



Rekenregels van de KringloopWijzer 2025

Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2024-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 2025

Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2024-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-LWV-23.075.

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

Wageningen, september 2025

Rapport WPR-1480

Van Dijk, W., J.A. de Boer, R.L.M. Schils, M.H.A. de Haan, P. Mostert, J. Oenema & J. Verloop, 2025. *Rekenregels van de KringloopWijzer 2025; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2024-versie*. Wageningen Research, Rapport WPR-1480. 188 blz.; 12 fig.; 61 tab.; 106 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/699060>

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

© 2025 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-1480

Foto omslag: Koeien in de stal (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 37
2.6	Kanttelingen bij BEX en de mestproductie van overige graasdieren en 'staldieren' 37
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 45
3.2.4	Berekening mestproductie 45
3.2.5	Gasvormige N-verliezen vanuit de huisvesting 49
3.2.6	Gasvormige N-verliezen vanuit externe opslag 58

3.2.7	Gasvormige N-verliezen bij scheiden van drijfmest	58
3.2.8	Gasvormige N-verliezen bij vergisten van drijfmest	59
3.2.9	Ammoniakverlies bij beweiding	60
3.2.10	Ammoniakverlies bij mesttoediening	60
3.2.11	Ammoniakverlies bij toediening van kunstmest	62
3.2.12	Ammoniakverlies uit gewasresten	63
3.3	Kanttelingen bij BEA	64
4	BEN: bedrijfsspecifieke N stromen	67
4.1	Inleiding	67
4.2	Berekeningswijzen	67
4.2.1	N-bodemoverschot en N-uitspoeling	67
4.2.2	Emissie van N ₂ O uit de bodem	78
4.2.3	Emissie van N ₂ O uit stal en mestopslagen	84
4.2.4	Overige gasvormige N-verliezen, anders dan NH ₃ -N en N ₂ O-N	87
4.3	Kanttelingen bij BEN	87
5	BEP: bedrijfsspecifieke P-stromen	89
5.1	Inleiding	89
5.2	Berekeningswijze	90
5.3	Kanttelingen bij BEP	92
6	BEC: bedrijfsspecifieke koolstofstromen en emissies van CO₂ equivalenten	93
6.1	Inleiding	93
6.1.1	Waar komen welke emissies tot stand?	93
6.2	Richtlijnen voor berekening emissies	94
6.2.1	Omrekening van methaan en lachgas naar CO ₂ -equivalenten	95
6.2.2	Berekening van de emissie van landgebruiksverandering	95
6.2.3	Allocatie van emissies naar melk en verkoop van dieren	95
6.3	Berekeningswijze CH ₄ -emissies	97
6.3.1	Emissie bij pensfermentatie uit dieren (enterisch methaan)	97
6.3.2	Emissie van methaan uit mest	103
6.4	Berekeningswijze CO ₂ -emissies	108
6.4.1	CO ₂ emissies op het bedrijf	108
6.4.2	Indirecte emissies bij aangevoerde producten	115
6.5	Aanvoer effectieve organische stof	119
6.5.1	Organische mest	120
6.5.2	Gewasresten	121
6.6	CO ₂ -emissie bodem	122
6.6.1	CO ₂ -emissie minerale gronden	126
6.6.2	CO ₂ emissie van organische gronden	131
6.7	Kanttelingen bij BEC	134
	Literatuur	135
	Bijlagen	141

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 bedanken wij hiervoor speciaal Jaap Schröder, Leon Šebek, Sjaak Conijn, Theun Vellinga, Frans Aarts en Joan Reijs.

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 broeikaseffect. 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.

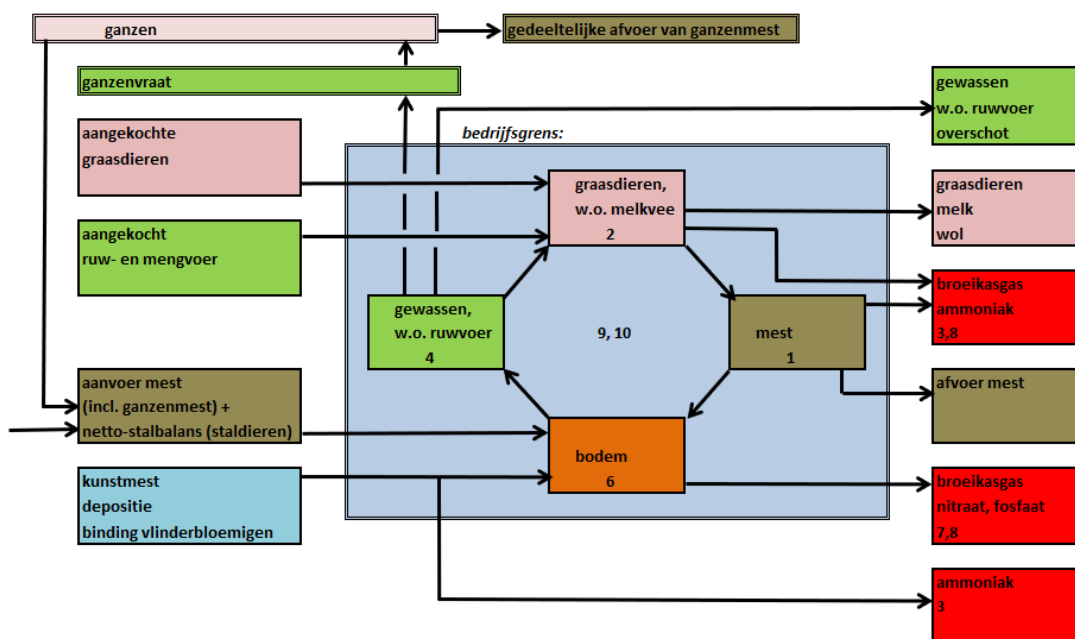
Het project 'KringloopWijzer' heeft tot doel een instrument te ontwikkelen, te toetsen en de introduceren die de kringloop en de verliezen van N, P en C wetenschappelijk, integraal, eenduidig en betrouwbaar in beeld brengt. Aanvankelijk gebeurde dit alleen voor gespecialiseerde melkveehouderijbedrijven, 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 G) vanwege de wet van behoud van massa gelijk moet zijn aan de som van de posten die het bedrijf weer verlaten (termen H 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

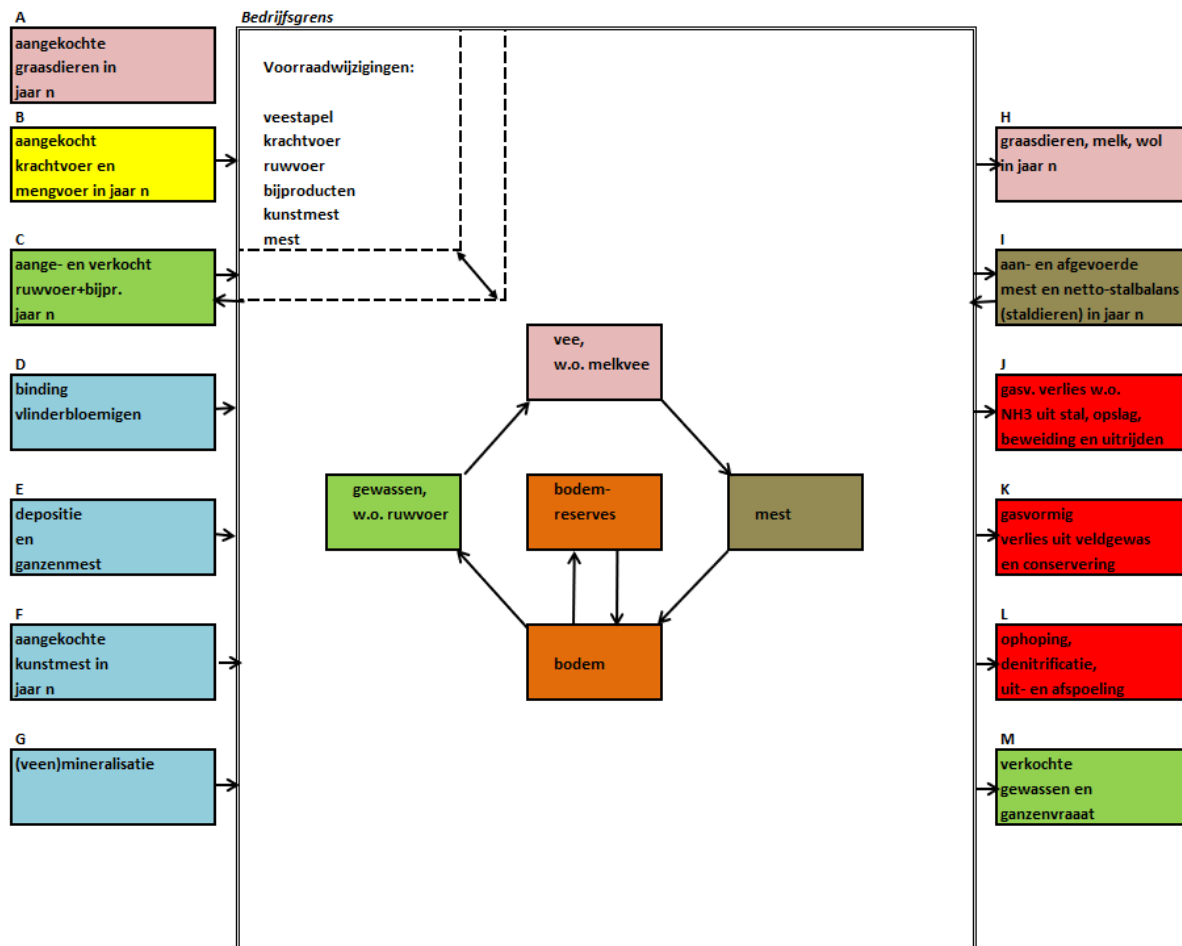
¹ Bij aanvoer van voer vinden eventuele veld- en conserveringsverliezen elders plaats.

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

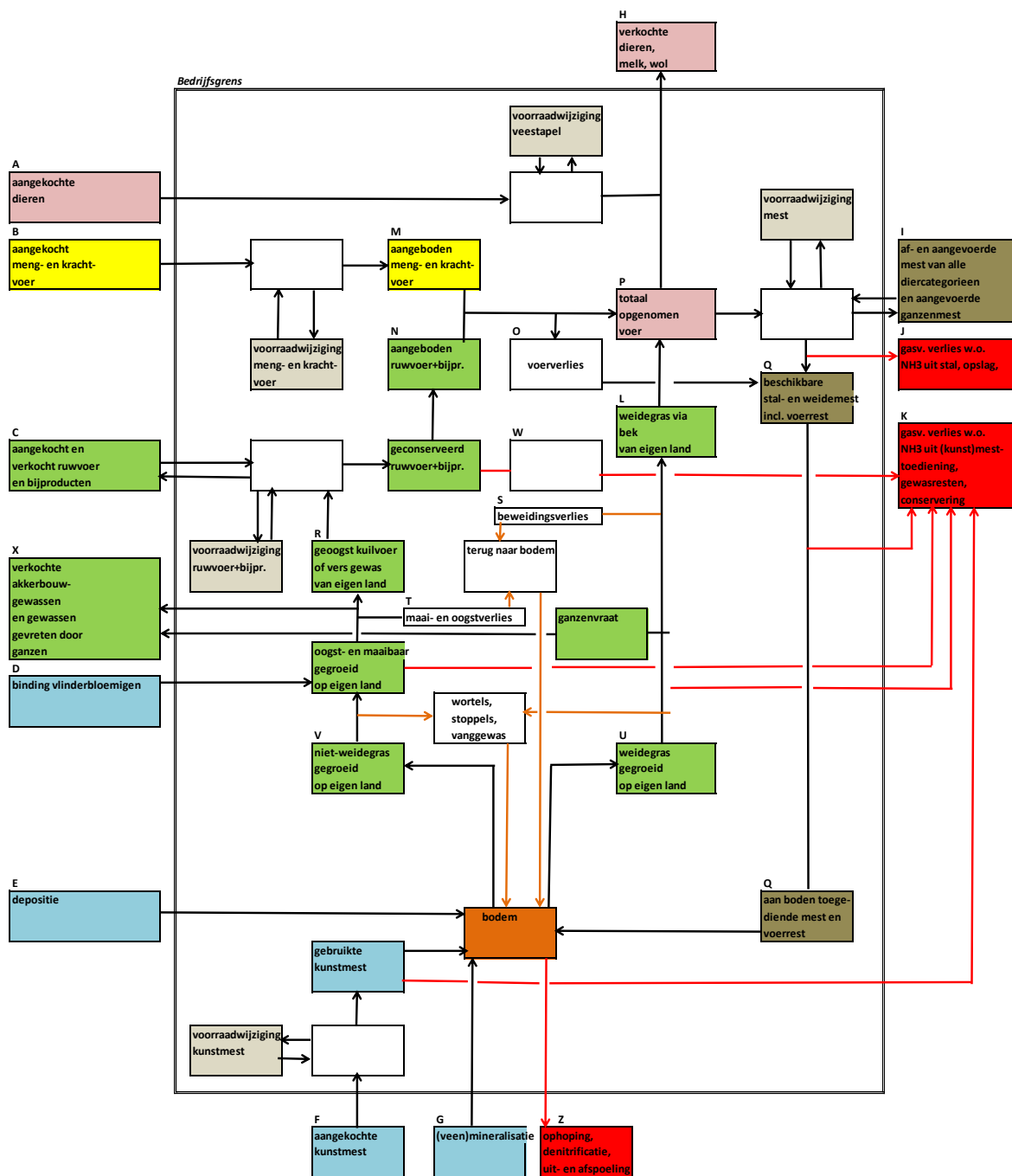
³ Inschatting van Van Schooten & Philipsen (persoonlijke mededeling). De waarden zijn gebaseerd op Van Schooten & Philipsen (2010) waarbij er rekening is gehouden dat de kuilen gemiddeld goed zijn geconserveerd (volgens goede landbouwpraktijk).

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 Figuur 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 gewasresten,
- N₂O-N verlies uit (kunst)mest, 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	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	
NO ₃ -N						X ⁵	
N ₂ , NO _x	X ³					X ⁶	X ³

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 BEN: deel van het bodemoverschot dat niet verloren gaat via lachgas en nitraat

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):

(H - (A - gecorrigeerd voor een gewijzigde omvang van veestapel) + X) / ((B - gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad krachtvoer) + (C - gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad ruwvoer) + D + E + (F - gecorrigeerd voor een gewijzigde voorraad kunstmest) + (-I - 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) verminderd met mutatie van mestvoorraad (bij toename van voorraad), vermeerderd met de (op een stalbalans gebaseerde) mestproductie van een eventuele intensieve veehouderijtak ('staldieren'), en verminderd 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 rekenuitkomsten 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 K LW 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 K LW, maar wordt deze extern bedrijfsspecifiek geschat via de stalbalans die vervolgens wordt ingevoerd in de K LW. De stalbalans geeft geen informatie over de verdeling van de N- en P-productie per diergroep. Deze vindt in de K LW 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 K LW-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 2025 zijn diverse aanpassingen doorgevoerd ten opzichte van de 2024-versie waaronder:

- *Meststromen bij primaire mestscheiding*
Bepaalde staltypen werken met primaire mestscheiding. Voorbeelden hiervan zijn CowToilet, Lely Sphere en ligboxenstallen met een hellende vloer met geprofileerde rubbermatten en een centrale giergoot (dit zijn de staltypen HA1.35, HA1.36 en HA1.38). Hierbij ontstaan (naast de vaste mest) nog andere mestsoorten dan drijfmest, namelijk urine- en fecesfracties die vervolgens ook nog deels vermengd kunnen zijn. Met name de verhouding minerale en organische stikstof in de twee ontstane fracties wijkt af van die in de niet-primair gescheiden drijfmest. Dit kan gevolgen hebben voor de ammoniakemissie bij de toediening op het land. In de KringloopWijzer versie 2025 worden deze mestsoorten als gescheiden meststromen verwerkt en worden de dunne urinefractie en de dikkere fecesfractie niet meer gemengd toegediend.
- *Grondsoort löss*
In de KringloopWijzer werd tot en met de 2024-versie löss niet als een aparte grondsoort meegenomen en er werd op dezelfde wijze ingerekend als zandgrond. Lössgrond heeft echter een andere invloed op de koolstofvastlegging in de bodem en op de nitraatuitspoeling naar het grondwater dan zandgrond. In de KringloopWijzer versie van 2025 wordt löss daarom als aparte grondsoort ingevoerd en doorgerekend.
- *Voedermiddelen*
Van de volgende 6 voederproducten zijn verteringscoëfficiënten voor ruw eiwit (VCRE), percentage droge stof (ds), ruw as (RAS) en verteringscoëfficiënt organische stof (VCOS) toegevoegd: ontsloten grasvezelkuil, vinasse suikerriet, vetzurendestillaat palmolie, mengsel van natte bijproducten (met de mogelijkheid voor een specifieke carbon footprint), overige plantaardige schroten en overige co-producten uit de industrie.
- *Bodemkoolstof – Berekenende OS/N-verhouding in dierlijke mest*
Tot en met de KringloopWijzer versie 2024 werd in de koolstofmodule voor toegediende dierlijke mest met een vaste verhouding tussen organische stof (OS) en stikstof (N) gerekend, afkomstig uit de literatuur. Deze OS/N-verhouding werd gebruikt om vanuit de hoeveelheid toegediende N met een meststroom de hiermee aangevoerde OS te berekenen. In de versie van 2025 rekent de KringloopWijzer voor zover mogelijk de OS/N verhouding uit op basis van de bedrijfsspecifieke mestproductie. Dit gebeurt voorlopig alleen voor dierlijke mest die in de weide wordt uitgescheiden tijdens de weidegang (weidemest), drijfmest van graasdieren, vaste mest van graasdieren en primair of mechanisch gescheiden drijfmest. Dit betreft verreweg de meeste dierlijke mest die op een melkveebedrijf geproduceerd wordt. Voor andere eigen mestproducten (met name digestaat) is nog veel onbekend. Hiervoor wordt voorlopig nog met een normatieve OS/N-verhouding gewerkt.

Dit geldt ook voor aangevoerde dierlijke mest en plantaardige mest (zoals compost). Deze specifiekere rekenwijze is nauwkeuriger en sluit beter aan bij de betreffende bedrijfssituatie.

- *Aanvoer OS-gewasresten*

In de KringloopWijzer versie van 2025 is de OS-aanvoer uit een grassnede als voorgewas verlaagd.

- *Gasvormige stikstofverliezen*

Voor de berekening van bruto naar netto stikstofexcretie wordt rekening gehouden met de gasvormige N-verliezen (NH_3 en overig verliezen via N_2 , N_2O en NO_x). De gasvormige N-verliezen zijn in de KringloopWijzer versie 2025 verhoogd en worden volledig toegeschreven aan extra emissie van stikstofgas (N_2).

- *Actualisatie carbon footprints aangevoerde producten en energie*

De kengetallen voor de carbon footprint van aangevoerde producten (zoals voedermiddelen, meststoffen, energie, werktuigen, vee en strooisel) zijn, waar nodig, geactualiseerd. Dit gebeurt jaarlijks.

- *Carbon footprint kunstmest meststofspectief*

Tot en met de KringloopWijzer versie 2024 werd de carbon footprint van de gebruikte kunstmest bepaald op basis van de nutriëntengehaltes van de kunstmest. Dit betekende dat de hoeveelheid ammoniumstikstof, nitraatstikstof, ureumstikstof, fosfaat en kali in de meststof de carbon footprint van de gebruikte kunstmest bepaalden. Dit is in plaats van de footprint die hoort bij de productie van een specifieke kunstmestsoort (bijvoorbeeld kalkammonsalpeter, tripelsuperfosfaat of urean). Vanaf de 2025-versie wordt gewerkt met de carbon footprint van een specifieke kunstmestsoort.

- *Berekening aandeel TAN van eigen vaste mest*

In de KringloopWijzer versie 2024 was het aandeel totaal ammoniakale stikstof (TAN) in de beginvoorraad, eindvoorraad en afvoer van vaste mest alleen afhankelijk van de het aandeel TAN in de geproduceerde mest. Dit is verbeterd door ook voerresten en stro (beide worden aan de vaste mest toegevoegd) mee te nemen bij de berekening van de hoeveelheid TAN in de vaste mest.

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 CO_2 -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 ingekuuld, 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 daarom 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

Opname N = VEM-opname x N/VEM

Opname P = VEM-opname x 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 afgekalfd 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 3.2).

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

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 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 3.2.

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. Overige rassen hebben minder dan 50 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 de 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	Gemiddeld gewicht melkkoe (kg)	Rasfactor ¹ VEM-behoefte	Gewichten jongvee (kg) ²			GEW-factor ³ ras
			Geboorte	1 jaar	Bij afkalven	
Jersey	400	0,695	27	197	332	400/650
Kruisling: Jersey x overig rassen ⁴	525	0,852	36	258	436	525/650
Overige rassen	650	1,000	44	320	540	650/650

¹ 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 rassen' of van 'Overig rassen' 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 energietoeslagen (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 inclusief de hierboven genoemde toeslagen. 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. 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				
Bewegingstoeslag ³	Niet weiden	201		
	extra bij Beperkt weiden	0,419		
	extra bij Combi weiden	0,419		
	extra bij Onbeperkt weiden	0,560	0,784	0,346
Jeugdtoeslag ⁴	102	0,3175		
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 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 bewegingstoeslag voor 'Niet weiden' geldt voor niet-aangebonden dieren (10% van onderhoudsbehoefte, gesteld op 2010 kVEM/jaar (Tamminga *et al.*, 2004). De extra bewegingstoeslagen 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 is de kVEM-toeslag uitgedrukt 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 weidetoeslag $0,375 \times 0,3760/0,4079 = 0,346$ kVEM per kalf per dag.

⁴ De jeugdtoeslag 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 jeugdtoeslag 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 drachttoeslag voor een melkkoe bedraagt afgerond 144,7 kVEM per jaar; die van een pink 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 drachttoeslag $144,7 \times 0,70 = 101,3$ kVEM per jaar. De VEM-behoefte voor de Negatieve Energie Balans (NEB) is de energie die gemiddeld nodig is om de tijdens de eerste maanden van de lactatie gemobiliseerde lichaamsreserves weer op te bouwen; die bedraagt 93 kVEM. Het totaal van dracht en NEB bedraagt dus 194,3: afgerond 194. Voor een pink bedraagt de drachttoeslag uitgaande van gemiddeld 0,89 kalf per pink (zie Tabel 2.4) 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 = $(\text{melkgift/koe (kg)} \times (0,337 + 0,116 \times \% \text{vet} + 0,06 \times \% \text{eiwit})) / 326 \text{ (dagen)}$.

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

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

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

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 = $(\text{bewegingstoeslag 'Niet weiden' uit Tabel 2.2} + (\text{aantal maanden weiden} \times \text{extra bewegingstoeslag voor 'Beperkt weiden' of 'Onbeperkt weiden' uit Tabel 2.2}) \times 326/365) + \text{jeugdtoeslag uit Tabel 2.2} + \text{dracht- en NEB-toeslag uit Tabel 2.2}$.

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 beweidsduur 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 Tabel 2.1 en Tabel 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 Jersey's en van kruislingen (Jersey x overige rassen) 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 6.650 en 8.075 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, omdat 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'.*

Vervoederingsverliezen (%): Diercategorie ¹	Voercategorie: Kunst- melk- poeder 2	Kracht- voerders 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 Vleesschapen (<ca. 4 mnd, niet geboren op bedrijf)	0	9	47	4	0	0	60
552 Opfokkoeien, weideschapen, vleesschapen (>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 (schofthoogte <1,56 m en incl. veulens <6 mnd)	0	164	497	734	0	47	1.442
943 Paarden (schofthoogte ≥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	1.608	1.537	306	4.185
992 Waterbuffeljongvee (alle jongvee van waterbuffels tot een leeftijd van 2 jaar)	0	194	0	474	814	219	1701

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 vochtrijke krachtvoerders.

2.2.15 Overzicht rekenregels N en P opname

VEM-waarde vers productiegras = 960 VEM/kg DS

N/VEM en P/VEM vers productiegras:

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

P/VEM weidegras = 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 productiegras indien er geen in het betreffende de K LW-jaar aangelegde kuilen aanwezig zijn:

VEM-waarde vers productiegras = 960 VEM/kg DS

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

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

VEM-waarde vers natuurgras = 860 VEM/kg DS

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

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

Berekening hoeveelheid opname uit weidegras:

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

Bij weiden:

kVEM-opname melkveestapel uit vers gras =

(aantal weidedagen van melkkoeien) x ((2 + 0,75 x (weide-uren/dag - 2)) x melkfactor) x aantal melkkoeien x VEM-waarde weidegras / 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 =

(aantal dagen zomerstalvoeding van melkkoeien) x ((2 + 0,75 x (weide-uren/dag - 2)) x melkfactor x 0,87) x aantal melkkoeien x VEM-waarde weidegras / 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 (Tabel 2.4 en Tabel 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)**	= $GEW \times 44/650$	GEWkalf
Gewicht pink (kg)**	= $GEW \times 320/650$	GEWpink
Gewicht vaars (kg)**	= $GEW \times 540/650$	GEWvaars
Vastlegging in melkkoeien		
<i>Tijdens 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>Tijdens 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
Gehaltes voor het kalf betreffen de samenstelling bij de geboorte		
<i>In groei van (melkgevende) vaarzen (vervanging)</i>		
Aandeel vervanging per melkkoe	= 0,27	Aandervang
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
Gehaltes van vaarzen betreffen de samenstelling bij de eerste keer afkalven		
Vastlegging in jongvee		
<i>Jongvee jonger dan 1 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
Gehaltes van pink betreffen de samenstelling op een leeftijd van 12 maanden		
<i>Jongvee ouder dan 1 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.

** Voor 'overige rassen' (Tabel 2.1) 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 aandervang x Ngehvaars**) / 1.000
Pvaars	= (GEWvaars x aandervang x Pgehvaars**) / 1.000
Nkoe	= (GEW x aandervang x Ngehkoe**) / 1.000
Pkoe	= (GEW x aandervang 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 2.4 staan de uitgangspunten voor de formules.

** Zie voor aantalkalf en aantalkalf1 Tabel 2.4.

*** Zie voor N- en P-gehalten van koe, vaars, pink en kalf Tabel 2.4.

**** 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 hier dan ook voor N en P 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 dierlijke 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

In de KringloopWijzer zijn bij de berekeningen van de BEX-excretie de hoeveelheden geproduceerde mest-N en mest-P₂O₅ door de overige graasdieren gebaseerd op forfaits (Tabel 2.6), waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen gangbare en biologische melkveehouderijsystemen. Deze forfaits betreffen de netto-excreties, waarvan de gasvormige N-verliezen al zijn afgetrokken. Naast de BEX-excretie berekent de KWL ook de netto-N-excretie vanuit de bruto-N-excretie (BEA, paragraaf 3.2.2.2) en de gasvormige N-verliezen (BEA; paragraaf 3.2.5.2). De KWL-berekening kan wat afwijken van de BEX-berekening doordat in de KWL de gasvormige N-verliezen apart per bron (o.a. NH₃, N₂O, NO_x en N₂) worden berekend en er ook meer rekening is gehouden met bedrijfsspecifieke omstandigheden.

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 drijfmest N	Excretie vaste mest N	Excretie mest P ₂ O ₅	Excretie biologisch N	Excretie biologisch 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. Voor de hoeveelheden geproduceerde mest-N door 'staldieren' wordt uitgegaan 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).

Om de productie van mest-N en -P door 'staldieren' te bepalen wordt de volgende informatie opgevraagd:

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

Op basis van de opgevraagde informatie wordt de mest-N en P-productie berekend via:

- 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 huisvestingsstelsels uit Omgevingsregeling (coderingen).

Diersoort	Staltype (code)	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 (kg P ₂ O ₅ /ton)	Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ /ton)
Leghennen	HE2.1.1	43,7	14,56	16,6	50,1	6,0	18,8
	HE2.1.2	43,7	14,56	16,6	50,1	6,0	18,8
	HE2.2.1	43,7	15,6	9,3	26,3	6,0	24,2
	HE2.2.2	43,7	15,6	15,0	42,3	6,0	24,2
	HE2.2.3	43,7	15,6	14,7	41,5	6,0	24,2
	HE2.2.4	43,7	15,6	14,2	40,1	6,0	24,2
	HE2.2.5	43,7	15,6	14,2	40,1	6,0	24,2
	HE2.2.6	43,7	15,6	15,9	44,6	6,0	24,2
	HE2.2.7	43,7	15,6	15,1	42,6	6,0	24,2
	HE2.3.1	43,7	18,72	15,4	36,2	6,0	24,2
	HE2.3.2.1	43,7	18,72	16,1	37,8	6,0	24,2
	HE2.3.2.2	43,7	18,72	16,1	37,8	6,0	24,2
	HE2.3.3	43,7	18,72	16,7	39,2	6,0	24,2
	HE2.3.4	43,7	18,72	16,5	38,6	6,0	24,2
	LW1.1	43,7	15,6	15,3	43,2	6,0	24,2
	LW1.4	43,7	15,6	15,3	43,2	6,0	24,2
	LW1.6	43,7	15,6	15,3	43,2	6,0	24,2
	LW2.4	43,7	15,6	15,3	43,2	6,0	24,2
	LW2.8	43,7	15,6	16,6	46,6	6,0	24,2
	LW2.9	43,7	15,6	15,32	43,15	6	24,2
	HE2.100	43,7	15,6	11,0	31,1	6,0	24,2
Vleeskuikens	HE5.1	19,2	11,4	21,4	36,23	6	16,6
	HE5.2	19,2	11,4	20,98	35,53	6	16,6
	HE5.3	19,2	11,4	21,4	36,23	6	16,6
	HE5.4	19,2	11,4	19,62	33,24	6	16,6

Diersoort	Staltype (code)	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 (kg P ₂ O ₅ /ton)	Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ /ton)
	HE5.5	19,2	11,4	19,99	33,85	6	16,6
	HE5.6	19,2	11,4	20,72	35,09	6	16,6
	HE5.7	19,2	11,4	19,78	33,5	6	16,6
	HE5.8	19,2	11,4	20,51	34,73	6	16,6
	HE5.9	19,2	11,4	19,78	33,5	6	16,6
	HE5.10.1	19,2	11,4	20,98	35,53	6	16,6
	HE5.10.2	19,2	11,4	20,98	35,53	6	16,6
	LW1.1	19,2	11,4	20,57	34,82	6	16,6
	LW1.6	19,2	11,4	20,57	34,82	6	16,6
	LW2.4	19,2	11,4	20,57	34,82	6	16,6
	LW2.8	19,2	11,4	21,25	35,97	6	16,6
	LW2.9	19,2	11,4	20,57	34,82	6	16,6
	HE5.100	19,2	11,4	18,06	30,59	6	16,6
	HD2.1	5000	3200	4,4	6,9	2,5	13,6
	HD2.2	5000	3200	4,4	6,7	2,5	13,6
Kraamzeugen	HD2.3	5000	3200	4,3	6,7	2,5	13,6
	HD2.4	5000	3200	4,5	6,9	2,5	13,6
	HD2.5	5000	3200	4,3	6,7	2,5	13,6
	HD2.6	5000	3200	4,5	6,9	2,5	13,6
	HD2.7	5000	3200	4,1	6,4	2,5	13,6
	HD2.8	5000	3200	4,6	7,1	2,5	13,6
	HD2.9	5000	3200	4,5	7,0	2,5	13,6
	HD2.10	5000	3200	4,5	7,0	2,5	13,6
	HD2.11	5000	3200	4,5	6,9	2,5	13,6
	HD2.12	5000	3200	4,5	7,0	2,5	13,6
	HD2.13	5000	3200	4,82	7,43	2,5	13,6
	HD2.14	5000	3200	4,6	7,1	2,5	13,6
	LW1.1	5000	3200	4,6	7,1	2,5	13,6
	LW1.2	5000	3200	4,6	7,1	2,5	13,6
	LW1.3	5000	3200	4,6	7,1	2,5	13,6
	LW1.4	5000	3200	4,6	7,1	2,5	13,6
	LW1.5	5000	3200	4,8	7,4	2,5	13,6
	LW1.7	5000	3200	4,59	7,09	2,5	13,6
	LW2.4	5000	3200	4,6	7,1	2,5	13,6
	LW2.6	5000	3200	5,0	7,7	2,5	13,6
	LW2.7	5000	3200	5,0	7,7	2,5	13,6
	LW2.8	5000	3200	4,9	7,6	2,5	13,6
	LW4.1	5000	3200	4,8	7,4	2,5	13,6
	LW4.2	5000	3200	4,8	7,4	2,5	13,6
	LW4.3	5000	3200	4,9	7,6	2,5	13,6
	LW4.4	5000	3200	4,8	7,4	2,5	13,6
	LW4.5	5000	3200	4,6	7,1	2,5	13,6
	LW4.6	5000	3200	4,8	7,4	2,5	13,6
	AV100.1	5000	3200	3,97	6,11	2,5	13,6
	HD2.100	5000	3200	3,5	5,4	2,5	13,6
Overige zeugen	HD3.1	2800	1792	5,79	8,93	2,5	13,6
	HD3.2	2800	1792	5,97	9,22	2,5	13,6
	HD3.3	2800	1792	5,76	8,89	2,5	13,6
	HD3.4	2800	1792	5,97	9,22	2,5	13,6
	HD3.5	2800	1792	5,85	9,03	2,5	13,6
	HD3.6	2800	1792	5,85	9,03	2,5	13,6
	HD3.7	2800	1792	5,85	9,03	2,5	13,6
	HD3.8.1	2800	1792	5,82	8,98	2,5	13,6
	HD3.8.2	2800	1792	5,76	8,89	2,5	13,6
	HD3.9	2800	1792	5,73	8,84	2,5	13,6

Diersoort	Staltype (code)	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 (kg P ₂ O ₅ /ton)	Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ /ton)
	HD3.10	2800	1792	6,06	9,36	2,5	13,6
	LW1.1	2800	1792	6,12	9,45	2,5	13,6
	LW1.2	2800	1792	6,12	9,45	2,5	13,6
	LW1.3	2800	1792	6,12	9,45	2,5	13,6
	LW1.4	2800	1792	6,12	9,45	2,5	13,6
	LW1.5	2800	1792	6,33	9,77	2,5	13,6
	LW1.6	2800	1792	6,12	9,45	2,5	13,6
	LW2.3	2800	1792	6,12	9,45	2,5	13,6
	LW2.5	2800	1792	6,45	9,97	2,5	13,6
	LW2.8	2800	1792	6,39	9,87	2,5	13,6
	LW4.1	2800	1792	6,33	9,77	2,5	13,6
	LW4.2	2800	1792	6,33	9,77	2,5	13,6
	LW4.3	2800	1792	6,39	9,87	2,5	13,6
	LW4.4	2800	1792	6,33	9,77	2,5	13,6
	LW4.5	2800	1792	6,12	9,45	2,5	13,6
	LW4.6	2800	1792	6,33	9,77	2,5	13,6
	AV100.1	2800	1792	5,61	8,65	2,5	13,6
	HD3.100	2800	1792	5,24	8,08	2,5	13,6
	HD3.101	2800	1792	5,24	8,08	2,5	13,6
Gesp. biggen	HD1.1	535	343	3,7	5,7	3,9	13,6
	HD1.2	535	343	3,6	5,6	3,9	13,6
	HD1.3.1	535	343	3,7	5,7	3,9	13,6
	HD1.3.2	535	343	3,6	5,5	3,9	13,6
	HD1.4	535	343	3,6	5,6	3,9	13,6
	HD1.5.1	535	343	3,6	5,5	3,9	13,6
	HD1.5.2	535	343	3,5	5,3	3,9	13,6
	HD1.6.1	535	343	3,7	5,7	3,9	13,6
	HD1.6.2	535	343	3,7	5,6	3,9	13,6
	HD1.6.3	535	343	3,7	5,7	3,9	13,6
	HD1.7	535	343	3,4	5,2	3,9	13,6
	HD1.8	535	343	3,8	5,8	3,9	13,6
	HD1.9	535	343	3,7	5,7	3,9	13,6
	HD1.10	535	343	3,7	5,7	3,9	13,6
	HD1.11	535	343	3,66	5,64	3,9	13,6
	LW1.1	535	343	3,7	5,6	3,9	13,6
	LW1.2	535	343	3,7	5,6	3,9	13,6
	LW1.3	535	343	3,7	5,6	3,9	13,6
	LW1.4	535	343	3,7	5,6	3,9	13,6
	LW1.5	535	343	3,84	5,93	3,9	13,6
	LW1.7	535	343	3,66	5,64	3,9	13,6
	LW2.3	535	343	3,7	5,6	3,9	13,6
	LW2.5	535	343	4,0	6,1	3,9	13,6
	LW2.8	535	343	3,9	6	3,9	13,6
	LW4.1	535	343	3,8	5,9	3,9	13,6
	LW4.2	535	343	3,84	5,93	3,9	13,6
	LW4.3	535	343	3,9	6	3,9	13,6
	LW4.4	535	343	3,8	5,9	3,9	13,6
	LW4.5	535	343	3,7	5,6	3,9	13,6
	LW4.6	535	343	3,8	5,9	3,9	13,6
	AV100.1	535	343	3,18	4,9	3,9	13,6
Vleesvarkens	HD1.100	535	343	2,9	4,4	3,9	13,6
	HD5.1	1337	974	7,26	9,84	3,9	13,6
	HD5.2	1337	974	5,61	7,57	3,9	13,6
	HD5.3	1337	974	7,45	10,1	3,9	13,6
	HD5.4	1337	974	7,83	10,62	3,9	13,6

Diersoort	Staltype (code)	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 (kg P ₂ O ₅ /ton)	Fosfaat gehalte vaste mest (kg P ₂ O ₅ /ton)
	HD5.5	1337	974	7,64	10,36	3,9	13,6
	HD5.6	1337	974	7,71	10,45	3,9	13,6
	HD5.7	1337	974	7,39	10,01	3,9	13,6
	HD5.8	1337	974	7,39	10,01	3,9	13,6
	HD5.9	1337	974	7,58	10,27	3,9	13,6
	HD5.10	1337	974	7,52	10,19	3,9	13,6
	HD5.11	1337	974	7,39	10,01	3,9	13,6
	HD5.12	1337	974	7,58	10,27	3,9	13,6
	HD5.13	1337	974	7,77	10,53	3,9	13,6
	HD5.14	1337	974	7,98	10,82	3,9	13,6
	AV100.1	1337	974	7,12	9,64	3,9	13,6
	LW1.1	1337	974	7,9	10,71	3,9	13,6
	LW1.2	1337	974	7,9	10,71	3,9	13,6
	LW1.3	1337	974	7,9	10,71	3,9	13,6
	LW1.4	1337	974	7,9	10,71	3,9	13,6
	LW1.5	1337	974	8,18	11,1	3,9	13,6
	LW1.7	1337	974	7,9	10,71	3,9	13,6
	LW2.3	1337	974	7,9	10,71	3,9	13,6
	LW2.5	1337	974	8,37	11,36	3,9	13,6
	LW2.8	1337	974	8,28	11,23	3,9	13,6
	LW4.1	1337	974	8,18	11,1	3,9	13,6
	LW4.2	1337	974	8,18	11,1	3,9	13,6
	LW4.3	1337	974	8,28	11,23	3,9	13,6
	LW4.4	1337	974	8,18	11,1	3,9	13,6
	LW4.5	1337	974	7,9	10,71	3,9	13,6
	LW4.6	1337	974	8,18	11,1	3,9	13,6
	HD5.100	1337	974	6,56	8,88	3,9	13,6
Witvlees- kalveren	HA3.1	2743	2469	4,3	4,7	1,4	4,3
	HA3.2	2743	2469	4,5	4,9	1,4	4,3
	LW1.1	2743	2469	4,7	5,2	1,4	4,3
	LW1.2	2743	2469	4,7	5,2	1,4	4,3
	LW1.3	2743	2469	4,7	5,2	1,4	4,3
	LW1.4	2743	2469	4,7	5,2	1,4	4,3
	LW1.5	2743	2469	4,9	5,4	1,4	4,3
	LW2.3	2743	2469	4,7	5,2	1,4	4,3
	LW2.5	2743	2469	5,0	5,5	1,4	4,3
	LW2.6	2743	2469	5,0	5,5	1,4	4,3
	LW2.7	2743	2469	5,0	5,5	1,4	4,3
	LW2.8	2743	2469	5,0	5,5	1,4	4,3
	LW4.1	2743	2469	4,9	5,4	1,4	4,3
	LW4.2	2743	2469	4,9	5,4	1,4	4,3
	LW4.3	2743	2469	5,0	5,5	1,4	4,3
	LW4.4	2743	2469	4,9	5,4	1,4	4,3
	LW4.5	2743	2469	4,7	5,2	1,4	4,3
	LW4.6	2743	2469	4,9	5,4	1,4	4,3
	HA3.100	2743	2469	4,0	4,3	1,4	4,3

2.3 Mestscheiding

Bij scheiding van 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/agrarisch-ondernemen/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 2.2.18).

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 staltypes uit de Omgevingsregeling 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 K LW 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 (grootweg 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 verknopingen 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 2.2.10).
5. Extra behoefte aan energie (VEM) voor beweging en groei (zie Tabel 2.2).
6. Gewicht, N en P gehalte in dieren (foetus + adnexa, kalf, pink, vaars, koe ; zie Tabel 2.4). 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 van 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) ruwvoerders 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 gehaltes), 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 gehaltes gebruikt worden, wordt in werkelijkheid soms minder mest afgevoerd dan op papier berekend is. Andersom geldt dat als de werkelijke gehaltes 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 geoogste 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.*, 2024). 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 mesttoediening. 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.* (2024) 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 Omgevingsregeling (<https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2024-01-01#BijlageV>). Daarmee sluit ook de BEA in principe aan bij deze regeling. Verschil is wel de wijze waarop de verliezen worden berekend en uitgedrukt. De Omgevingsregeling gaat uit van de relatie tussen de emissie van ammoniak en de concentratie van ammonium in mest en urine op een referentiebedrijf. NEMA en BEA gaan echter uit van de relatie tussen emissie van ammoniak en de hoeveelheid uitgescheiden TAN bij een specifiek rantsoen (bedrijfsspecifiek). De Omgevingsregeling drukt de emissie uit in kg ammoniak per dierplaats per jaar, terwijl BEA de emissie uitdrukt in kg ammoniak per bedrijf.

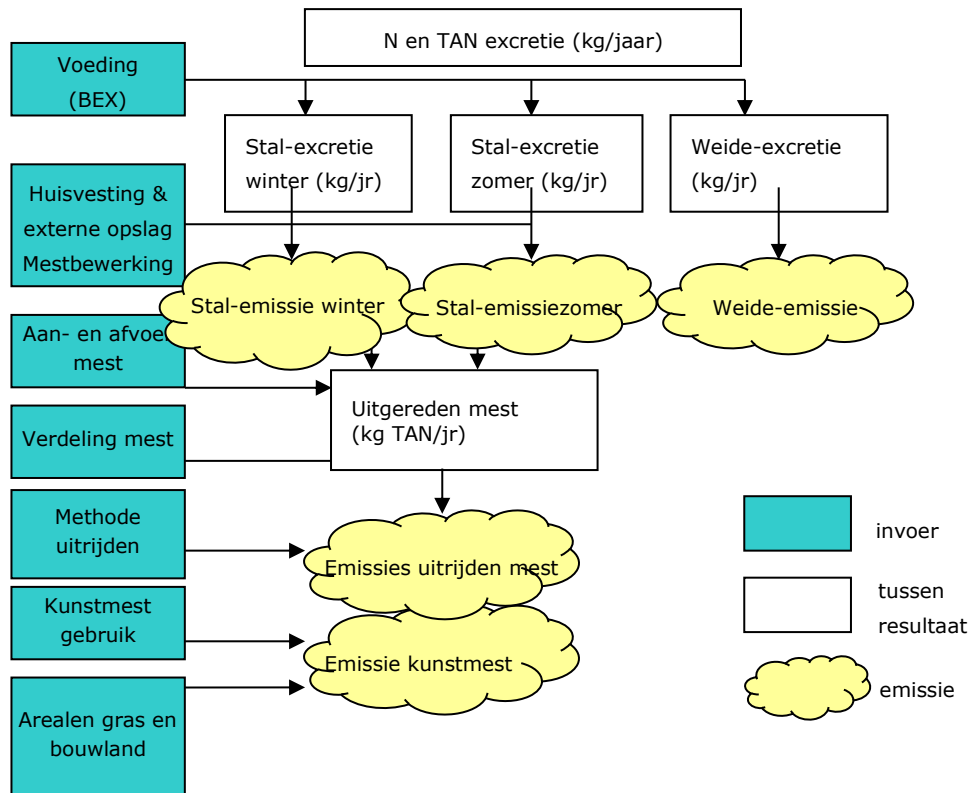
Voor de berekening van de uitgescheiden N en TAN (de bron van ammoniakemissie) door het melkvee maakt de BEA gebruik van de BEX. Er zijn echter extra rekenregels in de BEA en die hebben betrekking op de omrekening van N-excretie (= output BEX) naar TAN-excretie. Het betreft een relatief kleine aanvulling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

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

- De verdeling van TAN bij toediening op gras- dan wel bouwland, inclusief de manier van toedienen.
- 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 toediening mest voor gras- en bouwland en voor mesttoedieningstechniek.
- EF toediening 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 berekent per diergroep de ammoniakemissie in de stal op basis van de hoeveelheid TAN (minerale N) in de uitgescheiden mest (urine en feces). 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 via NH_3 met de urine wordt uitgescheiden. Het urine-deel van de N-excretie is in principe vluchtig (TAN). De overige N wordt als organische N met feces uitgescheiden en wordt alleen TAN wanneer er sprake is van mineralisatie (in de mestopslag). Omgekeerd kan bij vaste mest in de opslag door immobilisatie een deel van de uitgescheiden TAN worden omgezet om organische N.

Startpunt van de berekening Om de gasvormige N-verliezen uit de uitgescheiden mest (feces en urine) van het melkvee is, moeten eerst de verschillende voercategorieën die zijn vervoederd 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 graasvee, wordt toegerekend aan kalveren;
- Vers gras kalveren en pinken: berekend op basis van aantal weidedagen en de verhouding van de vervoederde hoeveelheden vers gras, graskuil en snijmaïskuil (zie paragraaf 2.2.12);
- 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 bovenstaande het 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:

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

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:

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

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:

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

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

De berekende N-excretie_urine wordt gelijk gesteld aan TAN-excretie (conform NEMA).

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

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 stalrichting), 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.

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

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 stalinrichting), 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.

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

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

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

Berekening verteerbaarheid ruw eiwit

De VCRE van voedermiddelen is voor de melkveehouder niet bekend, maar kan worden berekend via regressieformules van het Centraal Veevoederbureau (CVB, 2023/2025). Deze formules schatten het verteerbare eiwit op basis van de samenstelling van het voer, o.a. het totaal ruw eiwitgehalte (RE, incl. NH₃-fractie) en ruw as (RAS). In de KringloopWijzer wordt voor de berekening van de VCRE 10 categorieën voerproducten onderscheiden (zie hieronder). Voor de categorieën 'graskuil/grashooi/overig graslandproduct', 'grasmeel/grasbrok/grasbalen', 'snijmais oogstproducten' en 'weidegras' wordt gebruikt gemaakt van formules die zijn gebaseerd op de CVB-formules. Voor de categorieën 5 t/m 9 is zelf een regressieformule afgeleid op basis van het RE-gehalte en de berekende VCRE (volgens de CVB-formule) van afzonderlijke producten. Het betreft dus een gemiddelde van afzonderlijke producten in de betreffende categorie. Voor een product dat niet in één van deze categorieën valt wordt uitgegaan van een gemiddelde waarde (Bijlage 4). Voor producten met weinig variatie in samenstelling wordt met een gemiddelde VCRE gerekend (CVB, 2023/2025; Bannink et al., 2018). In de BEA wordt voor de verschillende categorieën voedermiddelen de VCRE (uitgedrukt als een fractie, getal tussen 0 en 1) via bovengenoemde formules berekend op basis van het RE- en RAS-gehalte (beide uitgedrukt in g per kg ds):

1. Categorie 'graskuil' en 'grashooi' / 'overig grasland oogstproduct'

$$VCRE = (0,931 \times RE - 43,2) / RE$$

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

$$VCRE = (0,878 \times RE - 38,4) / RE$$

3. Categorie 'snijmais oogstproducten' (gehalten per kg ds)

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

4. 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 2.2.15) en daaruit kan het RE-gehalte worden berekend en op basis daarvan de VCRE van weidegras.

$$RE \text{ vers gras} = N/VEM \text{ vers gras} \times 960 \times 6.25$$

$$VCRE = (0,963 \times RE - 38,3) / RE$$

5. Categorie 'mengsel van natte bijproducten' (gehalten per kg ds)

$$VCRE = (88,6 \times (1 - \text{EXP}(-0,0102 \times RE))) / 100$$

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:

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

7. Categorie 'overige co-product uit industrie'

$$VCRE = (89,2 \times (1 - \text{EXP}(-0,01201 \times RE))) / 100$$

8. Categorie 'overige plantaardige schroot'

$$VCRE = (55,29 + 0,118 \times RE - 0,00009362 \times RE \times RE) / 100$$

9. 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:

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

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 N-excretie stalmest ² (%)	TAN in N-excretie weidemest ² (%)
Fokstieren, >1 jaar (cat. 104)	82,6	61	61
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	79,4	63	72
Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115)	12,3	53	53
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	30,9	53	53
Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117)	25,2	53	53
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	31,97	56	56
Fokschapen (cat. 550)	13,4	59	87
Vleeschapen, <4 mnd (cat. 551)	1,2	59	87
Overige schapen, >4 mnd (cat. 552)	9,8	59	87
Melkgeiten (cat. 600)	16	59	59
Opfok- en vleesgeiten, <4 mnd (cat. 601)	1	59	59
Opfok- en vleesgeiten, >4 mnd (cat. 602)	7,9	59	59
Pony's (cat. 941)	35,5	69	77
Paarden (cat. 943)	76,4	69	74
Ezels (cat. 961)	20,9	69	77
Waterbuffels, koeien (cat. 991)	83,2	55	67
Waterbuffels, jongvee (cat. 992)	30,5	55	67

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.* (2024), 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-percentage daarin en de emissiefactor, maar als ammoniakemissie per dierplaats (Tabel 3.9).

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 NEMA als de Omgevingsregeling, 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 wordt berekend op basis van de fractie van de VEM-opname met gras en de totale VEM-opname:

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

Hierbij wordt er van uit gegaan dat de dieren de gehele dag weiden.

3.2.4 Berekening mestproductie

Voor de berekening van een aantal kengetallen is het totale gewicht nodig van de verschillende geproduceerde mestsoorten op het bedrijf. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de berekening van de CO₂-emissies bij toediening van dierlijke mest op het land die wordt berekend o.b.v. de dosering van de mestsoort. Ook bij stallen met primaire mestscheiding, waarbij urine- en fecesfracties ontstaan is deze informatie van belang.

De KringloopWijzer berekent de totale hoeveelheid mest (urine + feces) via excretie en de onderverdeling in urine en feces, Dit gebeurt op basis van de mestproductietabel uit het Handboek Melkveehouderij (www.handboekmelkveehouderij.nl). In deze tabel worden de jaarlijkse mestproducties in de de opslag (put en externe opslag, dus exclusief geproduceerde weidemest) gegeven in afhankelijkheid van melkproductie per koe, het aandeel graskuil in de totale hoeveelheid ruwvoer in het rantsoen (graskuil en snijmaiskuil) en graslandgebruik-systeem. De waarden uit het handboek zijn teruggerekend naar mestproductie per uur waarop vervolgens onderstaande regressieformules zijn gebaseerd. Er zijn formules ontwikkeld voor zowel de totale mestproductie als voor de fractie urine in de mest en er wordt onderscheid gemaakt tussen de stalperiode en de weideperiode met verschillende graslandgebruik-systemen. Vervolgens wordt het totale jaarlijkse volume van mest en urine berekend op basis van de duur van de genoemde periodes en het aantal dieren en via het soortelijk gewicht van de meststroom omgerekend naar gewicht. Tenslotte wordt het gewicht aan feces berekend als het verschil tussen het gewicht van de totale mest en die van urine.

3.2.4.1 Melkkoeien

Het volume van de hoeveelheid uitgescheiden mest (urine + feces) en urine per dier wordt berekend via de volgende regressieformules:

Totale mest:

$$VOLmest_mk_stalp = 1,14155 + 0,05479*M + 0,01142*M^2 + 0,71689*GK - 0,01370*M*GK$$

$$VOLmest_mk_weido = 0,53306 + 0,35619*M - 0,00436*M^2 + 0,20030*GK$$

$$VOLmest_mk_weidb = 1,44305 + 0,15996*M + 0,00578*M^2 + 0,06812*GK$$

$$VOLmest_mk_zstv = 2,57205 - 0,27339*M + 0,02911*M^2 + 0,08626*GK + 0,01783*M*GK$$

Urine:

$$VOLur_mk_stalp = (0,17374 + 0,04056*M - 0,00190*M^2 + 0,26630*G - 0,01567*M*GK) * VOLmest_mk_stalp;$$

$$VOLur_mk_weido = (0,29196 + 0,02521*M - 0,00118*M^2 + 0,21110*G - 0,01283*M*GK) * VOLmest_mk_weido;$$

$$VOLur_mk_weidb = (0,44385 + 0,00155*M - 0,00032*M^2 + 0,06307*G + 0,00247*M*GK) * VOLmest_mk_weidb;$$

$$VOLur_mk_zstv = (0,35187 + 0,01969*M - 0,00104*M^2 + 0,18788*G - 0,01101*M*GK) * VOLmest_mk_zstv$$

Waarbij:

- $VOLmest_mk_stalp/VOLur_mk_stalp$ = volume mest/urine van melkkoeien in de stalperiode (ltr/koe/uur)
- $VOLmest_mk_weido/VOLur_mk_weido$ = volume mest/urine van melkkoeien in de weideperiode bij onbeperkt weiden (ltr/koe/uur)
- $VOLmest_mk_weidb/VOLur_mk_weidb$ = volume mest/urine van melkkoeien in de weideperiode bij beperkt weiden (ltr/koe/uur)
- $VOLmest_mk_zstv/VOLur_mk_zstv$ = volume mest/urine van melkkoeien in de periode met zomerstalvoeding (ltr/koe/uur)
- M = melkproductie (kg/koe/jaar) / 1000 met een minimumwaarde van 6 en een maximumwaarde van 10
- GK = fractie graskuil in totale hoeveelheid graskuil en snijmaiskuil in het rantsoen (op drogestofbasis)

Vervolgens wordt het totale gewicht van de mest en urine op het bedrijf berekend op basis van het geproduceerde volume per dier, het soortelijk gewicht van de meststroom en het aantal dieren. Het totale geproduceerde volume per dier wordt berekend op basis van de duur van de stalperiode en weideperiode met de verschillende graslandmanagementsystemen:

- Stalperiode
- Periode met onbeperkt weiden
- Periode met beperkt weiden
- Periode met zomerstalvoeding
- Periode met combinatie van onbeperkt weiden en zomerstalvoeding
- Periode met combinatie van beperkt weiden en zomerstalvoeding.

De berekening vindt plaats via de volgende formules:

$$\begin{aligned} GEWmest_mk &= (VOLmest_mk_stalp * DAG_stalp_mk * 24 \\ &+ VOLmest_mk_weido * DAG_weido_mk * 24 \\ &+ VOLmest_mk_weidb * DAG_weidb_mk * 24 \\ &+ VOLmest_mk_zstv * DAG_zstv_mk * 24 \\ &+ VOLmest_mk_weido * DAG_weido+zstv_mk * UUR_weido_mk \\ &+ VOLmest_mk_weidb * DAG_weidb+zstv_mk * UUR_weidb_mk \\ &+ VOLmest_mk_zstv * DAG_weido+zstv_mk * (24 - UUR_weido_mk) \\ &+ VOLmest_mk_zstv * DAG_weidb+zstv_mk * (24 - UUR_weidb_mk)) * SGmest/1000 * n_mk) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
GEWur_mk &= (VOLur_mk_stalp * DAG_stalp_mk * 24 \\
&+ VOLur_mk_weido * DAG_weido_mk * 24 \\
&+ VOLur_mk_weidb * DAG_weidb_mk * 24 \\
&+ VOLur_mk_zstv * DAG_zstv_mk * 24 \\
&+ VOLur_mk_weido * DAG_weido+zstv_mk * UUR_weido_mk \\
&+ VOLur_mk_weidb * DAG_weidb+zstv_mk * UUR_weidb_mk \\
&+ VOLur_mk_zstv * DAG_weido+zstv_mk * (24 - UUR_weido_mk) \\
&+ VOLur_mk_zstv * DAG_weidb+zstv_mk * (24 - UUR_weidb_mk)) * SGur/1000 * n_mk)
\end{aligned}$$

Waarbij:

- $GEWmest_mk/GEWur_mk$ = gewicht mest en urine van melkkoeien, ton
- DAG_stalp_mk = duur stalperiode melkkoeien, dagen
- DAG_weido_mk = duur periode onbeperkt weiden melkkoeien, dagen
- DAG_weidb_mk = duur periode beperkt weiden melkkoeien, dagen
- DAG_zstv_mk = duur periode zomerstalvoeding, dagen
- $DAG_weido+zstv_mk$ = duur van de periode met gecombineerd onbeperkt weiden en zomerstalvoeding bij melkkoeien, dagen
- $DAG_weidb+zstv_mk$ = duur van de periode met gecombineerd beperkt weiden en zomerstalvoeding bij melkkoeien, dagen
- UUR_weido_mk = uren onbeperkt weiden op dagen met gecombineerd onbepewkt weiden en zomerstalvoeding bij melkkoeien, uren/dag
- UUR_weidb_mk = uren beperkt weiden op dagen met gecombineerd bepewkt weiden en zomerstalvoeding bij melkkoeien, uren/dag
- $SGmest$ = soortelijk gewicht mest: 1,005 kg/ltr
- $SGur$ = soortelijk gewicht urine: 1,000 kg/ltr
- N_mk = aantal melkkoeien

Tenlotte wordt het gewicht van de feces van melkkoeien ($GEWfec_mk$) berekend via:

$$GEWfec_mk = GEWmest_mk - GEWur_mk$$

3.2.4.2 Jongvee

Analoog aan melkvee wordt eerst het volume van mest en urine per dier berekend via:

$$\begin{aligned}
VOLmest_pi_stalp &= 0,993 + (1,587 - 0,993) * G \\
VOLmest_pi_weidp &= 1,587 \\
VOLmest_ka_stalp &= 0,514 + (0,719 - 0,514) * G \\
VOLmest_ka_weidp &= 0,719
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
VOLur_pi_stalp &= (0,371 + (0,561 - 0,371) * G) * VOLmest_pi_stalp \\
VOLur_pi_weidp &= (0,556) * VOLmest_pi_weidp \\
VOLur_ka_stalp &= (0,427 + (0,578 - 0,427) * G) * VOLmest_ka_stalp \\
VOLur_ka_weidp &= (0,581) * VOLmest_ka_weidp
\end{aligned}$$

Waarbij:

- $VOLmest_pi_stalp/VOLur_pi_stalp$ = volume mest/urine van pinken in de stalperiode (ltr/pink/uur)
- $VOLmest_pi_weidp/VOLur_pi_weidp$ = volume mest/urine van pinken in de weideperiode (ltr/pink/uur)
- $VOLmest_ka_stalp/VOLur_pi_stalp$ = volume mest/urine van kalveren in de stalperiode (ltr/kalf/uur)
- $VOLmest_ka_weidp/VOLur_pi_weidp$ = volume mest/urine van kalveren in de weideperiode (ltr/kalf/uur)

Vervolgens wordt het totale gewicht van de mest en urine op het bedrijf berekend op basis van het geproduceerde volume per dier, het soortelijk gewicht van de meststroom en het aantal dieren. Het geproduceerde volume per dier wordt berekend op basis van respectievelijk de duur van de stalperiode en de duur van de weideperiode. De berekening vindt plaats via de volgende formules:

$$GEW_{mest_pi} = (VOL_{mest_pi_stal} * (365 - DAG_{weid_pi}) * 24 + VOL_{mest_pi_weid} * DAG_{weid_pi} * 24) * SG_{mest}/1000 * n_{pi}$$

$$GEW_{ur_pi} = (VOL_{ur_pi_stal} * (365 - DAG_{weid_pi}) * 24 + VOL_{ur_pi_weid} * DAG_{weid_pi} * 24) * SG_{ur}/1000 * n_{pi}$$

$$GEW_{fec_pi} = GEW_{mest_pi} - GEW_{ur_pi}$$

$$GEW_{mest_ka} = (VOL_{mest_ka_stal} * (365 - DAG_{weid_ka}) * 24 + VOL_{mest_ka_weid} * DAG_{weid_ka} * 24) * SG_{mest}/1000 * n_{ka}$$

$$GEW_{ur_ka} = (VOL_{ur_ka_stal} * (365 - DAG_{weid_ka}) * 24 + VOL_{ur_ka_weid} * DAG_{weid_ka} * 24) * SG_{ur}/1000 * n_{ka}$$

$$GEW_{fec_ka} = GEW_{mest_ka} - GEW_{ur_ka}$$

Waarbij:

- $GEW_{mest_pi}/GEW_{ur_pi}$ = gewicht mest en urine van pinken, ton
- $GEW_{mest_ka}/GEW_{ur_ka}$ = gewicht mest en urine van kalveren, ton
- $DAG_{weid_pi}/DAG_{weid_ka}$ = duur van de weideperiode bij pinken en kalveren, dagen
- SG_{mest} = soortelijk gewicht mest: 1,005 kg/ltr
- SG_{ur} = soortelijk gewicht urine: 1,000 kg/ltr
- Np_{pi}/n_{ka} = het aantal pinken/kalveren

Staltypen met primaire scheiding

In staltypen met primaire scheiding worden urine en feces apart opgevangen. Het volume van de uiteindelijke urine- en fecesfractie is niet gelijk aan de hoeveelheid uitgescheiden urine en feces (zoals hierboven berekend), omdat er nog vermenging plaatsvindt. Hierbij wordt uitgegaan van de volgende kengetallen:

- Staltype HA1.35: 65% urine in feces; 0% feces in urine (De Boer, 2023)
- Staltype HA1.36: 11% urine in feces; 12% feces in urine (De Boer, 2025)
- Staltype HA1.38: 11% urine in feces; 12% feces in urine (gelijk gesteld aan HA1.36).

In de KLV wordt de 'vermengde' fecesfractie behandeld als (iets dikkere) graasdierendrijfmest en de 'eventueel vermengde' urinefractie als gescheiden dunne fractie. Bij alle andere staltypen wordt ervan uitgegaan dat de uitgescheiden urine en feces volledig bij elkaar komen (drijfmest).

Toevoegingen aan uitgescheiden mest

In de stal en tijdens de opslag worden nog andere stromen aan de mest toegevoegd, zoals strooiselmateriaal en voerresten. In Tabel 3.2 is aangegeven welke niet-meststroom in welke meststroom belandt. Ook wanneer er geen vaste mest wordt geproduceerd beschouwt de KringloopWijzer stro en voerrest als vaste mest. De vaste mest bevat in dat geval geen dierlijke excretia. Stromen die in een drijfmeststal in de drijfmest terechtkomen worden in de stallen met primaire scheiding toegevoegd aan de fecesfractie.

Tabel 3.2 Toedeling van niet-mest-reststromen aan de dierlijke meststromen.

Niet-meststroom	Dierlijke meststroom		
	Vaste mest	Drijfmest	Urinefractie ¹
Strooisel			
Zaagsel, kalk		+	+
Stro, overig	+		
Voerrest	+		
Spoelwater		+	+
Melkresten		+	+

¹ alleen in stallen met primaire mestscheiding.

3.2.5 Gasvormige N-verliezen vanuit de huisvesting

3.2.5.1 Melkveestapel

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_x) of elementaire stikstof (N_2). De EF geeft aan welk deel van de TAN (bij ammoniakverliezen) of deel van de totale N (bij overige gasvormige N-verliezen) verloren gaat.

Het deel van de TAN dat verloren door NH_3 -emissie is afhankelijk van de stal- of weideperiode, het type mest (vaste mest of drijfmest) en het type stal. NEMA (Van Bruggen *et al.*, 2024) maakt bij het staltype onderscheid tussen stallen met roostervloer en emissiearme stallen. De KringloopWijzer berekent de emissie voor een standaardstal (Tabel 3.3 en Tabel 3.4) en via de gekozen stal uit de Omgevingsregeling wordt de eventuele emissiereductie ingerekend (zie verderop in deze paragraaf). De NH_3 emissiefactor in Tabel 3.3 is gebaseerd op de jaarrond stalemissie (13,0 kg NH_3 per dierplaats per jaar; specifieke stal Omgevingsregeling, zie ook Tabel 3.5) 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.*, 2024; 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 3.4). 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 3.3 De gasvormige N-emissie in een standaardstal voor melkkoeien via NH₃ en overige gasvormige N-verbindingen volgens NEMA (Van Bruggen et al., 2024) en een extra N-correctie (CDM-advies aan Tweede Kamer; CDM, 2024).

Seizoen	Mestsoort	EF NH ₃ -N (als % van TAN)		EF overige gasvormige N (als % van bruto-N-excretie)	
		Melkkoe	Jongvee	Extra cfm. CDM-advies	NEMA
Stalperiode	Drijfmest	14,3	14,3	5,83	2,4
	Vaste mest	14,3	14,3	31,7	3,5
Weideperiode	Drijfmest	14,3-40,9 (zie Tabel 3.4)		5,83	2,4
	Vaste mest	14,3-40,9 (zie Tabel 3.4)		31,7	3,5

De EF-waarden in tabel 3.2 voor de overige gasvormige N-emissies zijn de som van de emissies van N₂, N₂O en NO_x (uitgedrukt als % van de totale bruto uitgescheiden N) volgens het huidige NEMA (2025-03-25) vermeerderd met een extra correctie voor gasvormige verliezen. Deze extra correctie vloeit voort uit recente inzichten dat de gasvormige verliezen hoger zijn dan nu in de NEMA is aangenomen en is gebaseerd op het advies van de CDM aan de Tweede Kamer (CDM, 2024).

Tabel 3.4 De emissie uit de standaardstal 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-waarden voor NH₃ in Tabel 3.3 en Tabel 3.4 kunnen voor praktijkbedrijven gebruikt worden, maar de beide staltypes zijn slechts voor een deel van de praktijk van toepassing. In de Omgevingsregeling worden 40 staltypen voor de categorie melkvee onderscheiden (Tabel 3.6), elk met hun specifieke emissiefactoren. De NH₃-emissies worden uitgedrukt in kg NH₃ per dierplaats per jaar en zijn daarom niet zonder meer toepasbaar in BEA (zie paragraaf 3.1). In BEA worden emissiefactoren uitgedrukt als een fractie van de geproduceerde TAN, waarbij ook het effect van het gevoerde rantsoen wordt meegenomen in de berekening. Dit betekent dat er voor de BEA-berekeningen van de stalemissie van de staltypen uit de Omgevingsregeling een emissiefactor per staltype nodig is. Deze emissiefactoren zijn niet beschikbaar en worden daarom in de BEA gegenereerd door de emissie van ieder staltype uit de Omgevingsregeling te relateren aan de emissie van de standaard staltype 'HA1.100- overige huisvestingssystemen'. Daarbij wordt aangenomen dat de emissie volgens staltype HA1.100 overeenkomt met de emissie zoals berekend volgens de NEMA methodiek van de 'niet emissiearme stal'. Voor de andere staltypen uit de Omgevingsregeling wordt vervolgens de berekende stalemissie vermenigvuldigd met een correctiefactor voor staltype (zie Tabel 3.6), die overeen komt met de verhouding tussen de NH₃-emissie per dierplaats van het betreffende

staltype en de -NH₃-emissie per dierplaats van staltype 'HA1.100- overige huisvestingssystemen'. Tabel 3.5 geeft hiervan een voorbeeld.

Tabel 3.5 Voorbeeld vergelijking staltype HA1.7 ten opzichte van het referentie stal HA1.100.

Staltype	Emissiefactor (kg NH ₃ per dierplaats per jaar)	Correctiefactor t.o.v. stal HA1.100
HA1.100 (standaard)	13	
HA1.7	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 HA1.100. Indien er een ander staltype wordt gekozen (bijvoorbeeld HA1.7), dan wordt de standaard berekende NH₃ emissie uit de stal en opslag met de correctiefactor voor staltype vermenigvuldigd (voor staltype HA1.7 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.

Bij de overige gasvormige N-verliezen wordt geen onderscheid gemaakt tussen staltypen. Dit betekent bijvoorbeeld dat bij stallen met primaire scheiding, waarbij urine- en fecesfracties ontstaan, voor deze mestfracties dezelfde EF-waarde worden gehanteerd als voor drijfmest.

Tabel 3.6 Correctiefactoren voor de berekende emissie van NH₃-N in afhankelijkheid van het aanwezige type melkveeststal (bron: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2024-01-01#BijlageV>).

Code	Categorie	NH ₃ ¹	Factor ²
HA1	Diercategorie melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar		
HA1.100	Standaard stal	13	1
HA1.1	Grupstal met drijfmest	5,7	0,44
HA1.2	Ligboxenstal met hellende vloer en giergoot	10,2	0,78
HA1.3	Ligboxenstal met hellende vloer en spoelsysteem	9,2	0,71
HA1.4	Ligboxenstal met hellende vloer en giergoot met spoelsysteem of roostervloer met spoelsysteem	10,2	0,78
HA1.5	Ligboxenstal met dichte geprofileerde hellende vloer	11	0,85
HA1.6	Ligboxenstal met dichte hellende vloer met rubber toplaag	11	0,85
HA1.7	Ligboxenstal met sleufvloer	11,8	0,91
HA1.8	Ligboxenstal met roostervloer met bolle rubber toplaag en afdichtflappen in roosterspleten waarvoor voor 12 april 2017 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	6	0,46
HA1.9	Ligboxenstal met roostervloer met bolle rubber toplaag	7	0,54
HA1.10	Ligboxenstal met geprofileerde vloer met hellende sleuven en regelmatige mestafstorten waarvoor voor 20 juli 2018 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	11,8	0,91
HA1.11	Ligboxenstal met geprofileerde vloer met hellende sleuven en regelmatige mestafstorten waarvoor voor 20 juli 2018 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	12,2	0,94
HA1.12	Ligboxenstal met roostervloer met cassettes in de roosterspleten	7	0,54
HA1.13	Ligboxenstal met geprofileerde vloer met hellende sleuven en regelmatige mestafstorten met afdichtflappen	7	0,54
HA1.14	Ligboxenstal met geprofileerde vloer met hellende sleuven en regelmatige mestafstorten met afdichtkleppen waarvoor voor 20 juli 2018 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	10,3	0,79
HA1.15	Ligboxenstal met V-vormige vloer met gietasfalt in combinatie met een gieraafvoerbuis en met mestschuif waarvoor voor 20 juli 2018 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	11,7	0,9
HA1.16	Mechanisch geventileerde stal met een chemisch luchtwassysteem waarvoor voor 20 juli 2018 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht,	5,1	1 ³

Code	Categorie	NH ₃ ¹	Factor ²
	of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum		
HA1.17	Ligboxenstal met V-vormige vloer van geprofileerde vloerelementen in combinatie met een gierafvoerbuis	8	0,62
HA1.18	Ligboxenstal met roostervloer met hellende groeven of hellend gelegd met afdichtkleppen in roosterspleten	11	0,85
HA1.19	Ligboxenstal met geprofileerde hellende vloer met perforaties waarvoor voor 6 mei 2020 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	10,1	0,78
HA1.20	Ligboxenstal met geprofileerde vloer met hellende sleuven en regelmatige mestafstorten met afdichtingen	7	0,54
HA1.21	Ligboxenstal met sleufvloer met in doorsteken, wachtruimte en doorlopen een roostervloer met bolle rubber toplaag en afdichtflappen in roosterspleten	11	0,85
HA1.22	Ligboxenstal met geprofileerde vloer met hellende sleuven met urineafvoergat of met regelmatige mestafstorten met afdichtkleppen	6	0,46
HA1.23	Ligboxenstal met geprofileerde vloer met hellende sleuven, aaneengesloten of met regelmatige mestafstorten met afdichtflappen	7	0,54
HA1.24	Ligboxenstal met vloer met geprofileerde rubber matten met hellend profiel en regelmatige mestafstorten met afdichtflappen waarvoor voor 6 mei 2020 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	10,3	0,79
HA1.25	Ligboxenstal met hellende vloer met geprofileerde rubber matten en centrale giergoot	8	0,62
HA1.26	Ligboxenstal met roostervloer met hellende groeven of hellend gelegd met afdichtkleppen in roosterspleten en vernevelsysteem	8	0,62
HA1.27	Ligboxenstal met roostervloer met rubber matten en composietnokken met hellend profiel en cassettes in roosterspleten	6	0,46
HA1.28	Ligboxenstal met geprofileerde hellende vloer met holtes voor gieropvang en -afvoer aan zijkant waarvoor voor 1 januari 2019 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	9,9	0,76
HA1.29	Ligboxenstal met roostervloer met bolle rubber toplaag	8	0,62
HA1.30	Ligboxenstal met sleufvloer met geprofileerde rubber tegels waarvoor voor 1 januari 2024 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	8,1	0,62
HA1.31	Ligboxenstal met vlakke betonnen vloerplaten met sleuven, voorzien van profiel met 1% hellende groeven richting een centrale giergoot met giergaten en mestverwijdering waarvoor voor 1 december 2022 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	9,1	0,7
HA1.32	Ligboxenstal met geprofileerde rubber oplegsleufvloer met hellende sleuven met gierafvoergaatjes waarvoor voor 1 januari 2024 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	7,1	0,55
HA1.33	Ligboxenstal met dichte geprofileerde vloer met rubbermatten en composietnokken met hellend profiel waarvoor voor 1 januari 2024 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, of, als deze vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor die datum	9	0,69
HA1.34	Ligboxenstal met vlakke vloer met rubber sleufvloer, vlakke langssleuven en geprofileerd rubber (hellende V-vorm), groeven en nopjes tussen de langssleuven met vingermestschuif waarvoor voor 1 januari 2024 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht of waarvoor tussen 1 januari 2024 en 26 april 2024 een omgevingsvergunning voor een milieubelastende activiteit is verleend, of, als een vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor 26 april 2024	8,3	0,64
HA1.35	Ligboxenstal met urineopvangstation waarvoor voor 1 januari 2024 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht of waarvoor tussen 1 januari 2024 en 2 juni 2024 een omgevingsvergunning voor een milieubelastende activiteit is verleend, of, als een vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor 2 juni 2024	8,4	0,65
HA1.36	Ligboxenstal met een indrukbare drainerende loopvloer voorzien van een mestschuif, waarbij de urine en mest direct worden gescheiden en apart worden opgeslagen, waarvoor voor 1 januari 2024 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene	6,4	0,49

Code	Categorie	NH ₃ ¹	Factor ²
	bepalingen omgevingsrecht of waarvoor tussen 1 januari 2024 en 2 oktober 2024 een omgevingsvergunning voor een milieubelastende activiteit is verleend, of, als een vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor 2 oktober 2024		
HA1.37	Ligboxenstal voorzien van geprofileerde rubberen oplegmatten met ruitprofiel onder 2% afschot naar een centrale giergoot en frequente mestverwijdering met vaste mestschuif, waarvoor voor 1 januari 2024 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht of waarvoor tussen 1 januari 2024 en 2 oktober 2024 een omgevingsvergunning voor een milieubelastende activiteit is verleend, of, als een vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor 2 oktober 2024	8,9	0,68
HA1.38	Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met een roostervloer voorzien van inlays met urineafvoergaatjes in de roosterspleten, frequent bevochtigen en schoonzuigen van de vloer door een mestverzamelrobot en een mechanische kelderluchtafzuiging met een chemisch luchtwassysteem (95% emissiereductie)	3	1 ³
HA1.39	Ligboxenstal met V-vormige vloer van geprofileerde vloerelementen in een helling van 3,5% in combinatie met een gierafvoerbuis, waarvoor voor 1 januari 2024 een omgevingsvergunning is verleend als bedoeld in artikel 2.1, eerste lid, aanhef en onder e, van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht of waarvoor tussen 1 januari 2024 en 9 maart 2026 een omgevingsvergunning voor een milieubelastende activiteit is verleend, of, als een vergunning niet nodig was, die rechtmatig in gebruik is genomen voor 9 maart 2026	6,2	0,48
HA1.100 ⁴	overige huisvestingssystemen	13	1

- 1 Emissie in kg NH₃ per dierplaats per jaar in een stal voor melk- en kalfkoeien ouder dan 2 jaar volgens de Omgevingsregeling (Omgevingswet).
- 2 Correctiefactor voor staltype voor de berekende emissie van NH₃-N ten opzichte van staltype HA1.100. Indien jongvee in de stal met melk- en kalfkoeien is gehuisvest, dan geldt ook voor jongvee de correctiefactor van deze stal. De emissie heeft immers betrekking op de mest in deze stal.
- 3 Staltype HA1.16 en HA1.38 is een stal met luchtwasser. Weliswaar wordt de NH₃-emissie verlaagt, maar het gereduceerde gasvormige N-verlies is niet meer aanwezig in de dierlijke mest, maar bevindt zich in het spuiwater/waswater van de luchtwasser. Bij deze stal is de correctiefactor dus 1.
- 4 Emissie gelijk gesteld aan standaardstal (HA1.100)

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

$$NH_3-N_{\text{huisvesting}} = \text{Staltype}_{\text{correctie}} \times ((\text{TAN-productie in stal}_{\text{winter}} \times EF \text{ NH}_3\text{-N standaardstal}_{\text{winter}}) + (\text{TAN-productie in stal}_{\text{zomer}} \times EF \text{ NH}_3\text{-N standaardstal}_{\text{zomer}}))$$

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:

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

3.2.5.2 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 3.7) 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:

$$NH_3-N_{\text{stal}} = \text{TAN-productie totaal} \times (365 - \text{aantal dagen in weide}) / 365 \times EF \text{ NH}_3$$

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

Tabel 3.7 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. (2024).

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

3.2.5.3 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 3.8).
- *ammoniak* = emissie per dierplaats (Tabel 3.9).

Tabel 3.8 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 3.9 Ammoniak emissie per dierplaats (dpl) voor verschillende soorten staldieren en huisvestingsystemen uit de Omgevingsregeling.

Diersoort	Code staltype	Omschrijving stal	Ammoniak (kg NH ₃ /dpl)
Leghennen	HE2.1.1	Verrijkte kooien met mestbandbeluchting	0,030
	HE2.1.2	Koloniehuisvesting - beluchting via mestband	0,030
	HE2.2.1	Grondhuisvesting - ca 1/3 strooiselvloer + 2/3 roostervloer	0,402
	HE2.2.2	Grondhuisvesting - beluchting via Perfosysteem	0,110
	HE2.2.3	Grondhuisvesting - beluchting onder de beun	0,125
	HE2.2.4	Grondhuisvesting - beluchting via buis aan weerszijden legnest	0,150
	HE2.2.5	Grondhuisvesting - beluchting via verticale ventilatiekokers	0,150
	HE2.2.6	Scharrelhuisvesting - 2 verdiepingen	0,068
	HE2.2.7	Scharrelhuisvesting - frequente mest/strooiselverwijdering	0,106
	HE2.3.1	Volierehuisvesting - ten minste 50% rooster en 1x per week afdraaien	0,090
	HE2.3.2.1	Volierehuisvesting - 45-50% roosters en mestbandbeluchting 0,2 m ³ /uur	0,055
	HE2.3.2.2	Volierehuisvesting - 45-50% roosters en mestbandbeluchting 0,5 m ³ /uur	0,042
	HE2.3.3	Volierehuisvesting - 30-35% roosters en mestbandbeluchting 0,7 m ³ /uur	0,025
	HE2.3.4	Volierehuisvesting - 55-60% roosters en mestbandbeluchting 0,7 m ³ /uur	0,037
	LW1.1	Huisvesting - biologische luchtwassysteem, 70% NH ₃ -reductie	0,095
	LW1.4	Huisvesting - biologische luchtwassysteem, 70% NH ₃ -reductie	0,095
	LW1.6	Huisvesting - biofilter, 70% NH ₃ -reductie	0,095
	LW2.4	Huisvesting - chemische luchtwassysteem, 70% NH ₃ -reductie	0,095
	LW2.8	Huisvesting - chemische luchtwassysteem, 90% NH ₃ -reductie	0,032
	LW2.9	Huisvesting - chemische luchtwassysteem, 70% NH ₃ -reductie	0,095
	HE2.100	Overige huisvestingssystemen	0,315
Vleeskuikens	HE5.1	Zwevende vloer met strooiseldroging	0,004
	HE5.2	Geperforeerde vloer met strooiseldroging	0,012
	HE5.3	Etagesysteem met volledige roostervloer en mestbandbeluchting	0,004
	HE5.4	Grondhuisvesting met vloerverwarming en vloerkoeling O	0,038
	HE5.5	Mixluchtventilatie	0,031
	HE5.6	Etagesysteem met mestband en strooiseldroging	0,017
	HE5.7	Verwarming obv warmteheaters en ventilatoren	0,035
	HE5.8	Luchtmengsysteem icm warmtewisselaar	0,021
	HE5.9	Warmteheaters - luchtmengsysteem	0,035
	HE5.10.1	Stal met buizenverwarming (voor 1-12-2022 omgevingsvergunning verleend)	0,012
	HE5.10.2	Stal met buizenverwarming	0,021
	LW1.1	Biologisch luchtwassysteem	0,02
	LW1.6	Biofilter - 70% NH ₃ -reductie	0,02
	LW2.4	Chemische luchtwassysteem - 70% NH ₃ -reductie	0,02
	LW2.8	Chemisch luchtwassysteem	0,007
	LW2.9	Chemische luchtwassysteem - 70% NH ₃ -reductie, 70% fijnstof-reductie	0,02
	HE5.100	Overige huisvestingssystemen	0,068
Kraamzeugen	HD2.1	Spoelgotensysteem, spoelen met dunne mest	3,300
	HD2.2	Kunststof schijnvloer met schuif onder rooster	3,700
	HD2.3	Vlakke gecoate keldervloer met mestschuif	4,000
	HD2.4	Hellende gecoate keldervloer met giergoot en mestschuif	3,100
	HD2.5	Ondiepe mestkelders met mesten waterkanaal	4,000
	HD2.6	Mestopvang in en spoelen met aangezuurde vloeistof	3,100
	HD2.7	Mestkanaal en hellende (schijn)vloer onder roostervloer	5,000

Diersoort	Code staltype	Omschrijving stal	Ammoniak (kg NH ₃ /dpl)
	HD2.8	Schuiven in mestgoot	2,500
	HD2.9	Waterkanaal met afgescheiden mestkanaal of mestbak	2,900
	HD2.10	Mestpan	2,900
	HD2.11	Mestgoot met mestafvoersysteem	3,200
	HD2.12	Mestpan met waterkanaal en mestkanaal	2,900
	HD2.13	Mestpan met water- en mestkanaal en koelsysteem	1,3
	HD2.14	Koeldekstelsysteem (150% koeloppervlakte)	2,400
	LW1.1	Biologisch luchtwassysteem	2,500
	LW1.2	Biologisch luchtwassysteem	2,500
	LW1.3	Biologisch luchtwassysteem	2,500
	LW1.4	Biologisch luchtwassysteem	2,500
	LW1.5	Biologisch luchtwassysteem	1,300
	LW1.7	Biofilter waarvoor voor 1 januari 2024 een omgevingsvergunning is verleend	2,5
	LW2.4	Chemisch luchtwassysteem	2,500
	LW2.6	Chemisch luchtwassysteem	0,420
	LW2.7	Chemisch luchtwassysteem	0,420
	LW2.8	Chemisch luchtwassysteem	0,830
	LW4.1	Biologische luchtwassysteem met watergordijn	1,300
	LW4.2	Biologisch en water luchtwassysteem met geurverwijderingssectie	1,300
	LW4.3	Biologisch en chemisch luchtwassysteem met biofilter	0,830
	LW4.4	Chemisch luchtwassysteem (lamellenfilter) en water luchtwassysteem	1,300
	LW4.5	Chemisch en water luchtwassysteem met biofilter	2,500
	LW4.6	Chemisch en water luchtwassysteem met biofilter	1,300
	AV100.1	Drijvende ballen in mest	2,343
	HD2.100	Overige huisvestingssystemen	8,300
Overige zeugen	HD3.1	Metalen driekantrooster	2,400
	HD3.2	Mestgoot combinatierooster	1,800
	HD3.3	Spoelgoten	2,500
	HD3.4	Mestopvang in aangezuurde vloeistof	1,800
	HD3.5	Mestschuif	2,200
	HD3.6	Gescheiden afvoer mest en urine, V-vorm mestband, metalen driekant roosters	2,200
	HD3.7	Koeldekstelsysteem	2,200
	HD3.8.1	Voerligbox of zeugenvoerstation met metalen driekantroosters	2,300
	HD3.8.2	Voerligbox of zeugenvoerstation roosters anders dan metalen driekant	2,500
	HD3.9	Rondloopstal	2,600
	HD3.10	Water+mestkanaal, vloervoeding, koelsysteem, watervul/spoelsysteem in mestgoot	1,500
	LW1.1	Biologisch luchtwassysteem	1,300
	LW1.2	Biologisch luchtwassysteem	1,300
	LW1.3	Biologisch luchtwassysteem	1,300
	LW1.4	Biologisch luchtwassysteem	1,300
	LW1.5	Biologisch luchtwassysteem	0,630
	LW1.6	Biofilter, 70% NH ₃ -reductie	1,300
	LW2.3	Chemische luchtwassysteem - 70% NH ₃ -reductie	1,300
	LW2.5	Chemisch luchtwassysteem	0,210
	LW2.8	Chemisch luchtwassysteem	0,420
	LW4.1	Biologische luchtwassysteem met watergordijn	0,630
	LW4.2	Biologisch en water luchtwassysteem met geurverwijderingssectie	0,630
	LW4.3	Biologisch en chemisch luchtwassysteem met biofilter	0,420
	LW4.4	Chemisch luchtwassysteem (lamellenfilter) en water luchtwassysteem	0,630
	LW4.5	Chemisch en water luchtwassysteem met biofilter	1,300
	LW4.6	Chemisch en water luchtwassysteem met biofilter	0,630
	AV100.1	Drijvende ballen in de mest	2,982
	HD3.100	Overige huisvestingssystemen (groepshuisvesting)	4,200
	HD3.101	Overige huisvestingssystemen (individuele huisvesting)	4,200
Gesp. Biggen	HD1.1	Gecoate vloer met tandheugelschuif	0,200
	HD1.2	Spoelgotensysteem	0,240
	HD1.3.1	Mestopvang in aangezuurde vloeistof, vol rooster	0,180

Diersoort	Code staltype	Omschrijving stal	Ammoniak (kg NH ₃ /dpl)
Vleesvarkens	HD1.3.2	Mestopvang in aangezuurde vloeistof, deel rooster	0,250
	HD1.4	Hellende mestband	0,230
	HD1.5.1	Water- en mestkanaal 0,13 m ² per big	0,260
	HD1.5.2	Water- en mestkanaal 0,19 m ² per big	0,330
	HD1.6.1	Schuine putwand, ongeacht groepsgrootte	0,170
	HD1.6.2	Schuine putwand, groepsgrootte tot 30 biggen	0,210
	HD1.6.3	Schuine putwand, groepsgrootte vanaf 30 biggen	0,180
	HD1.7	Halfrooster, max 60% rooster	0,390
	HD1.8	Mestopvang in water	0,150
	HD1.9	Vol rooster, water- en mestkanalen	0,200
	HD1.10	Koeldekstelsysteem, 150% koeloppervlak	0,170
	HD1.11	Conditionering van de ligvloertemperatuur, dagelijkse mestafvoer	0,210
	LW1.1	Biologisch luchtwassysteem	0,210
	LW1.2	Biologisch luchtwassysteem	0,210
	LW1.3	Biologisch luchtwassysteem	0,210
	LW1.4	Biologisch luchtwassysteem	0,210
	LW1.5	Biologische luchtwassysteem - 85% NH ₃ -reductie	0,100
	LW1.7	Biofilter, 70% NH ₃ -reductie	0,210
	LW2.3	Chemisch luchtwassysteem	0,210
	LW2.5	Chemische luchtwassysteem - 95% NH ₃ -reductie	0,030
	LW2.8	Chemische luchtwassysteem - 90% NH ₃ -reductie	0,070
	LW4.1	Combiwassysteem (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie	0,100
	LW4.2	Combiwassysteem (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie	0,100
	LW4.3	Combiwassysteem (biologisch) - 90% NH ₃ -reductie	0,070
	LW4.4	Combiwassysteem (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie	0,100
	LW4.5	Combiwassysteem (biologisch) - 70% NH ₃ -reductie	0,210
	LW4.6	Combiwassysteem (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie	0,100
	AV100.1	Drijvende ballen in de mest	0,490
	HD1.100	Overige huisvestingssystemen	0,690
	HD5.1	Scharrelvarkens in beddenstal	1,900
	HD5.2	Gehele dierplaats onderkelderd zonder stankafsluiter	4,500
	HD5.3	Mestopvang en spoelen met ammoniakarme vloeistof (inclusief aanzuren)	1,600
	HD5.4	Metalen driekantrouster met mestopvang in formaldehyde	1,000
	HD5.5	Metalen driekantrouster met mestopvang in water	1,300
	HD5.6	Spoelgoten, metalen driekantrousters	1,200
	HD5.7	Spoelgoten met roosters	1,700
	HD5.8	Gescheiden mestkanalen	1,700
	HD5.9	Mestkelder, overige rooster	1,400
	HD5.10	Koeldekstelsysteem, 200% koeloppervlak	1,500
	HD5.11	Koeldekstelsysteem, 170% koeloppervlak	1,700
	HD5.12	Bollevloerhok	1,400
	HD5.13	V-vormige mestband	1,100
	HD5.14	Voer en watervoorziening boven waterkanaal, koelsysteem, watervul/spoelsysteem	0,770
	AV100.1	Drijvende ballen in de mest	2,130
	LW1.1	Biologisch luchtwassysteem	0,900
	LW1.2	Biologisch luchtwassysteem	0,900
	LW1.3	Biologisch luchtwassysteem	0,900
	LW1.4	Biologisch luchtwassysteem	0,900
	LW1.5	Biologische luchtwassysteem - 85% NH ₃ -reductie	0,450
	LW1.7	Biofilter, 70% NH ₃ -reductie	0,900
	LW2.3	Chemische luchtwassysteem - 70% NH ₃ -reductie	0,900
	LW2.5	Chemische luchtwassysteem - 95% NH ₃ -reductie	0,150
	LW2.8	Chemische luchtwassysteem - 90% NH ₃ -reductie	0,300
	LW4.1	Combiwassysteem (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie	0,450
	LW4.2	Combiwassysteem (biologisch) - 85% NH ₃ -reductie	0,450
	LW4.3	Combiwassysteem (biologisch) - 90% NH ₃ -reductie	0,300
	LW4.4	Combiwassysteem (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie	0,450
	LW4.5	Combiwassysteem (biologisch) - 70% NH ₃ -reductie	0,900
	LW4.6	Combiwassysteem (chemisch) - 85% NH ₃ -reductie	0,450

Diersoort	Code staltype	Omschrijving stal	Ammoniak (kg NH ₃ /dpl)
	HD5.100	Overige huisvestingssystemen	3,000
Witvlees-Kalveren	HA3.1	Hellende roostervloer icm hellende schijnvloer onder de roostervloer	2,5
	HA3.2	Roostervloer met bolle rubber toplaag, afdichtflappen	1,9
	LW1.1	Biologisch luchtwassysteem	1,1
	LW1.2	Biologisch luchtwassysteem	1,1
	LW1.3	Biologisch luchtwassysteem	1,1
	LW1.4	Biologisch luchtwassysteem	1,1
	LW1.5	Biologisch luchtwassysteem	0,53
	LW2.3	Chemisch luchtwassysteem	1,1
	LW2.5	Chemisch luchtwassysteem	0,18
	LW2.6	Chemisch luchtwassysteem	0,18
	LW2.7	Chemisch luchtwassysteem	0,18
	LW2.8	Chemisch luchtwassysteem	0,35
	LW4.1	Biologische luchtwassysteem met watergordijn	0,53
	LW4.2	Biologisch en water luchtwassysteem met geurverwijderingssectie	0,53
	LW4.3	Biologisch en chemisch luchtwassysteem met biofilter	0,35
	LW4.4	Chemisch luchtwassysteem (lamellenfilter) en water luchtwassysteem	0,53
	LW4.5	Chemisch en water luchtwassysteem met biofilter	1,1
	LW4.6	Chemisch en water luchtwassysteem met biofilter	0,53

Tabel 3.10 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 x EF N-overig.

Diergroep	Bruto N-excretie (kg N per dierplaats)	EF N-overigdrijfmest (% 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

3.2.6 Gasvormige N-verliezen 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 vloeibare mestsoorten (drijfmest, urinefractie, fecesfractie) van graasdieren, 19% van de geproduceerde staldierendrijfmest en 100% van de op stal geproduceerde vaste mest (gemiddelde van de waarden zoals vermeld in Van Bruggen *et al.* (2024)) 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 graasdierendrijfmest, 2% van de opgeslagen mest-N bij de staldierendrijfmest en op 2% van de opgeslagen mest-N bij vaste mest (percentages op basis van totale N die de externe opslag ingaat, dus na aftrek van gasvormige N-verliezen in de stal).

$$NH_3\text{-N-verlies in externe opslag} = (\text{Bruto-N-excretie} - \text{gasvormig N-verlies stal}) \times \text{fractie mest naar externe opslag} \times EF$$

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

3.2.7 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. 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. Voor de overige N-verliezen (N_2O , NO_x , N_2) wordt uitgegaan 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 inclusief de verliezen tijdens de externe opslag van de drijfmest voorafgaand aan de scheiding. Laatstgenoemde worden in de K LW apart ingerekend, namelijk 1% en 2% van de extern opgeslagen N voor drijfmest van respectievelijk graasdieren en staldieren (zie paragraaf 3.2.6). 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 NH_3 -verlies bij mestscheiding (conform NEMA), in de K LW al 0,2% ($1\% \times 0,2$) is ingerekend bij de externe mestopslag. Hierdoor resteert in de K LW voor mestscheiding 2,1% NH_3 -verlies (Tabel 3.11). Voor staldieren drijfmest wordt ervan uitgegaan dat 19% van de drijfmest extern is opgeslagen. Dit betekent dat van de 3,5% van het NH_3 -verlies bij mestscheiding (conform NEMA), in de K LW al 0,38% ($2\% \times 0,19$) is ingerekend bij de externe mestopslag. Hierdoor resteert in de K LW voor mestscheiding 2,8% (Tabel 3.11).

Voor de overige gasvormige N-verliezen zijn de NEMA-verliespercentages bij de mestscheiding (3,5% van totale N) inclusief de emissies in de stal. Ook hiervoor geldt dat de K LW 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 3.3). Hierdoor resteert in de K LW voor mestscheiding een verlies van 1,1% (Tabel 3.11).

Tabel 3.11 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	$\text{NH}_3\text{-N}$ (% van N)	N-overig (% van N)
Graasdieren	2,1	1,1
Staldieren	2,8	1,1

3.2.8 Gasvormige N-verliezen bij vergisten van drijfmest

Een deel van de drijfmest kan vergist worden. Dit kan worden opgegeven in de K LW. Vergisting heeft gevolgen voor de gasvormige N-verliezen. Er treedt verandering op in het TAN-gehalte, dat van invloed is op de NH_3 -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 (Schröder *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:

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

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

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. NEMA geeft alleen totaal verliezen, inclusief de verliezen tijdens de externe opslag van de drijfmest.

De NH₃-verliezen bedragen 1% en 2% 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 K LW al 0,2% (=1,0% x 0,2) van het NH₃-verlies is ingerekend bij de externe mestopslag. Hierdoor resteert een NH₃-verlies bij mestvergisting van 0,8% (Tabel 3.12). 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 K LW al 0,38% verlies (2% x 0,19) van het NH₃-verlies al is ingerekend bij de externe mestopslag. Hierdoor resteert een NH₃-verlies bij mestvergisting van 1,62% (Tabel 3.12).

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

Tabel 3.12 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

3.2.9 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.*, 2024). Het ammoniakverlies uit TAN-excretie tijdens beweiding wordt berekend als:

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

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

3.2.10 Ammoniakverlies bij mesttoediening

Het ammoniakverlies bij mesttoediening wordt berekend op basis van de toegediende TAN in combinatie met de EF voor de verschillende toedieningstechnieken.

De toegediende TAN (kg N) in de vorm van melkveemest wordt binnen BEA berekend door de TAN in mestopslag (TAN-stalmest) te corrigeren voor eventuele aan- en/of afgevoerde mest. De aan- en afgevoerde mest wordt in BEA opgegeven in kg totale N. Hierbij wordt verondersteld dat voor 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 toegediend wordt berekend als percentage van de toegediende kg N:

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

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

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

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

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

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

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

$\% TAN\text{-mest volgens forfaitaire aandelen zoals vermeld in Tabel 3.13}$

Tabel 3.13 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-toediening uit melkveemest (melkkoeien inclusief 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 mesttoediening op grasland en bouwland zijn opgegeven. Tenslotte wordt ook de wijze van toediening (zie Tabel 3.13) opgegeven, waarmee de EF bij toediening wordt vastgesteld. In de BEA-module van de KringloopWijzer moet worden aangegeven welk percentage van de mest met een bepaalde methode is toegediend. Daarbij worden zowel op grasland als op bouwland drie toedieningsmethodes onderscheiden.

In stallen met primaire mestscheiding ontstaan urine- en fecesfracties (bijvoorbeeld HA1.35, HA1.36 en HA1.38). Voor de EF bij toediening wordt voor beide mestfracties voorlopig uitgegaan van de EF van drijfmest en dunne fracties (Tabel 3.14).

Tabel 3.14 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., 2024).

Grond- gebruik	Methode van toediening	Mestsoort			
		Vaste mest, dikke fractie & compost	Drijfmest, dunne fractie, digestaat	Drijfmest met half deel water ¹	Mineralen- concentraat
Grasland	Bovengronds	68	68		1,8
	Sleepvoet	-		17 ³	10
	Sleufkouter ²	-		17 ³	9
	Zodebemester	-	17		8
Bouwland	Bovengronds	46	69		1,8
	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 een zodebemester).

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

³ Voor de emissiefactor bij toediening van verdunde mest met een sleufkouter- en 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 toegediende kg TAN en de EF uit Tabel 3.14 wordt de ammoniakemissie berekend:

$$NH_3\text{-}N \text{ mesttoediening (kg)} = TAN\text{-}toediening_{1...n} \times EF_{\text{toediening}_{1...n}}$$

Waarbij:

1...n = toedieningsmethoden uit Tabel 3.14

3.2.11 Ammoniakverlies bij toediening van kunstmest

Ook uit kunstmest kan ammoniak vervluchtigen. Daarom wordt in BEA opgegeven hoeveel kg N kunstmest is toegediend. Bij het schatten van de emissie wordt geen onderscheid gemaakt in grondsoorten of grondgebruik. Wel wordt gedifferentieerd naar de soort kunstmest-N (Tabel 3.15).

Tabel 3.15 Emissiefactoren voor toedieijing van kunstmest (EF_NH₃-Nkunstmest, kg N per 100 kg N-totaal toegediend (Van Bruggen et al., 2024; 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 toegediende kg kunstmest-N en de EF uit Tabel 3.15 wordt de ammoniakemissie berekend:

$$NH_3\text{-}N \text{ kunstmesttoediening (kg)} = kg \text{ kunstmest-N toediening}_{1...n} \times EF_{\text{toediening}_{1...n}}$$

Waarbij:

1...n = kunstmestsoort uit Tabel 3.15

3.2.12 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.*, 2024).

Grasland

Bij grasland wordt bij de NH₃-emissie uit gewasresten alleen gerekend met NH₃-emissie uit maaiverliezen en NH₃-verliezen bij het scheuren van grasland. De NH₃-verliezen uit beweidingsverliezen worden conform NEMA niet meegenomen, omdat aangenomen is dat de deze al zijn verdisconteerd in de NH₃-emissie bij beweiding (Van Bruggen *et al.*, 2024).

De NH₃-emissie uit maaiverliezen wordt als volgt berekend:

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

Waarbij:

- *GO* = oppervlakte grasland (ha)
- *AF3_{maigras}* = hoeveelheid N in maaiverlies (kg/ha, 4.1)
- *NGEH* = N-gehalte in maaiverlies (g/kg ds)

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

$$NH_3\text{-N-scheuren} = (GSHO \times FRSPH + GSWO \times FRSPW) \times FRBGGR \times NTGR \times EF\text{-NH}_3\text{-N} / 100$$

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:

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

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 3.16)
- *EF-NH₃-N* = emissiefactor, % van N in bovengrondse gewasrest (Tabel 3.16)

Tabel 3.16 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 EFs 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 3.4) is bij 20 uur onbeperkt weiden de EF zeer hoog (40,9%) in vergelijking met 9 uur beperkt weiden (17,5%) en zomerstalvoeding (14,3%).
- Er wordt aangenomen dat de emissie volgens Staltype HA1.100 (standaardstal) gelijk is aan de emissie zoals berekend volgens de NEMA methodiek van de 'niet emissiearme stal'. Deze aanname is correct als het gaat om de onderlinge vergelijking met de EF voor de andere staltypes uit de Omgevingsregeling. Deze aanname is echter discutabel voor een kwantitatieve vergelijking (op basis van kg ammoniak) van de emissieberekening volgens BEA dan wel Omgevingsregeling. Er zijn namelijk indicaties dat de NH₃-emissiefactoren uit de Omgevingsregeling voor rundvee te laag is (Van Bruggen *et al.*, 2024). Berekeningen van Smits *et al.* (2007) geven aan dat de NH₃-emissiefactor voor melkvee tot circa 20% hoger kan liggen.
- Bij mestscheiding op het bedrijf zal bij toediening op het land van 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 3.14) 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 toegediende N wordt door het melkveebedrijf in BEA opgegeven door aan te geven hoeveel N naar het bouwland en natuurgrasland gaat. De overig aanwezige N gaat naar productiegrasland. 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 terechtkomt 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, ventilatiedebieten, drink- en spoelwatergebruik (respectievelijk 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 toegediend. De ammoniakverliezen na toediening van deze mest wordt uiteraard wel verrekend. Daarbij wordt een TAN-aandeel van aangevoerde mest verondersteld zoals vermeld in tabel Tabel 3.13, 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.
 - Bij staltypen met primaire scheiding ontstaan urine- en fecesfracties. Voor de NH₃-emissie in veld bij toediening wordt nu nog uitgegaan van de emissiefactoren van drijfmest en dunne fracties. Als lopend onderzoek naar de NH₃-emissie bij urine- en fecesfracties daar aanleiding toe geeft, kan dit worden aangepast.

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 N_2O (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 worden berekend. De laatste is ook nodig voor de berekening van de indirecte lachgasemissies door nitraatuitspoeling (zie paragraaf 4.2.2.2).

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, maïsland, land waarop overige ruwvoerders 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	N-binding vlinderbloemigen		X
	Aan5	Depositie	X	
	Aan6	Beweidings-, maai- en oogstverliezen		X
	Aan7	Gewasresten		X
	Aan8	Vanggewassen en groenbemesters		X
Afvoer	Aan9	Veenmineralisatie		X
	Aan10	Excretie van ganzen	X	X
	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

¹ Inclusief voor- en nateelten.

² Som van op het eigen bedrijf aanwezig dierlijke mest (inclusief voerrresten) en aangevoerde dierlijke mest.

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

Aanvoerposten

Aan de termen Aan0 (minerale bodem N in het voorjaar in jaar x) 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 grasland (totaal, beweid en onbeweid). De termen Aan2a (Dierlijke mest), Aan2b (Compost en champost) 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 (van de graasdieren en eventueel 'staldieren') plus eventueel van buiten aangevoerde dierlijke mest (Aan2a) en aangevoerde compost en champost (Aan2b). Bij Aan2a wordt de N in de binnenshuis geproduceerde mest van graasdieren afgeleid uit de gegevens over de bruto-N-excretie in het kader van BEX (hoofdstuk 2) na verrekening van alle gasvormige verliezen uit stal en opslag volgens BEA (hoofdstuk 3) en afvoer van het bedrijf. Daarbij wordt vervolgens nog de hoeveelheid N in voerrresten opgeteld. De hoeveelheid N in de mest van aanwezige 'staldieren' komt uit de stalbalans onder verrekening van aan- en afgevoerde mest. Bovendien vindt een correctie plaats voor voorraadswijzigingen: 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 (positieve waarde in onderstaande formule), 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 (negatieve waarde in formule):

$$\text{Uit te rijden mest-N} = \text{uitgescheiden mest-N} - (\text{NH}_3\text{-N}_{\text{stal+opslag}} + \text{afgevoerde mest-N}) + \text{voerrrest-N} + \text{aangevoerde mest-N} + \text{voorraadswijziging}$$

De hoeveelheid voerrrest-N (kg N/ha) wordt becijferd op 2 tot 5%, afhankelijk van de voersoort (Tabel 1.1, vervoederingsverlies), 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:

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

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 de dosering en N-gehalte opgegeven, waaruit de hoeveelheid aangevoerde N per ha wordt uitgerekend. Vervolgens wordt de totale hoeveelheid met compost aangevoerde N berekend via:

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

In plaats van specifieke opgaven van de bovengenoemde vier bestemmingen van vrachten organische mest ('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 maïssteelt (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 betreft de N-binding door vlinderbloemigen (kg N per ha). De N-binding van klaver in gras/klaverweides wordt 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_{maaisgras} + Af1_{weide} + Af3_{maaisgras} + 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, erwten en luzerne wordt de N-binding geschat op, respectievelijk, 100 en 300 kg N per hectare per jaar. Dit betreft een vaste waarde onafhankelijk van het gerealiseerde opbrengstniveau. Voor vlinderbloemige groenbemesters wordt een N-binding 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). Bij een vlinderbloemige groenbemester na snijmais wordt een N-bindin gvan 40 kg N per ha aangehouden vanwege het relatief late zaaitijdstip van de groenbemester.

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 K LW wordt gebruikt gemaakt van provinciale waarden.

Tabel 4.2 Gemiddelde N-depositiewaarden per provincie (waarden 2021) zoals gehanteerd in de K LW (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
Noord-Brabant	1736	24
Noord-Limburg	1573	22

De term Aan6 (cumulatieve nalevering van beweidsings-, maai- en oogstverliezen van voorgaande jaren) wordt voor het grasland ($Aan6_{\text{grasland}}$, kg N/ha) gedefinieerd als de som van de beweidsings- en maaiverliezen ($Af3_{\text{maaisgras}} + Af3_{\text{weide}}$, kg N/ha), voor maaisland ($Aan6_{\text{maaisland}}$, kg N/ha) en overig ruwvoerland ($Aan6_{\text{overigruwvoer}}$, kg N/ha) als de oogstverliezen van die gewasgroepen. De beweidsingsverliezen worden gesteld op 15-20% van de N-opbrengst van weidesneden (zie Tabel 1.1) en de maaiverliezen van gras en luzerne ('maaien, schudden, wiersen, laden') op 5% van de N-opbrengst van maaisneden. De oogstverliezen van maaisland ('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 beweidsingsverliezen niet correct omdat in het kader van BEA plus (paragraaf 3.2.12) 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 ($Aan7_{\text{grasland}}$) 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 maaisland (snijmaïs, MKS en CCM) ($Aan7_{\text{maaisland}}$) 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 beweidsings-, maai- en oogstverliezen (Aan6) en gewasresten (Aan7) wordt bij grasland en maaisland (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 beddingmateriaal 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 P₂O₅-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.handboekbodemenbemesting.nl).

Gewas	Hoofdproduct (kg/ton vers)			Bijproduct (kg/ton vers)			Bijproduct Ton vers /ha	Gewasrest	
	DS	N	P ₂ O ₅	DS	N	P ₂ O ₅		Overige boven- en onder- grondse gewasresten ¹	
								Min, Max Kg N/ha	Factor
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	1,60
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							80		
Vlinderbloemig vanggewas na akkerbouwgewas							60		

¹ 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), 80 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 234 kg N/ha (Kuikman *et al.*, 2005). Als slechts een deel van het bedrijf uit veengrond bestaat, wordt de veenmineralisatie evenredig gereduceerd.

De term Aan10 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 Buissonjé *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:

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

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

Afvoerposten

Elders in deze paragraaf wordt toegelicht hoe de term Af1 (geoogst 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.

Geoogst van eigen land

De term Af1 (geoogst 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 geoogst 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:

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

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 ingekuild 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):

$$NOP_{maigras_aangekocht} = (((aangekochte\ vers\ gras\ N\ en\ kuilgras\ N) \times (100 - conserveringsverlies) / 100) - \Delta Ngraskuil) \times (100 - vervoederingsverlies) / 100$$

Het conserveringsverlies (in procenten volgens Tabel 1.1) verrekent dat ook aangekochte graskuil aan conserveringsverliezen blootstaat. De term $\Delta Ngraskuil$ 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 $NOP_{maigras_eigenland}$ wordt vervolgens de aangeboden hoeveelheid vers gras en kuilgras (kg N) van eigen land ($NAAN_{maigras_eigenland}$) berekend:

$$NAAN_{maigras_eigenland} = NOP_{maigras_eigenland} / (100 - vervoederingsverlies) / 100$$

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

$$NDAM_{maigras} = NAAN_{maigras_eigenland} / ((100 - conserveringsverlies) / 100)$$

waarbij verrekend dient te worden dat niet alle gras dat gemaaid wordt noodzakelijkerwijs ook geconserveerd behoeft te zijn geweest (namelijk ingeval van stalvoeding).

Hieruit valt $Af1_{maigras}$ af te leiden als:

$$Af1_{maigras} = NDAM_{maigras} / GO$$

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 ($Af1_{maigras} + Af3_{maigras}$), gelijk aan:

$$Af1_{maigras} + Af3_{maigras} = Af1_{maigras} \times (100 / (100 - maaiverlies))$$

De bovenstaande berekening van $Af1$ voor grasland wordt afzonderlijk uitgevoerd voor productiegrasland en natuurgrasland.

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 geoogste 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:

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

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 $\Delta N_{\text{kuil van overig ruwvoer}}$ 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) verrekenst dat ook bij aangekocht ruwvoer vervoederingsverliezen optreden.

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

$$NAAN_{overigruwvoer_eigenland} = NOP_{overigruwvoer_eigenland} / (100 - vervoederingsverlies) / 100$$

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

$$NDAM_{overigruwvoer} = NAAN_{overigruwvoer_eigenland} / ((100 - conserveringsverlies) / 100)$$

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

$$Af1_{overigruwvoer} = NDAM_{overigruwvoer} / ORO$$

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

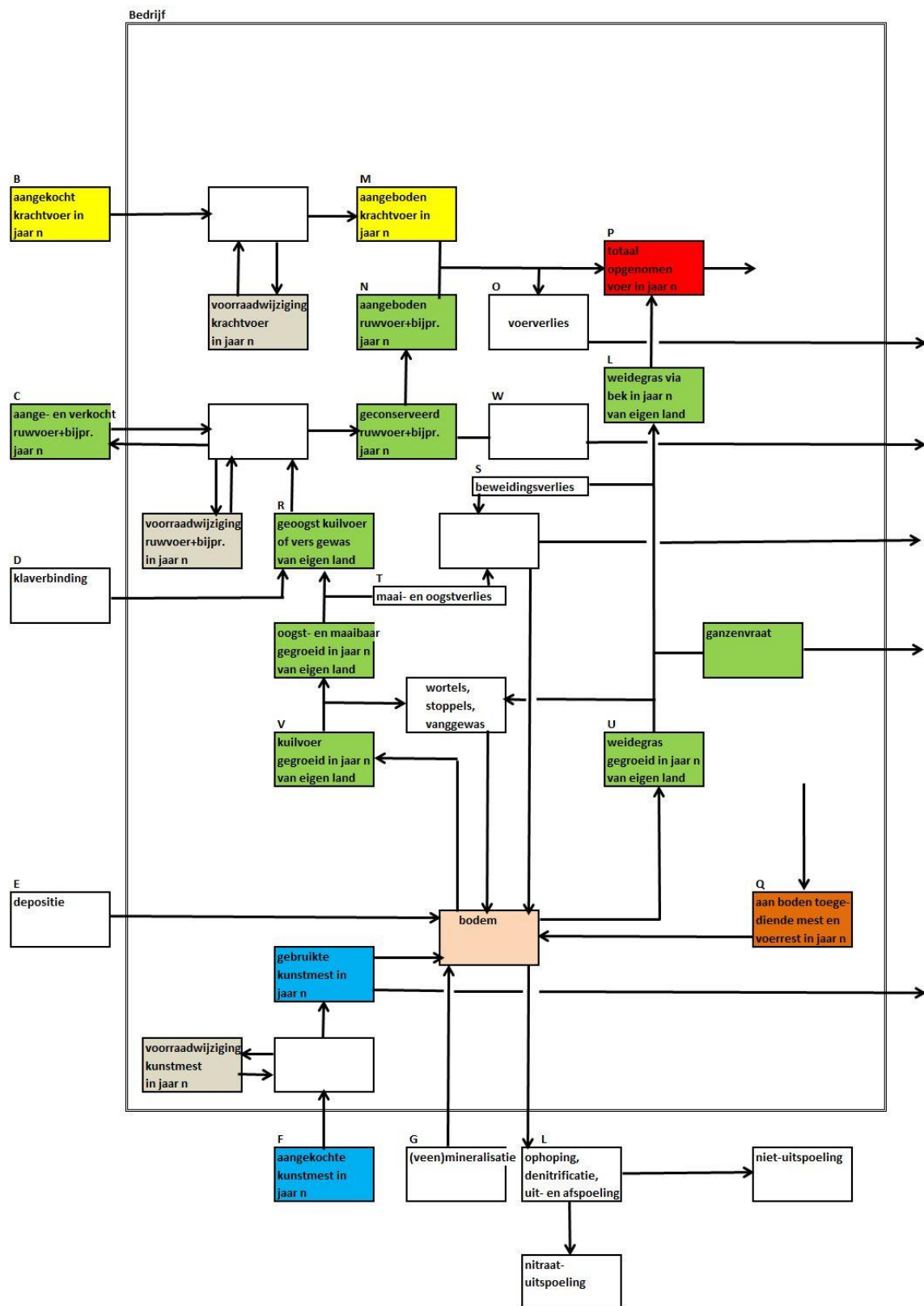
$$Af1_{overruwvoer} + Af3_{overruwvoer} = Af1_{overruwvoer} \times (100 / (100 - oogstverlies)) \text{ met oogstverlies (\%) als vermeld in Tabel 1.1}$$

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 ($Af1_{marktakkerbouw}$, 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% wintergerst, 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:

$$Af1_{marktakkerbouw} \text{ (kg N/ha)} = (\sum_{n=1}^N [BOn \times ((YHn \times CNHn) + (YBn \times CNBn))] / AMO)$$

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 geoogst gewas (zoals graan) nog één of enkele sneden gras geoogst. Ook kan het zijn dat na de maïs gras wordt gezaaid als vanggewas en in het daaropvolgende voorjaar nog een snede wordt geoogst. 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 op basis van 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 ($N\text{-benutting}_{\text{bodem}}$) 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 in 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 Allocatie N-bodemoverschot

De hoeveelheid uitgespoelde N wordt berekend via het N-bodemoverschot. Hiervoor wordt het hierboven berekende N-bodemoverschot eerst gecorrigeerd voor de verandering van de N-bodemvoorraad. Na deze correctie wordt het uitspoelbare N-bodemoverschot verkregen:

$$\text{Uitspoelbare N-bodemoverschot} = N\text{-bodemoverschot} - \text{verandering N-bodemvoorraad}$$

Indien er sprake is van opbouw van N in de bodem dan is de correctiewaarde positief en is het uitspoelbare N-bodemoverschot lager dan het eerder berekende N-bodemoverschot. Indien er sprake is van een daling van N in de bodem, dan is de correctiewaarde negatief en is het uitspoelbare N-bodemoverschot hoger dan het eerder berekende N-bodemoverschot.

De voorraadverandering stikstof van minerale gronden wordt vanaf de versie 2024 consistent berekend met onderstaande formules. Deze zijn geldig voor de gehele oppervlakte gras, mais en bouwland, ongeacht of het wisselbouw is of niet.

$$\text{Voorraadverandering N [kg/ha]} = \text{Voorraadverandering C [kg/ha]} \times 1/\text{CN-verhouding}$$

Indien de gebruiker kiest voor regio-specifieke data (zie paragraaf 6.6) wordt de CN-verhouding als volgt berekend:

$$\text{CN-verhouding} = 10 \text{ (klei, löss - lutum > 10) of } 16 \text{ (zand - lutum < 10)}$$

Bij gebruik van perceleninformatie wordt CN-verhouding gebruikt van de beschikbare bodemonsters. De voorraadverandering van organische gronden is per definitie gelijk aan nul. Dit staat los van de mineralisatie van 235 kg N/ha uit de ondergrond die wel gehandhaafd wordt.

De hoeveelheid uitgespoelde N wordt vervolgens berekend als:

$$\text{Nuitgespoeld} = \text{Uitspoelbaar N-bodemoverschot} \times \text{UF}$$

Waarbij:

- *NUITSP* = hoeveelheid uitgespoelde N (kg/ha)
- *UF* = uitspoelfractie conform Tabel 4.4

De uitspoelfracties zijn per grondsoort en grondgebruik (grasland of bouwland) afgeleid op basis van meetgegevens in het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM; http://www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk_Meetnet_effecten_Mestbeleid). Uit het LMM blijkt dat de UF afhankelijk is van het grondgebruik (grasland, bouwland) en van de grondsoort (Tabel 4.4).

De NUITSP wordt mede gebruikt voor de berekening van de indirecte N₂O-emissies uit de bodem (zie paragraaf 4.2.2).

Tabel 4.4 Uitspoelfracties (UF) in relatie tot grondsoort (Brussée et al., 2024).

Grondsoort	Uitspoelfractie	
	Grasland	Bouwland
Veen	0,06	0,17*
Klei	0,11	0,33
Nat zand (Gt IV)	0,14	0,38
Matig droog zand (Gt VI)	0,21	0,58
Droog zand (Gt VII)	0,27	0,74
Löss	0,14	0,74

* Niet opgegeven in Brussée et al. (2024) maar geschat vanuit de verhouding van de waarden voor bouwland en gras bij de andere grondsoorten.

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 (2019) 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. (2024) 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 4.5). 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 KWL-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 productiegasland en natuurgrasland. Bij bouwland wordt onderscheid gemaakt tussen snijmaïs en overig bouwland.

Kunstmest

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

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 4.5)

Dierlijke mest

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

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

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

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

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 N_2O-N/kg N-dmB (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.5)
- $EF-dm_{grasEA}/snijmaïsEA/oboEA$ = emissiefactor bij emissiearm toegediende dierlijke mest op grasland/snijmaïsland/overig bouwland, kg N_2O-N/kg N-dmEA (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.5)

Compost/champost

$$N_2O-Nem-comp = GO \times Aan2b_{gras} \times EF-comp_{gras} + BO \times Aan2b_{snijmaïs} \times EF-comp_{snijmaïs} + BO \times Aan2b_{obo} \times EF-comp_{obo}$$

Waarbij:

- $GO/SO/OBO$ = oppervlak grasland/snijmaïsland/overig bouwland, ha
- $Aan2b_{gras}/snijmaïs/obo$ = N in compost en champost, kg per ha grasland, kg per ha snijmaïsland en kg per ha overig bouwland
- $EF-comp_{gras}/snijmaïs/obo$ = emissiefactor bij gebruik van compost/champost op grasland/snijmaïsland/overig bouwland, kg N_2O-N/kg N-comp (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.5)

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).

$$N_2O-Nem-wm = GO \times (Aan1+Aan11) \times EF-wm$$

Waarbij:

- GO = areaal grasland
- $Aan1/Aan11$ = N in weidemest/N-excretie ganzen (kg per ha grasland)
- $EF-wm$ = emissiefactor bij weidemest (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.5)

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

(2019) een andere berekeningsmethodiek. IPCC (2019) 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 grasland waarna een bouwlandperiode volgt.

Op grond van het bovenstaande wordt de N₂O emissie uit gewasresten geschat als:

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

Waarbij:

- $N-gr = GO \times Af3_{grasland} + SO \times Af3_{maïland} + ORO \times Af3_{overigruwvoer} + BO \times Af4_{bouwland} + SO \times Af5_{maïland} + (BO-SO) \times Af5_{niet-maïland}$
- $EF-herinz$ = emissiefactor bij scheuren gras bij herinzaai: 5,5 kg N₂O-N per ha gescheurd grasland
- $GO, BO, SO, ORO, WGO, WBO$ = oppervlakten van, respectievelijk, alle grasland, alle bouwland, maïland (snijmaïs, CCM, MKS), overige akkerbouwmatige ruwvoerders, grasland in wisselbouw en bouwland in wisselbouw
- $(GO-WGO)_{gescheurd}$ = oppervlak blijvend grasland, waarbij herinzaai plaatsvindt, ha
- $Af3_{grasland}$ = hoeveelheid N in beweidings-, maai- en oogstverliezen bij gras
- $Af3_{maïland}$ = hoeveelheid N in oogstverliezen bij maïs
- $Af3_{overigruwvoer}$ = hoeveelheid N in oogstverliezen bij overige ruwvoergewassen
- $Af4_{bouwland}$ = areaalgewogen gemiddelde van de hoeveelheid N in gewasresten van bouwlandgewassen inclusief maïs volgens Tabel 4.3
- $Af5_{maïland}$ = N-inhoud van groenbemesters op maïland (40 kg N/ha)
- $Af5_{niet-maïland}$ = areaalgewogen gemiddelde N-inhoud van groenbemesters op overig bouwland exclusief maïland in de vorm van braak ($Af5 = 0$), niet-vlinderbloemige groenbemester ($Af5 = 80$ kg N/ha) en vlinderbloemige groenbemester ($Af5 = 60$ kg N/ha)
- $EF-gr$ = emissiefactor N uit gewasresten, kg N₂O-N per kg gewasrest-N (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.5)

Voorraadverandering N in de bodem minerale gronden

Er worden ook N₂O-N-emissies ingerekend bij een daling van de organische N-voorraad in de bodem op minerale gronden. Dit is bijvoorbeeld het geval in de bouwlandfase van wisselbouw. Maar ook bij blijvend bouwland kan dat het geval zijn. De N₂O-N-emissie wordt als volgt berekend.

$$N_2O-N-em-DeltaN_{bodem_{mg}} = (Delta-N-bodem_{WBB} + Delta-N-bodem_{CB}) * EF-DeltaN_{bodem_{mg}}$$

Waarbij:

- $Delta-N-bodem_{WBB}$ = daling van de organische N-voorraad in de bodem op het areaal bouwland in het wisselbouwdeel van het bedrijf, kg/ha
- $Delta-N-bodem_{CB}$ = daling van de organische N-voorraad in de bodem op het areaal continu bouwland, kg/ha
- $EF-DeltaN_{bodem_{mg}}$ = emissiefactor bij daling van de organische N-voorraad in de bodem bij minerale gronden, kg N₂O-N per kg daling N-voorraad (areaalgewogen cfm fractie minerale en veengrond, Tabel 4.5)

Voor de berekening van de daling van de N-voorraad op minerale gronden wordt verwezen naar paragraaf 4.2.1.2.

Voorraadverandering N in de bodem 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:

$$N_2O\text{-}Nem\text{-}\Delta N_{bodem_{veen}} = TO \times \text{fractie veengrond in TO} \times EF\text{-}\Delta N_{bodem_{veen}}$$

Waarbij:

- TO = totale bedrijfsoppervlak
- EF-ΔN_{bodem_{veen}} = 4,7 kg N₂O-N per ha

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

Tabel 4.5 De in de K LW gehanteerde emissiefactoren voor N₂O-emissies uit de bodem, tenzij anders vermeld kg N₂O-N per kg N input (Van Bruggen et al., 2024).

Input			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		
	Daling N-voorraad bodem, minerale grond	EF-ΔN _{bodem_{gm}}	0,01		0,01	
	Daling N-voorraad bodem, Veengrond ⁶ , kg N ₂ O-N/ha	EF-ΔN _{bodem_{veen}}		4,7		4,7
Indirect	Ammoniak ⁴	EF-NH ₃	0,014	0,014	0,014	0,014
	Nitraat ⁴	EF-NO ₃	0,011	0,011	0,011	0,011

¹ Code emissiefactor zoals gebruikt in de tekst.
² Gebaseerd op Velthof & Mosquera (2011).
³ Gebaseerd op Velthof et al. (1996).
⁴ IPCC, 2019.
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:

$$Vizura_{verbruik} = Vizura_{begin} - Vizura_{eind} + Vizura_{aanvoer}$$

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 bemestte oppervlakte drie keer het perceelsareaal. Om dit te kunnen uitrekenen is een aanname nodig voor de dosering per bemesting. Hiervoor wordt voor grasland en maïsland 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:

$$OppG_dmdigest = toedG_ton / 20$$

$$OppM_dmdigest = toedM_ton / 44$$

$$OppBLO_dmdigest = oppervlakte\ overige\ bouwlandgewassen\ met\ dmdigest$$

Waarbij:

- $OppG/M/BLO_dmdigest$ = oppervlakte grasland/maïsland/overige bouwlandgewassen
- $toedG_ton/toedM_ton$ = hoeveelheid toegediende dmdigest op grasland en maïsland

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.

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

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

$$VizuraG_ltr = Vizura_verbr - VizuraM_ltr - VizuraBLO_ltr$$

Waarbij:

- $VizuraG/M/BLO_ltr$ = hoeveelheid Vizura op grasland/maïsland/overig bouwland, ltr
- $toedM_ton/toedBLO_ton$ = hoeveelheid toegediende dmdigest op maïsland/overig bouwland
- $toedT_ton$ = totale hoeveelheid toegediend 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:

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

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

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

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.

$$VizuraG_frac = VizuraG_opp / OppG_dmdigest$$

$$VizuraM_frac = VizuraM_opp / OppM_dmdigest$$

$$VizuraA_frac = VizuraA_opp / OppA_dmdigest$$

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.

$$\begin{aligned} ToedG_N_2Ored &= 50 \times VizuraG_frac \\ ToedM_N_2Ored &= 50 \times VizuraM_frac \\ ToedA_N_2Ored &= 50 \times VizuraA_frac \end{aligned}$$

Bovenstaande rekenregels hebben als basis de beoordeling zoals die heeft plaatsgevonden volgens de procedure van ZuivelNL (<https://cdn2.assets-servd.host/zuivel-nl/production/images/ZuivelNL-Procedure-beoordeling-product-KringloopWijzer-20230606.pdf>).

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:

$$N_2O-Nem-NH_3 = EF-NH_3 \times NH_3-N-verlies$$

Waarbij:

- $EF-NH_3$ = emissiefactor, kg N₂O-N/kg NH₃-N (zie Tabel 4.5)
- $NH_3-N-verlies$ = totale NH₃-N verlies in het veld volgens BEA in kg NH₃-N

en

$$N_2O-Nem-NO_3 = EF-NO_3 \times NO_3-N-verlies$$

Waarbij:

- $EF-NO_3$ = emissiefactor, kg N₂O-N/kg NO₃-N (zie Tabel 4.5)
- $NO_3-N-verlies$ = 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 stallen en in mestopslagen buiten de stal. Vaste mest wordt geacht te worden opgeslagen in de stal (bijvoorbeeld potstallen) en in een buitenopslag (mestvaalt). Op bedrijven met primaire mestscheiding, waarbij urine- en fecesfracties ontstaan wordt dezelfde emissiefactoren gebruikt als voor drijfmest.

Deze paragraaf 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:

$$N_2O_{(Dmm)} = \left[\sum_S \left[\sum_T \left[Nexcretie_T \right] * \left[MS_{(T,S)} \right] \right] * \left[EF(S) \right] \right] * 44/28$$

Waarbij:

- $N_2O_{(Dmm)}$ = 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, 2019). 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.*, 2024). Naast NH₃ schat het model ook de emissies van N₂O, NO en N₂ uit stallen en opslagen (Tabel 3.3 en Tabel 3.4).

Voor de emissiefactoren wordt gebruikt gemaakt van de default waarden van IPCC (2019) (Tabel 4.6).

Tabel 4.6 Emissiefactoren (EFs) per mestmanagementsysteem in kg N₂O-N / kg N uitgescheiden mest.

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

Bron: IPCC, 2019

4.2.3.2 Overige graasdieren

Voor de 'overige graasdieren' wordt de forfaitaire netto mest-N productie (Tabel 3.7) 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 4.7) berekend hoeveel N₂O-N gevormd wordt.

Tabel 4.7 Emissiefactoren (EFs) per diercategorie in kg N₂O-N / kg N uitgescheiden mest.

Diercategorie	Emissiefactoren (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 4.8)

Tabel 4.8 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. 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 4.9 staan de extra N₂O-verliezen voor het scheiden van mest weergegeven.

Tabel 4.9 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 (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:

$$N_2O-Nem(vol) = EF(vol) \times Nloss(vol)$$

met Nloss (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-verluchting (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 geoogste 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 Tabel 3.7 (overige graasdieren) en Tabel 3.10 (staldieren) (daar ter berekening van de niet-ammoniak verliezen) en de lachgasverliezen volgens Tabel 4.7 (overige graasdieren) en Tabel 4.8 (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).

Bij de emissies vanuit de bodem worden in de KWL-versie 2024 ook de emissies van NO_x (NO + NO₂) meegenomen. Hierbij wordt N uit alle N-bronnen (o.a. organische mest, weidemest, kunstmest en gewasresten) uitgegaan van een verlies van 1,2% van de aanwezige N (Van Bruggen *et al.*, 2024). Voor de jaarlijkse veenafbraak op veengronden wordt in de NEMA-rapportages geen NO_x-emissies vermeld. In de KWL wordt uitgegaan van dezelfde emissiefactor als voor lachgas (2%: 235 kg N per ha * 0,02 = 4,7 kg NO_x-N per ha). Het resterende gasvormige N-verlies uit de bodem betreft N₂. Deze wordt berekend als het verschil tussen het totale gasvormige N-verlies en het N₂O-N- en NO_x-verlies.

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:

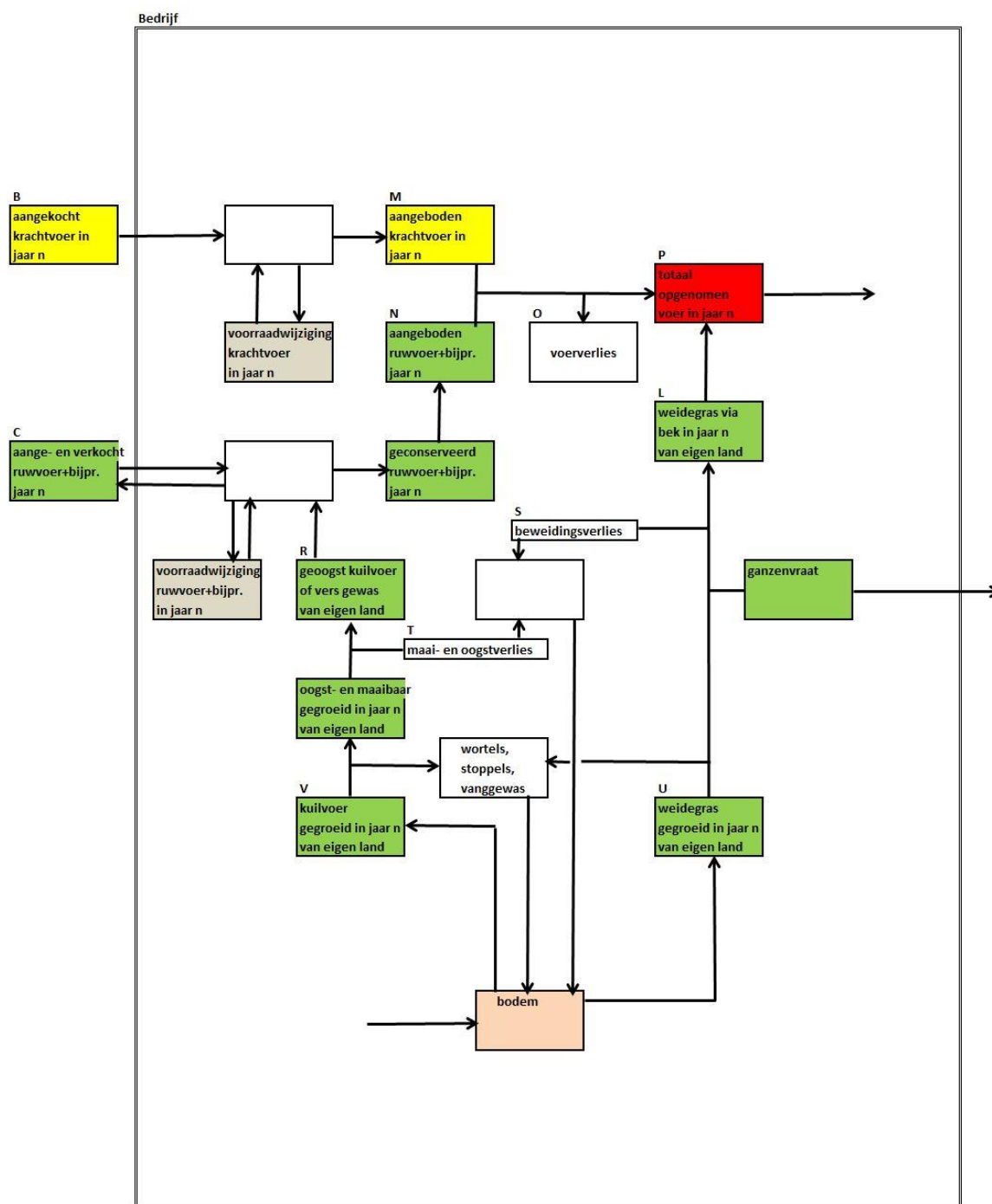
- Het nauwkeurig evalueren van de gewasspecifieke N-benuttingen binnen de grasland- en bouwlandfase van wisselbouwsystemen omdat bij de N-opbrengsten geen onderscheid gemaakt

- wordt tussen wisselbouw en continue teelt en de afvoertermen beweiding-, 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 (2019)), 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 geoogste 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 geoogst. Figuur 5.1 verduidelijkt een en ander.

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

met:

$$P \text{ opname uit eigen voer} = P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} - P \text{ voerrest}_{\text{eigenvoer}}, \quad (\text{Eq 5.2})$$

$$\leftrightarrow P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} = P \text{ opname uit eigen voer} + P \text{ voerrest}_{\text{eigenvoer}}$$

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:

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

Verder wordt aangenomen dat bij de conservering van aangekocht of zelf geteeld ruwvoer geen P verloren gaat. De som van de P in ruwvoer geoogst 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:

$$P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} + P \text{ in aangekocht voer gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen} = P \text{ in mest (inclusief voerrest)} + P \text{ in melk en vlees van melkvee} \quad (\text{Eq 5.5})$$

De hoeveelheid P in ruwvoer geoogst 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 geoogst via bek of dam (alleen de aandelen graskuil en maïskuil) wijzigen. In formule vorm:

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

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

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

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

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

$$PcVoerverliesRuwvoer = \text{Percentage vervoederingsverlies ruwvoer}$$

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:

$$\begin{aligned}
 &P \text{ in kunstmest toegediend aan land voor ruwvoerteelt} + P \text{ in aangekocht voer voor de} \\
 &\text{melkveestapel gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen} = P \text{ in melk en vlees van melkvee} \\
 &\quad \leftrightarrow \\
 &P \text{ in aangekocht voer voor de melkveestapel gecorrigeerd voor voorraadswijzigingen} = \\
 &P \text{ in melk en vlees van melkvee} - P \text{ in kunstmest toegediend aan land voor} \\
 &\text{ruwvoerteelt}
 \end{aligned}
 \tag{Eq 5.6}$$

Substitutie van vergelijking Eq 5.6 in Eq 5.5 geeft:

$$\begin{aligned}
 &P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} + (P \text{ in melk en vlees van melkvee}) - P \text{ in kunstmest} \\
 &\text{toegediend aan land voor ruwvoerteelt} = \\
 &P \text{ in mest van melkvee (inclusief voerrest)} + (P \text{ in melk en vlees van melkvee}) \\
 &\quad \leftrightarrow \\
 &P \text{ in mest van melkvee (inclusief voerrest)} + P \text{ in kunstmest toegediend aan} \\
 &\text{land voor ruwvoerteelt} = P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam}
 \end{aligned}
 \tag{Eq 5.7}$$

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 geoogst 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:

$$\begin{aligned}
 &P_{\text{grasland}} \text{ geoogst via bek of dam} = P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} / \\
 &(P_{\text{maaisgras}} + P_{\text{weide}} + P_{\text{maïskuil}} + P_{\text{overig kuiten}}) \times (P_{\text{maaisgras}} + P_{\text{weide}})
 \end{aligned}
 \tag{Eq 5.8}$$

Waarbij:

- $P_{\text{maaisgras}}$ = de hoeveelheid P in aangelegde eigen graskuil of vers vervoerd
- 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 ($P_{\text{maïsland}}$):

$$\begin{aligned}
 &P_{\text{maïsland}} \text{ geoogst via dam} = P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} / \\
 &(P_{\text{maaisgras}} + P_{\text{weide}} + P_{\text{maïskuil}} + P_{\text{overig kuiten}}) \times (P_{\text{maïskuil}})
 \end{aligned}
 \tag{Eq 5.9}$$

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

$$\begin{aligned}
 &P_{\text{overig kuiten}} \text{ geoogst via dam} = P \text{ in ruwvoer geoogst via bek of dam} / \\
 &(P_{\text{maaisgras}} + P_{\text{weide}} + P_{\text{maïskuil}} + P_{\text{overig kuiten}}) \times (P_{\text{overig kuiten}})
 \end{aligned}
 \tag{Eq 5.10}$$

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:

$$P_2O_5\text{-afvoer van de akkerbouwtak (kg P}_2O_5) = \sum_{n=1}^N [(BOn \times (YHn \times CPHn) + (YBn \times CPBn))],$$

Waarbij:

- *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 hoofproduct (kg P₂O₅/ton vers)
- *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 KLV 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.

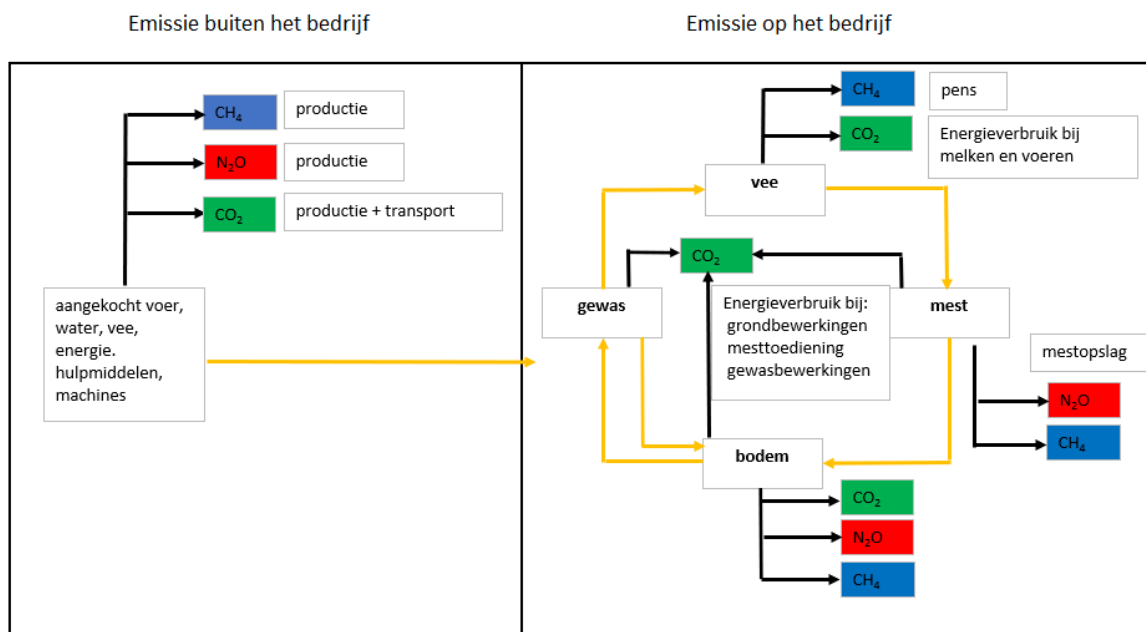
CH₄ komt vrij bij de spijsvertering van met name meermagigen, bij de opslag van mest en uit veenbodems. Ook bij de aankoop van voer van buiten kunnen grondstoffen betrokken zijn, waarbij methaan ontstaat bij de teelt of de verwerking. Dat is bijvoorbeeld het geval bij rijstproducten en palmpitschroot, maar ook bij aangekocht ruwvoer dat (deels) is geteeld op veengrond.

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 water, aangekochte dieren, strooisel, gewasbeschermingsmiddelen en plastic.

Kortcyclische CO₂, zoals door gewassen opgenomen CO₂ en vrijkomende CO₂ uit verterende gewasresten en mest en uitgeademde CO₂ door dieren worden niet meegenomen bij de broeikasgasemissies. Vastgelegde CO₂ in de bodem wel.

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 (incl. N₂O-emissies); b) emissies van biogene bronnen, c) landgebruiksverandering, inclusief ontbossing (Lucf) en emissies uit veengrond.

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, 2025; Vellinga *et al.*, 2013) en Agri-Footprint.

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 snijmaïs wordt afgevoerd, dan slechts de helft van de emissies meetellen die met de teelt van snijmaïs 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 vlees van de afgevoerde levende dieren (van het bedrijf afgevoerde dieren en dieren die binnen het bedrijf overgaan naar een niet-melkveetak). Deze verdeling (allocatie) naar melk en vlees is naar rato van energiebehoefte voor de productie van melk en vlees. Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt (IDF, 2022):

$$\text{Allocatiefactor melk} = NE_m \times M_m / (NE_m \times M_m + \sum (NE_{\text{dier_afv}} \times M_{\text{dier_afv}}))$$

Waarbij:

- NE_m = netto-energie voor melkproductie: 3,1 MJ/kg FPCM
- M_m = FPCM = kg melk $\times$ 0,2534 + 0,1226*Vet% + 0,0776*Eiwit%
- $NE_{\text{dier_afv}}$ = netto-energiebehoefte van afgevoerd dier (MJ/kg levend gewicht)
- $M_{\text{dier_afv}}$ = gewicht afgevoerd dier

Het gewicht van de afgevoerde dieren wordt bepaald aan de hand van de leeftijd waarop het dier wordt afgevoerd. De gemiddelde afvoerleeftijd wordt in maanden doorgegeven voor de verschillende diergroepen (nuka's, kalveren, pinken, koeien). Aan de hand van een groeicurve voor verschillende koerassen (Holstein Friesian/overig, Jersey en Kruisling jersey) wordt vervolgens het afgevoerde diergewicht bepaald ($M_{\text{dier_afv}}$), zie tabel 6.1. Tenslotte wordt de totale hoeveelheid netto-energie voor vlees berekend door per diergroep het gewicht aan afgevoerd dieren te vermenigvuldigen met netto-energiebehoefte per kg lichaamsgewicht ($NE_{\text{dier_afv}}$, zie Figuur 6.2 en Tabel 6.1) en deze te sommeren over alle afgevoerde dieren.

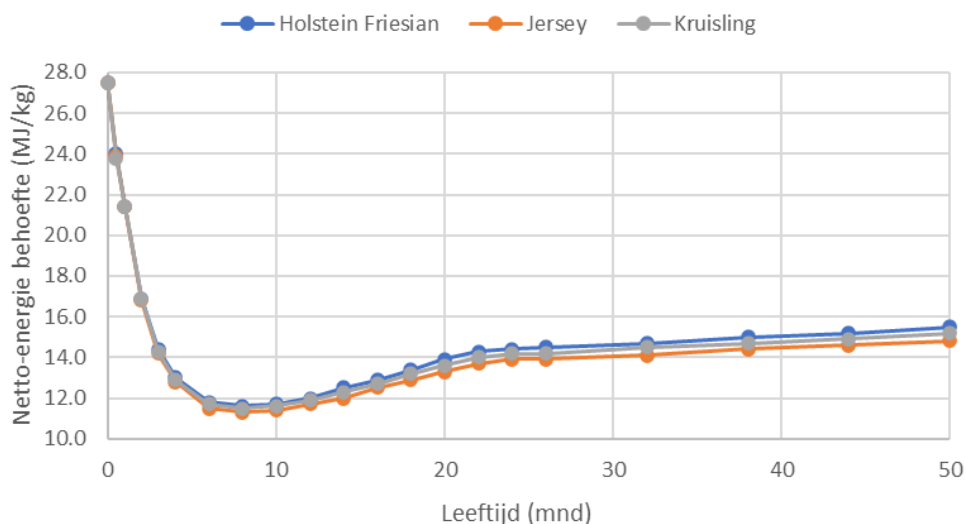
De $NE_{\text{dier_afv}}$ wordt berekend via de volgende formule (IDF, 2022; IPCC, 2019):

$$NE_{\text{dier_afv}} = 22,02 \times (BW / (c \times MW))^{0,75} \times WG^{1,097}$$

Waarbij:

- $NE_{\text{dier_afv}}$ = Energiebehoefte per dag, MJ/dag
- BW = Levendgewicht, kg
- c = Coëfficiënt (0,8 voor koeren)
- MW = Volwassen gewicht koe, kg
- WG = gewichtstoename, kg/dag

In Figuur 6.2 en Tabel 6.1 is voor verschillende dierrassen de $NE_{\text{dier_afv}}$ weergegeven in relatie tot diergewicht en de afvoerleeftijd.



Figuur 6.2 Netto-energie behoefte (MJ/kg) in relatie tot de leeftijd van het aangekochte dier.

Tabel 6.1 Gewicht en netto-energiebehoefte per afgevoerd dier in relatie tot leeftijd en ras.

Leeftijd	Overig (o.a. Holstein Friesian)		Jersey		Kruisling Jersey	
	Gewicht (kg)	Netto-energie (MJ/kg)	Gewicht (kg)	Netto-energie (MJ/kg)	Gewicht (kg)	Netto-energie (MJ/kg)
0	44	27,5	27	27,5	36	27,5
0,5	51,5	24,0	32	23,9	42	24,0
1	59	21,4	36	21,4	48	21,4
2	81	16,9	50	16,8	65	16,9
3	105,5	14,4	65	14,2	85	14,3
4	130	13,0	80	12,8	105	12,9
6	184	11,8	113	11,5	149	11,7
8	233	11,6	143	11,3	188	11,5
10	278	11,7	171	11,4	225	11,6
12	320	12,0	197	11,7	258	11,9
14	364	12,5	224	12,0	294	12,3
16	406	12,9	250	12,5	328	12,7
18	444	13,4	273	12,9	359	13,2
20	484	13,9	298	13,4	391	13,6
22	518	14,3	319	13,7	418	14,0
24	534	14,4	329	13,9	431	14,2
26	540	14,5	332	13,9	436	14,2
32	567	14,7	349	14,1	458	14,5
38	595	15,0	366	14,4	481	14,7
44	623	15,2	383	14,6	503	14,9
50	650	15,5	400	14,8	525	15,2

Voor de allocatiefactor vlees geldt dan:

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

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

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

6.3 Berekeningswijze CH₄-emissies

6.3.1 Emissie bij pensfermentatie uit dieren (enterisch methaan)

De KringloopWijzer beperkt zich voor wat betreft enterische methaanemissies vooralsnog 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 nauwkeurigste 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):

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

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.

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

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:

$$\begin{aligned}EF_mk \text{ (g CH}_4\text{/kg ds)} &= EF_CH_4\text{basis} - 0,21 \times (DSniv_mk - 18,5) \\EF_pi \text{ (g CH}_4\text{/kg ds)} &= EF_CH_4\text{basis} - 0,21 \times (DSniv_pi - 18,5) \\EF_ka \text{ (g CH}_4\text{/kg ds)} &= EF_CH_4\text{basis} - 0,21 \times (DSniv_ka - 18,5)\end{aligned}$$

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

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

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_CH_4 gerekend van 5,6 g CH₄ per kg DS.

De methaanemissie factor van het rantsoen ($CH_4_EF_{rantsoen}$) per kg ds wordt via de EF factoren van volwassen vee en jonge kalveren berekend als:

$$EF_CH_4_rantsoen \text{ (g CH}_4\text{/kg ds)} = (EF_volw \times DSopn_volw + 5,6 \times DSopn_ka1) / DSopn_vee$$

De CH₄-emissie van de totale melkveestapel ($CH_4_rantsoen$) wordt tenslotte berekend als:

$$CH_4_rantsoen = EF_CH_4_rantsoen \times DSopn_vee$$

Berekening EF voor geconserveerd gras en snijmaïs en mengvoerders

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):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 vers gras zijn onlangs de EF-waarden naar beneden bijgesteld. De waarden zijn weergegeven in Bijlage 4. De onderbouwing van de nieuwe waarden is beschreven in Bijlage 8.

Voor mengvoer 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 6.2). Deze waarden zijn gebaseerd op 3 samenstellingen en het gebruik van gemiddelde mengvoersoorten in 2018/2019.

Tabel 6.2 Gehanteerde vaste EF-CH₄-waarden indien deze niet door de voerleverancier 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

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.

Onderstaande rekenregels hebben als basis de beoordeling zoals die heeft plaatsgevonden volgens de procedure van ZuivelNL (<https://cdn2.assets-servd.host/zuivel-nl/production/images/ZuivelNL-Procedure-beoordeling-product-KringloopWijzer-20230606.pdf>).

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.

$$NO_3_TOT = \sum NO_3_GEHvoer_i \times KG_AANvoer_i$$

en

$$NO_3_DOS = NO_3_TOT \times (1-VOERVERL) / DS_OPNJAAR$$

Waarbij:

- NO_3_TOT = hoeveelheid gevoerd nitraat, g per jaar
- $NO_3_GEHvoer$ = nitraatgehalte in het voedermiddel (1-i) met Silvair, g/kg
- $KG_AANvoer$ = 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 voorgebracht voer: 0,02
- $DS_OPNJAAR$ = totale jaardrogestofopname door melkkoeien

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

$$REDCH4_SIL = -1 \times (-20,4 - 0,911 \times (NO_3_DOS - 16,7) + 0,691 \times (DS_OPNKOEDAG - 11,1))$$

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.

De hoeveelheid gevoerde 3NOP (3NOP_TOT) wordt berekend via:

$$3NOP_TOT = \sum 3NOP_GEHvoer_i \times KG_AANvoer_i$$

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

en

$$3NOP_DOS = 3NOP_TOT \times 10^3 \times (1-VOERVERL) / (DS_OPNJAAR \times FRAC_STAL)$$

Waarbij:

- $3NOP_DOS$ = dosering 3NOP in het totale door melkkoeien in de stalperiode opgenomen voer, mg per kg ds
- $VOERVERL$ = vervoederingsverlies, fractie van voorgebracht voer: 0,02
- $DS_OPNJAAR$ = totale jaardrogestofopname door melkkoeien
- $FRAC_STAL$ = fractie van het jaar dat koeien op stal staan = $1 - \text{uren beweiding} / (24 \times 365)$

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

$$REDCH4_BOV = -1 \times (-30,9 - 0,267 \times (3NOP_DOS - 70,5)) \times FRAC_STAL$$

Waarbij:

- $REDCH4_BOV$ = reductie methaanemissie Bovaer bij melkkoeien, %

Als de dosering in de stalperiode 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 dosering in de stalperiode lager is, wordt het aantal dagen dat er met Bovaer gevoerd wordt teruggebracht totdat de dosering weer uitkomt op 60 mg/kg ds.

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

De correctie voor doseringen lager dan 60 mg/kg ds ($FRAC_JAAR$) wordt als volgt berekend:

$$FRAC_JAAR = 3NOP_DOS / 60$$

$$REDCH4_BOV = REDCH4_BOV60 \times FRAC_JAAR$$

Waarbij:

- $REDCH4_BOV$ = gecorrigeerde reductie van de methaanemissie bij melkkoeien, %
- $REDCH4_BOV60$ = berekende reductie bij een dosering van 60 ppm, %
- $FRAC_JAAR$ = correctiefactor

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

$$Reductie = (1 - (1 - REDCH4_SIL / 100) \times (1 - REDCH4_BOV / 100)) \times 100 (\%)$$

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 CH_4 . In de IPCC rekenregels is deze methaan conversie factor Y_m voor Noord West Europa vastgesteld op 6,3% 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, 2019).

$$BE \text{ opname veestapel}^* = DS \text{ opname veestapel} \times 18,45$$

$$CH_4 \text{ emissie (in kg } CH_4) = (BE_{opname} \times Y_m) / 55,65 \times 100$$

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

Waarbij:

- *BE* = Bruto energie, in MJ
- *DS* = Droge stof opname van veestapel, in kg
- *Ym* = Methaan conversie factor, hiervoor wordt 6,3% aangehouden
- 18,45 MJ/kg = Gemiddelde bruto energie inhoud van een kg DS rundvee rantsoen
- 6,3% = Methaan conversie factor voor jongvee in Noord West Europa (IPCC 2019)
- 55,65 MJ/kg = Energie-inhoud van een kg CH₄

Op basis van de DS opname (kg/jaar) en de IPCC methaan conversie factor *Ym* van 6,3% 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 6.3).

Voor paarden en pony's zijn alleen IPCC Tier 1 emissies beschikbaar (IPCC, 2019) (Tabel 6.3). 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:

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

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

Tabel 6.3 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	6,3%	63,7	1720
Weide- en zoogkoeien (cat. 120)	3433	6,3%	71,7	1936
Startkalveren, rosé- of roodvlees (cat. 115)	659	6,3%	13,8	373
Rosékalveren, 3 mnd - slacht (cat. 116)	2050	6,3%	42,8	1156
Rosékalveren, 2 wkn - slacht (cat. 117)	1561	6,3%	32,6	880
Roodvleesstieren, 3 mnd - slacht (cat. 122)	2656	6,3%	55,5	1499
Fokschapen, incl. lammeren (cat. 550)	469	6,3%	9,8	265
Vleeschschapen, <4 mnd (cat. 551)	62	6,3%	1,3	35
Overige schapen, >4 mnd (cat. 552)	312	6,3%	6,5	176
Melkgeiten (cat. 600)	833	6,3%	17,4	470
Opfok- en vleesgeiten, <4 mnd (cat. 601)	193	6,3%	4,0	108
Opfok- en vleesgeiten, >4 mnd (cat. 602)	496	6,3%	10,4	281
Pony's (cat. 941)	1546	-	12,8	346
Paarden (cat. 943)	3126	-	18,0	486
Ezels (cat. 961)	897		10,0	270
Waterbuffels, koeien (cat. 991)	4342	6,3%	90,7	2449
Waterbuffels, jongvee (cat. 992)	1737	6,3%	36,3	980

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 berekening van de CH₄-emissies in de KLV is gebaseerd op de 'Tier 2' benadering van IPCC (2019), maar wijkt hiervan af, doordat de KLV uitgaat 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:

$$CH_4_{Mest} = \sum_{T=1}^n [EF_{(T)} \cdot N_{(T)}]$$

Waarbij:

- CH_{4Mest} =: 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:

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} * 365) * BMP_{(T)} * 0.67 * \sum T \left[\left(\frac{MCF_{(S)}}{100} * MS_{(T,S)} \right) \right]$$

Waarbij:

- $EF_{(T)}$ = emissiefactor voor elke gedefinieerde diercategorie T in kg CH_4 per dier
- $VS_{(T)}$ = de productie van volatile solids ('vluchtige vaste stof') per diercategorie in kg drogestof per dier per dag
- BMP = maximale methaanproductie potentieel per diercategorie T in $m^3 CH_4$ per kg uitgescheiden VS
- 0.67 = dichtheid methaan (kg/m^3)
- $MCF_{(S)}$ = methaanconversiefactor per mestmanagementsysteem in procenten van BMP
- $MS_{(T,S)}$ = fractie van totale N-excretie van elke diercategorie T in mestmanagementsysteem S

BMP

De maximale CH_4 -vorming wordt bepaald door de afbreekbaarheid van de organische bestanddelen in de mest. De BMP wordt uitgedrukt in $m^3 CH_4/kg$ VS (Tabel 6.4).

$MCF_{(S)}$

De MCF geeft de mate aan waarin de hoeveelheid afbreekbare stof onder bepaalde condities ook daadwerkelijk wordt omgezet in CH_4 . Als default geeft IPCC waarden voor MCF per diercategorie afhankelijk van de gemiddelde temperatuur in een regio (Tabel 6.4).

$VS_{(T)}$

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:

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

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 4).

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 4). 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 KLW (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:

$$OS_{opname-i} (kg) = DS_{opname-i} (kg) \times (1000 - RAS_i (g/kg DS)) / 1000$$

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:

$$De \text{ tot-}OS_{opname} (kg) = \sum OS_{opname-1} (kg) + OS_{opname-2} (kg) + \dots + OS_{opname-i} (kg) (i = 1 \dots n)$$

De verteerbare organische stof opname van elk voedermiddel i is berekend als:

$$VOS_{opname-i} (kg) = OS_{opname-i} \times VCOS_i$$

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:

$$De \text{ tot-}VOS_{opname} (kg) = \sum VOS_{opname-1} (kg) + VOS_{opname-2} (kg) + \dots + VOS_{opname-i} (kg) (i = 1 \dots n)$$

Totale VS excretie 'onder de staart'

De VS excretie 'onder de staart' (VS-excr) wordt berekend als:

$$VS\text{-}excr = \text{tot-}OS_{opname} (kg) - \text{tot-}VOS_{opname} (kg) + VS_{urine} (kg)$$

VS uit voerverliezen

In de praktijk treden voerverliezen op, d.w.z. niet alle voer wordt door het dier opgenomen, er wordt ook voer 'geknoid'. Er wordt vanuit gegaan dat alle voerverliezen bij de vaste mest terecht komt. De bijdrage van voerverliezen aan de VS in de mest ($VS_{voerverlies}$) worden berekend als:

De netto organische stof opname van elk voedermiddel i , inclusief voerverlies ($OS\text{-}IVV_{opname-i}$) is berekend als:

$$OS\text{-}IVV_{opname-i} (kg) = DS\text{-}IVV_{opname-i} (kg) \times (1000 - RAS_i (g/kg DS))$$

De totale netto organische stof opname inclusief voerverlies tot- $OS\text{-}IVV_{opname}$ (kg), van het totale rantsoen met n voedermiddelen, is berekend als de som van de organische stof opnames van de individuele voedermiddelen:

$$De \text{ tot-}OS\text{-}IVV_{opname} (kg) = \sum OS\text{-}IVV_{opname-1} (kg) + OS\text{-}IVV_{opname-2} (kg) + \dots + OS\text{-}IVV_{opname-i} (kg) (i = 1 \dots n)$$

De VS die via voerverlies aan de mest wordt toegerekend wordt berekend als:

$$VS_{voerverlies} = \text{tot-}OS\text{-}IVV_{opname} (kg) - \text{tot-}OS_{opname} (kg)$$

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.

$$VS_{strooisel} = 0\% * \text{kg ds kalk} + 0,9 * \text{kg ds overig strooisel}$$

Totale VS excretie

De totale VS excretie inclusief voerverlies (VS-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.

$$VS = \sum (N_{\text{excretie}} \cdot T \cdot \text{Factor})$$

Waarbij:

- $N_{\text{excretie}(T)}$ = 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 bruto-excretie:
 - Dunne mest en weidemest: 15,6
 - Vaste mest: 25,8

Tabel 6.4 Parameterwaarden voor BMP (biochemisch methaanpotentieel, $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg VS}$) en MCF (methaanconversiefactor, % van BMP) in relatie tot diersoort en mestmanagementsystemen; waarden zijn ontleend aan Groenestein et al. (2016) en worden toegepast op de totale hoeveelheid geproduceerde VS in een meststroom en in geval van mestbewerking op de totale hoeveelheid VS van de meststroom die wordt bewerkt.

Mestmanagementsysteem	BMP $\text{m}^3/\text{kg VS}$	MCF
Weidemest	0,22	1
Stalopslag, dunne mest	0,22	17
Stalopslag, vaste mest	0,22	2
Scheiden dunne mest		
Opslag vóór scheiden	0,22	8,5
Opslag na scheiden		
Dunne fractie	0,22	5,85
Vaste fractie	0,22	2,65
Totaal		17
Vergisten		
Opslag vóór vergisten	0,22	3
Proces	0,22	92
Opslag na vergisten	0,22	1
Totaal		96

In Tabel 6.4 wordt bij mest scheiden een onderscheid gemaakt tussen de voor-opslag en de na-opslag van scheidingsproducten. Dit is gedaan, omdat via de CH_4 -emissie ook de OS/N-verhouding van toegediende mest wordt berekend vanuit de bruto uitscheiden organische stof (zie paragraaf 6.6.1.1.2) en dan is onderscheid tussen de scheidingsproducten van belang. T.b.v. berekening van de CH_4 -emissie voor de carbon footprint wordt gerekend met het totale percentage van 17% en wordt dat onderscheid niet gebruikt.

6.3.2.3 Mestbewerking

Bij mestscheiding zonder vergisting wordt er van uitgegaan dat CH_4 -emissies voor 50% vóór de scheiding plaatsvinden en voor 50% erna in de na-opslag (Tabel 6.4).

In geval van vergisting wordt ervan uitgegaan dat deze mest snel na uitscheiding (binnen drie dagen) wordt vergist. Daarom wordt voor deze hoeveelheid mest met een MCF (zie Tabel 6.4) gerekend van 3% van de BMP-waarde (maximale methaanproductie, zie Tabel 6.4) in de uitgescheiden mest in plaats van 17% bij geen vergisting. Vervolgens wordt voor de methaanproductie tijdens het vergistingsproces ervan uitgegaan dat 92% van de BMP in de vergister vrijkomt, 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. Ook bij de naopslag van het digestaat vindt nog enige methaanemissie plaats. Hierbij wordt uitgegaan van gemiddeld 1% van de BMP.

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, 2019; Fifth Assessment Report, 2014):

$$\text{Ureum} = \text{kg Nureum} * \text{NURE_URE} * \text{EF_CO}_2\text{Nure}/1000 * 44/12$$

Waarbij:

- $\text{NURE_URE} = 60/28$: (Ureum = CH₄N₂O, dus 60/28)
- $\text{EF_CO}_2\text{Nure} = 200$ (g CO₂/kg ureum)

$$\text{Kalk} = (\text{kgKalk_Dolo} * \text{EF_CO}_2\text{Dolo}/1000 + \text{kgKalk_Lime} * \text{EF_CO}_2\text{Lime} / 1000) * 44/12$$

Waarbij:

- $\text{EF_CO}_2\text{Lime} = 120$ (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 6.5 geeft aan welke activiteiten zich per type grasland voordoen en hoe vaak ze optreden.

Tabel 6.5 Frequentie van de activiteiten per snede grasland voor weiden, zomerstalvoeren, oogsten voor graskuil, oogsten voor hooi en oogsten voor grasdrogen (FeedPrint, 2025; Vellinga et al., 2013).

Activiteit	Snede Weiden	Snede oogst vers gras zomerstalvoeren	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 6.6) en welke aan zaaien gerelateerde activiteiten (Tabel 6.7) zich bij grasland voordoen.

Tabel 6.6 Frequentie van algemene activiteiten per ha grasland.

Activiteit	grasland, landwerk
Bekalken	0,25
Slepen	0,5
Rollen	0,5

Tabel 6.7 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 6.8),

- de producten van het aantal hectares en de frequenties per hectare voor kalk strooien, rollen en slepen en het diesilverbruik per bewerking (Tabel 6.8),
- 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 diesilverbruik van de bij inzaai nodige bewerkingen (Tabel 6.8).

Tabel 6.8 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, 2025; Vellinga *et al.*, 2013) zijn berekend (Tabel 6.9).

Tabel 6.9 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 6.10 geeft het directe energieverbruik per ton gevoerd product. Het voeren van mengvoer kost zo weinig energie, dat daarvoor geen apart energiegebruik wordt berekend.

Tabel 6.10 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).

$$\text{CO}_2 \text{ emissie} = \text{kg diesel} \times \text{MJ_per kg Diesel} \times (\text{EF_DieselVerbranding} + \text{EF_DieselProductie}) + \text{kWh elek} \times \text{MJ_per kWh Elec} \times \text{EF_ElektriciteitProductie}$$

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 x melkleverantie/1000 (KWh)
- Geen voorcoeler en wel warmterugwinning: verbruik = 14,0 x melkleverantie/1000 (KWh)
- Wel voorcoeler en geen warmterugwinning: verbruik = 8,0 x melkleverantie/1000 (KWh)
- Wel voorcoeler en wel warmterugwinning: verbruik = 10,0 x melkleverantie/1000 (KWh)

Melken (elektriciteit):

- Geen melkrobot: Verbruik = 500 x aantal melkstellen (KWh)
- Melkrobot eenbox: Verbruik = 10950 x aantal AMS-systemen (KWh)
- Melkrobot multibox: Verbruik = 21900 x aantal AMS-systemen (KWh)

Overige, waaronder verlichting (elektriciteit):

$$\text{Verbruik} = 1924 + 16,3 \times \text{aantal koeien (KWh)}$$

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: $(20 + \text{aantal melkstellen} \times 5) \times 0,8$
b: $(20 + \text{aantal melkstellen} \times 5) \times \text{aantal keren melken}$
c: $(a + b) \times 0,40$ indien ruim gedimensioneerd
d: $(\text{aantal koeien} \times 1,0) \times$ indien geen warmteterugwiningsinstallatie
e: $(45 + \text{aantal koeien} \times 0,75) / 2$

$$\text{Warmwater} = a + b + c + d + e$$

Geen warmteterugwinning:

- Warmtebron is elektrisch: Verbruik elektriciteit = warmwater x 29,644 (KWh).
- Warmtebron is gas: Verbruik gas = warmwater x 5,7631 (m³)
- Warmtebron is propaan: Verbruik propaan = warmwater x 7,3002 (ltr)
- Warmtebron is stookolie: Verbruik stookolie = warmwater x 5,0925 (ltr)

Wel warmteterugwinning:

- Warmtebron is elektrisch: Verbruik elektriciteit = warmwater x 12,7348 (KWh)
- Warmtebron is gas: Verbruik gas = warmwater x 3,6019 (m³)
- Warmtebron is propaan: Verbruik propaan = warmwater x 4,5627 (ltr)
- Warmtebron is stookolie: Verbruik stookolie = warmwater x 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 6.11

Tabel 6.11 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
Fokschape, incl. lammeren (cat. 550)	3,3	0
Vleeschape, <4 mnd (cat. 551)	2,7	0
Overige schape, >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 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.

Bij de eigen elektriciteitsproductie wordt onderscheid gemaakt naar elektriciteit uit biomassa (vergisting), wind, zon en overig. De EF wordt als volgt berekend:

$$\begin{aligned}
 EF_{elek_prod} = & \text{fractie elek Biomassa} \times EF_{Biomassa_elek} \\
 & + \text{fractie elek Wind} \times EF_{Wind} \\
 & + \text{fractie elek Zon} \times EF_{Zon} \\
 & + \text{fractie Overig} \times \text{emissie-coëfficiënt 'overig'}
 \end{aligned}$$

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:

$$(\text{fractie elek Biomassa} \times EF_{Biomassa_elek} + \text{fractie elek Wind} \times EF_{Wind} + \text{fractie elek Zon} \times EF_{Zon}) / (\text{fractie elek Biomassa} + \text{fractie elek Wind} + \text{fractie elek Zon})$$

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 via een generator elektriciteit mee op 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 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:

- $FR_Elek_BEC = \text{fractie verbruik elektriciteit voor graasdieren- en akkerbouwtak van totale verbruik elektriciteit}$
- $FR_Gas_BEC = \text{fractie verbruik gas voor graasdieren- en akkerbouwtak van totale verbruik gas}$
- $FR_Propaan_BEC = \text{fractie verbruik propaan voor graasdieren- en akkerbouwtak van totale verbruik propaan}$
- $FR_Stookolie_BEC = \text{fractie verbruik stookolie voor graasdieren- en akkerbouwtak van totale verbruik stookolie}$

De hoeveelheid verbruikte eigen opgewerkte energie voor de graasdier- en akkerbouwtak (in de formules aangemerkt met BEC) wordt berekend als:

$$\begin{aligned} \text{VerbruikEigenElekBEC} &= (\text{productie elektriciteit} - \text{teruglevering elektriciteit}) \times FR_Elek_BEC \\ \text{VerbruikEigenGasBEC} &= (\text{productie groen gas} - \text{teruglevering groen gas}) \times FR_Gas_BEC \end{aligned}$$

Het verbruik van geleverde energie in de BEC wordt als volgt berekend:

$$\begin{aligned} \text{Verbruik_GeleverdElekBEC} &= \text{LeveringElek} \times FR_Elek_BEC \\ \text{Verbruik_GeleverdGasBEC} &= \text{LeveringGas} \times FR_Gas_BEC \\ \text{Verbruik_GeleverdPropaanBEC} &= \text{LeveringPropaan} \times FR_Propaan_BEC \\ \text{Verbruik_GeleverdStookolieBEC} &= \text{LeveringStookolie} \times FR_Stookolie_BEC \end{aligned}$$

Vervolgens wordt de hoeveelheid CO₂-emissie per energiebron berekend door de energiehoeveelheden te vermenigvuldigen met de EF-waarden (zie Bijlage 5).

Voor CO₂ elektriciteit:

$$\begin{aligned} \text{Verbruik_GeleverdElekBEC in kWh} \times 3,6 \times (E_{\text{Elek_grijs}} \times \text{aandeel grijze stroom} \\ + E_{\text{Elek_groen}} \times \text{aandeel groene stroom}) \\ + \text{VerbruikEigenElekBEC in kWh} \times 3,6 \times E_{\text{Elek_prod}} \end{aligned}$$

Voor CO₂ gas:

$$\begin{aligned} \text{Verbruik_GeleverdGasBEC in m}^3 \times \text{aandeel normaal gas} \times 31,65 \times EF_{\text{gas_norm}} \\ + \text{Verbruik_GeleverdGasBEC in m}^3 \times \text{aandeel groen gas} \times 31,65 \times EF_{\text{groen gas}} \\ + \text{VerbruikEigenGasBEC in m}^3 \times 31,65 \times EF_{\text{groen gas eigen}} \end{aligned}$$

Voor CO₂ prop:

$$\text{VerbruikGeleverdPropaanBEC in ltr} \times 0,51 \times 45,2 \times EF_{\text{propaan}}$$

Voor CO₂ olie:

$$\text{Verbruik_GeleverdStookolieBEC in ltr} \times 0,84 \times 41,0 \times EF_{\text{stookolie}}$$

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 gassen zoals CO₂). Deze hoeveelheid is lager dan de hoeveel geproduceerd biogas zoals dat uit de vergister komt. Omdat het eigen geproduceerde opgewaardeerde groen gas vergelijkbaar is met aardgas, is hiervoor dezelfde calorische waarde gebruikt als voor door een nutsbedrijf 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 produceren en onderhoud van trekkers en 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.

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ indirect} &= MJ \text{ elektriciteit} \times EF_{\text{Elektriciteit indirect}} \\ &+ MJ \text{ aardgas} \times EF_{\text{Aardgas}} \\ &+ MJ \text{ kerosine} \times EF_{\text{Kerosine}} \\ &+ MJ \text{ bruinkool} \times EF_{\text{Kolen}} \end{aligned}$$

Grasland

In Tabel 6.12 staat het indirecte energieverbruik per eenheid bewerking op grasland.

Tabel 6.12 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
Sputten	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.

Bouwland

In Tabel 6.13 staat het indirecte energieverbruik per ha bouwland.

Tabel 6.13 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 6.14 staat het indirecte energieverbruik voor het machineverbruik bij het voeren.

Tabel 6.14 Indirect energieverbruik voor voeren per ton product van de verschillende voedermiddelen. De producten en 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 (ton product)	2,0496	1,3976	2,0665	0,2386
Overig ruwvoer (ton product)	4,2212	2,8162	4,4880	0,4808
Bijproducten (ton product)	8,2959	5,2220	9,9837	0,8916
Vers gras (ton product)	0,2626	0,1816	0,2553	0,0310

6.4.2.3 Aanvoer voedermiddelen

Voor een aantal voedermiddelen worden de CO₂-waarden voor aanvoer in principe aangeleverd door de mengvoerleverancier (zie Bijlage 4). Indien deze CO₂-waarden niet aangeleverd zijn, wordt met 4 vaste CO₂-waarden gerekend (zie Tabel 6.15). Deze waarden zijn voor mengvoer gebaseerd op 3 samenstellingen en het gebruik van gemiddelde mengvoersoorten in 2018/2019. Er wordt voor mengvoer geïnterpoleerd tussen deze 3 waarden op basis van het RE-gehalte per voerpartij:

- Standaard mengvoer = 143 g RE/kg
- Eiwitrijk mengvoer = 222 g RE/kg
- Extra eiwitrijk mengvoer = 278 g RE/kg

Tabel 6.15 Gehanteerde vaste CO₂-waarden (in g/kg) indien deze niet door de mengvoerleverancier worden aangeleverd. CO₂-waarden zijn exclusief transport en fijnmalen/brok maken

Voedermiddel	CO ₂ biogeen	CO ₂ fossiel	CO ₂ LUC	CO ₂ veen
Mengvoer standaard	31	359	158	62
Mengvoer eiwitrijk	24	393	570	59
Mengvoer extra eiwitrijk	10	481	950	36

Voor ruwvoer zijn de waarden ontleend ontleend aan FeedPrint (FeedPrint, 2025; Vellinga *et al.*, 2013) en Agri-Footprint (zie ook Bijlage 4). Daarin werd nog geen rekening gehouden met veenemissies. Vanaf 2024 is dat wel het geval. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen gras (vers, kuil, hooi), overige graslandproducten, snijmaaisproducten en overige ruwvoer en natte bijproducten. Voor gras (vers, kuil en hooi) is de aanvoer CO₂-veen via het voer afhankelijk gesteld van het aandeel eigen teelt op veen en/of moerige grond. Voor de overige gewasgroepen is de veenemissie berekend o.b.v. het landelijk aandeel veengrond en moerige grond in het totale areaal van de betreffende gewasgroep en een gemiddeld emissiewaarde (onderscheid hooggelegen veen, kustvlakte veen, hooggelegen moerige grond en kustvlakte moerige grond).

De CO₂-emissies van aangekocht ruwvoer 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). Tot en met de K LW-2024-versie werd bij aanvoer van kunstmest een emissiefactor gebruikt per kg aangevoerde N, P₂O₅ en K₂O. In de K LW-versie-2025 wordt voor een aantal veel gebruikte kunstmestsoorten meststofspectifieke EF-waarden (per kg meststof) gebruikt op basis van de emissies bij de productie. Dat betreft de volgende meststoffen:

- N-meststoffen
 - Ammoniumnitraat
 - Kalkammonsalpeter / N+S meststof / N + S blend
 - Urean / NTS / N+S vloeibaar
 - Ureum / Ureum + Zwavel
 - Zavelzure ammoniak
- P-meststoffen
 - Superfosfaat
 - Tripelsuperfosfaat
- K-meststoffen
 - Kaliumchloride / Kali 60 / Korn Kali
 - Kaliumsulfaat / Kali 50
- NPK-meststoffen
 - DAP / NP 18-46 / N+P meststof
 - NPK-meststof
 - PK-meststof
- Kalkmeststoffen
 - Kalk – dolomiet
 - Kalk – kalksteen

Bij de overige kunstmestsoorten wordt nog wel uitgegaan van de EF-waarden per kg N, P₂O₅ en K₂O.

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 6.16.

Tabel 6.16 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 soorten strooisel (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 6.17. Dit verbruik wordt vermenigvuldigd met de EF-waarde (Bijlage 5).

Tabel 6.17 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. Vanaf de KLV 2024-versie is de rekenwijze aangepast. Eerder werden default-waarden gehanteerd uit Agri-Footprint die verouderd zijn en minder passend zijn bij de huidige Nederlandse melkveehouderij.

In opdracht van ZuivelNL is een nieuwe berekening uitgevoerd. Er is gebruik gemaakt van een representatieve set van ruim 580 melkveebedrijven (jaar 2023), waarbij de allocatiefactor naar vlees kleiner of gelijk is aan 0,25 en er geen sprake was van aankoop van dieren.

Voor deze bedrijven is de CO₂-emissie samenhangend met aangekochte dieren als volgt berekend:

$$CO_2\text{-aanvoer dieren (g CO}_2\text{-eq/MJ)} = \frac{\text{Totale CO}_2\text{-eq emissies bedrijf} \times \text{allocatiefactor vlees}}{\text{totale energie voor afvoer dieren}}$$

Voor de berekening van de allocatiefactor en totale energie voor afvoer dieren wordt verwezen naar paragraaf 6.2.3.

Gemiddeld was de waarde voor de aangevoerd melkvee 334 gram CO₂-eq/MJ (opgesplitst naar oorsprong: 170 g, 103 g, 8 g en 53 g voor resp. biogeen, fossiel, LUC en veen).

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 6.18. Het verbruik wordt vermenigvuldigd met de EF-waarde (Bijlage 5).

Tabel 6.18 Verbruik van plastic als afdek materiaal bij de ruwvoer soorten graskuil en maïs (kg/ton DS), bron: Hospers et al., 2019.

Ruwvoer soort	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 6.19). De afstand wordt vermenigvuldigd met de EF-waarde (Bijlage 5).

Tabel 6.19 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 KringloopWijzer 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 6.20 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 6.20 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}	Voyerresten
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 6.21). Voor de op het eigen bedrijf geproduceerde mestsoorten wordt, m.u.v. digestaat gebruik gemaakt van bedrijfsspecifieke OS/N-verhouding (zie ook paragraaf 6.6.1.1.2). Voor de overige mestsoorten wordt uitgegaan van de de OS/N-verhoudingen zoals weergegeven in Tabel 6.21.

Tabel 6.21 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)
Voyerresten (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 Op basis van 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 6.20) 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 6.20) 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:

$$EOSAan2_{pure_mest} \text{ op grasland} = \text{Fractie 'echte' mest} \times \text{Aan2 op grasland} \times OS/N_{mest} \times HC_{mest}$$

$$EOSAan2_{pure_mest} \text{ op bouwland} = \text{Fractie 'echte' mest} \times \text{Aan2 op bouwland} \times OS/N_{mest} \times HC_{mest}$$

$$\text{met Fractie 'echte' mest} = ((\text{Aan2 op bedrijfsgemiddeld niveau, kg N/ha} - \text{gewogen gemiddelde voerrest van alle gebruikte voedermiddelen, kg N/ha}) / (\text{Aan2 op bedrijfsgemiddeld niveau, kg N/ha}))$$

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 ($OSAan2_{voerrest}$) wordt dan gelijk aan:

$$EOSAan2_{voerrest} \text{ op grasland} = (1 - \text{Fractie 'echte' mest}) \times \text{Aan2 op grasland} \times OS/N_{voerrest} \times HC_{versgewas}$$

$$EOSAan2_{voerrest} \text{ op bouwland} = (1 - \text{Fractie 'echte' mest}) \times \text{Aan2 op bouwland} \times OS/N_{voerrest} \times HC_{versgewas}$$

$$HC_{versgewas} = 0,25 \text{ en } OS/N_{voerrest} \text{ gebaseerd op het gemiddeld N-gehalte van het ingekuilde ruwvoer}$$

6.5.2 Gewasresten

De aanvoer via gewasresten en groenbemesters (EOSAan6+7 en EOSAan8, Tabel 6.20) 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 6.22**). 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 6.22 Organische stof bijdrage (OS, kg per ha per jaar) en humificatie-coëfficiënt (HC) van enkele akkerbouwgewassen en groenbemesters (bron: www.handboekbodemenbemesting.nl).

Gewas	Gewasrest OS	Gewasrest HC	Bijproduct OS	Bijproduct HC
Gras, blijvend, 1 ^e jaar na herinzaai	6800	0,320		
Gras, blijvend, overig	10200	0,330		
Gras, tijdelijk	6800	0,290		
Gras, volggewas	4000	0,320		
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 CO₂-emissie bodem

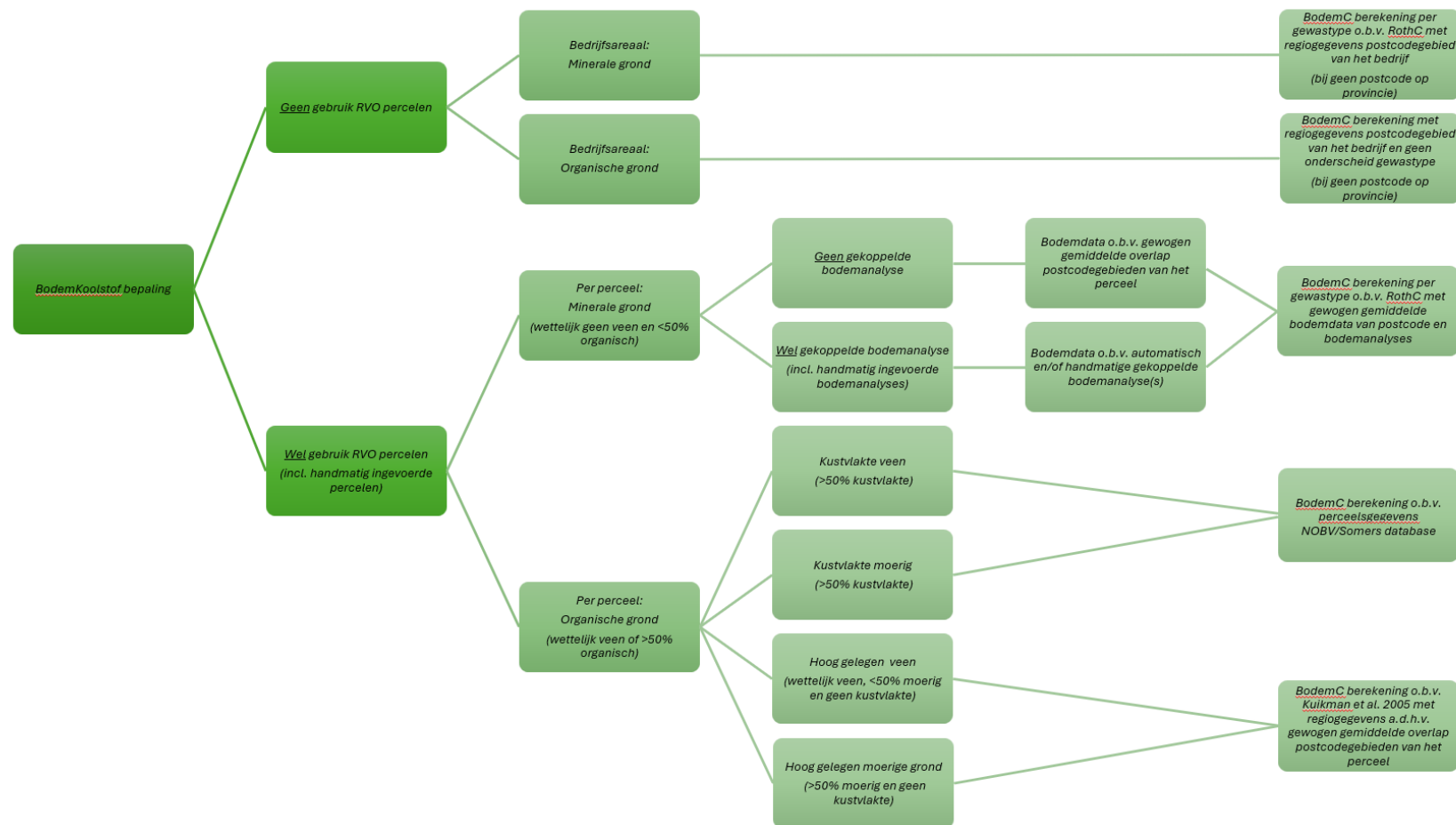
In de KLW-versie 2022 is een bodemkoolstof-module toegevoegd aan de KringloopWijzer met indicatieve berekeningen van de CO₂-emissie van minerale en organische gronden. In de versie 2024 zijn diverse wijzigingen doorgevoerd. Mede daardoor zijn de berekeningen niet langer indicatief.

De belangrijkste kenmerken van de 2024-versie zijn:

- De benodigde data zijn deels al voorhanden in de Kringloopwijzer. Voor additionele data kunnen gebruikers kiezen uit twee opties:
 - o Regio-specifiek: geen extra data-invoer door gebruikers; additionele data wordt via de postcode van het bedrijf opgehaald uit tabellen, die op haar beurt deels zijn afgeleid uit kaarten.
 - o Perceel-specifiek: extra perceelsdata wordt opgehaald uit gekoppelde bodem-analyses of uit gekoppelde 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.
- Organische gronden zijn onderverdeeld in kustvlaktegronden en hoog gelegen gronden.
 - o Voor hoog gelegen gronden wordt de huidige NIR-methodiek gebruikt (Arets *et al.*, 2019; Kuikman *et al.*, 2005).
 - o Voor kustvlaktegronden wordt een nieuwe methode gebruikt op basis van het SOMERS model (<https://www.nobveenweiden.nl/bevindingen-rekenregels/>). Deze methode wordt ook in de NIR ingevoerd.
- Moerige gronden die in de RVO grondsoortenkaart (meststoffenwet) als mineraal zijn aangewezen, worden in de bodem koolstof module als organische grond gezien.
- De koolstof- en stikstofkringloop worden integraal beschouwd.
 - o De voorraadverandering organische N op minerale gronden is via de C/N verhouding gekoppeld aan de voorraadverandering C (zie ook hoofdstuk 4, BEN).
 - 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 grondsoort, type bovengrond en ontwatering.
- 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.

Figuur 6.3 geeft een overzicht van het gebruik van addionele data en de toegepaste rekenregels. Het overzicht maakt onderscheid tussen:

- Gebruik van RVO-percelen (ja/nee)
- Grondsoort (Mineraal/Organisch)
- Organische grondsoort (Kustvlakte/Hoog gelegen)



Figuur 6.3 Overzicht additionele databronnen en rekenregels in bodem koolstof module.

6.6.1 CO₂-emissie minerale gronden

De CO₂-emissie van minerale gronden wordt berekend uit de koolstofbalans van de bovengrond (0-25 cm-mv).

$$CO_2\text{-emissie [kg/ha]} = C\text{-balans [kg/ha]} \times 44/12$$

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 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 6.22) 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 6.22)

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 geoogste gewassen (GPS, GRANG, GRANK, PEUL, UIBOL, POOT) met een koolstofaanvoer van 2 t/ha. Indien de oppervlakte groenbemesters groter is dan de oppervlakte vroeg geoogste gewassen, dan wordt de rest van het groenbemesterareaal eerst toegewezen aan de groep met later geoogste 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 6.22) wordt evenredig verdeeld over twaalf maanden. De kwaliteit van de organische stof (afbreekbaarheid) wordt geduid 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

Bij de berekening van de aanvoer van koolstof uit organische mest wordt onderscheid gemaakt tussen de eigen geproduceerde dierlijke mest en de aangevoerde organische mest van buiten het bedrijf. Bij de eigen geproduceerde mest wordt de hoeveelheid koolstof berekend uit de berekende excretie van organische stof en de afbraak gedurende de opslag (zie hieronder). Uitzondering hierop is digestaat en de eventueel gescheiden dunne en dikke fractie ervan, hierbij wordt voorlopig nog uitgegaan van een vaste OS/N-verhouding (Tabel 6.21). Dat geldt ook voor de C-aanvoer via aangevoerde mest van buiten het bedrijf.

Zoals hierboven aangegeven wordt voor de eigen geproduceerde dierlijke mest m.u.v. digestaat de C- aanvoer berekend op basis van de berekende excretie van organische stof. Dit betreft echter de bruto-excretie ('onder de staart'). Voordat de mest toegediend wordt op het land gaat er via C emissie (CH₄ en CO₂) weer OS uit de mest verloren tijdens de voor- en na-opslag van mest. Daarnaast wordt in de opslag ook extra C aan de mest toegevoegd via o.a. strooisel en voerresten (zie Tabel 3.2). Om de OS-verliezen tussen excretie en toediening van mest op het land te berekenen wordt eerst de CH₄-vorming berekend uit de hoeveelheid uitgescheiden VS (volatile solids = organische stof) en daarna wordt de hoeveelheid gevormde CH₄ (in kg) teruggerekend naar de hoeveelheid OS (in kg) via een massaverhouding tussen CO₂ en CH₄ in het geëmitteerde gas.

Het C-verlies wordt berekend via:

$$\begin{aligned} C\text{-verlies}_{CH_4} &= CH_4\text{-emissie} * 12 / 16 \\ C\text{-verliestot} &= C\text{-verlies}_{CH_4} / fr_{CH_4-C} \\ OS\text{-verlies} &= C\text{-verliestot} / 0,50 \end{aligned}$$

Waarbij:

- $C\text{-verlies}_{CH_4}$ = CH₄-emissie uitgedrukt in kg C
- CH₄-emissie = CH₄-emissie in kg (voor berekening zie paragraaf 6.3.2)
- fr_{CH_4-C} = de fractie CH₄-C in gevormd gas, de rest is CO₂-C (= volumefractie)
- C-verliestot = totale C-verlies als gevolg van emissie van CH₄ en CO₂
- 0,50 = C-gehalte in organische stof

De CH₄-emissie en bijbehorende C-verliezen wordt berekend voor de volgende onderdelen:

- Tijdens opslag in de stal en externe opslag (in de NEMA is dit één post)
- Tijdens de na-opslag van mest na de mestbewerking (dikke en dunne fractie)
- Voor weidemest

Voor de CH₄-emissie wordt verwezen naar paragraaf 6.3.2. Voor fr_{CH_4-C} wordt uitgegaan van een waarde van 0,25. Deze waarde is gebaseerd op Petersen *et al.* (2024). Hierin wordt echter alleen een waarde gegeven voor het gas dat ontstaat bij de opslag van drijfmest. M.u.v. digestaatstromen is deze waarde ook gebruikt voor het gas dat ontstaat bij de opslag van de andere meststromen en bij de weidemest.

Om te voorkomen dat de KringloopWijzer rekent met sterk afwijkende OS/N-waarden wordt er per mestsoort uitgegaan van minimum- en maximumwaarden (Tabel 6.23). Bij lagere of hogere berekende waarden wordt uitgegaan van de vaste OS/N-waarden zoals weergegeven in Tabel 6.21.

Tabel 6.23 Minimum- en maximum-waarden voor berekende OS/N-verhouding per mesttoort.

Mestsoort	Minium	Maximum
Weidemest graasdieren	5	
Drijfmest graasdieren ¹	5	
Vaste mest graasdieren ²	10	
Dunne fractie graasdieren	1	20
Dikke fractie graasdieren	10	50

¹ Geen maximum omdat bij bedrijven met alleen vaste mest de 'drijfmest' bestaat uit zaagsel

² Geen maximum omdat bij bedrijven met alleen drijfmest de vaste meste bestaat uit stro en voerrest

De C-aanvoer via aangevoerde mest van buiten het bedrijf wordt berekend via de stikstof: organische stof verhouding in de betreffende organische mestsoorten (Tabel 6.21).

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 regiospecifiek

Voor de berekening van de koolstofbalans van minerale grondsoorten worden de volgende data gebruikt:

- maandelijks neerslag, temperatuur en verdamping
- koolstofgehalte en lutumgehalte 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. Er wordt gebruik gemaakt 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 en löss (Wösten *et al.*, 2001) en zand (Hoekstra en Poelman, 1982):

$$BD_{klei_löss} = 1 / (0,6117 + 0,003601 \times LUT + 0,002172 \times (BOC / 0,54)^2 + 0,01715 \times \ln(BOC / 0,54))$$

$$BD_{zand} = 1 / (0,667 + (0,021 \times (BOC / 0,54)))$$

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.

$$BOC_{25} = BOC \times BD \times 25$$

Tot slot, wordt de gewas-specieke bodembedekking opgehaald uit de data in Bijlage 9.

6.6.1.2.2 Invoerdata perceelspecifiek

Indien de gebruiker kiest voor gebruik perceleninformatie wordt een deel van de bovenstaande regio-specifieke data overschreven door perceel-specifieke data. Per perceel zijn er twee mogelijkheden:

1. GRONDMONSTERS. Een perceel heeft een bodemonmonster van maximaal vier jaar geleden dat minimaal met 80% overlapt met het gewasperceel. In dat geval worden de onderstaande data aan het gewasperceel gekoppeld.
 - Koolstofgehalte bodem in laag 0-25 cm-mv.

Indien het koolstofgehalte niet bekend is wordt het berekend uit het organische stofgehalte:

$$\text{Koolstofgehalte} = \text{Organische stofgehalte} \times 0,54$$

Indien de bemonsteringsdiepte 0-10 cm-mv (SOC10) bedraagt wordt het gehalte omgerekend naar 0-25 cm-mv (SOC25) met behulp van de onderstaande formules:

$$\text{Indien lutum} \leq 10 \text{ dan } \text{SOC25} = -0,21068 + 0,970874 \times \text{SOC10}$$

$$\text{Indien lutum} > 10 \text{ dan } \text{SOC25} = 0,622093 + 0,581395 \times \text{SOC10}$$

- Organische stofgehalte in laag 0-25 cm-mv. Omrekening voor afwijkende bodemdieptes zoals bij het koolstofgehalte.
 - Lutumgehalte bodem in laag 0-25 cm-mv. Geen omrekening voor afwijkende monsterdieptes.
 - CN-verhouding in laag 0-25 cm-mv. Geen omrekening voor afwijkende monsterdieptes.
2. REGIO. Een perceel heeft geen gekoppeld bodemonmonster. In dat geval worden de onderstaande data opgehaald uit de postcode-tabellen op basis van de ligging van het perceel.
 - Koolstofgehalte bodem in laag 0-25 cm-mv.
 - Lutumgehalte bodem in laag 0-25 cm-mv.

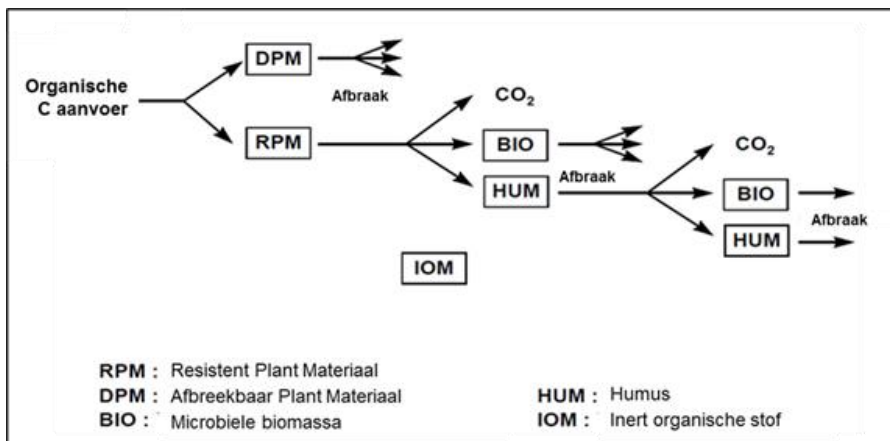
De RothC-berekening vindt plaats met behulp van het gewogen gemiddelde van de bodemkenmerken conform 1. ("grondmonsters") en 2. ("regio"). Bijvoorbeeld, de ene helft van de maïs-percelen heeft een gekoppeld bodemonmonster met een gemiddeld koolstofgehalte van 1,0%. De andere helft heeft geen gekoppeld monster; het koolstofgehalte op basis van de ligging van de percelen bedraagt 1,2%. RothC rekent in dat geval met 1,1%.

6.6.1.2.3 Rekenregels

Het RothC-model onderscheidt vijf componenten (Figuur 6.4) van bodemkoolstof, elk met een eigen afbraaksnelheid:

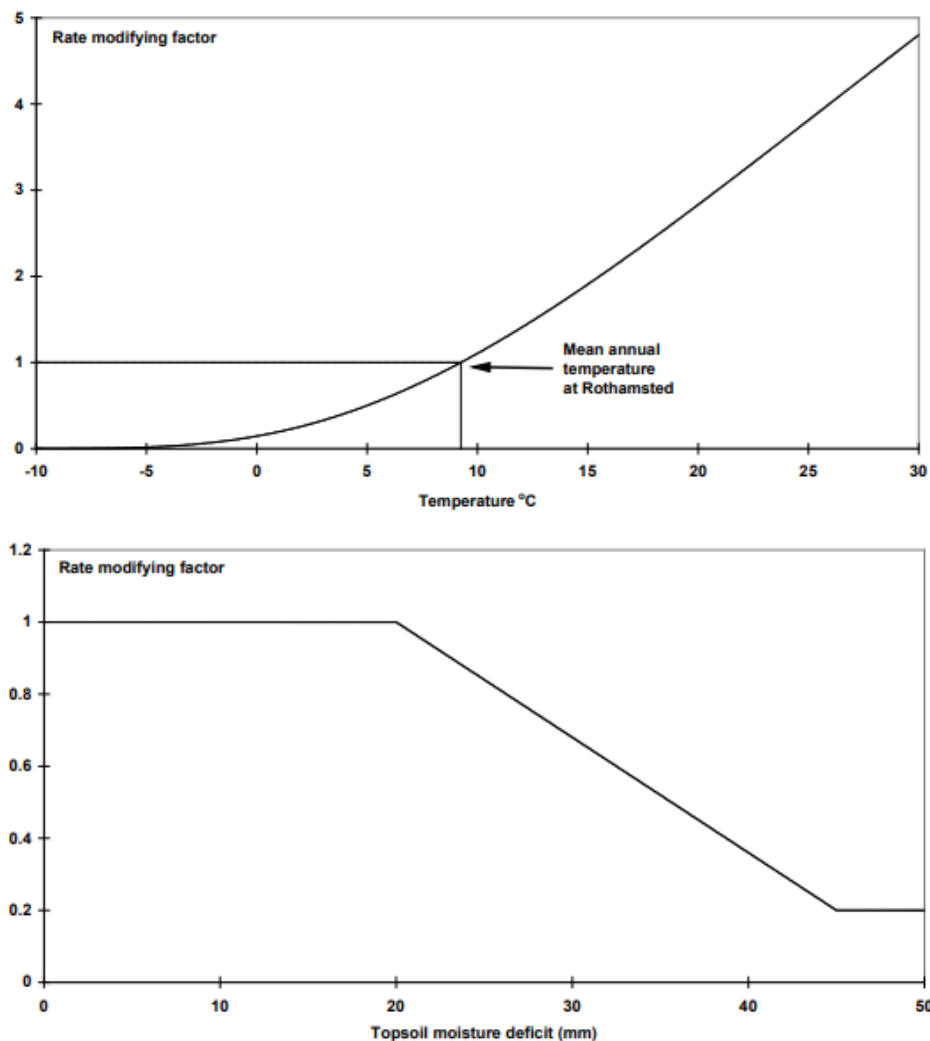
- Afbreekbare organische stof (Decomposable Plant Matter; DPM)
- Resistente organische stof (Resistant Plant Matter; RPM)
- Microbiele biomassa (Microbial Biomass; BIO)
- Humus (Humified Matter; HUM)
- Inerte organische stof (Inert Organic Matter; IOM)

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.



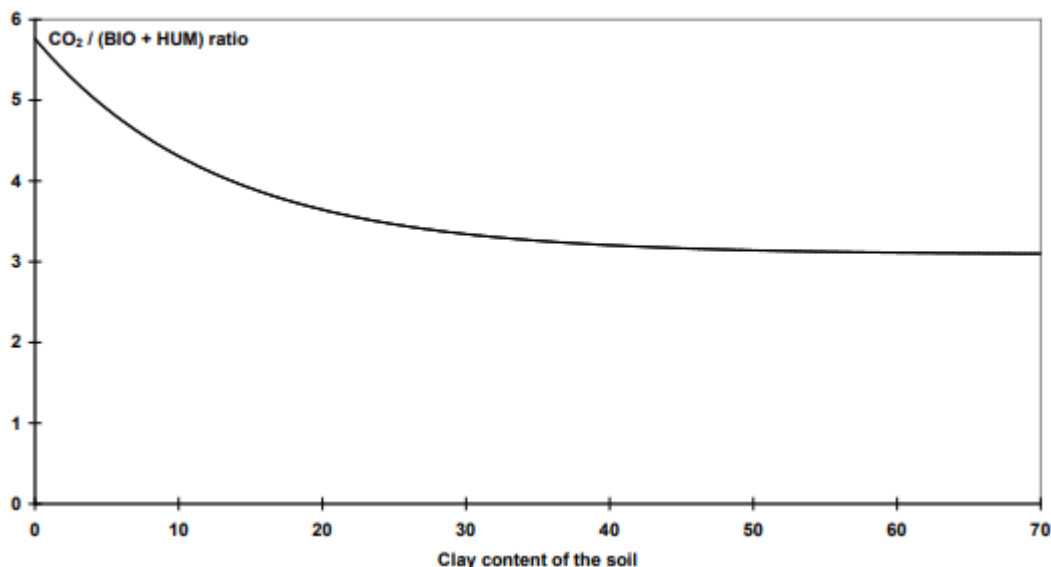
Figuur 6.4 Vereenvoudigd schema van het RothC model.

De standaard afbraakconstanten veranderen onder invloed van temperatuur, bodemvocht en bodembedekking. De afbraaksnelheid neemt af naarmate de temperatuur daalt tot een temperatuur van $-5^{\circ}C$ waarbij de afbraak nul is (Figuur 6.5, 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 6.5, onder). Het maximale vochttekort is afhankelijk van het lutumgehalte en de bodembedekking.



Figuur 6.5 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 6.6). 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 6.6 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 CO₂ emissie van organische gronden

Bij organische gronden 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.

6.6.2.1 Invoerdata regiospecifiek

De informatie over de bodemkenmerken en de berekenende CO₂-emissie wordt opgehaald uit onderstaande postcode-6 tabellen, op basis van de postcode van het bedrijf.

- Verdeling kustvlakte en hoog gelegen gronden.
- Kenmerken hoog gelegen gronden (grondsoort, type bovengrond en ontwatering, maaiveld, CO₂-emissie).
- Kenmerken kustvlakte gronden (archetype, grondsoort, profiel, slootafstand, maaiveld, zomer- en winterpeil, infiltratiemaatregelen en CO₂-emissie).

6.6.2.2 Invoerdata perceelspecifiek

Indien de gebruiker kiest voor gebruik perceleninformatie wordt een deel van de bovenstaande regio-specifieke data overschreven door perceel-specifieke data. Per perceel zijn er twee mogelijkheden:

1. PERCEEL. Een perceel van een bedrijf heeft voor minimaal 50% overlap met een perceel van de kustvlakte-kaart, en krijgt daarvan alle bodemkenmerken. In de praktijk is bij koppeling meestal

sprake van een overlap groter dan 90%. Dit komt alleen voor bij kustvlakte gronden. Van hoog gelegen gronden is geen percelenkaart beschikbaar.

2. REGIO. Een perceel heeft geen gekoppelde kenmerken van een kustvlakte-perceel. De kenmerken worden opgehaald uit de postcode-tabellen obv de ligging van het perceel. Dit geldt per definitie voor alle hoog gelegen gronden. Daarnaast kan dit in een beperkt aantal gevallen voorkomen voor kustvlakte gronden.

De berekening van de CO₂-emissie vind plaats met behulp van het gewogen gemiddelde van de bodemkenmerken conform 1. ("perceel") en 2. ("regio").

6.6.2.3 Rekenregels

De CO₂-emissie is het gewogen gemiddelde van de emissies van hooggelegen en kustvlakte gronden op het bedrijf.

6.6.2.3.1 Hoog gelegen gronden

Voor hoog gelegen organische gronden wordt de maaivelddaling berekend uit de grondsoort, het type bovengrond en de ontwatering (slecht, redelijk, goed). Met deze methode varieert de maaivelddaling van 1,5 tot 18 mm per jaar en de CO₂-emissie van 6 tot 41 t CO₂/ha/jaar (Tabel 6.24).

Tabel 6.24 Gemiddelde maaivelddaling (mm/jaar) en CO₂-emissie van Nederlandse organische gronden (Kuikman et al., 2005) in relatie tot grondsoort, bovengrond en ontwatering. Slechte ontwatering: grondwatertrappen I en II. Redelijke ontwatering: grondwatertrappen IIb, III en IIIb. Goede ontwatering: grondwatertrappen IV en hoger.

			Ontwatering		
	Grondsoort	Bovengrond	Slecht	Redelijk	Goed
Maaiveld­daling (mm/jaar)					
	Veen	Mineraal	3,0	8,0	13,0
	Veen	Moerig	6,0	12,0	18,0
	Moerig		1,5	2,6	4,2
C-afbraak (kg/ha/jaar)					
616 kg/mm	Veen	Mineraal	1848	4928	8008
616 kg/mm	Veen	Moerig	3696	7392	11088
1093 kg/mm	Moerig		1640	2842	4591
CO2-emissie (kg/ha/jaar)					
2259 kg/mm	Veen	Mineraal	6776	18069	29363
2259 kg/mm	Veen	Moerig	13552	27104	40656
4007 kg/mm	Moerig		6012	10420	16832

6.6.2.3.2 Kustvlakte gronden

De CO₂-emissie van kustvlakte organische gronden wordt berekend met het SOMERS model (versie 2.0 <https://www.nobveenweiden.nl/bevindingen-rekenregels/>). De emissie wordt per jaar berekend en is afhankelijk van de weersomstandigheden, het archetype en de hydrologie. Het archetype beschrijft de grondsoort en het profiel (Tabel 6.25). De hydrologie van een perceel wordt bepaald door de hoogte van het maaiveld, het slootpeil, de slootafstand en de aanwezigheid van eventuele infiltratiemaatregelen. De berekeningen worden elk jaar opnieuw gedaan. In de KLV versie 2024 zijn de berekeningen over 2022 meegenomen.

Tabel 6.25 *Overzicht van archetypes van kustvlakte organische gronden.*

Archetype	Hoofdgrondsoort	Grondsoort	Profiel
kWp	Moerig	Moerig veen	Klei bovengrond met zand ondergrond
zWp	Moerig	Moerig veen	Zand bovengrond met zand ondergrond
vWz	Moerig	Moerig veen	Moerige bovengrond met zand ondergrond
iWp	Moerig	Moerige veenmosveen	Moerige bovengrond met zand ondergrond
Wo	Moerig	Moerig veen	Moerige bovengrond met klei ondergrond
hVb	Veen	Veen	Moerige bovengrond met moerige ondergrond
hVc	Veen	Veen	Moerige bovengrond met moerige ondergrond
hVk	Veen	Veen	Moerige bovengrond met klei ondergrond
hVz	Veen	Veen	Moerige bovengrond met zand ondergrond
hVs	Veen	Veenmosveen	Moerige bovengrond met moerige ondergrond
kVs	Veen	Veenmosveen met mineraal dek	Klei bovengrond met moerige ondergrond
pVb	Veen	Veen met mineraal dek	Klei bovengrond met moerige ondergrond
pVc	Veen	Veen met mineraal dek	Klei bovengrond met moerige ondergrond
kVc	Veen	Veen met mineraal dek	Klei bovengrond met moerige ondergrond
kVk	Veen	Veen met mineraal dek	Klei bovengrond met klei ondergrond
kVz	Veen	Veen met mineraal dek	Klei bovengrond met zand ondergrond
Vc	Veen	Veen	Moerige bovengrond met moerige ondergrond
aVz	Veen	Veen	Moerige bovengrond met zand ondergrond
iVp	Veen	Veenmosveen	Moerige bovengrond met zand ondergrond
Vk	Veen	Veen	Moerige bovengrond met klei ondergrond
Vz	Veen	Veen	Moerige bovengrond met zand ondergrond
Vp	Veen	Veenmosveen	Moerige bovengrond met zand ondergrond
aVc	Veen	Veen	Moerige bovengrond met moerige ondergrond
zVz	Veen	Veen met mineraal dek	Zand bovengrond met zand ondergrond
zVp	Veen	Veenmosveen met mineraal dek	Zand bovengrond met zand ondergrond

Tabel 6.26 geeft een overzicht van de mediane emissies voor alle archetypes bij verschillende zomerpeilen. De data zijn gemiddeld over alle voorkomend winterpeilen, slootafstanden en regio's, zonder toepassing van infiltratiemaatregelen.

Tabel 6.26 *Mediane CO₂-emissies (kg/ha/jaar) van archetypes in relatie tot zomerpeil (m onder maaiveld), zonder toepassing van infiltratiemaatregelen.*

Archetype	0,2	0,5	0,8	1,1
hVb	6119	11934	18976	24120
hVk	6445	11809	19327	24923
hVs	7626	13675	21007	26632
hVz	3954	9156	16615	22384
iWp	4199	7767	12389	16297
kVk	3348	8113	15252	20584
kVs	6055	10736	16787	21641
kVz	3420	7195	12698	17179
kWp	1806	4967	10375	15060
pVb	5987	11018	17130	21735
Vp	5380	10361	17031	22684
vWz	6218	11443	16860	20422
Wo	6943	10410	13176	14997
zVz	3315	7839	14287	19585
zWp	4382	9179	14800	18581

6.6.2.4 Correctiefactor moerige gronden

In de bodemkoolstofmodule worden ook moerige gronden meegenomen die volgens de RVO grondsoortenkaart (Messtoffenwet) minerale gronden zijn. Indien de gebruiker kiest voor regio-specifieke informatie, wordt een postcode afhankelijke correctiefactor opgehaald waarmee de oppervlakte minerale grond wordt gecorrigeerd voor de aanwezigheid van moerige gronden. Indien de gebruiker kiest voor gebruik perceelinformatie worden de percelen minerale grond op een bedrijf vergeleken met de bodemkaart van moerige gronden. Indien een perceel meer dan 50% overlapt met de bodemkaart moerige gronden, krijgt het perceel het kenmerk 'moerig'.

Moerige gronden doorlopen de rekenregels van de organische gronden.

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 vooralsnog 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 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.
- Brussée, T.J., A. Negash & M.R Oosterwoud, 2024. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. Actualisering van uitspoelfracties 1991-2020. RIVM-rapport 728472013.
- 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).
- CDM, 2024. Advies 'Correctiefactor voor de gasvormige stikstofverliezen bij melkvee'. Commissie Deskundigen Meststoffenwet, advies 5 september 2024.
- 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 pp.
- 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, 2019. Feed Table 2019 volgens <http://www.cvbdiervoeding.nl/pagina10081/downloads.aspx>
- CVB, 2023. CVB Veevoedertabel 2023. Chemische samenstellingen en nutritionele waarden van voedermiddelen. www.cvbdiervoeding.nl
- CVB, 2025. Tabellenboek Voeding Herkauwers 2025. Voedernormen Rundvee, Schapen, Geiten en voederwaarden voedermiddelen voor Herkauwers. CVB-reeks nr. 69.
- 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.
- De Boer, H.C., 2023. Niveau en samenstelling van het stikstofverlies uit een melkveestal met roostervloer en een koetoilet. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1448.
- De Boer, H.C., 2025. Niveau en samenstelling van het stikstofverlies uit een melkveestal met filterende tegelvloer. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1542.
- 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, 2025. <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.
- Groenestein, C., J. Mosquera and R. Melse, 2016. Methaanemissie uit mest: schatters voor biochemisch methaan potentieel (BMP) en methaanconversiefactor (MCF), Wageningen Livestock Research. Rapport 916.
- 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, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories>.
- 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
- Petersen, S. O., C. Ma, J. E. Hilgert, K. Mjofors, P. Sefeedpari, B. Amon, A. Aarnink, B. Franco, F. Dragoni, K. Groenestein, S. Gyldenkaerne, C. Herrmann, N. J. Hutchings, I. S. Kristensen, J. Liu, J. E. Olesen, en L. Rodhe. 2024. In-vitro method and model to estimate methane emissions from

- liquid manure management on pig and dairy farms in four countries. *J. Environ. Manage.* 353:120233. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.120233.
- 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 Buisson, 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. Reijers, 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, K. Oltmer, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof and T. van der Zee, 2024. Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2022. Wageningen, The Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment (WOT Natuur & Milieu), WOt-technical report 264.
- 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 gebruiksbeperkingen. 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. Dolfin, 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-energie-dragerlijst-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 oktober 2022).
- www.handboekmelkveehouderij.nl (geraadpleegd in augustus 2025)
- www.handboeksnijmaïs.nl (geraadpleegd augustus 2023)
- www.bemestingsadvies.nl (geraadpleegd november 2023)
- www.clo.nl (geraadpleegd oktober 2022)
- www.co2emissiefactoren.nl (geraadpleegd oktober 2023)
- www.rvo.nl (geraadpleegd november 2024)

Bijlage 1 Verwijzing van kengetallen naar desbetreffende paragraaf van dit rapport

Onderdeel	Kengetal	Beschrijving in rekenregelrapport
Bedrijfsoverschot	Overschot per ha: stikstof (kg N)	paragraaf 4.2.1
	Overschot per ha: fosfaat (kg P ₂ O ₅)	paragraaf 5.2
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
BEX excretie bedrijf	Voordeel bedrijfsspecifieke excretie: stikstof	Zie Bijlage 2
	Voordeel bedrijfsspecifieke excretie: fosfaat	Zie Bijlage 2
	Voordeel bedrijfseigen gebruiksnorm: fosfaat	Zie Bijlage 2
	Meetmelk per kg BEX-excretie: stikstof (kg melk)	De hoeveelheid geproduceerde meetmelk ¹ gedeeld door de stikstofexcretie [zie paragraaf 2.2]
	Meetmelk per kg BEX-excretie: fosfaat (kg melk)	De hoeveelheid geproduceerde meetmelk ¹ gedeeld door de fosfaatexcretie [zie paragraaf 2.2]
Efficiëntie voeding	Benutting: stikstof (%)	paragraaf 1.4.3
	Benutting: fosfaat (%)	paragraaf 1.4.3
Efficiëntie bodem	Benutting: stikstof (%)	paragraaf 1.4.5
	Benutting: fosfaat (%)	paragraaf 1.4.5
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 snijmaïs	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 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

Onderdeel	Kengetal	Beschrijving in rekenregelaar
		snijmaïskuilen ¹ van eigen land x (1-(percentage voerverlies) x (1-(percentage conserveringsverlies))
	Opbrengst netto per ha: KVEM (kvem)	(P-opbrengst snijmaïs per ha [paragraaf 5.2] / gemiddeld P-gehalte van aangelegde snijmaïskuilen ¹ van eigen land x gemiddeld KVEM-gehalte van aangelegde snijmaïskuilen 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 snijmaïskuilen ¹ van eigen land x gemiddeld N-gehalte van aangelegde snijmaïskuilen 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))
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 LCA	Emissie bedrijf per ton meetmelk: on-farm methaan (kg CH ₄)	Methaanemissie (paragraaf 6.3) delen door geleverde meetmelk ¹ x 1000
	Emissie bedrijf 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 bedrijf 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 bedrijf per ton meetmelk: 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
	Emissiebedrijf per ton meetmelk: off-farm (kg CO ₂ -eq)	Emissie of farm (paragraaf 6.4.2) delen door geleverde meetmelk ¹ x 1000
	Emissie bedrijf per ton meetmelk: totaal (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
Broeikasgassen NIR	Emissie bedrijf sector landbouw: methaan (kg CH ₄)	Totale CH ₄ -emissie uit pensfermentatie, totale CH ₄ -emissie uit stal en mestopslag en totale CH ₄ -emissie uit weidemest (in kilogrammen CH ₄ totaal, op bedrijfsniveau)
	Emissie bedrijf sector landbouw: lachgas (kg N ₂ O)	Totale N ₂ O- emissie uit stal en mestopslag, incl indirecte emissie door NH ₃ -emissie uit stal en mestopslag, totale N ₂ O uit voerproductie (incl mesttoediening en N-afbraak minerale gronden, veenemissies organische gronden, indirecte emissies door NH ₃ -mesttoediening en indirecte emissies door NO ₃ -uitspoeling.
	Emissie bedrijf sector landbouw: kooldioxide (kg CO ₂)	CO ₂ -emissie voerproductie bij toediening van kalkmeststoffen en ureummeststoffen

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>

Eiwit van eigen land

De rekenwijze van het aandeel eiwit van eigen land is 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 B2.1 is een voorbeeld weergegeven van de onderverdeling van de totale hoeveelheid RE in de verschillende rantsoencomponenten in procent. Dit is een onderdeel van de pagina 'VEE - RESULTAAT Voeding' van het uitvoerrapport. In de tabel is bijvoorbeeld te zien dat 15% van het totale RE uit het verse gras komt en 28% uit krachtvoer en melkproducten.

Tabel B2.1 *Onderverdeling van de totale hoeveelheid RE in de verschillende rantsoencomponenten (%)*

Voercategorie	Aandeel (%)
aandeel vers gras	15
Aandeel grasland oogstproducten	31
aandeel snijmaïs 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 in procent aan welk deel van het eiwit in deze rantsoencomponent zelf geteeld is.

In Tabel B2.2 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 B2.2 *Duiding van het aandeel van het Ruw Eiwit (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).*

Voercategorie	Aandeel (%)
eigen eiwit in vers gras opname	100
eigen eiwit in grasland oogstproducten	100
eigen eiwit in snijmaïs 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 B2.1 en uit Tabel B2.2 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 B2.3 uitgewerkt; 100% maal 15% van het RE betekent 15%. Dit wordt per rantsoencomponent vermenigvuldigd, 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 B2.3 Bepaling van het aandeel aangevoerde RE van de aangelegde graskuil op het voorbeeldbedrijf (%).

Rantsoensamenstelling melkvee (aandeel RE)	%	Aandeel eigen eiwit in rantsoen per voercategorie	%	%
Vers gras	15	In vers gras	100	15
Grasland oogstproducten	31	In grasland oogstproducten	100	31
Snijmaïs oogstproducten	9	In snijmaïs oogstproducten	100	9
Overige ruwvoerders	2	In overige ruwvoerders	48	1
Vochtrijke bijproducten	15	In vochtrijke bijproducten	23	3
Krachtvoerders en melkproducten	28	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) + % maïsland * N- bodemoverschot (maïsland; 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 B2.4 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 B2.4 Het stikstofbodemoverschot is dan 122 kg per ha.

Tabel B2.4 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 geoogste 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 B2.5).

Tabel B2.5 Duiding van de ammoniakemissie bij verschillende onderdelen van het melkveebedrijf, 'BEDRIJF – RESULTAAT Ammoniak' van de uitvoerrapportage van de KringloopWijzer (voor betekenis rode ovaal zie tekst).

BEDRIJF - RESULTAAT Ammoniak				
Emissie ammoniak	NH3 (kg/bedrijf)	NH3 (kg/ha)	NH3 (kg/ton melk)	NH3 (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) natuurgasland 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% * Som oppervlakte met code (265, 331, 333, 334) : (totale bedrijfsoppervlakte – 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 _{maaisgras} :	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 _{maaisgras} :	Maaiverliezen bij winning van kuilgras of vers stalvoergras, kg N per ha grasland
Af3 _{weide} :	Beweidingsverliezen in beweide 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 _{maigras} :	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 _{maigras_eigenland} :	N door dier opgenomen in de vorm van vers gras of kuilgras van eigen land, kg N
NOP _{maigras_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 _{maigras_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 _{maigras} :	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, -

Lachgas

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):	Nitraat-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
Ninp(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

Ammoniak

NH ₃ :	Ammoniak
NH ₄ :	Ammonium
NEMA:	Nationaal Emissie Model voor Ammoniak
TAN:	Totaal Ammoniakale Stikstof

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
BMP _(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 _{maïgras} :	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 _{maïgras} :	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 beweide 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
AMO:	oppervlakte akkerbouwgewassen voor de markt, niet ruwvoer, ha
BMP _(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
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
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-maïslan (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 maïslan (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
MCFs:	Methaanconversiefactor voor mestmanagementsysteem S, kg per 100 kg
MS _(T,S) :	Fractie van NexcretieT volgens mestmanagementsysteem S, -
N _(T) :	Aantal dieren van categorie T
N:	Stikstof
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
NOP _{maigras} :	N door dier opgenomen in de vorm van vers gras of kuilgras, kg N
NOP _{maigras_aangekocht} :	N door dier opgenomen in de vorm van aangekocht vers gras of kuilgras, kg N
NOP _{maigras_eigenland} :	N door dier opgenomen in de vorm van vers gras of kuilgras van eigen land, kg N
NOP _{mais_aangekocht} :	N door dier opgenomen in de vorm van aangekochte maïskuil, kg N
NOP _{mais_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 snijmais, 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
NO _x :	Stikstofoxide
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
PcVoerververliesRuwvoer:	percentage vervoederingsverlies van ruwvoer
PO ₄ :	Fosfaat
RAS:	Ruw As
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

In onderstaande tabel zijn per voedermiddel de volgende kengetallen weergegeven: het gehalte droge stof per voedermiddel (DS), het ruw asgehalte (AS), de verteerbaarheid van ruw eiwit (VCRE), 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 snijmaïs in rantsoen (%) (zie paragraaf 6.3.1.1) en de emissie (CO₂-equivalenten per kg product) van aangevoerde voedermiddelen (exclusief transport) (zie paragraaf 6.4.2.3) 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 - emissie 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	0,83	FP	17,70 ⁴	17,70 ⁴	17,70 ⁴
Vers gras: zomerstalvoeren	VG	160	17	0,82	0,83	FP	21,60 ⁴	21,60 ⁴	21,60 ⁴
Graskuil	GK	450	55	- ⁵	0,78	FP	- ⁵	- ⁵	- ⁵
Grashooi	GK	845	84	- ⁵	0,68	FP	19,53	19,48	20,99
Grasbalen vers gedroogd	GK	889	93	- ⁵	0,76	FP	19,53	19,48	20,99
Grasbalen voordr gedroogd	GK	889	93	- ⁵	0,76	FP	19,53	19,48	20,99
Grasbrok vers gedroogd	GK	926	119	- ⁵	0,74	FP	20,12	19,94	20,66
Grasbrok voordr gedroogd	GK	926	119	- ⁵	0,74	FP	20,12	19,94	20,66
Grasvezelkuil ontsloten	GK	321	25	0,70	0,81	WUR	21,00	21,00	21,00
Overig grasproduct	GK	749	83	- ⁵	0,75	WUR	20,02	19,95	21,01
Snijmaïs kuil	SM	365	13	- ⁵	0,75	FP	- ⁵	- ⁵	- ⁴
Snijmaïs gedroogd	SM	909	49	- ⁵	0,73	FP	- ⁵	- ⁵	- ⁵
Overig snijmaïs	SM	637	31	- ⁵	0,74	WUR	- ⁵	- ⁵	- ⁵
Mengvoer	KV	876	65	- ⁵	- ⁵	NEV	- ⁶	- ⁶	- ⁶
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	20,00	20,00	20,00
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	18,60
Bietenpulp gedroogd	KV	903	70	0,62	0,87	NEV	25,76	25,80	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	20,00	20,00	20,00
Bonen (paarden) bontbl	KV	869	33	0,84	0,9	NEV	21,99	21,60	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	23,20
Cacaodoppen	KV	883	84	0,6	0,43	NEV	23,10	22,70	23,30
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
Caseïne	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	28,00
DDGS maïs	KV	903	43	0,83	0,83	NEV	19,43	20,05	22,87

Naam	Voer- soort ¹	DS ² (g/kg)	RAS ² (g/kg)	VCRE ²	VCOS ²	CO ₂ - emissie	EF CH ₄ bij 0% sm	EF CH ₄ bij 40% sm	EF CH ₄ bij 80% sm
						Bron ³	(g/kg ds)	(g/kg ds)	(g/kg ds)
DDGS tarwe	KV	916	46	0,84	0,83	NEV	21,00	21,00	21,00
Dextrose	KV	1000	0	1	1	NEV	0,00	0,00	0,00
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	0,00	0,00	0,00
Gerst	KV	873	21	0,74	0,85	NEV	22,80	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	21,50	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	5,60
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	14,70	17,20
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	17,80	17,96	20,33
Grondnootschroot niet ontdopt	KV	911	55	0,89	0,78	NEV	17,80	17,96	20,33
Grondnootschroot ontdopt	KV	913	60	0,91	0,85	NEV	21,00	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	20,80	20,42
Haverdoppen	KV	903	42	0,38	0,35	NEV	17,00	17,00	17,00
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	27,20	26,05	26,35
Kalksteentjes	KV	990	980	0	0,83	NEV	0,00	0,00	0,00
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	17,40
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	17,40	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	20,80	21,18	23,22
Krijt (fijn gemalen)	KV	990	980	0	0,83	NEV	0,00	0,00	0,00
Lijnzaad (vlas)	KV	922	39	0,8	0,81	NEV	8,56	9,00	10,72
Lijnzaad geplet bestendig	KV	922	40	0,8	0,81	NEV	0,00	0,00	0,00
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	20,90	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	23,10	22,70	23,30
Luzerne meel	KV	913	104	0,68	0,65	NEV	20,04	20,23	21,65
Magnesiumoxide	KV	1000	0	0	0,83	NEV	0,00	0,00	0,00
Maïs korrel droog	KV	863	12	0,59	0,89	NEV	21,16	19,69	17,83
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

Naam	Voer- soort ¹	DS ² (g/kg)	RAS ² (g/kg)	VCRE ²	VCOS ²	CO ₂ - emissie	EF CH ₄ bij 0% sm	EF CH ₄ bij 40% sm	EF CH ₄ bij 80% sm
						Bron ³	(g/kg ds)	(g/kg ds)	(g/kg ds)
Maisglutenvoer	KV	889	57	0,77	0,82	NEV	20,34	19,76	19,37
Maïskiemenschilfers	KV	900	58	0,75	0,82	NEV	19,05	18,98	19,73
Maïskiemenschroot	KV	876	25	0,78	0,81	NEV	21,07	21,53	23,70
Maïskiemzemelschilfers	KV	896	44	0,69	0,85	NEV	20,17	19,83	20,06
Maïskiemzemelschroot	KV	875	39	0,7	0,84	NEV	21,20	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	21,90	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	0,00	0,00	0,00
Moutkiemen	KV	916	50	0,76	0,71	NEV	21,58	20,74	21,47
Natrium-bicarbonaat	KV	1000	0	0	0,83	NEV	0,00	0,00	0,00
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	4,40
Premix	KV	1000	0	0,75	0,83	NEV	0,00	0,00	0,00
Propyleenglycol, vloeibaar	KV	950	0	1,00	1,00	NEV	20,00	20,00	20,00
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	17,90	20,94
Raapzaadschroot	KV	890	74	0,85	0,78	NEV	18,88	19,36	22,70
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	18,10	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	22,90
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	16,20
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	21,80	21,40	20,90
Soja eiwit concentraat	KV	920	6	0,90	0,90	NEV	0,00	0,00	0,00
Sojabonen niet verhit	KV	899	50	0,90	0,88	NEV	15,31	15,26	17,50
Sojabonen schillen	KV	885	46	0,58	0,84	NEV	23,34	22,95	23,56
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	20,40	19,25	18,86
Sojaschroot	KV	879	65	0,91	0,91	NEV	21,11	20,50	22,36
Sorghum milocorn	KV	872	15	0,49	0,85	NEV	21,24	19,76	17,86
Sorghumglutenmeel	KV	900	32	0,89	0,89	NEV	18,30	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	17,00	17,00	17,00
Suiker	KV	1000	0	0	1,00	NEV	34,09	31,06	28,52
Tapioca	KV	878	56	-0,50	0,84	NEV	23,90	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	17,00	15,74	16,21

Naam	Voer- soort ¹	DS ² (g/kg)	RAS ² (g/kg)	VCRE ²	VCOS ²	CO ₂ - emissie	EF CH ₄ bij 0% sm	EF CH ₄ bij 40% sm	EF CH ₄ bij 80% sm
						Bron ³	(g/kg ds)	(g/kg ds)	(g/kg ds)
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	21,10
Tarwekiemzemelen	KV	866	40	0,83	0,82	NEV	20,60	20,60	21,64
Tarwestro, brokjes	KV	878	74	0,23	0,42	NEV	17,00	17,00	17,00
Tarwevoerbloem	KV	869	26	0,81	0,87	NEV	21,93	21,79	22,10
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	20,30	21,74
Triticale	KV	867	17	0,72	0,89	NEV	23,65	23,29	23,09
Ureum	KV	1000	0	1	1	NEV	0,00	0,00	0,00
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	20,10	20,40	22,10
Verenmeel	KV	938	24	0	0	NEV	0,00	0,00	0,00
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	-10,20
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	-10,20
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	-10,20
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	-10,20
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
Vetzurendestillaat palmolie	KV	977	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	0,00	0,00	0,00
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	17,10	19,88
Zonnebl.zaadschroot	KV	892	65	0,88	0,68	NEV	17,94	18,40	21,22
Zonnebloemzaadhullen	KV	907	34	0,40	0,18	NEV	23,10	22,70	23,30
Zout	KV	998	996	0	0	NEV	0,00	0,00	0,00
Overige co-product uit industrie	KV	901	52	- ⁵	0,80	NEV	21,10	21,03	22,40
Overige graan	KV	876	23	0,68	0,83	NEV	21,94	21,22	20,40
Overige peulvrucht	KV	886	34	0,84	0,86	NEV	22,07	21,38	22,02
Overige plantaardige schroot	KV	901	52	- ⁵	0,80	NEV	19,64	19,51	21,83
Overige zaadgewas	KV	916	41	0,77	0,70	WUR	8,73	9,13	10,52
Overige enkelvoudige grondstof	KV	901	52	0,75	0,80	WUR	20,20	19,83	20,51
Overige mineraal, additief, vitamine	KV	990	282	0,75	0,83	NEV	0,00	0,00	0,00
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	NEV	29,64	27,83	27,95
Weipoeder (nat 30%)	MP	300	25	0,77	0,94	NEV	29,64	27,83	27,95
Weipoeder (nat 7%)	MP	70	5	0,77	0,94	NEV	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	NEV	22,77	21,77	22,77
Weipoeder delac (nat 30%)	MP	300	55	0,89	0,94	NEV	22,77	21,77	22,77

Naam	Voer- soort ¹	DS ² (g/kg)	RAS ² (g/kg)	VCRE ²	VCOS ²	CO ₂ - emissie	EF CH ₄ bij 0% sm	EF CH ₄ bij 40% sm	EF CH ₄ bij 80% sm
						Bron ³	(g/kg ds)	(g/kg ds)	(g/kg ds)
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	565	61	0,87	0,94	WUR	25,42	24,63	25,38
Aardappeldiksap	BP	548	159	0,91	0,93	NEV	20,06	21,72	26,74
Aardappelpersvezels	BP	161	7	0,41	0,84	NEV	24,04	24,31	26,04
Aardappelschillen	BP	220	18	0,53	0,85	NEV	19,43	19,43	19,43
Aardappelsnippers	BP	212	7	0,40	0,88	NEV	22,22	21,17	20,50
Aardappelstoomschillen	BP	140	9	0,63	0,88	NEV	23,24	24,90	28,06
Aardappelzetmeel nat	BP	266	9	0,58	0,90	AF	22,60	21,33	19,85
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	NEV	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
Erwtenvezel vochtrijk	BP	197	5	0,77	0,88	NEV	22,99	23,24	25,18
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
Kroten 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
Maïsglutenvoer 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

Naam	Voer- soort ¹	DS ² (g/kg)	RAS ² (g/kg)	VCRE ²	VCOS ²	CO ₂ - emissie 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)
Melasse suikerriet	BP	723	101	0,17	0,80	NEV	29,80	22,07	21,16
Mycelium	BP	222	14	0,74	0,78	NEV	18,88	19,36	22,70
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	NEV	22,13	21,25	21,20
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
Vinasse suikerriet	BP	556	137	0,86	0,9	NEV	21,48	22,68	27,07
Voederbieten	BP	129	21	0,60	0,90	NEV	25,00	25,00	25,00
Voederbieten extern gereinigd	BP	139	13	0,62	0,90	NEV	25,00	25,00	25,00
Voeraardappelen	BP	322	24	0,33	0,88	NEV	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
Mengsel van natte bijproducten	BP	288	28	- ⁵	0,86	WUR	24,67	23,93	24,65
Overig graanstro	RV	861	64	0,19	0,46	AF	21,68	21,39	21,94
Overig bladgroente	RV	105	14	0,67	0,88	WUR	17,00	17,00	17,00
Overig groente	RV	119	36	0,46	0,74	WUR	20,00	20,00	20,00
Overig ruwvoer	RV	452	47	0,67	0,68	WUR	20,00	20,00	20,00
Overig bijproduct	BP	288	28	0,75	0,86	WUR	19,14	19,12	19,48

¹ GK=graskuil; VG=vers gras; SM=snijmais; KV=krachtvoer; MP=Melkpoeder; RV=Overig ruwvoer, BP=Vochtrijke (bij)producten.

² VCRE/VCOS: CVB, 2023/2025; DS en RAS: CVB, 2004/2006/2011/2019/2024 en <http://www.cvbdiervoeding.nl/pagina/10081/downloads.aspx>.

³ NEV = Nevedilijst (Nevedi, 2024); FP = Feedprint (Feedprint 2025; Vellinga *et al.*, 2013), AF = Agri-Footprint 6, WUR = gemiddelden berekend door WUR.

⁴ voor onderbouwing, zie Bijlage 8.

⁵ wordt berekend, zie hoofdstekst.

⁶ 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	www.co2emissiefactoren.nl	
Aanvoer	Kunstmest, per kg meststof		Agri-footprint 6	Meststofspectifieke waarden
Aanvoer	Kunstmest, per kg N	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, per kg N	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, per kg N	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, per kg N	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, per kg N	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, per kg N, P ₂ O ₅ en K ₂ O	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; voor P ₂ O ₅ en K ₂ O zie hieronder
Aanvoer	Kunstmest, per kg P ₂ O ₅	fosfaat	Agri-footprint 6	Triple superphosphate, as 80% Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (NPK 0-48-0), at plant/RER Economic
Aanvoer	Kunstmest, per kg K ₂ O	kali	Agri-footprint 6	Potassium chloride (NPK 0-0-60), at plant/RER Economic
Aanvoer	Kunstmest, per kg CaO	kalk, kalksteen	Agri-footprint 6	Lime fertilizer, at regional storehouse/RER Economic
Aanvoer	Kunstmest, per kg CaO	kalk, dolomiet	Agri-footprint 6	Dolomite, milled, at mine/RER Economic
Aanvoer	Organische mest	compost	Brancheorganisaties BVOR en Vereniging Afvalbedrijven	
Aanvoer	Strooisel	stro	Agri-footprint 6	Wheat straw, at farm/NL Economic
Aanvoer	Strooisel	zaagsel	AGRIBALYSE 3.1	Wood chips, at farm/FR S
Aanvoer	Strooisel	kalk	Agri-footprint 5 IPCC 2019	Lime production + application
Aanvoer	Strooisel	overig		Average
Aanvoer	Vee	melkvee	ZuivelNL	334 gram CO ₂ -eq/MJ
Aanvoer	Gewasbescherming	nematicide	Agri-footprint 5	Insecticide, at plant/RER Economic
Aanvoer	Gewasbescherming	herbicide	Agri-footprint 5	Herbicide, at plant/RER Economic
Aanvoer	Gewasbescherming	fungicide	Agri-footprint 5	Fungicide, at plant/RER Economic
Aanvoer	Gewasbescherming	overige	Agri-footprint 5	Average

Proces	Product	Specificatie	Bron	Omschrijving
Aanvoer	Afdek materiaal	plastic	ELCD	Polyethylene low density granulate (PE-LD), production mix, at plant RER System
Energie	Kunstmatig drogen	grasbaal	Feedprint 2025	
Energie	Kunstmatig drogen	grasbrok	Feedprint 2025	
Energie	Kunstmatig drogen	snijmaïs	Feedprint 2025	
Energie	Kunstmatig drogen	overige ruwvoer	Feedprint 2025	
<i>Energie</i>				
Energie	Verbranding	diesel	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Verbranding	natuurlijk gas	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Verbranding	biogas	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Verbranding	propaan	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Verbranding	stookolie	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Productie	elektrisch grijs	CE Delft 2025 ¹ , STREAM personenvervoer 2024	
Energie	Productie	elektrisch groen	CE Delft 2025 ¹ , STREAM personenvervoer 2024	
Energie	Productie	diesel	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Productie	natuurlijk gas	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Productie	biogas	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Productie	propaan	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Productie	olie	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Indirect	elektriciteit	CE Delft 2025 ¹ , STREAM personenvervoer 2024	Elektriciteit gemiddeld
Energie	Indirect	gas	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Indirect	kerosine	www.co2emissiefactoren.nl	
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 (vergister)	WUR	Berekening uitgevoerd door WUR (Pim Mostert)
Energie	Productie elektriciteit	wind	www.co2emissiefactoren.nl	
Energie	Productie elektriciteit	zon	www.co2emissiefactoren.nl	

Proces	Product	Specificatie	Bron	Omschrijving
Energie	Productie opgewaardeerd gas	Biomassa (vergister)	WUR	Berekening uitgevoerd door WUR (Pim Mostert)
Toediening	Kalk	kalk, dolomiet	IPCC 2019	
Toediening	Kalk	kalk, kalksteen	IPCC 2019	
Toediening	Ureum	-	IPCC 2019	

¹ Bron: CE Delft 2025, STREAM personenvervoer 2024,

https://co2emissiefactoren.nl/media/sources/CE_Delft_210506_STREAM_Personenvervoer_2024_Def.pdf

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)² 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 grondstoffensamenstelling van mengvoerders is veel groter dan van de eerdere geformuleerde 3 standaard productievoeders.
- 2) Doordat ook grondstoffenmengsels 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 grondstofmengsels 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:

$$VC-OS (\%) = B_0 + B_1 \times VEM (g/kg) + error$$

Model 2:

$$VC-OS (\%) = B_0 + B_1 \times VEM (g/kg) + B_2 \times P (g/kg) + error$$

²

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/07/20190719%20Handreiking%20Bedrijfsspecifieke%20excretie%20melkvee%202019.pdf>

Model 3:

$$VC\text{-}OS (\%) = B_0 + B_1 \times VEM (g/kg) + B_2 \times P (g/kg) + B_3 \times P^2 (g/kg) + error$$

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.

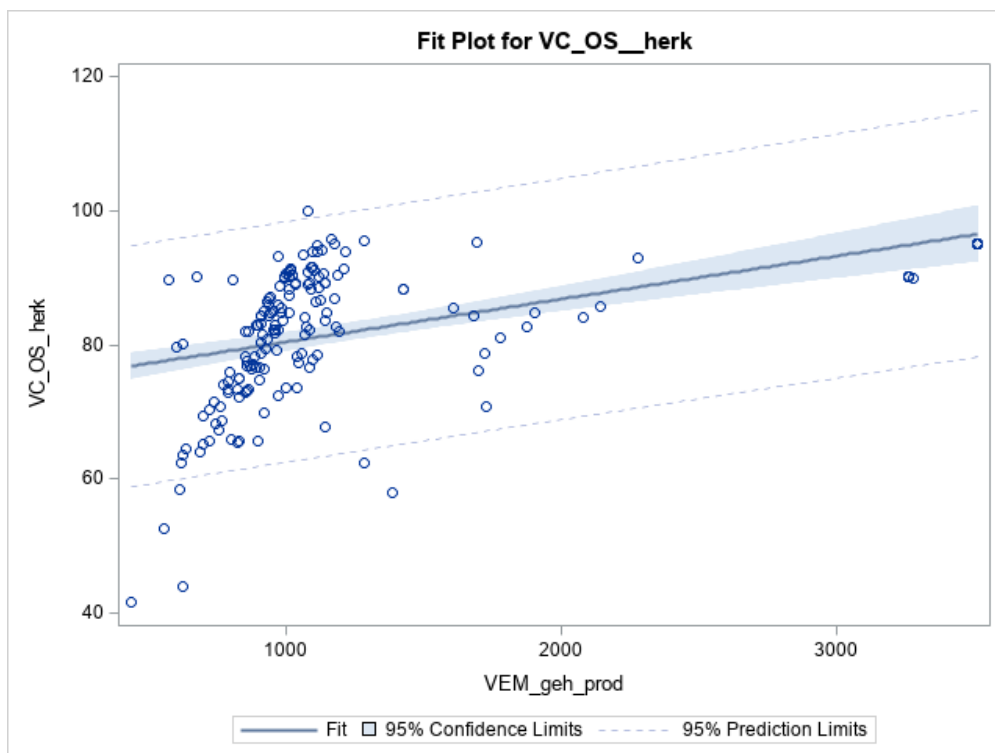
In Tabel B7.1 staan de gemiddelde gehalten van de definitieve dataset met voedermiddelen uit de CVB Veevoedertabel 2021 die gebruikt is voor het vaststellen van de definitieve formule om VC-OS te voorspellen en de gemiddelde gehalten van de Heus dataset die gebruikt is om de formule te valideren.

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.

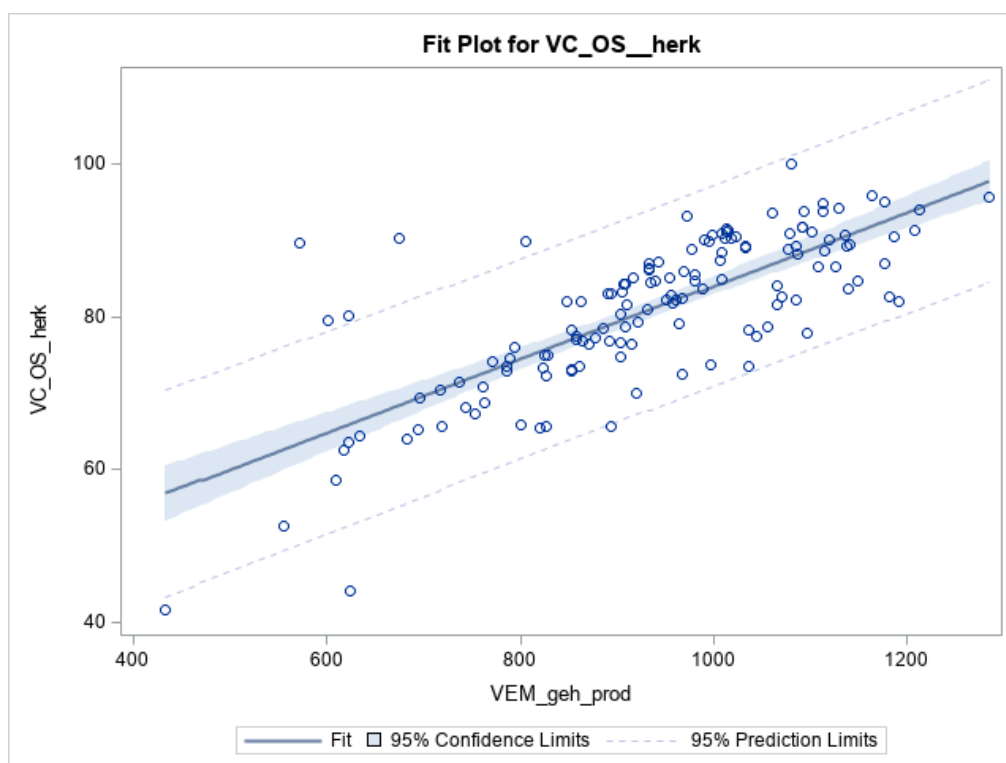
Dataset	Nutrient	n	Gemiddelde	Minimum	Maximum
CVB	DS (g/kg)	135	894 $\pm$ 34.1	721	1000
	RE (g/kg)		228 $\pm$ 170.4	0	872
	P (g/kg)		5.5 $\pm$ 3.85	0	19.6
	VEM (/kg)		946 $\pm$ 153.1	434	1284
	VC-OS (%)		81.3 $\pm$ 9.40	41,8	100
De Heus	DS (g/kg)	1095	882 $\pm$ 8.3	862	917
	RE (g/kg)		196 $\pm$ 87.0	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: rijstervoermeel, 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:

$$VC\text{-}OS (\%) = 40.9 \pm 3.23 + 0.0465 \pm 0.00324 \times VEM (/kg) - 0.641 \pm 0.1361 \times P (g/kg). N = 139, R^2 = 0.641, \%CV = 7.6, RMSE = 6.11, \text{ gemiddelde VC-OS-waarde van dataset is } 81.0\%$$

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:

$$VC\text{-}OS (\%) = 42.9 \pm 2.98 + 0.0485 \pm 0.00299 \times VEM (/kg) - 2.411 \pm 0.3605 \times P (g/kg) + 0.1289 \pm 0.02463 \times P^2 (g/kg). N = 139, R^2 = 0.702, \%CV = 6.91, RMSE = 5.59, \text{ gemiddelde VC-OS-waarde van dataset is } 81.0\%$$

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.

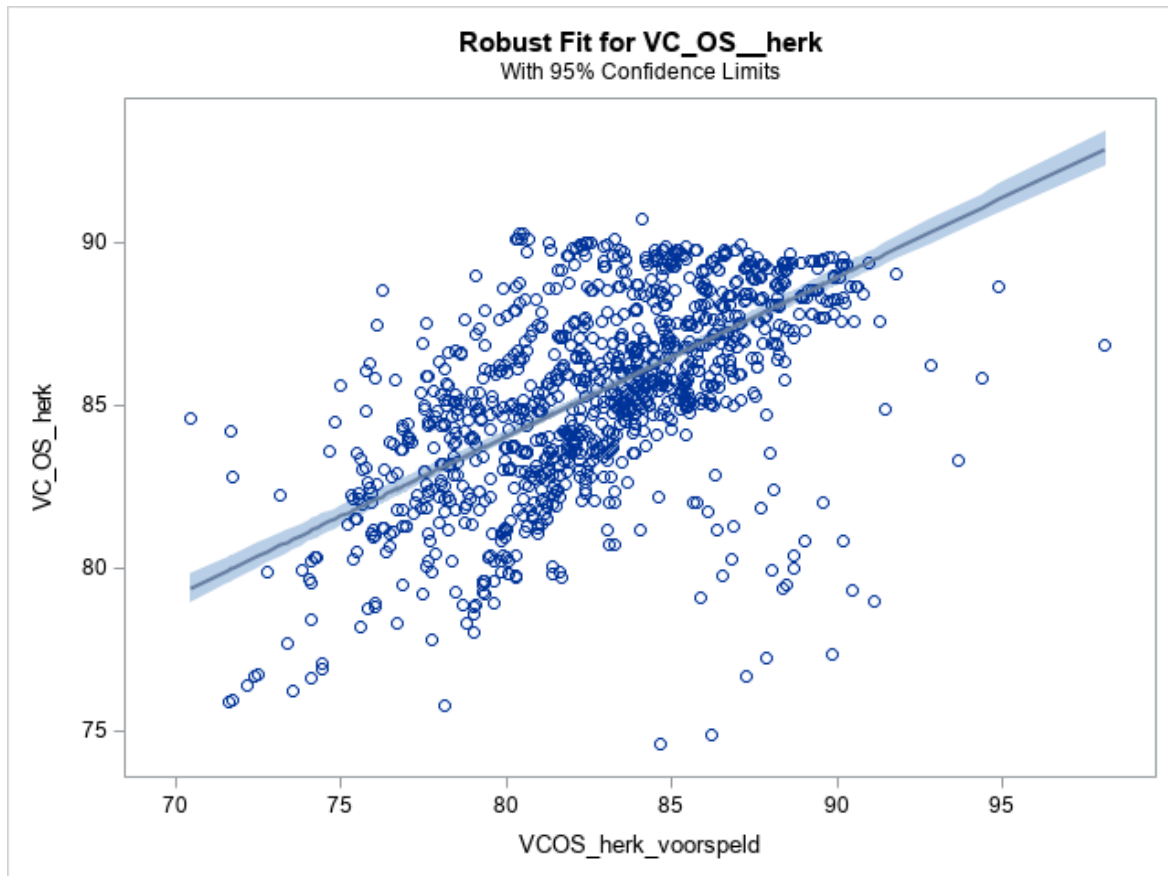
Model 3 zonder uitbijters:

$$VC\text{-}OS (\%) = 41.8 \pm 2.71 + 0.0489 \pm 0.00267 \times VEM (/kg) - 2.186 \pm 0.30260 \times P (g/kg) + 0.1167 \pm 0.02057 \times P^2 (g/kg). N = 135, R^2 = 0.761, \%CV = 5.71, RMSE = 4.65, \text{ gemiddelde VC-OS-waarde van dataset is } 81.3\%$$

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 verstorend 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 Figuur 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
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

mengvoedergrondstof	klasse-naam	subklasse-naam	VC-OS (%)	RVET(h) (g/kg)	RE (g/kg)	P (g/kg)	VEM (/kg)
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
Kokosschroot			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
Grasmeel/-brok	RE 140 - 160 g/kg		74,1	32	151	3,6	770
Tarwemaalderijproducten	Tarwezemelgrint		68,2	32	149	10,6	744
Roggeegries			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

mengvoedergrondstof	klasse-naam	subklasse-naam	VC-OS (%)	RVET(h) (g/kg)	RE (g/kg)	P (g/kg)	VEM (/kg)
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
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

mengvoedergrondstof	klasse-naam	subklasse-naam	VC-OS (%)	RVET(h) (g/kg)	RE (g/kg)	P (g/kg)	VEM (/kg)
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 Methaan emissiefactoren vers gras: weidegang en zomerstalvoeding

Achtergrond

Gras is in Nederland een hoofdbestanddeel in het rantsoen van melkkoeien. Het wordt gevoerd als graskuil, als vers gras op stal (zomerstalvoeding) of als vers gras aangeboden in de vorm van beweiding. Daarmee heeft graslandmanagement via de voeding effect op de ammoniak- en methaanemissie van melkvee. Echter, de wetenschappelijke onderbouwing van de methaanemissiefactor (g CH₄ per kg opgenomen droge stof) van vers gras is summier en bleek bij een inventarisatiestudie vaak te verschillen van metingen (Koning et al, 2020). Reden voor het programma 'Integraal aanpakken' van de Klimaatenvolop Veehouderij om onderzoek naar de methaanemissiefactor (EF) van vers gras te doen. Het betreft een vierjarig onderzoek waarvan de resultaten inmiddels beschikbaar zijn (Klootwijk et al., 2021; Koning et al., 2022; Koning et al., 2024).

Aanleiding voor deze notitie

Voor de Nederlandse melkveehouder wordt het effect van graslandmanagement op de emissie van methaan doorgerekend met behulp van de KringloopWijzer (KLW). De KLW berekening gebruikt daarbij vaste emissiefactoren (EF) voor vers gras en maakt onderscheid tussen weidegras (WEI) en zomerstalvoeding (ZSV). Deze EF default waarden voor methaan verschillen weinig van (WEI) of liggen wat hoger (ZSV) dan de gemiddelde EF van de NL rantsoenen. Hierdoor is het op bedrijfsniveau doorgerekende effect klein van een aanpassing in het graslandmanagement. Echter, uit het in de achtergrond genoemde onderzoek blijkt dat de EF voor zowel vers gras WEI als ZSV lager ligt dan de nu gebruikte KLW default waarden voor de EF. Bij substantiële aanpassingen van het graslandmanagement resulteren lagere default waarden voor vers gras in een zichtbare methaanreductie op bedrijfsniveau. Wanneer de KLW default waarden voor vers gras WEI en ZSV gebaseerd worden op de resultaten van het onderzoek binnen 'Integraal aanpakken' wordt het managen van de vers gras opname een concreet handelingsperspectief voor de Nederlandse melkveehouder.

In deze notitie wordt op basis van recent onderzoek verkend wat onderbouwde KLW default waarden voor vers gras (WEI en ZSV) kunnen zijn en wordt een voorstel voor aanpassing van de huidige KLW default waarden gedaan.

Materiaal

In 2020 is een 4-jarig beweidingsonderzoek gestart om inzicht te krijgen in de reductiepotentie van vers gras voor CH₄ en NH₃ in de melkveehouderij.

In 2020 en 2021 werd twee jaar achter elkaar een identieke proef uitgevoerd met onbeperkt vers gras aanbod. De enterische CH₄ emissie (g CH₄ per dier per dag) werd gemeten bij melkkoeien op 3 rantsoenen: volledig graskuilrantsoen (GK), onbeperkte weidegang (OW) en onbeperkt zomerstalvoeding (OZSV). De gemeten emissies hadden betrekking op het totale rantsoen.

In 2022 en 2023 is opnieuw twee jaar achter elkaar een identieke proef uitgevoerd, maar nu bij beperkt aanbod van vers gras. Opnieuw werd de enterische CH₄ emissie (totaal rantsoen) gemeten bij melkkoeien op 3 rantsoenen: onbeperkt weidegang (OW), beperkte weidegang (BW) en beperkte zomerstalvoeding (BZSV) met graskuil als bijvoeding.

Beide tweejarige proeven zijn zowel per jaar geanalyseerd en gerapporteerd als over beide proefjaren heen (meta-analyse). Op basis van het meerjarige onderzoek van 2020 tot en met 2023 (zie Klootwijk et al. (2021), Koning et al. (2022) en Koning et al. (2024)) kunnen de default waarden voor de EF van vers gras geëvalueerd worden.

Resultaten experimenten

De meta-analyse van 2020 en 2021 (zie Bijlage 1, tabel a) laat zien dat zowel de CH₄ productie (per koe per dag), CH₄ intensiteit (per kg meetmelk) als de CH₄ opbrengst (per kg DS) significant het

laagst waren tijdens onbeperkte weidegang (OW), gevolgd door onbeperkt zomerstalvoeding (OZSV) en het hoogst waren op het graskuilrantsoen (GK). De verschillen hebben betrekking op het totale rantsoen en waren in het voorjaar het grootst met opvallend lage CH₄ emissies voor de rantsoenen met vers gras. De CH₄ opbrengst was gemiddeld 17,2 g CH₄/kg DS bij de rantsoenen met onbeperkte weidegang (OW), 18,3 g CH₄/kg DS bij de rantsoenen met onbeperkte zomerstalvoeding (OZSV) en 21,0 g CH₄/kg DS bij de rantsoenen met graskuil.

Een nuance met betrekking tot het verschil tussen de EF van de rantsoenen met vers gras en de rantsoenen met graskuil is dat dit verschil kan fluctueren in de tijd omdat er jaarverschillen zijn in de EF van gras (zowel voor vers gras als voor de gemiddelde graskuilen) en omdat de graskuilen een ander oogstmoment hebben dan het verse gras.

De meta-analyse van 2022 en 2023 (zie Bijlage 1, tabel b) laat opnieuw significant de laagste CH₄ emissie zien tijdens onbeperkte weidegang (OW). De analyse laat zien dat de CH₄ opbrengst 15,7 g CH₄/kg DS was voor de rantsoenen met onbeperkte weidegang (OW), 18,9 g CH₄/kg DS voor de rantsoenen met beperkte weidegang (BW) en 21,1 g CH₄/kg DS voor de rantsoenen met beperkte zomerstalvoeding (BZSV). Er werden weinig periode-effecten gevonden op de CH₄ emissie, maar voor de behandelingen met vers gras werd de laagste CH₄ opbrengst gemeten in het voorjaar.

De resultaten van deze WLR experimenten komen overeen met recent beweidingsonderzoek uit Ierland, waar ook een lagere CH₄ opbrengst is gemeten bij rantsoenen in het voorjaar (Lahart et al, 2024). Lahart et al rapporteerden een CH₄ opbrengst van rantsoenen tijdens beweiding van 15,6 g CH₄/kg DS in het voorjaar, 18,3 g CH₄/kg DS in de zomer en 19,8 g CH₄/kg DS in het najaar.

Praktijkgebruik

In de Nederlandse praktijk wordt de enterische methaanemissie van een melkveebedrijf berekend met de Kringloopwijzer (KLW). De KLW-versie 2023 gebruikt voor de berekening default waarden voor de EF van vers gras die zijn vastgesteld in onafhankelijk experimenteel onderzoek en die alleen onderscheid maken naar weiden (WEI) en zomerstalvoeding (ZSV) en dus niet naar beperkt of onbeperkt grasaanbod. De KLW default waarden worden niet gebruikt voor het berekenen van de nationale enterische emissie, omdat daarvoor een mechanistisch model (Bannink *et al.*, 2011) wordt gebruikt.

De resultaten van de in deze notitie beschreven experimenten geven lagere EF waarden voor vers gras dan de huidige KLW default waarden voor vers gras (WEI en ZSV). De bevindingen van de experimenten sluiten aan bij de resultaten van een onderzoek met mechanistische modellen waarbij een modelmatige overschatting werd gevonden van de enterische CH₄ productie bij zomerstalvoeding (Bannink *et al.*, 2016; Warner *et al.*, 2015; Lahart *et al.*, 2024).

De huidige KLW default waarden voor de EF van vers gras zijn gebaseerd op experimenteel onderzoek in respiratiecellen en betreffen feitelijk uitsluitend ZSV. Het hier beschreven onderzoek betreft directe metingen bij WEI en ZSV in een praktijksetting, zodat de resultaten in principe beter geschikt zijn om default waarden voor de EF vers gras te genereren. Duidelijk is dat de huidige default waarden in de KringloopWijzer hoger liggen dan wat in het 4 jarige onderzoek gemeten is en dat de metingen in dat onderzoek overeenstemmen met de resultaten van ander recent beschreven onderzoek. Het toont de relevantie voor het aanpassen van de default waarden van de EF WEI en EF ZSV in de KLW. Daarnaast toont het de relevantie van onderzoek naar de vraag of de schattingsmodellen voor de enterische CH₄ emissie voor vers gras aangepast kunnen worden.

Impact aanpassing EF waarden van vers gras

De impact van een verlaging van de EF waarde voor vers gras is dat bedrijven die vers gras voeren een lagere KLW enterische methaanemissie realiseren. Vervolgonderzoek moet duidelijk maken of het verlagen van de EF vers gras ook voor het gemiddelde NL rantsoen resulteert in een relevante verlaging van de nationale methaanemissie. Met betrekking tot het verlagen van de methaanemissie geeft het verlagen van de EF waarde van vers gras in de KLW (WEI en ZSV) handelingsperspectief aan de melkveehouders en daarmee wordt het voeren van (meer) vers gras een sturingselement bij het verminderen van de methaanuitstoot. Bij de inschatting van het emissie reducerend effect (in kg methaan per jaar) moet rekening worden gehouden met de context op bedrijfsniveau. Vers gras is immers een onderdeel van het totale rantsoen, zodat zowel de bijvoeding bij weiden of

zomerstalvoeding als het winterrantsoen in belangrijke mate bepalen wat de jaarlijkse bedrijfsemissie is. Bovendien heeft beweiding effect op de kwaliteit van het kuilgras en daarmee op de enterische CH₄ emissie op basis van het winterrantsoen (Veraart *et al.*, 2023).

Op basis van de in deze notitie beschreven experimenten kan de modelschatting (Bannink *et al.*, 2011) niet worden aangepast. Daarvoor is verder verdiepend onderzoek nodig naar de onderliggende mechanismen en oorzaken van (variatie in) de lagere EF-waarde van vers gras. Dergelijk onderzoek is inmiddels opgestart, maar het zal enkele jaren duren voor het tot aanpassing van de modelschatting kan komen. Het aanpassen van de huidige default waarden voor de EF WEI en de EF ZSV ten behoeve van gebruik in de KLV versie 2024 (gebruik in 2025 over het jaar 2024) is wel mogelijk.

Vaststellen default waarden voor EF WEI en EF ZSV

Werkwijze

Vanuit het programma 'Integraal Aanpakken' is een *ad hoc* werkgroep ingesteld (A. Bannink, M. de Haan, C. Klootwijk, B. Philipsen, L. Šebek en E. Verscheijden) om na te gaan hoe de resultaten van de in deze notitie beschreven experimenten (Koning *et al.*, 2022 en Koning *et al.*, 2024) gebruikt kunnen worden om default waarden voor de EF van vers gras vast te stellen. De werkgroep heeft de volgende uitgangspunten gedefinieerd:

1. De basis voor de EF zijn de beide Multiple Experiment Analyses van 2020-2021 en 2022-2023 (Bijlage B8.1, tabel B8.1.1 en B8.1.2).
2. Er wordt geen onderscheid gemaakt naar periode in het jaar of naar beperkt of onbeperkt vers gras voeren.
3. Alle in 'Bijlage 1, tabel a en b' gegeven EF waarden worden gecorrigeerd naar een EF bij een droge stofopname van 18,5 kg per koe per dag (EF_{18,5}). Daarmee worden de EF's gestandaardiseerd voor opnameniveau (Šebek *et al.*, 2020) en conform de huidige systematiek in de KLV.
4. De experimentele data van de beide Multiple Experiment Analyses worden integraal overgenomen d.w.z. alle data worden meegenomen zonder verdere selectie. Het gewogen gemiddelde wordt berekend over jaren en over de behandelingen 'onbeperkt' en 'beperkt'.
 - a. Voor de overall gemiddelde EF WEI worden de EF van onbeperkt (OW) en beperkt weiden (BW) als 50/50 ingewogen (gemiddelde van OW over 4 jaar plus gemiddelde van BW over 2 jaar en dat gedeeld door 2).
 - b. Idem voor de overall gemiddelde EF ZSV dus 50/50 OZSV en BZSV.
5. Voor het berekenen van de EF vers gras uit de gemeten EF rantsoen is een aanname nodig voor de EF van het niet-vers-gras-deel van het rantsoen. Er is aangenomen dat het niet-vers-gras-deel de EF van het NL gemiddelde rantsoen heeft (van Bruggen *et al.*, 2024) uit de betreffende jaren. Deze EF_{18,5} was voor 2020, 2021, 2022 en 2023 respectievelijk 19,40 , 19,38, 19,33 en 19,37 g CH₄/kg DS.

Op basis van de uitgangspunten 1 t/m 5 zijn de in de experimenten gemeten EF-rantsoen (g CH₄/kg DS) eerst omgerekend naar een EF_{18,5}-rantsoen, waarna met behulp van een eveneens omgerekende EF_{18,5}-bijvoeding de EF_{18,5}-vers gras is bepaald en daarmee is vervolgens het overall gemiddelde voor weiden (WEI) en zomerstalvoeding (ZSV) berekend (Tabel B8.1).

Tabel B8.1 Methaanproductie data uit experimenten (rantsoen), de methaanemissie uit bijvoeding (op basis van gegevens uit de nationale Emissie Registratie) en de daarmee berekende methaanemissie uit vers gras. De berekening is een omrekening van de experimentele data naar een gestandaardiseerde methaanemissiefactor (EF) bij een droge stofopname van 18,5 kg per dier per dag (EF_{18,5}). Het betreft data voor onbeperkt en beperkt weiden (OW en BW) en voor onbeperkt en beperkt zomerstalvoeding (OZSV en BZSV), die vervolgens voor de EF vers gras als gewogen gemiddelde voor weiden (WEI) en zomerstalvoeding (ZSV) zijn weergegeven.

Data uit experimenten	2020 en 2021			2022 en 2023			Over-all	
	GK	OW	OZSV	OW	BW	BZSV	WEI	ZSV
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	412	320	395	322	398	448	-	-
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	15,0	12,4	13,8	11,5	13,8	14,8	-	-
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	21,0	17,2	18,3	15,7	18,9	21,1	-	-
kg DS opname	19,6	18,6	21,6	20,5	21,1	21,2	-	-
% vers gras	0,00	0,78	0,81	0,77	0,47	0,47	-	-
Berekende waarden								
kg DS opname 'Standaard'		18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
EF _{18,5} Rantsoen	-	17,2	18,9	16,1	19,4	21,7	-	-
EF _{18,5} Bijvoeding	-	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	-	-
EF_{18,5} Vers gras	-	16,6	18,8	15,2	19,5	24,3	17,7	21,6

Op basis van de uitgangspunten 1 t/m 5 geeft tabel 1 voor vers gras gemiddelde waarden voor de gestandaardiseerde methaanemissiefactor bij weiden (EF_{18,5}WEI) en bij zomerstalvoeding (EF_{18,5} ZSV) van respectievelijk 17,7 en 21,6 g CH₄ per kg DS. Deze waarden passen in de bevindingen van andere recente rapportages van onderzoek en liggen lager dan de huidige default waarden in de K LW. Het ligt daarom voor de hand om op basis van deze recente metingen de default waarden in de K LW aan te passen.

Discussie

De berekeningen in deze notitie zijn uitsluitend gebaseerd op de beschreven experimenten (Klootwijk *et al.*, 2021; Koning *et al.*, 2022 en 2024). Die experimenten en de rapportage daarvan staan in deze notitie niet ter discussie. De onderstaande discussiepunten hebben uitsluitend betrekking op de praktische toepassing van de experimentele bevindingen en dan met name gericht op gebruik in de KringloopWijzer (K LW).

- Er zijn significante verschillen in EF gevonden tussen de behandeling 'weiden' en 'zomerstalvoeding'. Dit verschil is aangetoond voor zowel onbeperkt als beperkt vers gras voeren. Op basis hiervan kan een onderscheid in EF WEI en EF ZSV gehandhaafd worden in de K LW.
- Er is in het tweede experiment een directe vergelijking gemaakt tussen onbeperkt en beperkt weiden (OW en BW), waarbij OW een significant lagere EF had dan BW. Echter, de EF OW verschilde tussen het eerste en tweede experiment aanzienlijk (bijna 10% hoger in experiment 1). De onderbouwing is voorts nog te gering voor differentiatie binnen de EF WEI in EF OW en EF BW, maar op basis van deze resultaten kan wel een onderscheid in EF WEI en EF ZSV zonder differentiatie tussen onbeperkt en beperkt vers gras gehandhaafd worden in de K LW.
- Er zijn in beide experimenten numerieke verschillen (niet significant) tussen perioden geconstateerd. De verschillen waren in het eerste experiment groter dan in het tweede. De verschillen worden op basis van de huidige kennis onvoldoende begrepen. Ook modelmatige onderbouwing is niet mogelijk omdat deze de gemeten variatie niet dekt. Hierdoor kunnen eventuele periodeverschillen in EF vers gras niet voldoende worden onderbouwd voor toepassing in de K LW. Inmiddels is verdiepend onderzoek gestart. Na afronding van dat verdiepende onderzoek zal beoordeeld worden of de EF vers gras gedifferentieerd kan worden naar periode van het jaar en naar onbeperkt en beperkt vers grasaanbod.
- Er is aangenomen dat het niet-vers-gras-deel de EF van het NL gemiddelde rantsoen heeft uit de betreffende jaren. Deze aanname was nodig omdat in de experimenten de methaanemissie van de bijvoeding niet te onderscheiden is van de methaanemissie van vers gras, zodat alleen met een

aanname voor de EF van de bijvoeding de EF van gras af te leiden is. De vergelijking van de behandelingen binnen experimenten wordt door deze aanname enigszins beïnvloed, omdat de bijvoeding niet 100% gelijk was tussen de behandelingen van de verschillende experimenten. Daarnaast beïnvloedt deze aanname de hoogte van de gemiddelde EF_{18,5}. Het verschil tussen EF_{18,5} WEI en EF_{18,5} ZSV blijft daarmee wel vrij goed ingeschat, ook al kan het niveau van die EF's over- of onderschat zijn.

Conclusies

- De methaanemissiefactor (EF, g CH₄ per kg DS) voor vers gras bij weiden (WEI) is lager dan de EF voor vers gras bij zomerstalvoeding (ZSV) en is op basis van de meest recente beschikbare informatie gekwantificeerd.
- De methaanemissiefactor (EF, g CH₄ per kg DS) voor vers gras bij een gestandaardiseerde voeropname van 18,5 kg DS per dier per dag is voor weiden vastgesteld op EF_{18,5} WEI = 17,7 en voor zomerstalvoeding EF_{18,5} ZSV = 21,6.
- De beschreven resultaten van het experimentele onderzoek geven verder duidelijke aanwijzingen dat:
 - o de EF vers gras bij onbeperkt weiden lager ligt dan bij beperkt weiden.
 - o de EF vers gras in het voorjaar lager ligt dan in de zomer en het najaar.

Het betreft aanwijzingen omdat de verschillen niet altijd significant waren in beide experimenten en het vooralsnog onduidelijk is hoe de geconstateerde verschillen te verklaren of modelmatig weer te geven. Daarom ontbreekt op dit moment voldoende onderbouwing om deze verschillen te kwantificeren en te gebruiken voor differentiatie van de vers gras default waarden (voor WEI en ZSV) in de KringloopWijzer. Inmiddels is verdiepend onderzoek gestart waarvan de resultaten mogelijk kunnen zorgen voor een betere onderbouwing van de geobserveerde verschillen.

Ad hoc werkgroep "Enterische methaan emissiefactor voor vers gras".

Leden (alfabetisch): André Bannink, Michel de Haan, Cindy Klootwijk, Bert Philipsen, Léon Šebek en Elian Verscheijden

Status: Definitief 3 december 2024

Literatuur

- Bannink, A., M.W. van Schijndel en J. Dijkstra, 2011. A model of enteric fermentation in dairy cows to estimate methane emission for the Dutch National Inventory Report using the IPCC Tier 3 approach. *Animal Feed Science and Technology* 166– 167 (2011) 603– 618.
- Bannink, A., H.J. Van Lingen, J.L. Ellis, J. France en J. Dijkstra, 2016. Contribution of mathematical modeling to understanding dynamic aspects of rumen metabolism. *Frontiers in Microbiology*, 7 (2016), p. 1820.
- Bruggen, C. van, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, H.J.C. van Dooren, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, K. Oltmer, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof en T.C. van der Zee (2024). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2022. WOT-technical report 264.
- Klootwijk, C.W., L. Koning, G. Holshof, A. Klop en R.L.G. Zom, 2021. Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit Jaarrapport 1: 2020, Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1342.
- Koning, L., Van Riel, J., en Šebek, L. 2020. Enteric methane emission of the Dutch dairy herd; Average and variation of enteric methane emission among the Dutch dairy herd. Wageningen Livestock Research, Report 1267.
- Koning, L., G. Holshof, A. Klop, & C. Klootwijk, 2022. Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit Jaarrapport 2: 2021; Resultaten van een meerjarige beweidingsproef naar methaanemissie bij weidegang, zomerstalvoeding en graskuil. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1402.
- Koning, L., G. Holshof, A. Klop, E. Burgers & C. Klootwijk. 2024. Enterische methaanemissie van melkvee in relatie tot (vers) graskwaliteit. Jaarrapport 3: 2022 + 2023; Resultaten van een meerjarige beweidingsproef naar methaanemissie bij onbeperkte weidegang, beperkte weidegang en beperkte zomerstalvoeding. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport XXX. (verwacht in Q4 2024).

-
- Lahart, B., F. Buckley, J. Herron, R. Fitzgerald, E. Fitzpatrick, N. Galvin and L. Shalloo, 2024.
Evaluating enteric methane emissions within a herd of genetically divergent grazing dairy cows.
Journal of Dairy Science, Volume 107, Issue 1, January 2024, Pages 383-397.
- Šebek, L.B., J.A. de Boer en A. Bannink, 2020. De Kringloopwijzer, het voerspoor en methaanemissie op het melkveebedrijf. Prestaties van een reken- en managementinstrument voor sturing van de enterische methaanemissie. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 986.
- Veraart et al 2023 Veraart, M., H. van Schooten, B. Bassa, B. Philipsen en C. Klootwijk, 2023.
Graslandmanagement voor reductie van methaan en ammoniak: Resultaten analyse
KringloopWijzer 2020 van 12 pilotbedrijven. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1465.
- Warner, D., S.C. Podesta, B. Hatew, G. Klop, H. van Laar, A. Bannink and J. Dijkstra, 2015. Effect of nitrogen fertilization rate and regrowth interval of grass herbage on methane emission of zero-grazing lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, Volume 98, Issue 5, May 2015, Pages 3383-3393.

Bijlage 8.1

Tabel B8.1.1 Multiple Experiments REML Analyse van de proef in 2020 en 2021, met in het fixed model behandeling, periode, jaar en de interactie tussen behandeling en periode, en in het random model blok binnen periode binnen jaar en periode binnen jaar. De geschatte behandelingsgemiddelden voor graskuil, onbeperkt weiden en onbeperkt zomerstalvoeding (GK, OW en OZSV) per periode (1, 2 en 3) en overall gemiddeld staan weergegeven, inclusief de LSD van de behandeling (gemiddeld) en de p-waarden van de fixed effecten. Significante verschillen tussen behandelingen zijn weergegeven met superscripts (enkel voor gemiddeld behandelingseffect).

Periode	1			2			3			Gemiddeld			P-waarden				
Behandeling	GK	OW	OZSV	GK	OW	OZSV	GK	OW	OZSV	GK	OW	OZSV	LSD	Per*Beh	Beh.	Per.	Jaar
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	412	287	366	420	341	436	403	333	385	412 ^a	320 ^c	395 ^b	13,7	<0,001	<0,001	0,408	0,832
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	14,1	9,4	11,5	15,8	14,5	16,2	15,2	13,5	13,7	15,0 ^a	12,4 ^c	13,8 ^b	0,63	<0,001	<0,001	0,085	0,916
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	21,1	14,1	16,0	21,3	19,3	20,8	20,5	18,3	18,2	21,0^a	17,2^c	18,3^b	0,68	<0,001	<0,001	0,077	0,688

Tabel B8.1.2 Multiple Experiments Analyse (REML) van de proef in 2022 en 2023, met in het fixed model behandeling, periode, jaar en de interactie tussen behandeling en periode, en in het random model blok binnen periode binnen jaar en periode binnen jaar. De geschatte behandelingsgemiddelden voor onbeperkt weiden, beperkt weiden en beperkt zomerstalvoeding (OW, BW en BZSV), periodegemiddelden (1 voorjaar, 2 zomer en 3 najaar) en jaargemiddelden (2022 en 2023) staan weergegeven, evenals de LSD en p-waarde. Significante verschillen tussen behandelingen zijn weergegeven met superscripts.

	Behandeling					Periode					Jaar				Periode x behandeling p
	OW	BW	BZSV	LSD ¹	p	1	2	3	LSD ¹	p	2022	2023	LSD	p	
CH ₄ productie (g CH ₄ /koe/dag)	322 ^c	398 ^b	448 ^a	12,0	<0,001	373	396	399	97,2	0,746	372	407	79,3	0,193	<0,001
CH ₄ intensiteit (g CH ₄ /kg FPCM)	11,5 ^c	13,8 ^b	14,8 ^a	0,50	<0,001	12,1	13,6	14,4	2,93	0,161	12,6	14,1	2,37	0,169	0,104
CH ₄ opbrengst (g CH ₄ /kg DS)	15,7^c	18,9^b	21,1^a	0,62	<0,001	17,7	18,4	19,7	2,32	0,134	17,5 ^b	19,6 ^a	1,85	0,040	0,035

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-1480

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.

