nkalf1 | = (GEWkalf x Ngehkalf***) / 1.000 |
| Pkalf1 | = (GEWkalf x Pgehkalf***) / 1.000 |
| Npink | = (GEWpink x Ngehpink***) / 1.000 |
| Ppink | = (GEWpink x Pgehpink***) / 1.000 |
| Njv<1 | = (Npink - Nkalf1) x gem. aantal stuks jongvee < 1jr x Ncorr |
| Pjv<1 | = (Ppink - Pkalf1) x gem. aantal stuks jongvee < 1jr x Pcorr |
| Ncorr | = 0,971 **** |
| Pcorr | = 0,961 **** |
| <i>Ouder dan 1 jaar</i> | |
| Nkalf2 | = (GEWkalf x aantalkalf1** x Ngehkalf***) / 1.000 |
| Pkalf2 | = (GEWkalf x aantalkalf1** x Pgehkalf***) / 1.000 |
| Nvaars1 | = (GEWvaars x Ngehvaars***) / 1.000 |
| Pvaars1 | = (GEWvaars x Pgehvaars***) / 1.000 |
| Njv>1 | = (Nkalf2 + (Nvaars1 - Npink) x 12/14) x gem. aantal stuks jongvee > 1jr. |
| Pjv>1 | = (Pkalf2 + (Pvaars1 - Ppink) x 12/14) x gem. aantal stuks jongvee > 1jr |

* In Tabel 2.1.4 staan de uitgangspunten voor de formules.

** Zie voor aantalkalf en aantalkalf1 Tabel 2.1.4; aantalkalf = gemiddeld aantal geboren kalveren per jaar bij koeien; aantalkalf1 = gemiddeld aantal geboren kalveren per jaar uit jongvee.

*** Zie voor N- en P-gehalten van koe, vaars, pink en kalf Tabel 2.1.4.

**** Deze correctiefactoren voor vastlegging zijn nodig om evenals bij de VEM-opname er rekening mee te houden dat de kalveren niet allemaal vanaf de geboorte een jaar op het bedrijf blijven. Een groot deel daarvan wordt op een leeftijd van (gemiddeld) 15 dagen afgevoerd en legt dus aanzienlijk minder N en P vast dan de dieren die een jaar op het bedrijf blijven. In analogie met de correctie voor de VEM-behoefte wordt dan ook gecorrigeerd.

2.2.16 Gasvormige N-verliezen

Een deel van de stikstofexcretie van de melkveestapel verdwijnt uit stal en opslag door vervluchtiging. Bij de berekening van de hoeveelheid te plaatsen mest moet met deze gasvormige stikstofverliezen rekening worden gehouden omdat mest-N gebruiksnormen gebaseerd zijn op hoeveelheid ná aftrek van deze gasvormige verliezen uit stal en opslag. Deze gasvormige N-verliezen worden berekend op basis van de BEA-module binnen de KringloopWijzer (hoofdstuk 3).

2.2.17 Mestproductie door overige graasdieren

De hoeveelheden geproduceerde mest-N en mest-P₂O₅ door de overige graasdieren zijn in de KringloopWijzer gebaseerd op forfaits (Tabel 2.6), waarbij voor de mest-N onderscheid wordt gemaakt tussen gangbare en biologische melkveehouderijsystemen. Deze forfaits gaan uit van netto-excreties waarvan de gasvormige N-verliezen al zijn afgetrokken. Ook voor deze excreties geldt dat zij in de KringloopWijzer eerst worden omgezet naar bruto-excreties om het N-bodemoverschot te berekenen onder aftrek van de met de BEA-module berekende gasvormige N-verliezen.

Tabel 2.6 Netto-excretie in de vorm van mest-N en mest-P₂O₅ per gemiddeld aanwezig dier voor 'overige graasdieren' (bron: RVO).

| Diercategorie | Excretie | Excretie | Excretie | Excretie | Excretie |
|--|-----------|------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|
| | drijfmest | vaste mest | mest | biologisch | biologisch |
| | N | N | P ₂ O ₅ | N | P ₂ O ₅ |
| Fokstieren > 1 jaar (cat. 104) | 64,4 | 51,2 | 25,9 | 51 | 25,9 |
| Weide- en zoogkoeien (cat. 120) | 75,4 | 75,3 | 26,9 | 66,2 | 26,9 |
| Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115) | 10,5 | 10,5 | 3,4 | 6,6 | 3,4 |
| Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116) | 26,3 | 26,3 | 9,4 | 26,3 | 9,4 |
| Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117) | 21,5 | 21,5 | 7,6 | 23,4 | 7,6 |
| Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122) | 28,2 | 25,6 | 9,7 | 27,2 | 9,7 |
| Fokschapen (cat. 550) | 9,9 | 9,9 | 3,3 | 9,9 | 3,3 |
| Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551) | 0,9 | 0,9 | 0,3 | 0,9 | 0,3 |
| Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552) | 7,2 | 7,2 | 2,2 | 7,2 | 2,2 |
| Melkgeiten (cat. 600) | 9,4 | 9,4 | 4,7 | 8,9 | 4,4 |
| Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601) | 0,6 | 0,6 | 0,3 | 0,6 | 0,3 |
| Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602) | 4,7 | 4,7 | 2,6 | 4,7 | 2,6 |
| Pony's (cat. 941) | 27,3 | 27,3 | 13,0 | 27,3 | 13,0 |
| Paarden (cat. 943) | 58,8 | 58,8 | 28,6 | 58,8 | 28,6 |
| Ezels (cat. 961) | 16 | 16 | 7,3 | 16 | 7,3 |
| Waterbuffels, koeien (cat. 991) | 76,5 | 76,5 | 29,9 | 76,5 | 29,9 |
| Waterbuffels, jongvee (cat. 992) | 28,7 | 28,7 | 10,1 | 28,7 | 10,1 |

2.2.18 Mestproductie door 'staldieren'

Omdat de KringloopWijzer bij de berekening van enkele kengetallen rekening houdt met de aanwezigheid van een eventuele neventak 'staldieren', zijn gegevens nodig van de bijdrage van deze 'staldieren' aan de productie, de afvoer en het eventuele gebruik van N en P in dierlijke mest van de staldieren. Deze worden niet berekend door het opvragen van gegevens in de KringloopWijzer van de hoeveelheden en samenstelling van aangekocht voer en uitgangsmateriaal en de hoeveelheden en samenstelling van de afgevoerde dieren en/of producten, maar door het direct opvragen van gegevens uit de netto stalbalans(en) die in andere kaders beschikbaar zijn. De hoeveelheden geproduceerde mest-N door 'staldieren' gaan uit van netto-excreties waarvan de gasvormige verliezen al zijn afgetrokken. Ook voor deze excreties geldt dat zij in de KringloopWijzer eerst worden omgezet naar bruto-excreties om het N-bodemoverschot te berekenen onder aftrek van de met de BEA-module berekende gasvormige N-verliezen. Het milieubelastende deel van de emissies (ammoniak-N, lachgas-N, methaan) door 'staldieren' wordt toegevoegd aan de emissie van de rest van het bedrijf. Dat geldt voor de methaan-emissies zowel voor de methaan uit de stallen en mestopslagen als voor de methaan die bij de spijsvertering vrijkomt. Genoemde emissies worden bepaald op basis van coëfficiënten en gehouden dieraantallen (Mosquera & Hol, 2012; Anonymus, 2015b).

De berekening van de productie van mest-N en -P door 'staldieren' verloopt op basis van de volgende opgevraagde informatie:

- Totale netto stalbalansen stikstof en fosfaat (Bemestingsplan).
- Gemiddeld aantal aanwezige dieren (gad).
- Soort mest (drijfmest of vaste mest).
- Huisvestingsstelsel (RAV-stal).

- De totale hoeveelheden stikstof en fosfaat uit de netto stalbalans worden verdeeld over de verschillende diergroepen via een gewogen gemiddelde aan normatieve stikstof- en fosfaatproducties berekend met de mestproducties en mestgehalten uit Tabel 2.7:
 - Normatieve productie stikstof = gad * mestproductie per gad * N-gehalte mest.
 - Normatieve productie fosfaat = gad * mestproductie per gad * P₂O₅-gehalte mest.
- De hoeveelheid mest in tonnen die geproduceerd wordt kan berekend worden met Tabel 2.7:
 - Normatieve mestproductie = gad * mestproductie per gad.
- In de KringloopWijzer worden twee soorten 'stalmest' onderscheiden: drijfmest en vaste mest. Bij de invoer dient daarom te worden aangegeven of de betreffende diercategorie drijfmest of vaste mest produceert. De totale productie aan stikstof en fosfaat in drijfmest en vaste mest kan worden bepaald door de over de staldieren verdeelde netto stalbalansen op te tellen.
- Het gehalte wordt tenslotte bepaald door de hoeveelheden stikstof en fosfaat te delen door de geproduceerde hoeveelheden mest.

Tabel 2.7 Normatieve netto mestproducties en mestgehalten voor verschillende soorten staldieren en huisvestingsystemen.

| Diersoort | Rav-code stal | Mestproductie drijfmest(ton per gad) (kg/gad) | Mestproductie vaste mest (kg/gad) | Stikstof gehalte drijfmest (kg N / ton) | Stikstof gehalte vaste mest (kg N / ton) | Fosfaat gehalte drijfmest (P ₂ O ₅ / ton) | Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ / ton) |
|--------------|---------------|---|-----------------------------------|---|--|---|---|
| Leghennen | E 2.5.6 | 43,7 | 14,56 | 16,6 | 50,1 | 6,0 | 18,8 |
| | E 2.7 | 43,7 | 15,6 | 9,3 | 26,3 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.8 | 43,7 | 15,6 | 15,0 | 42,3 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.9.1 | 43,7 | 15,6 | 14,7 | 41,5 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.9.2 | 43,7 | 15,6 | 14,2 | 40,1 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.9.3 | 43,7 | 15,6 | 14,2 | 40,1 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.10 | 43,7 | 15,6 | 16,6 | 46,6 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.11.1 | 43,7 | 18,72 | 15,4 | 36,2 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.11.2 | 43,7 | 18,72 | 16,1 | 37,8 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.11.3 | 43,7 | 18,72 | 16,7 | 39,2 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.11.4 | 43,7 | 18,72 | 16,5 | 38,6 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.12.1 | 43,7 | 15,6 | 15,9 | 44,6 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.12.2 | 43,7 | 15,6 | 15,1 | 42,6 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.13 | 43,7 | 15,6 | 15,3 | 43,2 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.14 | 43,7 | 15,6 | 15,3 | 43,2 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.15 | 43,7 | 15,6 | 15,3 | 43,2 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.16 | 43,7 | 15,6 | 15,3 | 43,2 | 6,0 | 24,2 |
| | E 2.100 | 43,7 | 15,6 | 11,0 | 31,1 | 6,0 | 24,2 |
| Vleeskuikens | E 5.1 | 19,2 | 11,4 | 21,4 | 36,2 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.2 | 19,2 | 11,4 | 21,0 | 35,5 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.3 | 19,2 | 11,4 | 21,4 | 36,2 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.4 | 19,2 | 11,4 | 21,3 | 36,0 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.5 | 19,2 | 11,4 | 19,6 | 33,2 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.6 | 19,2 | 11,4 | 20,0 | 33,9 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.7 | 19,2 | 11,4 | 20,6 | 34,8 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.8 | 19,2 | 11,4 | 20,7 | 35,1 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.9.1.2.2 | 19,2 | 11,4 | 20,2 | 34,1 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.9.1.2.4 | 19,2 | 11,4 | 20,0 | 33,9 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.9.1.2.5 | 19,2 | 11,4 | 20,6 | 34,9 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.10 | 19,2 | 11,4 | 19,8 | 33,5 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.11 | 19,2 | 11,4 | 20,5 | 34,7 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.12 | 19,2 | 11,4 | 20,6 | 34,8 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.13 | 19,2 | 11,4 | 20,6 | 34,8 | 6,0 | 16,6 |
| | E 5.14 | 19,2 | 11,4 | 19,8 | 33,5 | 6,0 | 16,6 |
| E 5.15 | 19,2 | 11,4 | 20,5 | 34,7 | 6,0 | 16,6 | |
| E 5.16 | 19,2 | 11,4 | 20,6 | 34,8 | 6,0 | 16,6 | |

| Diersoort | Rav-code stal | Mestproductie drijfmest(ton per gad) (kg/gad) | Mestproductie vaste mest (kg/gad) | Stikstof gehalte drijfmest (kg N / ton) | Stikstof gehalte vaste mest (kg N / ton) | Fosfaat gehalte drijfmest (P ₂ O ₅ / ton) | Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ / ton) |
|----------------|---------------|---|-----------------------------------|---|--|---|---|
| | E 5.100 | 19,2 | 11,4 | 18,1 | 30,6 | 6,0 | 16,6 |
| Kraamzeugen | D 1.2.1 | 5000 | 3200 | 4,4 | 6,9 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.2 | 5000 | 3200 | 4,4 | 6,7 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.3 | 5000 | 3200 | 4,3 | 6,7 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.4 | 5000 | 3200 | 4,5 | 6,9 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.5 | 5000 | 3200 | 4,5 | 6,9 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.6 | 5000 | 3200 | 4,3 | 6,7 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.7 | 5000 | 3200 | 4,1 | 6,4 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.8 | 5000 | 3200 | 4,5 | 6,9 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.9 | 5000 | 3200 | 4,6 | 7,1 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.10 | 5000 | 3200 | 4,6 | 7,1 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.11 | 5000 | 3200 | 4,6 | 7,1 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.12 | 5000 | 3200 | 4,6 | 7,1 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.13 | 5000 | 3200 | 4,5 | 7,0 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.14 | 5000 | 3200 | 4,5 | 7,0 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.15 | 5000 | 3200 | 5,0 | 7,7 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.16 | 5000 | 3200 | 4,5 | 7,0 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.17.1 | 5000 | 3200 | 4,8 | 7,4 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.17.2 | 5000 | 3200 | 4,6 | 7,1 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.17.3 | 5000 | 3200 | 4,8 | 7,4 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.17.4 | 5000 | 3200 | 4,8 | 7,4 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.17.5 | 5000 | 3200 | 4,8 | 7,4 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.17.6 | 5000 | 3200 | 4,9 | 7,6 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.18 | 5000 | 3200 | 4,8 | 7,4 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.19 | 5000 | 3200 | 4,9 | 7,6 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.20 | 5000 | 3200 | 4,8 | 7,4 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.2.21 | 5000 | 3200 | 4,6 | 7,1 | 2,5 | 13,6 |
| | D 4.1 | 5000 | 3200 | 4,0 | 6,1 | 2,5 | 13,6 |
| D 1.2.100 | 5000 | 3200 | 3,5 | 5,4 | 2,5 | 13,6 | |
| Overige zeugen | D 1.3.1 | 2800 | 1792 | 5,8 | 8,9 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.2 | 2800 | 1792 | 6,0 | 9,2 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.3 | 2800 | 1792 | 5,8 | 8,9 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.4 | 2800 | 1792 | 6,0 | 9,2 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.5 | 2800 | 1792 | 5,9 | 9,0 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.6 | 2800 | 1792 | 6,1 | 9,5 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.7 | 2800 | 1792 | 6,1 | 9,5 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.8 | 2800 | 1792 | 5,9 | 9,0 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.9.1 | 2800 | 1792 | 5,8 | 9,0 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.9.2 | 2800 | 1792 | 5,8 | 8,9 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.10 | 2800 | 1792 | 5,7 | 8,8 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.11 | 2800 | 1792 | 6,5 | 10,0 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.12.1 | 2800 | 1792 | 6,3 | 9,8 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.12.2 | 2800 | 1792 | 6,1 | 9,5 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.12.3 | 2800 | 1792 | 6,3 | 9,8 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.12.4 | 2800 | 1792 | 6,3 | 9,8 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.12.5 | 2800 | 1792 | 6,3 | 9,8 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.12.6 | 2800 | 1792 | 6,4 | 9,9 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.13 | 2800 | 1792 | 6,3 | 9,8 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.14 | 2800 | 1792 | 6,4 | 9,9 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.15 | 2800 | 1792 | 5,9 | 9,0 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.16 | 2800 | 1792 | 6,1 | 9,4 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.17 | 2800 | 1792 | 6,1 | 9,5 | 2,5 | 13,6 |
| | D 4.1 | 2800 | 1792 | 5,6 | 8,7 | 2,5 | 13,6 |
| | D 1.3.100 | 2800 | 1792 | 5,2 | 8,1 | 2,5 | 13,6 |

| Diersoort | Rav-code stal | Mestproductie drijfmest(ton per gad) (kg/gad) | Mestproductie vaste mest (kg/gad) | Stikstof gehalte drijfmest (kg N / ton) | Stikstof gehalte vaste mest (kg N / ton) | Fosfaat gehalte drijfmest (P ₂ O ₅ / ton) | Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ / ton) |
|--------------|---------------|---|-----------------------------------|---|--|---|---|
| Gesp. biggen | D 1.1.1 | 535 | 343 | 3,7 | 5,7 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.2 | 535 | 343 | 3,6 | 5,6 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.3 | 535 | 343 | 3,8 | 5,8 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.4.1 | 535 | 343 | 3,6 | 5,5 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.4.2 | 535 | 343 | 3,5 | 5,3 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.5 | 535 | 343 | 3,4 | 5,2 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.6 | 535 | 343 | 3,7 | 5,7 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.7 | 535 | 343 | 3,6 | 5,5 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.8 | 535 | 343 | 3,6 | 5,6 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.9 | 535 | 343 | 3,7 | 5,6 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.10 | 535 | 343 | 3,7 | 5,6 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.11 | 535 | 343 | 3,7 | 5,7 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.12.1 | 535 | 343 | 3,7 | 5,7 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.12.2 | 535 | 343 | 3,7 | 5,7 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.12.3 | 535 | 343 | 3,7 | 5,6 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.13 | 535 | 343 | 3,7 | 5,7 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.14 | 535 | 343 | 3,7 | 5,7 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.15.1 | 535 | 343 | 4,0 | 6,1 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.15.2 | 535 | 343 | 3,8 | 5,9 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.15.3 | 535 | 343 | 3,7 | 5,6 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.15.4 | 535 | 343 | 3,8 | 5,9 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.15.5 | 535 | 343 | 3,8 | 5,9 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.15.6 | 535 | 343 | 3,8 | 5,9 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.16 | 535 | 343 | 3,9 | 6,0 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.17 | 535 | 343 | 3,8 | 5,9 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.18 | 535 | 343 | 3,9 | 6,0 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.19 | 535 | 343 | 3,9 | 6,0 | 3,9 | 13,6 |
| | D 4.1 | 535 | 343 | 3,7 | 5,6 | 3,9 | 13,6 |
| | D 1.1.100 | 535 | 343 | 3,2 | 4,9 | 3,9 | 13,6 |
| | Vleesvarkens | D 3.1 | 1337 | 974 | 5,6 | 7,6 | 3,9 |
| D 3.2.1 | | 1337 | 974 | 5,6 | 7,6 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.2 | | 1337 | 974 | 7,5 | 10,1 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.3 | | 1337 | 974 | 7,4 | 10,0 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.4 | | 1337 | 974 | 7,8 | 10,6 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.5 | | 1337 | 974 | 7,6 | 10,4 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.6 | | 1337 | 974 | 7,5 | 10,2 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.7.1 | | 1337 | 974 | 7,8 | 10,6 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.7.2 | | 1337 | 974 | 7,6 | 10,3 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.8 | | 1337 | 974 | 7,9 | 10,7 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.9 | | 1337 | 974 | 7,9 | 10,7 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.10 | | 1337 | 974 | 7,6 | 10,3 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.11 | | 1337 | 974 | 7,4 | 10,0 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.12 | | 1337 | 974 | 7,7 | 10,5 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.13 | | 1337 | 974 | 7,4 | 10,0 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.14 | | 1337 | 974 | 8,4 | 11,4 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.15.1 | | 1337 | 974 | 8,2 | 11,1 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.15.2 | | 1337 | 974 | 7,9 | 10,7 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.15.3 | | 1337 | 974 | 8,2 | 11,1 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.15.4 | | 1337 | 974 | 8,2 | 11,1 | 3,9 | 13,6 |
| D 3.2.15.5 | 1337 | 974 | 8,2 | 11,1 | 3,9 | 13,6 | |
| D 3.2.15.6 | 1337 | 974 | 8,3 | 11,2 | 3,9 | 13,6 | |
| D 3.2.16 | 1337 | 974 | 7,8 | 10,5 | 3,9 | 13,6 | |
| D 3.2.17 | 1337 | 974 | 8,2 | 11,1 | 3,9 | 13,6 | |

| Diersoort | Rav-code stal | Mestproductie per gad (kg/gad) | Mestproductie vaste mest (kg/gad) | Stikstof gehalte drijfmest (kg N / ton) | Stikstof gehalte vaste mest (kg N / ton) | Fosfaat gehalte drijfmest (P ₂ O ₅ / ton) | Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ / ton) |
|-----------------|---------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|--|---|---|
| | D 3.2.18 | 1337 | 974 | 8,3 | 11,2 | 3,9 | 13,6 |
| | D 3.2.19 | 1337 | 974 | 8,0 | 10,8 | 3,9 | 13,6 |
| | D 3.2.20 | 1337 | 974 | 7,9 | 10,7 | 3,9 | 13,6 |
| | D 4.1 | 1337 | 974 | 7,1 | 9,6 | 3,9 | 13,6 |
| | D 3.100 | 1337 | 974 | 6,6 | 8,9 | 3,9 | 13,6 |
| Witveeskalveren | A 4.1 | 2743 | 2469 | 5,0 | 5,5 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.2 | 2743 | 2469 | 4,7 | 5,2 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.3 | 2743 | 2469 | 4,7 | 5,2 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.4 | 2743 | 2469 | 5,0 | 5,5 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.5.1 | 2743 | 2469 | 4,9 | 5,4 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.5.2 | 2743 | 2469 | 4,7 | 5,2 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.5.3 | 2743 | 2469 | 4,9 | 5,4 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.5.4 | 2743 | 2469 | 4,9 | 5,4 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.5.5 | 2743 | 2469 | 4,9 | 5,4 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.5.6 | 2743 | 2469 | 5,0 | 5,5 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.6 | 2743 | 2469 | 4,9 | 5,4 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.7 | 2743 | 2469 | 4,3 | 4,7 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.8 | 2743 | 2469 | 4,5 | 4,9 | 1,4 | 4,3 |
| | A 4.100 | 2743 | 2469 | 4,0 | 4,3 | 1,4 | 4,3 |

2.3 Mestscheiding

Bij scheiding van de mest van graas- en staldieren in een dunne en een dikke fractie, worden ter berekening van de samenstelling de uitgangspunten en principes gehanteerd volgens Schröder *et al.* (2009) en Den Boer *et al.* (2012). Daarbij wordt aangenomen dat organisch gebonden N (Norg) en fosfor (P) met organische stof geassocieerd zijn en ammonium-N (NH₄-N, Nmin) met water. Het 'scheidingsrendement' bepaalt in welke mate een element in de ingaande mest uiteindelijk in de dikke fractie terecht komt. Uitgaande van dit principe bestaat het scheidingsrendement uit twee kengetallen:

1. Percentage van droge stof (DS) dat naar de dikke fractie gaat.
2. Het DS-gehalte in de dikke fractie (kg/ton).

Het scheidingsrendement van P varieert bij eenvoudige methoden van 30 tot 60% (Schröder *et al.*, 2009). Een scheidingsrendement van P van 60% betekent dat 60% van de P (als verondersteld onderdeel van de DS) naar de dikke fractie gaat en dat 40% achterblijft in de dunne fractie (kengetal 1). De dikke fractie bevat doorgaans niet meer dan 200-350 kg DS/ton (kengetal 2).

De verhouding N/P in de eigen mest op het bedrijf (graasdierenmest) wordt bepaald op basis van de N/P verhouding in de netto excretie volgens de BEX, dat wil zeggen na aftrek van de gasvormige verliezen. De hoeveelheid en samenstelling van de (eigen) mest op het bedrijf (volume en gehalten aan DS, Norg, Nmin, P) wordt vervolgens afgeleid op basis van de TAN-excretie (BEA), gecorrigeerd voor de hoeveelheid afgevoerde mest in termen van N en P, gecombineerd met forfaitaire volumeproductie per mestsoort (drijfmest en vaste mest (<http://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarischondernemen/mest-en-grond/mest/tabellen-en-publicaties/tabellen-en-normen>; RVO-Tabel 6). Deze berekende samenstelling is vervolgens de basis voor de ingaande mest bij mestscheiding. Op basis van de twee kengetallen kan vervolgens een schatting gemaakt worden van de gehalten aan TAN, organische N (N-totaal – TAN) en P in de geproduceerde dunne en dikke fracties. De verhouding N/P in staldierenmest wordt gebaseerd op de netto stalbalans (zie paragraaf 2.1.4).

In de praktijk blijkt het lastig om het scheidingsrendement (kengetal 1) goed in te vullen op basis van de informatie die aanwezig is. Bij mestscheiding zijn dat vaak analyseresultaten van de dikke fractie

(afleverbonnen). Daarom is er een alternatief voor invoer van mestscheiding door het opvragen van gegevens over de dikke fractie. Dit zijn:

1. Hoeveelheid afgevoerde dikke fractie (ton).
2. N-gehalte dikke fractie (kg/ton).
3. P₂O₅-gehalte dikke fractie (kg/ton).

Met bovenstaande gegevens kan herleid worden wat het scheidingsrendement is geweest maar alleen als de hoeveelheden geproduceerde N en P in mest bekend zijn.

Standaard zijn de N- en P₂O₅-gehalten van de ingaande drijfmest bepaald zoals hierboven is beschreven. In de praktijk is de drijfmest die gescheiden wordt niet altijd de gemiddelde mest die aanwezig is op het bedrijf, soms juist mest uit een bepaalde mestput of van een bepaalde diergroep. Ook is de ingaande mest soms gemeten. Daarom is er de mogelijkheid om van de ingaande drijfmest de gehalten op te geven. De gehalten in de achtergebleven (niet gescheiden) drijfmest veranderen hierdoor.

Bij het scheidingsproces treden nog extra gasvormige N-verliezen op. Deze verliezen worden berekend op basis van de BEA-module binnen de KringloopWijzer (hoofdstuk 3).

2.4 Mest vergisten

Bij het vergisten van mest wordt een deel van de organische stof omgezet in energie (methaangas en koolstofdioxide). Vergiste mest bevat meer minerale stikstof, minder organisch gebonden stikstof en minder koolstof.

Mestvergisting heeft invloed op:

1. Energie: productie en gebruik (zie hoofdstuk 6).
2. Gasvormige emissie tijdens opslag van mest en toediening van mest (zie hoofdstuk 3).
3. Emissie van methaan uit mest (zie hoofdstuk 6).
4. Aanvoer van effectieve organische stof (zie hoofdstuk 6).

Voor mestvergisting wordt gevraagd naar de volgende gegevens:

1. Hoeveelheid mest die de vergister ingaat (ton).
2. Aanvoer van co-substraten (hoeveelheid in ton, kg N en kg P₂O₅).

2.5 Luchtwassers

Een aantal RAV-stallen maakt gebruik van luchtwassers (chemisch, biologisch, combi) of biofilter en vangt een groot deel van de stikstof uit de NH₃-emissie op in het waswater. Dit waswater wordt in de KLW bij uitrijden behandeld als spuiwater.

2.6 Kanttekeningen bij BEX en de mestproductie van overige graasdieren en 'staldieren'

Constante invoer parameters BEX

Invoerparameters voor BEX die in de praktijk nauwelijks te bepalen zijn, zijn binnen de rekenmethodiek van de BEX als constante ingevoerd (een gemiddelde waarde voor Nederland). Het gezamenlijke effect van alle constante invoerparameters is medebepalend voor de nauwkeurigheid van de berekening in BEX. In een wetenschappelijke toets door de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) is vastgesteld dat de BEX voldoende nauwkeurig is om voor beleidsdoeleinden te worden gebruikt (Šebek, 2008). Dat betekent dat de nu ingestelde waarden voor de constante invoerparameters gezamenlijk resulteren in een goede schatting van de N- en P-excretie. Aanpassing van afzonderlijke constante parameters zonder rekening te houden met onderlinge samenhang zal de nauwkeurigheid van BEX beïnvloeden.

Zo is er, bijvoorbeeld, discussie over de in BEX constant veronderstelde VEM-dekking (102% van de behoefte). In de KringloopWijzer wordt een VEM-dekkingspercentage van 102% gehanteerd waardoor uniformiteit met andere wet- en regelgeving ('Handreiking') wordt gewaarborgd. Echter, in proeven wordt VEM-dekking in een brede range waargenomen (grotendeels tussen de 98% en 108%) en bij massale ziekte (b.v. veel mastitis) of slecht verteerbare rantsoenen zelfs boven de 110%. In de praktijk leeft de veronderstelling dat een VEM-dekking van 105% beter aansluit bij de werkelijkheid (zeker bij maïsrantsoenen), maar het vaststellen van de VEM-dekking is in de praktijk zelden mogelijk. Vanwege verknoppingen met andere aannames kan een eventuele wijziging van de veronderstelde VEM-dekking alleen plaatsvinden als dat samengaat met consistentie-checks op andere constanten. Voorbeelden van dergelijke constanten staan in onderstaande lijst:

Lijst constante invoer parameters in BEX

1. Gemiddelde VEM-dekking veestapel (102%).
2. Percentage droogstaande dieren (op jaarbasis) in de veestapel teruggerekend naar kalenderjaar is t 326 dagen lactatie en 39 dagen droogstand (CRV, 2015; -, 2016; -, 2017)).
3. Levend gewicht volwassen koe (Jersey, Kruising Jersey en Overig respectievelijk 400, 525, 650 kg).
4. VEM-behoefte jongvee jonger en ouder dan 1 jaar (zie paragraaf 2.1.2.10).
5. Extra behoefte aan energie (VEM) voor beweging en groei (zie Tabel 2.1.2).
6. Gewicht, N en P gehalte in dieren (foetus + adnexa, kalf, pink, vaars, koe ; zie Tabel 2.1.4). Met deze aangenomen gewichten en gehalten wordt de vastlegging van N en P in de veestapel berekend.
7. Percentage vervanging melkveestapel (27%) om leeftijdsopbouw veestapel en vastlegging in groei 1^e en 2^e kalfskoeien te kunnen berekenen.
8. Het aantal geboren kalveren per koe per kalender jaar (=0,70) om de vastlegging in foetus + adnexa bij melkvee te kunnen berekenen.
9. Het aantal geboren kalveren per pink per kalender jaar (=0,89) om de vastlegging in foetus + adnexa bij jongvee te kunnen berekenen.
10. P gehalte in melk = 0,97 g/kg melk. Binnen K&K is een variatie vastgesteld van ongeveer 0,86 tot 1,12 g P/kg melk. Dit forfait wordt alleen gebruikt indien het P-gehalte niet door een gecertificeerde instelling is gemeten.
11. VEM-waarde weidegras van productiegrasland = 960 VEM/kg DS.
12. VEM-waarde weidegras van natuurland = 860 VEM/kg DS.

Opmerkingen

- Voor kuilen die bestaan uit verschillende voeders (mengkuilen) is geen goede vaststelling van de gemiddelde samenstelling (VEM, N en P gehalte) mogelijk. Bedrijven met dergelijke kuilen kunnen niet deelnemen aan de BEX. Er worden drie uitzonderingen gemaakt. Deze gelden als:
 - Het gemengde ruwvoerkuilen betreft van het eigen bedrijf of als één van de producten aangekochte snijmaïs is, mits van de afzonderlijke kuilen en de aangekochte snijmaïs de voederwaardeanalyse en hoeveelheid bepaald zijn. Ook moeten inkuilverliezen door overkuilen worden ingerekend.
 - 90% van de DS in de kuil uit eenzelfde ruwvoeder bestaat en het overige uit niet terug te vinden aangekocht (vochtrijke) ruwvoeders bestaat.
 - 80% van de DS in de kuil uit eenzelfde ruwvoeder bestaat en het overige uit een wel terug te vinden aangekocht (vochtrijke) ruwvoeder bestaat.
- Op bedrijven die mestscheiding in hoge mate toepassen, bestaat de mogelijkheid dat het volgens de KringloopWijzer opgegeven volume aan mest niet beschikbaar is. Het mestvolume op een bedrijf is namelijk moeilijk te bepalen en daardoor kan het berekende mestvolume afwijken van wat werkelijk op een bedrijf aanwezig is. Toevoegingen in de vorm van spoelwater en regenwater spelen hierbij een rol. Het specifieker maken van verschillende meststromen en -soorten maakt het lastiger om de mestbalans sluitend te krijgen (in volume en gehalten), zonder dat daarbij niet-plausibele uitkomsten zichtbaar worden. Om die reden heeft het de voorkeur om de omvang van de mestscheiding op het bedrijf als een percentage van de totale mestproductie op stal op te vragen.
- Niet alleen bij het scheiden van mest kunnen in de berekening problemen ontstaan, maar ook bij de 'bestemming' van de verschillende mestsoorten (aan- en afvoer, voorraden, toediening). Een nauwkeurige invoer/administratie is hierbij een vereiste. Maar ondanks een goede invoer kan het toch tot situaties leiden waarbij de uitkomst van het rekenmodel teveel afwijkt van realisaties in de

praktijk. Zo kan de werkelijke afvoer van mest afwijken van de uitkomst van het rekenmodel. Vooral bij boer-boer afvoer waarbij hoofdzakelijk forfaitaire gehalten gebruikt worden, wordt in werkelijkheid soms minder mest afgevoerd dan op papier berekend is. Andersom geldt dat als de werkelijke gehalten groter zijn dan de forfaits, minder mest op het bedrijf resteert dan berekend. Ook de invoer van mestvoorraden vormen vaak een 'zwakke schakel'. Dit kan leiden tot onverwachte uitkomsten van het rekenmodel.

Voor wat betreft de mestproductie door 'staldieren' moet nog het volgende worden opgemerkt. Omdat vleesvarkens, zeugen, leghennen, vleeskuikens en witvleeskalveren het meest voorkomend zijn als intensieve neventak op melkveebedrijven, zijn alleen deze uitgewerkt als intensieve neventakken. Maar hiermee zijn nog niet alle neventakken met 'staldieren' gedekt door de KringloopWijzer. Voor een meer volledige KringloopWijzer, zouden meer soorten staldieren meegenomen moeten worden. Dit geldt bijvoorbeeld voor andere typen varkens dan vleesvarkens en fokzeugen.

Om de invoerbehoefte van de KringloopWijzer beperkt te houden, wordt de (netto) mestproductie van de staldieren (in N en P_2O_5) opgevraagd, samen met de afvoer van staldierenmest en het voorraadsaldo van staldierenmest. Al deze parameters komen uit de stalbalans en het (wettelijke) Bemestingsplan. Op deze manier worden de juiste hoeveelheden stikstof en fosfaat in de kringloop gebracht, met een beperkt aantal invoerparameters. Aanvoer van stikstof en fosfaat met voer en dieren én afvoer van stikstof en fosfaat met dieren zijn op deze manier niet nodig. Dit brengt echter wel met zich mee dat de benutting van stikstof en fosfaat door dieren van de intensieve tak, en als gevolg daarvan die van dit soort bedrijven als geheel, door de KringloopWijzer niet berekend kunnen worden.

3 BEA

3.1 Inleiding

De BEA is een rekentool om de 'Bedrijfsspecifieke Emissie van Ammoniak' op een landbouwbedrijf te berekenen. De berekende verliezen hebben betrekking op de ammoniak-N ($\text{NH}_3\text{-N}$) die vrijkomt uit stallen, uit mestopslagen, uit mest en urine die tijdens beweiding worden uitgescheiden, uit machinaal uitgereden dierlijke (drijf)mest op grasland en bouwland (akkerbouwmatige ruwvoerteelten zoals snijmaïs en af te voeren akkerbouwgewassen) en uit sommige vormen van kunstmest. Daarnaast komen nog enkele andere NH_3 emissiebronnen voor (staande, beweidde en geogoste gewassen) die ook in dit onderdeel van de KringloopWijzer-rekenregels worden besproken.

Naast de NH_3 -verliezen berekent de BEA ook de andere gasvormige N-verliezen (N_2 , N_2O en NO_x). De onderliggende rekenregels hiervoor komen aan de orde bij de BEN (hoofdstuk 4). Bij de berekening van het TAN-gehalte in de mest wordt rekening gehouden met deze verliezen.

Voor de berekening van de NH_3 emissie wordt in de BEA aangesloten bij het Nationaal Emissie Model voor Ammoniak (NEMA, Van Bruggen *et al.*, 2023). Deze methodiek inventariseert, de weg die de N in mest aflegt, te weten achtereenvolgens: uitscheiding door de veestapel, huisvesting (stalvloer en mestopslag onder de stal), opslag buiten de stal en mestaanwending. Hierbij speelt het aandeel ammoniakale stikstof in de totale hoeveelheid stikstof (% TAN) een belangrijke rol.

Bij iedere stap wordt via emissiefactoren (EF) berekend hoeveel TAN als ammoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$) en overige gasvormige N-verbindingen vervluchtigt. De EF's zijn gebaseerd op de resultaten van wetenschappelijk onderzoek en beschreven door Van Bruggen *et al.* (2023) en sluiten waar mogelijk aan bij bestaande Nederlandse wet- en regelgeving. Zo zijn de EF's voor de stal (vloer en opslag) gebaseerd op de NH_3 emissie metingen die ten grondslag liggen aan de Regeling ammoniak en Veehouderij (RAV, http://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/geldigheidsdatum_09-12-2013). Daarmee sluit ook de BEA in principe aan bij de RAV. Daarbij verschillen wel de wijze waarop de verliezen worden berekend en uitgedrukt. De RAV gaat uit van de relatie tussen de emissie van ammoniak en de concentratie van ammonium in mest en urine. NEMA en BEA gaan echter uit van de relatie tussen emissie van ammoniak en de hoeveelheid uitgescheiden TAN. De RAV drukt de emissie uit in kg ammoniak per dierplaats per jaar, terwijl BEA de emissie uitdrukt in kg ammoniak per bedrijf.

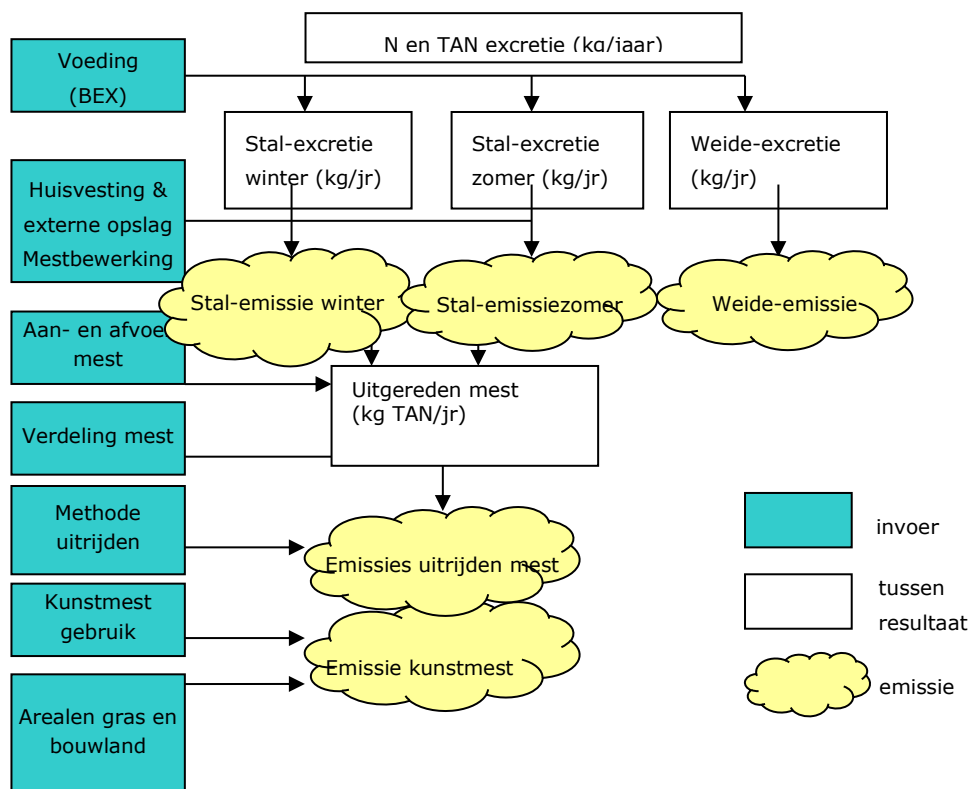
Voor de berekening van de uitgescheiden N en TAN (de bron van ammoniakemissie) door het melkvee maakt de BEA gebruik van de BEX. Er zijn echter extra rekenregels in de BEA en die hebben betrekking op de omrekening van N-excretie (=output BEX) naar TAN-excretie. Het betreft een relatief kleine aanvulling op de BEX en die aanvulling wordt in paragraaf 3.2 beschreven.

3.2 Berekeningswijze

3.2.1 Algemeen

De N en TAN excretie (de emissiebron) is afhankelijk van de samenstelling, productie en voeding van de veestapel en de vervluchtiging van die TAN (ammoniakverliezen en overige gasvormige N-verliezen) is, voor wat betreft de emissie uit de huisvesting, afhankelijk van de inrichting van stallen en mestopslag in de stal. Ten aanzien van de melkveestapel wordt met deze factoren in de KringloopWijzer rekening gehouden. Ten aanzien van de emissie vanuit de huisvesting van 'overige graasdieren' en 'staldieren' gaat de KringloopWijzer echter van forfaitaire rantsoen-onafhankelijke waarden per dierplaats uit (zie paragraaf 3.2.2.2 en 3.2.2.3). Een deel van de mest wordt opgeslagen in een mestopslag buiten de stal (externe mestopslag) van waaruit ook nog ammoniakverliezen plaatsvinden. Ammoniakemissie vindt ook plaats bij toediening van mest. Dit onderdeel van de emissie is afhankelijk van het grondgebruik en van de manier waarop dierlijke mest wordt uitgereden.

Daarnaast speelt ook de keuze van de kunstmestsoort een rol. De rekenprocedure voor de BEA voor wat betreft gespecialiseerde melkveebedrijven is in Figuur 3.1 schematisch weergegeven.



Figuur 3.1 Schematische weergave van de berekening van de ammoniakemissies (kg NH₃ per jaar) van een melkveebedrijf.

De BEA heeft informatie nodig over:

Voor wat betreft 'melkvee' (melkkoeien en bijbehorend jongvee)

- Aandeel drijfmest bij koeien, pinken en kalveren.
- De hoeveelheid N en TAN die door de veestapel wordt geproduceerd (TAN-excretie in kg/jaar).
- De verdeling van de N en TAN-excretie (kg/jaar) over de stalperiode (in de zomer en in de winter) en de weideperiode.
- De hoeveelheid minerale N (kg/jaar) die gevormd wordt door mineralisatie in de stalopslag (drijfmest).
- De hoeveelheid organische N (kg/jaar) die gevormd wordt door immobilisatie in de stalopslag (vaste mest).
- De hoeveelheid TAN (kg/jaar) die met mest wordt af- dan wel aangevoerd.
- De hoeveelheid drijfmest die wordt bewerkt.

Voor wat betreft 'overige graasdieren'

- De aantallen gemiddeld aanwezige dieren per diercategorie.
- Het aard van de dierlijke mest (aandeel drijfmest).

Voor wat betreft 'staldieren'

- De gemiddeld aantal aanwezige dieren per diercategorie.
- De aard van de dierlijke mest (aandeel drijfmest).
- Type stal (RAV-code).
- Gegevens die direct ontleend kunnen worden aan de stalbalans(en).

Voor wat betreft 'melkvee', 'overige graasdieren' en 'staldieren' tezamen

- De verdeling van TAN bij aanwending op gras- dan wel bouwland, inclusief de manier van aanwenden.
- De hoeveelheid gebruikte kunstmest op gras- dan wel bouwland.

Emissiefactoren (EF en mineralisatiecoëfficiënt, afkomstig uit NEMA

- EF ammoniak voor stal van melkvee in de stalperiode (in procenten van TAN-productie).
- EF ammoniak voor stal van melkvee in de weideperiode (in procenten van TAN-productie).
- EF ammoniak voor weidemest door melkvee (in procenten van TAN-excretie).
- EF ammoniak externe opslag (in procenten van opgeslagen N).
- EF ammoniak bij bewerken van drijfmest.
- EF overige N-gassen stal van melkvee (in procenten van N-excretie).
- Mineralisatiecoëfficiënt voor organisch gebonden N in de stalopslag van melkvee.
- Immobilisatiecoëfficiënt voor minerale N in de stalopslag van melkvee.
- EF aanwending mest voor gras- en bouwland en voor mestaanwendingstechniek.
- EF aanwending kunstmest, per kunstmestsoort.

De volgende paragrafen beschrijven hoe de informatie met betrekking tot de hierboven benoemde hoeveelheden TAN worden berekend.

3.2.2 N-excretie en TAN productie door veestapel

3.2.2.1 Melkveestapel inclusief jongvee

De BEA heeft als basis de bruto N-excretie uit de BEX, dus de N-excretie onder de staart van de koe (voor de omrekening naar de uiteindelijke netto BEX excretie). De BEA berekent de ammoniakemissie in de stal echter op basis van de hoeveelheid TAN (minerale N) in de mest, en wel per diergroep. Daarom is een juiste inschatting van de TAN-excretie nodig. Dat vereist informatie over de gebruikte voedermiddelen en over de verteringscoëfficiënt van het ruw eiwit (VCRE) in die voedermiddelen per diergroep. De VCRE wordt gebruikt om te kunnen berekenen welk deel van de N-excretie met de urine wordt uitgescheiden. Het urine-deel van de N-excretie is in principe vluchtig (TAN). De overige N wordt met feces uitgescheiden en wordt alleen TAN wanneer er sprake is van mineralisatie (in de mestopslag).

Om na te gaan wat de gasvormige stikstofverliezen uit de mest (feces en urine) van het melkvee is, moeten eerst de verschillende voercategorieën die zijn gevoerd aan het melkvee (zijnde melkkoeien en bijbehorend jongvee) worden toebedeeld aan de onderscheiden categorieën jongvee en melkkoeien. Uitgangspunt is de VEM-behoefte van een diercategorie (die gelijk is aan de totale VEM-opname van deze diercategorie: zie paragraaf 2.2.10).

Allereerst wordt een bepaalde verdeling van de voercategorieën aan het jongvee toebedeeld. Bij deze verdeling gaat het steeds om de hoeveelheid voeders (in kVEM) die bestemd is voor het melkvee, als er ook overige graasdieren zijn (Tabel 2.3). De toedeling gebeurt overeenkomstig de methodiek van de Werkgroep Uniformering Mestcijfers (WUM)¹ en is voor het jongvee als volgt:

- Kunstmelkpoeder: alle aangevoerde melkpoeder, niet bestemd voor het overige grasvee, wordt toegerekend aan kalveren;
- Vers gras kalveren en pinken: berekend op basis van aantal weidedagen en de verhouding van de gevoerde hoeveelheden vers gras, graskuil en snijmaïskuil (zie paragraaf 2.1.2.12);
- Krachtvoerders: het aandeel van de VEM-behoefte afkomstig uit krachtvoer bedraagt voor de kalveren op stal 25% en in de weide 10%, en voor de pinken op stal 5% en 0% in de weide;
- Ruwvoerders: kalveren krijgen van de VEM-behoefte uit ruwvoer op stal 75% uit graskuil en 25% uit snijmaïskuil en pinken 90% uit graskuil en 10% uit snijmaïskuil. De VEM-behoefte op stal van zowel kalveren als pinken is daarbij gelijk aan de totale VEM-behoefte minus de VEM-opname uit kunstmelkpoeder, krachtvoerders en vers gras.

¹ Basis: WUM (2010). Gestandaardiseerde berekeningsmethode voor dierlijke mest en mineralen. Standaardcijfers 1990–2008. Werkgroep Uniformering berekening Mest en mineralencijfers (redactie C. van Bruggen). CBS, PBL, Wageningen Economic Research, Wageningen Livestock Research, Ministerie van LNV en RIVM. CBS, Den Haag.

Bij de verdeling van de voercategorieën over het jongvee is het bovenstaande uitgangspunt. Als blijkt dat er een bepaalde voercategorie ontbreekt of dat er te weinig van is, wordt het volgende toegepast:

- Eerst wordt toebedeeld aan kalveren en vervolgens aan pinken;
- De hoeveelheden kunstmelkpoeder en vers gras staan vast; die staan in de administratie respectievelijk zijn berekend. De laatste kan echter hoger worden, zoals uit de volgende punten blijkt. Indien er extra vers gras wordt toegewezen aan de kalveren of de pinken, dan gaat dat ten koste van de berekende hoeveelheid vers gras aan de melkkoeien;
- Krachtvoerders: bij geen of onvoldoende krachtvoerders wordt de benodigde VEM-behoefte uit krachtvoerders aangevuld uit (in deze volgorde): overige producten, snijmaïskuil, grasproducten, vers gras;
- Snijmaïskuil: bij geen of onvoldoende snijmaïskuil wordt de benodigde VEM-behoefte uit snijmaïskuil aangevuld uit (in deze volgorde): grasproducten, overige producten, krachtvoerders, vers gras;
- Grasproducten (graskuil): bij geen of onvoldoende grasproducten wordt de benodigde VEM-behoefte uit grasproducten aangevuld uit (in deze volgorde): snijmaïskuil, overige producten, krachtvoerders, vers gras.

Vervolgens kan worden berekend wat kan worden toebedeeld aan de melkkoeien. Daarbij geldt per voercategorie:

$$\text{VEM-opname_melkkoe} = \text{VEM-opname_totaal} - \text{VEM-opname_kalveren} - \text{VEM-opname_pinken}$$

Als de voercategorieën (met diverse voersoorten) over jongvee en melkvee zijn verdeeld, dan zijn dat de hoeveelheden die in een jaar door deze diercategorieën worden opgenomen. Gedeeld door het aantal dagen per jaar, is dan het gemiddelde dagrantsoen te berekenen. Dit gemiddelde dagrantsoen is in de berekeningen van de gasvormige N-verliezen uitgangspunt voor alle dagen in het jaar. Hoewel dit mogelijk niet helemaal correct is, wordt op deze wijze toch een vrij goede benadering van de werkelijkheid toegepast in overeenstemming met de wijze waarop de werkgroep NEMA de jaarrantsoenen berekent.

De informatie over soort en hoeveelheid van de gebruikte voedermiddelen en de bruto N-excretie van de drie diergroepen (melkkoeien, pinken, kalveren) vormt de basis voor de uiteindelijke BEX (hoofdstuk 2). De BEX berekent de bruto N-excretie als:

$$\text{N-excretie 'onder de staart' (kg)} = \text{N-opname (kg)} - \text{N-vastlegging (kg)}$$

De N-excretie 'onder de staart' bestaat uit feces en urine. Om de verdeling van de N-excretie over de feces en de urine te kunnen berekenen is, in aanvulling op de informatie uit BEX, ook informatie over de VCRE van de gebruikte voedermiddelen nodig.

De verdeling van de N-excretie over feces en urine wordt door BEA berekend als:

$$\text{N-excretie_feces (kg)} = \text{N-opname (kg)} \times [1 - \text{VCRE (g VRE/g RE)} \times 0,91]$$

$$\text{N-excretie_urine (kg)} = [\text{N-opname (kg)} \times \text{VCRE (g VRE/g RE)} \times 0,91] - \text{N-vastlegging (kg)}$$

De berekende N-excretie_{urine} wordt gelijk gesteld aan TAN-excretie (conform NEMA).

$$\text{TAN-excretie (kg)} = \text{N-excretie_urine (kg)}$$

De factor 0.91 in bovenstaande formules is ontleend aan Bannink *et al.* (2018).

Een extra bron voor TAN is mineralisatie van organisch gebonden N. Conform NEMA wordt aangenomen dat bij drijfmest, voor gemiddelde Nederlandse omstandigheden (klimaat en stalinrichting), van de niet-ammoniakale N (= organische N) in de stal en de opslag van mest binnen die stal 10% per jaar wordt omgezet in TAN.

$$\text{N-mineralisatie (kg)} = [\text{N-excretie onder de staart (kg)} - \text{TAN-excretie (kg)}] \times \text{aandeel drijfmest} \times 0,1$$

Bij vaste mest wordt een deel van de minerale N omgevormd naar organische N. Conform NEMA wordt aangenomen dat bij vaste mest, voor gemiddelde Nederlandse omstandigheden (klimaat en stalrichting), van de ammoniakale N (= minerale N) in stal en stalopslag 25% per jaar wordt omgezet in niet-ammoniakale N (= organische N). Dit betreft een netto-immobilisatie.

$$N\text{-immobilisatie (kg)} = TAN\text{-excretie onder de staart (kg)} \times \text{aandeel vaste mest} \times 0,25$$

De totale TAN-productie in de huisvesting wordt als volgt berekend:

$$TAN \text{ huisvesting (kg)} = TAN\text{-excretie (kg)} + N\text{-mineralisatie (kg)} - N\text{-immobilisatie (kg)}$$

Berekening verteerbaarheid ruw eiwit

De VCRE van voedermiddelen is voor de melkveehouder niet bekend, maar wordt berekend via regressieformules van het Centraal Veevoederbureau (CVB, 2006, 2018). Deze formules schatten het verteerbare eiwit op basis van de chemische samenstelling (totaal ruw eiwit, ruw as en, in geval van maïskolvenschroot (MKS) ook ruwe celstof). Voor producten met weinig variatie wordt met een gemiddelde VCRE uit de Veevoedertabel gerekend (CVB, 2011, 2019). In BEA worden de volgende categorieën voedermiddelen onderscheiden:

1. Categorie 'graskuil' (gehalten per kg ds)

$$VCRE \text{ graskuil} = (0,931 \times RE - 43,2) / RE$$

2. Categorie 'grashooi' (gehalten per kg ds)

$$VCRE \text{ grashooi} = (0,931 \times RE - 43,2) / RE$$

3. Categorie 'grasmeel/grasbrok/grasbalen' (kunstmatig gedroogd) (gehalten per kg ds)

$$VCRE \text{ grasbrok} = (0,878 \times RE - 38,4) / RE$$

4. Categorie 'maïskuil' (gehalten per kg ds)

$$VCRE \text{ maïskuil} = (0,969 \times RE + 0,04 \times RAS - 40) / RE$$

5. Categorie 'weidegras' (gehalten per kg ds)

De samenstelling van vers gras is niet bekend voor praktijkbedrijven. In de BEX wordt wel de N/VEM verhouding in vers gras berekend op basis van de aangelegde graskuilen (zie paragraaf 2.1.2.15). $RE \text{ vers gras} = N/VEM \text{ vers gras} \times 960 \times 6.25$.

$$VCRE \text{ weidegras} = (0,963 \times RE - 38,3) / RE$$

6. Categorie 'mengvoerders'

Voor mengvoerders zijn op praktijkbedrijven onvoldoende gegevens bekend om de VCRE vast te stellen. Wel is voor een brede range mengvoerders de relatie vastgesteld tussen de VCRE en het RE gehalte:

$$VCRE = 88,7 \times (1 - \text{EXP}(-0,0120 \times RE_{\text{mengvoer}}))$$

7. Categorie 'overige voeders'

Niet voor alle producten zijn schattingsformules beschikbaar. Wanneer een schattingsformule ontbreekt wordt een vaste VCRE gebruikt (Bijlage 4).

3.2.2.2 Overige graasdieren

De TAN-productie voor de 'overige graasdieren' wordt berekend door de bruto mest-N productie (Tabel 3.1) te verdelen in een deel dat binnenshuis wordt uitgescheiden en een deel dat in de weide wordt uitgescheiden. De TAN-productie wordt met behulp van de TAN aandelen van de binnenshuis en in weide uitgescheiden mest-N (Tabel 3.1) berekend volgens:

$$\text{TAN-productie} = \text{bruto N-excretie} * \% \text{TAN}/100$$

Tabel 3.1 Bruto N-excretie door 'overige graasdieren' en % TAN om deze hoeveelheden om te rekenen naar de hoeveelheid ammoniakale N (TAN).

| Categorie | Bruto N-excretie in mest ¹ (kg N per dier) | % TAN in bruto N-excretie in mest ² |
|--|--|--|
| Fokstieren > 1 jaar (cat. 104) | 82,6 | 63 |
| Weide- en zoogkoeien (cat. 120) | 79,4 | 63 |
| Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115) | 12,3 | 60 |
| Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116) | 30,9 | 52 |
| Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117) | 25,2 | 52 |
| Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122) | 31,97 | 52 |
| Fokschapen (cat. 550) | 13,4 | 73 |
| Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551) | 1,2 | 73 |
| Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552) | 9,8 | 73 |
| Melkgeiten (cat. 600) | 16 | 62 |
| Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601) | 1 | 62 |
| Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602) | 7,9 | 62 |
| Pony's (cat. 941) | 35,5 | 76 |
| Paarden (cat. 943) | 76,4 | 74 |
| Ezels (cat. 961) | 20,9 | 76 |
| Waterbuffels, koeien (cat. 991) | 83,2 | 63 |
| Waterbuffels, jongvee (cat. 992) | 30,5 | 63 |

1 Diercategorien 115, 116 en 117: Groenestein *et al.* (2015); diercategorie 122: gebaseerd op netto-excretie volgens RVO-tabel 4 en een aangehouden N-verlies zoals voor fokstieren (11,8%); overige diercategorien: Bikker *et al.* (2019)

2 Van Bruggen *et al.* (2023), bijlage 3

3.2.2.3 Staldieren

De ammoniakemissie vanuit stal en opslag door staldieren wordt niet berekend als het product van de bruto N-excretie, het TAN-percentages daarin en de emissiefactor, maar als ammoniakverlies per dierplaats (Tabel 3.8).

3.2.3 TAN-excretie in stal en weide door veestapel

3.2.3.1 Melkveestapel

Voor de TAN-excretie berekening wordt onderscheid gemaakt in een stal en weideperiode omdat de EF voor mest in stal en opslag fors hoger is dan de EF voor mest in de weide. Dit hangt samen met het effect van gezamenlijke (stal) dan wel gescheiden (weide) opvang van mest en urine.

De verdeling van de TAN-excretie (kg/jaar) over de stal en weide in de zomer gebeurt op basis van de uren die de dieren doorbrengen in de weide. Hierbij wordt verondersteld dat tijdens een uur beweiding evenveel mest wordt geproduceerd als tijdens een uur op stal en dat de hoeveelheid TAN in de mest niet varieert gedurende de dag. Dit betekent dat wanneer de melkveestapel 10 uur weidegang per dag krijgt, dat de TAN-excretie van de gehele veestapel gedurende de periode van weidegang voor 10/24 deel in de weide plaatsvindt en voor 14/24 op stal. Dit wijkt af van zowel de NEMA als de RAV, waarin voor beweiden uitsluitend onderscheid wordt gemaakt in permanent opstallen, beperkt weiden en onbeperkt weiden.

3.2.3.2 Overige graasdieren

De verdeling van de mest-N en, in verband daarmee, de TAN-excretie (Tabel 3.1) over de stal en weide gebeurt op basis van de dagen die de dieren doorbrengen in de weide. De dagen in de weide worden geschat aan de hand van de VEM-opname uit vers gras bij de overige graasdieren. Hierbij wordt er van uit gegaan dat de dieren de gehele dag weiden.

$$\text{Dagen weidegang} = \text{VEM-opname gras} / \text{VEM-opname totaal} * 365$$

3.2.4 Ammoniakverlies en overige gasvormige N-verliezen vanuit de huisvesting

3.2.4.1 Melkveestapel

De NEMA geeft een gecombineerde EF voor de ammoniakemissie uit de stal (van vloeren en opgeslagen mest in de kelder). Deze EF wordt dan ook 'N-verliezen uit stal en opslag' genoemd en de BEA rekent met deze EF. De EF voor TAN in stal en opslag geven het percentage vervluchtiging weer van de totale hoeveelheid TAN die gedurende een kalenderjaar in de stal en opslag is terechtgekomen. Daarbij wordt de TAN- en N-excretie in de weide niet meegenomen. De TAN in stal en opslag betreft de optelsom van:

- TAN-excretie melkveestapel op stal in de winterperiode (=100% van de TAN-excretie in die periode).
- TAN-excretie melkveestapel op stal in de zomerperiode (% van de TAN-excretie in die periode is afhankelijk van eventuele weidegang).
- Mineralisatie van de organisch gebonden drijfmest-N in de opslag (=10% van de N-excretie van de melkveestapel op stal in de periode met volledig opstallen + de periode met weidegang).
- Immobilisatie van minerale N in vaste mest in de opslag ter grootte van 25%.

Van de hoeveelheid geproduceerde TAN gaat een deel verloren door vervluchtiging als ammoniak en een deel door vervluchtiging in overige gasvormige N-verliezen. Deze laatste betreffen stikstofoxiden (N_2O en NO) of elementaire stikstof (N_2). De EF geeft aan welk deel van de TAN verloren gaat en de grootte van dat deel is afhankelijk van de stal- of weideperiode, het type mest (vaste mest of drijfmest) en het type stal. De NEMA (Van Bruggen *et al.*, 2023) maakt bij het staltype onderscheid tussen stallen met roostervloer en emissiearme stallen. De KringloopWijzer berekent de emissie voor een standaardstal (Tabellen 3.2 en 3.3) en via de gekozen RAV-stal wordt de eventuele emissiereductie ingerekend (zie verderop in deze paragraaf).

De NH_3 emissiefactor in Tabel 3.2 is gebaseerd op de jaarrond stalemissie (13,0 kg NH_3 per dierplaats per jaar; RAV, zie ook Tabel 3.4) vermenigvuldigd met de omrekenfactor NH_3 naar $\text{NH}_3\text{-N}$ en gedeeld door de TAN excretie, inclusief die uit mineralisatie, per dier per jaar. De totale TAN excretie is berekend op basis van een N-excretie van 129,7 kg N per dier per jaar met 53,2% TAN (Van Bruggen *et al.*, 2023; Table B3.1-B3.3, 2007-2012(periode waarin de metingen aan de melkveestallen zijn gedaan)) en daar bovenop nog 10% mineralisatie van de overige N (conform NEMA), oftewel 57,9% van de totale N-excretie. Dit resulteert in een emissiefactor van $13,0 * (14/17) / (129,7 * 57,9\%) = 14,3\%$ $\text{NH}_3\text{-N}$ van TAN.

De emissie van N via NH_3 uit de stal tijdens de zomerperiode is afhankelijk van het aantal uren weidegang (Tabel 3.3). Om deze emissie te berekenen wordt gebruik gemaakt van een reductiefactor van 2,61% voor elk uur per dag weidegang (Ogink *et al.*, 2014) die toegepast wordt op de 14,3 % $\text{NH}_3\text{-N}$ van TAN volgens de formule $14,3 * (1 - 0,0261 * U) / (1 - U / 24)$, waarbij U = aantal uren weiden per dag.

Tabel 3.2 De gasvormige emissie in een standaardstal voor melkkoeien van N via NH₃ en overige N volgens NEMA (Van Bruggen et al., 2023).

| Seizoen | Mestsoort | EF NH ₃ -N (als % van TAN) | | EF overige N (als % van bruto-N-excretie) | |
|--------------|------------|---------------------------------------|---------|--|---------|
| | | Melkkoe | Jongvee | Melkkoe | Jongvee |
| Stalperiode | Drijfmest | 14,3 | 14,3 | 2,4 | 2,4 |
| | Vaste mest | 14,3 | 14,3 | 3,5 | 3,5 |
| Weideperiode | Drijfmest | 14,3-40,9 (zie Tabel 3.3) | | 2,4 | 2,4 |
| | Vaste mest | 14,3-40,9 (zie Tabel 3.3) | | 3,5 | 3,5 |

Tabel 3.3 De emissie uit stal door melkvee tijdens de zomerperiode van N via NH₃ afhankelijk van aantal uren weidegang.

| Uren weidegang per dag | Emissiefactor (% NH ₃ -N per kg geproduceerde TAN)) |
|------------------------|---|
| 0 | 14,3 |
| 1 | 14,5 |
| 2 | 14,8 |
| 3 | 15,0 |
| 4 | 15,3 |
| 5 | 15,7 |
| 6 | 16,0 |
| 7 | 16,5 |
| 8 | 16,9 |
| 9 | 17,5 |
| 10 | 18,1 |
| 11 | 18,8 |
| 12 | 19,6 |
| 13 | 20,6 |
| 14 | 21,7 |
| 15 | 23,2 |
| 16 | 24,9 |
| 17 | 27,2 |
| 18 | 30,3 |
| 19 | 35,5 |
| 20 | 40,9 |

De EF in Tabel 3.2 en 3.3 kunnen voor praktijkbedrijven gebruikt worden, maar de beide staltypes zijn slechts voor een deel van de praktijk van toepassing. In de Regeling Ammoniak Veehouderij (RAV) worden 30 staltypen voor de categorie melkvee onderscheiden (Tabel 3.5), elk met hun specifieke emissiefactoren. De RAV-emissies worden uitgedrukt in kg NH₃ per dierplaats per jaar en zijn daarom niet zonder meer toepasbaar in BEA (zie paragraaf 3.1) waar emissiefactoren worden uitgedrukt als een fractie van de geproduceerde ammoniakale N. Dit betekent dat er voor de BEA-berekeningen van de stalemissie van de RAV-staltypen een emissiefactor per staltype nodig is. Deze emissiefactoren zijn niet beschikbaar en worden daarom in de BEA gegenereerd door de emissie van ieder RAV staltype te relateren aan de emissie van de standaard RAV stal 'A 1.100- overige huisvestingssystemen'. Daarbij wordt aangenomen dat de emissie volgens RAV-stal A1.100 overeenkomt met de emissie zoals berekend volgens de NEMA methodiek van de 'niet emissiearme stal'. Voor de andere RAV-staltypen wordt vervolgens de berekende stalemissie vermenigvuldigd met een correctiefactor voor staltype (zie Tabel 3.5), die overeen komt met de verhouding tussen de RAV-emissie per dierplaats van het betreffende staltype en de RAV-emissie per dierplaats van staltype 'A 1.100- overige huisvestingssystemen'. Tabel 3.4 geeft hiervan een voorbeeld.

Tabel 3.4 Voorbeeld vergelijking RAV stal A 1.5 ten opzichte van het referentie RAV stal A 1.100.

| RAV-Stal | Emissiefactor (kg NH ₃ per dierplaats per jaar) | Correctiefactor t.o.v. stal A 1.100 |
|---------------------|---|--|
| A 1.100 (standaard) | 13,0 | |
| A 1.5 | 11,8 | 11,8 / 13 = 0,91 |

BEA berekent de NH₃ emissie uit de stal en opslag eerst alsof sprake is van het standaard staltype A1.100. Indien er een ander staltype wordt gekozen (b.v. A1.5), dan wordt de standaard berekende NH₃ emissie uit de stal en opslag met de correctiefactor voor staltype vermenigvuldigd (voor staltype A1.5 dus met 0,91).

Met de correctiefactoren voor staltype wijkt de Kringloopwijzer af van NEMA, waarin geen onderscheid wordt gemaakt in ammoniakemissie tussen standaard en emissievrije stallen.

Tabel 3.5 Correctiefactoren voor de berekende emissie van NH₃-N in afhankelijkheid van het aanwezige type melkveestal (bron staltypen: Kenniscentrum Infomil).

| Code | Categorie | NH ₃ ¹ | Factor ² |
|---------|--|------------------------------|---------------------|
| A 1 | Diercategorie melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar | | |
| A 1.100 | Standaard stal | 13,0 | 1,00 |
| A 1.1 | Grupstal met drijfmest | 5,7 | 0,44 |
| A 1.2 | Loopstal - roostervloer, spoelsysteem of hellende vloer, giergoot, spoelsysteem | 10,2 | 0,78 |
| A 1.3 | Loopstal - hellende vloer, giergoot | 10,2 | 0,78 |
| A 1.4 | Loopstal - hellende vloer, spoelsysteem | 9,2 | 0,71 |
| A 1.5 | Loopstal - sleufvloer, mestschuif | 11,8 | 0,91 |
| A 1.6 | Ligboxenstal - dichte hellende vloer, profiel, mestschuif | 11,0 | 0,85 |
| A 1.7 | Ligboxenstal - dichte hellende vloer, rubber toplaag, mestschuif | 11,0 | 0,85 |
| A 1.8 | Ligboxenstal - sleufvloer, noppen, mestschuif | 11,8 | 0,91 |
| A 1.9 | Ligboxenstal - roostervloer, bolle rubber toplaag, afdichtlappen in roosterspleten | 6,0 | 0,46 |
| A 1.10 | Ligboxenstal - roostervloer, bolle rubber toplaag | 7,0 | 0,54 |
| A 1.11 | Ligboxenstal - vlakke vloer, profiel, hellende gleuven, vingerschuif | 11,8 | 0,91 |
| A 1.12 | Ligboxenstal - vlakke vloer, profiel, hellende gleuven, mestschuif | 12,2 | 0,94 |
| A 1.13 | Ligboxenstal - roostervloer, cassettes in roosterspleten | 7,0 | 0,54 |
| A 1.14 | Ligboxenstal - vlakke vloer, profiel, hellende gleuven, mestschuif, dakisolatie | 7,0 | 0,54 |
| A 1.15 | Ligboxenstal - vlakke vloer, profiel, hellende gleuven, vingerschuif | 10,3 | 0,79 |
| A 1.16 | Ligboxenstal - V-vloer van gietasfalt, gierafvoerbuï | 11,7 | 0,90 |
| A 1.17 | Mechanisch geventileerde stal, chemisch luchtwassysteem | 5,1 | 1,00 ³ |
| A 1.18 | Ligboxenstal - V-vloer, profiel, gierafvoerbuï | 8,0 | 0,62 |
| A 1.19 | Ligboxenstal - roostervloer, hellende groeven, afdichtkleppen in roosterspleten | 11,0 | 0,85 |
| A 1.20 | Ligboxenstal - vloer, perforaties en hellende profilering, mestschuif | 10,1 | 0,78 |
| A 1.21 | Ligboxenstal - vloer, hellende langsgroeven, V-vormige dwarsgroeven, mestschuif | 7,0 | 0,54 |
| A 1.22 | Ligboxenstal - sleufvloer, roostervloer, rubber toplaag en afdichtflappen in wachtruimte en doorlopen | 11,0 | 0,85 |
| A 1.23 | Ligboxenstal - vloerplaten, profiel, hellende langsgleuven, dwarsgroeven, mestschuif | 6,0 | 0,46 |
| A 1.24 | Ligboxenstal - vloer, hellende langsgleuven, perforaties, mestschuif | 7,0 | 0,54 |
| A 1.25 | Ligboxenstal - vlakke vloer, rubber matten, hellend profiel | 10,3 | 0,79 |
| A 1.26 | Ligboxenstal - V-vloer, rubber matten, profiel, giergoot, mestschuif | 8,0 | 0,62 |
| A 1.27 | Ligboxenstal - roostervloer, afdichtkleppen, hellende groeven, mestschuif, vernevelsysteem | 8,0 | 0,62 |
| A 1.28 | Ligboxenstal - roostervloer, rubber matten, composiet nokken, afdichtkleppen in roosterspleten, mestschuif | 6,0 | 0,46 |

| Code | Categorie | NH ₃ ¹ | Factor ² |
|--------|--|------------------------------|---------------------|
| A 1.29 | Ligboxenstal - geprofileerde hellende vloer, holtes, mestschuif | 9,9 | 0,76 |
| A 1.30 | Ligboxenstal - bolle rubberen matten, ca 7% afschot, betonnen roosters | 8,0 | 0,62 |
| A 1.31 | Ligboxenstal - sleufvloer, dichte hellende vloer met geprofileerde rubber tegels, mestschuif | 8,1 | 0,62 |
| A 1.32 | Ligboxenstal - vlakke betonnen vloerplaten, sleuven, profiel, hellende groeven, giergoot met giergaten, mestverwijdering | 9,1 | 0,70 |
| A 1.33 | Ligboxenstal - vlakke vloer, rubberen sleuven, hellende langssleuven, geprofileerd rubber met groeven en nopjes, mestschuif | 7,1 | 0,55 |
| A 1.34 | Ligboxenstal - dichte gegroefde vloer, rubber matten, hellend profiel, composietnokken, vingerschuif | 9,0 | 0,69 |
| A 1.35 | Ligboxenstal - vlakke vloer, rubberen sleuven, hellende langssleuven, geprofileerd rubber met groeven en nopjes, vingerschuif | 8,3 | 0,64 |
| A 1.36 | Ligboxenstal - urine opvangstation | 8,4 | 0,65 |
| A 1.37 | Ligboxenstal - indrukbare drainerende loopvloer, mestschuif, urine en mest gescheiden en apart opgeslagen | 6,4 | 0,49 |
| A 1.38 | Ligboxenstal - rubberen oplegmatten met ruitprofiel, 2% afschot, vaste mestschuif | 8,9 | 0,68 |
| A 1.39 | Ligboxenstal - natuurlijke ventilatie, roostervloer met afvoergaatjes in spleten, mestverzamelrobot, mech kelderluchtafzuiging, chem luchtwasser | 3,0 | 1,00 ³⁾ |
| A 1.40 | Ligboxenstal - V-vormige vloer, geprofileerde vloerelementen, helling 3,5% icm gierafvoerbuis en mestschuif | 6,2 | 0,48 |
| | Overige stalsystemen: als A 1.100 | 13,0 | 1,00 |

¹ Emissie in kg NH₃ per dierplaats per jaar volgens de RAV (Regeling ammoniak en veehouderij).

² Correctiefactor voor staltype voor de berekende emissie van NH₃-N ten opzichte van staltype A1.100.

³ RAV-Stal A 1.17 en A 1.39 is een stal met luchtwasser. Weliswaar wordt de NH₃-emissie verlaagd, maar het gereduceerde gasvormige N-verlies is niet meer aanwezig in de dierlijke mest, maar bevindt zich in het spuiwater/waswater van de luchtwasser of biofilter. Bij deze stal is de correctiefactor dus 1.

De emissie van NH₃-N uit huisvesting (kg N) wordt daarmee gelijk aan:

$$NH_3-N_{\text{huisvesting}} = RAV_{\text{correctie}} \times ((TAN\text{-productie in stal}_{\text{winter}} \times EF_{NH_3-N \text{ standaardstal}_{\text{winter}}}) + (TAN\text{-productie in stal}_{\text{zomer}} \times EF_{NH_3-N \text{ standaardstal}_{\text{zomer}}}))$$

Indien het jongvee in dezelfde stal is gehuisvest als het melkvee dan wordt de ammoniakemissie van jongvee met dezelfde factor verlaagd als bij het melkvee.

De emissie van N-overig uit huisvesting (kg N) wordt daarmee gelijk aan:

$$N\text{-overig} = (N\text{-excretie in stal}_{\text{winter}} \times EF_{N\text{-overig standaardstal}_{\text{winter}}}) + (N\text{-excretie in stal}_{\text{zomer}} \times EF_{N\text{-overig standaardstal}_{\text{zomer}}})$$

3.2.4.2 Overige graasdieren

Door combinatie van de berekende TAN-producties door 'overige graasdieren' (paragraaf 3.2.2.2) tijdens opstallen en de emissiefactoren voor ammoniak-N gedurende opstallen (Tabel 3.6) kan de ammoniakemissie uit de huisvesting berekend worden (NH₃-N_{stal}). De genoemde tabel geeft ook de emissiefactoren voor de overige gasvormige N-verliezen (N-overig_{stal}). Beide verliesposten zijn nodig om te berekenen hoeveel N per saldo naar een externe mestopslag of direct naar de percelen gaat. De rekenregels luiden:

$$NH_3-N_{\text{stal}} = TAN\text{-productie totaal} \times (365 - \text{aantal dagen in weide})/365 \times EF_{NH_3}$$

$$N\text{-overig}_{\text{stal}} = \text{Bruto N-excretie totaal} \times (365 - \text{aantal dagen in weide})/365 \times EF_{N\text{-overig}}$$

Tabel 3.6 Emissiefactoren (EF) voor ammoniak-N en overige gasvormige verliezen per categorie 'overige graasdieren' per afzonderlijke mestsoort (DM = drijfmest, VM = vaste mest); Bron: Van Bruggen et al. (2023).

| categorie | Mestsoort | EF NH ₃ -N als % van TAN productie | EF N-overig als % van bruto N-excretie |
|--|-----------|--|--|
| Fokstieren > 1 jaar (cat. 104) | DM | 14,3 | 2,4 |
| | VM | 14,3 | 3,5 |
| Weide- en zoogkoeien (cat. 120) | DM | 14,3 | 2,4 |
| | VM | 14,3 | 3,5 |
| Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115) | DM | 14,3 | 2,4 |
| | VM | 14,3 | 3,5 |
| Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116) | DM | 22,5 | 2,4 |
| | VM | 22,5 | 3,5 |
| Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117) | DM | 22,5 | 2,4 |
| | VM | 22,5 | 3,5 |
| Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122) | DM | 14,3 | 2,4 |
| | VM | 14,3 | 3,5 |
| Fokschapen (cat. 550) | DM | 27,8 | 3,5 |
| | VM | 27,8 | 3,5 |
| Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551) | DM | 27,8 | 3,5 |
| | VM | 27,8 | 3,5 |
| Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552) | DM | 27,8 | 3,5 |
| | VM | 27,8 | 3,5 |
| Melkgeiten (cat. 600) | DM | 16,9 | 7,0 |
| | VM | 16,9 | 7,0 |
| Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601) | DM | 16,9 | 7,0 |
| | VM | 16,9 | 7,0 |
| Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602) | DM | 16,9 | 7,0 |
| | VM | 16,9 | 7,0 |
| Pony's (cat. 941) | DM | 29,0 | 3,5 |
| | VM | 29,0 | 3,5 |
| Paarden (cat. 943) | DM | 19,5 | 3,5 |
| | VM | 19,5 | 3,5 |
| Ezels (cat. 961) | DM | 29,0 | 3,5 |
| | VM | 29,0 | 3,5 |
| Waterbuffels, koeien (cat. 991) | DM | 14,3 | 2,4 |
| | VM | 14,3 | 3,5 |
| Waterbuffels, jongvee (cat. 992) | DM | 14,3 | 2,4 |
| | VM | 14,3 | 3,5 |

3.2.4.3 Staldieren

Voor 'staldieren' worden forfaitaire, niet van rantsoensamenstelling afhankelijke ammoniakemissies aangehouden. Deze zijn afhankelijk van de diersoort en het staltype, volgens:

$$\text{Emissie ammoniak (kg NH}_3\text{-N)} = \text{gad} / (\text{stalbezetting}/100) \times 14/17 \times \text{ammoniak (kg NH}_3\text{/dierplaats)}$$

waarbij:

gad = gemiddeld aantal aanwezige dieren (afkomstig uit de invoergegevens).

stalbezetting = normatieve stalbezettingsgraad (Tabel 3.7).

ammoniak = emissie per dierplaats (Tabel 3.8).

Tabel 3.7 Normatieve stalbezettingen voor staldieren.

| Diersoort | Stalbezetting (%) |
|--------------------------|-------------------|
| Kraamzeugen | 89 |
| Guste en dragende zeugen | 97 |
| Gespeende biggen | 91 |
| Vleesvarkens | 97 |
| Leghennen | 96 |
| Vleeskuikens | 82 |
| Witvleeskalveren | 93 |

Tabel 3.8 Ammoniak emissies per dierplaats voor verschillende soorten staldieren en huisvestingsystemen.

| Diersoort | Rav-code stal | Omschrijving stal | Ammoniak (kg NH ₃ /dpl) | |
|-------------|---------------|--|------------------------------------|-------|
| Leghennen | E 2.5.6 | Koloniehuisvesting - beluchting via mestband | 0,030 | |
| | E 2.7 | Grondhuisvesting - ca 1/3 strooiselvloer + 2/3 roostervloer | 0,402 | |
| | E 2.8 | Grondhuisvesting - beluchting via Perfosysteem | 0,110 | |
| | E 2.9.1 | Grondhuisvesting - beluchting onder de beun | 0,125 | |
| | E 2.9.2 | Grondhuisvesting - beluchting via buis aan weerszijden legnest | 0,150 | |
| | E 2.9.3 | Grondhuisvesting - beluchting via verticale ventilatiekokers | 0,150 | |
| | E 2.10 | Huisvesting - chemische luchtwasser, 90% NH ₃ -reductie | 0,032 | |
| | E 2.11.1 | Volierehuisvesting - 50% rooster en 1x per week afdraaien | 0,090 | |
| | E 2.11.2 | Volierehuisvesting - 50% rooster en 2 x per week afdraaien | 0,055 | |
| | E 2.11.3 | Volierehuisvesting - 30-45% rooster en beluchting via mestband | 0,025 | |
| | E 2.11.4 | Volierehuisvesting - 55-60% rooster en beluchting via mestband | 0,037 | |
| | E 2.12.1 | Scharrelhuisvesting - 2 verdiepingen | 0,068 | |
| | E 2.12.2 | Scharrelhuisvesting - frequente mest/strooiselverwijdering | 0,106 | |
| | E 2.13 | Huisvesting - biologische luchtwasser, 70% NH ₃ -reductie | 0,095 | |
| | E 2.14 | Huisvesting - biofilter, 70% NH ₃ -reductie | 0,095 | |
| | E 2.15 | Huisvesting - chemische luchtwasser, 70% NH ₃ -reductie | 0,095 | |
| | E 2.16 | Huisvesting - chemische luchtwasser, 70% NH ₃ -reductie | 0,095 | |
| | E 2.100 | Overige huisvestingssystemen | 0,315 | |
| | Vleeskuikens | E 5.1 | Zwevende vloer | 0,004 |
| | | E 5.2 | Geperforeerde vloer | 0,012 |
| E 5.3 | | Etagesysteem roostervloer | 0,004 | |
| E 5.4 | | Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie | 0,007 | |
| E 5.5 | | Vloerverwarming en koeling | 0,038 | |
| E 5.6 | | Mixluchtventilatie | 0,031 | |
| E 5.7 | | Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 0,020 | |
| E 5.8 | | Etagesysteem - mestband | 0,017 | |
| E 5.9.1.2.2 | | Aparte vervolghuisvesting - mixluchtventilatie | 0,028 | |
| E 5.9.1.2.4 | | Aparte vervolghuisvesting - warmwaterheaters en ventilatoren | 0,030 | |
| E 5.9.1.2.5 | | Aparte vervolghuisvesting - luchtmengkast i.c.m. warmtewisselaar | 0,019 | |
| E 5.10 | | Verwarming obv warmteheaters en ventilatoren | 0,035 | |
| E 5.11 | | Luchtmengsysteem icm warmtewisselaar | 0,021 | |
| E 5.12 | | Biofilter - 70% NH ₃ -reductie | 0,020 | |
| E 5.13 | | Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 0,020 | |
| E 5.14 | | Warmteheaters - luchtmengsysteem | 0,035 | |
| E 5.15 | | Stal met buizenverwarming | 0,021 | |
| E 5.16 | | Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 0,020 | |
| E 5.100 | | Overige huisvestingssystemen | 0,068 | |
| Kraamzeugen | | D 1.2.1 | Spoelgotensysteem | 3,300 |
| | D 1.2.2 | Kunststof schijnvloer | 3,700 | |
| | D 1.2.3 | Gecoate vloer met tandheugelschuif | 4,000 | |
| | D 1.2.4 | Mestschuif | 3,100 | |
| | D 1.2.5 | Mestgoot | 3,200 | |
| | D 1.2.6 | Mestkanaal en waterkanaal | 4,000 | |
| | D 1.2.7 | Hellende plaat | 5,000 | |
| | D 1.2.8 | Mestopvang in aangezuurde vloeistof | 3,100 | |

| Diersoort | Rav-code stal | Omschrijving stal | Ammoniak (kg NH ₃ /dpl) |
|----------------|---------------|--|------------------------------------|
| | D 1.2.9 | Schuiven in mestgoot | 2,500 |
| | D 1.2.10 | Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 2,500 |
| | D 1.2.11 | Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 2,500 |
| | D 1.2.12 | Koeldekstelsysteem | 2,400 |
| | D 1.2.13 | Mestpan | 2,900 |
| | D 1.2.14 | Mestpan met waterkanaal en mestkanaal | 2,900 |
| | D 1.2.15 | Chemische luchtwasser - 95% NH ₃ -reductie | 0,420 |
| | D 1.2.16 | Waterkanaal | 2,900 |
| | D 1.2.17.1 | Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie | 1,300 |
| | D 1.2.17.2 | Combiwasser (biologisch) - 70% NH ₃ -reductie | 2,500 |
| | D 1.2.17.3 | Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie | 1,300 |
| | D 1.2.17.4 | Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie | 1,300 |
| | D 1.2.17.5 | Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie | 1,300 |
| | D 1.2.17.6 | Combiwasser (biologisch) - 90% NH ₃ -reductie | 0,830 |
| | D 1.2.18 | Biologische luchtwasser - 80% NH ₃ -reductie | 1,300 |
| | D 1.2.19 | Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie | 0,830 |
| | D 1.2.20 | Mestpan met waterkanaal en mestkanaal, koelsysteem | 1,300 |
| | D 1.2.21 | Biofilter - 70% NH ₃ -reductie | 2,500 |
| | D 4.1 | Drijvende ballen in de mest | 5,893 |
| | D 1.2.100 | Overige huisvestingssystemen | 8,300 |
| Overige zeugen | D 1.3.1 | Metalen driekantrooster | 2,400 |
| | D 1.3.2 | Mestgoot combinatierooster | 1,800 |
| | D 1.3.3 | Spoelgoten | 2,500 |
| | D 1.3.4 | Mestopvang in aangezuurde vloeistof | 1,800 |
| | D 1.3.5 | Mestschuif | 2,200 |
| | D 1.3.6 | Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 1,300 |
| | D 1.3.7 | Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 1,300 |
| | D 1.3.8 | Koeldekstelsysteem | 2,200 |
| | D 1.3.9.1 | Voerligbox of zeugenvoerstation met metalen driekantroosters | 2,300 |
| | D 1.3.9.2 | Voerligbox of zeugenvoerstation roosters anders dan metalen driekant | 2,500 |
| | D 1.3.10 | Rondloopstal | 2,600 |
| | D 1.3.11 | Chemische luchtwasser - 95% NH ₃ -reductie | 0,210 |
| | D 1.3.12.1 | Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,630 |
| | D 1.3.12.2 | Combiwasser (biologisch) - 70% NH ₃ -reductie | 1,300 |
| | D 1.3.12.3 | Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,630 |
| | D 1.3.12.4 | Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,630 |
| | D 1.3.12.5 | Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,630 |
| | D 1.3.12.6 | Combiwasser (biologisch) - 90% NH ₃ -reductie | 0,420 |
| | D 1.3.13 | Biologische luchtwasser - 80% NH ₃ -reductie | 0,630 |
| | D 1.3.14 | Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie | 0,420 |
| | D 1.3.15 | Gescheiden afvoer van mest en urine, V-vormige mestband, metalen driekant roosters | 2,200 |
| | D 1.3.16 | Water+mestkanaal, vloervoeding, koelsysteem, watervul/spoelsysteem in mestgoot | 1,500 |
| | D 1.3.17 | Biofilter - 70% NH ₃ -reductie | 1,300 |
| | D 4.1 | Drijvende ballen in de mest | 2,982 |
| | D 1.3.100 | Overige huisvestingssystemen | 4,200 |
| Gesp. Biggen | D 1.1.1 | Gecoate vloer met tandheugelschuif | 0,200 |
| | D 1.1.2 | Spoelgotensysteem | 0,240 |
| | D 1.1.3 | Mestopvang in water | 0,150 |
| | D 1.1.4.1 | Water- en mestkanaal 0,13 m ² per big | 0,260 |
| | D 1.1.4.2 | Water- en mestkanaal 0,19 m ² per big | 0,330 |
| | D 1.1.5 | Halfrooster, max 60% rooster | 0,390 |
| | D 1.1.6 | Mestopvang in aangezuurde vloeistof, vol rooster | 0,180 |
| | D 1.1.7 | Mestopvang in aangezuurde vloeistof, deel rooster | 0,250 |
| | D 1.1.8 | Hellende mestband | 0,230 |
| | D 1.1.9 | Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 0,210 |
| | D 1.1.10 | Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 0,210 |
| | D 1.1.11 | Koeldekstelsysteem, 150% koeloppervlak | 0,170 |

| Diersoort | Rav-code stal | Omschrijving stal | Ammoniak (kg NH ₃ /dpl) |
|------------------|---------------|--|------------------------------------|
| | D 1.1.12.1 | Schuine putwand, ongeacht groepsgrootte | 0,170 |
| | D 1.1.12.2 | Schuine putwand, groepsgrootte tot 30 biggen | 0,210 |
| | D 1.1.12.3 | Schuine putwand, groepsgrootte > 30 biggen | 0,180 |
| | D 1.1.13 | Vol rooster, water- en mestkanalen | 0,200 |
| | D 1.1.14 | Chemische luchtwasser - 95% NH ₃ -reductie | 0,030 |
| | D 1.1.15.1 | Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,100 |
| | D 1.1.15.2 | Combiwasser (biologisch) - 70% NH ₃ -reductie | 0,210 |
| | D 1.1.15.3 | Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,100 |
| | D 1.1.15.4 | Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,100 |
| | D 1.1.15.5 | Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,100 |
| | D 1.1.15.6 | Combiwasser (biologisch) - 90% NH ₃ -reductie | 0,070 |
| | D 1.1.16 | Biologische luchtwasser - 80% NH ₃ -reductie | 0,100 |
| | D 1.1.17 | Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie | 0,070 |
| | D 1.1.18 | Conditionering van de ligvloertemperatuur, dagelijkse mestafvoer | 0,210 |
| | D 1.1.19 | Biofilter - 70% NH ₃ -reductie | 0,210 |
| | D 4.1 | Drijvende ballen in de mest | 0,490 |
| | D 1.1.100 | Overige huisvestingssystemen | 0,690 |
| Vleesvarkens | D 3.1 | Volledig rooster | 4,500 |
| | D 3.2.1 | Deel rooster | 4,500 |
| | D 3.2.2 | Mestopvang en spoelen | 1,600 |
| | D 3.2.3 | Koeldeksysteem, 170% koeloppervlak | 1,700 |
| | D 3.2.4 | Mestopvang in formaldehyde | 1,000 |
| | D 3.2.5 | Mestopvang in water | 1,300 |
| | D 3.2.6 | Koeldeksysteem, 200% koeloppervlak | 1,500 |
| | D 3.2.7.1 | Mestkelder, metalen driekantrooster | 1,000 |
| | D 3.2.7.2 | Mestkelder, overige rooster | 1,400 |
| | D 3.2.8 | Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 0,900 |
| | D 3.2.9 | Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 0,900 |
| | D 3.2.10 | Bolle vloerhok | 1,400 |
| | D 3.2.11 | Gescheiden mestkanalen | 1,700 |
| | D 3.2.12 | Spoelgoten, metalen driekantroosters | 1,200 |
| | D 3.2.13 | Spoelgoten met roosters | 1,700 |
| | D 3.2.14 | Chemische luchtwasser - 95% NH ₃ -reductie | 0,150 |
| | D 3.2.15.1 | Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,450 |
| | D 3.2.15.2 | Combiwasser (biologisch) - 70% NH ₃ -reductie | 0,900 |
| | D 3.2.15.3 | Combiwasser (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,450 |
| | D 3.2.15.4 | Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,450 |
| | D 3.2.15.5 | Combiwasser (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,450 |
| | D 3.2.15.6 | Combiwasser (biologisch) - 90% NH ₃ -reductie | 0,300 |
| | D 3.2.16 | V-vormige mestband | 1,100 |
| | D 3.2.17 | Biologische luchtwasser - 80% NH ₃ -reductie | 0,450 |
| | D 3.2.18 | Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie | 0,300 |
| | D 3.2.19 | Voer en watervoorziening boven waterkanaal, koelsysteem, watervul/spoelsysteem | 0,770 |
| | D 3.2.20 | Biofilter - 70% NH ₃ -reductie | 0,900 |
| | D 4.1 | Drijvende ballen in de mest | 2,130 |
| | D 3.100 | Overige huisvestingssystemen | 3,000 |
| Witvleeskalveren | A 4.1 | Chemische luchtwasser - 90% NH ₃ -reductie | 0,35 |
| | A 4.2 | Biologische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 1,1 |
| | A 4.3 | Chemische luchtwasser - 70% NH ₃ -reductie | 1,1 |
| | A 4.4 | Chemische luchtwasser - 95% NH ₃ -reductie | 0,18 |
| | A 4.5.1 | Combiwasser - 85% NH ₃ -reductie | 0,53 |
| | A 4.5.2 | Combiwasser - 70% NH ₃ -reductie | 1,1 |
| | A 4.5.3 | Combiwasser (waterwasser, chemisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,53 |
| | A 4.5.4 | Combiwasser (watergordijn, biologisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,53 |
| | A 4.5.5 | Combiwasser (waterwasser, biologisch) - 85% NH ₃ -reductie | 0,53 |
| | A 4.5.6 | Combiwasser (biologisch en chemisch) - 90% NH ₃ -reductie | 0,35 |
| | A 4.6 | Biologische luchtwasser - 85% NH ₃ -reductie | 0,53 |
| | A 4.7 | Hellende roostervloer i.c.m. hellende schijnvloer onder de roostervloer | 2,5 |

| Diersoort | Rav-code stal | Omschrijving stal | Ammoniak (kg NH ₃ /dpl) |
|-----------|---------------|---|------------------------------------|
| | A 4.8 | Roostervloer met bolle rubber toplaag, afdichtflappen | 1,9 |
| | A 4.100 | Overige huisvestingssystemen | 3,5 |

Tabel 3.9 Bruto mest-N excretie van 'staldieren' en emissiefactor van overige gasvormige verliezen (anders dan NH₃-N) bij drijfmest- dan wel vaste mest systemen, met: Emissie van N-overig (kg N) = Bruto N-excretie * EF N-overig.

| Diergroep | Bruto N-excretie (kg N per dierplaats) | EF N-overig drijfmest (% van N) | EF N-overig vaste mest (% van N) |
|--------------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|
| Kraamzeugen | 29,8 | 2,4 | 3,5 |
| Guste en dragende zeugen | 20,7 | 2,4 | 3,5 |
| Gespeende biggen | 2,2 | 2,4 | 3,5 |
| Vleesvarkens | 11,6 | 2,4 | 3,5 |
| Leghennen | 0,76 | 1,2 | 0,7 |
| Vleeskuikens | 0,43 | 1,2 | 0,7 |
| Witvleeskalveren | 14,3 | 2,4 | 3,5 |

3.2.5 Ammoniakverlies vanuit externe opslag

Een gedeelte van de mest gaat naar de externe mestopslag. In de KringloopWijzer wordt aangenomen dat 20% van de op stal geproduceerde graasdieren drijfmest, 19% van de geproduceerde staldieren drijfmest en 100% van de op stal geproduceerde vaste mest (gemiddelde van de waarden zoals vermeld in Van Bruggen *et al.* (2023) naar zo'n externe mestopslag gaan. In die externe mestopslag treden ook nog enige NH₃ verliezen op. Deze worden becijferd op 1% van de opgeslagen mest-N bij graasdieren drijfmest, 2% bij de staldieren drijfmest en op 2% bij vaste mest (percentages op basis van totale N die de externe opslag ingaat, dus na aftrek van gasvormige N-verliezen in de stal).

NH₃-N-verlies in externe opslag = (Bruto-N-excretie – gasvormig N-verlies stal) * fractie mest naar externe opslag * EF

In de externe opslag worden geen overige gasvormige N-verliezen (N₂O, NO en N₂) ingerekend.

3.2.6 Gasvormige N-verliezen bij scheiden van drijfmest

Bij het scheiden van de drijfmest vinden gasvormige N-verliezen plaats. Deze verliezen ontstaan zowel tijdens het proces als bij het opslaan van de dunne en dikke fractie. De NEMA gaat voor de NH₃-verliezen uit van 2,3% en 3,18% van de ingaande N in mest voor drijfmest van respectievelijk graasdieren en staldieren en voor de overige N-verliezen (N₂O, NO_x, N₂) van 3,5% van de ingaande N in mest bij zowel drijfmest van graasdieren als van staldieren. Voor drijfmest van alle staldieren wordt uitgegaan van de NEMA-percentages van varkensdrijfmest.

Wat betreft ammoniak zijn deze verliezen incl. de verliezen tijdens de externe opslag van de drijfmest voorafgaand aan de scheiding. Laatstgenoemde worden in de KLV apart ingerekend, namelijk 1% en 2% van de extern opgeslagen N voor drijfmest van resp. graasdieren en staldieren (zie paragraaf 3.2.5). Om dubbeltellingen te voorkomen dienen de NEMA-percentages voor mestscheiding hiervoor te worden gecorrigeerd. Voor graasdieren drijfmest wordt ervan uitgegaan dat 20% van de drijfmest extern is opgeslagen. Dit betekent dat van de 2,3% van het NH₃-verlies bij mestscheiding (conform NEMA), in de KLV al 0,2% (1% * 0,2) is ingerekend bij de externe mestopslag. Hierdoor resteert in de KLV voor mestscheiding 2,1% NH₃-verlies (Tabel 3.10). Voor staldieren drijfmest wordt ervan uitgegaan dat 19% van de drijfmest extern is opgeslagen. Dit betekent dat van de 3,5% van het NH₃-verlies bij mestscheiding (conform NEMA), in de KLV al 0,38% (2% * 0,19) is ingerekend bij de externe mestopslag. Hierdoor resteert in de KLV voor mestscheiding 2,8% (Tabel 3.10)

Voor de overige gasvormige N-verliezen zijn de NEMA-verliespercentages bij de mestscheiding (3,5% van totale N) incl de emissies in de stal. Ook hiervoor geldt dat de KLV deze al apart inrekent. Om

ook hier dubbeltellingen te voorkomen is een correctie aangebracht door het NEMA-percentage te verminderen met de stalverliezen (2,4%, zie Tabel 3.2). Hierdoor resteert in de KWL voor mestscheiding een verlies van 1,1% (Tabel 3.10).

Tabel 3.10 Extra gasvormige N-verliezen bij het scheiden van drijfmest en de opslag van de dunne en dikke fractie (afgeleid van NEMA). De verliezen staan weergegeven als % van de ingaande N-drijfmest

| Ingaande drijfmest | NH ₃ -N (% van N) | N-overig (% van N) |
|--------------------|------------------------------|--------------------|
| Graasdieren | 2,1 | 1,1 |
| Staldieren | 2,8 | 1,1 |

3.2.7 Gasvormige N-verliezen bij vergisten van drijfmest

Een deel van de drijfmest kan vergist worden. Dit kan worden opgegeven in de KWL. Vergisting heeft gevolgen voor de gasvormige N-verliezen. Er treedt verandering op in het TAN-gehalte, dat van invloed is op de NH₃-verliezen en er treden verliezen gedurende de opslag van het digestaat. Beide worden in deze paragraaf toegelicht.

Verandering TAN-gehalte

Bij het vergisten van mest wordt een deel van de organische N omgezet naar TAN. Dit betreft 25% van de organische N die de vergister ingaat. Dit percentage is gebaseerd op bemestingsproeven waarin de N-werking van vergiste mest is vergeleken met onvergiste mest (Schroder *et al.*, 2007). De extra TAN die hierdoor ontstaat wordt als volgt berekend:

Eerst wordt de Norg in de drijfmest berekend via:

$$\text{Norg drijfmest (kg)} = [\text{N-excretie onder de staart (kg)} - \text{TAN-excretie (kg)}] \times \text{aandeel drijfmest} \times 0,9 + N_{\text{zaagsel}}$$

De factor 0,9 betreft de correctie voor de mineralisatie van Norg tijdens de opslag (10%, zie paragraaf 3.2.2.1). Als er zaagsel wordt gebruikt in het drijfmestdeel van de stal wordt de hierin aanwezige N toegevoegd aan de Norg in drijfmest. Dit gebeurt na de correctie voor de N-mineralisatie van de Norg in de mest.

Vervolgens wordt de hoeveelheid extra TAN uit vergisting berekend:

$$\text{TAN-vergisting (kg)} = \text{Norg drijfmest (kg)} \times \text{fractie drijfmest vergist} * 0,25$$

De vergiste mest komt daarna in de meststroom digestaat terecht en wordt als zodanig behandeld in de KWL.

Gasvormige N-verliezen tijdens opslag van het digestaat

Bij het vergisten van drijfmest vinden gasvormige N-verliezen plaats. Deze verliezen ontstaan bij de opslag van het uitgaande product digestaat. De NEMA geeft alleen totaal verliezen, incl. de verliezen tijdens de externe opslag van de drijfmest.

De NH₃-verliezen bedragen 1,0% en 2,0% van de N in de ingaande mest voor drijfmest van respectievelijk graasdieren en staldieren. Een deel van de NH₃-verliezen zijn al ingerekend bij de berekening van de externe mestopslag, namelijk 1% en 2% van de opgeslagen N voor, respectievelijk, graasdieren en staldieren drijfmest. Om dubbeltellingen te voorkomen dienen de NEMA-percentages voor mestvergisting hiervoor te worden gecorrigeerd. Voor graasdieren drijfmest wordt ervan uitgegaan dat 20% van de drijfmest extern is opgeslagen. Dit betekent dat van de 1,0% NH₃-verlies bij vergisting (conform NEMA), in de KWL al 0,2% (=1,0% * 0,2) van het NH₃-verlies is ingerekend bij de externe mestopslag. Hierdoor resteert een NH₃-verlies bij mestvergisting van 0,8% (Tabel 3.11). Voor staldieren drijfmest wordt ervan uitgegaan dat 19% van de drijfmest extern is opgeslagen. Dit betekent dat van de 2,0% NH₃-verlies bij vergisting (conform NEMA), in de KWL al

0,38% verlies ($2\% \times 0,19$) van het NH₃-verlies al is ingerekend bij de externe mestopslag. Hierdoor resteert een NH₃-verlies bij mestvergisting van 1,62% (Tabel 3.11).

Er treden geen extra overig gasvormige N-verliezen op bij het vergisten van mest.

Tabel 3.11 Extra gasvormige N-verliezen bij de opslag van digestaat (NEMA). De verliezen staan weergegeven als % van de ingaande N-drijfmest

| Ingaande drijfmest | NH ₃ -N (% van N) | N-overig (% van N) |
|--------------------|------------------------------|--------------------|
| Graasdieren | 0,80 | 0,0 |
| Staldieren | 1,62 | 0,0 |

3.2.8 Ammoniakverlies bij beweiding

Bij beweiding gaat minder N via NH₃ emissie verloren dan op stal. De EF van de TAN-excretie bij beweiding wordt in NEMA voor de Nederlandse omstandigheden in 2014 berekend als constante waarde van 4,0% (Van Bruggen *et al.*, 2023). Het ammoniakverlies uit TAN-excretie tijdens beweiding wordt berekend als:

$$NH_3\text{-N}_{\text{beweiding}} \text{ (kg)} = TAN_{\text{beweiding}} \text{ (kg)} \times EF_{\text{beweiding}} \text{ (\%)},$$

$$\text{waarin } EF_{\text{beweiding}} = 4,0\%$$

3.2.9 Ammoniakverlies bij mestaanwending

Het ammoniakverlies bij mestaanwending wordt berekend op basis van de aangewende TAN in combinatie met de EF voor de verschillende aanwendingstechnieken.

De aangewende TAN (kg N) in de vorm van melkveemest wordt binnen BEA berekend door de TAN in mestopslag (TAN-stalmest) te corrigeren voor eventuele mest aan- en afvoer. De mest aan- en/of afvoer wordt in BEA opgegeven in kg N. Hierbij wordt verondersteld dat zowel de aan- als afgevoerde mest dezelfde hoeveelheid TAN per kg N bevatten als de mest in de opslag van het bedrijf.

De hoeveelheid TAN (kg N) die wordt aangewend wordt berekend als percentage van de aangewende kg N:

$$TAN\text{-aanwending} \text{ (kg)} = \%TAN\text{-mest} \times \text{kg N mestaanwending},$$

$$\text{waarin: } \%TAN\text{-mest} = TAN\text{'stalmest'} / \text{Netto N-excretie}$$

$$\text{Kg N mestaanwending} = \text{Netto N-excretie} + \text{N-mestaanvoer} - \text{N-mestafvoer}$$

$$TAN\text{'stalmest'} = TAN\text{-productie} - \text{totale gasvormige N-emissie}_{\text{huisvesting+externe opslag}}$$

De aangewende TAN (kg N) in de vorm van mest van 'staldieren' ('intensieve tak') wordt binnen BEA berekend als:

$$TAN\text{-aanwending} \text{ (kg)} = \%TAN\text{-mest} \times \text{kg N mestaanwending}, \text{ met:}$$

$$\text{Kg N mestaanwending} = \text{Netto stalbalans} + \text{N-mestaanvoer} - \text{N-mestafvoer} + \text{N-beginvoorraad} - \text{N-eindvoorraad}, \text{ en}$$

$$\% TAN\text{-mest volgens forfaitaire aandelen zoals vermeld in Tabel 3.12}$$

Tabel 3.12 Normatieve TAN-aandeel (%) in mest voor staldieren.

| Diersoort | TAN-mest (%) |
|--------------------------|--------------|
| Kraamzeugen | 67 |
| Guste en dragende zeugen | 67 |
| Gespeende biggen | 67 |
| Vleesvarkens | 64 |
| Leghennen | 76 |
| Vleeskuikens | 62 |
| Witvleeskalveren | 72 |

Vervolgens wordt de totale TAN-aanwending uit melkveemest (melkkoeien inclusie bijbehorende jongvee), uit mest van de overige graasdieren en uit 'staldier'-mest verdeeld over het uitrijden op bouwland en het uitrijden op grasland. Dit gebeurt volgens opgave van het bedrijf in BEA waarbij de kg N mestaanwending op grasland en bouwland zijn opgegeven. Tenslotte wordt ook de wijze van aanwending (zie Tabel 3.13) opgegeven, waarmee de EF bij aanwending wordt vastgesteld. In de BEA-module van de KringloopWijzer moet worden aangegeven welk percentage van de mest met een bepaalde methode is aangewend. Daarbij worden zowel op grasland als op bouwland drie aanwendingsmethodes onderscheiden.

Op dit moment worden voor de kunstmestvervangers mineralenconcentraat en spuiwater dezelfde emissiefactoren gebruikt. Hiermee wordt de ammoniakemissie van spuiwater bij oppervlakkige toediening en ondiepe injectie overschat, omdat het een zuur product is. Hiernaar zal volgend jaar worden gekeken en daar waar nodig worden aangepast.

Tabel 3.13 Gemiddelde emissiefactoren (kg NH₃-N per 100 kg TAN toegediend) per mestsoort en toedieningsmethode voor grasland en bouwland (naar Velthof et al., 2012; Van Bruggen et al., 2023).

| Grond-gebruik | Methode van toediening | Vaste mest & dikke fractie | Mestsoort | | | |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|---------|
| | | | Drijfmest, dunne fractie, digestaat | Drijfmest met half deel water ¹ | Mineralen-concentraat en spuiwater | Compost |
| Grasland | Bovengronds | 68 | 68 | | 68 | 69 |
| | Sleepvoet | - | (26,4) | 17 ³ | 10 | |
| | Sleufkouter ² | - | (21,7) | 17 | 9 | |
| | Zodebemester | - | 17 | | 8 | |
| Bouwland | Bovengronds | 46 | 69 | | 69 | 69 |
| | In een werkgang onderwerken | - | 22 | | 22 | |
| | Sleepvoet | - | 36 | | 12 | |
| | Diepe injectie (> 10 cm) | - | 2 | | 3 | |
| | Ondiepe injectie (< 10 cm) | - | 24 | | 8 | |

¹) Half deel water wil zeggen: twee delen mest met één deel water (meer water mag maar leidt niet tot een emissie die lager is dan die van zodebemester).

²) Voor de emissiefactor van een sleufkouter wordt het gemiddelde aangehouden van de emissiefactor voor sleepvoeten en zodenbemester.

³) Voor de emissiefactor bij toediening van verdunde mest met een sleepvoetenmachine op grasland wordt een vergelijkbaar niveau aangehouden als voor zodenbemesting. De minimale verdunning is 2 delen mest en 1 deel water.

Uit de combinatie van de aangewende kg TAN en de EF uit Tabel 3.13 wordt de ammoniakemissie berekend:

$$NH_3-N \text{ mestaanwending (kg)} = TAN\text{-aanwending}_{1...n} \times EF\text{-aanwending}_{1...n}$$

Waarbij 1...n = aanwendingsmethoden uit Tabel 3.13

3.2.10 Ammoniakverlies bij kunstmesttoediening

Ook uit kunstmest kan ammoniak vervluchtigen. Daarom wordt in BEA opgegeven hoeveel kg N kunstmest is aangewend. Bij het schatten van de emissie wordt geen onderscheid gemaakt in grondsoorten of grondgebruik. Wel wordt gedifferentieerd naar de soort kunstmest-N (Tabel 3.14).

Tabel 3.14 Emissiefactoren voor kunstmest ($EF_{NH_3-N_{kunstmest}}$, kg N per 100 kg N-totaal toegediend (Van Bruggen et al., 2023; Vonk et al., 2018).

| Kunstmestsoort | Grondgebruik | Emissiefactor |
|---|----------------------|---------------|
| N-meststoffen, 100% ammonium | Grasland en bouwland | 11,3 |
| N-meststoffen, 100% nitraat | Grasland en bouwland | 0,0 |
| N-meststoffen, combinatie van ammonium en nitraat | Grasland en bouwland | 2,5 |
| Ureum, gekorrelde, zonder urease-remmer | Grasland en bouwland | 14,3 |
| Ureum, gekorrelde, met urease-remmer | Grasland en bouwland | 5,9 |
| Vloeibaar ureum zonder urease-remmer of zuur | Grasland en bouwland | 7,5 |
| Vloeibaar ureum met urease-remmer of zuur | Grasland en bouwland | 3,1 |
| Vloeibaar ureum toegediend via injectie | Grasland en bouwland | 1,5 |

Uit de combinatie van de aangewende kg aangewende kunstmest-N en de EF uit Tabel 2.2.12 wordt de ammoniakemissie berekend:

$$NH_3-N \text{ kunstmestaanwending (kg)} = \text{kg kunstmest-N aanwending}_{1\dots n} \times EF_{aanwending}_{1\dots n},$$

waarbij $1\dots n$ = kunstmestsoort uit Tabel 2.2.12

3.2.11 Ammoniakverlies uit gewasresten

Ook uit bovengrondse gewasresten treden ammoniakverliezen op. Deze verliezen hangen af van het N-gehalte in de bovengrondse gewasrest en de mate waarin deze na de oogst worden ingewerkt. De berekeningswijze is conform NEMA (Van Bruggen et al., 2023).

Grasland

Bij grasland wordt bij de NH_3 -emissie uit gewasresten alleen gerekend met NH_3 -emissie uit maaiverliezen en NH_3 -verliezen bij het scheuren van grasland. De NH_3 -verliezen uit beweidingsverliezen worden conform NEMA niet meegenomen, omdat aangenomen is dat de deze al zijn verdisconteerd in de NH_3 -emissie bij beweiding (Van Bruggen et al., 2023).

De NH_3 -emissie uit maaiverliezen wordt als volgt berekend:

$$NH_3-N\text{-maaiverlies} = GO * AF3_{maaigras} * (MAX(0, 0,41 * NGEH - 5,42))/100$$

Waarbij:

GO = oppervlakte grasland (ha)

$AF3_{maaigras}$ = hoeveelheid N in maaiverlies (kg/ha, Tabel 4.1)

$NGEH$ = N-gehalte in maaiverlies (g/kg ds)

Bij het scheuren van grasland wordt de NH₃-emissie berekend als:

$$NH_3\text{-N-scheuren} = (GSHO * FRSPH + GSWO * FRSPW) * FRBGGR * NTGR * EF\text{-}NH_3\text{-N}/100$$

Waarbij:

GSHO = oppervlakte gescheurd grasland bij herinzaai (ha)

GSWO = oppervlakte gescheurd grasland bij wisselbouw (ha)

FRSPH = fractie gescheurd gras dat wordt doodgespoten bij herinzaai: 0,90

FRSPW = fractie gescheurd gras dat wordt doodgespoten bij wisselbouw: 0,50

FRBGGR = fractie bovengrondse gewasrest-N in totale gewasrest-N: 0,45

NTGR = N-inhoud graszode (bovengronds en ondergronds): 190 kg N per ha

EF-NH₃-N = emissiefactor, % van N in bovengrondse gewasrest: 4,8

De fractie van het gescheurde gras dat wordt doodgespoten (0,90 bij herinzaai en 0,50 bij wisselbouw) is niet bedrijfsspecifiek en betreft een vaste gemiddelde waarde zoals ook gehanteerd in NEMA. De EF-waarde van 4,8% van de N in de bovengrondse gewasrest-N betreft eveneens een vaste waarde.

De hoeveelheid N in de graszode wordt geschat op gemiddeld 190 kg N per ha (Van Dijk *et al.*, 1996; Conijn & Taube, 2004; Conijn, 2004).

Overige gewassen

Voor de overige gewassen wordt de NH₃-N-emissie berekend volgens:

$$NH_3\text{-N}_{\text{gewas}} = \text{GewasO} * (\text{BIJPRN} + \text{NTGR} * \text{FRBGGR}) * \text{EF-NH}_3\text{-N}/100$$

Waarbij:

GewasO = oppervlak gewas (ha)

BIJPRN = N-inhoud bijproduct (kg/ha, Tabel 4.3)

NTGR = N-inhoud gewasrest (bovengronds en ondergronds) (kg/ha, Tabel 4.3)

FRBGGR = fractie N bovengrondse gewasrest in totale gewasrest-N (Tabel 3.15)

EF-NH₃-N = emissiefactor, % van N in bovengrondse gewasrest (Tabel 3.15)

Tabel 3.15 Fractie bovengrondse N in totale gewasrest-N en EF NH₃-N (kg NH₃-N per kg N in bovengrondse gewasrest-N) bij gewassen, waarbij EF >0; Bron: De Ruijter & Huijsmans (2019).

| Gewas(groep) | Fractie bovengrondse gewasrest-N in totale gewasrest-N | EF, % van N in bovengrondse delen (bijproduct + bovengrondse gewasrest) |
|--------------------------------------|--|---|
| Luzerne | 0,25 | 7,29 |
| Rode klaver | 0,25 | 7,29 |
| Suiker/voederbieten | 0,10 ¹ | 1,455 |
| Aardappelen | 0,50 | 0,3 |
| Pootaardappelen | 0,80 | 5,62 |
| Bladgroenten ² | 0,90 | 2,99 |
| Niet-bladgroenten ³ | 0,90 | 0,715 |
| Vanggewas na maïs | 0,80 | 2,01 |
| Groenbemester/vanggewas na akk-gewas | 0,80 | 1,52 |

¹ exclusief bijproduct (bietenloof).

² gemiddelde van sla en sluitkool.

³ gemiddelde van peen en witlof.

3.3 Kanttekeningen bij BEA

- Er is geen definitie gegeven van de zomer- en winterperiode. BEA gaat daarom uit van een jaarrantsoen.
- Er worden voor stal- en weideperiode verschillende EF's voor de stalemissie gebruikt. Pas wanneer de stal enige uren per dag leeg staat (zoals in combinatie met beweiding), gaan ook de verschillen in emitterend besmeurd oppervlak meetellen. Daardoor (zie Tabel 3.3) is bij 20 uur onbeperkt weiden de EF zeer hoog (40,9%) in vergelijking met 9 uur beperkt weiden (17,5%) en summerfeeding (14,3%).
- Er wordt aangenomen dat de emissie volgens RAV-stal A1.100 gelijk is aan de emissie zoals berekend volgens de NEMA methodiek van de 'niet emissiearme stal' binnen BEA. Deze aanname is correct als het gaat om de onderlinge vergelijking met dan wel afleiding van de EF voor de andere RAV staltypes. Deze aanname is echter discutabel voor een kwantitatieve vergelijking (op basis van kg ammoniak) van de emissieberekening volgens BEA dan wel RAV. Er zijn namelijk indicaties dat de RAV emissiefactor voor rundvee te laag is (Van Bruggen *et al.*, 2023). Berekeningen van Smits *et al.* (2007) aangeven dat de RAV-emissiefactor voor melkvee tot ca. 20% hoger kan liggen.
- Bij mestscheiding op het bedrijf zal bij aanwending op het land voor de dunne fractie de EF van drijfmest worden gebruikt en voor de dikke fractie die van vaste mest. Van de aangevoerde hoeveelheid 'kunstmestvervangers' (dunne fractie van gescheiden mest, digestaat, mineralenconcentraat, spuiwater) wordt verondersteld dat deze mestsoorten na aankoop zo snel mogelijk worden toegediend op het land. Zodoende zal voor deze mestsoorten geen emissie uit stal en opslag worden ingerekend.
- Bij het toedienen van mineralenconcentraat en spuiwater worden andere emissiefactoren gehanteerd (Tabel 3.13) dan bij het toedienen van drijfmest. Bij het toedienen van mengsels van mineralenconcentraat (of spuiwater) en drijfmest wordt in de KringloopWijzer gerekend met de emissiefactoren van de afzonderlijke mestsoorten.
- De hoeveelheid aangewende N wordt door het melkveebedrijf in BEA opgegeven door aan te geven hoeveel N naar het bouwland gaat. De overig aanwezige N gaat naar grasland. Hier zitten potentiële fouten:
 1. De N naar bouwland wordt in de praktijk meestal berekend als kubieke meters mest maal *forfaitair* N gehalte,
 2. De berekende N in mest en opslag heeft als basis de N-excretie van de veestapel voor het lopende kalenderjaar. Echter, er kunnen voorraadmutaties zijn geweest (niet in beeld) en er kan meer N in opslag zitten dan berekend, bijvoorbeeld als gevolg van N-verlies uit voer.
- De BEA-berekening heeft een beperking door aan te nemen dat gemiddeld 20% van de mest naar een afgesloten opslag gaat. De berekening is bedrijfsspecifieker te maken door exacter te bepalen welk deel van de mest daadwerkelijk (snel) in een afgesloten opslag terecht komt waaruit tenslotte nauwelijks NH₃ vrijkomt en waarvoor, gegeven de andere temperaturen, ook de veronderstelde 10% extra mineralisatie van organische N niet langer geldt.
- Als jongvee in hetzelfde staltype gehuisvest wordt als de melkkoeien, maakt BEA voor wat betreft de emissie geen onderscheid tussen melkvee en jongvee. De eventuele fout die hiermee gemaakt wordt, is beperkt omdat de aantallen jongvee en de TAN-excretie per eenheid jongvee klein is ten opzichte van melkvee.
- De gehanteerde emissiefactoren, hoewel gespecificeerd voor stalsystemen en toedieningstechnieken, berusten op gemiddelden. Uit onderzoek is bekend dat de spreiding rondom dit gemiddelde groot kan zijn onder invloed van stalklimaat, ventilatiegebieden, drink- en spoelwatergebruik (resp. het droge stofgehalte in mest), bewuste verdunning van mest met water, aanzuren, toevoegmiddelen, grondsoort, weersomstandigheden (neerslag, temperatuur, wind) gewastype en -hoogte, mestgift, volume van mest, verdeling van mest over een jaar.
- BEA berekent de ammoniakverliezen uit stal en opslag als een fractie van de geproduceerde mest, ongeacht of deze mest eventueel en, zo ja, op welk moment na productie, wordt afgevoerd. In overeenstemming daarmee worden geen ammoniakverliezen uit stal en opslag toegekend aan mest die wordt aangevoerd, ook al verblijft die mest enige tijd op het bedrijf alvorens te worden aangewend. De ammoniakverliezen na toediening van deze mest wordt uiteraard wel verrekend. Daarbij wordt een TAN-aandeel van aangevoerde mest verondersteld zoals vermeld in tabel 2.1, dit is in werkelijkheid niet het geval.

-
- De bijdrage van 'staldieren' aan de ammoniakemissie wordt, anders dan bij melkvee, niet verbijzonderd op basis van de rantsoensamenstelling.
 - De berekening van het kengetal 'ammoniak-N emissie per ton melk' is gebaseerd op alle ammoniak, inclusief die veroorzaakt door staldieren of een tak akkerbouw. Bij aanwezigheid van andere takken dan melkvee, laat dit kengetal zich vooralsnog dus slecht vergelijken met dat van een puur melkveebedrijf.

4 BEN: bedrijfsspecifieke N stromen

4.1 Inleiding

De inzet van stikstof (N) is nodig om de bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengsten op peil te houden. Het gebruik van N in de landbouw leidt echter ook tot ongewenste verliezen naar de omgeving. De kwaliteit van de omgeving wordt onder meer bepaald door de N concentratie van grond- en oppervlaktewater (voornamelijk nitraat-N onder zandgronden, en nitraat-, ammonium- en opgelost organisch N vanuit klei- en veengronden) en de emissie van het broeikasgas N₂O (lachgas) uit de bodem en mestopslagen. Dit deel van de KringloopWijzer-berekeningen heeft primair tot doel deze stikstofverliezen in kaart te brengen.

4.2 Berekeningswijzen

4.2.1 N-bodemoverschot en N-uitspoeling

De basis voor de berekening van de N-uitspoeling is het N-bodemoverschot. Vanuit het N-bodemoverschot kan de hoeveelheid uitgespoelde N en de nitraatconcentratie in het uitgespoelde water worden berekend.

4.2.1.1 Berekening N-bodemoverschot

Het N-bodemoverschot wordt berekend op basis van de termen zoals aangegeven in Tabel 4.1. Hierbij is volledige aansluiting gezocht bij werkwijzen die ten grondslag liggen aan het LMM en aan de onderbouwing van goedgekeurde Nederlandse Actieprogramma's in het kader van de Europese Nitraatrichtlijn (Schröder *et al.*, 2007). Het bodemoverschot wordt voor al het grasland, het maïsland, het land waarop overige ruwvoeders geteeld worden en het land waarop marktbaar akkerbouwgewassen geteeld worden, in eerste instantie afzonderlijk berekend.

Tabel 4.1 Aan- en afvoertermen ter bepaling van het N-bodemoverschot (kg N/ha) met aanwijzing ('X') of de invoergegevens betrekking hebben op het bedrijf als geheel, op gewassen (grasland, bouwland), dan wel op gewassen met daarbij een onderscheid tussen het deel dat in wisselbouw en het deel dat in continueelt geteeld wordt.

| Aan-/afvoer | Code | Term | Schaal invoer | |
|-------------|-------|---|---------------|--------------------|
| | | | Bedrijf | Gewas ¹ |
| Aanvoer | Aan0 | Nmin voorjaar, in jaar x | X | |
| | Aan1 | Weidemest | | X |
| | Aan2a | Dierlijke mest ² | | X |
| | Aan2b | Compost en champost | | X |
| | Aan3 | Kunstmest | | X |
| | Aan4 | Klaver | | X |
| | Aan5 | Depositie | X | |
| | Aan6 | beweidings-, maai- en oogstverliezen | | X |
| | Aan7 | Gewasresten | | X |
| | Aan8 | Vanggewassen en groenbemesters | | X |
| | Aan9 | Veenmineralisatie | | X |
| | Aan10 | uit scheuren grasland in wisselbouw | | X |
| | Aan11 | Excretie van ganzen | X | X |
| Afvoer | Af0 | Nmin voorjaar, jaar x + 1 | X | |
| | Af1 | geoogst van eigen land, inclusief vraat door ganzen | X | X |
| | Af2 | ammoniak verliezen bij beweiding, (kunst)mesttoediening en uit gewasresten ³ | | X |
| | Af3 | beweidings-, maai- en oogstverliezen | | X |
| | Af4 | Gewasresten | | X |
| | Af5 | Vanggewassen en groenbemesters | | X |
| | Af6 | opbouw grasland in wisselbouw | | X |

¹ Inclusief voor- en nateelten.

² Som van op het eigen bedrijf aanwezig dierlijke mest en aangevoerde dierlijke mest.

³ NH₃-N-verlies uit oogst- en beweidingsverliezen.

Aanvoerposten

Aan de termen Aan0 (minerale bodem N bij aanvang van het jaar) en Af0 (minerale bodem N twaalf maanden daarna) wordt een verstekwaarde van 30 kg N per ha toegekend. Deze termen zijn conform wensen vanuit de Europese Commissie opgenomen maar fungeren boekhoudkundig als kruisposten die tegen elkaar worden weggestreept. Deelnemers van de KringloopWijzer wordt dan ook niet naar een bedrijfsspecifieke waarde gevraagd.

De term Aan1 (weidemest) wordt uitgedrukt als kg totaal N per ha totaal grasland, in eerste instantie nog zonder correctie voor de NH₃-N verliezen die bij beweiding optreden. De termen Aan2a (dierlijke mest), Aan2b (overige organische mest w.o. compost) en Aan3 (kunstmest) worden uitgedrukt als kg N per ha grasland en per ha bouwland. Aan1 wordt berekend aan de hand van de berekende bruto N-excretie en het opgegeven aantal uren weidegang. Aan3 wordt opgegeven door KringloopWijzer-deelnemers. Binnen Aan2 wordt onderscheid gemaakt tussen de binnenshuis uitgescheiden en opgeslagen dierlijke mest plus eventueel van buiten aangevoerde dierlijke mest (Aan2a) en aangevoerde compost en champost (Aan2b). Aan2a wordt afgeleid uit de gegevens over de bruto-N-excretie in het kader van BEX (hoofdstuk 2), voor zover die binnenshuis plaatsvindt, na verrekening van alle gasvormige verliezen uit stal en opslag volgens BEA (hoofdstuk 3), vermeerderd met de netto-mestproductie van een eventuele tak 'staldieren' onder verrekening van aan- en afgevoerde mest, vermeerderd met voerresten maar nog niet gecorrigeerd voor de NH₃-N verliezen die bij toediening van 'stalmest' optreden. Bovendien vindt een correctie plaats voor voorraadwijzigingen: als aan het eind van het jaar minder mest in opslag is dan aan het begin, wordt het verschil (kg N/ha) aan Aan2a toegevoegd, als meer mest in opslag is dan aan het begin, wordt het verschil op de totaal aan 'stalmest' uit te rijden mest-N in mindering gebracht:

Uit te rijden mest - N = uitgescheiden mest + voerrest - N - (NH₃-N_{stal+opslag} + afgevoerde mest) + aangevoerde mest ± voorraadswijziging.

Daarbij wordt de voerrest - N (kg N/ha) becijferd op 2 tot 5%, afhankelijk van de voersoort (Tabel 1.1), van de totale hoeveelheid voer - N (kg N/ha) die aan het vee is aangeboden, volgens:

$$\text{Voerrest-N} = 0,05 \times (\text{N-opname in de vorm van geconserveerd gras en snijmaïs} / (1 - 0,05)) + 0,03 \times (\text{N-opname in de vorm van overig zelf geteeld ruwvoer en vochtrijke (bij)producten} / (1 - 0,03)) + 0,02 \times (\text{N-opname in de vorm van krachtvoerders, mengvoer en melkproducten} / (1 - 0,02)),$$

met N-opname uit de diverse voedermiddelen op basis van gegevens van het onderdeel BEX (hoofdstuk 2).

KringloopWijzer-deelnemers geven vervolgens aan wat de 'stalmest' gift (kg N/ha) op grasland (Aan2a_{grasland}), op maïsland (Aan2a_{maïs}), op het land met overige ruwvoerders (Aan2a_{overigruwvoer}) en op het bouwland met marktbaar akkerbouwgewassen (Aan2a_{marktakkerbouw}) is, en wel zodanig dat:

$$\text{Uit te rijden mest-N (kg)} = ((\text{GO} \times \text{Aan2a}_{\text{grasland}}) + (\text{SO} \times \text{Aan2a}_{\text{maïs}}) + (\text{ORO} \times \text{Aan2a}_{\text{overigruwvoer}}) + (\text{AMO} \times \text{Aan2a}_{\text{marktakkerbouw}})), \text{ met}$$

Waarbij:

- GO = totale oppervlakte grasland (ha)
- SO = totale oppervlakte maïsland
- ORO = totale oppervlakte overige ruwvoerders
- AMO = totale oppervlakte marktbaar akkerbouwgewassen.

Bij gebruik van compost (en andere overige organische meststoffen) wordt per gewas opgegeven en vervolgens wordt de totale hoeveelheid met compost aangevoerde N berekend via:

$$\text{Uit te rijden compost-N (kg)} = ((\text{GO} \times \text{Aan2b}_{\text{grasland}}) + (\text{SO} \times \text{Aan2b}_{\text{maïs}}) + (\text{ORO} \times \text{Aan2b}_{\text{overigruwvoer}}) + (\text{AMO} \times \text{Aan2b}_{\text{marktakkerbouw}}))$$

In plaats van specifieke opgaven van de bovengenoemde vier bestemmingen van organische mestvrachten ('oppervlakten x giften per ha') kan vanzelfsprekend vanuit de op het bedrijf uit te rijden hoeveelheid organische mest-N en drie van de vier opgegeven vrachten, ook de vierde vracht berekend worden. Door die vierde vracht door de bijbehorende oppervlakte te delen, kan ook de gift op die vierde bestemming berekend worden.

In het bovenstaande lijkt te worden aangenomen dat er binnen het bouwland niet meer dan drie 'soorten' bestemmingen zijn (maïs, overig ruwvoer en marktbaar akkerbouwgewassen) en dat de KringloopWijzer dus slechts gegevens over de organische mestgift, de kunstmestgift en de oppervlakte van die drie bestemmingen nodig heeft. In werkelijkheid bestaat er in de huidige versie van de KringloopWijzer echter de mogelijkheid om de genoemde gegevens te verstrekken voor drie soorten maïsteelt (snijmaïs, MKS, CCM), vier soorten overige ruwvoergewassen (GPS van graan, luzerne, rode klaver en veldbonen) en ruim tien soorten marktbaar akkerbouwgewassen (zie Tabel 4.3). Op basis hiervan wordt een areaal-gewogen gemiddelde berekend.

De term Aan4 (N-binding door vlinderbloemigen, kg N per ha) wordt voor wat betreft de bijdrage van klaver in grasland geschat als het product van de geschatte hoeveelheid gegroeide drogestof (voor aftrek van veldverliezen) in de vorm van klaver (als % klaveraandeel in geoogste hoeveelheid gras plus klaver) en een veronderstelde binding van 45 kg N per ton drogestof in de vorm van klaver (Elgersma & Hassink, 1997; Schils, 2002). De hoeveelheid gegroeide drogestof in de vorm van grasklaver wordt gedefinieerd als het product van de kg DS per kg N in het gewas en de som van dat wat netto geoogst wordt en dat wat als veldverlies achtergebleven is: ton DS/ kg N x (Af1_{maigras} + Af1_{weide} + Af3_{maigras} + Af3_{weide}). Hierbij moet nog wel worden opgemerkt dat het hiervoor genoemde 'klaveraandeel' niet gelijk staat aan de visueel geschatte 'klaverbezetting' (percentage bedekking) in

gras-klaverbestanden. De relatie tussen beide bedraagt globaal: klaveraandeel/klaverbezetting = 0,82 (Schils *et al.*, 2001).

Voor wat betreft veldbonen en luzerne wordt de bijdrage aan de N-binding geschat op, respectievelijk, 100 en 300 kg N per hectare per jaar. Voor vlinderbloemige groenbemesters wordt een forfaitaire bijdrage van 60 kg N per hectare per jaar aangehouden, aannemende dat vlinderbloemigen 20 kg N per ton drogestof binden en vlinderbloemige groenbemesters 3 ton drogestof per hectare produceren (Schröder *et al.*, 1997; Schröder *et al.*, 2003).

De term Aan5 (N-depositie) bedraagt op landelijk niveau gemiddeld circa 21 kg N per ha per jaar (Anonymus, 2009) maar varieert van 17 (Friesland) tot 24 (Noord Brabant, Zeeland) kg N per ha per jaar (Tabel 4.2). In de KLW wordt gebruikt gemaakt van provinciale waarden.

Tabel 4.2 Gemiddelde N-depositiewaarden per provincie (waarden 2021) zoals gehanteerd in de KLW (Bron: www.clo.nl).

| | mol/ha/jr | Kg N/ha/jr |
|---------------|-----------|------------|
| Nederland | 1491 | 21 |
| Groningen | 1299 | 18 |
| Friesland | 1206 | 17 |
| Drenthe | 1357 | 19 |
| Overijssel | 1441 | 20 |
| Gelderland | 1545 | 22 |
| Utrecht | 1517 | 21 |
| Noord-Holland | 1379 | 19 |
| Zuid-Holland | 1543 | 22 |
| Zeeland | 1742 | 24 |
| Brabant | 1736 | 24 |
| Limburg | 1573 | 22 |

De term Aan6 (cumulatieve nalevering van beweidings-, maai- en oogstverliezen van voorgaande jaren) wordt voor het grasland (Aan6_{grasland}, kg N/ha) gedefinieerd als de som van de beweidings- en maaiverliezen (Af3_{maai}gras + Af3_{weide}, kg N/ha), voor maïsland (Aan6_{maïsland}, kg N/ha) en overig ruwvoerland (Aan6_{overigruwvoer}, kg N/ha) als de oogstverliezen van die gewasgroepen. De beweidingsverliezen worden gesteld op 15-20% van de N-opbrengst van weidesnedes (zie Tabel 1.1) en de maaiverliezen van gras en luzerne ('maaien, schudden, wiersen, laden') op 5% van de N-opbrengst van maaisnedes. De oogstverliezen van maïsland ('hakselen, laden') worden gesteld op 2% van de N-opbrengst. Voor andere ruwvoergewassen dan gras, luzerne en maïs, en voor marktbaar akkerbouwgewassen worden vooralsnog geen oogstverliezen verondersteld.

Elders in deze paragraaf wordt toegelicht hoe bovenstaande N-opbrengsten worden afgeleid. Formeel is het bovenstaande uitgangspunt dat Aan6 gelijk is aan de oogst-, maai- en beweidingsverliezen niet correct omdat in het kader van BEA plus (paragraaf 3.2.11) wordt aangenomen dat een deel van genoemde verliezen plaatsvindt in de vorm van ammoniak. In theorie moeten deze ammoniakverliezen in mindering gebracht worden op Aan6. Omdat het een kruispost betreft en de term geen deel uitmaakt van de teller en noemer van benuttingsberekeningen, is het effect op KringloopWijzer-uitkomsten nihil.

De term Aan7 (gewasresten) worden voor grasland (Aan7_{grasland}) gesteld op 75 kg N/ha (Velthof & Oenema, 2001). Aangenomen wordt dat tegenover deze aanvoerpost in blijvend grasland jaarlijks een even grote afvoer staat (zie term afvoerterm Af4, later in deze paragraaf). Voor maïsland (snijmaïs, MKS en CCM) (Aan7_{maïsland}) wordt de waarde van deze jaarlijkse aanvoerpost, voor zover het wortels en stoppels betreft, op 15 kg N/ha gesteld (Schröder *et al.*, 2016). Overigens staat tegenover deze aanvoerpost, ongeacht de waarde, bij continueelt van maïs een even grote afvoerpost (Af4). Bij de nalevering vanuit beweidings-, maai- en oogstverliezen (Aan6) en gewasresten (Aan7) wordt bij

grasland en maïsland (snijmaïs, MKS en CCM) aangenomen dat deze N-aanvoerposten ten goede komen aan de gewassen van waaruit ze afkomstig zijn. Dat dat in een wisselbouwsituatie niet in iedere fase van de rotatie het geval is, wordt vooralsnog genegeerd.

Bij een aantal gewas(groepen) kan het restplant-materiaal op het eigen bedrijf worden gebruikt als veevoer of beddingmaterial of worden verkocht. We spreken dan van bijproducten. Het gaat bijvoorbeeld om stro van MKS,CCM en graan- en zaadgewassen en bietenloof. De hoeveelheden bijproduct en de N- en P_2O_5 -gehalten in zowel hoofd- als bijproduct zijn weergegeven in Tabel 4.3. De waarden zijn afkomstig uit het Handboek Bodem en Bemesting (www.handboekbodemenbemesting.nl). Voor de grote akkerbouwgewassen zijn de N- en P_2O_5 -gehalten recentelijk geactualiseerd (De Ruijter *et al.*, 2020).

Naast bijproducten zijn er nog de overige boven- en ondergrondse gewasresten. De hoeveelheden N hierin zijn eveneens weergegeven in Tabel 4.3.

Ook bij de gewassen geldt dat tegenover de aanvoer een even grote afvoer staat. In de KringloopWijzer wordt in eerste instantie niet de grootte van de aanvoerterm (Aan7) gewasspecifiek berekend maar de afvoerterm (Af4). De afvoer is namelijk gewasspecifiek te maken terwijl de aanvoerterm niet bepaald wordt door het gewas zelf maar door het (de) gewas(sen) die er aan voorafgaan. Omdat niet bekend is wat de gewasopvolging precies is, wordt een areaalgewogen gemiddelde waarde van Af4 berekend waarna de waarde van Aan7 vervolgens voor alle niet-maïs ruwvoedergewassen en marktbaar akkerbouwgewassen tezamen aan die gemiddelde waarde van Af4 gelijkgesteld wordt.

Tabel 4.3 Gehalten in hoofdproduct en bijproduct bij gegeven drogestofgehalte (kg per ton vers) van diverse akkerbouwmatige ruwvoedergewassen en marktbaar akkerbouwgewassen, alsmede de geschatte hoeveelheden N als gewasresten achterblijven in de vorm van (niet-afgevoerde en daarom ongewogen) bijproducten (kg per ha) en in de vorm van (o.b.v. hoofdopbrengst geschatte) wortel- en stoppelresten (kg N per ha), (Schröder et al., 2015; De Ruijter et al., 2020; www.handboekbodemembemesting.nl).

| Gewas | Hoofdproduct (kg/ton vers) | | | Bijproduct (kg/ton vers) | | | Gewasrest | | |
|---|-------------------------------|------|-------------------------------|-----------------------------|-----|-------------------------------|------------------------------------|---|--------|
| | DS | N | P ₂ O ₅ | DS | N | P ₂ O ₅ | Bij- product Ton vers /ha | Overige boven- en ondergrondse gewasresten ¹ | |
| | | | | | | | | Min, Max | Factor |
| | | | | | | | | Kg N/ha | |
| GPS-granen | 550 | 8,9 | 3,8 | - | - | - | - | 10, 30 | 0,25 |
| Luzerne | 160 | 5,8 | 1,5 | - | - | - | - | 10, 225 | 0,55 |
| Rode klaver | 160 | 5,8 | 1,4 | - | - | - | - | 10, 225 | 0,55 |
| Bieten | 230 | 1,1 | 0,7 | 160 | 3,4 | 0,7 | 34,5 | 10, 10 | 1,06 |
| Maïs (MKS, CCM) | 550 | 9,3 | 4,4 | 840 | 2,2 | 0,5 | 18,8 | 15, 15 | n.v.t. |
| Graangewassen (gebaseerd op wintertarwe) | 850 | 16,6 | 7 | 875 | 3,7 | 1,2 | 4 | 10, 30 | 0,62 |
| Zaadgewassen-overig (gebaseerd op koolzaad) | 840 | 35 | 15,9 | 840 | 6 | 3 | 3 | 10, 30 | 0,25 |
| Graszaad | 830 | 21 | 10,2 | 830 | 7,2 | 3,7 | 3 | 10, 40 | 1,27 |
| Peulvruchten (gebaseerd op veldbonen) | 840 | 40 | 13,6 | 840 | 21 | 4,6 | 3 | 10, 30 | 0,17 |
| Aardappelen | 240 | 3,3 | 0,9 | - | - | - | - | 10, 60 | 0,36 |
| Pootgoed | 180 | 2,5 | 1,1 | - | - | - | - | 10, 100 | 1,6 |
| Uien en bloembollen | 125 | 1,8 | 0,8 | - | - | - | - | 10, 20 | 0,17 |
| Bladgroenten (gem van sla en kool) | 75 | 2 | 0,7 | - | - | - | - | 10, 90 | 0,81 |
| Niet-bladgroenten (gem van peen en witlof) | 105 | 1,9 | 1 | - | - | - | - | 10, 70 | 0,50 |
| Overig | 1000 | 5 | 1,0 | - | - | - | - | 10, 20 | 0,3 |
| Vanggewas na maïs | | | | | | | 40 | | |
| Niet-vlinderbloemig vanggewas na akkerbouwgewas | | | | | | | 50 | | |
| Vlinderbloemig vanggewas na akkerbouwgewas | | | | | | | 60 | | |

• Volgens: N in boven- en ondergrondse gewasresten = MIN(Max, (MAX(Min, (factor x N in hoofdproduct))))

De waarde die aan de term Aan8 (vanggewassen en groenbemesters) wordt toegekend bedraagt 40 kg N/ha voor (onbemeste) vanggewassen (met name geteeld na maïs), 50 kg N/ha voor niet-vlinderbloemige (bemeste) groenbemesters en 60 kg N/ha voor (onbemeste) vlinderbloemige groenbemesters.

De waarde die aan de term Aan9 (veenmineralisatie) wordt toegekend bedraagt 235 kg N per ha (Kuikman et al., 2005) voor. Als slechts een deel van het bedrijf uit veengrond bestaat, wordt de veenmineralisatie evenredig gereduceerd.

De term Aan10 heeft betrekking op de aanvoer van N op bouwland uit gescheurd grasland. Dat betekent dat Aan10 = 0 bij grasland in continueelt, grasland in wisselbouw en bouwland in continueelt. Bij bouwland in wisselbouw is de waarde voor Aan10 afgeleid uit de N-naleveringsadviezen zoals die zijn weergegeven in het bemestingsadvies (www.bemestingsadvies.nl). De waarde hangt af van de duur van voorafgaande graslandfase en de duur van de bouwlandfase (Tabel 4.4). Voor verdere details van de berekening van Aan10 wordt verwezen naar Bijlage 8.

Tabel 4.4 Waarden voor Aan10 (kg N per ha) in relatie tot duur van de voorafgaande grasperiode en de duur van de bouwlandperiode in de wisselbouw (jaren)¹.

| Duur bouwlandperiode ² (Jaren) | Duur graslandperiode (jaren) | | | | |
|--|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | ≥ 5 |
| 1 | 117 | 167 | 200 | 200 | 225 |
| 2 | 58 | 83 | 125 | 125 | 138 |
| 3 | 39 | 56 | 100 | 100 | 108 |
| 4 | 29 | 42 | 75 | 75 | 81 |
| 5 | 23 | 33 | 60 | 60 | 65 |
| 6 | 19 | 28 | 50 | 50 | 54 |
| 7 | 17 | 24 | 43 | 43 | 46 |
| 8 | 15 | 21 | 38 | 38 | 41 |
| 9 | 13 | 19 | 33 | 33 | 36 |
| 10 | 12 | 17 | 30 | 30 | 33 |

¹ bij tussenliggende waarden voor duur grasland en duur bouwland wordt via interpolatie de waarde afgeleid.

² weergegeven voor een duur tot 10 jaar bouwland, maar kan bij ouder bouwland ook worden uitgerekend

De gemiddelde duur van de bouwlandfase wordt berekend als:

$$\text{Duur bouwlandfase} = \text{areaal wisselbouwland} > 1 \text{ jaar} / \text{areaal 1}^{\text{e}} \text{ jaars bouwland}$$

Indien er geen 1^e jaars bouwland is, is de berekening als volgt:

$$\text{Duur bouwlandfase} = (\text{areaal 1e jaars bouwland} + 2,5 * \text{areaal bouwland} > 1 \text{ jaar}) / \text{areaal wisselbouwland}$$

De gemiddelde duur van de graslandfase wordt berekend via:

$$\text{Duur graslandfase} = \text{duur bouwlandfase} * (\text{areaal wisselgrasland} / \text{areaal wisselbouwland})$$

De term Aan11 heeft betrekking op de aanvoer van stikstof en fosfaat door excretie van grazende ganzen en wordt geschat als de totale excretie van de ganzen (N_{egT} , P_{egT}) vermenigvuldigd met het deel hiervan dat op de begraasde percelen zal zijn uitgescheiden. Dit deel wordt geschat op basis van het gedrag van de ganzen. De ganzen vliegen met een lege maag vanuit rustgebieden (op water) naar de te begrazen percelen en beginnen direct te grazen. Twee uur na het aanvliegen, komt de excretie op gang. Het grazen gaat door totdat de dieren naar een rustgebied terugvliegen. In dat rustgebied wordt het laatst opgenomen voer, na vertering, nog uitgescheiden. Een richtgetal voor zowel de begrazingstijd per dag als de excretie is 10 uur. Maar de excretie loopt 2 uur achter op het opnemen. Opname op de begraasde percelen duurt dus 10 uur en excretie op de begraasde percelen vindt dagelijks dus plaats gedurende 8 uur. Het deel van de totale excretie die op het begraasde perceel wordt uitgescheiden kan dus geschat worden op 0,8. De totale excretie wordt afgeleid van de balans tussen opname en uitscheiding zoals die is vastgesteld in houderijsystemen. Hierbij zijn de waarden gebruikt voor de diergroep die het meest representatief is voor ganzen in het wild: ouderdieren van eenden. De uitscheiding van stikstof voor deze diergroep bedraagt 84% van de opname, voor fosfaat is dit 80% (De Buisonjé *et al.*, 2009).

De grasopname (als drogestof) door ganzen wordt, boven een bepaalde schadedrempel, bepaald door taxatie. Omrekening van opname droge stof naar N- en P-opname (NOP_{gans}) geschiedt via het N- en P-gehalte in weidegras (zie onderdeel BEX). De ganzenmest-excreties N_{egT} en P_{egT} worden vervolgens berekend als:

$$N_{egT} = \text{N-opname} * 84\% * 0,8$$

$$P_{egT} = \text{P-opname} * 80\% * 0,8$$

Afvoerposten

Elders in deze paragraaf wordt toegelicht hoe de term Af1 (geogst van eigen land, inclusief vraat door ganzen) wordt berekend.

De term Af2 (ammoniakverliezen bij beweiding, uit mest en kunstmest, uit gewassen te velde) wordt ontleend aan het onderdeel BEA (hoofdstuk 3). De term Af3 (beweidings-, maai- en oogstverliezen) is een kruispost die gelijk is aan term Aan6. Het is een kruispost in de zin dat de waarde van Aan6 gebaseerd is op de berekende waarde van Af3. De redenering hierbij is dat de aanvoerpost alleen in stand gehouden kan worden door een vergelijkbare (jaarlijkse) investering in de bodemvoorraad, vergelijkbaar met de kruisposten Aan0 en Af0. Vanuit dezelfde gedachtegang is de term Af4 (gewasresten) gelijk is aan Aan7. De term Af5 (vanggewassen) is, zoals hierboven uitgewerkt, gesteld op 40-60 kg N per ha en is alleen aan de orde bij bouwland.

De term Af6 heeft betrekking op de opbouw van N onder het grasland in de wisselbouw dat na een bouwlandperiode wordt ingezaaid en wordt als volgt berekend:

$$Af6 = Aan10 * (\text{areaal wisselbouwland/areaal wisselgrasland})$$

Voor berekening Aan10 wordt verwezen naar paragraaf hiervoor over de aanvoerposten. De berekening van de posten Aan10 en Af6 is zodanig dat er op het niveau van de wisselbouw geen toe- of afname plaatsvindt van N in de bodem.

Geogst van eigen land

De term Af1 (geogst van eigen land via 'bek' of 'over de dam' (dus na aftrek van beweidings-, maai- en oogstverliezen maar voor aftrek van conserverings- en vervoederingsverliezen), of geogst om het bedrijf via het erf te verlaten als een te verkopen bouwlandgewas, kg N/ha), wordt als volgt berekend. Voor de gewassen die op het bedrijf zelf gebruikt worden ('ruwvoer') wordt Af1 berekend op basis van de bij het onderdeel BEP opgegeven hoeveelheid opgenomen ruwvoer (na omrekening op basis van N/P verhoudingen) in de vorm van weidegras (NOP_{weide} , kg N), kuilgras of via stalvoeding vers vervoerd gras ($NOP_{maigras}$, kg N), maïskuil ($NOP_{maïskuil}$, kg N) en vraat door ganzen (NOP_{gans} , kg N; voor de berekening, zie voorgaande tekst in deze paragraaf). Hierbij geldt voor de afvoer in de vorm van weidegras ($Af1_{weide}$) en de beweidingsverliezen ($Af3_{weide}$):

$$Af1_{weide} = (NOP_{weide} + NOP_{gans}) / GO,$$

met GO (ha) = totale graslandoppervlakte.

De gegroeide (bovengronds, exclusief stoppel) hoeveelheid gras in de vorm van weidegras (kg N/ha) ($Af1_{weide} + Af3_{weide}$), is gelijk aan:

$$Af1_{weide} + Af3_{weide} = Af1_{weide} \times (100 / (100 - \text{beweidingsverlies}))$$

met beweidingsverliezen in procenten, volgens Tabel 1.1.

Bij vervoeding van vers gras en kuilgras is de berekening van wat gegroeid is op basis van wat geacht wordt te zijn opgenomen, ingewikkelder omdat dan naast veldverliezen ook vervoederingsverliezen en, eventueel, conserveringsverliezen zullen optreden. Bovendien moet de aankoop en voorraadvorming van ruwvoer verrekend worden.

Voor de opgenomen hoeveelheid gemaaid gras (stalvoeding en kuil) (kg N) van eigen land ($NOP_{maigras_eigenland}$) geldt:

$$NOP_{maigras_eigenland} = (NOP_{maigras} - NOP_{maigras_aangekocht})$$

waarbij $NOP_{maigras}$ de totale hoeveelheid opgenomen vers gevoerd en ingekuuld gras is van zowel aangekocht als op eigen land geteeld gras, en $NOP_{maigras_aangekocht}$ de in het desbetreffende jaar opgenomen gras (stalvoeding en kuil) uit aankocht gras is (na correctie voor voorraadwijzigingen en vervoederingsverliezen van dat aangekochte gras):

$$NOP_{\text{maaisgras_aangekocht}} = (((\text{aangekochte vers gras N en kuilgras N} \times (100 - \text{conserveringsverlies}) / 100) - \Delta N_{\text{graskuil}}) \times (100 - \text{vervoederingsverlies}) / 100)$$

Het conserveringsverlies (in procenten volgens Tabel 1.1) verrekent dat ook aangekochte graskuil aan conserveringsverliezen blootstaat. De term $\Delta N_{\text{graskuil}}$ duidt op wijzigingen in de voorraad graskuil (positieve waarden wijzen op toename) in de voorbije 12 maanden. Het vervoederingsverlies (in procenten volgens Tabel 1.1) verrekent dat ook bij aangekocht vers gras of kuilgras vervoederingsverliezen optreden.

Uit $NOP_{\text{maaisgras_eigenland}}$ wordt vervolgens de aangeboden hoeveelheid vers gras en kuilgras (kg N) van eigen land ($NAAN_{\text{maaisgras_eigenland}}$) berekend:

$$NAAN_{\text{maaisgras_eigenland}} = NOP_{\text{maaisgras_eigenland}} / (100 - \text{vervoederingsverlies}) / 100$$

Vervolgens geldt voor de geoogste hoeveelheid gemaaid gras N (kg N) van eigen land ($NDAM_{\text{maaisgras}}$):

$$NDAM_{\text{maaisgras}} = NAAN_{\text{maaisgras_eigenland}} / ((100 - \text{conserveringsverlies}) / 100), \text{ waarbij verrekend dient te worden dat niet alle gras dat gemaaid wordt noodzakelijkerwijs ook geconserveerd hoeft te zijn geweest (nl. ingeval van stalvoeding).}$$

Hieruit valt $Af1_{\text{maaisgras}}$ af te leiden als:

$$Af1_{\text{maaisgras}} = NDAM_{\text{maaisgras}} / GO$$

Tenslotte is de (bovengronds, exclusief stoppel) gegroeide hoeveelheid gras in de vorm van vers gras (t.b.v. stalvoeding) of kuilgras (kg N/ha) van eigen land ($Af1_{\text{maaisgras}} + Af3_{\text{maaisgras}}$), gelijk aan:

$$Af1_{\text{maaisgras}} + Af3_{\text{maaisgras}} = Af1_{\text{maaisgras}} \times (100 / (100 - \text{maaiiverlies}))$$

De bovenstaande berekening van AF1 voor grasland wordt afzonderlijk uitgevoerd voor productiegasland en natuurgasland.

Op vergelijkbare wijze geldt voor de maïskuil:

Voor de opgenomen hoeveelheid maïs (kg N) van eigen land ($NOP_{\text{maïs_eigenland}}$) geldt:

$$NOP_{\text{maïs_eigenland}} = (NOP_{\text{maïs}} - NOP_{\text{maïs_aangekocht}})$$

waarbij $NOP_{\text{maïs}}$ de totale hoeveelheid opgenomen maïs is van zowel aangekocht als op eigen land geteelde maïs (snijmaïs, MKS en CCM), en $NOP_{\text{maïs_aangekocht}}$ de in het desbetreffende jaar opgenomen maïs uit aangekochte maïs is (na correctie voor voorraadwijzigingen en vervoederingsverliezen van die aangekochte maïs):

$$NOP_{\text{maïs_aangekocht}} = (((\text{aangekochte maïs N} \times (100 - \text{conserveringsverlies}) / 100) - \Delta N_{\text{maïskuil}}) \times (100 - \text{vervoederingsverlies}) / 100)$$

Het conserveringsverlies (in procenten volgens Tabel 1.1) verrekent dat ook aangekochte maïskuil aan conserveringsverliezen blootstaat. De term $\Delta N_{\text{maïskuil}}$ duidt op wijzigingen in de voorraad maïskuil (positieve waarden wijzen op toename) in de voorbije 12 maanden. Het vervoederingsverlies (in procenten volgens Tabel 1.1) verrekent dat ook bij aangekochte maïs vervoederingsverliezen optreden.

Uit $NOP_{\text{maïs_eigenland}}$ wordt vervolgens de aangeboden hoeveelheid maïs (kg N) van eigen land ($NAAN_{\text{maïs_eigenland}}$) berekend:

$$NAAN_{\text{maïs_eigenland}} = NOP_{\text{maïs_eigenland}} / (100 - \text{vervoederingsverlies}) / 100$$

Vervolgens geldt voor de geogste hoeveelheid maïs N (kg N) van eigen land ($NDAM_{\text{maïs}}$):

$$NDAM_{\text{maïs}} = NAAN_{\text{maïs_eigenland}} / ((100 - \text{conserveringsverlies}) / 100).$$

Hieruit valt $Af1_{\text{maïs}}$ af te leiden als:

$$Af1_{\text{maïs}} = NDAM_{\text{maïs}} / SO,$$

met SO = totale oppervlakte (ha) maïsland (snijmaïs, MKS en CCM)_{maïs}. Tenslotte is de (bovengronds, exclusief stoppel) gegroeide hoeveelheid maïs (kg N/ha) van eigen land ($Af1_{\text{maïs}} + Af3_{\text{maïs}}$), gelijk aan:

$$Af1_{\text{maïs}} + Af3_{\text{maïs}} = Af1_{\text{maïs}} \times (100 / (100 - \text{oogstverlies})) \text{ met oogstverlies (\%)} \text{ als vermeld in Tabel 1.1.}$$

Op vergelijkbare wijze geldt voor het overige ruwvoer:

Voor de opgenomen hoeveelheid overig ruwvoer (kg N) van eigen land ($NOP_{\text{overigruwvoer eigenland}}$) geldt:

$$NOP_{\text{overigruwvoer eigenland}} = (NOP_{\text{overigruwvoer}} - NOP_{\text{overigruwvoer aangekocht}})$$

waarbij $NOP_{\text{overigruwvoer}}$ de totale hoeveelheid opgenomen ruwvoer is van zowel aangekocht als op eigen land geteeld ruwvoer, en $NOP_{\text{overigruwvoer aangekocht}}$ de in het desbetreffende jaar opgenomen ruwvoer uit aangekochte ruwvoer is (na correctie voor voorraadwijzigingen en vervoederingsverliezen van dat aangekochte ruwvoer):

$$NOP_{\text{overigruwvoer aangekocht}} = (((N \text{ in aangekocht overig ruwvoer} \times (100 - \text{conserveringsverlies}) / 100) - \Delta N_{\text{kuil van overig ruwvoer}}) \times (100 - \text{vervoederingsverlies}) / 100)$$

Het conserveringsverlies (in procenten volgens Tabel 1.1) verrekent dat ook aangekocht overig ruwvoer aan conserveringsverliezen blootstaat. De term ΔN kuil van overig ruwvoer duidt op wijzigingen in de voorraad van dit soort kuilvoer (positieve waarden wijzen op toename) in de voorbije 12 maanden. Het vervoederingsverlies (in procenten volgens Tabel 1.1) verrekent dat ook bij aangekocht ruwvoer vervoederingsverliezen optreden.

Uit $NOP_{\text{overigruwvoer eigenland}}$ wordt vervolgens de aangeboden hoeveelheid overig ruwvoer (kg N) van eigen land ($NAAN_{\text{overigruwvoer eigenland}}$) berekend:

$$NAAN_{\text{overigruwvoer eigenland}} = NOP_{\text{overigruwvoer eigenland}} / (100 - \text{vervoederingsverlies}) / 100$$

Vervolgens geldt voor de geogste hoeveelheid overig ruwvoer N (kg N) van eigen land ($NDAM_{\text{overigruwvoer}}$):

$$NDAM_{\text{overigruwvoer}} = NAAN_{\text{overigruwvoer eigenland}} / ((100 - \text{conserveringsverlies}) / 100).$$

Hieruit valt $Af1_{\text{overigruwvoer}}$ af te leiden als:

$$Af1_{\text{overigruwvoer}} = NDAM_{\text{overruwvoer}} / ORO$$

Tenslotte is de (bovengronds, exclusief stoppel) gegroeide hoeveelheid overig ruwvoer (kg N/ha) van eigen land ($Af1_{\text{overruwvoer}} + Af3_{\text{overruwvoer}}$), gelijk aan:

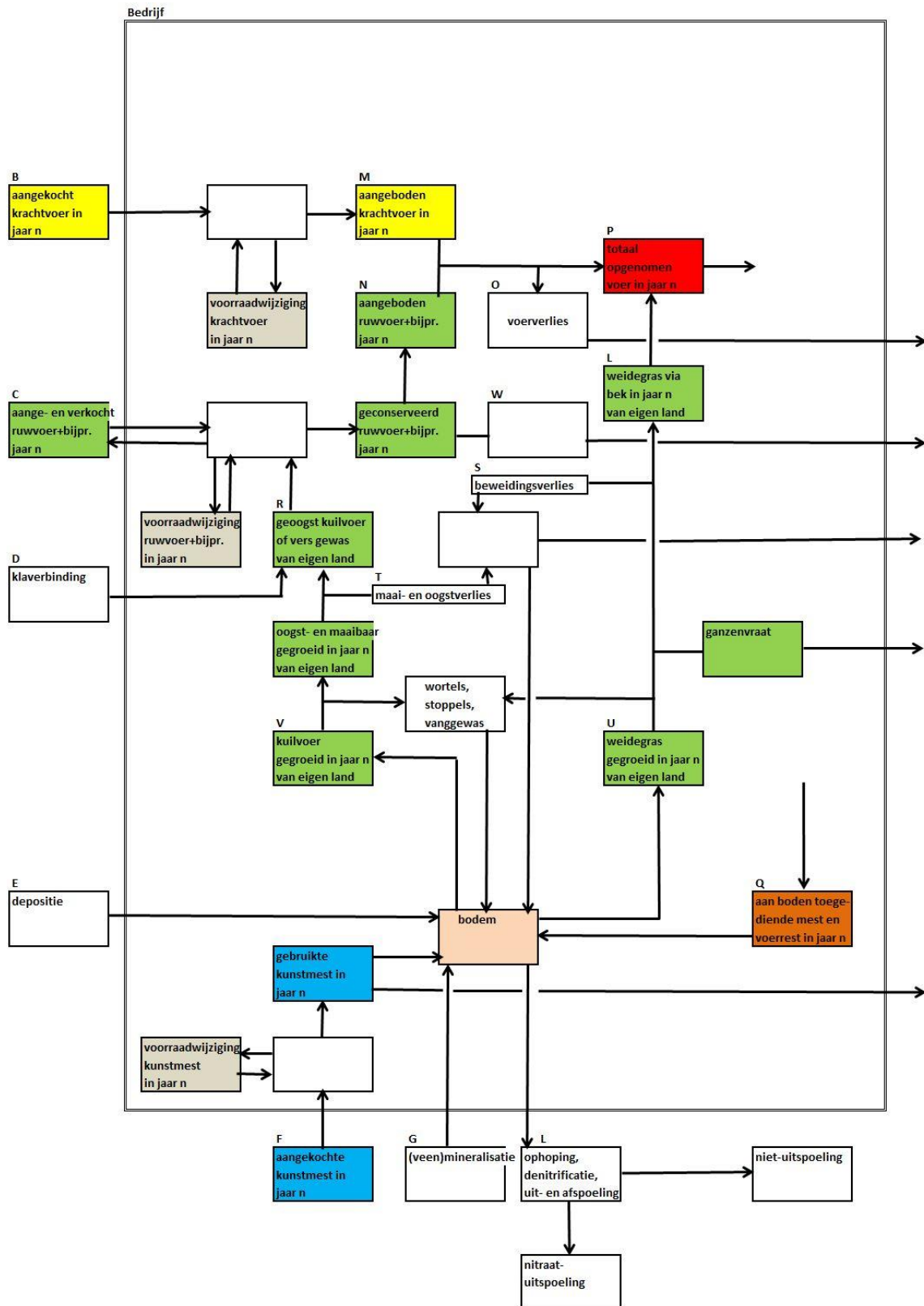
$Af1_{\text{overruwvoer}} + Af3_{\text{overruwvoer}} = Af1_{\text{overruwvoer}} \times (100 / (100 - \text{oogstverlies}))$ met oogstverlies (%) als vermeld in Tabel 1.1.

De huidige KringloopWijzer kan ook omgaan met melkveebedrijven die een tak akkerbouw hebben waarvan de oogst vermarkt wordt. Daartoe moet de N-afvoer van marktbaar producten ($Af1_{\text{marktakkerbouw}}$, kg N/ha) berekend worden. Dit gebeurt door het opvragen van het aantal hectares van de in Tabel 4.3 genoemde akkerbouwgewassen en de gemiddelde opbrengst van die gewassen in het desbetreffende jaar. Tenslotte wordt de N-afvoer berekend door de opbrengsten te vermenigvuldigen met gewasspecifieke verstekwaarden zoals vermeld in Tabel 4.2. Voor akkerbouwgewassen die niet in de tabel voorkomen, wordt aangenomen dat deze een verstekafvoer van 150 kg N/ha hebben. Dit cijfer is gebaseerd op de gemiddelde forfaitaire afvoer van een bouwplan dat bestaat uit 25% wintertarwe, 25% consumptieaardappelen, 25% suikerbieten en vijf maal 5% van de gewassen zomergerst, zomertarwe, graszaad, korrelmaïs en zaaiuien, elk met veronderstelde gemiddelde opbrengsten zoals vermeld door het CBS voor de periode 2009-2013 waarbij alleen de hoofdproducten geacht worden te zijn afgevoerd. Aldus:

$$Af1_{\text{marktakkerbouw}} \text{ (kg N/ha)} = \left(\sum_n \left[BOn \times ((YHn \times CNHn) + (YBn \times CNBn)) \right] \right) / AMO ,$$

Met BOn = oppervlakte bouwland met gewas n (ha), YHn = opbrengst van hoofdproduct van gewas n (ton vers/ha), YBn = opbrengst van afgevoerd bijproduct van gewas n (ton vers/ha), $CNHn$ = N gehalte van hoofdproduct (kg N/ton vers), $CNBn$ = N gehalte van bijproduct (kg N/ton vers) en AMO = totale oppervlakte (ha) aan oppervlakte van marktbaar akkerbouwgewassen.

Figuur 4.1 geeft een samenvattend stroomschema. Dit stroomschema beperkt zich tot de teelten die op het bedrijf zelf worden verwerkt door het vee (weidegras, kuilgras, maïs en overig ruwvoer) of onverhoopt worden gegeten door ganzen. De volledige afvoer ($Af1$) dient op sommige bedrijven ook nog aangevuld te worden met de nutriënten die volgens opgave in de vorm van akkerbouwteelten worden afgevoerd.



Figuur 4.1 Nutriëntenstromen betrokken bij de berekening van het bodem-N overschot (en eventueel nitraatconcentratie in ontvangend water) op basis van de geschatte voer-N opname voor gespecialiseerde melkveebedrijven zonder akkerbouwtaak.

Voor/nateelten

Soms wordt voorafgaand aan de maïs of na de oogst van een vroeg geogst gewas (zoals graan) nog één of enkele sneden gras geogst. Ook kan het zijn dat na de maïs gras wordt gezaaid als vanggewas en in het daaropvolgende voorjaar nog een snede wordt geogst. Ook kan er een tweede akkerbouwteelt plaatsvinden (bijvoorbeeld een slateelt na wintertarwe).

Deze voor- en nateelten vinden plaats op percelen waarop doorgaans een ander gewas als hoofdteelt is opgegeven bij de gecombineerde opgave. In de K LW werden de opbrengsten van deze voor- en nateelten tot nu toe toegerekend aan het areaal hoofdgewas dat bij de gecombineerde opgave is opgegeven. Wanneer de voor- en nateelten in een andere gewasgroep vallen dan die bij de gecombineerde opgave (grasland, snijmaïs, akkerbouw) geeft dit afwijkingen bij de berekening van bepaalde kengetallen. Bij bijvoorbeeld gras als voorteelt voor snijmaïs wordt de drogestof-, N- en P₂O₅-opbrengst van de voorteelt toegerekend aan het areaal grasland (volgens gecombineerde opgave). Hierdoor wordt de drogestof-, N- en P₂O₅-opbrengst van de graslandpercelen overschat en die van het maïspaneel waarop de voor/nagewassen zijn geteeld onderschat. Hierdoor gaan ook de N- en P₂O₅-overschotten op gewasniveau afwijken van de werkelijke situatie. Overigens wordt de berekening van de N- en P₂O₅-overschotten op bedrijfsniveau hierdoor niet beïnvloed. Daarnaast zijn er ook kengetallen, zoals nitraatuitspoeling en de lachgasemissie, die berekend worden op basis van de N-overschotten op gewasniveau. In dat geval gaat ook de bedrijfswaarde afwijken.

Vanaf de 2021-versie van de K LW is het mogelijk opbrengsten van voor- en nateelten (alszijnde gras- en snijmaïsteelt) apart in te voeren bij de hoofdgewasgroepen grasland, snijmaïs en akkerbouw. De opbrengst van een akkerbouwgewas als voor- en nateelt op grasland en/of snijmaïsgrond wordt verdeeld obv de opgegeven teeltarealen van het betreffende gewas. Voor luzerne en rode klaver als voor- en nateelt wordt ¼ van de opbrengst (alszijnde 1 snede) aan de hoofdgewasgroep toegerekend. De invoer is hierop afgestemd en het extra geoogste gewas zal onderdeel gaan uitmaken van de hoofdteelt van het betreffende perceel. Ook de bemesting met organische mest en kunstmest kan apart worden opgegeven. De opbrengsten per gewas, maar ook de overschotten per gewas, zullen hierdoor beter overeenkomen met de werkelijkheid.

Benutting

Het hiervoor besprokene heeft betrekking op de (on)balans van N-aanvoer en N-afvoer van de bodembalans. De N-benutting in dit deel van de kringloop (N-benutting_{bodem}) is gelijk aan de fractie van de N-aanvoer (volgens de binnen de KringloopWijzer gehanteerde conventie na aftrek van ammoniakverliezen bij beweiding en toediening van (kunst)mest) die tot benutbare N-afvoer leidt (afvoer 'via bek of dam en/of erf', inclusief vraat door ganzen). Daarbij dienen verder keuzes gemaakt te worden aangaande het al dan niet opnemen van kruisposten (N_{min} voorjaar, beweidings-, maai- en oogstverliezen, gewasresten, vanggewassen, vastlegging van N ín en vrijkomen van N uit grasland in wisselbouw) in teller en noemer. Dat geldt ook voor de wijze waarop met de termen Aan5 (N-depositie) en Af2 (ammoniakverliezen) moet worden omgegaan: op een hoger schaalniveau zijn ook dit kruisposten omdat er zonder ammoniakemissie geen ammoniakdepositie kan bestaan.

Daar staat tegenover dat de N-aanvoer via depositie niet onder invloed staat van een individuele KringloopWijzer-deelnemer en één en ander zich niet uitsluitend binnen de bedrijfsgrenzen afspeelt. Dat geldt indirect ook voor Aan9 (veenmineralisatie). Deze term is weliswaar niet zonder meer beïnvloedbaar door een individuele KringloopWijzer-deelnemer maar is net als depositie, tot op zekere hoogte wel een gevolg gezamenlijk genomen landbouwkundige beslissingen. Dit alles overwegende definieert de KringloopWijzer de N-benutting in het compartiment bodem als:

$$N\text{-benutting}_{\text{bodem}} = (Af1 + Af3) / (Aan1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 9 + 11 - Af2)$$

4.2.1.2 Berekening N-uitspoeling

De hoeveelheid uitgespoelde N wordt berekend via het N-bodemoverschot. De factor die die het N-bodemoverschot (kg N/ha) met de N-concentratie (mg N/l) verbindt, is opgebouwd uit een zogenaamde uitspoelfractie (UF (kg N/kg N), het deel van het N-bodemoverschot dat daadwerkelijk uitspoelt en niet 'onderweg' wordt omgezet in gasvormige verbindingen zoals N₂, N₂O en NO_x) en het neerslagoverschot (NO (mm = 10000 x liter/ha), dat wil zeggen de hoeveelheid water waarin de uitgespoelde N wordt opgelost), volgens:

$$N\text{-concentratie (mg N/l)} = N\text{-bodemoverschot (kg N/ha)} \times UF \text{ (kg N/kg N)} / (100 \times NO \text{ (mm)})$$

Uit het LMM blijkt dat UF en NO afhankelijk zijn van het grondgebruik (grasland, bouwland) en van de grondsoort (Tabel 4.5). Voorts geeft de desbetreffende tabel aan dat er tussen jaren aanmerkelijke

verschillen bestaan in de waarden van de uitspoelfractie en het neerslagoverschot. De waarden voor UF en NO zijn afgeleid van de relaties tussen het N-bodemoverschot en het gemeten nitraatgehalte, zoals die tussen beide gevonden wordt bij deelnemers aan het LMM, het Landelijke Meetnet effecten Mestbeleid, van RIVM en WEcR-Wageningen UR (http://www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk_Meetnet_effecten_Mestbeleid).

De hoeveelheid uitgespoelde N (N-bodemoverschot * UF) wordt mede gebruikt voor de berekening van de indirecte N₂O-emissies uit de bodem (zie paragraaf 4.2.2.2).

Ten behoeve van BEN worden de N-bodemoverschotten van al het grasland, het maïsland, het land waarop overige ruwvoerders geteeld worden en het land waarop marktbaar akkerbouwgewassen geteeld worden, in eerste instantie afzonderlijk berekend. Op basis van de procentuele verdeling over de diverse grondsoorten van het grasland en bouwland (maïsland, overige ruwvoerders, marktbaar akkerbouwgewassen) worden de gewogen gemiddelde grondsoortspecifieke UF en het NO van het grasland en het bouwland afzonderlijk berekend en vervolgens de bijbehorende N-concentratie. Tenslotte wordt de areaal-gewogen gemiddelde N-concentratie van het bedrijf als geheel berekend.

Tabel 4.5 Uitspoelfractie UF en neerslagoverschot NO (Fraters et al., 2012).

| Grondsoort | Uitspoelfractie (95% b.t.b.h.i) | | Neerslagoverschot (10% en 90% percentiel) | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------|--|----------------|
| | Grasland | Bouwland | Grasland | Bouwland** |
| Veen | 0,05 (0,04-0,06) | 0,12 (0,09-0,14)* | 320 (264-379) | 381 (314-432)* |
| Klei | 0,11 (0,09-0,13) | 0,34 (0,25-0,43) | 311 (247-375) | 353 (294-420) |
| Nat zand (Gt IV) | 0,19 (0,16-0,22) | 0,39 (0,35-0,42) | 274 (221-319) | 358 (304-405) |
| Matig droog zand (Gt VI) | 0,29 (0,25-0,33) | 0,59 (0,53-0,64) | 280 (226-346) | 332 (297-387) |
| Droog zand (Gt VII) | 0,37 (0,32-0,42) | 0,75 (0,68-0,81) | 298 (245-362) | 332 (295-392) |

* Niet opgegeven in Fraters et al. (2012) maar geschat vanuit de verhouding van de waarden voor bouwland en gras bij de andere grondsoorten.

** Volgens Schröder et al. (2007) is het neerslagoverschot van snijmaïsland, afhankelijk van de grondsoort, maximaal 5% groter of kleiner dan dat van het overige bouwland; dit onderscheid is in de KringloopWijzer niet langer gemaakt.

4.2.2 Emissie van N₂O uit de bodem

In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de berekeningswijze van de gemiddelde jaarlijkse N₂O emissie uit de bodem van een landbouwbedrijf in Nederland. Deze emissie wordt in eerste instantie berekend in kg N₂O-N per bedrijf. De bodememissies vormen de grootste post. De overige bronnen van N₂O emissie van het bedrijf, te weten die uit mestopslagen, worden in paragraaf 4.2.3 behandeld.

Voor het berekenen van N₂O emissies uit de bodem worden de algemeen geaccepteerde 'Tier 1' rekenregels van het IPCC (2006) gebruikt. Waar mogelijk zijn de emissiefactoren van het eenvoudige 'Tier 1' schema van het IPCC vervangen door Nederlandse emissiefactoren zoals weergegeven in Van Bruggen et al. (2023) en Arets et al. (2023). Daarnaast zijn de berekeningen ook afgestemd op de specifieke bedrijfssituatie zoals aangegeven door de KringloopWijzer deelnemer (bedrijfsspecifieke N-stromen).

De rekenmethode van het IPCC schat de N₂O bodememissie als een fractie van een N-input in/naar de bodem. De totale berekeningsmethodiek bestaat dus uit het kwantificeren van de relevante N-stromen op het bedrijf en de bijbehorende emissiefactoren.

Bij de N₂O-bodememissies wordt onderscheid gemaakt in directe en indirecte bodememissies. Directe emissies vinden plaats op het bedrijf. Indirecte emissies hebben betrekking op emissies die niet binnen het bedrijf optreden maar wel een direct gevolg zijn van uit het bedrijf vervluchtigde en uit- en afgespoelde N.

4.2.2.1 Directe bodememissies

De direct N₂O-bodememissies bestaan uit emissies als gevolg van bemesting (gebruik van kunstmest en organische mest), emissies uit gewasresten en, in geval van veengrond, emissies als gevolg van veenafbraak. De emissiefactoren hangen af van het landgebruik (grasland of bouwland) en grondsoort (minerale of veengronden) (zie Tabel 4.6). Omdat de N inputs per grondsoort binnen een bepaald landgebruik (grasland, bouwland) niet bekend zijn, wordt een areaal gewogen gemiddelde emissiefactor uitgerekend voor zowel grasland als bouwland. De N₂O-bodememissie per eenheid N input wordt dan verkregen door de areaal gewogen emissiefactor voor grasland en bouwland te vermenigvuldigen met de gemiddelde N-input voor grasland en bouwland. Indien de verdeling van beide landgebruikstypen (grasland en bouwland) over minerale grond en veengrond niet bekend is, wordt de dominante grondsoort van het bedrijf gekozen.

Tot en met 2022 werd in de N₂O-emissieberekening ook achtergrondemissies meegerekend uit zowel minerale als veengronden. Omdat NEMA deze achtergrondemissies niet meeneemt en de KLW-berekeningen zo veel mogelijk aansluiten bij NEMA, is besloten deze emissies buiten de berekening te laten.

Hieronder wordt per N-input de berekening toegelicht. Bij grasland gaat het om het areaalgewogen gemiddelde van productiegroenland en natuurgrasland. Bij bouwland wordt onderscheid gemaakt tussen snijmaïs en overig bouwland.

Kunstmest

$$N_2O-Nem-km = GO * Aan3_{gras} * EF-km_{gras} + SO * Aan3_{snijmaïs} * EF-km_{snijmaïs} + OBO * Aan3_{obo} * EF-km_{obo}$$

Waarbij:

- GO/SO/OBO = oppervlak grasland/snijmaïsland/overig bouwland, ha
- Aan3_{gras/snijmaïs/obo} = N in kunstmest, kg per ha grasland, kg per ha snijmaïsland en kg per ha overig bouwland
- EF-km_{gras/snijmaïs/obo} = emissiefactor bij gebruik van kunstmest op grasland/snijmaïsland/overig bouwland, kg N₂O-N/kg N-km (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.6)

Dierlijke mest

Bij toediening van dierlijke mest wordt er onderscheid gemaakt tussen bovengrondse toediening (B) en emissiearme toediening (EA).

$$N_2O-Nem-dm = N_2O-Nem-dmB + N_2O-Nem-dmEA$$

$$N_2O-Nem-dmB = GO * Aan2a_{grasB} * EF-dm_{grasB} + SO * Aan2a_{snijmaïsB} * EF-dm_{snijmaïsB} + OBO * Aan2a_{oboB} * EF-dm_{oboB}$$

$$N_2O-Nem-dmEA = GO * Aan2a_{grasEA} * EF-dm_{grasEA} + SO * Aan2a_{snijmaïsEA} * EF-dm_{snijmaïsEA} + OBO * Aan2a_{oboEA} * EF-dm_{oboEA}$$

Waarbij:

- GO/SO/OBO = oppervlak grasland/snijmaïsland/overig bouwland, ha
- Aan2a_{grasB/snijmaïs/oboB} = N in bovengronds toegediende dierlijke mest, kg per ha grasland, kg per ha snijmaïsland en kg per ha bouwland
- Aan2a_{grasEA/snijmaïsEA/oboEA} = N in emissiearm toegediende dierlijke mest, kg per ha grasland, kg per ha snijmaïsland en kg per ha overig bouwland
- EF-dm_{grasB/snijmaïsB/oboB} = emissiefactor bij bovengronds toegediende dierlijke mest op grasland/snijmaïsland/overig bouwland, kg N₂O-N/kg N-dmB (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.6)
- EF-dm_{grasEA/snijmaïsEA/oboEA} = emissiefactor bij emissiearm toegediende dierlijke mest op grasland/snijmaïsland/overig bouwland, kg N₂O-N/kg N-dmEA (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.6)

Compost/champost

$$N_2O\text{-Nem-comp} = GO * Aan2b_{\text{gras}} * EF\text{-comp}_{\text{gras}} + BO * Aan2b_{\text{snijmaïs}} * EF\text{-comp}_{\text{snijmaïs}} + BO * Aan2b_{\text{obo}} * EF\text{-comp}_{\text{obo}}$$

Waarbij:

- $GO/SO/OBO$ = oppervlak grasland/snijmaïsland/overig bouwland, ha
- $Aan2b_{\text{gras/snijmaïs/obo}}$ = N in compost en champost, kg per ha grasland, kg per ha snijmaïsland en kg per ha overig bouwland
- $EF\text{-comp}_{\text{gras/snijmaïs/obo}}$ = emissiefactor bij gebruik van compost/champost op grasland/snijmaïsland/overig bouwland, kg $N_2O\text{-N}/\text{kg N-comp}$ (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.6)

Weidemest

De weidemest betreft de N-uitscheiding in de wei en deze bestaat uit weidemest uitgescheiden door het vee (Aan1) vermeerderd met de N die daaraan is toegevoegd in de vorm van ganzenmest (Aan11).

$$N_2O\text{-Nem-wm} = GO * (Aan1+Aan11) * EF\text{-wm}$$

Waarbij:

- GO = areaal grasland
- $Aan1/Aan11$ = N in weidemest/N-excretie ganzen (kg per ha grasland)
- $EF\text{-wm}$ = emissiefactor bij weidemest (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.6)

Gewasresten

In de IPCC 'Tier 1' rekenmethodologie vormt de N die in de bodem terecht komt via gewasresten op het veld ook een bron voor N_2O emissie. IPCC hanteert daarbij een aangepaste definitie van gewasresten; naast de wortel- en stoppelresten van het bouwland (Af4), omvatten gewasresten ook beweidings-, maai- en oogstverliezen van grasland en bouwland (Af3), alsmede groenbemesters/vanggewassen geteeld na bouwland-hoofddeelten (Af5). Voor de N_2O emissie die gekoppeld is aan gewasresten in de vorm van de wortel- en stoppelresten van grasland hanteert IPCC (2006) een andere berekeningsmethodiek. IPCC (2006) stelt namelijk dat '*The nitrogen residue from perennial forage crops is only accounted for during periodic pasture renewal, i.e. not necessarily on an annual basis as is the case with annual crops*'. Dit betekent dat het gemiddelde aantal hectares grasland dat jaarlijks gescheurd wordt, beschikbaar dient te zijn. Het gaat daarbij zowel om gescheurd grasland dat opnieuw wordt ingezaaid (herinzaai) als om gescheurd waarna een bouwlandperiode volgt.

Op grond van het bovenstaande wordt de N_2O emissie uit gewasresten geschat als:

$$N_2O\text{-Nem-gr} = N\text{-gr} * EF\text{-gr} + (GO\text{-WGO})_{\text{gescheurd}} * EH\text{-herinz}$$

Waarbij:

- $N\text{-gr} = GO * Aan6_{\text{grasland}} + SO * Af3_{\text{maïsland}} + ORO * Af3_{\text{overigruwvoer}} + BO * Af4_{\text{bouwland}} + SO * Af5_{\text{maïsland}} + (BO\text{-}SO) * Af5_{\text{niet-maïsland}} + WBO * Aan10$
- $EF\text{-herinz}$ = emissiefactor bij scheuren gras bij herinzaai: 5,5 kg $N_2O\text{-N}$ per ha gescheurd grasland
- $GO, BO, SO, ORO, WGO, WBO$ = oppervlakten van, respectievelijk, alle grasland, alle bouwland, maïsland (snijmaïs, CCM, MKS), overige akkerbouwmatige ruwvoeders, grasland in wisselbouw en bouwland in wisselbouw,
- $(GO\text{-}WGO)_{\text{gescheurd}}$ = oppervlak blijvend grasland, waarbij herinzaai plaatsvindt, ha
- $Aan6_{\text{grasland}} = Af3_{\text{maai-gras}} + Af3_{\text{weide}}$
- $Af4_{\text{bouwland}}$ = areaalgewogen gemiddelde van de gewasspecifieke gewasresten volgens Tabel 3.4,

- Af5_{niet-maisland} = areaalgewogen gemiddelde N-inhoud van groenbemesters op bouwland exclusief maisland in de vorm van braak (Af5 = 0), niet-vlinderbloemige groenbemester (Af5 = 50 kg N/ha) en vlinderbloemige groenbemester (Af5 = 60 kg N/ha),
- Aan10 = gemineraliseerde N uit gescheurd grasland in wisselbouw, kg per ha bouwland in wisselbouwdeel van het bedrijf,
- EF-gr = emissiefactor N uit gewasresten, kg N₂O-N per kg gewasrest-N (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.6).

Veengrond

In Nederland zorgt ontwatering van veengronden op melkveebedrijven voor een geleidelijke daling van de bodem en extra afbraak van de aanwezige bodemorganische stof, waarbij ook N vrijkomt. De N₂O emissie die verbonden is aan de veenmineralisatie, wordt als volgt geschat:

$$N_2O\text{-Nem-veen} = TO * \text{fractie veengrond in TO} * EF\text{-veen}$$

Waarbij:

- TO = totale bedrijfsoppervlak
- EF-veen = 4,7 kg N₂O-N per ha

Door vermenigvuldiging van de berekende N₂O-N emissies met 44/28 wordt de totale directe N₂O bedrijfsemisatie verkregen in kg N₂O per jaar.

Tabel 4.6 De in de KLW gehanteerde emissiefactoren voor N₂O-emissies uit de bodem, tenzij anders vermeld kg N₂O-N per kg N input (Van Bruggen et al., 2023).

| | Input | EF ¹ | Grasland | | Bouwland | |
|----------|---|---------------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | | | Minerale grond | Veen-grond | Minerale grond | Veen-grond |
| Direct | Kunstmest ² | EF-km | 0,008 | 0,03 | 0,007 | 0,03 |
| | Dierlijke mest, bovengronds ² | EF-dm _B | 0,001 | 0,005 | 0,006 | 0,005 |
| | Dierlijke mest, emissiearm ² | EF-dm _{EA} | 0,003 | 0,01 | 0,013 | 0,01 |
| | Compost en champost ² | EF-comp | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 |
| | Weidemest ³ | EF-WM | 0,025 | 0,06 | | |
| | Gewasresten ⁴ | EF-gr | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| | Graslandvernieuwing ⁵ , kg N ₂ O-N/ha | EF-herinz | 5,5 | 5,5 | | |
| | Veenafbraak ⁶ , kg N ₂ O-N/ha | EF-veen | | 4,7 | | 4,7 |
| Indirect | Ammoniak ⁴ | EF-NH ₃ | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| | Nitraat ⁴ | EF-NO ₃ | 0,0075 | 0,0075 | 0,0075 | 0,0075 |

¹ code emissiefactor zoals gebruikt in de tekst.

² gebaseerd op Velthof & Mosquera (2011).

³ gebaseerd op Velthof et al. (1996).

⁴ IPCC, 2006.

⁵ herinzaai van gras, gebaseerd op Velthof et al. (2010); verschil in N₂O-N-emissie tussen scheuren in voorjaar (8,2 kg N₂O-N/ha) en niet-scheuren (2,7 kg N₂O-N/ha).

⁶ waarde is gebaseerd op een netto-afname van 235 kg N per ha per jaar door oxidatie van bodemorganische stof en een emissiefactor van 0,02 kg N₂O-N per kg gemineraliseerde N (gebaseerd op Kuikman et al. (2005)).

Toevoegmiddel Vizura

Vizura is een nitrificatieremmer die vlak voor toediening in het veld aan de dierlijke mest wordt toegevoegd. Hierdoor wordt de omzetting van NH₄-N in NO₃-N geremd, waardoor de N₂O-N-emissie uit dierlijke mest met 50% daalt. Uitgangspunt is dat toevoeging van Vizura alleen plaatsvindt bij drijfmest en digestaat, hierna aangeduid als dmdigest. Hieronder wordt aangegeven hoe de

berekening van de reductie van de N₂O-N-emissie wordt berekend. Hierbij worden de volgende stappen doorlopen:

1. Berekening van verbruik aan Vizura

Het verbruik wordt berekend via de aangevoerde hoeveelheid en de voorraadverandering:

$$\text{Vizura}_{\text{verbruik}} = \text{Vizura}_{\text{begin}} - \text{Vizura}_{\text{eind}} + \text{Vizura}_{\text{aanvoer}}$$

2. Berekening oppervlakte bemest met dmdigest op grasland en bouwland

Bij de oppervlakte bemest met dmdigest gaat om de oppervlakte per bemesting. Dus als een perceel gras drie keer wordt bemest, dan is de bemeste oppervlakte drie keer het perceelsareaal. Om dit te kunnen uitrekenen is een aanname nodig voor de dosering per bemesting. Hiervoor wordt voor grasland en maïslaan uitgegaan van een gift van, respectievelijk, 20 en 44 ton per ha (<https://vruchtbarekringloopachterhoek.nl/resultaten-kringloopwijzer-2017-t-m-2022/>). De bemeste oppervlakte volgen dan uit:

$$\text{OppG_dmdigest} = \text{toedG_ton} / 20$$

$$\text{OppM_dmdigest} = \text{toedM_ton} / 44$$

$$\text{OppBLO_dmdigest} = \text{oppervlakte overige bouwlandgewassen met dmdigest}$$

Waarbij:

- OppG/M/BLO_dmdigest = oppervlakte grasland/maïslaan/overige bouwlandgewassen
- ToedG_ton/M_ton = hoeveelheid toegediende dmdigest op grasland en maïslaan

3. Berekening verdeling verbruik Vizura over grasland, snijmaïs en overig bouwland

Eerst wordt het verbruik toegewezen aan de maïs en het overig bouwland, gebaseerd op de procentuele verdeling van de toegediende mest over de gewassen, maar wel rekening houdend met een maximale dosering van 2,5 L Vizura per ha. Het resterende deel wordt toegewezen aan het grasland.

$$\text{VizuraM_ltr} = \text{Minimum}(\text{Vizura_verbr} * \text{toedM_ton/toedT_ton} , 2,5 * \text{OppM_dmdigest})$$

$$\text{VizuraBLO_ltr} = \text{Minimum}(\text{Vizura_verbr} * \text{toedBLO_ton/toedT_ton} , 2,5 * \text{OppBLO_dmdigest})$$

$$\text{VizuraG_ltr} = \text{Vizura_verbr} - \text{VizuraM_ltr} - \text{VizuraBLO_ltr}$$

Waarbij:

- VizuraG/M/BLO_ltr = hoeveelheid Vizura op grasland/maïslaan/overig bouwland, ltr
- ToedG_ton/M_ton/BLO_ton = hoeveelheid toegediende dmdigest op grasland/maïslaan/overig bouwland
- ToedT = totale hoeveelheid toegediende dmdigest

4. Berekening oppervlakte bemest met Vizura

Het oppervlak bemest met Vizura wordt berekend door het Vizura-verbruik te delen door de dosering van 2,5 L/ha, maar wel met het bemeste areaal als maximum:

$$\text{VizuraG_opp} = \text{Minimum}(\text{VizuraG_ltr}/2,5, \text{OppG_dmdigest})$$

$$\text{VizuraM_opp} = \text{Minimum}(\text{VizuraM_ltr}/2,5, \text{OppM_dmdigest})$$

$$\text{VizuraA_opp} = \text{Minimum}(\text{VizuraA_ltr}/2,5, \text{OppA_dmdigest})$$

5. Berekening fractie van areaal bemest met Vizura

Deze wordt berekend door het hierboven berekende areaal waarop Vizura is toegediend te delen door totale areaal dat met dmdigest is bemest.

$$\text{VizuraG_frac} = \text{VizuraG_opp} / \text{OppG_dmdigest}$$

$$\text{VizuraM_frac} = \text{VizuraM_opp} / \text{OppM_dmdigest}$$

$$\text{VizuraA_frac} = \text{VizuraA_opp} / \text{OppA_dmdigest}$$

6. Berekening N₂O-reductie bij toediening dmdigest

Tenslotte wordt de reductie van N₂O-emissie berekend voor de gewassen door de reductie bij een dosering van 2,5 liter per ha (50%) te vermenigvuldigen met de fractie van het areaal, waarop Vizura is toegediend.

$$\text{ToedG_N}_2\text{Ored} = 50 * \text{VizuraG_frac}$$

$$\text{ToedM_N}_2\text{Ored} = 50 * \text{VizuraM_frac}$$

$$\text{ToedA_N}_2\text{Ored} = 50 * \text{VizuraA_frac}$$

4.2.2.2 Indirecte N₂O-emissies

Zoals hiervoor aangegeven zijn de zogenaamde indirecte N₂O emissies het gevolg van NH₃-vervluchtiging (NH₃) in het veld en uit- en afspoeling (nitraat) van N en worden zij berekend via:

$$\text{N}_2\text{O-Nem-NH}_3 = \text{EF-NH}_3 * \text{NH}_3\text{-N-verlies}$$

Waarbij:

- EF-NH₃ = emissiefactor, kg N₂O-N/kg NH₃-N (zie Tabel 4.6)
- NH₃-N-verlies = totale NH₃-N verlies in het veld volgens BEA in kg NH₃-N.

en

$$\text{N}_2\text{O-Nem-NO}_3 = \text{EF-NO}_3 * \text{NO}_3\text{-N-verlies}$$

Waarbij:

- EF-NO₃ = emissiefactor, kg N₂O-N/kg NO₃-N (zie Tabel 4.6)
- NO₃-N-verlies = N-bodemoverschot x UF (volgens BEN, Tabel 4.5).

Door vermenigvuldiging met 44/28 wordt de totale indirecte N₂O-bedrijfsemissie verkregen in kg N₂O per jaar.

4.2.3 Emissie van N₂O uit stal en mestopslagen

4.2.3.1 Melkvee

In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de berekeningswijze van de gemiddelde jaarlijkse N₂O emissie uit de mestopslagen van een melkveebedrijf in Nederland. Deze emissie wordt in eerste instantie berekend in kg N₂O-N per bedrijf. Daarbij worden de volgende mestmanagementsystemen onderscheiden:

- Dunne 'stalmest' in opslag (drijfmest).
- Vaste 'stalmest' in opslag (vaste mest).

Drijfmest wordt geacht te worden opgeslagen in een mestkelder onder de stallen en in mestopslagen buiten de stal. Vaste mest wordt geacht te worden opgeslagen in de stal (bijvoorbeeld potstallen) en in een buitenopslag (mestvaalt).

De berekeningswijze in het kader van BEN is grotendeels gebaseerd op de nationale monitoringprotocollen. Deze protocollen beschrijven de methoden en werkprocessen voor het vaststellen van de emissies, inclusief activiteitendata en emissiefactoren. Deze zijn gepubliceerd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM). Dit protocol valt onder IPCC categorie 4B11 en

4B12: N₂O mestmanagement (www.agentschapnl.nl/ programmas-regelingen/ monitoring-protocollen). Dit protocol beperkt zich tot de N₂O-emissie uit mest die in de stal wordt geproduceerd, vervolgens tijdelijk wordt opgeslagen en/of be-/verwerkt en vervolgens afgevoerd. De lachgasemissie als gevolg van de productie van mest in de weide is behandeld in de paragraaf 4.2.2.1.

De emissie van N₂O uit dierlijke mest tijdens opslag en behandeling is afhankelijk van het N- en C-gehalte van de mest, de bewaarduur van de mest in de opslag en de behandelwijze. Tijdens de opslag wordt de mest vaak zuurstofarm, waardoor de nitrificatie wordt geremd en denitrificatie laag blijft. Nitrificatie is het proces waarbij ammonium (NH₄⁺) onder zuurstofrijke omstandigheden door bacteriën wordt omgezet tot nitraat. Lachgas kan hierbij als bijproduct worden gevormd, met name indien de nitrificatie wordt geremd door zuurstofgebrek. Voor nitrificatie is geen organische stof nodig. Denitrificatie is het proces waarbij bacteriën onder zuurstofloze omstandigheden nitraat (NO₃⁻) omzetten in de gasvormige stikstofverbinding N₂, met als bijproduct N₂O. Organische stof wordt hierbij als energiebron gebruikt. De N₂O-emissie uit vaste mest is hoger dan de emissie uit dunne mest, omdat in dunne mest nauwelijks nitrificatie optreedt als gevolg van tekort aan zuurstof.

De emissie van N₂O uit dierlijke mest wordt als volgt berekend:

$$N_{2O}(Dmm) = \left[\sum_S \left[\sum_T \left[Nexcretie_{(T)} * MS_{(T,S)} \right] \right] * EF_{(S)} \right] * 44/28$$

Waarbij:

- N₂O_(Dmm) = N₂O-emissie van mestmanagementsystemen in kg.
- Nexcretie_(T) = totale N-excretie per diercategorie T in kg (met T = melkvee, jongvee of (totaal)overige graasdieren). Deze N-excretie betreft de bruto excretie ('onder de staart'), d.w.z. niet verminderd met de gasvormige N-verliezen uit stal en opslag, zoals berekend in de BEX (zie hoofdstuk 2). Deze berekeningswijze komt overeen met de IPCC methode (IPCC, 2006). Er wordt geen rekening gehouden met aan- en afvoer van mest. Volgens IPCC conventies heeft de N₂O-emissie uit mestopslagen namelijk alleen betrekking op de op het bedrijf zelf geproduceerde mest.
- MS_(T,S) = fractie van totale N-excretie per diercategorie T volgens mestmanagementsysteem S.
- EF(S) = emissiefactor voor het gedefinieerde mestmanagement systeem S in kg N₂O-N/kg uitgescheiden mest-N.
- S : mestmanagementsystemen: systeem voor dunne mest en systeem voor vaste mest.
- 44/28 = omrekenfactor van kg N₂O-N naar kg N₂O.

Het vaststellen van de hoeveelheid geproduceerde mest wordt volgens de 'Tier 3' methode (dat wil zeggen: land-specifiek) uitgevoerd. Ook voor de emissiefactoren worden land-specifieke ('Tier 3') waarden toegepast. De berekeningen vindt plaats volgens het Nationaal Emissie Model Ammoniak (NEMA; Velthof *et al.*, 2012; Van Bruggen *et al.*, 2023). Naast NH₃ schat het model ook de emissies van N₂O, NO en N₂ uit stallen en opslagen (Tabellen 3.2 en 3.3).

Voor de emissiefactoren wordt gebruikt gemaakt van de default waarden van IPCC (2006) (Tabel 4.7).

Tabel 4.7 Emissiefactoren (EF_s) per mestmanagementsysteem in kg N₂O-N / kg N uitgescheiden mest.

| Mestmanagementsysteem | Emissiefactoren in kg N ₂ O-N / kg N uitgescheiden mest in de stal |
|-----------------------|---|
| Dunne mest | 0,002 |
| Vaste mest | 0,005 |

Bron: IPCC, 2006.

4.2.3.2 Overige graasdieren

Voor de 'overige graasdieren' wordt de forfaitaire netto mest-N productie (Tabel 3.6) eerst, net als bij de berekening van de TAN-productie, omgerekend naar de bruto mest-N productie op basis van de verhouding netto/bruto (Tabel 3.1). Vervolgens wordt met behulp van de N₂O-N emissiefactoren (Tabel 4.8) berekend hoeveel N₂O-N gevormd wordt.

Tabel 4.8 Emissiefactoren (EFs) per diercategorie in kg N₂O-N / kg N uitgescheiden mest.

| Diercategorie | Emissiefactoren in kg N ₂ O-N / kg N Uitgescheiden mest in de stal | |
|--|--|------------|
| | Dunne mest | Vaste mest |
| Fokstieren > 1 jaar (cat. 104) | 0,002 | 0,005 |
| Weide- en zoogkoeien (cat. 120) | 0,002 | 0,005 |
| Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115) | 0,002 | 0,005 |
| Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116) | 0,002 | 0,005 |
| Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117) | 0,002 | 0,005 |
| Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122) | 0,002 | 0,005 |
| Fokschapen (cat. 550) | 0,005 | 0,005 |
| Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551) | 0,005 | 0,005 |
| Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552) | 0,005 | 0,005 |
| Melkgeiten (cat. 600) | 0,01 | 0,01 |
| Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601) | 0,01 | 0,01 |
| Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602) | 0,01 | 0,01 |
| Pony's (cat. 941) | 0,005 | 0,005 |
| Paarden (cat. 943) | 0,005 | 0,005 |
| Ezels (cat. 961) | 0,005 | 0,005 |
| Waterbuffels, koeien (cat. 991) | 0,002 | 0,005 |
| Waterbuffels, jongvee (cat. 992) | 0,002 | 0,005 |

4.2.3.3 'Staldieren'

Voor de categorie 'staldieren', worden forfaitaire, niet van de rantsoensamenstelling afhankelijke lachgas-emissies aangehouden. Deze zijn afhankelijk van de diersoort en het staltype, volgens:

$$\text{Emissie lachgas (kg N}_2\text{O)} = \text{gad} \times \text{lachgas (kg N}_2\text{O-N per dier)} \times 44/28$$

waarbij:

gad = gemiddeld aantal aanwezige dieren (afkomstig uit de invoergegevens)

lachgas = emissie in kg N per dier (Tabel 4.9)

Tabel 4.9 Bruto N excretie (kg N per dierplaats) en emissiefactoren van N₂O-N (EF_{N₂O}) en van de overige gasvormige N-verliezen (anders dan NH₃ (EF_{nietNH₃})) in kg N per 100 kg bruto N-excretie voor drijfmest (DM) en voor vaste mest (VM).

| Diergroep_oms | Bruto N-excretie (kg N per dierplaats) | EF _{nietNH₃} , DM | EF _{nietNH₃} , VM | EF _{N₂O} , DM | EF _{N₂O} , VM |
|--------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Kraamzeugen | 29,8 | 2,4 | 3,5 | 0,2 | 0,5 |
| Guste en dragende zeugen | 20,7 | 2,4 | 3,5 | 0,2 | 0,5 |
| Gespeende biggen | 2,2 | 2,4 | 3,5 | 0,2 | 0,5 |
| Vleesvarkens | 11,6 | 2,4 | 3,5 | 0,2 | 0,5 |
| Leghennen | 0,76 | 1,2 | 0,7 | 0,1 | 0,1 |
| Vleeskuikens | 0,43 | 1,2 | 0,7 | 0,1 | 0,1 |
| Witvleeskalveren | 14,3 | 2,4 | 3,5 | 0,2 | 0,5 |

4.2.3.4 Emissie van N₂O bij mestscheiding

Bij het scheiden van de mest vindt ook emissie van N₂O plaats. Deze verliezen ontstaan bij het opslaan van de dikke fractie. De NEMA geeft alleen totaal verliezen, incl. de verliezen tijdens de opslag van de drijfmest voorafgaand aan de scheiding. Deze bedraagt 0,5% van de ingaande N uit drijfmest. Een deel van deze emissie is in de K LW al ingerekend bij de berekening van de stalopslag, namelijk 0,2% van de N in drijfmest. Om dubbeltellingen te voorkomen moet deze hoeveelheid in mindering worden gebracht op het bovengenoemde percentage van 0,5%. In tabel 4.10 staan de extra N₂O-verliezen voor het scheiden van mest weergegeven.

Tabel 4.10 Extra N₂O-verliezen bij het scheiden van drijfmest en de opslag van de dunne en dikke fractie (afgeleid van NEMA) in kg N₂O-N / kg N.

| Ingaande drijfmest | Emissiefactoren in kg N ₂ O-N / kg N ingaande drijfmest |
|--------------------|--|
| Graasdieren | 0,003 |
| Staldieren | 0,003 |

4.2.3.5 Indirecte N₂O-emissies

Indirecte N₂O-emissies ontstaan als gevolg van verluchtigingsverliezen (NH₃-N- en NO_x-N) uit stal en mestopslag en worden als volgt berekend:

$$N_2O-N_{em} (vol) = EF(vol) * N_{loss} (vol)$$

met $N_{loss} (vol)$ = totale NH₃-N verlies uit stal en opslag volgens BEA in kg NH₃-N en totale NO_x-N verlies. Voor de emissiefactor $EF(vol)$ wordt uitgegaan van dezelfde waarde zoals gebruikt bij de indirecte N₂O-emissies uit de bodem door NH₃-N-verluchtiging (zie paragraaf 4.2.2.2).

4.2.4 Overige gasvormige N-verliezen, anders dan NH₃-N en N₂O-N

In het voorgaande is aangegeven waar en hoeveel N als ammoniak, als nitraat en als lachgas verloren gaan. Het resterende verschil tussen aangevoerde en afgevoerde N wordt toegeschreven aan voorraadswijzigingen op het erf ((kunst)mest, voer, veestapel) en in de bodem (met name organische N) en andere gasvormige verliezen dan NH₃-N en N₂O-N. Aangenomen wordt dat deze 'resterende gasvormige N-verliezen', niet alleen optreden vanuit de bodem maar voor een klein deel ook vanuit stal en mestopslagen en vanuit kuilen. Het betreft verliezen in de vorm van N₂ en NO_x.

In Figuur 1.3 wordt de post 'geconserveerd ruwvoer en bijproducten' onderscheiden. Het is de som van het geogoste ruwvoer, het saldo van verkocht ruwvoer en aangekocht ruwvoer (positieve waarde als meer verkocht dan gekocht wordt) en bijproducten (gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen). De resterende gasvormige N-verliezen uit deze kuilen worden becijferd op 3, 1 en 1,5% van, respectievelijk, ingekuild gras, maïs (snijmaïs, MKS en CCM) en aanvullend ruwvoer waaronder vochtrijke (bij)producten (Tabel 1.1).

De resterende gasvormige N-verliezen uit stal en opslag worden becijferd als het verschil tussen 'overige gasvormige N-verliezen volgens Tabellen 3.6 (overige graasdieren) en Tabel 3.9 (staldieren) (daar ter berekening van de niet-ammoniak verliezen) en de lachgasverliezen volgens Tabel 4.8 (overige graasdieren) en Tabel 4.9 (staldieren), waarbij de verliezen steeds betrokken worden op de som van de bruto uitgescheiden hoeveelheid 'stalmest', de afgevoerde mest en aangevoerde mest (gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen).

4.3 Kanttekeningen bij BEN

Besloten is om de KringloopWijzer niet pas dan te introduceren als elk denkbaar type bedrijf en, daarbinnen, elke N-stroom kan worden doorgerekend. De KringloopWijzer is nog niet geschikt voor:

- Het nauwkeurig evalueren van de gewasspecifieke N-benuttingen binnen de grasland- en bouwlandfase van wisselbouwsystemen omdat bij de N-opbrengsten geen onderscheid gemaakt

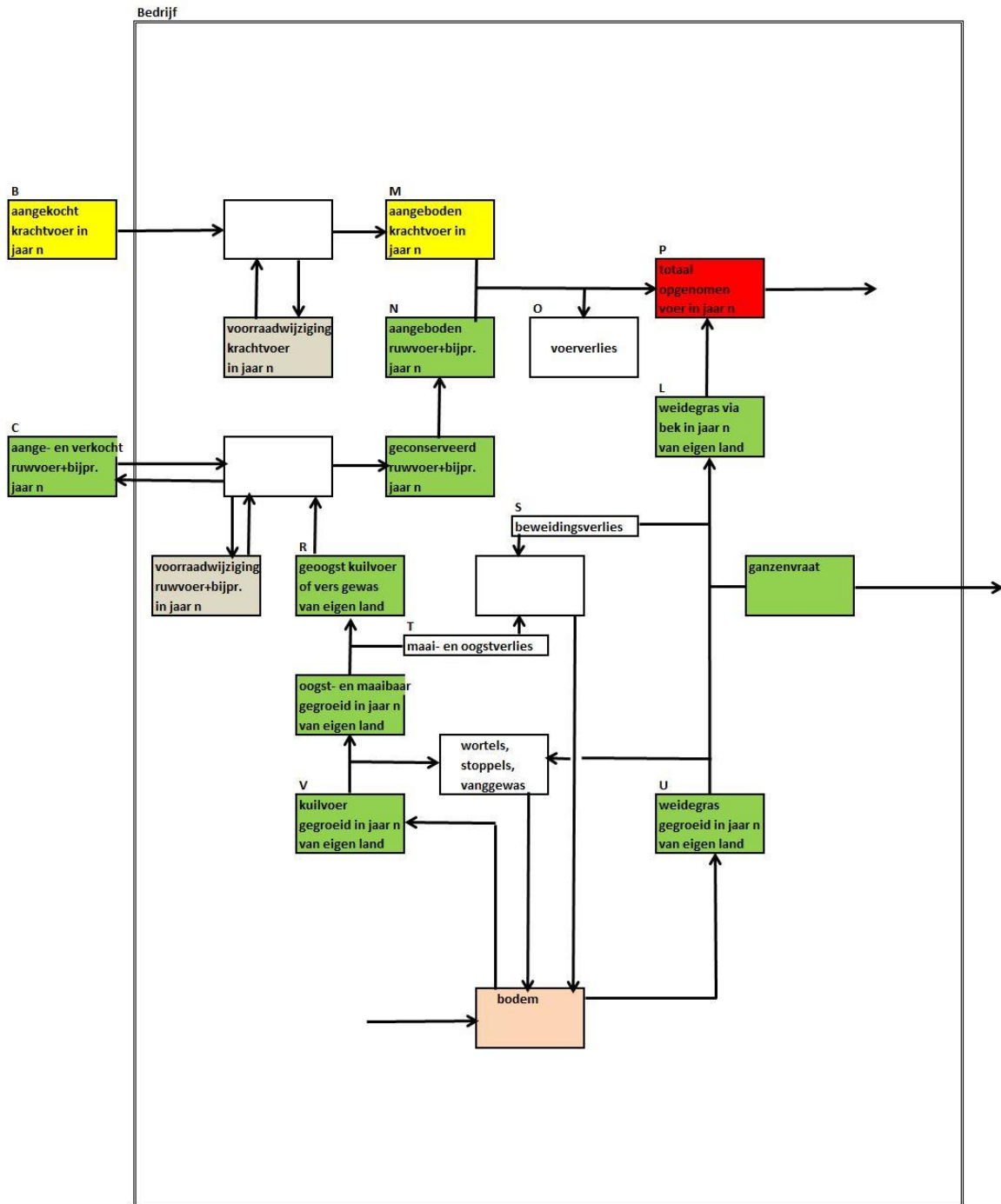
wordt tussen wisselbouw en continue teelt en de afvoertermen beweidings-, maai- en oogstverliezen nog niet exact aan de correcte volgteelten als aanvoerterm worden toegewezen,

- De mineralisatie vanuit veengrond op grasland wordt in de KringloopWijzer op 235 kg N per ha per jaar gesteld. Dit getal is ontleend aan Kuikman *et al.* (2005). Bij eerdere publicaties is dezelfde mineralisatie onder verwijzing naar Van Kekem (2004) becijferd op 160 kg N per ha per jaar. Aanbevolen wordt om nader onderzoek te doen naar welk van beide getallen het best van toepassing is,
- Wat betreft nitraatuitspoeling wordt opgemerkt dat de relatie tussen het berekende N-overschot en de nitraat-N concentratie in het bovenste grondwater of nabije oppervlaktewater ontleend is aan waarnemingen op zeer veel bedrijven en gedurende vele jaren. Van deze waarnemingen is vervolgens het gemiddelde bepaald. Zelfs binnen eenzelfde grondsoort (veen, klei, zand), ontwateringsklasse (nat, droog) en wijze van grondgebruik (grasland, bouwland) bestaat echter een zeer grote spreiding tussen bedrijven en tussen jaren. Die spreiding is het gevolg van het feit dat de termen mineralisatie en vastlegging niet ieder jaar in evenwicht zijn, neerslagoverschotten variëren en ook denitrificatie van meer factoren afhankelijk is dan hier genoemd. Vanuit dat oogpunt is het discutabel om bedrijfsprestaties op basis van slechts één of enkele jaren te beoordelen en dienen de voorspelde nitraatconcentraties dan ook te worden geïnterpreteerd als een indicatie van de nitraatconcentratie bij gemiddelde omstandigheden voor de betreffende grondsoort, ontwateringsklasse en grondgebruik,
- Wat betreft de emissies van N₂O vanuit de bodem, dient ook nog het volgende te worden opgemerkt. Deze emissies variëren zeer sterk in ruimte en tijd, waardoor vaak veel metingen nodig zijn. De totale jaarlijkse emissie wordt gewoonlijk bepaald op basis van een beperkt aantal meetperioden (bijv. een deel van de dag en een aantal dagen in het jaar) en door interpolatie wordt de totale emissie van het hele jaar geschat. Er is mede daardoor veel onzekerheid en ruimte voor verbetering van de rekenmethode en de bepaling van de emissiefactoren en andere parameters. In 2013 zijn (inter)nationale experts uitgenodigd om te praten over verbeteringen en alternatieve methoden (workshop op 7-03-2013 in Wageningen. De methodologie die in BEN gevolgd wordt (gebaseerd op 'Tier 1' van het IPCC (2006)), vormt een basis waarin toekomstige verbeteringen gemakkelijk kunnen worden opgenomen, al dan niet in overleg met de internationale experts. Op grond van een beperkte literatuurstudie lijken met name de volgende aspecten in aanmerking te komen voor toekomstige aanpassingen:
 - N₂O emissie van onbemeste velden.
In de database van Velthof & Mosquera (2011) is een groot aantal proeven aanwezig voor een nieuwe bepaling van de emissie van onbemeste velden.
 - Effect van gemiddelde bodemvochtcondities.
Er zijn grote effecten te verwachten van de gemiddelde bodemvochtcondities van minerale gronden en veengronden. Door literatuuronderzoek is onder meer een relatie afgeleid tussen de gemiddelde grondwaterstand en de N₂O emissie uit veengronden in Nederland, die in een volgende versie van BEN zou kunnen worden gebruikt. Dit vergroot vanzelfsprekend wel de inputbehoefte van BEN.
 - Graslandvernieuwing.
Uit proeven komt naar voren dat bij graslandvernieuwing ook de emissiefactoren van de toegediende meststof veranderen ten opzichte van de situatie zonder vernieuwing. Door bestudering van meer literatuur kunnen aangepaste emissiefactoren beter bepaald worden.
 - Verandering organische stofgehalte.
BEN houdt rekening met de extra N₂O-productie die het gevolg is van veenmineralisatie, maar negeert de N₂O-productie die op zou treden als op een minerale grond het organische stof gehalte van de bodem daalt. In toekomstige versie van BEN zou daarmee rekening gehouden moeten worden.
 - Balansmethode.
Een alternatieve berekeningsmethode gaat uit van het idee dat de N₂O emissie beter te beschrijven is als een fractie van de totale denitrificatie of van het bodem-N overschot. In de literatuur zijn voorbeelden gevonden die deze methode gebruiken. Echter, meer literatuuronderzoek en overleg met de experts is nodig om betrouwbare emissiefactoren te bepalen voor deze methode.

5 BEP: bedrijfsspecifieke P-stromen

5.1 Inleiding

BEP heeft tot doel te becijferen hoeveel P (P_2O_5) van het land wordt afgevoerd via weidende dieren ('via de bek'), oogstproducten van gewassen ('via de dam') en eventueel meevretende ganzen. Met dat kengetal wordt inzichtelijk gemaakt hoeveel P in de vorm van mest en/of kunstmest aangevoerd moet worden om aanvoer en afvoer met elkaar in evenwicht te laten zijn.



Figuur 5.1 Nutriëntenstromen betrokken bij de berekening van de hoeveelheid door machines en dieren geogste P van eigen land op een melkveebedrijf zonder neventak akkerbouw.

5.2 Berekeningswijze

In het kader van BEX wordt op basis van veestapelsamenstelling en productie de totale VEM-behoefte van de melkveestapel op het bedrijf berekend. Daarbij wordt een opsplitsing gemaakt tussen aangekochte voeders (krachtvoer, aangekocht ruwvoer), en zelf geteelde ruwvoerders (weidegras, kuilgras, maïskuil (snijmaïs, MKS en CCM), luzerne, veldboon, GPS). Door elk van deze voeders met hun bedrijfsspecifieke P/VEM verhouding te vermenigvuldigen, wordt berekend hoeveel P (kg P₂O₅) uit eigen voer is opgenomen en 'via bek of dam' is geogst. Figuur 5.1 verduidelijkt een en ander.

$$P \text{ opname uit eigen voer} = \text{totale P opname} - P \text{ opname uit aangekocht voer}, \quad (\text{Eq 5.1})$$

$$\begin{aligned} \text{met: } P \text{ opname uit eigen voer} &= P \text{ in ruwvoer geogst via bek of dam} - \\ P \text{ voerrest}_{\text{eigenvoer}}, & \quad (\text{Eq 5.2}) \\ \leftrightarrow P \text{ in ruwvoer geogst via bek of dam} &= P \text{ opname uit eigen voer} + P \text{ voerrest}_{\text{eigenvoer}} \end{aligned}$$

en:

$$P \text{ opname uit aangekocht voer} =$$

$$P \text{ in aangekocht voer} - P \text{ voorraadvorming} - P \text{ voerrest}_{\text{aangekochtvoer}} \quad (\text{Eq 5.3})$$

Hierbij wordt aangenomen dat het vervoederingsverlies 2 tot 5% bedraagt, afhankelijk van de aard van het voer (Tabel 1.1), en de voerrest vervolgens becijferd wordt als:

$$\begin{aligned} \text{Voyerrest-P} &= 0,05 \times (P\text{-opname in de vorm van geconserveerd gras en snijmaïs} / \\ &(1 - 0,05)) + 0,03 \times (P\text{-opname in de vorm van overig zelf geteeld ruwvoer en vochtrijke} \\ &(\text{bij})\text{producten} / (1 - 0,03)) + 0,02 \times (P\text{-opname in de vorm van krachtvoerders, mengvoer en} \\ &\text{melkproducten} / (1 - 0,02)) \quad (\text{Eq 5.4}) \end{aligned}$$

Verder wordt aangenomen dat bij de conservering van aangekocht of zelf geteeld ruwvoer geen P verloren gaat. De som van de P in ruwvoer geogst via bek of dam en P in aangekocht voer, komt terecht in hetzij voorraden, hetzij de mest van het melkvee, hetzij de voerrest van het melkvee, dan wel in de melk en het vlees van melkvee:

$$P \text{ in ruwvoer geogst via bek of dam} + P \text{ in aangekocht voer gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen} =$$

$$P \text{ in mest (inclusief voerrest)} + P \text{ in melk en vlees van melkvee} \quad (\text{Eq 5.5})$$

De hoeveelheid P in ruwvoer geogst via bek of dam wordt gecorrigeerd voor opgave/invoer van voorraadswijzigingen en aangekocht voer. Aangezien via de BEX-berekening een modelafwijking ontstaat, wordt de voorraadswijziging en aangekocht voer gecorrigeerd met een zogenaamde 'ruwvoerfactor'. Deze factor komt overeen met de verhouding tussen P opname uit graskuil en maïskuil volgens de BEX-module, en de P-opname uit eigen graskuil en maïskuil volgens opgave. Die opgave is gelijk aan P voorraadvorming in graskuil en maïskuil vermeerderd met aangelegde voorraad graskuil en maïskuil. Het gevolg van deze correctie is ook dat de hoeveelheid P in ruwvoer geogst via bek of dam (alleen de aandelen graskuil en maïskuil) wijzigen. In formule vorm:

$$\text{factor_aankoop_mutatie} = (\text{BEX_Popn_gksm_mlk} + \text{BEX_Popn_gksm_ovg}) / (\text{Voorraad_Pverbr_gksm} * (1 - \text{PcVoerverliesRuwvoer}/100))$$

$$\text{factor_aankoop_mutatie} = \text{Factor voor de verhouding tussen de opgegeven P-aanvoer en P-voorradmutatie in de vorm van graskuil en snijmaïs en de P-opname volgens BEX}$$

$$\text{BEX_Popn_gksm_mlk} = P\text{-opname melkvee uit graskuil en snijmaïs}$$

$$\text{BEX_Popn_gksm_ovg} = P\text{-opname overige graasdieren uit graskuil en snijmaïs}$$

$$\text{Voorraad_Pverbr_gksm} = P\text{-verbruik berekend uit opgegeven voorraden (begin+aanleg-eind)}$$

$P_{\text{VoerverliesRuwvoer}} = \text{Percentage vervoederingsverlies ruwvoer}$

Hierbij wordt aangenomen dat, anders dan bij N, geen betekenisvolle verliezen van P via de lucht plaatsvinden. Verder geldt dat de aanvoer naar de bodem en de afvoer vanuit de bodem in evenwicht zijn als:

P in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt + P in aangekocht voer voor de melkveestapel gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen = P in melk en vlees van melkvee ↔

P in aangekocht voer voor de melkveestapel gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen = P in melk en vlees van melkvee – P in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt. (Eq 5.6)

Substitutie van vergelijking Eq 5.6 in Eq 5.5 geeft:

P in ruwvoer geogst via bek of dam + (P in melk en vlees van melkvee) – P in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt =

P in mest van melkvee (inclusief voerrest) + (P in melk en vlees van melkvee) ↔

P in mest van melkvee (inclusief voerrest) + P in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt = P in ruwvoer geogst via bek of dam (Eq 5.7)

Dat betekent dat van evenwichtsbemesting voor wat betreft het land bestemd voor de teelt van het ruwvoer sprake is als de P aanvoer via (kunst)mest voor toediening aan land voor ruwvoerteelt in overeenstemming is met hetgeen via bek of dam aan P in de vorm van ruwvoer geogst is.

Op basis van de verhouding van de hoeveelheid aangelegde voorraden van eigen gras (productiegrasland en natuurgrasland afzonderlijk) en maïs (aanleg grasproducten, opname weidegras, aanleg maïskuilen (snijmaïs, MKS en CCM), aanleg overige ruwvoerkuiten (luzerne, veldbonen, GPS); zie BEX) wordt een afgeleide P -opbrengst van het grasland (productiegrasland en natuurgrasland afzonderlijk), het maïsland en overige ruwvoerders bepaald. Voor de hoeveelheid P van grasland (P_{grasland}) geldt:

$P_{\text{grasland geogst via bek of dam}} = P$ in ruwvoer geogst via bek of dam / ($P_{\text{maai gras}} + P_{\text{weide}} + P_{\text{maïskuil}} + P_{\text{overig kuiten}}$) * ($P_{\text{maai gras}} + P_{\text{weide}}$) (Eq 5.8)

met:

$P_{\text{maai gras}}$ = de hoeveelheid P in aangelegde eigen graskuil of vers vervoederd,

P_{weide} = de hoeveelheid P opgenomen in weidegras inclusief vraat door ganzen (zie onderdeel BEN),

$P_{\text{maïskuil}}$ = de hoeveelheid P in aangelegde eigen maïskuil, en

$P_{\text{overig kuiten}}$ = de hoeveelheid P in aangelegde kuiten van eigen overige ruwvoerders.

Voor de hoeveelheid P van maïsland maïs geldt dan ($P_{\text{maïsland}}$):

$P_{\text{maïsland geogst via dam}} = P$ in ruwvoer geogst via bek of dam / ($P_{\text{maai gras}} + P_{\text{weide}} + P_{\text{maïskuil}} + P_{\text{overig kuiten}}$) * ($P_{\text{maïskuil}}$) (Eq 5.9)

Voor de hoeveelheid P van overige ruwvoerders van eigen land geldt dan ($P_{\text{overig kuiten}}$):

$P_{\text{overig kuiten geogst via dam}} = P$ in ruwvoer geogst via bek of dam / ($P_{\text{maai gras}} + P_{\text{weide}} + P_{\text{maïskuil}} + P_{\text{overig kuiten}}$) * ($P_{\text{overig kuiten}}$) (Eq 5.10)

Om op melkveebedrijven met een akkerbouwtak en/of een 'staldier'-tak te kunnen bepalen of de aanvoer van mest-P en kunstmest-P in balans is met de afvoer van P in de vorm van melk en vlees van melkvee en van marktbaar akkerbouwproducten, dient de via BEX berekende hoeveelheid rundveemest (weidemest, 'stalmest') vermeerderd te worden met de netto hoeveelheid mest-P afkomstig uit de 'staldier'-tak en dient de P-afvoer met marktbaar akkerbouwgewassen in rekening gebracht te worden. Dat laatste gebeurt door het opvragen van het aantal hectares van de in Tabel 4.3 genoemde akkerbouwgewassen en de gemiddelde opbrengst van die gewassen in het desbetreffende jaar. Vervolgens wordt de P-afvoer berekend door de opbrengsten te vermenigvuldigen met gewas-specifieke verstekwaarden zoals vermeld in Tabel 4.3. Voor akkerbouwgewassen die niet in de tabel voorkomen, wordt aangenomen dat deze een verstekafvoer van 60 kg P₂O₅ /ha hebben. Dit cijfer is gebaseerd op de gemiddelde forfaitaire afvoer van een bouwplan dat bestaat uit 25% wintertarwe, 25% consumptieaardappelen, 25% suikerbieten en vijf maal 5% van de gewassen zomergerst, zomertarwe, graszaad, korrelmaïs en zaaiuien, elk met veronderstelde gemiddelde opbrengsten zoals vermeld door het CBS voor de periode 2009-2013 waarbij alleen de hoofdproducten geacht worden te zijn afgevoerd. Aldus:

$$P_2O_5\text{-afvoer van de akkerbouwtak (kg P}_2O_5) = \sum_n \left[(BOn \times ((YHn \times CPHn) + (YBn \times CPBn))) \right],$$

Met BOn = oppervlakte bouwland met gewas n (ha), YHn = opbrengst van hoofdproduct van gewas n (ton vers/ha), YBn = opbrengst van afgevoerd bijproduct van gewas n (ton vers/ha), CPHn = P₂O₅ gehalte van hoofdproduct (kg P₂O₅/ton vers) en CPBn = P₂O₅ gehalte van bijproduct (kg P₂O₅/ton vers).

In de BEN (paragraaf 4.2.1.1) is reeds aangegeven dat vanaf de 2021-versie van de KLV het mogelijk is de bemesting en de opbrengsten van voor- en nateelten apart in te voeren bij de hoofdgewasgroepen grasland, snijmaïs en akkerbouw. De P₂O₅-opbrengsten per gewas, maar ook de P₂O₅-overschotten per gewas, zullen hierdoor beter overeenkomen met de werkelijkheid.

5.3 Kanttekeningen bij BEP

Eerder onderzoek (Oenema *et al.*, 2011) geeft aan dat er een goede overeenstemming bestaat tussen de aldus berekende P-oogst op basis van geschatte P-opname uit ruwvoer van eigen bodem en de daadwerkelijk geoogste hoeveelheid P. De overeenstemming tussen beide wordt vanzelfsprekend beter wanneer de berekende P-oogst volgens BEP gebaseerd wordt op meerdere jaren.

De gehanteerde cijfers voor veldverliezen (beweidingsverlies, maaiverlies, oogstverlies), conserveringsverliezen en vervoederingsverliezen zijn afkomstig uit onderzoek in het verleden. Het valt sterk te overwegen om deze cijfers te updaten. De nauwkeurigheid van de schatting van de P-oogst volgens BEP is ook gediend met een nauwkeuriger bepaling van de kuildichtheden. Hiernaar loopt op dit moment dan ook onderzoek.

De betrouwbaarheid van de BEP wordt minder naarmate de neventak akkerbouw groter is. De P-afvoer in de vorm van marktbaar akkerbouwgewassen wordt namelijk gebaseerd op gemiddelde forfaitaire mestproductie en gehalten. De werkelijke waarden zullen hiervan afwijken.

6 BEC: bedrijfsspecifieke koolstofstromen en emissies van CO₂ equivalenten

6.1 Inleiding

Het onderdeel BEC van de KringloopWijzer heeft onder meer tot doel om te schatten hoeveel methaan (CH₄) en koolzuur (CO₂) vrijkomen bij de productie van melk en vlees. Dat is van belang omdat beide, net als lachgas (N₂O), zogenaamde broeikasgassen zijn. De N₂O-emissies staan beschreven in de BEN (hoofdstuk 4). Hierbij gaat het om de emissies die op het melkveebedrijf zelf optreden als de emissies die optreden bij de productie en transport van producten die van buiten worden aangevoerd, zoals voer, kunstmest, e.d.

De BEC module becijfert niet alleen de koolstof (C) die betrokken is bij de productie van broeikasgassen CH₄ en CO₂, maar berekent ook de aanvoer van effectieve organische stof (EOS) naar de bodem (zie paragraaf 6.5). Dit is de aangevoerde organische stof die een jaar na toediening nog aanwezig is en een bijdrage levert aan de humusvorming in de bodem. Als de aanvoer hoger is dan de jaarlijkse afbraak neemt het organische stofgehalte toe en wordt er dus extra C in de bodem opgeslagen. Deze extra opslag zou in principe in mindering kunnen worden gebracht op de berekende broeikasgasemissies. Omgekeerd zal bij een negatieve balans het organische stofgehalte van de bodem dalen en er dus extra CO₂ vrijkomen. De KLW maakt echter (nog) geen schatting van de bodem-C-balans, omdat deze nog onvoldoende nauwkeurig kan worden berekend. De bodem-C-balans wordt dus ook (nog) niet meegenomen bij de kwantificering van de broeikasgasemissies.

6.1.1 Waar komen welke emissies tot stand?

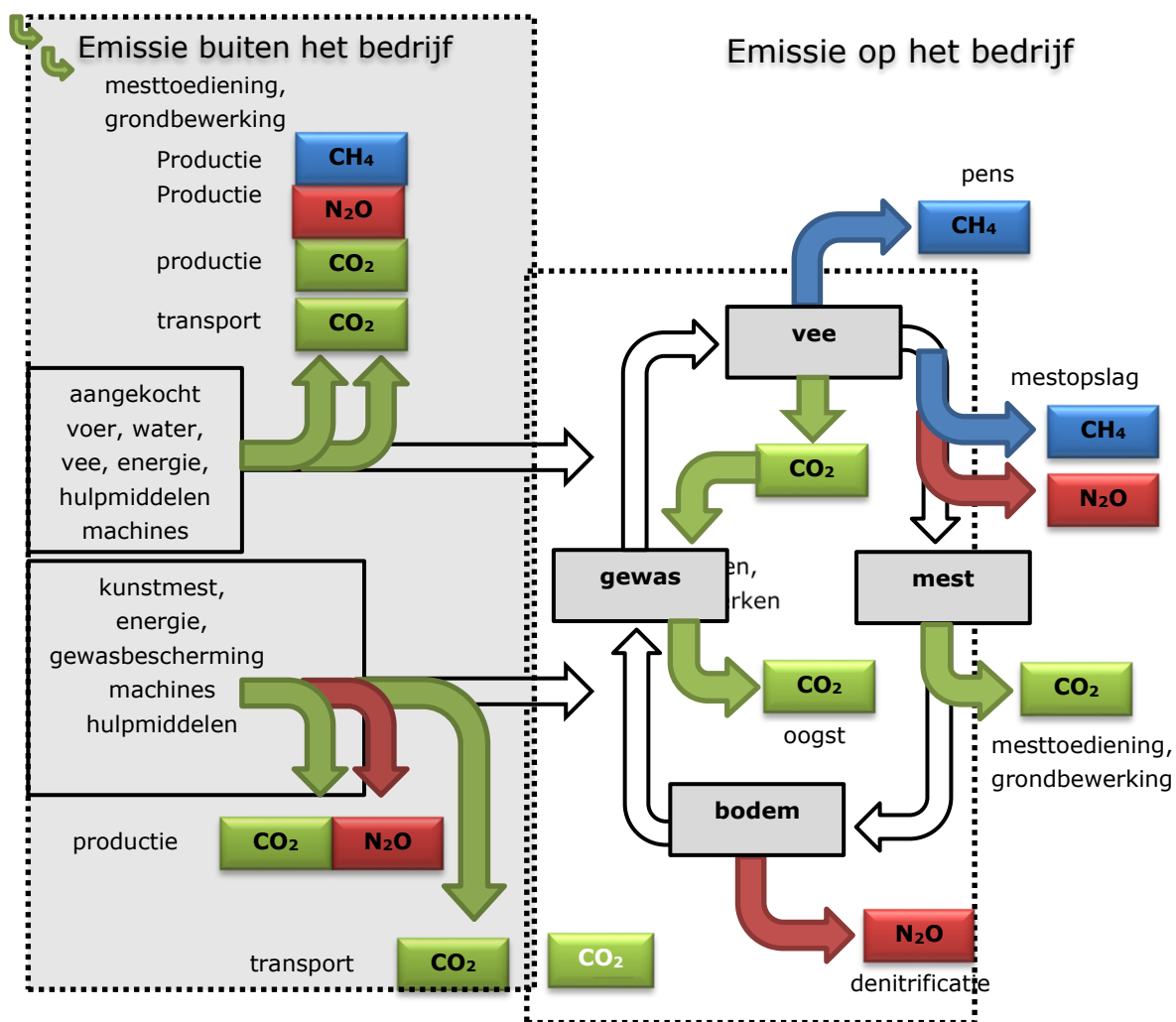
Figuur 6.1 geeft een schematisch beeld op welke plaatsen broeikasgasemissies optreden.

CH₄ komt vrij bij de spijsvertering van met name meermagigen en uit mest. Ook bij de aankoop van voer van buiten kunnen grondstoffen betrokken zijn waarbij methaan ontstaat bij de teelt of de verwerking. Dat is bijvoorbeeld het geval bij rijstproducten en palmpitschroot.

CO₂ speelt om te beginnen een rol op landbouwbedrijven bij het gebruik en, eventueel, de opwekking van energie. Bij het verbruik van fossiele energie komt namelijk CO₂ vrij en bij vermijding van het gebruik van fossiele energie wordt het vrijkomen van CO₂ juist beperkt. Energieverbruik treedt, bijvoorbeeld, op bij de productie van melk. Dit betreft energie voor, bijvoorbeeld, koelen, verwarmen en het gebruik van machines op veld en erf. Dat energiegebruik kan plaatsvinden in de vorm van brandstoffen (diesel, gas, propaan, stookolie) of in de vorm van elektriciteit. Van die brandstoffen kan gas in principe meer of minder op het bedrijf zelf zijn 'gemaakt' of van buiten betrokken worden en, bij aanvoer van buiten, gebaseerd zijn op fossiele dan wel vernieuwbare bronnen. Voor de productie van melk zijn naast het energiegebruik op het eigen bedrijf ook vaak grondstoffen gebruikt, waaronder meststoffen en van buiten het bedrijf aangevoerd (kracht)voer. Voor de productie daarvan is, zij het buiten het bedrijf, ook weer (fossiele of vernieuwbare) energie gebruikt. Daarnaast is nog rekening gehouden met de productie en transport van wat kleinere aanvoerbronnen zoals waterverbruik, aankoop van dieren, aanvoer van strooisel, gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en plastic.

N₂O, tenslotte, ontstaat bij alle processen waar N wordt gebruikt. Op de betreffende rekenregels wordt uitgebreid ingegaan in hoofdstuk 4.

Bij de berekening van de broeikasgasemissies zijn de staldieren (o.a. varkens, kippen) buiten beschouwing gelaten omdat hiervan maar een deel van de gegevens beschikbaar zijn. Van de aanvoer van, bijvoorbeeld, voer voor deze diertak is niets bekend in de KringloopWijzer.



Figuur 6.1 Vereenvoudigd schema van emissies van broeikasgassen op het melkveebedrijf.

6.2 Richtlijnen voor berekening emissies

In 2018 zijn door de Europese Commissie belangrijke spelregels vastgesteld voor het berekenen van de emissie van broeikasgassen van aangevoerde producten. De regels zijn gebaseerd op de Levens Cyclus Analyse (LCA). Ze gaan over de emissies die horen bij alle inputs en processen die in de gehele productieketen nodig zijn om het product te maken. Daarmee wijkt de BEC berekening af van de andere berekeningen omdat de BEX, BEA, BEN en BEP zich beperken tot hetgeen er op het primaire bedrijf gebeurt.

De ketenbenadering van de BEC betekent dat, naast de emissies op het bedrijf zelf, ook voor de volgende onderdelen de emissies berekend moeten worden:

- De productie en transport van alle inputs op het bedrijf, zoals aangekocht voer, energie (brandstoffen, elektriciteit), water, kunstmest, gewasbeschermingsmiddelen, hulpmiddelen (o.a. strooisel, afdekplastic), mechanisatie en vee;
- Diesel en machinegebruik door loonwerkers;
- De landgebruiksverandering die gepaard gaat met de teelt van veevoergewassen buiten het bedrijf.

De spelregels zijn allemaal beschreven in zogeheten Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) voor aparte producten. Ze geven onder meer voorschriften over:

- Welke categorieën wel en niet moeten worden meegenomen;
- Het gebruik van primaire data (van het bedrijf zelf) en geven aan wanneer secundaire data (statistische data) zijn toegestaan;
- De omrekening van methaan en lachgas naar CO₂-equivalenten. Deze worden toegelicht in paragraaf 6.2.1;
- Het meenemen van emissies van landgebruiksverandering (Land Use Change) bij de productie van gewassen. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 6.2.2;
- De verdeling van de emissies over melk en levend gewicht op het melkveebedrijf. Dit wordt toegelicht in paragraaf 6.2.3;
- De berekening van de emissies van methaan, lachgas en kooldioxide sluiten aan op IPCC regels voor met name methaan en lachgas maar laten ruimte voor het gebruiken van nationale emissiefactoren. De emissie berekeningen worden in de verschillende onderdelen van dit rapport beschreven;
- De rapportage van de emissies. De PEFCR onderscheidt de volgende categorieën: a) emissies van fossiele bronnen; b) emissies van biogene bronnen en c) landgebruik en landgebruiksverandering. Overigens maakt de KringloopWijzer deze onderverdeling nog niet.

Alle achtergrondinformatie is te vinden in PEFCR (2018a, b, c).

6.2.1 Omrekening van methaan en lachgas naar CO₂-equivalenten

Omwille van de optelbaarheid van de verschillende gassen wordt het broeikaseffect van CH₄ en N₂O daarbij omgezet naar CO₂-equivalenten: 1 kg CH₄ die afkomstig is van biologische processen komt overeen met 27 kg CO₂, 1 kg CH₄ afkomstig van fossiele processen komt overeen met 29,8 kg CO₂ en 1 kg N₂O komt overeen met 273 kg CO₂ (PEFCR, 2018a).

6.2.2 Berekening van de emissie van landgebruiksverandering

De PEFCR Guidance geeft hierover duidelijke voorschriften. De berekening leunt sterk op de methode zoals deze is ontwikkeld in de PAS2050:2011 (BSI, 2011) en in het supplement is doorontwikkeld (PAS2050-1:2011; BSI, 2012). De PAS berekening baseert zich op haar beurt weer op rekenmethoden die in de IPCC rapportage zijn gebruikt. De IPCC berekent de totale emissies door landgebruiksverandering, de PAS2050 berekent hoe deze worden toegewezen aan gewassen per land. De berekening van deze emissies is ingebouwd in een rekenprogramma dat onderdeel is van FeedPrint (Feedprint, 2023; Vellinga *et al.*, 2013) en Agrifootprint 5.

De PEFCR schrijft voor dat deze rekenwijze alleen mag worden overschreven als er uitdrukkelijk certificaten aanwezig zijn die aantonen dat (bijvoorbeeld) soja geteeld is op locaties waar landgebruiksverandering niet meer aan de orde is. Bij ontbreken van certificaten moet de standaard werkwijze worden gevolgd.

6.2.3 Allocatie van emissies naar melk en verkoop van dieren

Allocatie van emissies gebeurt in processen waar meerdere producten ontstaan. De LCA-voorschriften en de PEFCR geven aan dat allocatie vermeden moet worden als dat kan. Daarom gebeurt de berekening in de KringloopWijzer in twee stappen:

Stap 1

In deze stap worden alleen de emissies ingerekend voor de melkveetak. De emissies die duidelijk apart berekend en/of gemeten kunnen worden, worden gescheiden naar melkvee (inclusief jongvee) en overige graasdieren+akkerbouw. Dat betekent dat, bijvoorbeeld, alleen de energie en het voer worden meegenomen die door het melkvee verbruikt worden en dat, als bijvoorbeeld de helft van het gewonnen snijmais wordt afgevoerd, dan slechts de helft van de emissies meetellen die met de teelt van snijmais samenhangen.

Stap 2

In deze stap moeten de overgebleven emissies behorend bij het melkvee worden toegedeeld aan de productie van melk (geleverd en zelf-zuivel) en gewicht van de afgevoerde levende dieren (van het bedrijf afgevoerde dieren en dieren die binnen het bedrijf overgaan naar een niet-melkveetak). Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt (IDF, 2022):

$$\text{Allocatiefactor melk} = \frac{NE_m * M_m}{(NE_m * M_m + NE_{nu} * M_{nu} + NE_{jv} * M_{jv} + NE_{mk} * M_{mk})}$$

Waarbij:

- NE_m = netto-energie voor melkproductie: 3,1 MJ/kg FPCM
- M_m = FPCM = kg melk * 0,2534 + 0,1226*Vet% + 0,0776*Eiwit%
- NE_{nu} = netto-energiebehoefte van nuchtere kalveren: 27,5 MJ/kg levend gewicht
- M_{nu} = Gewicht afgevoerde levende nuchtere kalveren
- NE_{jv} = netto-energiebehoefte van jongvee (oudere kalveren+pinken), 11 MJ/kg levend gewicht
- M_{jv} = Gewicht afgevoerd levend jongvee (oudere kalveren+pinken)
- NE_{mk} = netto-energiebehoefte van melkkoeien, 15 MJ/kg levend gewicht
- M_{mk} = Gewicht afgevoerde levende melkkoeien

En:

$$\text{Allocatiefactor vlees} = 1 - \text{Allocatiefactor melk}$$

De CO₂-emissie in g CO₂-eq per kg FPCM kan nu als volgt worden berekend:

$$\text{CO}_2\text{-emissie melk} = \frac{\text{kg CO}_2\text{-equivalenten-emissie melkvee}/1000 * \text{Allocatiefactor melk}}{\text{Productie FPCM}}$$

6.3 Berekeningswijze CH₄-emissies

6.3.1 Emissie bij pensfermentatie uit dieren (enterisch methaan)

De KringloopWijzer beperkt zich voor wat betreft enterische methaanemissies voornamelijk tot meermagigen ('graasdieren'). De methaanemissie die het gevolg is van fermentatie in het maagdarmkanaal vertegenwoordigt op melkveebedrijven circa 75-80% van de totale methaanemissie. De rest is afkomstig uit de mestopslag en eventueel aanwezige veengrond (wordt op dit moment nog niet meegenomen). Bij de berekening wordt onderscheid gemaakt tussen melkvee (inclusief jongvee) en overige graasdieren.

6.3.1.1 Melkvee (inclusief jongvee)

De emissie uit de pens wordt bij melkvee berekend volgens het meest nauwkeurige niveau dat de IPCC toestaat, het Tier 3 niveau. Deze Tier 3 methode biedt de meeste nauwkeurigheid én de meeste sturingsmogelijkheden om de methaanemissie te verlagen. De Tier 3 methode is gebaseerd op het feit dat de methaanemissie uit de pens niet alleen afhangt van het niveau van pensfermentatie (lees: kg voer die is opgenomen en gefermenteerd), maar ook van het specifieke type voedermiddel dat opgenomen wordt en van de fermentatieomstandigheden in de pens (zuurgraad). Afhankelijk van de nutriëntensamenstelling en de zuurgraad in de pens varieert de verhouding tussen de fermentatieproducten die in de pens ontstaan: azijnzuur, propionzuur, boterzuur en overige vluchtige vetzuren. Met verschuivingen in de verhouding van deze fermentatieproducten varieert ook de hoeveelheid waterstof die in de pens geproduceerd wordt uit gefermenteerd voer. Omdat er nagenoeg geen waterstof verdwijnt uit de pens (experimenteel vastgesteld <1%) wordt aangenomen dat alle waterstof wordt omgezet in methaan.

In de Tier 3 methode wordt met behulp van een dynamisch mechanistisch simulatiemodel geschat wat de emissiefactor (EF) van elk van de verschillende voedermiddelen (of een totaal rantsoen) is op basis van de chemische samenstelling en de verteringskenmerken van het specifieke voedermiddel. Deze

factor (in g CH₄ per kg DS voer) wordt vervolgens toegepast om de methaanemissie te berekenen. Hieronder wordt de berekening zoals toegepast in de KringloopWijzer beschreven. Deze is gebaseerd op Šebek *et al.* (2020).

Bij de EF-waarden voor de verschillende voedermiddelen wordt rekening gehouden met het aandeel van snijmaïs in het ruwvoerdeel (=vers gras, grasproducten en snijmaïsproducten) van het rantsoen (op basis van kg DS). Het totaal van alle EF-waarden van alle voedermiddelen worden in dit rapport EF-lijsten genoemd. Omdat er gedifferentieerd wordt naar het aandeel snijmaïs in het ruwvoerdeel van het rantsoen, zijn er EF-lijsten afgeleid voor rantsoenen met verschillende aandelen snijmaïs (0%, 40% en 80%) in het ruwvoerdeel van het rantsoen (zie Bijlage 4). Een goede schatting van de enterische methaanemissie voor ieder melkveerantsoen met een aandeel snijmaïs tussen de 0% en 80% kan gebeuren via interpolatie met de drie EF-lijsten voor de rantsoenen met 0%, 40% en 80% snijmaïs in het ruwvoer. Deze benadering voldoet ook voor het oudere jongvee dat ruwvoer opneemt. Daarmee past het bij de benadering van de KringloopWijzer (KLW) om voor rantsoenen op veestapelniveau te rekenen.

De berekening verloopt als volgt. Eerst wordt het aandeel snijmaïs in het ruwvoerdeel van het rantsoen berekend (% van de droge stof opname):

$$\begin{aligned} \text{SOM kg ds uit ruwvoerders} &= \text{totale hoeveelheid droge stof uit ruwvoerders} \\ \% \text{snijmaïs in ruwvoer} &= 100 * (\text{kg DS snijmaïs} / \text{SOM kg ds uit ruwvoerders}) \end{aligned}$$

Hierbij is ruwvoer gedefinieerd als de som van vers gras, graslandproducten en snijmaïsproducten.

Vervolgens wordt voor drie niveaus van het aandeel snijmaïsproducten in de totale drogestof voorziening uit ruwvoer van melkvee (0%, 40% en 80%), de methaan-emissie (g CH₄ per kg drogestof) voor het gehele rantsoen berekend. Dit betreft de som van de emissie van de afzonderlijke voercomponenten. Voor veel voeders betreft dit een vast getal per kg drogestof (Bijlage 4), maar voor geconserveerd gras en snijmaïsproducten wordt deze berekend o.b.v. de opgegeven voederwaarden (NDF, zetmeel of VEM, RE en RAS, g/kg) en voor mengvoer wordt deze aangeleverd door de voerleverancier of worden vaste waarden aangenomen. De hiervoor gebruikte formules worden verderop toegelicht.

Vervolgens dient de totale emissie, EF_CH₄_basis genaamd (g CH₄/kg ds), via interpolatie geschat te worden op basis van het aandeel snijmaïs in het ruwvoerdeel van het rantsoen:

- Indien het berekende % snijmaïs tussen 0% en 40% ligt dan interpoleren met de EF-lijsten 0% en 40%.
- Indien het berekende % snijmaïs tussen 40% en 80% ligt dan interpoleren met de EF-lijsten 40% en 80%.

Daarna dient voor het volwassen vee (dieren ouder dan 3 maand) een correctie aangebracht te worden voor het niveau waarop het vee gevoerd wordt (totale drogestof opname). Hierbij wordt uitgegaan van een gemiddelde verandering van de berekende methaanemissie per kg DS (op basis van EF-lijsten) van 0,21 g methaan per kg DS ten opzichte van de gemiddelde voeropname van 18,5 kg DS per dier per dag voor de gemiddelde Nederlandse melkkoe:

$$\text{EF_correctie (g CH}_4\text{/kg ds)} = 0,21 \times (\text{DS opname per dag} - 18,5)$$

Eerst wordt de dagelijkse DS-opname per diergroep bepaald. Voor kalveren zijn dit de dieren > 3 maand. Hierbij wordt de aanname gedaan dat deze dieren 85% van de totale DS-opname opnemen, gebaseerd op 85% van de VEM-behoefte.

$$\begin{aligned} \text{DSniv_mk} &= \text{DSopn_mk} / \text{aantal koeien} / 365 \\ \text{DSniv_pi} &= \text{DSopn_pi} / \text{aantal pinken} / 365 \\ \text{DSniv_ka} &= \text{DSopn_ka} * 0.85 / \text{aantal kalveren} / (365*9/12) \end{aligned}$$

Waarbij:

- DSopn_mk : totale DS-opname koeien
- DSopn_pi : totale DS-opname pinken
- DSopn_ka : totale DS-opname kalveren

Dit leidt tot de volgende EF-factoren per diergroep:

$$\begin{aligned} \text{EF_mk (g CH}_4\text{/kg ds)} &= \text{EF_CH}_4\text{_basis} - 0,21 \times (\text{DSniv_mk} - 18,5) \\ \text{EF_pi (g CH}_4\text{/kg ds)} &= \text{EF_CH}_4\text{_basis} - 0,21 \times (\text{DSniv_pi} - 18,5) \\ \text{EF_ka (g CH}_4\text{/kg ds)} &= \text{EF_CH}_4\text{_basis} - 0,21 \times (\text{DSniv_ka} - 18,5) \end{aligned}$$

Vervolgens kan de EF factor per kg ds voeropname voor het volwassen vee worden berekend:

$$\begin{aligned} \text{DSopn_ka1} &= \text{DSopn_ka} * 0.15 \text{ (DS-opname kalveren <3 maand)} \\ \text{DSopn_ka2} &= \text{DSopn_ka} * 0.85 \text{ (DS-opname kalveren >3 maand)} \\ \text{DSopn_volw} &= \text{DSopn_mk} + \text{DSopn_pi} + \text{DSopn_ka2} \text{ (DS-opname volwassen vee)} \\ \text{DSopn_vee} &= \text{DSopn_mk} + \text{DSopn_pi} + \text{DSopn_ka} \text{ (DS-opname veestapel)} \end{aligned}$$

$$\text{EF_volw} = (\text{EF_mk} * \text{DSopn_mk} + \text{EF_pi} * \text{DSopn_pi} + \text{EF_ka} * \text{DSopn_ka2}) / \text{DSopn_volw}$$

Tenslotte dient nog de EF factor per kg ds voeropname voor jongvee van 0-3 maand te worden ingerekend. De methaanemissie van jongvee wijkt om twee redenen af van de methaanemissie van melkvee, namelijk voeropnameniveau en een andere emissie per kg DS als gevolg van een andere penswerking. Voor deze dieren wordt met een vaste EF_CH4 gerekend van 5,6 g CH4 per kg DS.

De methaanemissie factor van het rantsoen (CH4_EFrantsoen) per kg ds wordt via de EF factoren van volwassen vee en jonge kalveren berekend als:

$$\text{EF_CH}_4\text{_rantsoen (g CH}_4\text{/kg ds)} = (\text{EF_volw} * \text{DSopn_volw} + 5,6 * \text{DSopn_ka1}) / \text{DSopn_vee}$$

De CH4-emissie van de totale melkveestapel (CH4_rantsoen) wordt tenslotte berekend als:

$$\text{CH}_4\text{_rantsoen} = \text{EF_CH}_4\text{_rantsoen} \times \text{DS opname melkveestapel}$$

Berekening EF voor geconserveerd gras en snijmaïs en mengvoeders

Zoals hierboven aangegeven zijn voor geconserveerde grasproducten en geconserveerde snijmaïs de EF-waarden afgeleid op basis van het NDF- en zetmeelgehalte of, indien deze onbekend zijn, op basis van het VEM-, RE- en RAS-gehalte. De hiervoor gebruikte regressieformules zijn hieronder weergegeven.

Geconserveerd gras, indien NDF bekend (g CH4 / kg DS):

$$\begin{aligned} \text{EF0\%} &= 19,5 + 0,03 * (\text{NDF} - 465) \\ \text{EF40\%} &= 19,5 + 0,03 * (\text{NDF} - 465) \\ \text{EF80\%} &= 21,0 + 0,03 * (\text{NDF} - 465) \end{aligned}$$

Geconserveerd gras, indien NDF onbekend (g CH₄ / kg DS):

$$EF0\% = 36,87 - 0,01425 * VEM - 0,0020 * RE - 0,0354 * RAS$$

$$EF40\% = 36,87 - 0,01425 * VEM - 0,0020 * RE - 0,0354 * RAS$$

$$EF80\% = 38,37 - 0,01425 * VEM - 0,0020 * RE - 0,0354 * RAS$$

$$\text{Minimum : } VEM=579, RE=71, RAS=48, EF0=0,9*14,07, EF40=0,9*14,07, EF80=0,9*15,57$$

$$\text{Maximum: } VEM=1012, RE=265, RAS=337, EF0=1,1*25,17, EF40=1,1*25,17, EF80=1,1*26,67$$

Geconserveerd snijmaïs, indien NDF en zetmeel bekend (g CH₄ / kg DS):

$$EF0\%_{NDF} = 18,4 + 0,083 * (NDF - 374)$$

$$EF40\%_{NDF} = 17,5 + 0,083 * (NDF - 374)$$

$$EF80\%_{NDF} = 16,2 + 0,083 * (NDF - 374)$$

$$EF0\%_{ZET} = 18,4 - 0,049 * (Zetmeel - 385)$$

$$EF40\%_{ZET} = 17,5 - 0,049 * (Zetmeel - 385)$$

$$EF80\%_{ZET} = 16,2 - 0,049 * (Zetmeel - 385)$$

$$EF0\% = (EF0\%_{NDF} + EF0\%_{ZET}) / 2$$

$$EF40\% = (EF40\%_{NDF} + EF40\%_{ZET}) / 2$$

$$EF80\% = (EF80\%_{NDF} + EF80\%_{ZET}) / 2$$

Geconserveerde snijmaïs, indien NDF en/of zetmeel onbekend (g CH₄/kg DS):

$$EF0\% = 67,51 - 0,04978 * VEM$$

$$EF40\% = 66,61 - 0,04978 * VEM$$

$$EF80\% = 65,31 - 0,04978 * VEM$$

$$\text{Minimum : } VEM = 807, EF0 = 0,9 * 13,57, EF40 = 0,9 * 12,67, EF80 = 0,9 * 11,37$$

$$\text{Maximum: } VEM = 1063, EF0 = 1,1 * 26,83, EF40 = 1,1 * 25,93, EF80 = 1,1 * 24,63$$

De rekenregels voor geconserveerde grasproducten en snijmaïs zijn gebaseerd op de rekenregels in Wageningen Livestock Research rapport 986 (Šebek *et al.*, 2020). Hierin wordt de methaanemissie berekend op basis van het NDF-gehalte (geconserveerd gras) en NDF- en zetmeelgehalte (geconserveerde snijmaïs). Deze parameters gaven de beste relatie met de methaanemissie. Indien NDF en/of zetmeel onbekend zijn worden nog de afgeleide regressieformules gebruikt op basis van VEM, RE- en RAS-gehalte. Deze formules zijn weliswaar geschikt om de range in enterisch CH₄ weer te geven, maar zijn minder nauwkeurig dan de formules op basis van het NDF-gehalte. Ook sluiten de gebruikte verklarende variabelen niet goed aan bij de logica van het functioneren van de pens.

De afgeleide regressies (bij ontbrekende NDF en/of zetmeel waarden) zijn uitgevoerd op data van het project Koeien en Kansen van de jaren 2010 t/m 2016 waarvoor de CH₄ als EF0%, EF40% en EF80% is geschat volgens de in dit rapport voorgestelde rekenregels op basis van NDF. Vervolgens zijn met die dataset regressieanalyses uitgevoerd met CH₄ (g per kg DS) als de te verklaren variabele en het gehalte (in DS) van VEM, ruw eiwit en ruw as als de verklarende variabelen. Alle 3 de verklarende variabelen bleken significant bij te dragen.

Voor een aantal voedermiddelen worden de 3 EF-waarden voor methaan in principe aangeleverd door de mengvoerleverancier. Indien deze 3 EF-waarden niet aangeleverd zijn, wordt met 3 vaste EF-waarden gerekend (zie Tabel 6.1). Deze waarden zijn voor mengvoer gebaseerd op 3 samenstellingen en het gebruik van gemiddelde mengvoersoorten in 2018/2019.

Tabel 6.1 Gehanteerde vaste EF-CH₄-waarden indien deze niet door de mengvoerleverancier worden aangeleverd.

| Voedermiddel | EF CH ₄ bij 0% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 40% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 80% sm (g/kg ds) |
|--------------------|---|--|--|
| Mengvoer | 20,20 | 19,83 | 20,51 |
| Maïs korrel droog | 21,16 | 19,69 | 17,83 |
| Sojaschroot | 21,11 | 20,50 | 22,36 |
| Sojabonen schillen | 23,34 | 22,95 | 23,56 |

Toevoegmiddelen

Vanaf 2023 zijn rekenregels voor de vermindering van de enterische methaanemissie in de KringloopWijzer geïmplementeerd voor de toevoegmiddelen Silvair en Bovaer. De rekenregels worden hieronder beschreven. Voor beide middelen geldt de reductie van de methaanemissie alleen voor de melkkoeien (inclusief droogstaande koeien). Voor Bovaer geldt de reductie alleen in de staluren.

Silvair

Eerst wordt de jaardosering berekend in de opgenomen drogestof van de melkkoeien. Deze wordt uitgedrukt in hoeveelheid nitraat zijnde de werkzame stof in het middel. De gehalten aan werkzame stof in het aangekochte voer worden door voerfabrikanten doorgegeven in g/kg voer.

$$\text{NO}_3_TOT = \sum \text{NO}_3_GEH\text{voer}_i * \text{KG_AANvoer}_i$$

en

$$\text{NO}_3_DOS = \text{NO}_3_TOT * (1-\text{VOERVERL}) / \text{DS_OPNJAAR}$$

Waarbij:

- NO_3_TOT = hoeveelheid gevoerd nitraat, g per jaar
- $\text{NO}_3_GEH\text{voer}$ = nitraatgehalte in het voedermiddel (1-i) met Silvair, g/kg ds
- KG_AANvoer = hoeveelheid aangevoerd voedermiddel (1-i) met Silvair, kg
- NO_3_DOS = dosering nitraat in het totale door melkkoeien opgenomen voer, g per kg ds
- VOERVERL = vervoederingsverlies, fractie van vorgebracht voer: 0,02
- DS_OPNJAAR = totale jaardrogestofopname door melkkoeien

Vervolgens wordt de reductie van de methaanemissie bij melkkoeien berekend via:

$$\text{REDCH4_SIL} = -20,4 - 0,911 * (\text{NO}_3_DOS - 16,7) + 0,691 * (\text{DS_OPNKOEDAG} - 11,1)$$

Waarbij:

- REDCH4_SIL = reductie methaanemissie door Silvair bij melkkoeien, %
- DS_OPNKOEDAG = totale drogestofopname door melkkoeien, kg per koe per dag

Bovaer

Analoog aan Silvair wordt ook bij Bovaer eerst de jaardosering berekend in de opgenomen drogestof van de melkkoeien. Deze wordt uitgedrukt in hoeveelheid 3-nitroöxypropanol (3NOP) zijnde de werkzame stof in het middel. De gehalten aan werkzame stof in het aangekochte voer worden door voerfabrikanten doorgegeven in g/kg voer. Bovaer kan alleen tijdens staluren worden gevoerd.

$$\text{3NOP_TOT} = \sum \text{3NOP_GEHvoer}_i * \text{KG_AANvoer}_i$$

en

$$\text{3NOP_DOS} = \text{3NOP_TOT} * 10^3 * (1-\text{VOERVERL}) / (\text{DS_OPNJAAR} * \text{FRAC_STAL})$$

Waarbij:

- 3NOP_TOT = hoeveelheid gevoerd 3NOP, g per jaar
- 3NOP_GEHvoer = 3NOP-gehalte in het voedermiddel (1-i) met Bovaer, g/kg
- KG_AANvoer = hoeveelheid aangevoerd voedermiddel met Bovaer (1-i), kg
- 3NOP_DOS = dosering 3NOP in het totale door melkkoeien opgenomen voer, mg per kg ds
- VOERVERL = vervoederingsverlies, fractie van vorgebracht voer: 0,02
- DS_OPNJAAR = totale jaardrogestofopname door melkkoeien
- FRAC_STAL = fractie van het jaar dat koeien op stal staan = uren beweiding/(24*365)

Vervolgens wordt de reductie van de methaanemissie bij melkkoeien in stalperiode berekend via:

$$\text{REDCH4_BOV} = -30,9 - 0,267 * (3\text{NOP_DOS} - 70,5)$$

Waarbij:

- REDCH4_BOV = reductie methaanemissie Bovaer bij melkkoeien, %

Als de jaardosering lager is dan 60 mg per kg ds dan wordt een periodecorrectie ingerekend. Dit wordt gedaan, omdat er minimaal 60 mg/kg ds aanwezig moet zijn. Als de jaardosering lager is, wordt het aantal dagen dat er met Bovaer gevoerd wordt teruggebracht totdat de jaardosering weer uitkomt op 60 mg/kg ds.

Als de dosering hoger is dan 130 mg/kg ds, wordt geen extra effect ingerekend.

$$\text{PER_CORR} = 3\text{NOP_DOS}/60$$

$$\text{REDCH4_BOV_CORR} = \text{REDCH4_BOV60} * \text{PER_CORR}$$

Waarbij:

- REDCH4_BOV_CORR = gecorrigeerde reductie van de methaanemissie bij melkkoeien, %
- REDCH4_BOV60 = berekende reductie bij een dosering van 60 ppm, %
- PER_CORR = correctiefactor

Indien zowel Silvair als Bovaer worden meegevoerd, worden de beide reductiepercentages met elkaar vermenigvuldigd via:

$$\text{Reductie} = (1 - (1 - \text{reductieSilv}/100) * (1 - \text{reductieBov}/100)) * 100 (\%).$$

6.3.1.2 Overige graasdieren

Voor andere graasdieren dan melkkoeien en bijbehorend jongvee wordt Tier 2 gebruikt. De Tier2 berekening voor de methaanemissie neemt aan dat een vast percentage van de opgenomen bruto energie verloren gaat in de vorm van CH₄. In de IPCC rekenregels is deze methaan conversie factor Y_M voor Noord West Europa vastgesteld op 6,5% voor melkveerantsoenen. Dit percentage wordt hier aangehouden.

De berekening verloopt als volgt.

De bruto energie opname kan zonder kennis van de verteerbaarheid van voeders het beste ingeschat worden door de opgenomen hoeveelheid voer in kg droge stof (DS) te vermenigvuldigen met de gemiddelde bruto energiewaarde van 18,45 MJ/kg DS. Deze conversie factor is relatief constant voor verschillende herkauwerrantsoenen en wordt ook erkend als default waarde door het IPCC (IPCC, 2006).

BE opname veestapel* = DS opname veestapel * 18,45

CH₄ emissie
(in kg CH₄) = $(BE_{opname} * Y_m) / 55,65 \times 100$

* Let op: indien opname krachtvoeder wordt weergegeven per kg product, dan eerst omrekenen naar kg DS (vuistregel: kg DS = kg product x 0,88).

Gebruikte afkortingen

BE = Bruto energie, in MJ

DS = Droge stof opname van veestapel, in kg

Y_M = Methaan conversie factor, hiervoor wordt 6,5% aangehouden

18,45 MJ/kg = Gemiddelde bruto energie inhoud van een kg DS rundvee rantsoen

6,5% = Methaan conversie factor voor jongvee in Noord West Europa (IPCC 2006)

55,65 MJ/kg = Energie-inhoud van een kg CH₄

Op basis van de DS opname (kg/jaar) en de IPCC methaan conversie factor Y_M van 6,5% van de bruto energie voor de verschillende categorieën rundvee, schapen en geiten zijn voor de op het melkveebedrijf aanwezige 'overige graasdieren' forfaits uitgerekend (in kg CH₄ per dier per jaar, Tabel 6.2).

Voor paarden en pony's zijn alleen IPCC Tier 1 emissies beschikbaar (IPCC, 2006) (Tabel 6.2). Bij Tier 1 is er geen aparte diergroep voor pony's. Deze is afgeleid op basis van het verschil in metabolisch gewicht tussen pony's en paarden:

CH₄-emissie pony = $((\text{lichaamsgewicht pony})^{0,75} / (\text{lichaamsgewicht paard})^{0,75}) * \text{CH}_4\text{-emissie paard}$

Voor het lichaamsgewicht van pony's en paarden is uitgegaan van, respectievelijk, 350 kg en 550 kg.

Tabel 6.2 Methaanemissies van overige graasdieren.

| Categorie | Kg DS/jr | YM | CH ₄ (kg/jr) | CH ₄ (kg CO ₂ -eq/jr) |
|--|----------|------|-------------------------|---|
| Fokstieren, > 1 jaar (cat. 104) | 3049 | 6,5% | 65,7 | 1774 |
| Weide- en zoogkoeien (cat. 120) | 3433 | 6,5% | 74 | 1998 |
| Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115) | 659 | 6,5% | 14,2 | 383 |
| Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116) | 2050 | 6,5% | 44,2 | 1193 |
| Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117) | 1561 | 6,5% | 33,6 | 907 |
| Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122) | 2656 | 6,5% | 57,2 | 1544 |
| Fokschapen, incl. lammeren (cat. 550) | 469 | 6,5% | 10,1 | 273 |
| Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551) | 62 | 6,5% | 1,3 | 35 |
| Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552) | 312 | 6,5% | 6,7 | 181 |
| Melkgeiten (cat. 600) | 833 | 6,5% | 17,9 | 483 |
| Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601) | 193 | 6,5% | 4,2 | 113 |
| Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602) | 496 | 6,5% | 10,7 | 289 |
| Pony's (cat. 941) | 1546 | - | 12,8 | 346 |
| Paarden (cat. 943) | 3126 | - | 18 | 486 |
| Ezels (cat. 961) | 897 | | 10 | 270 |
| Waterbuffels, koeien (cat. 991) | 4342 | 6,5% | 93,6 | 2527 |
| Waterbuffels, jongvee (cat. 992) | 1737 | 6,5% | 37,4 | 1010 |

6.3.2 Emissie van methaan uit mest

6.3.2.1 Uitgangspunten

De emissies van CH₄ uit mest in stal en opslag en in de weide onderscheiden de volgende twee broncategorieën:

- Melkvee en bijbehorende jongvee.
- Overige graasdieren.

De beschrijving van dit protocol is gebaseerd op de 'Tier 2' benadering van IPCC (2006) en wijkt af van de nationale monitoringprotocollen die methoden en werkprocessen voor het vaststellen van de emissies beschrijven. Deze zijn gepubliceerd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM). Het nationale protocol valt onder IPCC categorie 4B1 t/m 4B9 en 4B13: 12-029 mest CH₄ (www.agentschapnl.nl/programmas-regelingen/monitoring-protocollen).

De hier gevolgde methodiek voor de berekening van nationale CH₄-emissies wijkt af van IPCC doordat die uitgaan van emissiefactoren (EF) per kg mest per diercategorie en per mestmanagementsysteem in plaats van de jaarlijkse absolute hoeveelheden CH₄ per dier (in kg per dier per jaar).

CH₄-emissies uit dierlijke mest ontstaan door fermentatieprocessen die optreden in een anaerobe omgeving. Deze omstandigheid doet zich vooral voor bij opslag van dunne mest in mestkelders onder stallen en in mestopslagen buiten de stal. Bij vaste mest en weidemest zijn de condities veelal aeroob en is de CH₄-productie relatief laag.

Rundveemest kan worden opgedeeld in dunne 'stalmest', vaste mest (dat wil zeggen: stalmest in engere zin) en weidemest. Doordat een deel van de melkkoeien in Nederland in de weideperiode in de zomer (deels) op stal wordt gehouden, met name tijdens het melken en 's nachts, wordt er in de weideperiode ook 'stalmest' geproduceerd.

Van de aanwezige geiten wordt verondersteld dat deze dieren het hele jaar op stal gehouden worden en vaste mest produceren. Schapen zijn weidende dieren met alleen in de lammertijd een stalperiode. In deze stalperiode wordt vaste mest geproduceerd. Bij paarden, pony's en ezels wordt een stal- en een weideperiode onderscheiden, waarbij in de stalperiode vaste mest wordt geproduceerd.

Dunne 'stalmest' wordt opgeslagen in de mestkelder onder de stallen en in mestopslagen buiten de stal. Vaste mest wordt opgeslagen in de stal en in een buitenopslag. In beide gevallen kan sprake zijn van anaerobe condities met als gevolg de emissie van CH₄. Deze emissie kan worden verminderd door

anaerobe condities te voorkomen, bijvoorbeeld door beluchten of regelmatig omzetten. De hierbij optredende aerobe processen leiden echter wel tot een hogere emissie van ammoniak en lachgas. Op de totale mestproductie in Nederland is het aandeel vaste mest relatief gering.

Weidemest wordt in de weide geproduceerd tijdens de weidegang in de zomer. Vanwege de veelal aerobe condities is de CH₄-emissie uit weidemest veelal relatief laag. Naast de mate waarin sprake is van anaerobe omstandigheden is de vorming van CH₄ in de mest ook afhankelijk van andere condities waaronder opslag plaatsvindt, zoals de hoeveelheid reeds aanwezige mest (zogenaamd 'ent' of 'inoculum') en de opslagduur en -temperatuur. De mestkelder kan worden beschouwd als een zogeheten accumulatiesysteem: er is een constante voeding van de 'reactor' (= mestkelder) met mest en het mestvolume in de kelder neemt toe tot het moment dat de kelder wordt leeggereden ten behoeve van bemesting of tot het moment dat de mest wordt overgepompt naar de buitenopslag. De CH₄-emissie in een dergelijk systeem neemt toe naarmate de hoeveelheid (nog) aanwezige mest (= inoculatie) groter is, de mesttemperatuur hoger is en de verblijfsduur langer is (Zeeman, 1994).

De CH₄-emissie uit mest is ook afhankelijk van de (chemische) samenstelling van de mest. Zo is de CH₄-emissie vooral afhankelijk van het organisch stofgehalte van de mest.

6.3.2.2 Berekeningswijze

De emissie van CH₄ uit dierlijke mest wordt als volgt berekend:

$$CH_4_{Mest} = \sum_S [EF_{(T)} \cdot N_{(T)}]$$

CH₄_{Mest} : CH₄-emissie uit mest in kg

EF_(T) : emissiefactor voor elke gedefinieerde diercategorie T in kg CH₄ per dier

N_(T) : aantal dier per diercategorie T (melkvee, jongvee en (totaal) overige graasdieren)

De emissiefactor per dier wordt als volgt berekend:

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \cdot 365 \cdot B_0 \cdot 0.67 \cdot \sum_S [MCF_{(S)} / 100 \cdot MS_{(T,S)}])$$

Gebruikte afkortingen

EF_(T) : emissiefactor voor elke gedefinieerde diercategorie T in kg CH₄ per dier

VS_(T) : de productie van volatile solids ('vluchtige vaste stof') per diercategorie in kg drogestof per dier per dag

B₀ : maximale methaanproductie potentieel per diercategorie T in m³ CH₄ per kg uitgescheiden VS

0.67 : dichtheid methaan (kg/m³)

MCF_(S) : methaanconversiefactor per mestmanagementsysteem in procenten van B₀

MS_(T,S) : fractie van totale N-excretie van elke diercategorie T in mestmanagementsysteem S

B₀

De maximale CH₄-vorming wordt bepaald door de afbreekbaarheid van de organische bestanddelen in de mest. B₀ wordt uitgedrukt in m³. CH₄/kg VS en de (default)waarden zijn afgeleid uit NIR (2014) (Tabel 6.3).

MCF_(S)

De MCF geeft de mate aan waarin de hoeveelheid afbreekbare stof onder bepaalde condities ook daadwerkelijk wordt omgezet in CH₄. Als default geeft IPCC waarden voor MCF per diercategorie afhankelijk van de gemiddelde temperatuur in een regio (Tabel 6.3).

$VS_{(T)}$

VS staat voor volatile solids (vluchtige vaste bestanddelen). Deze is een optelsom van VS afkomstig uit excretie van urine en feces, en VS in voerresten en strooiselmateriaal die in de mest belanden. De berekening van de hoeveelheid VS in de excretie is afhankelijk van het rantsoen (Zom & Groenestein, 2015) en wordt hieronder toegelicht:

VS met urine

De VS in urine betreft de hoeveelheid aanwezig ureum. Deze wordt berekend via de hoeveelheid TAN-stikstof (N) in de urine (Urine-N). Vrijwel alle TAN-N wordt uitgescheiden in de vorm van ureum (CH_4N_2O). Op basis van het atoomgewicht van stikstof en het molecuulgewicht van ureum wordt de uitscheiding van VS met urine (VS_{urine}) berekend als:

$$VS_{urine} \text{ (kg)} = \text{Urine-N} / 0.466 \text{ (}=(14 * 2) / (12 + 4 * 1 + 14 * 2 + 16)\text{)}$$

De urine-N excretie (kg N/jaar, TAN stikstof) wordt bepaald in de BEA.

VS met feces

De VS uitscheiding met de feces wordt berekend uit de opname van droge stof (kg DS) door de veestapel, het gehalte ruw as in de droge stof (RAS, g/kg DS), en de verteerbaarheid van de organische stof (VCOS, fractie van OS).

De droge stofopname en rantsoensamenstelling van de veestapel is via de BEX bepaald. Hierbij wordt met standaard droge stofgehalten gerekend afkomstig uit CVB-tabellen (Bijlage IV).

De gegevens van de voersoorten en bij grasproducten/snijmaïsproducten van het RAS-gehalte zijn afkomstig uit de invoer van de KringloopWijzer. De overige RAS-gehalten en de VCOS waarden zijn waarden afkomstig uit de CVB-tabellen (Bijlage IV). Op deze manier is per voedermiddel een droge stofopname, RAS-gehalte en VCOS-waarde verkregen.

Voor mengvoer is een schattingsformule gemaakt van de VCOS met daarin opgenomen de beschikbare informatie betreffende mengvoer in KLV (VEM, RE en P).

$$VCOS_{mengvoer} \text{ (fractie van OS)} = (44,3 + 0,0489 \times VEM - 2,186 \times P + 0,1167 \times P^2) / 100$$

Gehalten aan VEM en P zijn in g per kg product.

Deze formule is via regressieanalyse afgeleid op basis van VCOS-waarden en VEM- en P-gehalten van een groot aantal droge mengvoergrondstoffen uit de CVB-tabellen (Bijlage 7).

De netto organische stof opname van elk voedermiddel i , is berekend als:

$$OS_{opname-i} \text{ (kg)} = DS_{opname-i} \text{ (kg)} \times (1000 - RAS_i \text{ (g/kg DS)}) / 1000$$

De totale netto organische stof opname tot- OS_{opname} (kg), van het totale rantsoen met n voedermiddelen, is berekend als de som van de organische stof opnames van de individuele voedermiddelen:

$$\text{De tot-}OS_{opname} \text{ (kg)} = \sum OS_{opname-1} \text{ (kg)} + OS_{opname-2} \text{ (kg)} + \dots + OS_{opname-i} \text{ (kg)} \text{ (}i = 1 \dots n\text{)}$$

De verteerbare organische stof opname van elk voedermiddel i is berekend als:

$$VOS_{opname-i} \text{ (kg)} = OS_{opname-i} \times VCOS_i$$

De totale netto verteerbare organische stof opname tot- VOS_{opname} (kg), van het totale rantsoen met n voedermiddelen, is berekend als de som van de verteerbare organische stof opnames van de individuele voedermiddelen:

$$\text{De tot-}VOS_{opname} \text{ (kg)} = \sum VOS_{opname-1} \text{ (kg)} + VOS_{opname-2} \text{ (kg)} + \dots + VOS_{opname-i} \text{ (kg)} \text{ (}i = 1 \dots n\text{)}$$

Totale VS excretie 'onder de staart'

De VS excretie 'onder de staart' (VS-excr) wordt berekend als:

$$VS\text{-excr} = \text{tot-OS}_{\text{opname}} \text{ (kg)} - \text{tot-VOS}_{\text{opname}} \text{ (kg)} + VS_{\text{urine}} \text{ (kg)}$$

VS uit voerverliezen

In de praktijk treden voerverliezen op, d.w.z. niet alle voer wordt door het dier opgenomen, er wordt ook voer 'geknoeid'. Er wordt vanuit gegaan dat alle voederverliezen bij de vaste mest terecht komt. De bijdrage van voerverliezen aan de VS in de mest ($VS_{\text{voerverlies}}$) worden berekend als:

De netto organische stof opname van elk voedermiddel i , inclusief voerverlies ($OS\text{-IVV}_{\text{opname-}i}$) is berekend als:

$$OS\text{-IVV}_{\text{opname-}i} \text{ (kg)} = DS\text{-IVV}_{\text{opname-}i} \text{ (kg)} \times (1000\text{-RAS}_i \text{ (g/kg DS)})$$

De totale netto organische stof opname inclusief voerverlies $\text{tot-OS-IVV}_{\text{opname}}$ (kg), van het totale rantsoen met n voedermiddelen, is berekend als de som van de organische stof opnames van de individuele voedermiddelen:

$$\text{De tot-OS-IVV}_{\text{opname}} \text{ (kg)} = \sum OS\text{-IVV}_{\text{opname-}1} \text{ (kg)} + OS\text{-IVV}_{\text{opname-}2} \text{ (kg)} + \dots + OS\text{-IVV}_{\text{opname-}i} \text{ (kg)} \\ (i = 1\dots n)$$

De VS die via voerverlies aan de mest wordt toegerekend wordt berekend als:

$$VS_{\text{voerverlies}} = \text{tot-OS-IVV}_{\text{opname}} \text{ (kg)} - \text{tot-OS}_{\text{opname}} \text{ (kg)}$$

VS uit strooisel

Stro als strooisel gaat naar de vaste mest en zaagsel en kalk gaat naar de drijfmest. Bij kalk is het uitgangspunt dat dit 0% organische stof bevat en bij overig strooisel is 90% van de droge stof organische stof is.

$$VS_{\text{strooisel}} = 0\% * \text{kg ds kalk} + 0,9 * \text{kg ds overig strooisel}$$

Totale VS excretie

De totale VS excretie inclusief voerverlies ($VS\text{-excrincl}$) wordt berekend als:

$$VS\text{-excrincl} = VS\text{-excr} + VS_{\text{voerverlies}} + VS_{\text{strooisel}}$$

Bovenstaande methodiek voor berekening van de VS in de mest wordt gebruikt voor melkkoeien en bijbehorend jongvee.

Voor de overige graasdieren is de volgende methode gehanteerd.

$$VS = \sum (N_{\text{excretie}} \cdot T * \text{Factor}), \text{ met:}$$

$N_{\text{excretie}(T)}$: totale N-excretie per diercategorie in kg per dag (melkvee, jongvee en (totaal) overige graasdieren). Deze N-excretie wordt afgeleid uit BEX (hoofdstuk 2), maar niet verminderd met de gasvormige N-verliezen uit stal en opslag.

Factor : omrekeningsfactor van N naar VS (OS/N-verhouding in mest, Tabel 6.3)

Tabel 6.3 Parameterwaarden voor de bepaling van de methaanemissiefactoren van mestmanagementsystemen. Voor uitleg van de parameters, zie bovenstaande tekst.

| Diercategorie | B ₀ | Factor OS/N* | | MCF | | |
|------------------------|----------------|--------------|------------|------------|------------|-----------|
| | | Dunne mest | Vaste mest | Dunne mest | Vaste mest | Weidemest |
| Melkkoeien | 0,22 | | | 17/3** | 2,0 | 1 |
| Jongvee | 0,22 | | | 17/3** | 2,0 | 1 |
| Overige graasdieren*** | 0,20 | 15,6 | 25,8 | | 1 | |

Bron: Lagerwerf *et al.*, 2019.

* OS/N wordt alleen gebruikt voor berekening VS van overige graasdieren.

** Onvergist/vergist.

*** IPCC onderscheidt meerdere diercategorieën, welke in parameter B₀ verschillen (b.v. geiten 0,18; schapen 0,19; paarden 0,3) In de KringloopWijzer zijn deze voorlopig onder één categorie gebracht met een B₀ waarde van 0,2.

6.3.2.3 Mestvergisting

In de KringloopWijzer kan opgegeven worden hoeveel drijfmest er extern en/of op het bedrijf vergist wordt. In de KLV gaan we ervan uit dat deze mest korter dan 30 dagen in de opslag heeft gezeten voordat deze de vergister ingaat, dientengevolge wordt voor deze hoeveelheid mest met een MCF (zie Tabel 6.3) gerekend van 3 in plaats van 17. Voor de methaanproductie tijdens het vergistingsproces is ervan uitgegaan dat deze 95% van de maximale methaanproductie (B₀) bedraagt, waarvan 4,3% (Hjort-Gregersen, 2014) via lekkage ontsnapt. De CH₄-emissies die ontstaan tijdens het vergistingsproces (lekkage) worden toegekend aan het proces "Energieproductie" (zie paragraaf 6.4.1.2: Energieverbruik en energieproductie). Afhankelijk van het uiteindelijke gebruik van deze geproduceerde energie op eigen bedrijf worden deze emissies (deels) toegerekend aan het bedrijf.

6.4 Berekeningswijze CO₂-emissies

In dit hoofdstuk wordt de berekening van de CO₂-emissies beschreven. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen directe emissies op het bedrijf (paragraaf 6.4.1) door vooral energieverbruik (brandstoffen en elektriciteit) bij de teelt, de bewerking en het voeren, emissies bij productie, onderhoud en transport van aangevoerde producten en vee (paragraaf 6.4.2).

Voor de productie van het eigen ruwvoer worden deels eigen gegevens gebruikt over inputs, die in KringloopWijzer worden opgevraagd. Dat betreft de productie en toediening van dierlijke mest en kunstmest.

In Bijlage 5 is een overzicht gegeven van alle emissie-coëfficiënten van koolstofdioxide (direct en indirect) door gebruik van verschillende producten en processen in de bedrijfsvoering van het melkveebedrijf.

6.4.1 CO₂ emissies op het bedrijf

6.4.1.1 Toediening van meststoffen (kalk en ureum)

Er zijn een aantal C-houdende producten die worden toegepast bij de teelt van gewassen. Het gaat dan om (Bron: IPCC, 2006; Fifth Assessment Report, 2014):

Ureum: $\text{kg Nureum} * \text{NURE_URE} * \text{EF_CO}_2\text{Nure}/1000 * 44/12$, met:

$\text{NURE_URE} = 60/28$: (Ureum = CH₄N₂O, dus 60/28)

$\text{EF_CO}_2\text{Nure} = 200$ (g CO₂/kg ureum)

Kalk: $(\text{kgKalk_Dolo} * \text{EF_CO}_2\text{Dolo}/1000 + \text{kgKalk_Lime} * \text{EF_CO}_2\text{Lime} / 1000) * 44/12$, met:

$\text{EF_CO}_2\text{Lime} = 120$ (g CO₂-C / kg kalksteen)

$\text{EF_CO}_2\text{Dolo} = 130$ (g CO₂-C / kg dolomiet)

6.4.1.2 Energieverbruik en energieproductie

Het energieverbruik kan in de KLW worden opgegeven of normatief worden berekend. Per energiebron kan dit worden aangegeven. Indien het verbruik van een energiebron wordt opgegeven wordt het totale verbruik opgegeven alsmede de hoeveelheid voor overige takken dan "Graasdieren en voedergewassen". De KLW berekent vervolgens m.b.v. het normatieve verbruik (zie hieronder) welk aandeel van het verbruik moet worden toegerekend aan de melkproductie.

Het machinegebruik voor de teelt van gewassen en het voeren is gestandaardiseerd. Een gedetailleerde beschrijving wordt hieronder weergegeven.

Direct energieverbruik voerproductie, bewerking en voeren

Hieronder is per categorie van bewerkingen (grasland, bouwland en voeren) beschreven hoe het normatief brandstofverbruik is berekend.

Grasland activiteiten (normberekening)

Het aantal en de frequentie van handelingen verschilt per type graslandgebruik. Daarom wordt een onderscheid gemaakt tussen:

- Snede weiden.
- Snede oogst vers gras (zomerstalvoeren).
- Snede oogst graskuil.
- Snede oogst hooi.
- Snede oogst grasdrogen van vers gras.
- Snede oogst grasdrogen van voorgedroogd gras.

Tabel 6.4 geeft aan welke activiteiten zich per type grasland voordoen en hoe vaak ze optreden.

Tabel 6.4 Frequentie van de activiteiten per snede grasland voor weiden, zomerstalvoeren, oogsten voor graskuil, oogsten voor hooi en oogsten voor grasdrogen (FeedPrint, 2023; Vellinga et al., 2013).

| Activiteit | Snede Weiden | Snede oogst vers gras zomerstal voeren | Snede oogst graskuil | Snede oogst hooi | Snede oogst vers gras extern drogen | Snede oogst voordr. gras extern drogen |
|--------------|--------------|--|----------------------|------------------|-------------------------------------|--|
| Kunstmest | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Bloten | 0,5 | | | | | |
| Maaien | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Gras laden | | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| Schudden | | | 2 | 3 | | 2 |
| Wiersen | | | 1 | 1 | | 1 |
| Aanrijden | | | 1 | | | |
| Grootpakpers | | | | 1 | | |

De navolgende tabellen geven aan welke algemene activiteiten (Tabel 6.5) en welke aan zaaien gerelateerde activiteiten (Tabel 6.6) zich bij grasland voordoen.

Tabel 6.5 Frequentie van algemene activiteiten per ha grasland.

| Activiteit | grasland, landwerk |
|------------|--------------------|
| Bekalken | 0,25 |
| Slepen | 0,5 |
| Rollen | 0,5 |

Tabel 6.6 Frequentie van activiteiten per ha grasland voor herinzaai, doorzaai of voor wisselteelt met een akkerbouwgewas.

| Activiteit | Herinzaai | Doorzaai | Wisselteelt |
|--------------------|-----------|----------|-------------|
| Spuiten | 1 | 1 | |
| Onkruid bestrijden | 1 | 1 | |
| Ploegen | 1 | | 1 |
| Eggen | 2 | | 2 |
| Inzaaien | 1 | | 1 |

Sommige activiteiten zijn per snede uitgedrukt. Omdat het aantal sneden niet opgevraagd wordt, moet dat aantal geschat worden op basis van de jaaropbrengst. Dit gebeurt door uit te gaan van een bepaalde snedeopbrengst. Gehanteerde uitgangspunten hierbij zijn:

- Bruto snedezwaarte vers gras = 1500 kg ds/ha
- Bruto snedezwaarte zomerstalvoeren = 1800 kg ds/ha
- Bruto snedezwaarte graskuil, hooi en drogen = 3000 kg ds/ha

De totale emissies als gevolg van brandstofverbruik bij het gebruik van machines worden dan berekend als de som van:

- de producten van de aantallen sneden en de emissies als gevolg van dieselgebruik per snede per afzonderlijke bewerking (Tabel 6.7),
- de producten van het aantal hectares en de frequenties per hectare voor kalk strooien, rollen en slepen en het dieselverbruik per bewerking (Tabel 6.7),
- de emissies voor (her-)inzaai en doorzaai. Het aantal hectares dat is doorgezaaid of opnieuw is ingezaaid (herinzaai van gras na gras en inzaai van gras na bouwland) wordt vermenigvuldigd met het dieselverbruik van de bij inzaai nodige bewerkingen (Tabel 6.7).

Tabel 6.7 Diesilverbruik per eenheid bewerking van grasland.

| Activiteit | Eenheid | Diesel (kg) |
|----------------------------|----------------|-------------|
| Ploegen | Ha | 23,1 |
| Eggen | Ha | 9,4 |
| Inzaaien | Ha | 4,3 |
| Toedienen drijfmest | m ³ | 0,7 |
| Toedienen vaste mest | Ton | 1,3 |
| Kunstmest strooien | Ha | 2,4 |
| Bekalken | Ha | 2,4 |
| Spuiten | Ha | 2,5 |
| Onkruid bestrijden | Ha | 2,5 |
| Bloten | Ha | 4,2 |
| Maaien | Ha | 4,8 |
| Zelfdrijvende oogstmachine | Ha | 25,6 |
| Schudden | Ha | 3,2 |
| Wiersen | Ha | 2,9 |
| Opraapwagen | Ha | 5,3 |
| Kleine pakken persen | Ha | 5,7 |
| Grootpakpersen | Ha | 11,3 |
| Aanrijden | Ha | 2,5 |
| Rollen | Ha | 4,2 |
| Slepen | Ha | 4,2 |

Bouwland activiteiten (normberekening)

Voor alle bouwlandgewassen zijn activiteiten onderscheiden, die in hoofdlijnen neerkomen op zaaiklaar maken van het land (ploegen, zaaibed bereiding, zaaien, gewasbeheer (kunstmest, bestrijding ziekten en plagen), oogsten en na-oogst werkzaamheden. Voor deze teelten worden normatieve waarden voor het energieverbruik (diesel en elektriciteit) gehanteerd, zoals deze voor FeedPrint (Feedprint, 2023; Vellinga et al., 2013) zijn berekend (Tabel 6.8).

Tabel 6.8 Diesel en elektriciteitsverbruik per ha akkerbouwgewas in de KringloopWijzer.

| Gewas | Diesel (kg) | Elektriciteit (kWh) |
|---------------------|-------------|---------------------|
| Snijmaïs | 95,9 | 0 |
| GPS-granen | 95,9 | 0 |
| Luzerne | 128,1 | 0 |
| Rode klaver | 128,0 | 0 |
| Bieten | 192,9 | 0,3 |
| Maïs (CCM, MKS) | 123,8 | 1,0 |
| Graangewassen | 114,8 | 0 |
| Zaadgewassen-overig | 112,2 | 0 |
| Graszaad | 114,8 | 0 |
| Peulvruchten | 86,2 | 0 |
| Aardappelen | 196,0 | 1,8 |
| Pootgoed | 196,0 | 1,8 |
| Uien en bloembollen | 196,0 | 1,8 |
| Groenten, blad | 128,1 | 0 |
| Groenten, niet-blad | 128,1 | 0 |
| Overig akkerbouw | 128,1 | 0 |

Activiteiten bij voeren (normberekening)

Als alle producten op het bedrijf aanwezig zijn, moeten ze nog worden gevoerd. Voor alle voedermiddelen, behalve mengvoer wordt energiegebruik berekend en daar horen weer emissies bij voor het directe brandstofgebruik en voor productie en onderhoud. Tabel 6.9 geeft het directe

energieverbruik per ton gevoerd product. Het voeren van mengvoer kost zo weinig energie, dat daarvoor geen apart energiegebruik wordt berekend.

Tabel 6.9 *Dieselvebruik voor voeren per ton product van de verschillende voedermiddelen. De ds-gehalten die bij de verschillende voedermiddelen horen staan vermeld in Bijlage 4.*

| Voeren | Diesel (kg) |
|---|-------------|
| Ruwvoer ¹ (ton product) | 2,5 |
| Overig ruwvoer ¹ (ton product) | 3,9 |
| Bijproducten ¹ (ton product) | 2,4 |
| Vers gras ¹ (ton product) | 0,4 |

¹ De producten die bij de verschillende voedermiddelen horen staan in Bijlage 4.

Omzetten direct energieverbruik in CO₂

Het verbruik is opgegeven of, zoals hierboven beschreven, normatief berekend.

Om de CO₂ te berekenen moeten de totale hoeveelheden diesel en elektriciteit vermenigvuldigd worden met een EF-waarde. Voor deze EF-waarden wordt verwezen naar Bijlage 5. Hieraan voorafgaande moet het gebruik van diesel in kilogrammen worden omgezet in MJ's per kg (43,2 MJ/kg) en het gebruik van elektriciteit in kWh worden omgezet in MJ's per kWh (3,6 MJ/kWh).

$$\text{CO}_2 \text{ emissie} = \text{kg diesel} * \text{MJ_per kg Diesel} * (\text{EF_DieselVerbranding} + \text{EF_DieselProductie}) \\ + \text{kWh elek} * \text{MJ_per kWh Elec} * \text{EF_ElektriciteitProductie}$$

Overig directe energieverbruik

Om melk, vlees en gewassen te kunnen produceren wordt ook op nog andere wijzen energie verbruikt. De KringloopWijzer berekent het normatieve verbruik en brengt de omvang van de bijbehorende CO₂-verliezen eveneens in beeld. Daartoe houdt de KringloopWijzer rekening met:

- Verbruik van elektriciteit voor melken, koelen en verlichting
- Verbruik van gas voor warm water en verwarming algemeen
- Verbruik van propaan voor verwarming algemeen en water
- Verbruik van stookolie voor verwarming water en algemeen verbruik
- Verbruik van elektriciteit en diesel bij mest scheiden
- Verbruik van elektriciteit bij mest vergisten

Voor de omzetting van dit energieverbruik naar CO₂ wordt verwezen naar Bijlage 5.

Verbruik elektriciteit, aardgas, propaan, stookolie (normberekening)

Bij de normberekening worden de volgende rekenregels (KWIN, 2019-2020) gebruikt:

Koeling melk (elektriciteit): Afhankelijk van wel of geen voorcoeler en warmterugwinningsinstallatie:

- Geen voorcoeler en geen warmterugwinning: verbruik = 13,0 * melkleverantie/1000 (KWh)
- Geen voorcoeler en wel warmterugwinning: verbruik = 14,0 * melkleverantie/1000 (KWh)
- Wel voorcoeler en geen warmterugwinning: verbruik = 8,0 * melkleverantie/1000 (KWh)
- Wel voorcoeler en wel warmterugwinning: verbruik = 10,0 * melkleverantie/1000 (KWh)

Melken (elektriciteit):

- Geen melkrobot: Verbruik = 500 * aantal melkstellen (KWh)
- Melkrobot eenbox: Verbruik = 10950 * aantal AMS-systemen (KWh)
- Melkrobot multibox: Verbruik = 21900 * aantal AMS-systemen (KWh)

Overige, waaronder verlichting (elektriciteit):

$$\text{Verbruik} = 1924 + 16,3 * \text{aantal koeien (KWh)}$$

Verwarming water (elektriciteit, gas, propaan of stookolie):

Eerst verbruik warm water berekenen in liters per dag:

- Melkrobot eenbox en hittereiniging: warmwater = 220 liter
- Melkrobot eenbox en circulatiereiniging: warmwater = 228 liter
- Melkrobot multibox en hittereiniging: warmwater = 325 liter
- Melkrobot multibox en circulatiereiniging: warmwater = 220 liter

Traditionele melkstal:

a: $(20 + \text{aantal melkstellen} * 5) * 0,8$

b: $(20 + \text{aantal melkstellen} * 5) * \text{aantal keren melken}$

c: $(a + b) * 0,40$ indien ruim gedimensioneerd

d: $(\text{aantal koeien} * 1,0) * \text{indien geen warmteterugwiningsinstallatie}$

e: $(45 + \text{aantal koeien} * 0,75) / 2$

Warmwater = a+b+c+d+e

Geen warmteterugwinning:

- Warmtebron is elektrisch: Verbruik elektriciteit = warmwater * 29,644 (KWh).
- Warmtebron is gas: Verbruik gas = warmwater * 5,7631 (m³)
- Warmtebron is propaan: Verbruik propaan = warmwater * 7,3002 (ltr)
- Warmtebron is stookolie: Verbruik stookolie = warmwater * 5,0925 (ltr)

Wel warmteterugwinning:

- Warmtebron is elektrisch: Verbruik elektriciteit = warmwater * 12,7348 (KWh)
- Warmtebron is gas: Verbruik gas = warmwater * 3,6019 (m³)
- Warmtebron is propaan: Verbruik propaan = warmwater * 4,5627 (ltr)
- Warmtebron is stookolie: Verbruik stookolie = warmwater * 3,1828 (ltr)

Mest scheiden:

Bij scheiden van drijfmest is als uitgangspunt genomen dat graasdieren drijfmest elektrisch wordt gescheiden met een schroefpersfilter en staldieren met een mobiele scheider (dieselmotor).

- Graasdieren mest: Verbruik = 1,0 kWh elektriciteit per ton ingaande mest
- Staldieren mest: Verbruik = 0,8 liter diesel per ton ingaande mest

Mest vergisten:

Bij het vergisten van drijfmest is als uitgangspunt genomen dat vergist wordt met een monovergister. Hierbij wordt gebruik gemaakt van elektriciteit voor roeren, pompen, vijzelen etc. en warmte om de vergistingsreactor op de gewenste temperatuur te houden.

Het verbruik hierbij wordt geschat op 12 kWh per ton ingaande mest.

Overige graasdieren (elektriciteit en gas):

- Voor overige graasdieren is met een standaard verbruik gerekend, zie Tabel 6.10.

Tabel 6.10 Standaardverbruik van elektriciteit en gas voor overige graasdieren (Anonymus, 2019).

| Categorie | elektriciteit (kWh/jr) | gas (m ³ /jr) |
|---|------------------------|--------------------------|
| Fokstieren, > 1 jaar (cat. 104) | 25 | 0 |
| Weide- en zoogkoeien (cat. 120) | 20,8 | 0 |
| Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115) | 23 | 9,2 |
| Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116) | 11,3 | 0 |
| Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117) | 14,6 | 2,9 |
| Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122) | 25 | 0 |
| Fokschapen, incl. lammeren (cat. 550) | 3,3 | 0 |
| Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551) | 2,7 | 0 |
| Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552) | 2,7 | 0 |
| Melkgeiten (cat. 600) | 20,8 | 0 |
| Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601) | 20,8 | 0 |
| Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602) | 20,8 | 0 |
| Pony's (cat. 941) | 41,7 | 0 |
| Paarden (cat. 943) | 41,7 | 0 |
| Ezels (cat. 961) | 41,7 | 0 |
| Waterbuffels, koeien (cat. 991) ¹ | 121,2 | 0 |
| Waterbuffels, jongvee (cat. 992) ² | | |

¹ gebaseerd op melkvee inclusief jongvee (55 kWh per ton melk, jaarproductie van 2200 kg melk per buffel)

² waarde verdisconteerd in de waarde bij waterbuffels - koeien

Eigen energieproductie

Op het bedrijf kan eigen energie worden geproduceerd, bijvoorbeeld zelf geproduceerde elektriciteit en/of zelf geproduceerd groen gas. Het zelf produceren van energie kost ook CO₂. Er zijn installaties nodig en in geval van energie uit biomassa, is er energie nodig voor het operationaliseren van de vergistingsinstallatie en/of het opwaarderen van biogas naar groen gas. De gemiddelde EF is afhankelijk van de vorm van opwekking. Voor de EF-waarden wordt verwezen naar Bijlage 5.

Bij de eigen elektriciteitsproductie wordt onderscheid gemaakt naar elektriciteit uit biomassa (vergisting), wind, zon en overig. De EF wordt als volgt berekend:

$$\begin{aligned} \text{EF}_{\text{elek_prod}} = & \text{fractie elek Biomassa} * \text{EF Biomassa_elek} \\ & + \text{fractie elek Wind} * \text{EF Wind} \\ & + \text{fractie elek Zon} * \text{EF Zon} \\ & + \text{fractie Overig} * \text{emissie-coëfficiënt 'overig'} \end{aligned}$$

Bij de invoer kan ook nog een overige vorm van energieopwekking worden opgegeven. De emissie-coëfficiënt 'overig' is gelijk gesteld aan het gewogen gemiddelde van de wel-bekende hernieuwbare bronnen en wordt berekend via:

$$\frac{(\text{fractie elek Biomassa} * \text{EF Biomassa_elek} + \text{fractie elek Wind} * \text{EF Wind} + \text{fractie elek Zon} * \text{EF Zon})}{(\text{fractie elek Biomassa} + \text{fractie elek Wind} + \text{fractie elek ZON})}$$

Voor de waarden van EF Biomassa_elek, EF Wind en EF Zon wordt verwezen naar Bijlage 5. De waarde voor EF Biomassa_elek wordt nog gesommeerd met de CO₂-eq-emissie uit de CH₄ die vrijkomt bij het vergistingsproces (zie paragraaf 6.3.2.3 Mestvergisting).

In plaats van het biogas te verbranden en er via een generator elektriciteit mee op te wekken, kan het biogas ook worden opgewaardeerd naar aardgaskwaliteit (groen gas). Dit groen gas kan binnen het bedrijf worden gebruikt en/of worden teruggeleverd aan het aardgasnet.

Voor de waarde van EF GroenGas eigen wordt verwezen naar Bijlage 5. Evenals bij productie van eigen elektriciteit wordt bij productie van eigen groen gas de EF Groengas nog gesommeerd met de CO₂-eq-emissie uit de CH₄ die vrijkomt bij het vergistingsproces (zie paragraaf 6.3.2.3 Mestvergisting). Indien er uit biomassa zowel elektriciteit als groen gas wordt geproduceerd, wordt

deze emissie verdeeld over beide vormen van energieproductie op basis van de hoeveelheid geproduceerde energie (uitgedrukt in MJ).

Om de CO₂-emissies van het totale energieverbruik te berekenen is per energiebron de hoeveelheid verbruikte eigen opgewekte energie en de hoeveelheid verbruikte geleverde energie nodig. In de berekening wordt alleen het verbruik voor de graasdieren- en een eventuele akkerbouwtak meegenomen. Andere bedrijfstakken, zoals intensieve veehouderij (o.a. varkens en kippen), een camping, privégebruik en andere neventakken, worden niet meegenomen. Bij de invoer wordt per energiebron aangegeven welk deel wordt gebruikt voor de graasdier- en akkerbouwtak en welk deel voor de overige takken en wordt hierna aangeduid als:

- FR_Elek_BEC: fractie verbruik elektriciteit voor graasdieren- en akkerbouwtak van totale verbruik elektriciteit
- FR_Gas_BEC: fractie verbruik gas voor graasdieren- en akkerbouwtak van totale verbruik gas
- FR_Propaan_BEC: fractie verbruik propaan voor graasdieren- en akkerbouwtak van totale verbruik propaan
- FR_Stookolie_BEC: fractie verbruik stookolie voor graasdieren- en akkerbouwtak van totale verbruik stookolie

De hoeveelheid verbruikte eigen opgewerkte energie voor de graasdier- en akkerbouwtak (in de formules aangemerkt met BEC) wordt berekend als:

$$\begin{aligned}\text{VerbruikEigenElekBEC} &= (\text{productie elektriciteit} - \text{teruglevering elektriciteit}) * \text{FR_Elek_BEC} \\ \text{VerbruikEigenGasBEC} &= (\text{productie groen gas} - \text{teruglevering groen gas}) * \text{FR_Gas_BEC}\end{aligned}$$

Het verbruik van geleverde energie in de BEC wordt als volgt berekend:

$$\begin{aligned}\text{Verbruik_GeleverdElekBEC} &= \text{LeveringElek} * \text{FR_Elek_BEC} \\ \text{Verbruik_GeleverdGasBEC} &= \text{LeveringGas} * \text{FR_Gas_BEC} \\ \text{Verbruik_GeleverdPropaanBEC} &= \text{LeveringPropaan} * \text{FR_Propaan_BEC} \\ \text{Verbruik_GeleverdStookolieBEC} &= \text{LeveringStookolie} * \text{FR_Stookolie_BEC}\end{aligned}$$

Vervolgens wordt de hoeveelheid CO₂-emissie per energiebron berekend door de energiehoeveelheden te vermenigvuldigen met de EF-waarden (zie Bijlage 5).

Voor CO₂ elektriciteit:

$$\begin{aligned}\text{Verbruik_GeleverdElekBEC in kWh} * 3,6 * (\text{EFelek_grijs} * \text{aandeel grijze stroom} \\ + \text{EFelek_groen} * \text{aandeel groene stroom}) \\ + \text{VerbruikEigenElekBEC in kWh} * 3,6 * \text{EFelek_prod}\end{aligned}$$

Voor CO₂ gas:

$$\begin{aligned}\text{Verbruik_GeleverdGasBEC in m}^3 * \text{aandeel normaal gas} * 31,65 * \text{EFgas_norm} \\ + \text{Verbruik_GeleverdGasBEC in m}^3 * \text{aandeel groen gas} * 31,65 * \text{EFgroen gas} \\ + \text{VerbruikEigengasBEC in m}^3 * 31,65 * \text{EF groen gas eigen}\end{aligned}$$

CO₂ prop:

$$\text{VerbruikGeleverdPropaanBEC in ltr} * 0,51 * 45,2 * \text{EFpropaan}$$

CO₂ olie:

$$\text{Verbruik_GeleverdStookolieBEC in ltr} * 0,84 * 41,0 * \text{EFstookolie}$$

Bij bovenstaande berekeningen gaat het bij het op het eigen bedrijf geproduceerde groen gas om de hoeveelheid opgewaardeerd gas, dus de hoeveelheid gas dat op aardgaskwaliteit is gebracht (dus ontdaan van andere gasen zoals CO₂). Deze hoeveelheid is lager dan de hoeveel geproduceerd biogas

zoals dat uit de vergister komt. Omdat het eigen geproduceerde opgewaarde groen gas vergelijkbaar is met aardgas is hiervoor dezelfde calorische waarde gebruikt als voor geleverd gas (31,65 MJ/m³). Bovenstaande emissies zijn exclusief transport naar het bedrijf.

6.4.2 Indirecte emissies bij aangevoerde producten

6.4.2.1 Kunstmatig voedrogen (extern)

Indien voer kunstmatig gedroogd wordt, moet deze energie meegeteld worden voor de CO₂ emissie, er wordt als het ware extra CO₂ aangevoerd. De KringloopWijzer onderscheidt nu kunstmatig gedroogd grasbrok en grasbalen van vers gras (gedroogd van 200 g/ds naar 920 g/ds), kunstmatig gedroogd grasbrok en grasbalen van voordroog gras (gedroogd van 450 g/ds naar 920 g/ds), kunstmatig gedroogde snijmaïs (gedroogd van 355 g/ds naar 910 g/ds), kunstmatig gedroogde luzerne en klaver (gedroogd van 300 g/ds naar 910 g/ds). Per kg ingaand materiaal wordt vervolgens een hoeveelheid CO₂ ingerekend (zie Bijlage 5 voor EF-waarden).

6.4.2.2 Productie en onderhoud werktuigen

Het maken en onderhoud van de trekkers de werktuigen die ingezet worden om het voer te produceren brengen ook CO₂ emissies met zich mee, de zogenaamde indirecte emissies. Deze emissies worden als aanvoerpost gezien en zijn afhankelijk van het aantal ha dat bewerkt moet worden.

Om de CO₂ te berekenen moeten de totale hoeveelheden indirecte energie vermenigvuldigd worden met een EF-waarde. Voor de EF-waarden wordt verwezen naar Bijlage 5.

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ indirect} = & \text{MJ elektriciteit} * \text{EF_Elektriciteit indirect} + \\ & \text{MJ aardgas} * \text{EF_Aardgas} + \\ & \text{MJ kerosine} * \text{EF_Kerosine} + \\ & \text{MJ bruinkool} * \text{EF_Kolen} \end{aligned}$$

Grasland

In tabel 6.11 staat het indirecte energieverbruik per eenheid bewerking op grasland.

Tabel 6.11 Indirect energieverbruik per eenheid bewerking van grasland, voor de soorten elektriciteit, gas, kerosine en kolen.

| Activiteit | Eenheid | Elektrisch, indirect (MJ) | Gas, indirect (MJ) | Kerosine, indirect (MJ) | Kolen, indirect (MJ) |
|----------------------------|----------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|
| Ploegen | Ha | 12,5 | 8,3 | 13,4 | 1,4 |
| Eggen | Ha | 9,7 | 6,1 | 11,9 | 1,0 |
| Inzaaien | Ha | 7,4 | 5,0 | 7,7 | 0,9 |
| Toedienen drijfmest | m ³ | 0,4 | 0,4 | 0,1 | 0,1 |
| Toedienen vaste mest | ton | 3,2 | 2,9 | 0,8 | 0,5 |
| Kunstmest strooien | Ha | 1,1 | 0,8 | 1,0 | 0,1 |
| Bekalken | Ha | 1,1 | 0,8 | 1,0 | 0,1 |
| Spuiten | Ha | 2,8 | 1,8 | 3,0 | 0,3 |
| Onkruid bestrijden | Ha | 2,8 | 1,8 | 3,0 | 0,3 |
| Bloten | Ha | 1,3 | 0,9 | 1,2 | 0,2 |
| Maaien | Ha | 2,4 | 1,7 | 2,2 | 0,3 |
| Zelfdrijvende oogstmachine | Ha | 131,7 | 88,6 | 137,3 | 15,1 |
| Schudden | Ha | 1,0 | 0,7 | 0,9 | 0,1 |
| Wiersen | Ha | 4,0 | 2,6 | 4,6 | 0,4 |
| Opraapwagen | Ha | 7,0 | 5,4 | 4,7 | 0,9 |
| Kleine pakken persen | Ha | 34,8 | 27,5 | 21,0 | 4,7 |
| Grootpakpersen | Ha | 26,7 | 17,1 | 30,9 | 2,9 |
| Aanrijden | Ha | 1,5 | 1,1 | 1,1 | 0,2 |
| Rollen | Ha | 2,9 | 1,9 | 3,1 | 0,3 |
| Slepen | Ha | 2,9 | 1,9 | 3,1 | 0,3 |

De berekening van de oppervlaktes (sneden) en hoeveelheid toegediende organische mest staat beschreven in paragraaf 6.4.1.2 hierboven.

Bouwland

In tabel 6.12 staat het indirecte energieverbruik per ha bouwland.

Tabel 6.12 Indirect energieverbruik per ha akkerbouwgewas voor de soorten elektriciteit, gas, kerosine en kolen.

| Gewas | Elektriciteit, indirect (MJ) | Gas, indirect (MJ) | Kerosine, indirect (MJ) | Kolen, indirect (MJ) |
|---------------------|------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|
| Snijmaïs | 124,2 | 82,4 | 133,8 | 14,1 |
| GPS-granen | 124,2 | 82,4 | 133,8 | 14,1 |
| Luzerne | 187,0 | 124,9 | 198,2 | 21,3 |
| Rode klaver | 187,0 | 124,9 | 198,2 | 21,3 |
| Bieten | 524,8 | 338,8 | 600,0 | 57,8 |
| Maïs (CCM, MKS) | 197,4 | 130,1 | 215,6 | 22,2 |
| Graangewassen | 176,9 | 116,7 | 193,2 | 19,9 |
| Zaadgewassen-overig | 155,7 | 102,8 | 169,5 | 17,6 |
| Graszaad | 176,9 | 116,7 | 193,2 | 19,9 |
| Peulvruchten | 118,3 | 78,5 | 127,5 | 13,4 |
| Aardappelen | 410,8 | 268,4 | 457,9 | 45,8 |
| Pootgoed | 410,8 | 268,4 | 457,9 | 45,8 |
| Uien en bloembollen | 410,8 | 268,4 | 457,9 | 45,8 |
| Groenten, blad | 187,0 | 124,9 | 198,2 | 21,3 |
| Groenten, niet-blad | 187,0 | 124,9 | 198,2 | 21,3 |
| Overig akkerbouw | 187,0 | 124,9 | 198,2 | 21,3 |

Voeren

In tabel 6.13 staat het indirecte energieverbruik voor het machineverbruik bij het voeren.

Tabel 6.13 Indirect energieverbruik voor voeren per ton product van de verschillende voedermiddelen. Het ds-gehalte die bij de verschillende voedermiddelen horen staan vermeld in Bijlage 4.

| Voedermiddel | Elektriciteit, indirect (MJ) | Gas, indirect (MJ) | Kerosine, indirect (MJ) | Kolen, indirect (MJ) |
|---|------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|
| Ruwvoer ¹ (ton product) | 2,0496 | 1,3976 | 2,0665 | 0,2386 |
| Overig ruwvoer ¹ (ton product) | 4,2212 | 2,8162 | 4,4880 | 0,4808 |
| Bijproducten ¹ (ton product) | 8,2959 | 5,2220 | 9,9837 | 0,8916 |
| Vers gras ¹ (ton product) | 0,2626 | 0,1816 | 0,2553 | 0,0310 |

¹ De producten die bij de verschillende voedermiddelen horen staan in Bijlage 4.

6.4.2.3 Aanvoer voedermiddelen

Omdat de KringloopWijzer zich primair richt op de benutting en verliezen van N, P en C binnen de grenzen van het bedrijf, zou de CO₂-emissie die volgt uit de productie van voer (kunstmest, veldwerk, transport, opslag en bewerking) buiten beeld blijven zodra dit voer niet binnen het bedrijf maar elders geteeld wordt. De bijdrage van deze vorm van indirecte emissies van aangekochte voedermiddelen wordt berekend met standaardwaarden voor emissies per kg product ontleend aan FeedPrint (FeedPrint, 2023; Vellinga *et al.*, 2013) en Agrifootprint (zie ook Bijlage 4).

Uitzondering op bovenstaande is betreft mengvoer, korrelmaïs, sojaschroot en sojabonen schillen. Voor deze voedermiddelen wordt de CO₂-emissie (voor productie) in principe aangeleverd door de mengvoer leverancier gebaseerd op de samenstelling. Indien deze waarde niet aangeleverd is, wordt voor mengvoer de CO₂-emissie voor productie gebaseerd op het RE-gehalte.

Hiervoor zijn 3 waarden beschikbaar bij 3 verschillende RE-gehalte in mengvoer gebaseerd op samenstellingen van gemiddelde mengvoersoorten in 2018/2019. Er wordt geïnterpoleerd tussen deze 3 waarden obv het RE-gehalte per voerpartij:

- 143 g RE/kg = 645 g CO₂-eq/kg (standaard mengvoer)
- 222 g RE/kg = 1080 g CO₂-eq/kg (eiwitrijk mengvoer)
- 278 g RE/kg = 1510 g CO₂-eq/kg (extra eiwitrijk mengvoer)

Voor de overige 3 voedermiddelen wordt met een vaste waarde gerekend voor de productie indien de waarde niet is aangeleverd. Deze vaste waarden (exclusief transport en fijnmalen) bedragen:

- Korrelmaïs: 556 g CO₂-eq/kg
- Sojaschroot: 3148 g CO₂-eq/kg
- Sojabonenschillen: 1169 g CO₂-eq/kg

De CO₂-emissies in Bijlage 4 en mengvoer zijn inclusief landgebruiksverandering en transport tot aan de leverancier. De emissies voor transport naar de boerderij worden apart ingerekend.

Indien voer uit de beginvoorraad wordt verkocht, wordt de bijbehorende CO₂ van deze afgevoerde hoeveelheid van de aankoop afgehaald (=netto aankoop).

Verkocht voer in het rekenjaar zelf wordt al verrekend bij de voerproductie (scheiden van processen).

Voor het voeren van alle producten worden apart emissies berekend, afhankelijk van het type product.

6.4.2.4 Aanvoer kunstmest en organische mest

Het verbruik van kunstmest moet vermenigvuldigd worden met de EF-waarde van de verschillende kunstmestsoorten (Bijlage 5).

Voor organische mest worden alleen transportemissies ingerekend m.u.v. compost. Voor compost worden zowel transportemissies als productemissies ingerekend. in Bijlage 5 staat ook een verwijzing naar de EF-waarde voor compost.

6.4.2.5 Aanvoer gewasbeschermingsmiddelen

Het verbruik aan gewasbeschermingsmiddelen in kg actieve stof (AS) wordt standaard ingerekend volgens Tabel 6.14.

Tabel 6.14 Standaardverbruik van gewasbeschermingsmiddelen (kg as/ha), bron: www.agrimatie.nl.

| Soort | Landgebruik | Verbruik (kg as/ha) |
|------------|-------------|---------------------|
| Nematicide | Grasland | 0,02 |
| Nematicide | Bouwland | 0 |
| Herbicide | Grasland | 0,16 |
| Herbicide | Bouwland | 1,15 |
| Fungicide | Grasland | 0 |
| Fungicide | Bouwland | 0,01 |
| Overige | Grasland | 0 |
| Overige | Bouwland | 0,01 |

Het verbruik van gewasbeschermingsmiddelen moet vermenigvuldigd worden met de EF-waarde van de verschillende gewasbeschermingsmiddelen (Bijlage 5).

6.4.2.6 Aanvoer strooisel

Het verbruik van strooisel moet vermenigvuldigd worden met de EF-waarde van de verschillende strooisel soorten (voor EF-waarden zie bijlage 5).

6.4.2.7 Aanvoer water

De KringloopWijzer rekent voor melkvee met een waterverbruik van 1,707 m³ water per ton melk (uit Agrimatie, 2018). Voor overige graasdieren is met een standaard verbruik gerekend per dier, zie Tabel 6.15. Dit verbruik wordt vermenigvuldigd met de EF-waarde (Bijlage 5).

Tabel 6.15 Standaardverbruik van water voor overige graasdieren (Anonymus, 2019).

| Categorie | Water (m ³ /jr) |
|---|----------------------------|
| Fokstieren, > 1 jaar (cat. 104) | 13,8 |
| Weide- en zoogkoeien (cat. 120) | 11,3 |
| Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115) | 4,6 |
| Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116) | 11,3 |
| Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117) | 8,8 |
| Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122) | 13,8 |
| Fokschapen, incl. lammeren (cat. 550) | 3,6 |
| Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551) | 2,9 |
| Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552) | 2,9 |
| Melkgeiten (cat. 600) | 11,3 |
| Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601) | 11,3 |
| Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602) | 11,3 |
| Pony's (cat. 941) | 22,5 |
| Paarden (cat. 943) | 22,5 |
| Ezels (cat. 961) | 22,5 |
| Waterbuffels, koeien (cat. 991) ¹ | 3,8 |
| Waterbuffels, jongvee (cat. 992) ² | |

¹ gebaseerd op melkvee inclusief jongvee (1,707 m³ per ton melk, jaarproductie van 2200 kg melk per buffel)

² waarde verdisconteerd in de waarde bij waterbuffels - koeien

6.4.2.8 Aanvoer vee

In de KringloopWijzer wordt gerekend met aanvoer van vee in kg. Het gewicht van de aangevoerde dieren is afhankelijk van het ras en de gemiddelde leeftijd bij aanvoer. Per kg dier wordt vervolgens een hoeveelheid CO₂ ingerekend (zie Bijlage 5 voor EF-waarden).

6.4.2.9 Aanvoer afdek materiaal

Het verbruik aan afdek materiaal wordt berekend uit de hoeveelheid per ton ds van de aangelegde hoeveelheid grasproducten en snijmaïsproducten volgens Tabel 6.16. Het verbruik wordt vermenigvuldigd met de EF-waarde (Bijlage 5).

Tabel 6.16 Verbruik van plastic als afdek materiaal bij de ruwvoersoorten graskuil en maïs (kg/ton DS), bron: Hospers et al., 2019.

| Ruwvoersoort | Verbruik |
|--------------|----------|
| Graskuil | 0,95 |
| Maïskuil | 1,49 |

6.4.2.10 Transport

Alle producten hebben een footprint die berekend is tot een regionaal afleverpunt, dat wil zeggen een handel in brandstoffen of in kunstmest e.d. Al deze producten moeten dan nog met de truck naar het primaire bedrijf worden gebracht. In de berekeningen neemt de KringloopWijzer aan dat geen andere vormen van transport worden gebruikt dan vrachtwagens. Voor al deze producten worden forfaitaire afstanden van regionaal afleverpunt naar boerderij gehanteerd (Tabel 6.17). De afstand wordt vermenigvuldigd met de EF-waarde (Bijlage 5).

Tabel 6.17 Forfaitaire transport afstanden (km) voor diverse producten.

| Product | Forfaitaire afstand |
|---|---------------------|
| Vers gras, grasproducten en snijmaïsproducten | 50 |
| Overig ruwvoer en vochtrijke (bij)producten | 100 |
| Krachtvoerders en melkproducten | 60 |
| Afdekmaterialen | 50 |
| Diesel | 300 |
| Drogen | 100 |
| Gas | 100 |
| Gewasbeschermingsmiddelen | 50 |
| Kunstmest | 100 |
| Olie | 100 |
| Organische mest | 100 |
| Stro | 50 |
| Vee | 250 |

6.5 Aanvoer effectieve organische stof

De KrinfloopWijzer berekent de aanvoer van effectieve organische stof naar de bodem. Dit is de organische stof die een jaar na toediening nog niet is afgebroken en bijdraagt aan de organische stofvoorziening van de bodem. In Tabel 6.18 staan de aanvoerposten weergegeven. Organische mest en gewasresten vormen de belangrijkste aanvoerposten van organische stof voor de bodem. De nummering van de aanvoerposten stemt overeen met die in de BEN (hoofdstuk 4, Tabel 4.1).

Tabel 6.18 Aanvoertermen ter bepaling van de aanvoer van de effectieve organische stof (kg/ha).

| Code ¹ | Term |
|-----------------------------|---|
| EOSAan1 | Weidemest |
| EOSAan2 | 'Stalmest', excl. voerresten ruwvoer |
| EOSAan2 _{voerrest} | Veerresten |
| EOSAan6+7 | Gewasresten (incl. beweidings, maai- en oogstverliezen) |
| EOSAan8 | Vanggewassen en groenbemesters |

¹ nummering conform aanvoerposten N-balans in BEN (Tabel 4.1).

6.5.1 Organische mest

De aanvoer van effectieve organische stof uit dierlijke mest en overige organische mest (o.a. compost) is gekoppeld aan de BEN-module door middel van de OS-N verhouding en de humificatiecoëfficiënt van de organische stof (Tabel 6.19)

Tabel 6.19 Humificatiecoëfficiënten ('HC-waarden') van organische meststoffen, de hoeveelheid organische stof per kg N-totaal in mest, en de forfaitaire bijdrage effectieve organische stof-bijdrage van verschillende meststoffen (www.handboekbodembemesting.nl)

| Bron | HC ¹ (kg OS per kg OS toegediend) | OS/N | E.O.S ¹ -bijdrage | |
|--|--|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | | (per m ³) ² | (per kg N-totaal ²) |
| Voerresten (o.b.v. vers plantmateriaal) | 0,25 | | | |
| Graasdieren drijfmest, mestcode 14 | 0,70 | 17,8 ³ | 50 | 12 |
| Graasdieren vaste mest, mestcode 10 | 0,70 | 20,1 ³ | 98 | 14 |
| Weidemest graasdieren ⁴ | 0,70 | 17,8 ³ | 50 | 12 |
| Staldieren drijfmest, mestcode 50 | 0,33 | 11,3 ³ | 27 | 4 |
| Graasdieren vaste mest, mestcode 39 | 0,70 | 12,3 ³ | 84 | 4 |
| Compost ⁵ | 0,90 | 30,1 ³ | 152 | 27 |
| Graasdieren dunne fractie, mestcode 11 | 0,70 | 11,7 ³ | 29 | 8 |
| Graasdieren dikke fractie, mestcode 13 | 0,70 | 24,1 ³ | 118 | 17 |
| Kunstmestvervangers (spuiwater, mineralenconcentraat) | 0,33 | 2,9 ⁶ | 7 | 1 |
| Digestaat ⁷ | 0,90 ⁸ | 6,0 ³ | 30 | 5 |
| Overig ⁴ | 0,70 | 17,8 ³ | 50 | 12 |

¹ HC: de humificatiecoëfficiënt is de fractie die een jaar na toediening nog effectief aanwezig is: 'E.O.S.'.

² O.b.v. Tabel 1.2.

³ Den Boer *et al.*, 2012.

⁴ Als graasdieren drijfmest.

⁵ Gemiddelde GFT en groencompost.

⁶ Velthof, 2011.

⁷ Gemiddelde van rundvee en vleesvarkens en afbraak van Norg van 25-50%.

⁸ Als van compost, vanwege voorafgaande mineralisatie.

De aanvoer van effectieve organische stof wordt in eerste instantie afzonderlijk berekend voor het grasland ('aan- en afvoerposten per hectare grasland') en voor het bouwland ('aan- en afvoerposten per hectare bouwland') waarbij het bouwland bestaat uit akkerbouwmatige ruwvoergewassen (snijmaïs, MKS, CCM, luzerne, veldbonen) en marktbaar akkerbouwgewassen (korrelmaïs, graangewassen, zaadgewassen, hakvruchten, etc.). Pas in tweede instantie wordt het gewogen gemiddelde van de afzonderlijke vormen van landgebruik berekend. Bij uitdrukkingen 'per hectare' gaat het dus aanvankelijk niet om uitkomsten per hectare bedrijfsoppervlakte maar om uitkomsten per hectare van een bepaald landgebruik (grasland, bouwland).

De term EOSAan1 (effectieve organische stof uit weidemest, Tabel 6.18) is alleen op de graslandhectares van toepassing, waarbij geldt:

$$EOSAan1 = Aan1 \times OS/N_{mest} \times HC_{mest}, \text{ met:}$$

OS/N_{mest} en HC_{mest}: zie Tabel 6.19 voor graasdiermest

De term EOSAan2 (effectieve organische stof uit 'stalmest', Tabel 6.18) kan niet zonder meer ontleend worden aan de gewasspecifieke termen uit de BEN berekening indien Aan2 onder meer uit graasdiermest bestaat. In dat geval wordt mest (Aan2) immers gedefinieerd als de som van in mest uitgescheiden N (som van feces- en urine-N) inclusief de voerrest-N. Omdat OS/N_{mest} niet hetzelfde is als OS/N_{voerrest} en ook HC_{mest} niet hetzelfde is als HC_{versgewas}, dient eerst berekend te worden wat de bijdrage van de afzonderlijke twee componenten is. Daartoe wordt op basis van de invoergegevens van BEX het gewogen gemiddelde N-gehalte van de drogestof (DS) in het ingekuilde ruwvoer berekend (N%ruwvoer, % N in DS). Aannemende dat 90% van de voer-DS uit organische stof bestaat, geldt dat:

$$OS/N_{voerrest} = (\text{kg OS per kg DS}) / (\text{kg N per kg DS}) = (90/100) / (\text{gewogen N-gehalte in kg per kg van ruwvoer, bijproducten en krachtvoer})$$

De effectieve organische stof die als 'stalmest' (OSAan2) wordt aangevoerd op grasland en op bouwland, wordt dan gelijk aan:

$$EOSAan2_{\text{pure_mest}} \text{ op grasland} = \text{Fractie 'echte' mest} \times \text{Aan2 op grasland} \times OS/N_{\text{mest}} \times HC_{\text{mest}}$$

$$EOSAan2_{\text{pure_mest}} \text{ op bouwland} = \text{Fractie 'echte' mest} \times \text{Aan2 op bouwland} \times OS/N_{\text{mest}} \times HC_{\text{mest}}$$

met Fractie 'echte' mest = ((Aan2 op bedrijfsgemiddeld niveau, kg N/ha – gewogen gemiddelde voerrest van alle gebruikte voedermiddelen, kg N/ha) / (Aan2 op bedrijfsgemiddeld niveau, kg N/ha))

Aan2 betreft de aanvoer met organische mest op bedrijfsniveau. Deze wordt berekend door eerst voor de afzonderlijke mestsoorten (graasdiermest, niet-graasdiermest en compost) de EOS-aanvoer uit te rekenen op basis van de mestsoortspecifieke N-aanvoer, OS/N_{mest} en HC_{mest} . Op basis van de EOS-aanvoer van de afzonderlijke mestsoorten wordt vervolgens een gewogen bedrijfsgemiddelde berekend. Aangenomen wordt dat er geen verschil is in aanvoer van effectieve organische stof tussen onvergiste en vergiste mest. Bij vergiste mest verandert de OS/N verhouding (wordt lager) en de HC (wordt hoger) zodanig dat de aanvoer van EOS gelijk is aan die met onvergiste mest.

De effectieve organische stof die als voerrest via de mest op het land terechtkomt ($OSAan2_{\text{voerrest}}$) wordt dan gelijk aan:

$$EOSAan2_{\text{voerrest}} \text{ op grasland} = (1 - \text{Fractie 'echte' mest}) \times \text{Aan2 op grasland} \times OS/N_{\text{voerrest}} \times HC_{\text{versgewas}}$$

$$EOSAan2_{\text{voerrest}} \text{ op bouwland} = (1 - \text{Fractie 'echte' mest}) \times \text{Aan2 op bouwland} \times OS/N_{\text{voerrest}} \times HC_{\text{versgewas}}$$

$HC_{\text{versgewas}} = 0,25$ en OS/N_{voerrest} gebaseerd op het gemiddeld N-gehalte van het ingekuilde ruwvoer

6.5.2 Gewasresten

De aanvoer via gewasresten en groenbemesters (EOSAan6+7 en EOSAan8, Tabel 6.18) becijfert de KringloopWijzer via gewas-specifieke waarden voor aanvoer van organische stof uit gewasresten en de humificatiecoëfficiënt van de organische stof van de gewasrestzoals opgenomen in Handboek Bodem en Bemesting (www.handboekbodemenbemesting.nl, Tabel 6.20). Door deze met elkaar te vermenigvuldigen wordt de EOS-aanvoer per gewas verkregen.

Voor de verdeling van het opgegeven areaal groenbemesters over vroeg en laat gezaaide groenbemester wordt verwezen naar paragraaf 6.6.1.1.

Tabel 6.20 Organische stof bijdrage (OS, kg per ha per jaar) en humificatie-coëfficiënt (HC) van enkele akkerbouwgewassen en groenbemesters (bron: www.handboekbodemenbemesting.nl).

| Gewas | Gewasrest | | Bijproduct | |
|--|-----------|-------|------------|-------|
| | OS | HC | OS | HC |
| Gras, blijvend, 1 ^e jaar na herinzaai | 6800 | 0,320 | | |
| Gras, blijvend, overig | 10200 | 0,330 | | |
| Gras, tijdelijk | 6800 | 0,290 | | |
| GPS-granen | 5200 | 0,315 | - | |
| Luzerne | 4000 | 0,430 | - | |
| Rode klaver | 4000 | 0,430 | - | |
| Bieten | 1785 | 0,210 | 4215 | 0,214 |
| Maïs | 2000 | 0,338 | 5000 | 0,300 |
| Graangewassen | 5200 | 0,315 | 3300 | 0,300 |
| Zaadgewassen-overig | 3000 | 0,325 | 1955 | 0,330 |
| Graszaad | 6575 | 0,297 | 2240 | 0,310 |
| Peulvruchten | 1600 | 0,313 | 1600 | 0,313 |
| Aardappelen | 3850 | 0,219 | - | |
| Pootgoed | 4400 | 0,217 | - | |
| Uien en bloembollen | 1275 | 0,235 | - | |
| Bladgroenten | 4760 | 0,210 | - | |
| Niet-bladgroenten | 2510 | 0,259 | 580 | 0,259 |
| Overige gewassen | 4000 | 0,250 | - | |
| Groenbemester, vroeg gezaaid | 4000 | 0,250 | - | |
| Groenbemester, laat gezaaid | 2200 | 0,250 | | |

De verbindingen waaruit de organische stof bestaat, bevatten naast C ook N en P. De verhouding tussen die drie varieert maar bedraagt globaal (C : N : P) 96 : 8 : 1 (Kirkby *et al.*, 2011). Dat betekent dat er grenzen zijn aan de mate waarin organische stof gehalten kunnen (blijven) dalen zonder dat daarbij ook N en P vrijkomen, maar ook dat er bij (voortgaande) stijging van organische stof gehalten netto vastlegging van N en P optreedt. Die N en P zijn daarmee niet voor gewasgroei beschikbaar maar kunnen ook niet naar de omgeving verloren gaan. In die zin zijn de drie kringlopen net als via de samenstelling van gewassen, ook in de bodem aan elkaar gekoppeld. Omdat organische stof in de Nederlandse bodems voor ongeveer 54% uit C bestaat (Tol-Leenders *et al.*, 2019), komt een vastlegging van 1000 kg organische stof per ha (dat wil zeggen een stijging van het organische stofgehalte in een bodemlaag van 25 cm met circa 0,03 procentpunten) overeen met ongeveer 540 kg C (1980 kg CO₂), 45 kg N, en 6 kg P (14 kg P₂O₅).

6.6 Koolstofbalans bodem

In 2022 is een bodemkoolstof-module toegevoegd aan de KringloopWijzer (versie 2022) en die wordt in de volgende jaren verder doorontwikkeld. De module bestaat uit twee losstaande onderdelen die de voorraadverandering van koolstof in de bodem en de hieruit voortvloeiende CO₂-emissie van minerale gronden en de CO₂-emissie van veengronden door maaiveldaling berekenen.

De belangrijkste kenmerken van de 2022-versie zijn:

- Geen extra data-invoer door gebruikers. De benodigde data zijn deels al voorhanden in de Kringloopwijzer en additionele data wordt via de postcode opgehaald uit tabellen, die op haar beurt deels zijn afgeleid uit kaarten.
- De berekeningen worden uitgevoerd op gewasniveau, maar de uitvoer wordt gepresenteerd op het niveau van de gewasgroepen gras, maïs en overig bouwland.
- Voor minerale gronden wordt het RothC bodemkoolstof-model gebruikt (Coleman *et al.*, 1997). Deze methode wordt vanaf 2023 ook gebruikt voor de Nederlandse National Inventory Report (NIR)-rapportage.
- Voor veengronden wordt de huidige NIR-methodiek gebruikt (Arets *et al.*, 2019; Kuikman *et al.*, 2005).
- De koolstof- en stikstofkringloop worden apart beschouwd. Voor de verandering van de voorraad aan organische N worden vooralsnog geen aanpassingen doorgevoerd.
 - o Voor veengronden blijven de huidige standaardwaarden voor N-mineralisatie (235 kg N/ha) en lachgasemissie (4,7 kg N₂O-N/ha) gelden, terwijl de C-mineralisatie en CO₂-emissie wel variëren als functie van type bovengrond en ontwatering.
 - o Voor minerale gronden wordt op bedrijfsniveau geen rekening gehouden met voorraadverandering van de organische stof in de bodem. Binnen wisselbouw wordt dat wel gedaan voor gewassen in de wisselbouw (opbouw onder grasland en afbouw onder bouwland, maar dit wordt zodanig gedaan dat er geen verandering op het niveau van de wisselbouw plaatsvindt (zie hoofdstuk 4, BEN).
- De kengetallen over de aanvoer van effectieve organische stof (EOS, zie paragraaf 6.5) zijn aangepast en gestroomlijnd met de kengetallen over de aanvoer van organische stof t.b.v. RothC.

Benadrukt moet worden het gaat om indicatieve waarden. De uitkomsten worden ook (nog) niet meegenomen bij de berekening van de broeikasgasemissies van het bedrijf.

In de komende jaren wordt de bodemkoolstof-module verder aangepast en verfijnd. Het tempo van de ontwikkelingen hangt mede af van voortschrijdend inzicht in relevante onderzoeksprogramma's, beschikbaarheid van geborgde data-koppelingen en inzichten uit evaluaties van de voorliggende versies.

- Gebruikers kunnen standaardwaarden voor organische stof en lutum (minerale gronden) en waterbeheer (veengronden) naar keuze laten overschrijven door bedrijfsspecifieke data met behulp van geborgde data-koppelingen (2023).
- De koolstof- en stikstofkringlopen worden op elkaar afgestemd (2023).
- De rekenmethode voor veengronden wordt aangepast aan de SOMERS-methode² zodra die gevalideerd is en toegepast wordt in de NIR-systematiek (2023/2024).
- Overige verfijningen in methodiek die naar voeren komen uit evaluaties met gebruikers en de stuurgroep doorontwikkeling KLW (2023 en verder).

6.6.1 Koolstofbalans van minerale gronden

De koolstofbalans van minerale gronden wordt berekend met het RothC koolstofmodel (Coleman *et al.*, 1997) met een tijdstap van één maand. We sluiten zo veel mogelijk aan bij de methodiek van de Praktijktool koolstof (Hendriks *et al.*, 2022). De beschrijving van de rekenregels is grotendeels ontleend aan de Praktijktool, en waar nodig aangepast om aan te sluiten bij de methodiek van de Kringloopwijzer.

De koolstofbalans is het verschil tussen de aanvoer met gewasresten en organische mest en de afvoer door afbraak van organische stof tot CO₂. De balans kan positief of negatief zijn. Bij een positieve

² In het NOBV-programma wordt de SOMERS methode doorontwikkeld en getoetst. Hierbij worden land dekkende kaarten ontwikkeld voor veentypes en grondwaterstanden die nodig zijn voor de berekening van de maaiveldaling.

balans neemt de bodemvoorraad koolstof toe en spreken we van 'koolstofvastlegging'. Koolstofvastlegging vertaalt zich in een negatieve CO₂-emissie vanuit de bodem. De berekeningen worden uitgevoerd op gewasniveau, maar de uitkomsten worden opgeteld voor de gewasgroepen gras, maïs en overig bouwland. We onderscheiden daarbij drie typen grasland: (i) Tijdelijk, (ii) Blijvend – 1e jaars (1^e jaar na herinzaai) en (iii) Blijvend – overig. Voor snijmaïs en alle andere bouwlandgewassen onderscheiden we telkens vier typen bouwland: (i) Continu met groenbemester, (ii) Continu zonder groenbemester, (iii) Wisselteelt met groenbemester en (iv) Wisselteelt zonder groenbemester.

6.6.1.1 Aanvoer

De aanvoer van organische stof bestaat uit gewasresten (Tabel 6.21) en organische mest. De organische stof in gewasresten en organische mest bevat 50% koolstof.

6.6.1.1.1 Gewasresten

De aanvoer van gewasresten van grasland is ontleend aan Lesschen *et al.* (2020) waarin voor blijvend grasland een calibratie is uitgevoerd met Nederlandse lange termijn experimenten. Hieruit werd een gemiddelde koolstofaanvoer van blijvend grasland van 5,1 t/ha/jaar afgeleid (=10,2 t organische stof/ha/jaar); voor tijdelijk grasland en eerste jaars blijvend grasland ontbreken voldoende data en is een aanvoer van 3,4 t/ha/jaar (=6,8 t organische stof/ha/jaar) afgeleid met behulp van de verhouding tussen de bestaande EOS kengetallen voor tijdelijk en blijvend grasland zoals vermeld in het Handboek Bodem en Bemesting (www.handboekbodemenbemesting.nl). Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde leeftijd van het grasland van 3 jaar. Er wordt vooralsnog niet gespecificeerd naar leeftijd van het grasland in de wisselbouw.

Voor de C-aanvoer met gewasresten bij bouwlandgewassen wordt uitgegaan van forfaitaire waarden zoals vermeld in Tabel 6.21)

Voor de aanvoer van gewasresten uit groenbemesters onderscheiden we vroeg en laat gezaaide groenbemesters met een koolstofaanvoer van respectievelijk 2,0 en 1,1 t/ha (4,0 en 2,2 t organische stof/ha). De oppervlakte groenbemesters is bekend voor snijmaïs en de groep overige akkerbouwgewassen als geheel. Bij snijmaïs wordt een koolstofaanvoer aangehouden van een laat gezaaide groenbemester (1,1 t C/ha). Bij de overige akkerbouwgewassen wordt het areaal opgegeven groenbemester eerst toebedeeld aan de vroeg geogste gewassen (GPS, GRANG, GRANK, PEUL, UIBOL, POOT) met een koolstofaanvoer van 2 t/ha. Indien de oppervlakte groenbemesters groter is dan de oppervlakte vroeg geogste gewassen, dan wordt de rest van het groenbemesterareaal eerst toegewezen aan de groep met later geogste gewassen (MAÏS, AARD, GROBLA, GROOVE, OVERIG). Indien er dan nog een oppervlakte groenbemesters overblijft, wordt dit toegewezen aan de groep gewassen, waarna in de praktijk doorgaans geen groenbemesters worden geteeld (BIET, GRASZ, KLAV, LUZ). Bij de laatste twee groepen wordt gerekend met een koolstofaanvoer van 1,1 t/ha (overeenkomend met de aanvoer van een laat gezaaide groenbemester na maïs).

De jaarlijkse C-aanvoer (Tabel 6.21) wordt evenredig verdeeld over twaalf maanden. De kwaliteit van de organische stof (afbreekbaarheid) wordt geduïd door de verhouding tussen afbreekbare organische stof (Decomposable Plant Matter; DPM) en resistente organische stof (Resistant Plant Matter; RPM), en het aandeel humus (Humified Matter; HUM). Voor gewasresten is de DPM/RPM verhouding 1,44 (59% DPM en 41% RPM). Gewasresten bevatten geen HUM.

6.6.1.1.2 Organische mest

De aanvoer van koolstof uit organische mest is afgeleid van de stikstof : organische stof verhouding in de betreffende organische mestsoorten (Tabel 6.19). De jaarlijkse aanvoer wordt, evenals bij de gewasresten, evenredig verdeeld over twaalf maanden. Wat betreft de kwaliteit van de organische stof is voor dierlijke mest uitgegaan van 49% DPM, 49% RPM en 2% HUM. Compost is al deels afgebroken en daarbij is uitgegaan van 15% DPM, 70% RPM en 15% HUM.

6.6.1.2 Afvoer

6.6.1.2.1 Invoerdata

Voor de berekening van de koolstofbalans van minerale grondsoorten worden de volgende data gebruikt:

- maandelijks neerslag, temperatuur en verdamping
- koolstofgehalte en kleigehalte van de bodem in de laag van 0-25 cm
- maandelijks aanvoer koolstof uit gewasrest en organische mest (zie paragraaf 6.6.1.1)
- maandelijks gewas-specifieke bodembedekking

Op basis van de postcode-4 tabel wordt het dichtsbijzijnde weerstation gekozen uit een set van 14 over het land verspreide weerstations. We maken gebruik van de gemiddelde weerdata in de periode 2013-2022, waarbij het model eerst voor elk van de tien weerjaren wordt doorgerekend en daarna worden de uitkomsten gemiddeld over de tien weerjaren. De Makkink verdamping wordt omgerekend naar de open water verdamping met een conversiefactor van 1,25 (Feddes *et al.*, 2003).

Het koolstofgehalte onder grasland en bouwland wordt opgehaald uit een postcode-4 tabel die is gebaseerd op de LSK dataset van 2018 (Van Tol-Leender *et al.*, 2019). Het lutumgehalte wordt opgehaald uit een postcode-6 tabel die is afgeleid van de BOFEK-2020 bodemkaart. Vervolgens wordt aan de hand van de opgegeven grondsoort een controle uitgevoerd en wordt het lutum-gehalte van zandgronden voor waarden boven de 10, en bij kleigronden voor waarden onder de 10, vastgesteld op 10.

Het koolstofgehalte en lutumgehalte worden gebruikt om de bodemdichtheid te berekenen met pedotransferfuncties voor klei (Wösten *et al.*, 2001) en zand (Hoekstra en Poelman, 1982).

$$BD_{\text{klei}} = 1 / (0,6117 + 0,003601 * LUT + 0,002172 * (BOC / 0,54)^2 + 0,01715 * \text{LN}(BOC / 0,54))$$

$$BD_{\text{zand}} = 1 / (0,667 + (0,021 * (BOC / 0,54)))$$

Hierin is BD de dichtheid van de bodem (g/l), LUT het lutumgehalte (%) and BOC het organische koolstof gehalte van de bodem (%). De beginvoorraad bodemkoolstof in de laag van 0-25 cm (BOC_25) is dan als volgt.

$$BOC_{25} = BOC * BD * 25$$

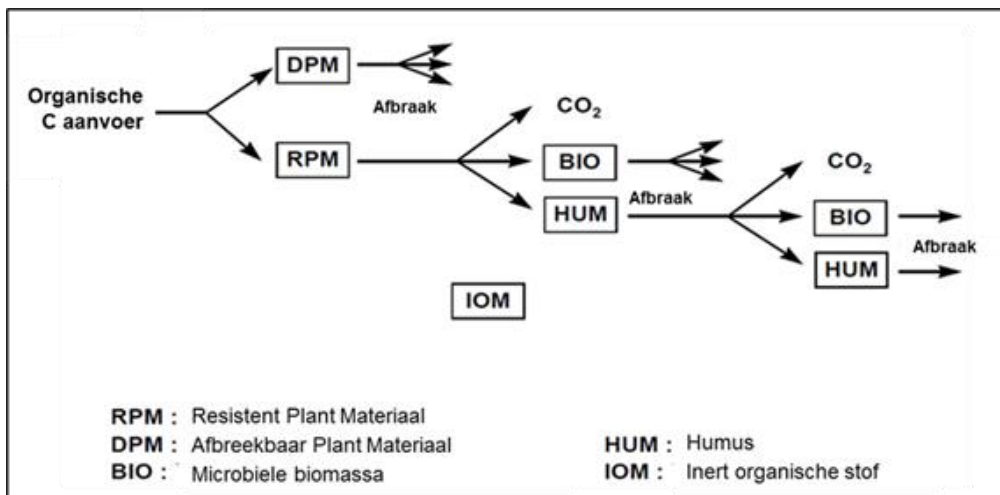
Tot slot, wordt de gewas-specifieke bodembedekking opgehaald uit de data in Bijlage 9.

6.6.1.2.2 Rekenregels

Het RothC model onderscheidt vijf componenten (Figuur 6.2) van bodemkoolstof, elk met een eigen afbraaksnelheid.

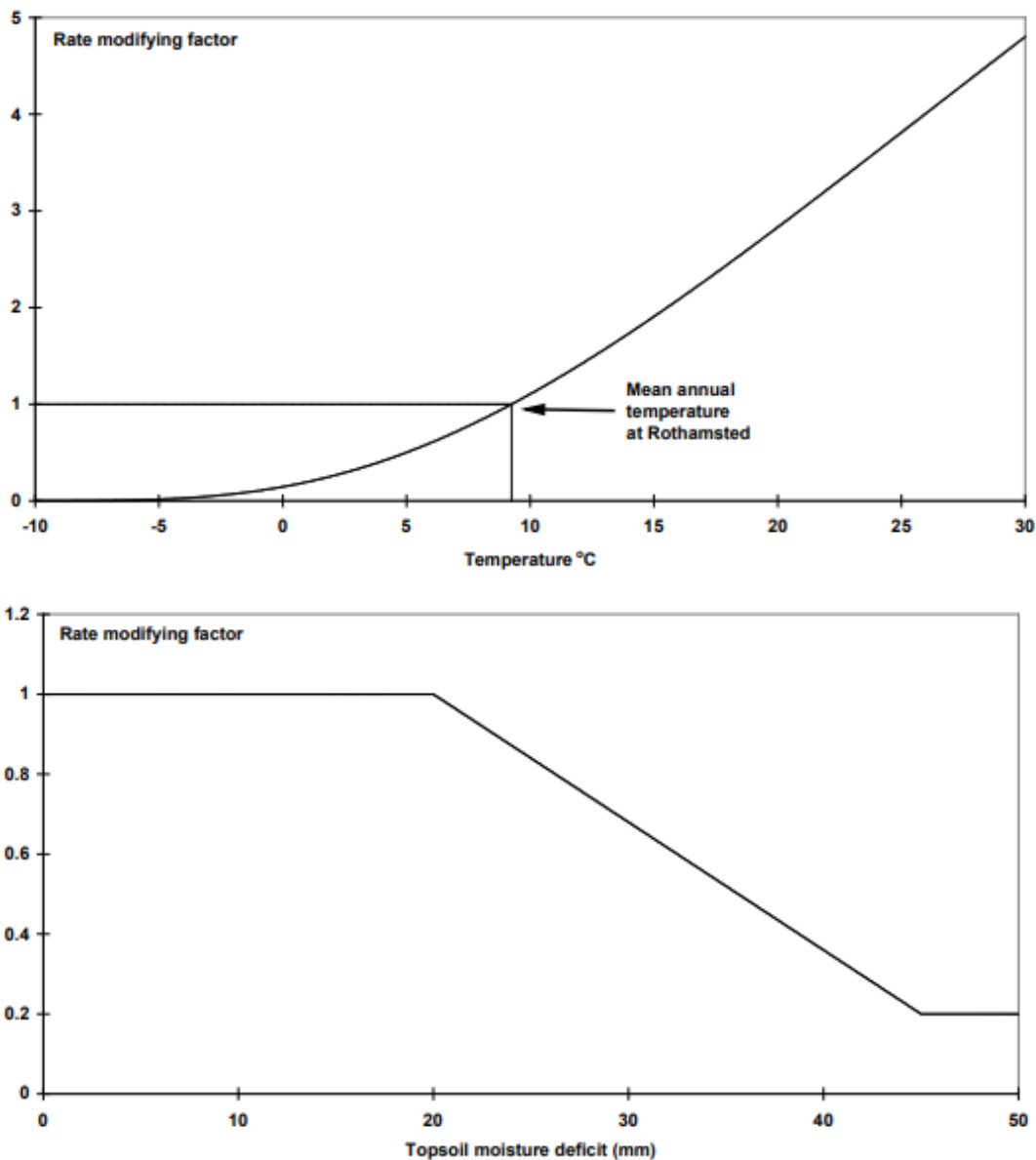
- Afbreekbare organische stof (Decomposable Plant Matter; DPM)
- Resistente organische stof (Resistant Plant Matter; RPM)
- Microbiele biomassa (Microbial Biomass; BIO)
- Humus (Humified Matter; HUM)
- Inerte organische stof (Inert Organic Matter; IOM)

De standaard afbraakconstante (1/jaar) van de componenten DPM, RPM, BIO en HUM is achtereenvolgens 10, 0,3, 0,66 en 0,02 wat overeenkomt met een gemiddelde afbraaktijd van 0,1, 3,3, 1,5 en 50 jaar. De inerte organische stof breekt niet af.



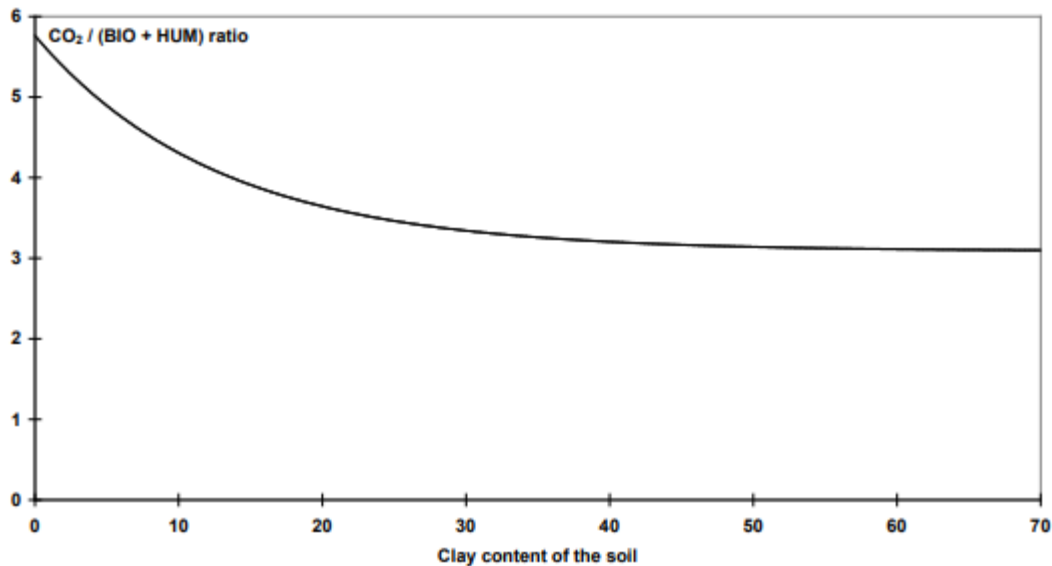
Figuur 6.2 Vereenvoudigd schema van het RothC model.

De standaard afbraakconstanten veranderen onder invloed van temperatuur, bodemvocht en bodembedekking. De afbraaksnelheid neemt af naarmate de temperatuur daalt tot een temperatuur van -5°C waarbij de afbraak nul is (Figuur 6.3, boven). Het maandelijks voortschrijdende bodemvochttekort wordt gecumuleerd berekend met behulp van neerslag, verdamping, bodembedekking en lutumgehalte. De afbraaksnelheid neemt af vanaf een vochttekort boven de 20 mm, tot een maximaal vochttekort (Figuur 6.3, onder). Het maximale vochttekort is afhankelijk van het lutumgehalte en de bodembedekking.



Figuur 6.3 Invloed van temperatuur (boven) en bodemvochttekort (onder) op de correctiefactor voor afbraaksnelheid (figuren zijn ontleend aan Coleman et al. (1997)); voor verdere details, inclusief bijbehorende formules, wordt verwezen naar Coleman et al. (1997).

De beginvoorraad bodem organisch koolstof in de bodem wordt toegekend aan de vijf componenten. De verdeling is afhankelijk van de jaarlijkse aanvoer, de gewasopvolging, het weer en het lutumgehalte. Met tijdstappen van één maand wordt vervolgens de aanvoer (gewasresten en organische mest) en afbraak van organische stof per component berekend. De organische stof in een bepaalde component wordt afgebroken tot CO₂, microbiële biomassa (BIO) en humus (HUM). De verhouding tussen CO₂ en BIO+HUM is afhankelijk van het lutumgehalte (Figuur 6.4). Hoe hoger het lutumgehalte, hoe lager de verhouding tussen CO₂ en BIO+HUM. De onderlinge verdeling tussen BIO (46%) en HUM (54%) is constant. Na twaalf rekenstappen van een maand is de eindvoorraad van het jaar berekend. De balans is vervolgens het verschil tussen de eindvoorraad en de beginvoorraad. De CO₂-emissie wordt berekend als de verandering van de C-voorraad * 44/12, waarbij een positieve balans overeenkomt met een negatieve emissie en andersom. Voor verdere details, inclusief alle bijbehorende formules wordt verwezen naar Hendriks et al. (2022).



Figuur 6.4 Invloed van lutumgehalte op verhouding CO₂ en BIO+HUM (figuur ontleend aan Coleman et al. (1997)). Voor verdere details, inclusief bijbehorende formules, wordt verwezen naar Coleman et al. (1997).

6.6.2 Koolstofverlies van veengronden

Bij veengronden wordt de afbraak van organische stof uit de ondergrond berekend. Het balans-principe van de bovengrond van minerale gronden is niet toepasbaar omdat de voorraadverandering en emissie van de bovengrond niet te onderscheiden is van die van de ondergrond. De afbraak wordt, via de maaiveldaling, berekend als een functie van het type bovengrond en de grondwaterstand. De berekeningen hebben uitsluitend betrekking op de veengronden, terwijl de moerige gronden bij de minerale gronden worden meegerekend. Dit is conform de systematiek van de RVO grondsoortenkaarten (Grondsoortenkaart bij het uitvoeringsbesluit Meststoffenwet).

6.6.3 Invoerdata

Het type bovengrond en de ontwatering worden opgehaald uit een postcode-6 tabel die is gebaseerd op de Nederlandse bodemkaart (1:50000). Bij het type bovengrond wordt een onderscheid gemaakt tussen (i) moerige bovengronden en (ii) overige bovengronden met een kleidek, zanddek of veenkoloniaal dek. Bij de ontwatering onderscheiden we (i) slechte ontwatering: grondwatertrappen I en II, (ii) redelijke ontwatering: grondwatertrappen IIb, III en IIIb, en (iii) goede ontwatering: grondwatertrappen IV en hoger.

6.6.4 Rekenregels

Voor veengronden wordt de maaiveldaling berekend uit het bodemtype van de bovengrond en de ontwatering (slecht, redelijk, goed). Met deze methode varieert de maaiveldaling van 3 tot 18 mm per jaar (Tabel 6.21).

Tabel 6.21 Gemiddelde maaiveldaling (mm/jaar) van Nederlandse veengronden (Kuikman et al., 2005) in relatie tot bovengrond en ontwatering. Slechte ontwatering: grondwatertrappen I en II. Redelijke ontwatering: grondwatertrappen IIb, III en IIIb. Goede ontwatering: grondwatertrappen IV en hoger.

| Bovengrond | Ontwatering | | |
|-------------------|-------------|----------|------|
| | Slecht | Redelijk | Goed |
| Overig (moerig) | 6 | 12 | 18 |
| Kleidek | 3 | 8 | 13 |
| Zanddek | 3 | 8 | 13 |
| Veenkoloniaal dek | 3 | 8 | 13 |

De afbraak van organische stof wordt berekend als functie van de maaiveldaling (S_{mv}), met de onderstaande formule (Kuikman *et al.*, 2005).

$$C_{afb} = S_{mv} * \rho_{so} * fr_{os} * fr_c * 10000$$

waarin:

C_{afb} = koolstofafbraak (kg/ha/jaar)

S_{mv} = snelheid jaarlijkse daling van het maaiveld (m/jaar)

ρ_{so} = bulkdichtheid van ongerijpt veen (kg/m³) [vaste waarde: 140]

fr_{os} = organisch stof fractie in veen (-) [vaste waarde: 0,8]

fr_c = koolstoffractie in organisch stof (-) [vaste waarde: 0,55]

De emissie van CO₂ (CO_{2em}) is gelijk aan:

$$CO_{2em} = C_{afb} * 44 / 12$$

6.7 Kanttekeningen bij BEC

- De CO₂ die vrijkomt als gevolg van een eventueel aanwezige tak 'staldieren' (varkens, kippen, vleeskalveren), verbruikte fossiele brandstof binnen het bedrijf of 'upstream' (via aangekocht voer), wordt in de KringloopWijzer nog niet meegenomen. Dat betekent dat de totale emissie van CO₂-equivalenten wordt onderschat bij aanwezigheid van 'staldieren'.
- De KringloopWijzer beperkt zich wat betreft N en P hoofdzakelijk tot verliezen en benuttingen binnen de grenzen van het bedrijf. Door emissies die buiten het bedrijf plaatsvinden niet in de beschouwing te betrekken, kan bij een vergelijking van bedrijven echter een scheef beeld ontstaan. Dit geldt met name voor emissies waarvoor niet de lokale milieubelasting relevant is (nitraat en ammonium, fosfaat, ammoniak), maar de mondiale belasting, te weten de emissie van CO₂-equivalenten. Daarom wordt de broeikasgasemissie die het gevolg is van een aantal productiemiddelen van buiten (kunstmest, aangekochte voedermiddelen, energie) ook door de KringloopWijzer in beeld gebracht.
- Voor wat betreft de bijdrage aan de organische stof voorziening per kg mest-N of per kubieke meter mest, worden slechts drie soorten mest onderscheiden. De gehanteerde waarden zijn voor wat betreft graasdiermest en niet-graasdiermest ontleend aan de karakteristieken van dunne mesten. Omdat vaste mesten per kg N en per kubieke meter veel meer C bevatten, onderschat de KringloopWijzer voornamelijk de organische stof voorziening bij gebruik van vaste mest.
- Bij de berekening van de aanvoer van organische stof met organische mest wordt uitgegaan van een vaste OS/N-verhouding. Dit wijkt af van de berekening van de CH₄-emissie uit mest, waarbij gebruik wordt gemaakt van een berekende bedrijfsspecifieke OS-gehalte in de mest op basis van het OS-gehalte en de verteringscoëfficiënt van de OS van de verschillende rantsoencomponenten. Dit zou op termijn moeten worden gestroomlijnd.

Literatuur

- Agri-footprint 4, Blonk Agri-footprint B.V., 2017a. Agri-footprint 4.0 Part 1: Methodology and basic principles. Blonk Agri-footprint B.V., Gouda, The Netherlands.
- Agri-footprint 4, Blonk Agri-footprint B.V., 2017b. Agri-footprint 4.0 Part 2: Description of data. Blonk Agri-footprint B.V., Gouda, The Netherlands.
- Agri-Footprint 5. Blonk Agri-footprint BV. (2019). Agri-Footprint - Part 1 - Methodology and basic principles. Gouda, the Netherlands.
- Agri-Footprint 6. Blonk Agri-footprint BV. (2022). Agri-Footprint - Part 1 - Methodology and basic principles. Gouda, the Netherlands.
- Arets, E.J.M.M., J.W.H van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas, 2019. Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2019. Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment (WOT Natuur & Milieu), Wageningen. WOt-technical report 146. 113 p; 9 Figures; 38 Tables; 61 Refs. 4 Annexes.
- Arets, E. J. M. M., van Baren, S. A., Hendriks, C. M. J., Kramer, H., Lesschen, J. P., & Schelhaas, M. J. (2023). Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands : methodological background, update 2023. (WOt-technical report; No. 238). WOT Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/588942>, <https://edepot.wur.nl/588942>.
- Anonymus, 2014. <http://www.soilquality.org.au/factsheets/organic-carbon>.
- Anonymus, 2015a. Tabel 5 Forfaitaire stikstof- en fosfaatgehalten in dierlijke mest 2015-2017. <http://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mest-en-grond/mest/tabellen-en-publicaties/tabellen-en-normen>.
- Anonymus, 2015b. <http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouwtuinbouw/ammoniak/rav/stalbeschrijvingen>.
- Anonymus, 2019. KWIN 2019-2020; Kwantitatieve Informatie Veehouderij. Wageningen UR, Wageningen.
- Bannink, A., W.J. Spek, J. Dijkstra & L. Sebek, 2018. A Tier 3 Method for Enteric Methane in Dairy Cows Applied for Fecal N Digestibility in the Ammonia Inventory. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, November 2018, 1-14 pp.
- Bikker, P., L.B. Šebek, C. van Bruggen & O. Oenema (2019). Stikstof- en fosfaatexcretie van gangbaar en biologisch gehouden landbouwhuisdieren. Herziening excretieforfaits Meststoffenwet 2019. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WUR, Wageningen. WOt-technical report 152. 87 blz.
- Blonk, 2019. <http://www.blonkconsultants.nl/portfolio-item/direct-land-use-change-tool/>
- Bouwman, A.F., 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agro-ecosystems* 46 (1): 53-70.
- BSI, 2011. PAS 2050:2011. PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards Institution (BSI).
- Coleman, K., Jenkinson, D.S., Crocker, G.J., Grace, P.R., Klir, J., Korschens, M., Poulton, P.R., Richter, D.D., 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. *Geoderma* 81, 29-44.
- Conijn, J.G., 2004. Nfate: a N flux model for grassland resowing and grass-arable rotations. In: A. Lüscher, B. Jeangros, W. Kessler, O. Huguenin, M. Lobsiger, N. Millar & D. Suter (eds.). *Land Use Systems in Grassland Dominated Regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation, Grassland Science in Europe, Volume 9, Luzern, Switzerland, 21-24 June 2004*. 541-543.
- Conijn, J.G. & F. Taube (eds.), 2004. Grassland resowing and grass-arable crop rotations. Consequences for performance and environment. Second workshop of the EGF-Working Group 'Grassland Resowing and Grass-arable Rotations', Kiel, Germany, 27-28 February 2003. Wageningen, Plant Research International, report 80, 78 pp.
- CRV, 2015. Jaarstatistieken 2014. CRV, Arnhem, 55 pp.
- CRV, 2016. Jaarstatistieken 2015, CRV, Arnhem, 56 pp.
- CRV, 2017. Jaarstatistieken 2016. CRV, Arnhem, 56 ppm.

-
- CVB, 2004. Veevoedertabel, gegevens over chemische samenstelling, verteerbaarheid en voederwaarde van voedermiddelen.
- CVB, 2006. Handleiding Voederwaardeberekening ruwvoerders, richtlijnen voor de bemonstering van ruwvoerders en vochtrijke krachtvoerders en voor de berekening van de voederwaarde voor herkauwers en paarden. Productschap Veevoerders, Den Haag.
- CVB, 2011. Feed Table 2011 volgens <http://www.cvbdiervoeding.nl/pagina/10081/downloads.aspx>.
- CVB, 2018. Schattingsformules voor VRE en VOS van vers gras, kuilgras en grashooi. TC-CVB-141 (herziene versie van notitie TC-CVB-124 en TC-CVB-85), Productschap Veevoerders, Den Haag.
- CVB, 2019. Feed Table 2019 volgens <http://www.cvbdiervoeding.nl/pagina10081/downloads.aspx>
- CVB, 2021. Feed Table 2021 volgens <http://www.cvbdiervoeding.nl/pagina10081/downloads.aspx>
- De Buissonjé, F.F., M.M. van Krimpen & J. Jochemsen, 2009. Mineralenbalans van vleeseenden in praktijkstallen en mineralengehalten in ouderdieren en broedeieren. Rapport 226, Animal Sciences Group, Wageningen UR, Wageningen, 12 pp.
- Den Boer, D.J., J.A. Reijneveld, J.J. Schröder & J.C. Curth-van Middelkoop, 2012. Mestsamenstelling in Adviesbasis Bemesting Grasland en Voedergewassen. Rapport 1, Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, Lelystad, 24 pp.
- De Ruijter, F.J. & J.F.M. Huijsmans, 2019. A methodology for estimating the ammonia emission from crop residues at a national scale. *Atmospheric Environment*: 2: 100028. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100028>
- De Ruijter, F.J., W. van Dijk, W.C.A. van Geel, G. Holshof, R. Postma & P. Wilting, 2020. Actualisatie van stikstof- en fosfaatgehalten van akkerbouwgewassen met een groot areaal. Wageningen Research, rapport WPR-957, 96 bladz.
- Ecoinvent, 2018. <https://www.ecoinvent.org/>
- European Life Cycle Database (ELCD) v3.2, April 2018, <http://lca.jrc.ec.europa.eu>
- Elgersma, A. & J. Hassink, 1997. Effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on plant and soil nitrogen and soil organic matter in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Plant and Soil* 197, 177-186.
- Fraters, B., T.C. van Leeuwen, A. Hooijboer, M.W. Hoogeveen, L.J.M. Boumans & J.W. Reijs, 2012. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven: Herberekening van uitspoelfracties. Rapport 680716006. RIVM, Bilthoven, 33 pp.
- Feddes, R.; Van Dam, J.; Witte, J., 2003. *Soil Physics and Agrohydrology*; Wageningen Universiteit.
- FeedPrint, 2023. <http://webapplicaties.wur.nl/software/feedprintNL/index.asp> (in voorbereiding).
- Groenestein, C.M., J. de Wit, C. van Bruggen & O. Oenema, 2015. Stikstof- en fosfaatexcretie van gangbaar en biologisch gehouden landbouwhuisdieren. Herziening excretieforfaits Meststoffenwet 2015. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen, WOt-technical report 45. 48 blz.
- Handreiking, 2019. <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2019/07/12/rapport-handreiking-bedrijfsspecifieke-excretie-melkvee/rapport-handreiking-bedrijfsspecifieke-excretie-melkvee.pdf>
- Hendriks, C., J.P. Lesschen, B. Timmermans, M. Hanegraaf, W. Dijkman, C. Rougoor, ... & J. Schepens, 2021. Beschrijving en ontwikkeling Praktijktool BodemCoolstof.
- Hjort-Gregersen, K., 2014. Methane emission from Danish biogas plants - Economic Impact of Identified Methane Leakages. Project: ForskEl 2013-1-12093. Agrotech, Denmark. Web: http://agrotech.dk/sites/agrotech.dk/files/public/economic_impact_of_identified_methane_leakages.pdf
- Hoekstra, C.; Poelman, J.N.B., 1982. Dichtheid van gronden gemeten aan de meest voorkomende bodemeenheden in Nederland; STIBOKA: Wageningen.
- Hospers, J.A.J., S.E.M. Dekker, B.P.J. Durlinger & L. Kuling, 2019. Farm specific footprint methodology: How is a farm specific carbon footprint of raw milk calculated? Version 2.9 – January 2019, FrieslandCampina B.V., Wageningen.
- IDF, International Dairy Federation, 2022. The IDF global Carbon Footprint standard for the dairy sector. Bulletin of the International Dairy Federation 520/2022. Brussels, Belgium.
- IEA, 2012. CO₂ emissions from fuel combustion (2012 Edition), International Energy Agency, Paris.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.

-
- Kenniscentrum Infomil <http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/ammoniak-en/regeling-ammoniak/stalbeschrijvingen/map-staltypen/hoofdcategorie>.
- Kirkby, C.A., J.A. Kirkegaard, A.E. Richardson, L.J. Wade, C. Blanchard & G. Batten, 2011. Stable soil organic matter: A comparison of C:N:P:S ratios in Australian and other world soils. *Geoderma* 163, 197-208.
- Korevaar, H., R.H.E.M. Geerts, W. de Visser & E. Koldewey, 2006. Vier jaar multifunctionele gras- en bouwlanden in Winterswijk: gevolgen voor economie en ecologie op de bedrijven. Rapport 115, Plant Research International, Wageningen, 80 pp.
- Kortleven, J., 1963. Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Wageningen, 109 pp.
- Kuikman, P.J., J.J.H van den Akker & F. de Vries, 2005. Emissie van N₂O en CO₂ uit organische landbouwbodems. Alterra, Wageningen, Alterra rapport 1035 – 2. 66 pag., 1 fig., 6 tab.; 48 ref.
- 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. WOT-technical report 148. The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment, WUR, Wageningen.
- Lesschen, J.P., T. Vellinga, S. Dekker, A. van der Linden & R. Schils, 2020. Mogelijkheden voor monitoring van CO₂-vastlegging en afbraak van organische stof in de bodem op melkveebedrijven. (Wageningen Environmental Research rapport; No. 2993). Wageningen Environmental Research.
- Mosquera, J. & A. Hol, 2012. Emissiefactoren methaan, lachgas en PM_{2,5} voor stalsystemen, inclusief toelichting. Wageningen UR Livestock Research rapport 496.
- Nemecek, Th. & Th. Kägi, 2007. Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. Data v2.0. Ecoinvent report No. 15A. Zürich/Dubendorf, 2007, 360 pp.
- Nevedi, 2022. Gegevens uitwisselen van een diervoederbedrijf naar de Centrale Database KringloopWijzer vanaf 1 januari 2023. Rapport versie 5.0, november 2022.
- NIR, 2014. National Inventory Report, The Netherlands. RIVM Report 680355016/2014, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Bilthoven, 275 pp.
- Oenema, J., G.H. Hilhorst, L. Šebek & H.F.M. Aarts, 2011. Bedrijfsspecifieke fosfaatgebruiksnormen (BEP): onderbouwing en verkenning in de praktijk, Rapport 400, Plant Research International, Wageningen, 20 pp.
- Oenema, J., L.B. Šebek, J.J. Schröder, J. Verloop, M.H.A. de Haan & G.J. Hilhorst, 2017. Toetsing van de KringloopWijzer: -gemeten en voorspelde stikstof- en fosfaatproducties van mest en gewas -. Rapport 689, Wageningen Plant Research, Wageningen UR, Wageningen, 79 pp.
- Ogink, N. W. M., C. M. Groenestein, and J. Mosquera, 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij = Update of ammonia emission factors for cattle categories: advisory report for amendments in regulations on ammonia and livestock. Wageningen UR Livestock Research.
- PEFCR, 2018a. Product Environmental Footprint Category Rules Guidance Version 6.3 – May 2018. http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf
- PEFCR, 2018b. Product Environmental Footprint Category Rule Feed for food-producing animals. http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_feed.pdf
- PEFCR, 2018c. Product Environmental Footprint Category Rule for Dairy Products. http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR-DairyProducts_2018-04-25_V1.pdf
- Rommelink, G., Van Middelkoop, J., Ouweltjes, W. and Wemmenhove, Handboek melkveehouderij 2020/2021, 2020. Wageningen UR Livestock Research, Wageningen, The Netherlands.
- Schils, R.L.M., Th.V. Vellinga & T. Kraak, 2001. Dry-matter yield and herbage quality of a perennial ryegrass/white clover sward in a rotational grazing and cutting system. *Grass and Forage Science* 54, 19-29.
- Schils, R.L.M., 2002. White clover utilisation on dairy farms in the Netherlands. PhD Thesis. Wageningen University, Wageningen, 149 pp.
- Schröder, J.J., L. ten Holte & B.H. Janssen, 1997. Non-overwintering cover crops: a significant source of N. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45: 231-248.
- Schröder, J.J., J.W. Steenhuizen, A.G. Jansen, B. Fraters & A. Siepel, 2003. Opbrengst, mineralenverlies en bodemvruchtbaarheid van een biologisch akkerbouwbedrijf in relatie tot bemestingsniveaus. Resultaten van het ecologisch proefbedrijf Dr H.J. Lovinkhoeve 1996-2002. Rapport 69, Wageningen UR-PRI, Wageningen, 46 pp. <http://edepot.wur.nl/27804>

-
- Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof, B. Fraters & W.J. Willems, 2007. Permissible manure and fertilizer use in dairy farming systems on sandy soils in The Netherlands to comply with the Nitrates Directive target. *European Journal of Agronomy* 27, 102-114.
- Schröder, J.J., D. Uenk & G.J. Hilhorst, 2007. Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant Soil* 299, 83-99
- Schröder, J.J., F. de Buissonjé, G. Kasper, N. Verdoes & J. Verloop, 2009. Mestscheiding: relaties tussen techniek, kosten, milieu en landbouwkundige waarde. Rapport 287, Plant Research International, Wageningen, 36 pp.
- Schröder, J.J., J.J. de Haan, J.R. van der Schoot, 2015. Verkenning van equivalente maatregelen met het WOG 2.0 rekenmodel. Rapport 638, PRI/PPO-Wageningen UR, 44 pp.
- Schröder, J.J., L.B. Šebek, J.W. Reijs, J. Oenema, R.M.A. Goselink, J.G. Conijn & J. de Boer, 2016. Rekenregels van de KringloopWijzer Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 4 maart 2014 versie. PRI rapport 640, Wageningen UR, 103 pp.
- Šebek, L., 2008. Notitie evaluatie 'Handreiking bedrijfsspecifieke excretie melkvee' 2006 en 2007, Notitie tbv EL&I, juni 2008.
- Šebek, L.B., J.A. de Boer & A. Bannink, 2020. De Kringloopwijzer, het voerspoor en methaanemissie op het melkveebedrijf. Wageningen Livestock Research, Rapport 986.
- Smits, M.C.J. & J.W.H. Huis in 't Veld, 2007. Ammonia emission from cow houses within the Dutch 'Cows & Opportunities' project. In: Ammonia emissions in agriculture, Wageningen. Wageningen Academic Publishers, p119-120. International Conference on Ammonia in Agriculture: Policy, Science, Control and Implementation, Wageningen 2007. 2007-03-19/2007-03-21.
- Tamminga, S., F. Aarts, A. Bannink, O. Oenema & G.J. Monteny, 2004. Actualisering van geschatte N en P excreties door rundvee. Reeks Milieu en Landelijk gebied 25, Alterra, Wageningen UR, 48 pp.
- Timmer, R.D., G.W. Korthals & L.P.G. Molendijk, 2004. Teelthandleiding groenbemesters. PPO-AGV Lelystad; <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/teelthandleiding-groenbemesters-bijlage-organische-stof>.
- Van Bruggen, C., A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, H.J.C. van Dooren, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, L.A. Lagerwerf, K. Oltmer, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof and T. van der Zee, 2023. Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2021. Wageningen, The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment (WOT Natuur & Milieu), WOt-technical report 242.
- Van Dijk, W., T.B. Hofman, K. Nijssen, H. Everts, A.P. Wouters, J.G. Lamers, J. Alblas & J. van Bezooijen, 1996. Effecten van maïs-gras Vruchtwisseling. Verslag Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond No. 217: 140 pp. (In Dutch).
- Van Kekem, A.J., 2004. Veengronden en stikstofleverend vermogen. Alterra rapport 965, Alterra, Wageningen, 52 pp.
- Van Schooten, H.A. & C.A. van Dongen, 2007. Dichtheidsbepaling maïs en graskuilen met boormonsters. Rapport 64, Animal Science Group, Lelystad, 23 pp.
- Van Schooten, H.A. & B. Philipsen (2010). Effect van inkuilmanagement op emissie van broeikasgassen op bedrijfsniveau. Wageningen UR Livestock Research, rapport nr 403, 33 pp.
- Van Tol-Leenders, D.E., M. Knotters, W. de Groot, P. Gerritsen, A. Reijneveld, F. van Egmond, H. Wösten & P. Kuikman, 2019. Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018): CC-NL; 1566-7197; Wageningen Environmental Research.
- Vellinga, T.V., H. Blonk, M. Marinussen, W.J. van Zeist & I.J.M. de Boer, 2013. Methodology used in feedprint: a tool quantifying greenhouse gas emissions of feed production and utilization. Wageningen UR Livestock Research and Blonk Consultants. Wageningen Livestock Research Report 674, March 2013. <http://edepot.wur.nl/254098>.
- Vellinga, Th., 1994. Grasland met gebruiksbepalingen. Lelystad, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden. Praktijkonderzoek 94-5.
- Velthof, G.L. & O. Oenema, 2001. Effects of ageing and cultivation of grassland on soil nitrogen. Report 399, Alterra.
- Velthof, G.L., I.E. Hoving, J. Dolfing, A. Smit, P.J. Kuikman & O. Oenema, 2010. Method and timing of grassland renovation affects herbage yield, nitrate leaching, and nitrous oxide emission in intensively managed grasslands. *Nutrient cycling in agroecosystems* 86:401-412.

-
- Velthof, G.L. & J. Mosquera, 2011. Calculation of nitrous oxide emission from agriculture in the Netherlands. Update of emission factors and leaching fraction. Wageningen, Alterra. Alterra report 2151, 66 p.
- Velthof, G.L., A.B. Brader & O. Oenema, 1996. Seasonal variations in nitrous oxide losses from managed grasslands in the Netherlands. *Plant and Soil* 181: 263-274.
- Velthof, G.L., C. van Bruggen, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen & J.F.M. Huijsmans, 2009. Methodiek voor berekening van ammoniakemissie uit de landbouw in Nederland, Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 70. 180 pp.
- Velthof, G.L., C. van Bruggen, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen & J.F.M. Huijsmans, 2012. A model for inventory of ammonia emissions from agriculture in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 46, 248 - 255.
- Vonk, J., S.M. van der Sluis, A. Bannink, C. van Bruggen, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J.W.H. van der Kolk, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.V. Oude Voshaar & G.L. Velthof, 2018. Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands: update 2018. WOt technical report 115, Wageningen, 176 pp.
- Wösten, H., G.J. Veerman, J. Groot; Stolte, 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; vernieuwde uitgave 2001. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 153, 86 blz.
- Zeeman, G., 1994. Methane production and emission in storages for animal manure. *Fertilizer Research* 37, 207-211.
- Zijlema, 2023. Website Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂ emissiefactoren, versie januari 2023: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2023-10/Nederlandse-energiedragerlijst-2023.pdf>
- 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.

Websites

- www.handboekbodemenbemesting.nl (geraadpleegd in oktober 2022).
- www.handboeksnijmais.nl (geraadpleegd in augustus 2023)
- www.bemestingsadvies.nl (geraadpleegd in november 2023)
- www.clo.nl (geraadpleegd in oktober 2022)
- www.co2emissiefactoren.nl (geraadpleegd in oktober 2023)

Bijlage 1 Verwijzing van kengetallen naar desbetreffende paragraaf van dit rapport

| Onderdeel | Kengetal | Beschrijving in rekenregelrapport |
|---------------------|--|--|
| BEX en BEP | Voordeel bedrijfsspecifieke excretie: stikstof | Zie Bijlage 2 |
| | Voordeel bedrijfsspecifieke excretie: fosfaat | Zie Bijlage 2 |
| | Voordeel bedrijfseigen gebruiksnorm: fosfaat | Zie Bijlage 2 |
| | BEX-excretie per ton melk: stikstof (kg N) | Excretieberekening stikstof in paragraaf 2.2. Delen door hoeveelheid geproduceerde melk ¹ |
| | BEX-excretie per ton melk: fosfaat (kg P ₂ O ₅) | Excretieberekening fosfaat in paragraaf 2.2. Delen door hoeveelheid geproduceerde melk ¹ |
| | Melk per kg BEX-excretie: fosfaat (kg melk) | De hoeveelheid geproduceerde melk ¹ gedeeld door de fosfaatexcretie [zie paragraaf 2.2] |
| Bedrijfsoverschot | Overschot per ha: stikstof (kg N) | paragraaf 4.2.1 |
| | Overschot per ha: fosfaat (kg P ₂ O ₅) | paragraaf 5.2 |
| Efficiëntie voeding | Benutting: stikstof (%) | paragraaf 1.4.3 |
| | Benutting: fosfaat (%) | paragraaf 1.4.3 |
| Opbrengst grasland | Opbrengst bruto per ha: DS (kg ds) | Zie voetnoot 3 |
| | Opbrengst netto per ha: DS (kg ds) | DS-grasopname [paragraaf 2.2] + (P-opbrengst grasland per ha [paragraaf 5.2] – P-grasopname per ha [paragraaf 2.2]) / gemiddeld P-gehalte van aangelegde graskuilen van eigen land ¹ / (1-(percentage voerverlies/100)) / (1-(percentage conserveringsverlies/100)) |
| | Opbrengst netto per ha: KVEM (kvem) | VEM-grasopname [paragraaf 2.2] + (P-opbrengst grasland per ha [paragraaf 5.2] – P-grasopname per ha [paragraaf 2.2]) / gemiddeld P-gehalte van aangelegde graskuilen van eigen land ¹ x gemiddeld KVEM-gehalte van aangelegde graskuilen van eigen land ¹ / (1-(percentage voerverlies/100)) / (1-(percentage conserveringsverlies/100)) |
| | Opbrengst netto per ha: stikstof (kg N) | N-grasopname [paragraaf 2.2] + (P-opbrengst grasland per ha [paragraaf 5.2] – P-grasopname per ha [paragraaf 2.2]) / gemiddeld P-gehalte van aangelegde graskuilen van eigen land ¹ x gemiddeld N-gehalte van aangelegde graskuilen van eigen land ¹ / (1-(percentage voerverlies/100)) / (1-(percentage conserveringsverlies/100)) |
| | Opbrengst netto per ha: fosfaat (kg P ₂ O ₅) | (P-opbrengst grasland per ha [paragraaf 5.2] x (1-(percentage voerverlies/100)) x (1-(percentage conserveringsverlies/100)) |
| Opbrengst snijmaïs | Opbrengst bruto per ha: DS (kg ds) | Netto DS-opbrengst van snijmaïskuil [paragraaf 2.2] / (1-(percentage veldverlies [Tabel 1.1]/100)) |
| | Opbrengst netto per ha: DS (kg ds) | (P-opbrengst snijmaïs per ha [paragraaf 2.1] / gemiddeld P-gehalte van aangelegde snijmaïskuilen ¹ van eigen land x (1-(percentage voerverlies) x (1-(percentage conserveringsverlies) |

| Onderdeel | Kengetal | Beschrijving in rekenregelrapport |
|------------------------|---|--|
| | Opbrengst netto per ha: KVEM (kvem) | (P-opbrengst snijmaïs per ha [paragraaf 5.2] / gemiddeld P-gehalte van aangelegde snijmaïskuiten ¹ van eigen land x gemiddeld kvem-gehalte van aangelegde snijmaïskuiten van eigen land ¹ x (1-(percentage voerverlies/100)) * (1-(percentage conserveringsverlies/100)) |
| | Opbrengst netto per ha: stikstof (kg N) | (P-opbrengst snijmaïs per ha [paragraaf 5.2] / gemiddeld P-gehalte van aangelegde snijmaïskuiten ¹ van eigen land x gemiddeld N-gehalte van aangelegde snijmaïskuiten van eigen land ¹ x (1-(percentage voerverlies/100)) * (1-(percentage conserveringsverlies/100)) |
| | Opbrengst netto per ha: fosfaat (kg P ₂ O ₅) | (P-opbrengst snijmaïsland per ha [paragraaf 5.2] x (1-(percentage voerverlies/100)) x (1-(percentage conserveringsverlies/100)) |
| Bodemoverschot | Overschot per ha: stikstof (kg N) | paragraaf 4.2.1 |
| | Overschot per ha: fosfaat (kg P ₂ O ₅) | paragraaf 5.2 |
| | Aanvoer effectieve org.stof per ha (kg EOS) | paragraaf 6.5 |
| Efficientie bodem | Benutting: stikstof (%) | paragraaf 1.4.5 |
| | Benutting: fosfaat (%) | paragraaf 1.4.5 |
| Ammoniak | Emissie per bedrijf: totaal (kg NH ₃) | paragraaf 3.2 |
| | Emissie per ton melk: totaal (kg NH ₃) | Totale emissie (paragraaf 3.2) delen door geleverde hoeveelheid melk ¹ x 1000 |
| | Emissie per GVE: stal en mestopslag (kg NH ₃) | Totale emissie stal en mestopslag (paragraaf 3.2.1 t/m 3.2.7) delen aantal GVE op bedrijf ² |
| | Emissie per ha: bemesting en oogst (kg NH ₃) | Totale emissie bemesting en oogst (paragraaf 3.2.8 t/m 3.2.11) delen door aantal hectares ¹ |
| Broeikasgassen bedrijf | Emissie per ton meetmelk: on-farm methaan (kg CH ₄) | Methaanemissie (paragraaf 6.3) delen door geleverde meetmelk ¹ x 1000 |
| | Emissie per ton meetmelk: on-farm lachgas (kg N ₂ O) | Lachgasemissie (paragraaf 4.2.2 en 4.2.3) delen door geleverde meetmelk ¹ x 1000 |
| | Emissie per ton meetmelk: on-farm overig (kg CO ₂ -eq) | Overige CO ₂ -emissie (paragraaf 6.4.1) delen door geleverde meetmelk ¹ x 1000 |
| | Emissie per ton meetmelk: totaal on-farm (kg CO ₂ -eq) | (Vermenigvuldiging van CH ₄ op bedrijfsniveau x 27 + vermenigvuldiging van N ₂ O * 273 + on farm emissie met CO ₂) / geleverde meetmelk ¹ x 1000 |
| | Emissie per ton meetmelk: totaal off-farm (kg CO ₂ -eq) | Emissie of farm (paragraaf 6.4.2) delen door geleverde meetmelk ¹ x 1000 |
| | Emissie per ton meetmelk: totaal bedrijf (kg CO ₂ -eq) | (Vermenigvuldiging van CH ₄ op bedrijfsniveau x 27 + vermenigvuldiging van N ₂ O x 273 + som van (on farm emissie met CO ₂ en off farm emissie met CO ₂)) / geleverde meetmelk ¹ x 1000 |

¹ Invoer van de KringloopWijzer.

² Zie Bijlage 2 voor berekening van GVE.

³ Omrekening van netto grasopbrengst naar bruto grasopbrengst door:

- Berekenende opname van vers gras (DS) delen door (1-(beweidingsverliezen [Tabel 1.1]/100)) +
- Netto opbrengst van graskuil (DS) delen door (1-(veldverliezen [Tabel 1.1]/100))

Bijlage 2 Definitie en berekening van aanvullende kengetallen

BEX-voordeel

Het BEX-voordeel voor zowel stikstof als fosfaat is het verschil van de forfaitaire excretie en de bedrijfsspecifieke excretie, gedeeld door de forfaitaire excretie * 100%.

$$\text{BEX-voordeel (\%)} = 100 * (\text{forfait} - \text{bex}) / \text{forfait}$$

Dus als de bedrijfsspecifieke excretie kleiner is dan de forfaitaire excretie, dan is er sprake van een BEX-voordeel. De berekening van de bedrijfsspecifieke excretie is beschreven in hoofdstuk 2.

De forfaitaire excretie van stikstof en fosfaat van de veestapel is te bepalen door het aantal dieren per diercategorie te vermenigvuldigen met de forfaitaire excretienorm per diercategorie. De forfaitaire excretienormen zijn te vinden op de site van RVO via onderstaande links:

- <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2023-02/Tabel-4-Diergebonden-normen-2023.pdf>
- <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022-12/Tabel-4a-Diergebonden-normen-biologisch-2023.pdf>
- <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022-12/Tabel-6-Stikstof-en-fosfaat-per-melkkoe-2023.pdf>

BEP-voordeel ('P-evenwichtsbemesting')

In paragraaf 5.2 is berekend hoeveel fosfaat op het bedrijf geogst wordt. Deze geogste hoeveelheid mag in principe ook met fosfaatmeststoffen op het land toegediend worden om evenwichtsbemesting te realiseren. Maar, net als in het generieke mestbeleid, houdt de BEP ook rekening met de fosfaattoestand van de grond, zie hiervoor ook:

<https://www.rvo.nl/onderwerpen/mest/gebruiken-en-uitrijden/fosfaat-landbouwgrond/differentiatie>

De fosfaattoestand en de bijbehorende bemestingsnormen zijn in onderstaande (RVO-) tabellen weergegeven (zie Tabel B2.1). Vanaf 2021 is de combinatie P-CaCl₂- en P-Al-getallen altijd het uitgangspunt (zie Tabel B2.1, RVO-tabellen 3 en 4). Is er alleen een analyserapport van vóór 2021? Dan is meestal alleen informatie over PAL- en Pw-getallen aanwezig. Als veehouder gebruik je dan die getallen (zie Tabel B2.1, RVO-tabellen 1 en 2). Als het rapport van vóór 2021 de oude (PAL/Pw) én de nieuwe (P-CaCl₂/P-Al) getallen heeft, mag je als veehouder kiezen.

Tabel B2.1. Indeling in fosfaatklassen en bijbehorende fosfaatgebruiksnormen voor grasland en bouwland (Bron: www.rvo.nl).

| Tabel 1 – Grasland (PAL) | | |
|--------------------------|----------|--------|
| PAL-getal | Klasse | Norm |
| > 50 | Hoog | 75 kg |
| 41 tot en met 50 | Ruim | 90 kg |
| 27 tot en met 40 | Neutraal | 95 kg |
| 16 tot en met 26 | Laag | 105 kg |
| < 16 | Arm | 120 kg |

| Tabel 2 - Bouwland (Pw) | | |
|-------------------------|----------|--------|
| Pw-getal | Klasse | Norm |
| > 55 | Hoog | 40 kg |
| 46 tot en met 55 | Ruim | 60 kg |
| 36 tot en met 45 | Neutraal | 70 kg |
| 25 tot en met 35 | Laag | 80 kg |
| < 25 | Arm | 120 kg |

| Tabel 3 - Grasland (P-CaCl ₂ /P-Al) | | | | | | | | | | |
|--|------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|-------|------|-------|
| P-CaCl ₂ -getal | P-AL-getal | | | | | | | | | |
| | < 21 | | 21 - 30 | | 31 - 45 | | 46 - 55 | | > 55 | |
| < 0,8 | Arm | 120 kg | Laag | 105 kg | Laag | 105 kg | Neutraal | 95 kg | Ruim | 90 kg |
| 0,8 tot en met 1,4 | | | | | Neutraal | 95 kg | | | | |
| 1,5 tot en met 2,4 | Laag | 105 kg | Neutraal | 95 kg | Ruim | 90 kg | Ruim | 90 kg | Hoog | 75 kg |
| 2,5 tot en met 3,4 | | | | | | | | | | |
| > 3,4 | Ruim | 90 kg | Ruim | 90 kg | Hoog | 75 kg | Hoog | 75 kg | | |

| Tabel 4 - Bouwland (P-CaCl ₂ /P-Al) | | | | | | | | | | |
|--|------------|--------|---------|--------|----------|--------|---------|-------|----------|-------|
| P-CaCl ₂ -getal | P-AL-getal | | | | | | | | | |
| | < 21 | | 21 - 30 | | 31 - 45 | | 46 - 55 | | > 55 | |
| < 0,8 | Arm | 120 kg | Arm | 120 kg | Arm | 120 kg | Laag | 80 kg | Laag | 80 kg |
| 0,8 tot en met 1,4 | | | | | Neutraal | 70 kg | | | Neutraal | 70 kg |
| 1,5 tot en met 2,4 | | | | | Laag | 80 kg | Laag | 80 kg | Neutraal | 70 kg |
| 2,5 tot en met 3,4 | Laag | 80 kg | Laag | 80 kg | Neutraal | 70 kg | Ruim | 60 kg | Hoog | 40 kg |
| > 3,4 | | | | | | | | | | |

Bij de fosfaatklassen 'ruim' en 'hoog' (zie bovenstaande tabellen) wordt de bedrijfsspecifieke fosfaatnorm (BEP-norm) verlaagd met het verschil in gebruiksnorm met de klasse 'neutraal'. Bij de fosfaatklassen 'laag' en 'arm' wordt de bedrijfsspecifieke fosfaatnorm (BEP-norm) verhoogd met het verschil in gebruiksnorm met de klasse 'neutraal'. Zo wordt bijvoorbeeld bij de klasse 'hoog' bij grasland de BEP-norm verlaagd met 20 kg P₂O₅ per ha en bij de klasse 'laag' verhoogd met 10 kg P₂O₅ per ha.

Door de oppervlakte grasland en bouwland vast te stellen die in de categorieën 'hoog', 'ruim', 'neutraal', 'laag' en 'arm' vallen, is per categorie een BEP-norm te bepalen voor een specifiek jaar. Per gewas wordt dan de BEP-gewasopbrengst gecorrigeerd met het verschil van de fosfaattoestand bij categorie 'neutraal' en de betreffende categorie van het perceel. Vervolgens wordt, afhankelijk van het aandeel van de verschillende categorieën met een specifieke fosfaattoestand, per gewas een BEP-norm per ha voor een specifiek jaar bepaald. Middeling van zo'n specifieke BEP-norm over drie jaren, levert de BEP-norm die de KringloopWijzer hanteert als bemestingsnorm voor het komende jaar.

De oppervlakte met de verschillende categorieën fosfaattoestand zijn overigens invoer van de KringloopWijzer.

Het BEP-voordeel is het verschil van de BEP-norm, als gemiddelde van de drie voorgaande jaren, met de generieke gebruiksnorm van fosfaat (over te nemen bij de invoer van de KringloopWijzer van het 'bemestingsplan') gedeeld door de generieke gebruiksnorm van fosfaat (generiek) * 100%.

$$\text{BEP-voordeel (\%)} = 100 * (\text{bep} - \text{generiek}) / \text{generiek}.$$

Dus als de BEP-norm groter is dan de generieke gebruiksnorm, dan is er sprake van een BEP-voordeel.

Eiwit van eigen land

De rekenwijze van het aandeel eiwit van eigen land in in 2021 gewijzigd. Dit kengetal werd tot en met 2020 berekend als de hoeveelheid geoogste eiwit gedeeld door de hoeveelheid gevoerde eiwit. Vanaf 2021 wordt zuiver het 'aandeel eigen eiwit in het rantsoen' berekend, zoals de commissie grondgebondenheid bedoelde. Ruwvoeroverschotten en verkoop van ruwvoer gaan dan geen positieve invloed meer hebben op het aandeel eiwit van eigen land. Een lage gift van (eiwitrijk) krachtvoer wel. Dus vanaf 2021 is de rekenwijze als volgt:

$$\text{Eiwit van eigen land (\%)} = 100 * (\text{verbruik eiwit door de veestapel} - \text{aangekocht verbruikt eiwit door de veestapel}) / \text{verbruikt eiwit door de veestapel}$$

Hierbij geldt:

$$\text{Verbruik} = \text{opname} + \text{voerverlies}$$

Dit is op te delen naar de verschillende rantsoencomponenten:

- Vers gras
- Graskuil
- Maïskuil
- Overig ruwvoer
- Vochtrijke (bij)producten
- Krachtvoerders & mineralen
- Melkproducten

Per onderdeel wordt uitgerekend wat het aandeel verbruik van eigen eiwit in het rantsoen is. Maar ook de totale hoeveelheid eiwit (RE) en aandeel van het eiwit van elke component in het gehele rantsoen. In het uitvoerrapport van de KringloopWijzer is 'het aandeel eigen eiwit in het rantsoen' (ofwel 'de hoeveelheid eiwit van eigen land') af te lezen op de pagina's in het begin: 'BASIS - Milieu & Klimaat: Zuivere melkveetak' en 'BASIS - Milieu & Klimaat: Gehele bedrijf', bij het onderdeel 'eiwit van eigen land in rantsoen melkvee'.

De opbouw van van dit kengetal is te doorgronden via de pagina 'VEE - RESULTAAT Voeding', een stuk verderop in het uitvoerrapport. Daar staan namelijk twee onderdelen weergegeven:

- a Rantsoensamenstelling melkvee: RE en
- b Aandeel eigen eiwit in rantsoen per voercategorie

Het onderdeel 'a Rantsoensamenstelling melkvee: RE' geeft aan hoe de totale hoeveelheid RE in het rantsoen onderverdeeld is in de verschillende rantsoencomponenten, in procent.

In Tabel B2.2 is een voorbeeld weergegeven van de onderverdeling van het de totale hoeveelheid RE in de verschillende rantsoencomponenten in procent. Dit is een onderdeel van de pagina 'VEE - RESULTAAT Voeding' van het uitvoerrapport. In tabel B2.2 is bijvoorbeeld te zien dat 15% van het totale RE uit het verse gras komt. En 28% komt uit krachtvoer en melkproducten.

Tabel B2.2 Onderverdeling van de totale hoeveelheid RE in de verschillende rantsoencomponenten (%)

| Rantsoensamenstelling melkvee: RE | |
|---|-----|
| - aandeel vers gras | 15% |
| - aandeel grasland oogstproducten | 31% |
| - aandeel snijmais oogstproducten | 9% |
| - aandeel overige ruwvoerders | 2% |
| - aandeel vochtrijke bijproducten | 15% |
| - aandeel krachtvoerders en melkproducten | 28% |

Het onderdeel 'b Aandeel eigen eiwit in rantsoen per voercategorie' geeft aan welk deel van het eiwit in deze rantsoencomponent zelf geteeld is, in procent.

In Tabel B2.3 is een voorbeeld weergegeven van het aandeel eigen eiwit per rantsoencomponent, in procent. Dit is een onderdeel van de pagina 'VEE - RESULTAAT Voeding' van het uitvoerrapport. In tabel B2.3 is bijvoorbeeld te zien dat 100% van RE uit het verse gras van eigen land komt. En 23% van het eiwit van de vochtrijke bijproducten komt ook van eigen land. Maar van het eiwit uit krachtvoer en melkproducten komt 0% van eigen land.

Tabel B2.3 Duiding van het aandeel van het Ruw Ewit (RE) van de verschillende rantsoencomponenten dat zelf geteeld is. (Het RE van vers gras komt bijvoorbeeld 100% van het eigen land; het RE van het krachtvoer komt 0% van het eigen land.)

Aandeel eigen eiwit in rantsoen per voercategorie

| | |
|--|------|
| - eigen eiwit in vers gras opname | 100% |
| - eigen eiwit in grasland oogstproducten | 100% |
| - eigen eiwit in snijmais oogstproducten | 100% |
| - eigen eiwit in overige ruwvoerders | 48% |
| - eigen eiwit in vochtrijke bijproducten | 23% |
| - eigen eiwit in krachtvoerders en melkproducten | 0% |

Met de informatie uit Tabel B2.2 en uit Tabel B2.3 is het totale aandeel eigen eiwit in het rantsoen te herleiden (ofwel het aandeel eiwit van eigen land). Dat is te doen door de percentages achter de verschillende rantsoencomponenten te vermenigvuldigen en op te tellen. Dat is in Tabel B2.4 uitgewerkt met de informatie uit de Tabel B2.2 en Tabel B2.3. 100% maal 15% van het RE betekent 15%. Dit wordt per rantsoencomponent uitvermenigvuldigd, waarbij ook gaat blijken dat 28% van het totale RE uit krachtvoer komt, maar niets daarvan komt van eigen land. Dus 0% op de regel van krachtvoer in Tabel B2.4. In totaliteit blijkt in deze situatie het aandeel eigen eiwit in het rantsoen 59% te zijn.

Tabel B2.4 Bepaling van het aandeel aangevoerde RE van de aangelegde graskuil op het voorbeeldbedrijf.

| Rantsoensamenstelling melkvee: RE | * | Aandeel eigen eiwit in rantsoen per voercategorie | = | |
|---|-------------|---|---------------|------------|
| aandeel vers gras | 15% | eigen eiwit in vers gras | 100% | 15% |
| aandeel grasland oogstproducten | 31% | eigen eiwit in grasland oogstproducten | 100% | 31% |
| aandeel snijmais oogstproducten | 9% | eigen eiwit in snijmais oogstproducten | 100% | 9% |
| aandeel overige ruwvoerders | 2% | eigen eiwit in overige ruwvoerders | 48% | 1% |
| aandeel vochtrijke bijproducten | 15% | eigen eiwit in vochtrijke bijproducten | 23% | 3% |
| aandeel krachtvoerders en melkproducten | 28% | eigen eiwit in krachtvoerders en melkproducten | 0% | 0% |
| totaal | 100% | | totaal | 59% |

Stikstofbodemoverschot per hectare

Het N- bodemoverschot wordt berekend van het grasland, maïsland en het land waar (marktbaar) akkerbouwgewassen geteeld worden. Vervolgens wordt hiervan een gewogen gemiddelde (over het areaal) berekend.

N-bodemoverschot per 'teelt' = N-aanvoer (inclusief mest (netto, minus ammoniakemissie), N-vastlegging en N-mineralisatie) – N-afvoer(gewas)

Gewogen gemiddelde N-bodemoverschot = [% grasland * N-bodemoverschot (grasland; kg N/ha) + % maïslaan * N-bodemoverschot (maïslaan; kg N/ha) + % land akkerbouwgewassen * N-bodemoverschot (land akkerbouwgewassen; kg N/ha)]/100%.

Bij het onderdeel 'Milieu & Klimaat' van de uitvoerrapportage van de KringloopWijzer is het bodemoverschot voor stikstof weergegeven. De aanvoer van stikstof met organische mest, aanvoer van stikstof met kunstmest en de aanvoer van stikstof met mineralisatie, depositie en vlinderbloemigen is hierbij omcirkeld. Zie ook Tabel B2.5 met de rood omcirkelde waarden. Totaal is dat 281 kg per ha in dit voorbeeld. De afvoer per ha van stikstof met gewassen is 159 kg, zie de rode pijl in Tabel B2.5. Het stikstofbodemoverschot is dan 122 kg per ha.

Tabel B2.5 Duiding van de aanvoer van stikstof op de bodem en afvoer van stikstof van de bodem, dat resulteert in een stikstofbodemoverschot. Onderdeel 'Milieu & Klimaat' van het uitvoerrapport van de KringloopWijzer (voor betekenis rode ovaal en rode pijl zie tekst).

| Milieu & Klimaat | | | | |
|--|------|------|------|---|
| Stikstofbodemoverschot | 2020 | 2019 | 2018 | |
| Overschot bodem totaal (kg N per ha) | 122 | | | |
| Aanvoer kunstmest (kg N per ha) | 53 | | | |
| Aanvoer organische mest, weidemest (kg N per ha) | 194 | | | |
| Aanvoer mineralisatie, depositie, vl.bloemigen (kg N per ha) | 34 | | | |
| Afvoer van geogoste producten (kg N per ha) | 159 | | | ← |

Ammoniakuitstoot per hectare

Ammoniakemissie per ha = (emissie NH₃ uit de stal en mestopslag van graasdieren / ha + emissie NH₃ bij beweiding / ha + emissie NH₃ bij uitrijden van dierlijke mest / ha + emissie van NH₃ bij gebruik van kunstmest / ha + emissie van NH₃ van gewasresten uit oogstverliezen en scheuren grasland / ha)

Zie ook het onderdeel 'BEDRIJF- RESULTAAT Ammoniak' van de uitvoerrapportage van de KringloopWijzer voor de verschillende onderdelen van de ammoniakemissie per ha en per GVE (Tabel B2.6).

Tabel B2.6 Duiding van de ammoniakemissie bij verschillende onderdelen van het melkveebedrijf, 'BEDRIJF - RESULTAAT Ammoniak' van de uitvoerrapportage van de KringloopWijzer (voor betekenis rode ovaal en rode ovaal zie tekst).

| BEDRIJF - RESULTAAT Ammoniak | | | | |
|---|--------------|-------------|---------------|-------------|
| Emissie ammoniak | NH3 | NH3 | NH3 | NH3 |
| | (kg/bedrijf) | (kg/ha) | (kg/ton melk) | (kg/GVE) |
| Emissie totaal, bedrijf | 1942 | 35,3 | 2,47 | 20,2 |
| Emissie totaal, graasdieren | 1942 | 35,3 | 2,47 | 20,2 |
| Emissie uit stal en mestopslag | 987 | 18,0 | 1,25 | 10,3 |
| Emissie bij bemesting | 909 | 16,5 | 1,16 | 9,4 |
| - emissie uit org. mest op grasland | 798 | 14,5 | 1,01 | 8,3 |
| - emissie uit org. mest op bouwland | 10 | 0,2 | 0,01 | 0,1 |
| - emissie uit kunstmest op grasland | 75 | 1,4 | 0,10 | 0,8 |
| - emissie uit kunstmest op bouwland | 0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 |
| - emissie uit beweiding grasland | 26 | 0,5 | 0,03 | 0,3 |
| Emissie uit bovengrondse gewasresten | 46 | 0,8 | 0,06 | 0,5 |
| - emissie uit gewasresten en oogstverliezen | 24 | 0,4 | 0,03 | 0,2 |
| - emissie uit gewasresten scheuren grasland | 22 | 0,4 | 0,03 | 0,2 |

Ammoniakuitstoot per gve

Ammoniakemissie per gve = (emissie NH₃ uit de stal en mestopslag van graasdieren / gve + emissie NH₃ bij beweiding / gve + emissie NH₃ bij uitrijden van dierlijke mest / gve + emissie van NH₃ bij gebruik van kunstmest / gve + emissie van NH₃ van gewasresten uit oogstverliezen en scheuren grasland / gve)

Zie ook 'BEDRIJF – RESULTAAT Ammoniak' van de uitvoerrapportage van de KringloopWijzer voor de verschillende onderdelen van de ammoniakemissie per ha en per GVE.

GVE berekening

De GVE's worden als volgt berekend (bron: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/06/Brochure-Fosfaatreductiemaatregelen-2017.pdf>):

- Een rund van 0 tot 1 jaar is 0,23 GVE.
- Een rund van 1 jaar of ouder dat niet heeft gekalfd is 0,53 GVE.
- Een rund dat ten minste eenmaal heeft gekalfd is 1,0 GVE.

Aandeel blijvend grasland

Om het aandeel blijvend grasland te bepalen wordt aangesloten bij definities die RVO hanteert. Want deze werkwijze wordt jaarlijks gehanteerd bij de verplichte gecombineerde data-inwinning (GDI) voor de overheid. RVO hanteert verschillende coderingen voor grasland. Voor blijvend grasland gaat het om de volgende definities en coderingen:

- Grasland, blijvend: code 265.
- Grasland, natuurlijk. Hoofdfunctie landbouw; code 331.
- Rand, grenzend aan blijvend grasland of een blijvende teelt, hoofdzakelijk bestaand uit blijvend gras: code 333.
- Rand, grenzend aan bouwland, hoofdzakelijk bestaand uit blijvend gras: code 334.

Het blijvende grasland bestaat daarmee uit een optelling van de oppervlakte land met bovenstaande coderingen, dus som van de oppervlakte met code 265, 331, 333, 334.

Om het aandeel blijvend grasland te bepalen moet de berekende oppervlakte blijvend grasland gedeeld worden door de totale oppervlakte die de veehouder in gebruik heeft. Maar een veehouder kan ook (blijvend) natuurgrasland hebben met de hoofdfunctie natuur, die niet de RVO-definitie van blijvend grasland meekrijgen. Dit betreft de definities 'grasland natuurlijk, hoofdfunctie natuur (code 332)' en 'natuurterreinen, incl heide (code 335)'. In de praktijk zal dit wel blijvend grasland zijn, maar omdat dit de hoofdfunctie natuur heeft, krijgt deze niet de definitie blijvend grasland mee. Daarom wordt voor de berekening van het aandeel blijvend grasland de totale oppervlakte met deze graslanden verminderd.

De berekeningswijze voor *aandeel blijvend grasland* wordt dan:

$$100\% * \text{Som oppervlakte met code (265, 331, 333, 334)} : (\text{totale bedrijfsoppervlakte} - \text{som van oppervlakte met code (332, 335)})$$

Bijlage 3 Acronymenlijst

Indeling naar thema

Algemene bedrijfsaspecten

| | |
|--------------------------|---|
| N: | Stikstof |
| P: | Fosfor |
| NO ₃ : | Nitraat |
| N ₂ O: | Lachgas |
| PO ₄ : | Fosfaat |
| NO _x : | Stikstofoxide |
| CO ₂ : | Kooldioxyde |
| CH ₄ : | Methaan |
| NH ₃ : | Ammoniak |
| NH ₄ : | Ammonium |
| EF: | Emissiefactor, % |
| TO: | Totale bedrijfsoppervlakte, ha |
| GO: | Totale oppervlakte grasland, ha |
| BO: | Totale oppervlakte bouwland inclusief snijmaïs, ha |
| SO: | oppervlakte snijmaïs, ha |
| ORO: | oppervlakte overige akkerbouwmatige ruwvoerders |
| AMO: | oppervlakte akkerbouwgewassen voor de markt, niet ruwvoer, ha |
| WGO: | oppervlakte grasland in wisselbouw (= afwisseling van bouwland en grasland), ha |
| WBO: | oppervlakte bouwland in wisselbouw (= afwisseling van bouwland en grasland), ha |
| ESG: | verschil in stalmestgift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continueelt en grasland in wisselbouw |
| ESB: | verschil in stalmestgift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continueelt en bouwland in wisselbouw |
| EKG: | verschil in kunstmestgift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continueelt en grasland in wisselbouw |
| EKB: | verschil in kunstmestgift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continueelt en bouwland in wisselbouw |
| Factor_aankoop_mutatie: | verhouding tussen BEX-gebaseerde P-opname en P-opname volgens opgave |
| BEX_Popn_gksm_mlk: | P opname melkvee uit graskuil en snijmaïs |
| BEX_Popn_gksm_ovg: | P opname overige graasdieren uit graskuil en snijmaïs |
| Voorraad_Pverbr_gksm: | P-verbruik berekend uit opgegeven voorraden (begin + aanleg – eind) |
| PcVoerververliesRuwvoer: | percentage vervoederingsverlies van ruwvoer |

Dier

| | |
|-------|---|
| NEB: | Negatieve Energie Balans |
| FPCM: | Voor vet- en eiwitgehalte gecorrigeerde melkproductie |
| GEW: | Levend Gewicht |
| DS: | Droge Stof |
| RE: | Ruw Eiwit |
| VRE: | Verteerbaar Ruw Eiwit |
| VEM: | Voedereenheden Melk |
| RAS: | Ruw As |
| VC: | Verteringscoëfficiënt, g/g |
| TKT: | Tussen Kalf Tijd |

Organische stof

| | |
|--------------------------------|---|
| EOS: | kg effectieve organische stof (OS), de organische stof die 12 maanden na toediening resteert in de bodem, kg (E)OS per ha |
| HC: | humificatiecoëfficiënt, fractie van organische stof (OS) die 12 maanden na toediening resteert in de bodem, kg OS per kg OS |
| OS/N: | kg N per kg OS |
| EOSAan1: | EOS in de vorm van weidemest, kg OS/ha |
| EOSAan2: | EOS in de vorm van stalmest (inclusief voerrest), kg OS/ha |
| EOSAan6: | EOS in de vorm van beweidings- en maaiverliezen, kg OS/ha |
| EOSAan7: | EOS in de vorm van gewasresten, kg OS/ha |
| EOSAan8: | EOS in de vorm van vanggewassen en groenbemesters, kg OS/ha |
| HC _{mest} : | HC van mest |
| HC _{versgewas} : | HC van vers gewas w.o. ook de voerresten |
| HC _{gewasresten} : | HC van gewasresten |
| OS/N _{mest} : | OS/N van mest |
| OS/N _{voerrest} : | OS/N van voerresten (w.o. ruwvoer, bijproducten en krachtvoer) |
| EOSAan2 _{pure_mest} : | Effectieve organische stof in de vorm van voerrest-loze mest |
| EOSAan2 _{voerrest} : | Effectieve organische stof in de vorm van de voerrest |
| OS/N _{teeltgras} : | OS/N in beweidings- en maaiverliezen |
| OS/N _{teeltmaïs} : | OS/N in oogstverliezen bij maïs |
| FV: | Fractie van maïsland (SO) waarop vanggewas is ingezaaid (ha) |
| FG: | Fractie van niet-maïsland (BO – SO) waarop groenbemester is ingezaaid (ha) |

Bodemstikstof

| | |
|---------------------------------|--|
| N: | Stikstof |
| P: | Fosfor |
| NO ₃ : | Nitraat |
| Af1 _{maai gras} : | Netto afgevoerde N in de vorm van kuilgras of vers stalvoergras, kg N per ha grasland |
| Af1 _{weide} : | Netto opgenomen N in de vorm van door dier opgenomen weidegras, kg N per ha grasland |
| Af1 _{maïs} : | Netto afgevoerde N in de vorm van maïs, kg N per ha maïsland |
| Af1 _{overigruwvoer} : | Netto afgevoerde N in de vorm van overig ruwvoer, kg N per ha overig ruwvoer |
| Af1 _{marktakkerbouw} : | Netto afgevoerde N in de vorm van marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha marktbaar akkerbouwgewassen |
| Af3 _{maai gras} : | Maaiverliezen bij winning van kuilgras of vers stalvoergras, kg N per ha grasland |
| Af3 _{weide} : | Beweidingsverliezen in beweid gras, kg N per ha grasland |
| Af3 _{maïs} : | Oogstverliezen bij maïs, kg N per ha maïsland |
| Af3 _{overigruwvoer} : | Oogstverliezen bij overig ruwvoer (luzerne), kg N per ha overig ruwvoer |
| Af3 _{marktakkerbouw} : | Oogstverliezen bij marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha marktbaar akkerbouwgewassen |
| NOP _{weide} : | N door dier opgenomen via beweiding, kg N |

| | |
|---|---|
| NOP _{maaisgras} : | N door dier opgenomen in de vorm van vers gras of kuilgras, kg N |
| NOP _{maïskuil} : | N door dier opgenomen in de vorm van snijmaïs, kg N |
| NOP _{maaisgras_eigenland} : | N door dier opgenomen in de vorm van vers gras of kuilgras van eigen land, kg N |
| NOP _{maaisgras_aangekocht} : | N door dier opgenomen in de vorm van aangekocht vers gras of kuilgras, kg N |
| NOP _{overigruwvoer_eigenland} : | N door dier opgenomen in de vorm van overig ruwvoer van eigen land, kg N |
| NOP _{overigruwvoer_aangekocht} : | N door dier opgenomen in de vorm van aangekocht overig ruwvoer, kg N |
| NAAN _{maaisgras_eigenland} : | N aan dier op stal aangeboden in de vorm van vers gras of kuilgras van eigen land, kg N |
| NAAN _{overigruwvoer_eigenland} : | N aan dier op stal aangeboden in de vorm van overig ruwvoer van eigen land, kg N |
| NDAM _{maaisgras} : | N via dam afgevoerd in de vorm van vers gras of kuilgras van eigen land, kg N |
| NOP _{maïs_eigenland} : | N door dier opgenomen in de vorm van maïskuil van eigen land, kg N |
| NOP _{maïs_aangekocht} : | N door dier opgenomen in de vorm van aangekochte maïskuil, kg N |
| NAAN _{maïs_eigenland} : | N aan dier op stal aangeboden in de vorm van maïskuil van eigen land, kg N |
| NDAM _{maïs} : | N via dam afgevoerd in de vorm van maïskuil van eigen land, kg N |
| NDAM _{overigruwvoer} : | N via dam afgevoerd in de vorm van overig ruwvoer van eigen land, kg N |
| Afn _{grasland} : | Afvoerterm n op de N-balans van grasland, kg N per ha |
| Afn _{maïs} : | Afvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met maïsland, kg N per ha |
| Afn _{overigruwvoer} : | Afvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met overige ruwvoergewassen, kg N per ha |
| Afn _{marktakkerbouw} : | Afvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha |
| Aann _{grasland} : | Aanvoerterm n op de N-balans van grasland, kg N per ha |
| Aann _{maïs} : | Aanvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met maïsland, kg N per ha |
| Aann _{overigruwvoer} : | Aanvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met overige ruwvoergewassen, kg N per ha |
| Aann _{marktakkerbouw} : | Aanvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha |
| YHn: | Opbrengst van hoofdproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, ton vers per ha |
| YBn: | Opbrengst van bijproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, ton vers per ha |
| CNHn: | N gehalte van hoofdproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers |
| CNBn: | N gehalte van bijproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers |
| CPHn: | P gehalte van hoofdproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers |
| CPBn: | P gehalte van bijproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers |
| UF: | Uitspoelingsfractie, kg N/kg N |
| NO: | Neerslagoverschot, mm |
| Gt: | Grondwatertrap, - |
| <i>Lachgas</i> | |
| N ₂ O: | Lachgas |

| | |
|--------------------------------------|--|
| EF(vol): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. vervluchtigde en elders gedeponeerde N, kg/kg |
| EF(lea): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. uitgespoelde N, kg/kg |
| EF(cf): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gebruik kunstmest-N, kg/kg |
| EF(of): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gebruik van 'stal'mest, kg/kg |
| EF(an): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gebruik van weidemest, kg/kg |
| EF(cl): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. de aanwezigheid van gras-klavers, kg/kg |
| EF(cr): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gewasresten, onder te ploegen nateelten, maai-, beweidings- en oogstverliezen en nieuwe graszodes, kg/kg |
| EF(pt): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. de aanwezigheid van veengrond, kg/kg |
| EF(s): | Emissiefactor voor lachgas uit mestopslag volgens opslagsysteem S, kg/kg |
| N ₂ Oem(vol): | Emissie van lachgas a.g.v. vervluchtigde en elders gedeponeerde N, kg N |
| N ₂ Oem(lea): | Emissie van lachgas a.g.v. uitgespoelde N, kg N |
| N ₂ Oem(cf): | Emissie van lachgas a.g.v. kunstmest-N, kg N |
| N ₂ Oem(of): | Emissie van lachgas a.g.v. organische mest-N in de vorm van 'stal'mest, kg N |
| N ₂ Oem(an): | Emissie van lachgas a.g.v. organische mest-N in de vorm van weidemest, kg N |
| N ₂ Oem(cl): | Emissie van lachgas a.g.v. de aanwezigheid van grasklavers, kg N |
| N ₂ Oem(cr): | Emissie van lachgas a.g.v. gewasresten, onder te ploegen nateelten, maai-, beweidings- en oogstverliezen en nieuwe graszodes, kg N |
| N ₂ Oem(pt): | Emissie van lachgas a.g.v. de aanwezigheid van veengrond, kg N |
| N ₂ Oem(backgr_grassl_m): | Emissie van lachgas t.g.v. achtergrondemissie op minerale gronden, kg N |
| N ₂ Oem(backgr_grassl_p): | Emissie van lachgas t.g.v. achtergrondemissie op veengronden, kg N |
| N ₂ O _(D,mm) : | Emissie van lachgas uit opslagen van dierlijke mest, kg N ₂ O (!) |
| Nloss(vol): | Ammoniak-N die het bedrijf verlaat volgens BEA incl. N uit zwaden, kg |
| Nloss(lea): | Nitrat-N die het bedrijf als nitraat verlaat volgens BEN, kg |
| Nipf(cf): | Totale kunstmest-N gebruik, kg |
| Ninp(of): | Totale organische mestgebruik in de vorm van 'stal'mest, kg |
| Ninp(an): | Totale organische mestgebruik in de vorm van weidemest, kg |
| Ninp(cl): | Dat deel van de klaverbinding dat geacht wordt bij te dragen aan lachgasvorming, kg |
| Nipn(cr): | Gewasresten, onder te ploegen nateelten, maai-, beweidings- en oogstverliezen en nieuwe graszodes, kg |
| Ninp(pt): | Product van de hectares veengrond op het bedrijf en een standaardveenmineralisatie, kg |
| <i>Ammoniak</i> | |
| NH ₃ : | Ammoniak |
| NH ₄ : | Ammonium |
| NEMA: | Nationaal Emissie Model voor Ammoniak |
| TAN: | Totaal Ammoniakale Stikstof |
| RAV: | Regeling Ammoniak en Veehouderij |

Methaan

| | |
|-------------------------------|---|
| CH ₄ : | Methaan |
| CH ₄ _voer: | kg methaan emissie gesommeerd voor de diverse rantsoencomponenten |
| CH ₄ _EFcorOpname: | kg methaan emissie waarmee de emissie t.g.v. de emissie van de diverse rantsoencomponenten vermeerderd of verminderd moet worden op basis van een van een normniveau afwijkende DS opname |
| CH ₄ _EFbasis: | kg methaan emissie als som van de gesommeerd methaan emissie voor de diverse rantsoencomponenten (CH ₄ _voer) en een correctie voor de dagelijkse drogestofopname (CH ₄ _EFcorOpname) |
| CH ₄ _EFrantsoen: | basale methaanemissie (CH ₄ _EFbasis) gecorrigeerd voor kalveraandeel in totale melkvee-GVE som |
| FJK: | GVE-aandeel van kalveren (0-3 mnd) in totale melkvee-GVE som |
| EF _(T) : | Emissiefactor voor methaan uit mestopslag voor diercategorie T, kg CH ₄ per dier |
| VS _(T) : | Volatile solids productie van diercategorie T, kg organische stof per dier per dag |
| B0 _(T) : | Potentiele methaanproductie van diercategorie T, m ³ CH ₄ per kg uitgescheiden VS |
| MCF _S : | Methaanconversiefactor voor mestmanagementsysteem S, kg per 100 kg |
| N _(T) : | Aantal dieren van categorie T |
| CH ₄ Mest: | Gesommeerde emissie van methaan uit mestopslagen volgens systeem S voor diercategorie T, kg CH ₄ |
| NexcretieT: | N-excretie voor aftrek van gasvormige verliezen uit stal en opslag bij diercategorie T, kg |
| MS _(T,S) : | Fractie van NexcretieT volgens mestmanagementsysteem S, - |
| BE: | Bruto energie, MJ |
| Y _m : | Methaanconversiefactor, MJ / 100 MJ |

Indeling volgens alfabet

| | |
|----------------------------------|--|
| Aann _{grasland} : | Aanvoerterm n op de N-balans van grasland, kg N per ha |
| Aann _{maïs} : | Aanvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met maïsland, kg N per ha |
| Aann _{marktakkerbouw} : | Aanvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha |
| Aann _{overigruwvoer} : | Aanvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met overige ruwvoergewassen, kg N per ha |
| Af1 _{maaisgras} : | Netto afgevoerde N in de vorm van kuilgras of vers stalvoergras, kg N per ha grasland |
| Af1 _{maïs} : | Netto afgevoerde N in de vorm van maïs, kg N per ha maïsland |
| Af1 _{marktakkerbouw} : | Netto afgevoerde N in de vorm van marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha marktbaar akkerbouwgewassen |
| Af1 _{overigruwvoer} : | Netto afgevoerde N in de vorm van overig ruwvoer, kg N per ha overig ruwvoer |
| Af1 _{weide} : | Netto opgenomen N in de vorm van door dier opgenomen weidegras, kg N per ha grasland |
| Af3 _{maaisgras} : | Maaiverliezen bij winning van kuilgras of vers stalvoergras, kg N per ha grasland |
| Af3 _{maïs} : | Oogstverliezen bij maïs, kg N per ha maïsland |
| Af3 _{marktakkerbouw} : | Oogstverliezen bij marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha marktbaar akkerbouwgewassen |
| Af3 _{overigruwvoer} : | Oogstverliezen bij overig ruwvoer (luzerne), kg N per ha overig ruwvoer |
| Af3 _{weide} : | Beweidingsverliezen in beweid gras, kg N per ha grasland |
| Afn _{grasland} : | Afvoerterm n op de N-balans van grasland, kg N per ha |
| Afn _{maïs} : | Afvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met maïsland, kg N per ha |
| Afn _{marktakkerbouw} : | Afvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met marktbaar akkerbouwgewassen, kg N per ha |
| Afn _{overigruwvoer} : | Afvoerterm n op de N-balans van oppervlakte met overige ruwvoergewassen, kg N per ha |

Ammoniak

| | |
|---------------------|---|
| AMO: | oppervlakte akkerbouwgewassen voor de markt, niet ruwvoer, ha |
| B0 _(T) : | Potentiele methaanproductie van diercategorie T, m ³ CH ₄ per kg uitgescheiden VS |
| BE: | Bruto energie, MJ |
| BEX_Popn_gksm_mlk: | P opname melkvee uit graskuil en snijmaïs |
| BEX_Popn_gksm_ovg: | P opname overige graasdieren uit graskuil en snijmaïs |
| BO: | Totale oppervlakte bouwland inclusief snijmaïs, ha |

Bodemstikstof

| | |
|-------------------------------|---|
| CH ₄ : | Methaan |
| CH ₄ : | Methaan |
| CH ₄ _EFbasis: | kg methaan emissie als som van de gesommeerd methaan emissie voor de diverse rantsoencomponenten (CH ₄ _voer) en een correctie voor de dagelijkse drogestofopname (CH ₄ _EFcorOpname) |
| CH ₄ _EFcorOpname: | kg methaan emissie waarmee de emissie t.g.v. de emissie van de diverse rantsoencomponenten vermeerderd of verminderd moet worden op basis van een van een normniveau afwijkende DS opname |
| CH ₄ _EFrantsoen: | basale methaanemissie (CH ₄ _EFbasis) gecorrigeerd voor kalveraandeel in totale melkvee-GVE som |
| CH ₄ _voer: | kg methaan emissie gesommeerd voor de diverse rantsoencomponenten |
| CH ₄ Mest: | Gesommeerde emissie van methaan uit mestopslagen volgens systeem S voor diercategorie T, kg CH ₄ |
| CNBn: | N gehalte van bijproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers |

| | |
|--------------------------------|--|
| CNHn: | N gehalte van hoofdproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers |
| CO ₂ : | Kooldioxyde |
| CPBn: | P gehalte van bijproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers |
| CPHn: | P gehalte van hoofdproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, kg N per ton vers |
| <i>Dier</i> | |
| DS: | Droge Stof |
| EF(an): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gebruik van weidemest, kg/kg |
| EF(cf): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gebruik kunstmest-N, kg/kg |
| EF(cl): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. de aanwezigheid van gras-klavers, kg/kg |
| EF(cr): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gewasresten, onder te ploegen nateelten, maai-, beweidings- en oogstverliezen en nieuwe graszodes, kg/kg |
| EF(lea): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. uitgespoelde N, kg/kg |
| EF(of): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. gebruik van 'stal'mest, kg/kg |
| EF(pt): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. de aanwezigheid van veengrond, kg/kg |
| EF(s): | Emissiefactor voor lachgas uit mestopslag volgens opslagsysteem S, kg/kg |
| EF(T): | Emissiefactor voor methaan uit mestopslag voor diercategorie T, kg CH ₄ per dier |
| EF(vol): | Emissiefactor voor lachgas a.g.v. vervluchtigde en elders gedeponeerde N, kg/kg |
| EF: | Emissiefactor, % |
| EKB: | verschil in kunstmestgift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continueelt en bouwland in wisselbouw |
| EKG: | verschil in kunstmestgift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continueelt en grasland in wisselbouw |
| EOS: | kg effectieve organische stof (OS), de organische stof die 12 maanden na toediening resteert in de bodem, kg (E)OS per ha |
| EOSAan1: | EOS in de vorm van weidemest, kg OS/ha |
| EOSAan2: | EOS in de vorm van stalmest (inclusief voerrest), kg OS/ha |
| EOSAan2 _{pure_mest} : | Effectieve organische stof in de vorm van voerrest-loze mest |
| EOSAan2 _{voerrest} : | Effectieve organische stof in de vorm van de voerrest |
| EOSAan6: | EOS in de vorm van beweidings- en maaiverliezen, kg OS/ha |
| EOSAan7: | EOS in de vorm van gewasresten, kg OS/ha |
| EOSAan8: | EOS in de vorm van vanggewassen en groenbemesters, kg OS/ha |
| ESB: | verschil in stalmestgift (kg N/ha bouwland) tussen bouwland in continueelt en bouwland in wisselbouw |
| ESG: | verschil in stalmestgift (kg N/ha grasland) tussen grasland in continueelt en grasland in wisselbouw |
| Factor_aankoop_mutatie: | verhouding tussen BEX-gebaseerde P-opname en P-opname volgens opgave |
| FG: | Fractie van niet-maisland (BO – SO) waarop groenbemester is ingezaaid (ha) |
| FJK: | GVE-aandeel van kalveren (0-3 mnd) in totale melkvee-GVE som |
| FPCM: | Voor vet- en eiwitgehalte gecorrigeerde melkproductie |
| FV: | Fractie van maisland (SO) waarop vanggewas is ingezaaid (ha) |
| GEW: | Levend Gewicht |
| GO: | Totale oppervlakte grasland, ha |
| Gt: | Grondwatertrap, - |
| HC: | humificatiecoëfficiënt, fractie van organische stof (OS) die 12 maanden na toediening resteert in de bodem, kg OS per kg OS |
| HC _{gewasresten} : | HC van gewasresten |
| HC _{mest} : | HC van mest |

| | |
|---|--|
| HC _{versgewas} : | HC van vers gewas w.o. ook de voerresten |
| <i>Lachgas</i> | |
| MCF _S : | Methaanconversiefactor voor mestmanagementsysteem S, kg per 100 kg |
| <i>Methaan</i> | |
| MS _(T,S) : | Fractie van NexcretieT volgens mestmanagementsysteem S, - |
| N _(T) : | Aantal dieren van categorie T |
| N: | Stikstof |
| N: | Stikstof |
| N ₂ O: | Lachgas |
| N ₂ O: | Lachgas |
| N ₂ O _(D,mm) : | Emissie van lachgas uit opslagen van dierlijke mest, kg N ₂ O (!) |
| N ₂ Oem(an): | Emissie van lachgas a.g.v. organische mest-N in de vorm van weidemest, kg N |
| N ₂ Oem(backgr_grassl_m): | Emissie van lachgas t.g.v. achtergrondemissie op minerale gronden, kg N |
| N ₂ Oem(backgr_grassl_p): | Emissie van lachgas t.g.v. achtergrondemissie op veengronden, kg N |
| N ₂ Oem(cf): | Emissie van lachgas a.g.v. kunstmest-N, kg N |
| N ₂ Oem(cl): | Emissie van lachgas a.g.v. de aanwezigheid van grasklavers, kg N |
| N ₂ Oem(cr): | Emissie van lachgas a.g.v. gewasresten, onder te ploegen nateelten, maai-, beweidings- en oogstverliezen en nieuwe graszodes, kg N |
| N ₂ Oem(lea): | Emissie van lachgas a.g.v. uitgespoelde N, kg N |
| N ₂ Oem(of): | Emissie van lachgas a.g.v. organische mest-N in de vorm van 'stal'mest, kg N |
| N ₂ Oem(pt): | Emissie van lachgas a.g.v. de aanwezigheid van veengrond, kg N |
| N ₂ Oem(vol): | Emissie van lachgas a.g.v. vervluchtigde en elders gedeponeerde N, kg N |
| NAAN _{maigras_eigenland} : | N aan dier op stal aangeboden in de vorm van vers gras of kuilgras van eigen land, kg N |
| NAAN _{mais_eigenland} : | N aan dier op stal aangeboden in de vorm van maïskuil van eigen land, kg N |
| NAAN _{overigruwvoer_eigenland} : | N aan dier op stal aangeboden in de vorm van overig ruwvoer van eigen land, kg N |
| NDAM _{maigras} : | N via dam afgevoerd in de vorm van vers gras of kuilgras van eigen land, kg N |
| NDAM _{mais} : | N via dam afgevoerd in de vorm van maïskuil van eigen land, kg N |
| NDAM _{overigruwvoer} : | N via dam afgevoerd in de vorm van overig ruwvoer van eigen land, kg N |
| NEB: | Negatieve Energie Balans |
| NEMA: | Nationaal Emissie Model voor Ammoniak |
| NexcretieT: | N-excretie voor aftrek van gasvormige verliezen uit stal en opslag bij diercategorie T, kg |
| NH ₃ : | Ammoniak |
| NH ₄ : | Ammonium |
| Ninp(an): | Totale organische mestgebruik in de vorm van weidemest, kg |
| Ninp(cl): | Dat deel van de klaverbinding dat geacht wordt bij te dragen aan lachgasvorming, kg |
| Ninp(of): | Totale organische mestgebruik in de vorm van 'stal'mest, kg |
| Ninp(pt): | Product van de hectares veengrond op het bedrijf en een standaardveenmineralisatie, kg |
| Nipf(cf): | Totale kunstmest-N gebruik, kg |
| Nipn(cr): | Gewasresten, onder te ploegen nateelten, maai-, beweidings- en oogstverliezen en nieuwe graszodes, kg |
| Nloss(lea): | Nitraat-N die het bedrijf als nitraat verlaat volgens BEN, kg |
| Nloss(vol): | Ammoniak-N die het bedrijf verlaat volgens BEA incl. N uit zwaden, kg |
| NO: | Neerslagoverschot, mm |
| NO ₃ : | Nitraat |
| NO ₃ : | Nitraat |
| NOP _{maigras} : | N door dier opgenomen in de vorm van vers gras of kuilgras, kg N |

| | |
|---|---|
| NOP _{maaigras_aangekocht} : | N door dier opgenomen in de vorm van aangekocht vers gras of kuilgras, kg N |
| NOP _{maaigras_eigenland} : | N door dier opgenomen in de vorm van vers gras of kuilgras van eigen land, kg N |
| NOP _{maïs_aangekocht} : | N door dier opgenomen in de vorm van aangekochte maïskuil, kg N |
| NOP _{maïs_eigenland} : | N door dier opgenomen in de vorm van maïskuil van eigen land, kg N |
| NOP _{maïskuil} : | N door dier opgenomen in de vorm van snijmaïs, kg N |
| NOP _{overigruwvoer_aangekocht} : | N door dier opgenomen in de vorm van aangekocht overig ruwvoer, kg N |
| NOP _{overigruwvoer_eigenland} : | N door dier opgenomen in de vorm van overig ruwvoer van eigen land, kg N |
| NOP _{weide} : | N door dier opgenomen via beweiding, kg N |
| NOx: | Stikstofoxide |

Organische stof

| | |
|-----------------------------|---|
| ORO: | oppervlakte overige akkerbouwmatige ruwvoerders |
| OS/N: | kg N per kg OS |
| OS/N _{mest} : | OS/N van mest |
| OS/N _{teeltgras} : | OS/N in beweidings- en maaiverliezen |
| OS/N _{teeltmaïs} : | OS/N in oogstverliezen bij maïs |
| OS/N _{voerrest} : | OS/N van voerresten (w.o. ruwvoer, bijproducten en krachtvoer) |
| P: | Fosfor |
| P: | Fosfor |
| PcVoerververliesRuwvoer: | percentage vervoederingsverlies van ruwvoer |
| PO ₄ : | Fosfaat |
| RAS: | Ruw As |
| RAV: | Regeling Ammoniak en Veehouderij |
| RE: | Ruw Eiwit |
| SO: | oppervlakte snijmaïs, ha |
| TAN: | Totaal Ammoniakale Stikstof |
| TKT: | Tussen Kalf Tijd |
| TO: | Totale bedrijfsoppervlakte, ha |
| UF: | Uitspoelingsfractie, kg N/kg N |
| VC: | Verteringscoëfficiënt, g/g |
| VEM: | Voedereenheden Melk |
| Voorraad_Pverbr_gksm: | P-verbruik berekend uit opgegeven voorraden (begin + aanleg – eind) |
| VRE: | Verteerbaar Ruw Eiwit |
| VS _(T) : | Fecesproductie van diercategorie T, kg DS per dier per dag |
| WBO: | oppervlakte bouwland in wisselbouw (= afwisseling van bouwland en grasland), ha |
| WGO: | oppervlakte grasland in wisselbouw (= afwisseling van bouwland en grasland), ha |
| YBn: | Opbrengst van bijproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, ton vers per ha |
| YHn: | Opbrengst van hoofdproduct van marktbaar akkerbouwgewas n, ton vers per ha |
| Y _m : | Methaanconversiefactor, MJ / 100 MJ |

Bijlage 4 Kengetallen voedermiddelen

Het gehalte droge stof per voedermiddel (DS), het ruw asgehalte (AS), de verteerbaarheid van ruw eiwit (VCRE) (zie paragraaf 2.2.2.2), de verteerbaarheid van de organische stof (VCOS), de methaan-emissies uit voercomponenten van melkveestapel inclusief jongvee (g CH₄ per kg DS) in afhankelijkheid van het aandeel snijmais in rantsoen (%) (zie paragraaf 2.5.6.1) en de emissie (CO₂-equivalenten per kg product) van aangevoerde voedermiddelen (exclusief transport) (zie paragraaf 2.5.6.8) voor de verschillende voedermiddelen, onderverdeeld in voersoorten en subgroepen.

| Naam | Voer- soort ¹ | DS ² (g/kg) | RAS ² (g/kg) | VCRE ² | VCOS ² | CO ₂ - emis- sie Bron ³ | EF CH ₄ bij 0% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 40% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 80% sm (g/kg ds) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|--|--|---|---|
| Vers gras: weiden | VG | 160 | 17 | 0,82 | 0,84 | FP | 19,2 | 19,2 | 19,2 |
| Vers gras: zomerstalvoeren | VG | 160 | 17 | 0,82 | 0,84 | FP | 23,3 | 23,3 | 23,3 |
| Graskuil | GK | 472 | 55 | - ⁴ | 0,76 | FP | - ⁴ | - ⁴ | - ⁴ |
| Grashooi | GK | 845 | 84 | - ⁴ | 0,68 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Grasbalen vers gedroogd | GK | 889 | 93 | - ⁴ | 0,76 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Grasbalen voordr gedroogd | GK | 889 | 93 | - ⁴ | 0,76 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Grasbrok vers gedroogd | GK | 926 | 119 | - ⁴ | 0,74 | FP | 20,12 | 19,94 | 20,66 |
| Grasbrok voordr gedroogd | GK | 926 | 119 | - ⁴ | 0,74 | FP | 20,12 | 19,94 | 20,66 |
| Overig grasproduct | GK | 825 | 94 | - ⁴ | 0,74 | FP | 19,63 | 19,55 | 20,86 |
| Snijmais kuil | SM | 365 | 13 | - ⁴ | 0,75 | FP | - ⁴ | - ⁴ | - ⁴ |
| Snijmais gedroogd | SM | 909 | 49 | - ⁴ | 0,73 | FP | - ⁴ | - ⁴ | - ⁴ |
| Overig snijmais | SM | 637 | 31 | - ⁴ | 0,74 | FP | - ⁴ | - ⁴ | - ⁴ |
| Mengvoer | KV | 876 | 65 | - ⁴ | - ⁴ | NEV | - ⁵ | - ⁵ | - ⁵ |
| Aardappelchips | KV | 962 | 35 | 0,2 | 0,86 | NEV | 12,07 | 12,26 | 11,38 |
| Aardappeleiwit | KV | 906 | 12 | 0,89 | 0,88 | NEV | 16,43 | 14,76 | 14,04 |
| Aardappelen gedroogd | KV | 897 | 42 | 0,39 | 0,85 | NEV | 22,74 | 21,51 | 20,49 |
| Aardappelvezel | KV | 878 | 58 | 0,32 | 0,82 | NEV | 21,65 | 21,22 | 20,45 |
| Aardappelzetmeel gedroogd | KV | 863 | 5 | 0,99 | 0,94 | NEV | 23,98 | 22,33 | 20,16 |
| Appelmelasse | KV | 700 | 70 | 0,73 | 0,9 | NEV | 34,09 | 31,06 | 28,52 |
| Bataten gedroogd | KV | 878 | 38 | -0,01 | 0,85 | NEV | 24,55 | 23,57 | 22,13 |
| Beendermeel | KV | 948 | 463 | 0 | 0 | NEV | 20 | 20 | 20 |
| Bierbostel gedroogd | KV | 915 | 46 | 0,75 | 0,65 | NEV | 16,74 | 16,43 | 16,27 |
| Biergist gedroogd | KV | 924 | 65 | 0,82 | 0,79 | NEV | 19,75 | 18,63 | 18,6 |
| Bietenpulp gedroogd | KV | 903 | 70 | 0,62 | 0,87 | NEV | 25,76 | 25,8 | 28,31 |
| Biscuit/koekjesmeel | KV | 925 | 20 | 0,73 | 0,93 | NEV | 23,35 | 22,97 | 22,52 |
| Bloedmeel | KV | 919 | 17 | 0 | 0 | NEV | 18,27 | 16,67 | 16,77 |
| Boekweit | KV | 865 | 24 | 0,74 | 0,69 | NEV | 20 | 20 | 20 |
| Bonen (paarden) bontbl | KV | 869 | 33 | 0,84 | 0,9 | NEV | 21,99 | 21,6 | 22,89 |
| Bonen (paarden) witbl | KV | 867 | 33 | 0,85 | 0,9 | NEV | 21,92 | 21,44 | 22,58 |
| Bonen (Phas) verhit | KV | 862 | 51 | 0,78 | 0,89 | NEV | 21,29 | 20,87 | 21,38 |
| Broodmeel | KV | 897 | 27 | 0,77 | 0,89 | NEV | 22,97 | 23,54 | 23,2 |
| Cacaodoppen | KV | 883 | 84 | 0,6 | 0,43 | NEV | 23,1 | 22,7 | 23,3 |
| Camelina schroot bestendig | KV | 905 | 62 | 0,77 | 0,72 | NEV | 17,94 | 17,86 | 18,61 |
| Camelina schroot onbestendig | KV | 905 | 62 | 0,77 | 0,72 | NEV | 18,74 | 19,32 | 22,84 |
| Caseine | KV | 916 | 32 | 0,95 | 0,95 | NEV | 18,27 | 16,67 | 16,77 |
| Cichorei pulp gedroogd | KV | 897 | 74 | 0,56 | 0,84 | NEV | 25,01 | 25,19 | 27,86 |
| Citruspulp | KV | 912 | 66 | 0,49 | 0,86 | NEV | 26,98 | 26,43 | 28 |
| DDGS maïs | KV | 903 | 43 | 0,83 | 0,83 | NEV | 19,43 | 20,05 | 22,87 |
| DDGS tarwe | KV | 916 | 46 | 0,84 | 0,83 | NEV | 21 | 21 | 21 |
| Dextrose | KV | 1000 | 0 | 1 | 1 | NEV | 0 | 0 | 0 |

| Naam | Voer- soort ¹ | DS ² (g/kg) | RAS ² (g/kg) | VCRE ² | VCOS ² | CO ₂ - emis- sie Bron ³ | EF CH ₄ bij 0% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 40% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 80% sm (g/kg ds) |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|--|--|---|---|
| Erwten droog | KV | 866 | 29 | 0,82 | 0,9 | NEV | 22,84 | 21,99 | 22,13 |
| Erwtenvezels gedroogd | KV | 885 | 23 | 0,64 | 0,88 | NEV | 22,99 | 23,24 | 25,18 |
| Fytase | KV | 1000 | 0 | 0 | 0,83 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Gerst | KV | 873 | 21 | 0,74 | 0,85 | NEV | 22,8 | 22,07 | 20,74 |
| Gerst, geplet | KV | 873 | 21 | 0,74 | 0,85 | NEV | 19,38 | 18,76 | 17,63 |
| Gersteslijpmeel | KV | 884 | 55 | 0,78 | 0,73 | NEV | 19,66 | 19,19 | 18,72 |
| Gerstevoermeel | KV | 886 | 64 | 0,73 | 0,67 | NEV | 19,11 | 18,64 | 18,08 |
| Gierst/Millet | KV | 897 | 28 | 0,71 | 0,8 | NEV | 20,89 | 18,74 | 17,26 |
| Glycerol raapzaad | KV | 818 | 36 | 1 | 1 | NEV | 34,09 | 31,06 | 28,52 |
| Glycerol soja | KV | 818 | 36 | 1 | 1 | NEV | 34,09 | 31,06 | 28,52 |
| Grasmeel | KV | 926 | 119 | 0,66 | 0,74 | NEV | 20,12 | 19,94 | 20,66 |
| Graszaad | KV | 863 | 47 | 0,63 | 0,61 | NEV | 22,29 | 21,5 | 19,92 |
| Grondnoot niet ontdopt | KV | 942 | 28 | 0,85 | 0,79 | NEV | 8,42 | 9,13 | 11,51 |
| Grondnoot ontdopt | KV | 932 | 22 | 0,87 | 0,93 | NEV | 3,59 | 4,02 | 5,6 |
| Grondnootschilfers ged ontdopt | KV | 920 | 51 | 0,9 | 0,84 | NEV | 17,63 | 17,72 | 20,03 |
| Grondnootschilfers niet ontdopt | KV | 933 | 41 | 0,89 | 0,78 | NEV | 14,06 | 14,7 | 17,2 |
| Grondnootschilfers ontdopt | KV | 932 | 64 | 0,91 | 0,87 | NEV | 18,05 | 17,96 | 20,11 |
| Grondnootschroot ged ontdopt | KV | 926 | 56 | 0,92 | 0,82 | NEV | 17,8 | 17,96 | 20,33 |
| Grondnootschroot niet ontdopt | KV | 911 | 55 | 0,89 | 0,78 | NEV | 17,8 | 17,96 | 20,33 |
| Grondnootschroot ontdopt | KV | 913 | 60 | 0,91 | 0,85 | NEV | 21 | 20,85 | 23,26 |
| Haver | KV | 879 | 24 | 0,74 | 0,76 | NEV | 19,66 | 19,78 | 19,76 |
| Haver gepeld | KV | 888 | 20 | 0,79 | 0,9 | NEV | 21,08 | 20,8 | 20,42 |
| Haverdoppen | KV | 903 | 42 | 0,38 | 0,35 | NEV | 17 | 17 | 17 |
| Havergries, brokjes | KV | 903 | 42 | 0,38 | 0,35 | NEV | 20,06 | 20,44 | 22,08 |
| Havermoutafvalmeel | KV | 910 | 42 | 0,43 | 0,53 | NEV | 17,26 | 17,81 | 18,05 |
| Havervoermeel | KV | 886 | 24 | 0,71 | 0,75 | NEV | 18,92 | 19,22 | 19,35 |
| Hennepzaad | KV | 913 | 48 | 0,75 | 0,62 | NEV | 9,88 | 9,96 | 11,33 |
| Johannesbrood | KV | 897 | 30 | 0,02 | 0,73 | NEV | 27,2 | 26,05 | 26,35 |
| Kalksteentjes | KV | 990 | 980 | 0 | 0,83 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Katoenzaad niet ontdopt | KV | 911 | 40 | 0,73 | 0,68 | NEV | 17,78 | 16,84 | 16,91 |
| Katoenzaad ontdopt | KV | 935 | 44 | 0,8 | 0,84 | NEV | 10,38 | 10,09 | 11,31 |
| Katoenzaadschilfers ged ontdopt | KV | 933 | 60 | 0,79 | 0,7 | NEV | 15,89 | 15,94 | 17,4 |
| Katoenzaadschilfers niet ontdopt | KV | 921 | 51 | 0,77 | 0,66 | NEV | 15,81 | 16,03 | 17,58 |
| Katoenzaadschilfers ontdopt | KV | 932 | 63 | 0,8 | 0,74 | NEV | 13,94 | 13,96 | 15,36 |
| Katoenzaadschroot ged ontdopt | KV | 896 | 63 | 0,79 | 0,69 | NEV | 17,51 | 17,69 | 19,87 |
| Katoenzaadschroot niet ontdopt | KV | 945 | 50 | 0,77 | 0,66 | NEV | 17,95 | 18,18 | 20,35 |
| Katoenzaadschroot ontdopt | KV | 898 | 65 | 0,8 | 0,72 | NEV | 17,36 | 17,4 | 19,51 |
| Kokosschilfers | KV | 907 | 61 | 0,72 | 0,82 | NEV | 18,71 | 19,08 | 20,92 |
| Kokosschroot | KV | 910 | 69 | 0,74 | 0,8 | NEV | 20,8 | 21,18 | 23,22 |
| Krijt (fijn gemalen) | KV | 990 | 980 | 0 | 0,83 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Lijnzaad (vlas) | KV | 922 | 39 | 0,8 | 0,81 | NEV | 8,56 | 9 | 10,72 |
| Lijnzaad geplet bestendig | KV | 922 | 40 | 0,8 | 0,81 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Lijnzaadschilfers | KV | 922 | 58 | 0,85 | 0,78 | NEV | 18,44 | 18,58 | 21,03 |
| Lijnzaadschroot | KV | 872 | 55 | 0,85 | 0,77 | NEV | 20,63 | 20,65 | 23,16 |
| Linzen | KV | 873 | 30 | 0,84 | 0,88 | NEV | 22,26 | 20,9 | 19,81 |
| Lupine | KV | 887 | 33 | 0,9 | 0,91 | NEV | 21,35 | 20,97 | 22,69 |
| Lupinehullen | KV | 907 | 25 | 0,47 | 0,49 | NEV | 23,1 | 22,7 | 23,3 |
| Luzerne meel | KV | 913 | 104 | 0,68 | 0,65 | NEV | 20,04 | 20,23 | 21,65 |
| Magnesiumoxide | KV | 1000 | 0 | 0 | 0,83 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Maïs korrel droog | KV | 863 | 12 | 0,59 | 0,89 | NEV | - ⁵ | - ⁵ | - ⁵ |
| Maïs ontsloten | KV | 876 | 13 | 0,6 | 0,9 | NEV | 22,65 | 22,91 | 21,17 |
| Maïs, geplet | KV | 863 | 12 | 0,59 | 0,89 | NEV | 15,87 | 14,77 | 13,37 |
| Maisglutenmeel | KV | 899 | 17 | 0,95 | 0,94 | NEV | 16,64 | 15,22 | 13,34 |
| Maisglutenvoer | KV | 889 | 57 | 0,77 | 0,82 | NEV | 20,34 | 19,76 | 19,37 |
| Maiskiemschilfers | KV | 900 | 58 | 0,75 | 0,82 | NEV | 19,05 | 18,98 | 19,73 |
| Maiskiemschroot | KV | 876 | 25 | 0,78 | 0,81 | NEV | 21,07 | 21,53 | 23,7 |

| Naam | Voer- soort ¹ | DS ² (g/kg) | RAS ² (g/kg) | VCRE ² | VCOS ² | CO ₂ - emis- sie Bron ³ | EF CH ₄ bij 0% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 40% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 80% sm (g/kg ds) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|--|--|---|---|
| Maiskiemzemelschilfers | KV | 896 | 44 | 0,69 | 0,85 | NEV | 20,17 | 19,83 | 20,06 |
| Maiskiemzemelschroot | KV | 875 | 39 | 0,7 | 0,84 | NEV | 21,2 | 21,54 | 23,47 |
| Maisvlokken | KV | 883 | 13 | 0,66 | 0,89 | NEV | 23,28 | 21,66 | 19,61 |
| Maisvoermeel | KV | 877 | 14 | 0,61 | 0,89 | NEV | 21,9 | 20,55 | 18,69 |
| Maisvoerschroot | KV | 867 | 13 | 0,63 | 0,89 | NEV | 22,39 | 21,43 | 20,54 |
| Maiszemelgrint | KV | 894 | 23 | 0,65 | 0,79 | NEV | 22,14 | 21,43 | 20,54 |
| Maiszetmeel | KV | 892 | 1 | 0 | 0,96 | NEV | 23,92 | 21,99 | 22,72 |
| Monocalciumfosfaat | KV | 980 | 960 | 0 | 0,83 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Moutkiemen | KV | 916 | 50 | 0,76 | 0,71 | NEV | 21,58 | 20,74 | 21,47 |
| Natrium-bicarbonaat | KV | 1000 | 0 | 0 | 0,83 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Nigerzaad | KV | 916 | 47 | 0,79 | 0,76 | NEV | 7,59 | 7,26 | 7,65 |
| Palmpitschilfers | KV | 923 | 43 | 0,75 | 0,76 | NEV | 16,86 | 17,38 | 18,58 |
| Palmpitschroot | KV | 893 | 39 | 0,76 | 0,76 | NEV | 19,72 | 20,85 | 23,51 |
| Palmpitten | KV | 938 | 20 | 0,62 | 0,86 | NEV | 2,67 | 3,57 | 4,4 |
| Premix | KV | 1000 | 0 | 0,75 | 0,83 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Propyleenglycol, vloeibaar | KV | 950 | 0 | 1,00 | 1,00 | NEV | 20 | 20 | 20 |
| Raapzaad onbehandeld | KV | 925 | 38 | 0,78 | 0,83 | NEV | 4,88 | 5,68 | 7,91 |
| Raapzaadschilfers | KV | 902 | 62 | 0,83 | 0,79 | NEV | 17,48 | 17,9 | 20,94 |
| Raapzaadschroot | KV | 890 | 74 | 0,85 | 0,78 | NEV | 18,88 | 19,36 | 22,7 |
| Raapzaadschroot bestendig | KV | 877 | 67 | 0,84 | 0,75 | NEV | 17,94 | 17,84 | 18,60 |
| Rijst met dop | KV | 886 | 44 | 0,47 | 0,75 | NEV | 18,77 | 18,1 | 16,97 |
| Rijst ontdopt | KV | 885 | 7 | 0,49 | 0,91 | NEV | 22,73 | 21,29 | 19,68 |
| Rijstafvallen | KV | 912 | 153 | 0,43 | 0,42 | NEV | 11,99 | 12,41 | 12,18 |
| Rijstevoerschroot | KV | 901 | 108 | 0,64 | 0,70 | NEV | 15,95 | 15,64 | 15,05 |
| Rijstvoermeel | KV | 907 | 98 | 0,64 | 0,78 | NEV | 13,32 | 12,95 | 12,25 |
| Rogge | KV | 870 | 16 | 0,72 | 0,87 | NEV | 23,72 | 23,32 | 22,9 |
| Roggegries | KV | 872 | 50 | 0,77 | 0,78 | NEV | 20,05 | 20,44 | 22,07 |
| Saffloerzaad | KV | 907 | 28 | 0,68 | 0,45 | NEV | 7,71 | 8,91 | 11,64 |
| Saffloerzaadschilfers | KV | 932 | 41 | 0,80 | 0,48 | NEV | 14,69 | 14,48 | 15,78 |
| Saffloerzaadschroot | KV | 918 | 48 | 0,79 | 0,52 | NEV | 19,25 | 18,62 | 18,82 |
| Sesamzaad | KV | 942 | 75 | 0,83 | 0,85 | NEV | 6,61 | 6,68 | 7,85 |
| Sesamzaadschilfers | KV | 943 | 132 | 0,90 | 0,85 | NEV | 15,43 | 14,99 | 16,2 |
| Sesamzaadschroot | KV | 893 | 60 | 0,90 | 0,82 | NEV | 21,54 | 20,67 | 21,88 |
| Snoepsiroop | KV | 645 | 8 | 0,07 | 0,95 | NEV | 34,09 | 31,06 | 28,52 |
| Sodagrain | KV | 747 | 42 | 0,55 | 0,87 | NEV | 21,8 | 21,4 | 20,9 |
| Soja eiwit concentraat | KV | 920 | 6 | 0,90 | 0,90 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Sojabonen niet verhit | KV | 899 | 50 | 0,90 | 0,88 | NEV | 15,31 | 15,26 | 17,5 |
| Sojabonen schillen | KV | 885 | 46 | 0,58 | 0,84 | NEV | ⁻⁵ | ⁻⁵ | ⁻⁵ |
| Sojabonen verhit | KV | 899 | 50 | 0,90 | 0,88 | NEV | 15,07 | 15,03 | 17,33 |
| Sojaschilfers | KV | 916 | 64 | 0,91 | 0,91 | NEV | 18,43 | 18,15 | 20,32 |
| Sojaschroot bestendig | KV | 873 | 62 | 0,89 | 0,90 | NEV | 20,4 | 19,25 | 18,86 |
| Sojaschroot | KV | 879 | 65 | 0,91 | 0,91 | NEV | ⁻⁵ | ⁻⁵ | ⁻⁵ |
| Sorghum miloco ^{nm} | KV | 872 | 15 | 0,49 | 0,85 | NEV | 21,24 | 19,76 | 17,86 |
| Sorghumglutenmeel | KV | 900 | 32 | 0,89 | 0,89 | NEV | 18,3 | 17,29 | 16,17 |
| Spelt | KV | 888 | 30 | 0,63 | 0,79 | NEV | 23,35 | 22,97 | 22,52 |
| Speltdoppen | KV | 875 | 55 | 0,33 | 0,49 | NEV | 17 | 17 | 17 |
| Suiker | KV | 1000 | 0 | 0 | 1,00 | NEV | 34,09 | 31,06 | 28,52 |
| Tapioca | KV | 878 | 56 | -0,50 | 0,84 | NEV | 23,9 | 23,14 | 21,96 |
| Tapiocazetmeel | KV | 880 | 1 | 1,00 | 0,94 | NEV | 24,92 | 23,43 | 20,86 |
| Tarwe | KV | 867 | 15 | 0,74 | 0,89 | NEV | 23,35 | 22,97 | 22,52 |
| Tarwe, geplet | KV | 867 | 15 | 0,74 | 0,89 | NEV | 23,35 | 22,97 | 22,52 |
| Tarweglutenmeel | KV | 911 | 9 | 0,96 | 0,96 | NEV | 17 | 15,74 | 16,21 |
| Tarweglutenvoer gedroogd | KV | 901 | 48 | 0,70 | 0,73 | NEV | 20,76 | 20,35 | 19,75 |
| Tarwegries | KV | 871 | 47 | 0,77 | 0,73 | NEV | 20,41 | 20,58 | 22,01 |
| Tarwekiemen | KV | 869 | 40 | 0,86 | 0,84 | NEV | 19,94 | 19,91 | 21,1 |
| Tarwekiemzemelen | KV | 866 | 40 | 0,83 | 0,82 | NEV | 20,6 | 20,6 | 21,64 |

| Naam | Voer- soort ¹ | DS ² (g/kg) | RAS ² (g/kg) | VCRE ² | VCOS ² | CO ₂ - emis- sie Bron ³ | EF CH ₄ bij 0% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 40% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 80% sm (g/kg ds) |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|--|--|---|---|
| Tarwestro, brokjes | KV | 878 | 74 | 0,23 | 0,42 | NEV | 17 | 17 | 17 |
| Tarwevoerbloem | KV | 869 | 26 | 0,81 | 0,87 | NEV | 21,93 | 21,79 | 22,1 |
| Tarwevoermeel | KV | 870 | 43 | 0,79 | 0,77 | NEV | 20,86 | 20,92 | 22,08 |
| Tarwezemelgrint | KV | 869 | 53 | 0,76 | 0,68 | NEV | 20,23 | 20,3 | 21,74 |
| Triticale | KV | 867 | 17 | 0,72 | 0,89 | NEV | 23,65 | 23,29 | 23,09 |
| Ureum | KV | 1000 | 0 | 1 | 1 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Veldbonen onthuld en getoast | KV | 866 | 34 | 0,78 | 0,89 | NEV | 20,84 | 19,85 | 19,94 |
| Veldboonhullen | KV | 888 | 22 | 0,58 | 0,61 | NEV | 20,1 | 20,4 | 22,1 |
| Verenmeel | KV | 938 | 24 | 0 | 0 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Vet best. palmolie bij-frac, gehard | KV | 995 | 0 | 1,00 | 0,59 | NEV | -11,75 | -10,95 | -11,21 |
| Vet best. palmolie bij-frac, verzeept | KV | 975 | 124 | 1,00 | 0,76 | NEV | -10,69 | -9,97 | -10,2 |
| Vet best. palmolie hfd-frac, gehard | KV | 995 | 0 | 1,00 | 0,59 | NEV | -11,75 | -10,95 | -11,21 |
| Vet best. palmolie hfd-frac, verzeept | KV | 975 | 124 | 1,00 | 0,76 | NEV | -10,69 | -9,97 | -10,2 |
| Vet best. raapolie bij-frac, gehard | KV | 995 | 0 | 1,00 | 0,59 | NEV | -11,75 | -10,95 | -11,21 |
| Vet best. raapolie bij-frac, verzeept | KV | 975 | 124 | 1,00 | 0,76 | NEV | -10,69 | -9,97 | -10,2 |
| Vet best. raapolie hfd-frac, gehard | KV | 995 | 0 | 1,00 | 0,59 | NEV | -11,75 | -10,95 | -11,21 |
| Vet best. raapolie hfd-frac, verzeept | KV | 975 | 124 | 1,00 | 0,76 | NEV | -10,69 | -9,97 | -10,2 |
| Vet dierlijk | KV | 996 | 1 | 1,00 | 0,90 | NEV | -11,73 | -10,94 | -11,19 |
| Vet/olie plantaardig hg VC | KV | 995 | 0 | 1,00 | 0,95 | NEV | -11,75 | -10,95 | -11,21 |
| Vet/olie plantaardig lg VC | KV | 995 | 0 | 1,00 | 0,95 | NEV | -11,75 | -10,95 | -11,21 |
| Vismeel | KV | 913 | 165 | 0 | 0 | NEV | 16,64 | 15,22 | 13,34 |
| Vleesbeendermeel | KV | 941 | 374 | 0 | 0 | NEV | 16,64 | 15,22 | 13,34 |
| Zeezand gedroogd | KV | 1000 | 0 | 0 | 0 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Zonnebl.zaad ged ontdopt | KV | 938 | 32 | 0,79 | 0,71 | NEV | 7,14 | 7,99 | 10,14 |
| Zonnebl.zaad niet ontdopt | KV | 940 | 29 | 0,76 | 0,58 | NEV | 4,62 | 5,57 | 7,02 |
| Zonnebl.zaad ontdopt | KV | 915 | 37 | 0,82 | 0,84 | NEV | 6,47 | 6,66 | 8,26 |
| Zonnebl.zaadschilfers ged ontdopt | KV | 923 | 58 | 0,86 | 0,66 | NEV | 14,01 | 14,61 | 17,13 |
| Zonnebl.zaadschilfers niet ontdopt | KV | 913 | 56 | 0,81 | 0,44 | NEV | 9,78 | 10,68 | 12,61 |
| Zonnebl.zaadschilfers ontdopt | KV | 926 | 63 | 0,87 | 0,72 | NEV | 16,71 | 17,1 | 19,88 |
| Zonnebl.zaadschroot | KV | 892 | 65 | 0,88 | 0,68 | NEV | 17,94 | 18,4 | 21,22 |
| Zonnebloemzaadhullen | KV | 907 | 34 | 0,40 | 0,18 | NEV | 23,1 | 22,7 | 23,3 |
| Zout | KV | 998 | 996 | 0 | 0 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Overig graan | KV | 876 | 23 | 0,68 | 0,83 | NEV | 21,94 | 21,22 | 20,4 |
| Overig zaadgewas | KV | 916 | 41 | 0,77 | 0,70 | NEV | 8,73 | 9,13 | 10,52 |
| Overig peulvrucht | KV | 886 | 34 | 0,84 | 0,86 | NEV | 22,07 | 21,38 | 22,02 |
| Overig enkelvoudig | KV | 901 | 52 | 0,75 | 0,80 | NEV | 20,20 | 19,83 | 20,51 |
| Overig mineralen | KV | 990 | 282 | 0,75 | 0,83 | NEV | 0 | 0 | 0 |
| Kunstmelk | MP | 964 | 48 | 0,89 | 0,93 | NEV | 26,67 | 26,47 | 26,98 |
| Melkpoeder mager | MP | 951 | 79 | 0,92 | 0,95 | NEV | 25,63 | 28,84 | 30,11 |
| Melkpoeder vol | MP | 949 | 59 | 0,89 | 0,95 | NEV | 16,52 | 15,24 | 14,53 |
| Weipoeder (droog) | MP | 982 | 81 | 0,77 | 0,94 | NEV | 29,64 | 27,83 | 27,95 |
| Weipoeder (nat 60%) | MP | 600 | 50 | 0,77 | 0,94 | AF | 29,64 | 27,83 | 27,95 |
| Weipoeder (nat 30%) | MP | 300 | 25 | 0,77 | 0,94 | AF | 29,64 | 27,83 | 27,95 |
| Weipoeder (nat 7%) | MP | 70 | 5 | 0,77 | 0,94 | AF | 29,64 | 27,83 | 27,95 |
| Weipoeder delac (droog) | MP | 959 | 203 | 0,88 | 0,93 | NEV | 22,77 | 21,77 | 22,77 |
| Weipoeder delac (nat 60%) | MP | 600 | 111 | 0,89 | 0,94 | AF | 22,77 | 21,77 | 22,77 |
| Weipoeder delac (nat 30%) | MP | 300 | 55 | 0,89 | 0,94 | AF | 22,77 | 21,77 | 22,77 |
| Weipoeder delac (nat 7%) | MP | 70 | 11 | 0,89 | 0,94 | AF | 22,77 | 21,77 | 22,77 |
| Kaaswei | MP | 38 | 4 | 0,86 | 0,94 | AF | 26,63 | 26,56 | 30,01 |
| Overig melkproduct | MP | 564 | 61 | 0,87 | 0,94 | AF | 27,15 | 26,14 | 26,67 |
| Aardappeldiksap | BP | 548 | 159 | 0,91 | 0,93 | NEV | 20,06 | 21,72 | 26,74 |
| Aardappelpersvezels | BP | 161 | 7 | 0,41 | 0,84 | AF | 24,04 | 24,31 | 26,04 |
| Aardappelschillen | BP | 220 | 18 | 0,53 | 0,85 | AF | 19,43 | 19,43 | 19,43 |
| Aardappelsnippers | BP | 212 | 7 | 0,40 | 0,88 | AF | 22,22 | 21,17 | 20,50 |
| Aardappelstoomschillen | BP | 140 | 9 | 0,63 | 0,88 | AF | 23,24 | 24,90 | 28,06 |
| Aardappelzetmeel nat | BP | 266 | 9 | 0,58 | 0,90 | AF | 22,60 | 21,33 | 19,85 |

| Naam | Voer- soort ¹ | DS ² (g/kg) | RAS ² (g/kg) | VCRE ² | VCOS ² | CO ₂ - emis- sie Bron ³ | EF CH ₄ bij 0% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 40% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 80% sm (g/kg ds) |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|--|--|---|---|
| Aardappelzetmeel niet ontsloten | BP | 451 | 8 | 0,99 | 0,93 | AF | 22,93 | 21,36 | 19,18 |
| Andijvie | RV | 52 | 9 | 0,85 | 0,86 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Appelen | BP | 157 | 4 | -0,20 | 0,88 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Augurk | BP | 49 | 4 | 0,63 | 0,79 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Bierbostel | BP | 242 | 11 | 0,80 | 0,64 | FP | 15,68 | 15,50 | 15,50 |
| Bietenblad | RV | 182 | 57 | 0,60 | 0,73 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Bietenblad met kop | RV | 160 | 32 | 0,79 | 0,82 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Bietenperspulp | BP | 248 | 19 | 0,61 | 0,88 | AF | 24,62 | 24,53 | 26,17 |
| Bietenstaartjes | RV | 135 | 25 | 0,55 | 0,78 | AF | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Bonenstro (Vicia) | RV | 840 | 61 | 0,46 | 0,52 | AF | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Bonenstro (Phas) | RV | 863 | 98 | 0,62 | 0,61 | AF | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| CCM deel spil | BP | 632 | 11 | 0,57 | 0,86 | FP | 20,45 | 19,14 | 17,29 |
| CCM met spil | BP | 525 | 11 | 0,58 | 0,84 | FP | 20,55 | 19,36 | 17,52 |
| CCM zonder spil | BP | 662 | 11 | 0,58 | 0,87 | FP | 20,54 | 19,17 | 17,29 |
| Cichorei loof | RV | 175 | 60 | 0,34 | 0,58 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Cichorei perspulp kuil | BP | 232 | 22 | 0,53 | 0,84 | FP | 24,79 | 24,49 | 25,73 |
| Cichorei wortel getrokken schoon | BP | 149 | 12 | 0,61 | 0,85 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Cichorei wortel getrokken vuil | BP | 122 | 21 | 0,61 | 0,85 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Cichorei wortel niet getrokken | BP | 200 | 20 | 0,49 | 0,92 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Erwtenstro | RV | 710 | 75 | 0,58 | 0,50 | AF | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Gerstestro | RV | 884 | 63 | 0,17 | 0,48 | AF | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| GPS-granen | RV | 325 | 26 | 0,63 | 0,68 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Graanspoeling nat | BP | 73 | 4 | 0,84 | 0,83 | FP | 17,62 | 17,62 | 17,62 |
| Graszaadhooi | RV | 844 | 64 | 0,36 | 0,54 | FP | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Haverstro | RV | 840 | 59 | 0,19 | 0,50 | AF | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Klaver rode hooi | RV | 830 | 83 | 0,61 | 0,59 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Klaver rode kuil | RV | 364 | 56 | 0,73 | 0,64 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Klaver rode kunstmatig gedroogd | RV | 899 | 104 | 0,62 | 0,68 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Klaver rode stro | RV | 830 | 56 | 0,44 | 0,42 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Komkommer | BP | 58 | 6 | 0,57 | 0,80 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Kool (bladkool) | RV | 100 | 15 | 0,87 | 0,83 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Kool (bloemkool) | RV | 72 | 10 | 0,91 | 0,90 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Kool (mergkool) | RV | 120 | 16 | 0,84 | 0,83 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Kool (rood/wit/sav) | RV | 105 | 12 | 0,85 | 0,85 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Kool (spruitkool) | RV | 162 | 14 | 0,87 | 0,88 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Koolrapen | BP | 110 | 14 | 0,67 | 0,88 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Krotten rode biet | BP | 136 | 11 | 0,58 | 0,89 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Luzerne hooi | RV | 872 | 88 | 0,67 | 0,62 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Luzerne kuil | RV | 403 | 57 | 0,73 | 0,65 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Luzerne kunstmatig gedroogd | RV | 903 | 106 | 0,67 | 0,63 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Maisglutenvoer kuil | BP | 418 | 16 | 0,71 | 0,83 | AF | 20,97 | 20,16 | 19,09 |
| Maïskolvensilage | BP | 553 | 9 | 0,58 | 0,86 | FP | 20,51 | 20,51 | 20,51 |
| Maïsstro | RV | 840 | 86 | 0,27 | 0,57 | AF | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Maïsweekwater | BP | 476 | 84 | 0,87 | 0,91 | AF | 21,99 | 23,32 | 28,47 |
| Melasse suikerbiet | BP | 787 | 90 | 0,73 | 0,90 | NEV | 30,01 | 28,71 | 30,70 |
| Melasse suikerriet | BP | 723 | 101 | 0,17 | 0,80 | NEV | 29,80 | 22,07 | 21,16 |
| Paprika | BP | 125 | 8 | 0,56 | 0,72 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Peren | BP | 165 | 4 | -0,93 | 0,87 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Prei | RV | 100 | 10 | 0,80 | 0,83 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Roggestro | RV | 840 | 59 | 0,14 | 0,46 | AF | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Sla | RV | 61 | 11 | 0,82 | 0,85 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Snijgraan kuil | RV | 250 | 20 | 0,62 | 0,78 | FP | 19,53 | 19,48 | 20,99 |
| Spinazie | RV | 94 | 17 | 0,84 | 0,85 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Spruiten | RV | 180 | 20 | 0,85 | 0,84 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Suikerbieten | BP | 260 | 49 | 0,27 | 0,90 | AF | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Tarwegistconcentraat (TGC) | BP | 259 | 18 | 0,79 | 0,88 | AF | 22,13 | 21,25 | 21,20 |

| Naam | Voer- soort ¹ | DS ² (g/kg) | RAS ² (g/kg) | VCRE ² | VCOS ² | CO ₂ - emis- sie Bron ³ | EF CH ₄ bij 0% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 40% sm (g/kg ds) | EF CH ₄ bij 80% sm (g/kg ds) |
|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|--|--|---|---|
| Tarwestro | RV | 878 | 73 | 0,23 | 0,42 | AF | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Tomaten | BP | 63 | 6 | 0,76 | 0,81 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Uien/bollen | RV | 118 | 16 | 0,75 | 0,90 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Veldbonen (Vicia) | RV | 326 | 28 | 0,70 | 0,64 | AF | 21,40 | 21,40 | 21,40 |
| Vinasse suikerbiet | BP | 655 | 137 | 0,86 | 0,90 | NEV | 21,76 | 22,80 | 27,02 |
| Voederbieten | BP | 129 | 21 | 0,60 | 0,90 | AF | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Voederbieten extern gereinigd | BP | 139 | 13 | 0,62 | 0,90 | AF | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| Voeraardappelen | BP | 322 | 24 | 0,33 | 0,88 | AF | 19,95 | 19,95 | 19,95 |
| Wortelen / Winterpeen | BP | 112 | 10 | 0,59 | 0,90 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Wortelstoomschillen | BP | 52 | 7 | 0,64 | 0,90 | FP | 24,67 | 23,93 | 24,65 |
| Overig graanstro | RV | 861 | 64 | 0,19 | 0,46 | AF | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Overig bladgroente | RV | 105 | 14 | 0,67 | 0,88 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Overig groente | RV | 119 | 36 | 0,46 | 0,74 | FP | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Overig ruwvoer | RV | 355 | 32 | 0,67 | 0,65 | FP | 19,43 | 19,31 | 19,41 |
| Overig bijproduct | BP | 336 | 40 | 0,75 | 0,87 | FP | 21,35 | 21,11 | 21,60 |

¹ GK=graskuil; VG=vers gras; SM=snijmais; KV=krachtvoer; MP=Melkpoeder; RV=Overig ruwvoer, BP=Vochtrijke (bij)producten.

² CVB, 2004; CVB, 2006; CVB, 2011; CVB, 2019; CVB, 2021 en <http://www.cvbdiervoeding.nl/pagina/10081/downloads.aspx>.

³ NEV = Nevedilijst (Nevedi, 2022); FP = Feedprint (Feedprint 2023; Vellinga *et al.*, 2013), AF = Agrifootprint 6

⁴ wordt berekend, zie hoofdtekst.

⁵ wordt aangeleverd door leverancier of berekend/vaste waarde indien deze ontbreekt.

Bijlage 5 Emissiecoëfficiënten CO₂

Emissie van koolstofdioxide (direct en indirect) door gebruik van verschillende producten en processen in de bedrijfsvoering van het melkveebedrijf. Emissiecoëfficiënten uitgedrukt in CO₂-equivalenten per weergegeven eenheid.

| Proces | Product | Specificatie | Bron | Omschrijving |
|---------|------------------|--|---|---|
| Aanvoer | Transport | alle | Agri-footprint 5 | Transport, truck >20t, EURO5, 50%LF, default/GLO Economic |
| Aanvoer | Kunstmest | stikstof als 100% ammonium | Agri-footprint 6 | Ammonium sulphate, as 100% (NH ₄) ₂ SO ₄ (NPK 21-0-0), market mix, at regional storage/RER Economic |
| Aanvoer | Kunstmest | stikstof als 100% nitraat | Agri-footprint 6 | Nitric acid, in water (60% HNO ₃) (NPK 13.2-0-0), market mix, at regional storage/RER Economic |
| Aanvoer | Kunstmest | stikstof als 100% ureum | Agri-footprint 6 | Urea, as 100% CO(NH ₂) ₂ (NPK 46.6-0-0), at regional storage/RER Economic |
| Aanvoer | Kunstmest | stikstof als combinatie van ammonium met nitraat | Agri-footprint 6 | Calcium ammonium nitrate (CAN), (NPK 26.5-0-0), market mix, at regional storage/RER Economic |
| Aanvoer | Kunstmest | stikstof als combinatie van ammonium en/of nitraat met ureum | Agri-footprint 6 | Liquid urea-ammonium nitrate solution (NPK 30-0-0), market mix, at regional storage/RER Economic |
| Aanvoer | Kunstmest | stikstof in combinatie met fosfor en/of kali | Agri-footprint 6 | Ammonia, as 100% NH ₃ (NPK 82-0-0), market mix, at regional storage/RER Economic |
| Aanvoer | Kunstmest | fosfaat | Agri-footprint 6 | Triple superphosphate, as 80% Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (NPK 0-48-0), at plant/RER Economic |
| Aanvoer | Kunstmest | kali | Agri-footprint 6 | Potassium chloride (NPK 0-0-60), at plant/RER Economic |
| Aanvoer | Kunstmest | kalk, kalksteen | Agri-footprint 4 | Lime fertilizer, at regional storehouse/RER Economic |
| Aanvoer | Kunstmest | kalk, dolomiet | Agri-footprint 4 | Dolomite, milled, at mine/RER Economic |
| Aanvoer | Organische mest | compost | Brancheorganisaties BVOR en Vereniging Afvalbedrijven | |
| Aanvoer | Strooisel | stro | Agri-footprint 5 | Wheat straw, at farm/NL Economic |
| Aanvoer | Strooisel | zaagsel | AGRIBALYSE 3.0 | Wood chips, at farm/FR S |
| Aanvoer | Strooisel | kalk | Agri-footprint 5 IPCC 2006 | Lime production + application |
| Aanvoer | Strooisel | overig | | Average |
| Aanvoer | Vee | koeien | Agri-footprint 5 | Cows for slaughter, at dairy farm, PEF compliant/NL IDF/Economic |
| Aanvoer | Vee | pinken | Agri-footprint 5 | Cows for slaughter, at dairy farm, PEF compliant/NL IDF/Economic |
| Aanvoer | Vee | kalveren | Agri-footprint 5 | Calves, at dairy farm, PEF compliant/NL IDF/Economic |
| Aanvoer | Vee | nuchter kalf | Agri-footprint 5 | Calves, at dairy farm, PEF compliant/NL IDF/Economic |
| Aanvoer | Gewasbescherming | nematicide | Agri-footprint 5 | Insecticide, at plant/RER Economic |
| Aanvoer | Gewasbescherming | herbicide | Agri-footprint 5 | Herbicide, at plant/RER Economic |

| Proces | Product | Specificatie | Bron | Omschrijving |
|---------|-------------------------|-----------------------------|--|--|
| Aanvoer | Gewasbescherming | fungicide | Agri-footprint 5 | Fungicide, at plant/RER Economic |
| Aanvoer | Gewasbescherming | overige | Agri-footprint 5 | Average |
| Aanvoer | Afdekmateriaal | plastic | ELCD | Polyethylene low density granulate (PE-LD), production mix, at plant RER System |
| Energie | Kunstmatig drogen | grasbaal | Feedprint 2023 | |
| Energie | Kunstmatig drogen | grasbrok | Feedprint 2023 | |
| Energie | Kunstmatig drogen | snijmaïs | Feedprint 2023 | |
| Energie | Kunstmatig drogen | overige ruwvoer | Feedprint 2023 | |
| Energie | | | | |
| Energie | Verbranding | diesel | Zijlema 2023 | |
| Energie | Verbranding | natuurlijk gas | Zijlema 2023 | |
| Energie | Verbranding | biogas | Zijlema 2023 | |
| Energie | Verbranding | propaan | Zijlema 2023 | |
| Energie | Verbranding | stookolie | Zijlema 2023 | |
| Energie | Productie | elektrisch grijs | CE Delft 2023, STREAM personenvervoer 2023 | |
| Energie | Productie | elektrisch groen | CE Delft 2023, STREAM personenvervoer 2023 | |
| Energie | Productie | diesel | ELCD | Diesel, from crude oil, consumption mix, at refinery, 200 ppm sulphur EU-15 S System |
| Energie | Productie | natuurlijk gas | ELCD | Natural gas, from onshore and offshore prod. incl. pipeline and LNG transport, consumption mix, EU-27 S System |
| Energie | Productie | biogas | www.co2emissiefactoren.nl | Groengas (gemiddeld) |
| Energie | Productie | propaan | www.co2emissiefactoren.nl | Propan |
| Energie | Productie | olie | ELCD | Heavy fuel oil, from crude oil, consumption mix, at refinery EU-15 S System |
| Energie | Indirect | elektriciteit | CE Delft 2023, STREAM personenvervoer 2023 | Elektriciteit gemiddeld |
| Energie | Indirect | gas | Agri-footprint 5 | Combustion of natural gas, consumption mix, at plant/NL Economic |
| Energie | Indirect | kerosine | Agri-footprint 5 | Energy, from diesel burned in machinery/RER Economic |
| Energie | Indirect | Cokeskolen (basismateriaal) | www.co2emissiefactoren.nl | |
| Energie | Aanvoer | water | ELCD | Drinking water, water purification treatment, production mix, at plant, from groundwater RER S |
| Energie | Productie elektriciteit | biomassa | CE Delft 2023, STREAM personenvervoer 2023 | |
| Energie | Productie elektriciteit | wind | CE Delft 2023, STREAM personenvervoer 2023 | |

| Proces | Product | Specificatie | Bron | Omschrijving |
|------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|
| Energie | Productie elektriciteit | zon | CE Delft 2023, STREAM | personenvervoer 2023 |
| Toediening | Kalk | kalk, dolomiet | IPCC 2006 | |
| Toediening | Kalk | kalk, kalksteen | IPCC 2006 | |
| Toediening | Ureum | - | IPCC 2006 | |

Bijlage 6 Norm GVE per dier: gebaseerd op RVO- en WUM-fosfaatexcreties

| Diergoep | Diersoort | GVE/dier |
|---------------------------|--|----------|
| Melkvee (RVO) | Melkkoeien (cat. 100) | 1 |
| | Jongvee > 1 jaar (cat. 102) | 0,530 |
| | Jongvee < 1 jaar (cat. 101) | 0,232 |
| Overige graasdieren (RVO) | Fokstieren, > 1 jaar (cat. 104) | 0,627 |
| | Weide- en zoogkoeien (cat. 120) | 0,651 |
| | Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115) | 0,082 |
| | Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116) | 0,228 |
| | Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117) | 0,184 |
| | Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122) | 0,235 |
| | Fokschapen, incl. lammeren (cat. 550) | 0,08 |
| | Vleeschapen, < 4 mnd (cat. 551) | 0,007 |
| | Overige schapen, > 4 mnd (cat. 552) | 0,053 |
| | Melkgeiten (cat. 600) | 0,114 |
| | Opfok- en vleesgeiten, < 4 mnd (cat. 601) | 0,007 |
| | Opfok- en vleesgeiten, > 4 mnd (cat. 602) | 0,063 |
| | Pony's (cat. 941) | 0,315 |
| | Paarden (cat. 943) | 0,692 |
| | Ezels (cat. 961) | 0,177 |
| | Waterbuffels, koeien (cat. 991) | 0,724 |
| | Waterbuffels, jongvee (cat. 992) | 0,245 |
| Intensief (WUM 2018) | Kraamzeugen | 0,334 |
| | Guste en dragende zeugen | 0,334 |
| | Gespeende biggen | 0 |
| | Vleesvarkens | 0,102 |
| | Leghennen | 0,01 |
| | Vleeskuikens | 0,003 |
| | Witvleeskalveren | 0,177 |

Bijlage 7 Berekenen van VC-OS waarden van mengvoerders in de KringloopWijzer

Vanaf KringloopWijzer versie 2021 wordt de VC-OS waarde van mengvoer anders berekend dan voorheen. In deze bijlage de achtergrond en de onderbouwing naar hernieuwde rekenwijze.

Introductie

In de KringloopWijzer wordt voor de berekening van de methaanproductie uit mest gebruik gemaakt van de VC-OS van voedermiddelen. Voor enkelvoudig geleverde voedermiddelen is de VC-OS bekend, hiervoor worden CVB-tabel waarden gebruikt (CVB Veevoedertabel 2021), of een vergelijkbaar alternatief als het voedermiddel niet in de CVB-tabel voorkomt.

Voor mengvoerders wordt deze waarde niet gesluit via de EDI-berichten. Er werd gebruik gemaakt van een vaste VC-OS waarde van 84% voor mengvoerders. Deze vaste waarde is eerder afgeleid uit de samenstelling van 3 standaard mengvoerders waarbij de VC-OS waarde van deze 3 standaard mengvoerders praktisch gelijk was. In de handreiking bedrijfsspecifieke excretie (BEX)³ en de KringloopWijzer worden droge voedermiddelen die *niet* enkelvoudig worden geleverd onder mengvoer geschaard. Dat betekent dat een mengsel van 2 grondstoffen al onder de noemer mengvoer valt. Aan de benadering van een vaste VC-OS waarde voor mengvoerders kleefden twee belangrijke bezwaren:

- 1) De variatie in grondstoffsamenstelling van mengvoerders is veel groter dan van de eerdere geformuleerde 3 standaard productievoeders.
- 2) Doordat ook grondstoffmengsels kunnen bestaan uit enkele grondstoffen (bijvoorbeeld twee of drie) is de variatie nog veel groter. In mengvoer met ca. 10 grondstoffen worden namelijk de extremen uitgemiddeld.

Door Jacob Goelema (Teamleader R&D Ruminants bij De Heus voeders) is duidelijk aangetoond dat er voor mengvoerders een substantiële spreiding in VC-OS waarden aanwezig is en ook dat er een duidelijke relatie is tussen de VC-OS waarde van een mengvoeder en gehalten aan VEM, P en RE. In deze notitie is de relatie tussen VC-OS en VEM, P, en RE geschat voor:

1. de voedermiddelen in de CVB Veevoedertabel en
2. een dataset van grondstoffmengsels zoals deze gebruikt worden in de praktijk.

De in deze notitie gefitte relaties worden uiteindelijk gebruikt voor het voorspellen van de VC-OS waarden van mengvoerders en van meelmengsels.

Materiaal en Methodes

De mengvoedergrondstoffen uit de CVB Veevoedertabel 2021 waarvoor zowel een VC-OS als een VEM gehalte bekend is zijn geselecteerd (zie Bijlage 7A voor gebruikte mengvoedergrondstoffen). Dit resulteerde in een dataset van 177 voedermiddelen (waarbij voor voedermiddelen die zijn ingedeeld in klassen zoals sojaschroot, elke klasse als een apart voedermiddel geldt). Daarbij zijn 3 modellen, toenemend in complexiteit, op de data gefit:

Model 1:

$$\text{VC-OS (\%)} = B_0 + B_1 \times \text{VEM (g/kg)} + \text{error}$$

Model 2:

$$\text{VC-OS (\%)} = B_0 + B_1 \times \text{VEM (g/kg)} + B_2 \times \text{P (g/kg)} + \text{error}$$

³

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/07/20190719%20Handreiking%20Bedrijfsspecifieke%20excretie%20melkvee%202019.pdf>

Model 3:

$$VC\text{-}OS (\%) = B_0 + B_1 \times VEM (\text{g/kg}) + B_2 \times P (\text{g/kg}) + B_3 \times P^2 (\text{g/kg}) + \text{error}$$

Ook is er getoetst of RE-gehalte als verklarende variabele in staat was om naast VEM-gehalten en P-gehalte variatie in VC-OS te voorspellen in de dataset van voedermiddelen in de CVB Veevoedertabel 2021 maar dit bleek niet het geval. Resultaten van modellen met RE-gehalte worden daarom ook niet weergegeven in deze studie.

Verder is ook gekeken naar verschillende subsets van data waarbij voedermiddelen met hoge standard residuals zijn weggelaten. Uiteindelijk is ervoor gekozen om het definitief voorgestelde model (model 3) te baseren op alleen data van voedermiddelen met RVET-gehalten van minder dan 130 g/kg en met weglating van 4 voedermiddelen die uitbijters waren. Dit resulteerde in een definitieve dataset met 135 voedermiddelen. Deze dataset is weergegeven in de bijlage.

De modelresultaten gebaseerd op de dataset van CVB Veevoedertabel 2021 dataset zijn vervolgens gevalideerd op een dataset van mengvoersamenstellingen (bestaande uit een mengsel van voedermiddelen) gebruikt in de praktijk. Deze dataset is ter beschikking gesteld door de Heus en bestaat uit een dataset met 1095 grondstofmengsels die gemaakt worden in 2 fabrieken. Deze 1095 grondstofmengsels bestaan uit droge mengvoergrondstoffen waaraan vloeibare pershulpmiddelen zoals melasse en vinasse zijn toegevoegd, benevens mineralen/premixen en in een aantal gevallen vetachtige producten zoals palmolie, sojaolie of vetzuren daarvan.

In Tabel B7.1 staan de gemiddelde gehalten van de definitieve dataset met voedermiddelen uit de CVB Veevoedertabel 2021 die gebruikt is voor het vaststellen van de definitieve formule om VC-OS te voorspellen en de gemiddelde gehalten van de Heus dataset die gebruikt is om de formule te valideren.

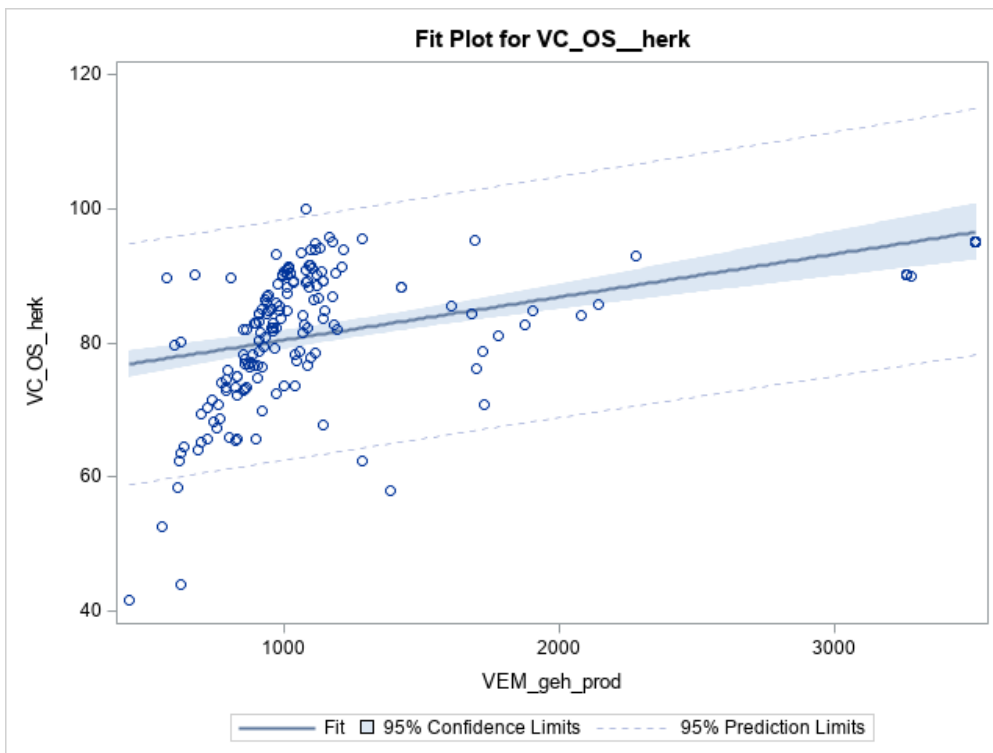
Tabel B7.1 Gemiddelde gehalten (\pm standaarddeviatie) van de definitieve dataset met voedermiddelen uit de CVB Veevoedertabel 2021 die gebruikt is voor het vaststellen van de definitieve formule om VC-OS te voorspellen en de gemiddelde gehalten van de Heus dataset die gebruikt is om de formule te valideren.

| Dataset | Nutrient | n | Gemiddelde | Minimum | Maximum |
|---------|-----------|------|-----------------|---------|---------|
| CVB | DS (g/kg) | 135 | 894 \pm 34.1 | 721 | 1000 |
| | RE (g/kg) | | 228 \pm 170.4 | 0 | 872 |
| | P (g/kg) | | 5.5 \pm 3.85 | 0 | 19.6 |
| | VEM (/kg) | | 946 \pm 153.1 | 434 | 1284 |
| | VC-OS (%) | | 81.3 \pm 9.40 | 41,8 | 100 |
| De Heus | DS (g/kg) | 1095 | 882 \pm 8.3 | 862 | 917 |
| | RE (g/kg) | | 196 \pm 87.0 | 68 | 439 |
| | P (g/kg) | | 4.1 \pm 1.84 | 0.5 | 10,2 |
| | VEM (/kg) | | 973 \pm 52.9 | 794 | 1276 |
| | VC-OS (%) | | 85.3 \pm 3.00 | 74,6 | 90,8 |

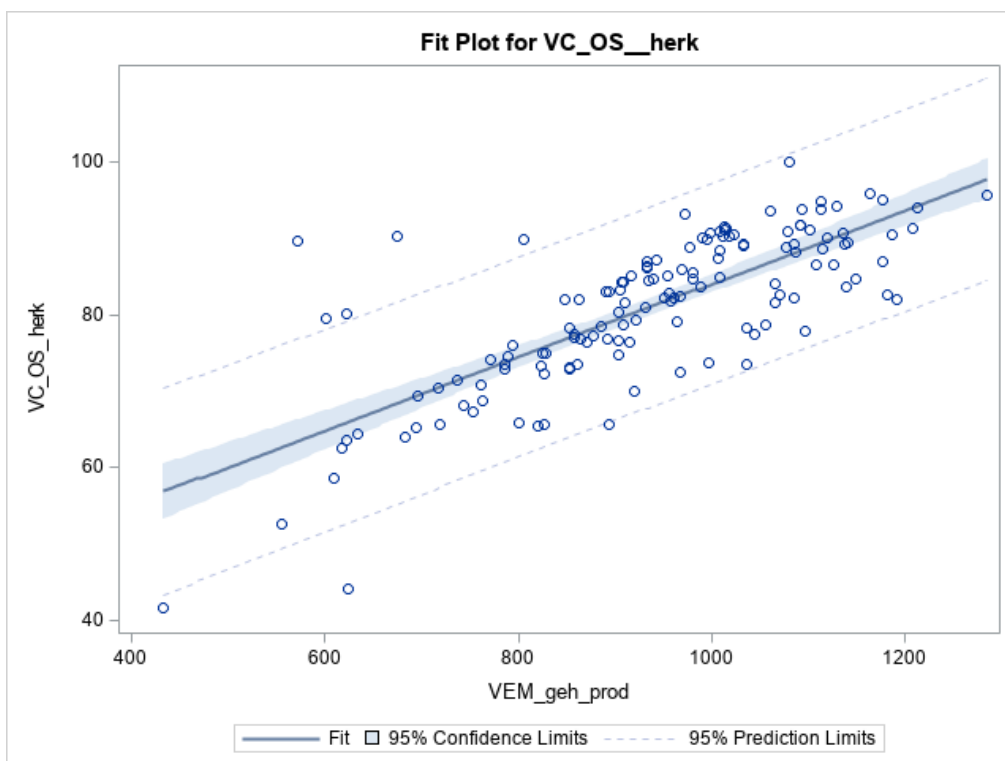
Resultaten en Discussie

Uit een eerste analyse tussen het VEM-gehalte en VC-OS-waarde van voedermiddelen uit de CVB-Veevoedertabel blijkt dat er een sterk lineair verband is tussen VEM-gehalte en VC-OS voor voedermiddelen met een VEM-gehalte lager dan 1200 VEM per kg product (Figuur B7.1).

Voedermiddelen met VEM-gehalten hoger dan 1200 VEM zijn in het algemeen vetrijke producten zoals pure vetten/oliën en vetrijke producten zoals oliezaden. Daarom is er voor gekozen om vetrijke producten met RVET(h) gehalten hoger dan 130 g/kg product uit te sluiten. Dit resulteerde in een sterke lineaire relatie tussen VC-OS en VEM-gehalte (Figuur B7.2). De producten met RVET(h) gehalten hoger dan 130 g/kg waren: rijstevoermeel, katoenzaad, sojabonen, volle melkpoeder, aardappelchips, katoenzaad, hennepzaad, grondnoten, zonnebloemzaad, lijnzaad, nigerzaad, sesamzaad, raapzaad, zonnebloemzaad, palmpitten, en pure vetten/oliën.



Figuur B7.1 Relatie tussen VC-OS (%) en VEM-gehalte (/kg product) voor mengvoedergrondstoffen uit de CVB Veevoedertabel 2021 ($n = 175$). $VC-OS (\%) = 74.1 \pm 1.31 + 0.00639 \pm 0.000892 \times VEM (/kg)$. $R^2 = 0.229$, $\%CV = 11.0$, $RMSE = 9.05$, gemiddelde VC-OS-waarde van dataset is 82.1%.



Figuur B7.2. Relatie tussen VC-OS (%) en VEM-gehalte (/kg product) voor mengvoedergrondstoffen uit de CVB Veevoedertabel 2021 met een RVET-gehalte lager dan 130 g/kg ($n = 139$). $VC-OS (\%) = 36.1 \pm 3.29 + 0.0479 \pm 0.00346 \times VEM (/kg)$. $R^2 = 0.583$, $\%CV = 8.1$, $RMSE = 6.57$, gemiddelde VC-OS-waarde van dataset is 81.0%.

Vervolgens is op de dataset met voedermiddelen uit de CVB Veevoedertabel met RVET-gehalten lager dan 130 g/kg (met 139 observaties) model 2 gefit:

Model 2:

$VC\text{-}OS (\%) = 40.9 \pm 3.23 + 0.0465 \pm 0.00324 \times VEM (/kg) - 0.641 \pm 0.1361 \times P (g/kg)$. N = 139, $R^2 = 0.641$, %CV = 7.6, RMSE = 6.11, gemiddelde VC-OS-waarde van dataset is 81.0%.

Model 2 resulteert dus in een verbeterde modelfit waarbij zowel het effect van VEM-gehalte als P-gehalte significant is. Toevoegen van het RE-gehalte (model 3) als derde verklarende variabele resulteerde niet in een verbeterde modelfit en ook was het effect van RE-gehalte niet significant ($P=0.843$).

Verder bleek er een kwadratisch effect van P op VC-OS:

Model 3:

$VC\text{-}OS (\%) = 42.9 \pm 2.98 + 0.0485 \pm 0.00299 \times VEM (/kg) - 2.411 \pm 0.3605 \times P (g/kg) + 0.1289 \pm 0.02463 \times P^2 (g/kg)$. N = 139, $R^2 = 0.702$, %CV = 6.91, RMSE = 5.59, gemiddelde VC-OS-waarde van dataset is 81,0%.

Er bleken 4 duidelijke uitbijters aanwezig te zijn met studentized residuals groter dan 2.5 of kleiner dan -2.5. Dit waren zonnebloemzaadschilfers (studentized residual van -3.6), havermoutafvalmeel (studentized residual van -2.6), en de twee kwaliteiten bietvinasse (studentized residuals van 3.3 en 4.0). In het geval deze observaties werden verwijderd bleek de volgende relatie voor model 3.

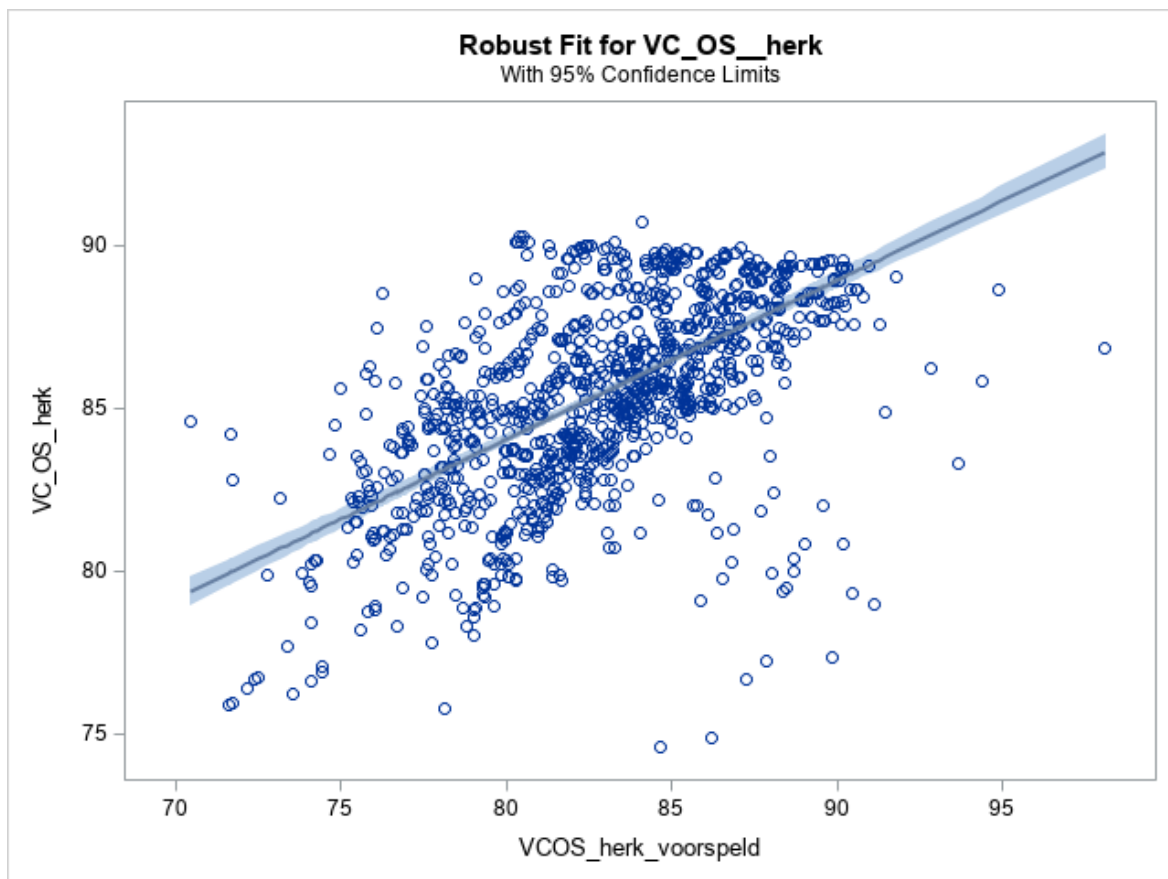
Model 3 zonder uitbijters:

$VC\text{-}OS (\%) = 41.8 \pm 2.71 + 0.0489 \pm 0.00267 \times VEM (/kg) - 2.186 \pm 0.30260 \times P (g/kg) + 0.1167 \pm 0.02057 \times P^2 (g/kg)$. N = 135, $R^2 = 0.761$, %CV = 5.71, RMSE = 4.65, gemiddelde VC-OS-waarde van dataset is 81,3%.

In model 3 zonder uitbijters blijkt dat het P-gehalte een belangrijke verklarende variabele is. Het is echter de vraag of P-gehalte gebruikt kan worden in mengvoersamenstellingen omdat in mengvoersamenstellingen in een aantal gevallen ook anorganisch fosfaat wordt toegevoegd wat kan leiden tot een onjuiste voorspelling van de VC-OS waarde. Echter, in de gebruikte mengvoersamenstellingen van de Heus is het gebruik van anorganische fosfaatbronnen zeer beperkt gehouden i.v.m. het Voerspoor convenant waarin met Nederlandse mengvoerleveranciers is overeengekomen om P gehalten van mengvoersamenstellingen beneden de 4,3 g/kg te houden. Daarom is de kans zeer klein dat toepassing van anorganisch fosfaat een verstrend effect geeft op de voorspellingen.

Een tweede doel van deze studie is om de uitkomsten van model 3 zonder uitbijters te valideren op in de praktijk gebruikte mengvoersamenstellingen.

Daarom zijn de geobserveerde VC-OS waarden van de Heus (afhankelijke variabele; y) uitgezet tegen de met model 3 (zonder uitbijters) voorspelde VC-OS waarden (onafhankelijke variabele; x) d.m.v. de PROC ROBUSTREG procedure van SAS. De reden om te kiezen voor de ROBUSTREG procedure i.p.v. de gebruikelijke lineaire regressiemethode is het feit dat er een aantal mengvoerobservaties in de de Heus dataset aanwezig waren die duidelijk afwijkend waren van andere mengvoersamenstelling zoals blijkt uit een visuele analyse van Figuur B7.1. De uitkomsten van de regressie zijn weergegeven in Fig. B7.3.



Figuur B7.3. Relatie tussen geobserveerde VC-OS waarden (%) (y-as) en voorspelde VC-OS waarden (%) (x-as) voor de dataset van de Heus mengvoeders. De doorgetrokken lijn is de relatie zoals voorspeld d.m.v. de PROC ROBUSTREG methode van SAS. $VC\text{-}OS\text{ geobserveerd (\%)} = 44.9 \pm 1.45 + 0.490 \pm 0.0175 \times VC\text{-}OS\text{ voorspeld (\%)}$. $R^2 = 0.330$. Gemiddelde geobserveerde VC-OS waarde is 85.3% en de gemiddelde voorspelde VC-OS waarde is 82.8%.

Uit Figuur B7.3 blijkt dat 33% van de variatie in VC-OS in mengvoersamenstellingen voorspeld wordt met model 3. Daarnaast blijkt dat de gemiddelde voorspelde VC-OS waarde een absolute 2.5% lager ligt dan de gemiddelde geobserveerde VC-OS waarde van de mengvoersamenstelling van de de Heus dataset. Dit kan verklaard worden uit verschillen in samenstelling van de mengvoersamenstellingen waarbij een aantal voedermiddelen veel gebruikt worden en daardoor ook een groot effect hebben op de gemiddelde geobserveerde VC-OS waarde.

Een pragmatische oplossing kan zijn om in de regressieformule van model 3 een extra interceptwaarde van +2.5 op te nemen. Dit zorgt ervoor dat dan in ieder geval de gemiddelde geobserveerde VC-OS waarde overeenkomt met de voorspelde VC-OS waarde. Wanneer de waarde 2.5 wordt opgenomen dan wordt de aangepaste formule als volgt:

$$VC\text{-}OS = 44,3 + 0,0489 \times VEM\text{ (/kg)} - 2,186 \times P\text{ (g/kg)} + 0,1167 \times P^2\text{ (g/kg)}.$$

In het geval bovenstaande aangepaste formule wordt toegepast op 979 melkveebedrijven in het jaar 2019 dan blijkt dat gebruik van de nieuwe aangepaste formule t.o.v. de formule van 2020 resulteert in een 1% lagere emissie van CH₄ uit mest (nieuwe berekende CH₄-emissie t.o.v. de berekende CH₄-emissie versie 2020 is 99%, min-max: 90 – 104%).

Concluderend kan gezegd worden dat met de ontwikkelde regressieformule 33% van variatie in VC-OS van mengvoersamenstellingen gebruikt in de praktijk voorspeld kan worden. Deze hoeveelheid verklaarde variatie is niet groot maar in elk geval een substantiële verbetering t.o.v. het gebruik van een gemiddelde VC-OS waarde voor alle mengvoersamenstellingen.

Wouter Spek

Wageningen Livestock Research, 13-9-2021

Referenties

CVB Veevoedertabel 2021. www.cvbdiervoeding.nl.

Handreiking BEX 2020. Handreiking bedrijfsspecifieke excretie. Ministerie LNV.

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/07/20190719%20Handreiking%20Bedrijfsspecifieke%20excretie%20melkvee%202019.pdf>.

Bijlage 7A Overzicht mengvoedergrondstoffen CVB Veevoedertabel 2021 gebruikt voor de analyse

| mengvoedergrondstof | klasse-naam | subklasse-naam | VC-OS (%) | RVET(h) (g/kg) | RE (g/kg) | P (g/kg) | VEM (/kg) |
|----------------------------|---------------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------|-----------|
| Suiker | | | 100,0 | 0 | 0 | 0,0 | 1080 |
| Melasse, riet-, | SUI < 475 g/kg | | 79,6 | 1 | 51 | 0,7 | 601 |
| Melasse, riet-, | SUI > 475 g/kg | | 80,1 | 1 | 41 | 0,6 | 623 |
| Aardappelzetmeel, gedroogd | | | 93,8 | 1 | 6 | 0,7 | 1092 |
| Tapiocazetmeel | | | 94,1 | 2 | 11 | 0,4 | 1129 |
| Aardappelvezels, gedroogd | CP < 90 g/kg | | 82,1 | 2 | 61 | 1,0 | 863 |
| Melasse, biet- | | | 89,8 | 2 | 98 | 0,5 | 805 |
| Aardappelvezels, gedroogd | RE 90 - 130 g/kg | | 81,9 | 4 | 96 | 1,3 | 848 |
| Aardappelen, gedroogd | | | 85,0 | 4 | 93 | 2,4 | 953 |
| Tapioca, gedroogd | ZETew 680 - 730 g/kg | | 85,0 | 4 | 23 | 0,9 | 917 |
| Tapioca, gedroogd | ZETew 630 - 680 g/kg | | 84,3 | 5 | 23 | 0,7 | 907 |
| Tapioca, gedroogd | ZETew < 630 g/kg | | 82,9 | 5 | 23 | 0,7 | 894 |
| Maïszetmeel | | | 95,7 | 5 | 6 | 0,4 | 1164 |
| Bataten, gedroogd | | | 84,7 | 6 | 40 | 1,3 | 940 |
| Bietenpulp, gedroogd | SUI > 200 g/kg | | 87,1 | 7 | 102 | 0,7 | 942 |
| Bietenpulp, gedroogd | SUI 150 - 200 g/kg | | 86,9 | 7 | 97 | 0,7 | 933 |
| Weipoeder | | | 93,8 | 8 | 130 | 6,1 | 1112 |
| Johannesbrood | | | 73,5 | 8 | 42 | 0,5 | 785 |
| Bietenpulp, gedroogd | SUI 100 - 150 g/kg | | 86,4 | 8 | 88 | 0,7 | 932 |
| Rijst | ontdopt, gepolijst | | 90,9 | 8 | 78 | 0,9 | 1078 |
| Grondnootschroot | ged. ontdopt, RC 75 - 145 g/kg | | 82,2 | 9 | 529 | 6,5 | 950 |
| Bietenpulp, gedroogd | SUI < 100 g/kg | | 86,0 | 9 | 75 | 0,8 | 933 |
| Zonnebloemzaadschroot | ged. ontdopt, RC 150 - 195 g/kg | | 72,9 | 9 | 368 | 11,6 | 786 |
| Melkpoeder, mager | | | 94,7 | 10 | 356 | 10,2 | 1113 |
| Paardebonen, witbloeiend | | | 90,2 | 10 | 264 | 5,1 | 1012 |
| Erwten | | | 90,5 | 10 | 201 | 3,8 | 1023 |
| Caseine | | | 94,9 | 11 | 872 | 5,3 | 1176 |
| Grondnootschroot | ontdopt, RC < 75 g/kg | | 85,4 | 12 | 456 | 6,4 | 981 |
| Paardebonen bontbloeiend | | | 90,3 | 12 | 254 | 5,1 | 1019 |
| Maïsvoerbloem | | | 91,6 | 12 | 76 | 0,7 | 1092 |
| Linzen | | | 88,4 | 13 | 230 | 3,8 | 1009 |
| Sojaschroot | HiPro RC < 45 g/kg | RE > 485 g/kg | 91,4 | 13 | 489 | 6,5 | 1013 |
| Sojaschroot | HiPro RC < 45 g/kg | RE < 485 g/kg | 91,3 | 13 | 469 | 6,7 | 1016 |
| Triticale | | | 89,3 | 13 | 103 | 3,2 | 1032 |

| mengvoedergrondstof | klasse-naam | subklasse-naam | VC-OS (%) | RVET(h) (g/kg) | RE (g/kg) | P (g/kg) | VEM (/kg) |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------|-----------|
| Rogge | | | 87,3 | 13 | 93 | 3,1 | 1007 |
| Rijstevoerschroot | | | 70,3 | 15 | 143 | 16,5 | 717 |
| Sojaschroot | RC > 70 g/kg | | 90,6 | 15 | 421 | 5,8 | 999 |
| Sojaschroot | RC 45 - 70 g/kg | RE < 450 g/kg | 90,8 | 15 | 436 | 5,9 | 1008 |
| Tarwe | | | 89,1 | 15 | 110 | 3,0 | 1033 |
| Sojaschroot | RC 45 - 70 g/kg | RE > 450 g/kg | 91,1 | 15 | 467 | 6,4 | 1012 |
| Zonnebloemzaadschroot | niet ont, RC > 245 g/kg | | 58,5 | 16 | 272 | 9,7 | 610 |
| Sesamzaadschroot | | | 81,5 | 16 | 430 | 12,9 | 910 |
| Sojaschroot bestendig: CovaSoy | | | 90,0 | 16 | 462 | 6,4 | 991 |
| Sojabonenschillen | RC > 360 g/kg | | 83,0 | 16 | 101 | 1,1 | 890 |
| Palmpitschroot | RC > 190 g/kg | | 70,8 | 16 | 150 | 5,9 | 761 |
| Zonnebloemzaadschroot | Ged. ont. RC 195-245 g/kg | | 65,2 | 16 | 308 | 10,6 | 694 |
| Cichoreipulp, gedroogd | | | 84,3 | 17 | 83 | 1,2 | 908 |
| Bonen (Phaseolus), verhit | | | 88,8 | 16 | 229 | 4,6 | 977 |
| Luzernemeel/-brok | RE < 140 g/kg | | 62,5 | 18 | 100 | 2,4 | 617 |
| Raapzaadschroot | RE > 370 g/kg | | 78,2 | 18 | 383 | 10,6 | 852 |
| Sojaschroot bestendig: Mervobest soja | | | 89,8 | 17 | 454 | 5,7 | 995 |
| Moutkiemen | RE < 200 g/kg | | 65,6 | 18 | 186 | 5,0 | 720 |
| Moutkiemen | RE > 200 g/kg | | 76,9 | 18 | 218 | 5,6 | 858 |
| Gerst | | | 84,7 | 18 | 102 | 3,2 | 980 |
| Rijst | ruw, met dop | | 74,9 | 19 | 73 | 2,6 | 825 |
| Aardappeleiwit | RAS > 10 g/kg | | 88,2 | 20 | 773 | 2,0 | 1086 |
| Aardappeleiwit | RAS < 10 g/kg | | 88,6 | 20 | 797 | 1,6 | 1115 |
| Citruspulp | | | 85,9 | 21 | 64 | 1,0 | 969 |
| Sojabonenschillen | RC 320 - 360 g/kg | | 83,3 | 21 | 105 | 1,2 | 905 |
| Luzernemeel/-brok | RE 140 - 160 g/kg | | 63,5 | 22 | 152 | 2,5 | 622 |
| Kokoschroot | | | 80,2 | 23 | 227 | 5,7 | 904 |
| Palmpitschroot | RC < 190 g/kg | | 76,4 | 24 | 158 | 6,0 | 871 |
| Grasmeel/-brok | RE < 140 g/kg | | 71,5 | 25 | 122 | 3,2 | 737 |
| Luzernemeel/-brok | RE 160 - 180 g/kg | | 64,5 | 25 | 168 | 2,7 | 633 |
| Tarwemaalderijproducten | Tarwebloem | | 91,6 | 24 | 141 | 4,0 | 1092 |
| Biergist, gedroogd | | | 78,6 | 26 | 459 | 10,6 | 909 |
| Katoenzaadschroot | ged. ontd. RC 140-200 g/kg | | 68,7 | 25 | 364 | 10,2 | 763 |
| Maïskiemschroot | | | 80,9 | 26 | 226 | 5,2 | 932 |
| Sorghum | | | 84,8 | 28 | 87 | 2,7 | 1008 |
| Raapzaadschroot | RE < 370 g/kg | | 77,5 | 28 | 339 | 10,5 | 857 |
| Sojabonenschillen | RC < 320 g/kg | | 84,4 | 28 | 129 | 1,7 | 935 |
| Luzernemeel/-brok | RE > 180 g/kg | | 69,5 | 29 | 191 | 2,8 | 697 |
| Tarwemaalderijproducten | Tarwezemelen | | 64,0 | 29 | 142 | 12,3 | 683 |
| Katoenzaadschroot | ontdopt, RC < 140 g/kg | | 72,3 | 31 | 437 | 10,7 | 826 |
| Raapzaadschroot bestendig, Mervobest | | | 75,0 | 30 | 333 | 10,9 | 828 |
| Lijnzaadschroot | | | 76,8 | 30 | 320 | 8,4 | 864 |

| mengvoedergrondstof | klasse-naam | subklasse-naam | VC-OS (%) | RVET(h) (g/kg) | RE (g/kg) | P (g/kg) | VEM (/kg) |
|---------------------------|---------------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------|-----------|
| Grasmeel/-brok | RE 140 - 160 g/kg | | 74,1 | 32 | 151 | 3,6 | 770 |
| Tarwemaalderijproducten | Tarwezemelgrint | | 68,2 | 32 | 149 | 10,6 | 744 |
| Roggegries | | | 78,4 | 32 | 141 | 4,4 | 885 |
| Maïsvoerschroot | | | 88,9 | 33 | 86 | 3,9 | 1076 |
| Maïsglutenvoer | RE < 200 g/kg | | 82,9 | 35 | 185 | 9,5 | 956 |
| Katoenzaadschroot | niet ontdopt, RC > 200 g/kg | | 65,9 | 38 | 296 | 10,8 | 800 |
| Grasmeel/-brok | RE 160 - 200 g/kg | | 74,6 | 38 | 177 | 3,8 | 789 |
| Tarwemaalderijproducten | Tarwegries | | 73,3 | 36 | 152 | 9,6 | 824 |
| Tarwemaalderijproducten | Tarwevoermeel | | 77,1 | 36 | 154 | 8,6 | 878 |
| Weipoeder, melksuikerarm | RAS > 210 g/kg | | 93,2 | 41 | 217 | 19,6 | 972 |
| Maïs | | | 89,1 | 37 | 75 | 2,5 | 1085 |
| Gerstevoermeel | | | 67,2 | 38 | 118 | 4,1 | 754 |
| Tarwemaalderijproducten | Tarwevoerbloem | | 83,7 | 38 | 153 | 5,5 | 989 |
| Tarweglutenvoer, gedroogd | RAS < 40 g/kg | | 79,3 | 38 | 144 | 6,3 | 922 |
| Grasmeel/-brok | RE > 200 g/kg | | 76,0 | 40 | 208 | 3,9 | 795 |
| Maïsglutenvoer | RE 200 - 230 g/kg | | 82,3 | 40 | 205 | 9,6 | 968 |
| Millet (gierst) | | | 76,7 | 40 | 111 | 2,8 | 904 |
| Maïs, ontsloten | | | 90,1 | 40 | 78 | 2,9 | 1120 |
| Maïszemelgrint | | | 79,1 | 41 | 93 | 4,7 | 964 |
| Maïsglutenvoer | RE > 230 g/kg | | 82,1 | 41 | 240 | 9,5 | 961 |
| Haver | | | 76,4 | 43 | 100 | 3,0 | 916 |
| Millet (parelgierst) | | | 84,1 | 45 | 122 | 3,3 | 1065 |
| Haververmeel | | | 74,8 | 44 | 91 | 3,6 | 903 |
| Gersteslijpmeel | | | 73,2 | 45 | 133 | 6,3 | 853 |
| Tarweglutenvoer, gedroogd | RAS > 60 g/kg | | 76,7 | 46 | 160 | 10,1 | 892 |
| Tarwekiemzemelen | | | 81,7 | 46 | 179 | 9,1 | 958 |
| Lupinen | RE > 335 g/kg | | 91,1 | 46 | 360 | 3,5 | 1101 |
| Tarweglutenvoer, gedroogd | RAS 40 - 50 g/kg | | 73,4 | 50 | 156 | 8,8 | 862 |
| Weipoeder, melksuikerarm | RAS < 210 g/kg | | 93,5 | 53 | 252 | 14,7 | 1061 |
| Tarweglutenvoer, gedroogd | RAS 50 - 60 g/kg | | 73,0 | 51 | 167 | 9,6 | 853 |
| Rijstafvallen | | | 41,8 | 52 | 68 | 11,0 | 434 |
| Lupinen | RE < 335 g/kg | | 90,6 | 52 | 303 | 3,4 | 1135 |
| Sorghumglutenmeel | | | 89,2 | 54 | 430 | 3,0 | 1138 |
| Broodmeel | | | 89,3 | 54 | 124 | 1,9 | 1141 |
| Tarweglutenmeel | | | 95,5 | 57 | 781 | 1,8 | 1284 |
| Katoenzaadschilfers | niet ontdopt, RC > 210 g/kg | | 65,7 | 61 | 307 | 10,3 | 827 |
| Maïsglutenmeel | | | 93,9 | 60 | 604 | 4,6 | 1213 |
| Haver, gepeld | | | 90,4 | 63 | 129 | 4,3 | 1187 |
| Maïsvoermeel | | | 86,5 | 63 | 89 | 4,0 | 1108 |
| Bierbostel, gedroogd | | | 65,4 | 67 | 248 | 4,6 | 821 |
| DDGS, Tarwe | | | 82,7 | 68 | 324 | 8,4 | 1071 |
| Katoenzaadschilfers | ged. ontdopt, RC 140 - 210 g/kg | | 70,0 | 74 | 363 | 10,2 | 919 |
| Lijnzaadschilfers | | | 78,3 | 80 | 340 | 8,2 | 1036 |
| Grondnootschilfers | ontdopt, RC < 75 g/kg | | 87,0 | 81 | 476 | 4,8 | 1176 |
| Sojaschilfers | | | 91,4 | 81 | 439 | 6,3 | 1208 |

| mengvoedergrondstof | klasse-naam | subklasse-naam | VC-OS (%) | RVET(h) (g/kg) | RE (g/kg) | P (g/kg) | VEM (/kg) |
|-------------------------|---------------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------|-----------|
| Palmpitschilfers | RC > 180 g/kg | | 73,7 | 85 | 152 | 5,7 | 996 |
| Palmpitschilfers | RC < 180 g/kg | | 77,4 | 85 | 159 | 5,9 | 1044 |
| Kokosschilfers | RVET < 100 g/kg | | 81,6 | 85 | 204 | 5,5 | 1066 |
| Grondnootschilfers | ged. ontdopt, RC 75 - 145 g/kg | | 83,6 | 87 | 423 | 4,7 | 1139 |
| Zonnebloemzaadschilfers | ontdopt, RC < 200 g/kg | | 72,5 | 88 | 335 | 11,3 | 968 |
| Tarwekiemen | | | 86,6 | 85 | 264 | 7,9 | 1125 |
| Grondnootschilfers | niet ontdopt, RC > 145 g/kg | | 77,8 | 97 | 346 | 4,8 | 1096 |
| Zonnebloemzaadschilfers | ged. ontdopt, RC 200 - 315 g/kg | | 65,7 | 96 | 298 | 10,0 | 893 |
| Maïsspoeling, gedroogd | | | 82,1 | 98 | 260 | 8,0 | 1085 |
| Raapzaadschilfers | | | 78,6 | 101 | 315 | 10,2 | 1055 |
| Katoenzaadschilfers | ontdopt, RC < 140 g/kg | | 73,6 | 105 | 416 | 11,2 | 1036 |
| Sesamzaadschilfers | | | 84,7 | 115 | 451 | 9,8 | 1148 |
| Kokosschilfers | RVET > 100 g/kg | | 81,9 | 122 | 210 | 5,4 | 1191 |
| DDGS, Maïs | | | 82,7 | 129 | 268 | 8,2 | 1182 |

Bijlage 8 Berekeningwijze posten Aan10 en Af6 op de bodembalans in wisselbouwsituaties

Op de gewasbodembalans van de K LW wordt in geval van wisselbouw een extra aanvoerpost voor N ingerekend voor het bouwland in de wisselbouw (wisselbouwland) die de hoeveelheid N aangeeft die vrijkomt na het scheuren van grasland (Aan10). Omgekeerd wordt voor het grasland in de wisselbouw (wisselgrasland) een extra afvoerpost ingerekend voor de opbouw van N onder het nieuwe grasland (Af6).

Uitgangspunt voor de vaststelling van de waarden voor de posten Aan10 en Af6 is, dat er op het niveau van de wisselbouw geen toe- of afname plaatsvindt van N in de bodem. Eerst wordt Aan10 berekend en op basis van de arealen wisselbouwland en wisselgrasland wordt vervolgens Af6 berekend. Hiervoor is gekozen, omdat er in het bemestingsadvies voor bouwlandgewassen concrete richtlijnen zijn opgenomen staan voor de N-nalevering uit gescheurd grasland in afhankelijkheid van de leeftijd van het voorgaande grasland. De manier hoe daaruit de waarden voor Aan10 zijn afgeleid wordt hieronder beschreven.

De waarde voor de post Aan10 is benaderd via de richtlijnen voor N-nalevering zoals opgenomen in het bemestingsadvies (www.bemestingsadvies.nl; zie Tabel B8.1). De N-nalevering betreft de hoeveelheid N die beschikbaar komt in de periode dat het bouwlandgewas actief N opneemt. Voor de bodembalans is de totale jaar-N-mineralisatie van belang. Door ervan uit te gaan dat circa 60% van de jaarmineralisatie beschikbaar komt (situatie zoals bij maïs en aardappel) kan uit de N-nalevering een N-jaarmineralisatie worden afgeleid (zie ook Tabel B8.1). Het bemestingsadvies houdt alleen rekening met de N-nalevering in de eerste 3 jaren na scheuren.

Omdat werkelijke waarden voor de N-opbouw onder het nieuwe grasland minder expliciet uit het bemestingsadvies zijn af te leiden is in Tabel B8.1 alleen de werkelijke waarde voor de post Aan10 gegeven.

Tabel B8.1. N-nalevering van gescheurd grasland (bron: www.bemestingsadvies.nl) en de hieruit afgeleide jaar-N-mineralisatie in relatie tot de leeftijd van het grasland.

| | Jaar na scheuren | Leeftijd grasland | | | |
|----------------------------------|---------------------|-------------------|--------|----------|----------|
| | | 1 jaar | 2 jaar | 3-4 jaar | ≥ 5 jaar |
| N-nalevering | 1 ^e jaar | 70 | 100 | 120 | 135 |
| (kg/ha) | 2 ^e jaar | | | 30 | 30 |
| | 3 ^e jaar | | | 30 | 30 |
| N-jaarmineralisatie ¹ | 1 ^e jaar | 117 | 167 | 200 | 225 |
| (kg/ha) | 2 ^e jaar | | | 50 | 50 |
| | 3 ^e jaar | | | 50 | 50 |

¹ Afgeleid uit N-nalevering en aangenomen dat 60% van de jaarmineralisatie beschikbaar komt voor het bouwlandgewas (= N-nalevering).

Op basis van de waarden voor de jaarmineralisatie zoals weergegeven in Tabel B8.1 kan de Aan10 worden afgeleid in relatie tot de leeftijd van de voorafgaande grasperiode en de duur van de bouwlandperiode (zie als voorbeeld Tabel B8.2 hieronder; weergegeven voor een duur tot 10 jaar bouwland, maar kan bij ouder bouwland uiteraard ook worden uitgerekend). Bij tussenliggende waarden voor duur grasland en duur bouwland wordt via interpolatie de waarde afgeleid.

Vervolgens wordt Af6 berekend door Aan10 te vermenigvuldigen met de factor areaal wisselbouwland/areaal wisselgrasland.

Tabel B8.2. Waarden voor Aan10 in relatie tot duur van de voorafgaande grasperiode en de duur van de bouwlandperiode in de wisselbouw (jaren); waarden zijn gebaseerd op Tabel B8.1 (jaarmineralisatie)¹.

| Duur bouwlandperiode ² (jaren) | Duur graslandperiode (jaren) | | | | |
|--|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | ≥ 5 |
| 1 | 117 | 167 | 200 | 200 | 225 |
| 2 | 58 | 83 | 125 | 125 | 138 |
| 3 | 39 | 56 | 100 | 100 | 108 |
| 4 | 29 | 42 | 75 | 75 | 81 |
| 5 | 23 | 33 | 60 | 60 | 65 |
| 6 | 19 | 28 | 50 | 50 | 54 |
| 7 | 17 | 24 | 43 | 43 | 46 |
| 8 | 15 | 21 | 38 | 38 | 41 |
| 9 | 13 | 19 | 33 | 33 | 36 |
| 10 | 12 | 17 | 30 | 30 | 33 |

¹ bij tussenliggende waarden voor duur grasland en duur bouwland wordt via interpolatie de waarde afgeleid.

² weergegeven voor een duur tot 10 jaar bouwland, maar kan bij ouder bouwland ook worden uitgerekend

Bijlage 9 Maandelijkse bodembedekking t.b.v. bodemkoolstofmodule

| GewasCod | Vang | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 | M11 | M12 |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| AARD | NEE | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | NEE |
| AARD | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA |
| BIET | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE |
| BIET | JA | NEE | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE |
| GPS | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA |
| GPS | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA |
| GRANG | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | NEE | JA | JA |
| GRANG | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | NEE | JA | JA |
| GRANK | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | JA | JA | JA |
| GRANK | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | JA | JA | JA |
| GRASZ | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA |
| GRASZ | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA |
| GROBLA | NEE | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | NEE |
| GROBLA | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA |
| GROOVE | NEE | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE |
| GROOVE | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | JA |
| MAÏS | NEE | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE |
| MAÏS | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | JA |
| OVERIG | NEE | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE |
| OVERIG | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | JA |
| PEUL | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | JA | JA | JA |
| PEUL | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | JA | JA | JA |
| POOT | NEE | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | NEE | NEE |
| POOT | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA | JA |
| UIBOL | NEE | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | NEE | NEE |
| UIBOL | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA | JA |
| BG_OUD | | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA |
| BG_NIEUW | | JA | JA | JA | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA |
| TG | | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA |
| SNIJMAÏS | NEE | NEE | NEE | NEE | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | NEE | NEE |
| SNIJMAÏS | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA | JA | JA | JA | NEE | JA | JA |

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-1279

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 12.000 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.

